

956/FT.01/SKRIP/07/2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI LITERATUR
KOMPOSISI DAN KARAKTERISTIK
MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH**

SKRIPSI

**ELITHA
06 06 07 220 6**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**

956/FT.01/SKRIP/07/2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI LITERATUR
KOMPOSISI DAN KARAKTERISTIK
MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ELITHA
06 06 07 220 6**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2010**

956/FT.01/SKRIP/07/2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**LITERATURE STUDY OF
THE COMPOSITION AND CHARACTERISTICS
OF FLY ASH BASED GEOPOLYMER MORTAR**

FINAL ASSIGNMENT

This assignment was submitted to complete
the graduation requirement for Undergraduate Program

**ELITHA
06 06 07 220 6**

**ENGINEERING FACULTY
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JULY 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Elitha

NPM : 06 06 07 220 6

Tanda Tangan : 

Tanggal : 7 Juli 2010

STATEMENT OF ORIGINALITY

This final assignment is my own work, and all resources both cited and referred i have stated truly .

Name : Elitha

NPM : 06 06 07 220 6

Signature : 

Date : 7 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Elitha
NPM : 06 06 07 220 6
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Literatur Komposisi dan Karakteristik Mortar
Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash

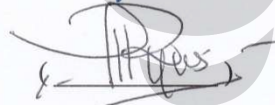
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ir. Elly Tjahjono DEA

()

Pembimbing II : Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D.

()

Penguji I : Dr. Ing. Josia Irwan Rastandi S.T., M.T.

()

Penguji II : Ir. Madsuri M.T.

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2010

SHEET OF APPROVAL

This final assignment submitted by:

Name : Elitha
NPM : 06 06 07 220 6
Study Program : Civil Engineering
Title : Literature Study of The Composition and Characteristics of Fly Ash Based Geopolymer Mortar

Have succeeded to be submitted in examiner board and accepted as partial fulfillment needed to obtain S1 Degree in Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia

EXAMINER BOARD

Counselor I : Dr. Ir. Elly Tjahjono DEA.

(*Elly Tjahjono*)

Counselor II : Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D.

(*Essy Arijoeni*)

Examiner I : Dr. Ing. Josia Irwan Rastandi S.T., M.T.

(*Josia Irwan Rastandi*)

Examiner II : Ir. Madsuri M.T.

(*Madsuri*)

Decided in : Depok

Date : 7 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono DEA dan Ibu Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi S.T., M.T dan Bapak Ir. Madsuri M.T, yang telah menguji dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, DEA, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia;
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, atas ilmu dan pengalamannya yang saya peroleh;
5. Seluruh Staf Departemen dan seluruh Staf Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, atas kemudahan dan bantuan;
6. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
7. Teman-teman Mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2006 dan seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Indonesia atas masukan, dukungan dan bantuannya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 7 Juli 2010

Elitha

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elitha
NPM : 06 06 07 220 6
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**STUDI LITERATUR
KOMPOSISI DAN KARAKTERISTIK
MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 7 Juli 2010

Yang menyatakan

(Elitha)

ABSTRAK

Nama : Elitha
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Literatur Komposisi dan Karakteristik Mortar
Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash*

Perkembangan ilmu pengetahuan telah menemukan geopolimer, sebagai satu alternatif dalam memproduksi beton ramah lingkungan. Pengaruh dari berbagai parameter terhadap kuat tekan dan karakteristik dari mortar geopolimer antara lain rasio larutan K_2SiO_3 / Na_2SiO_3 dan larutan KOH / NaOH adalah 0.8 – 1.5 dan konsentrasi KOH / NaOH yang tinggi dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F, sedangkan Rasio larutan K_2SiO_3 / Na_2SiO_3 dan larutan KOH / NaOH adalah 2 – 2.5 dan konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.

Kata kunci :

Fly Ash, Geopolimer, Karakteristik , Kuat tekan, Mortar, Parameter

ABSTRACT

Name : Elitha
Study Program : Civil Engineering
Title : Literature Study of The Composition and Characteristics of Fly Ash Based Geopolymer Mortar

Developments in science have been discovered geopolymer, as an alternative in producing environmentally concrete. Influence of various parameters on the compressive strength and characteristics of fly ash based geopolymer mortar include ratio K_2SiO_3 / Na_2SiO_3 and KOH / NaOH is 0.8 - 1.5 and the highest concentration of KOH / NaOH may produce the optimum compressive strength of fly ash based geopolymer mortar from class F, whereas ratio K_2SiO_3 / Na_2SiO_3 and KOH / NaOH is 2 - 2.5 and NaOH 8M may produce the optimum compressive strength of fly ash based geopolymer mortar from class C. The Compressive strength of fly ash based geopolymer mortar from class C is higher than the compressive strength of fly ash based geopolymer mortar from class F.

Key words :

Fly Ash, Geopolymer, Characteristics, Compressive Strength, Mortar, Parameters

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Perumusan masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Ruang lingkup	3
1.6. Sistematika	4
BAB II. STUDI PUSTAKA	5
2.1. Mortar	5
2.1.1. Material penyusun mortar	6
2.1.1.1. Semen Portland	6
2.1.1.2. Agregat halus	10
2.1.1.3. Air	12
2.1.1.4. Additive, admixture, dan kandungan udara	12
2.1.2 Karakteristik mortar	14
2.1.2.1. Mortar Plastis	14
2.1.2.2. Mortar Keras	16
2.1.3 Tipe mortar	19
2.2. Geopolimer	21
2.2.1. Material penyusun geopolimer	25
2.2.1.1. Prekursor	25
2.2.1.2. Larutan alkali	27
2.2.2. Prose polimerisasi	27
2.2.3. Aplikasi geopolimer	29
BAB III. METODOLOGI STUDI	31
3.1. Umum	31
BAB IV. STUDI LITERATUR	32
4.1. Studi literatur yang ada	32
4.1.1 <i>Strength and Thermal stability of fly ash based geopolimer mortar</i>	32
4.1.2 <i>Effect of Temperature on Compressive strength of fly ash</i>	32

<i>based geopolimer mortar</i>	36
4.1.3 <i>Effect of activator and curing mode on fly ash based geopolimer mortar</i>	38
4.1.4 Komposisi dan karakteristik beton geopolimer dari <i>fly ash</i> tipe C dan tipe F.....	39
4.1.5 Komposisi alkaline aktivator dan <i>fly ash</i> untuk beton geopolimer mutu tinggi	45
4.1.6 <i>Effect of mix composition on compressive strength and microstructure of fly ash based geopolimer Composites</i>	50
4.1.7 <i>Strength and setting times of low Calcium fly ash based geopolimer mortar</i>	59
4.2. Pengelompokan dan analisis parameter yang mempengaruhi	64
4.2.1 Larutan alkali	64
4.2.2 Prekursor	66
4.2.3 Umur	67
4.2.4 Suhu <i>curing</i>	68
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1. Kesimpulan	70
5.2. Saran	75

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR ACUAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses pembuatan semen.....	6
Gambar 2.2.	Grafik hubungan antara umur dengan kuat tekan beton.....	8
Gambar 2.3.	Kandungan air agregat.....	11
Gambar 2.4.	Grafik gradasi agregat halus untuk adukan menurut SNI 03-680- 2002.....	12
Gambar 2.5.	Balok sederhana dengan lentur murni	18
Gambar 2.6.	Struktur kimia Polysialate	21
Gambar 2.7.	Skematik formasi material geopolimer	28
Gambar 2.8.	Proses polikondensasi.....	29
Gambar 3.1.	Langkah- langkah studi	31
Gambar 4.1.	Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito,2008).....	33
Gambar 4.2.	Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito,2008).....	34
Gambar 4.3.	Grafik stabilitas mortar pada suhu yang tinggi (Djwantoro Hardjito,2008).....	35
Gambar 4.4.	Grafik <i>setting time</i> (Djwantoro Hardjito,2008).....	36
Gambar 4.5.	Grafik hubungan rasio alkali dan <i>Fly Ash</i> dan kuat tekan mortar (S. Songpiriyakij)	37
Gambar 4.6.	Grafik hubungan umur mortar terhadap kuat tekan mortar (S. Songpiriyakij)	38
Gambar 4.7.	Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)	42
Gambar 4.8.	Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)	43
Gambar 4.9.	Grafik hubungan rasio alkali : <i>Fly Ash</i> dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)	43
Gambar 4.10.	Grafik hubungan rasio umur mortar & proses <i>curing</i> dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007).....	44
Gambar 4.11.	Grafik hubungan rasio molaritas dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006).....	47
Gambar 4.12.	Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006).....	47
Gambar 4.13.	Grafik hubungan rasio alkali : <i>Fly Ash</i> dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006).....	48
Gambar 4.14.	Grafik hubungan rasio pasir : <i>Fly Ash</i> dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006).....	48
Gambar 4.15.	Grafik hubungan rasio umur mortar dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006).....	49
Gambar 4.16.	Grafik hubungan rasio Na ₂ O/ Al ₂ O ₃ dan kuat tekan mortar (ravindra N.,2009)	51
Gambar 4.17.	Grafik hubungan rasio SiO ₂ / Al ₂ O ₃ dan kuat tekan mortar (ravindra N,2009)	52
Gambar 4.18.	Grafik hubungan rasio alkali : <i>Fly Ash</i> dan	

	kuat tekan mortar (ravindra N,2009)	54
Gambar 4.19.	Grafik hubungan rasio pasir : <i>Fly Ash</i> dan kuat tekan mortar (ravindra N,2009)	55
Gambar 4.20.	Grafik hubungan suhu curing dan kuat tekan mortar (ravindra N,2009)	57
Gambar 4.21.	Grafik hubungan waktu curing dan kuat tekan mortar (ravindra N,2009)	58
Gambar 4.22.	Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito, July 2008)	61
Gambar 4.23.	Grafik hubungan rasio alkali : <i>Fly Ash</i> dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito, July 2008)	62
Gambar 4.24.	Grafik hubungan suhu <i>curing</i> dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito, July 2008)	64
Gambar 4.25.	Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar <i>Fly Ash</i> tipe C dan tipe F(Sandykosnatha,2007) dan mortar <i>Fly Ash</i> tipe C(Sanjaya&Yuwono,2006)	65
Gambar 4.26.	Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar <i>Fly Ash</i> tipe C dan tipe F (Sandykosnatha,2007) dan mortar <i>Fly Ash</i> tipe C (Sanjaya&Yuwono,2006)	67
Gambar 4.27.	Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Djwantoro,2008) dan mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (S. Songpiriyakij).....	68
Gambar 4.28.	Grafik hubungan suhu <i>curing</i> dan kuat tekan mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Djwantoro,2008) , mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Djwantoro,July 2008) dan mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Sandykosnatha,2007)	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Oksida pembentuk Semen Portland	6
Tabel 2.2.	Rasio air terhadap senyawa kimia semen.....	7
Tabel 2.3.	Sifat dari hasil reaksi kimia senyawa semen.....	8
Tabel 2.4.	Jenis- jenis semen Portland menurut ASTM C- 150.....	9
Tabel 2.5.	Gradasi agregat halus untuk adukan mortar menurut SNI 03- 6820-2002 (2002: 172).....	11
Tabel 2.6.	Jenis- jenis kandungan dalam air dan dampak kandungan	12
Tabel 2.7.	Kandungan oksida yang terdapat dalam fly ash.....	26
Tabel 2.9.	Aplikasi- aplikasi material geopolimer berdasarkan rasio Si : Al.....	30
Tabel 4.1.	Komposisi mortar geopolimer parameter konsentrasi NaOH (Djwantoro Hardjito,2008)	33
Tabel 4.2.	Komposisi mortar geopolimer parameter rasio larutan (Djwantoro Hardjito,2008)	34
Tabel 4.3.	Komposisi mortar geopolimer parameter stabilitas suhu tinggi (Djwantoro Hardjito,2008).....	35
Tabel 4.4.	Komposisi mortar geopolimer parameter <i>setting time</i> (Djwantoro Hardjito,2008)	35
Tabel 4.5.	Komposisi mortar (S. Songpiriyakij)	37
Tabel 4.6.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe C (Sandykosnatha,2007)	40
Tabel 4.7.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Sandykosnatha,2007)	41
Tabel 4.8.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe C (Sanjaya&Yuwono,2006).....	46
Tabel 4.9.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F parameter Na ₂ O/ Al ₂ O ₃ (Ravinda N.,2009)	50
Tabel 4.10.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F parameter SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ravinda N.,2009).....	51
Tabel 4.11.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F parameter alkali : <i>Fly Ash</i> (Ravinda N.,2009).....	53
Tabel 4.12.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F parameter pasir : <i>Fly Ash</i> (Ravinda N.,2009).....	54
Tabel 4.13.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F parameter suhu <i>curing</i> (Ravinda N.,2009).....	56
Tabel 4.14.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F parameter waktu <i>curing</i> (Ravinda N.,2009).....	57
Tabel 4.15.	Komposisi mortar geopolimer parameter konsentrasi NaOH (Djwantoro Hardjito, July 2008)	58
Tabel 4.16.	Komposisi mortar geopolimer parameter alkali : <i>Fly Ash</i> (Djwantoro Hardjito,July 2008).....	60
Tabel 4.17.	Komposisi mortar geopolimer parameter suhu <i>curing</i> (Djwantoro Hardjito,July 2008).....	62
Tabel 4.18.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe C & NaOH 8M (Sandykosnatha,2007).....	64
Tabel 4.19.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe C & NaOH 8M (Sanjaya &Yuwono,2006).....	64
Tabel 4.20.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F	

	& perbedaan molaritas NaOH (Sandykosnatha,2007)	65
Tabel 4.21.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F & perbedaan molaritas NaOH (Sandykosnatha,2007)	66
Tabel 4.22.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe C & perbedaan molaritas NaOH (Sandykosnatha,2007)	66
Tabel 4.23.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe C & perbedaan molaritas NaOH (Sandjaya&Yuwono,2006)	66
Tabel 4.24.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F & NaOH 14M (Djwantoro,2008)	67
Tabel 4.25.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F & NaOH 14M (S. Songpiriyakij).....	67
Tabel 4.26.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Djwantoro,2008).....	68
Tabel 4.27.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Djwantoro,July 2008).....	68
Tabel 4.28.	Komposisi mortar <i>Fly Ash</i> tipe F (Sandykosnatha, 2007)	69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang masalah

Sejauh ini kita kenal beton sebagai material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama batuan (agregat), air, dan semen Portland (biasa disebut semen saja). Beton sangat populer dan digunakan secara luas, diantaranya karena bahan pembuatnya mudah didapati secara lokal, harganya relatif murah, dan teknologi pembuatannya relatif sederhana.

Akhir-akhir ini, perkembangan industri semakin sering disorot, khususnya oleh para pecinta lingkungan. Hal ini disebabkan oleh perubahan iklim akibat pemanasan global. Pemanasan global disebabkan oleh emisi gas karbondioksida ke atmosfer oleh aktivitas manusia, sebagai komponen terbesar gas rumah kaca yang memberikan kontribusi sekitar 65% dari pemanasan global (McCaffery, 2002). Emisi gas karbondioksida dihasilkan dari proses kalsinasi kapur, pembakaran batu bara, dan pembuatan semen, dan lain-lain. Isu lingkungan ini tampaknya akan memainkan peran penting dalam kaitan dengan isu pembangunan berkelanjutan di masa mendatang.

Dalam produksi satu ton semen Portland, akan dihasilkan kurang lebih sekitar satu ton gas karbondioksida yang dilepaskan ke atmosfer (Davidovits, 1994; McCaffery, 2002). Dari data tahun 1995, jumlah produksi semen di dunia tercatat 1,5 miliar ton, hal ini berarti industri semen melepaskan karbondioksida sejumlah 1,5 miliar ton ke alam bebas dan diperkirakan menjadi 2.2 miliar ton pada 2010 (Malhotra, 1999).

Merujuk pada besarnya sumbangan industri semen terhadap total emisi karbon dioksida, diperlukan upaya untuk dapat menekan angka produksi gas yang mencemari lingkungan ini. Tampaknya perbaikan teknologi produksi semen tidak terlalu dapat diharapkan dapat menekan produksi karbon dioksida secara signifikan. Penggantian sejumlah bagian semen dalam proses pembuatan beton,

atau secara total menggantikannya dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan, menjadi pilihan yang lebih menjanjikan.

Davidovits (1988) memberi nama material temuannya geopolimer, karena merupakan sintesa bahan - bahan alam nonorganik yang banyak mengandung unsur- unsur silikon dan aluminium melalui proses polimerisasi. Bahan- bahan ini banyak didapati diantaranya pada material buangan hasil sampingan industri, seperti misalnya abu terbang (*Fly Ash*) dari sisa pembakaran batu bara. Selama ini, *Fly Ash* disebut demikian karena kecilnya ukuran partikel dan karena mudah beterbangan di udara sehingga lebih banyak tidak dimanfaatkan dengan semestinya ataupun dipakai hanya sebagai bahan timbunan. Penimbunan yang sembarangan akan berpotensi mengancam kelestarian lingkungan, selain mudah beterbangan dan mengotori udara, partikel- partikel logam berat yang dikandungnya dengan mudah larut dan mencemari sumber- sumber air.

Geopolimer dikatakan ramah lingkungan, karena selain dapat menggunakan bahan - bahan buangan industri, proses pembuatan beton geopolimer tidak memerlukan energi, tidak seperti halnya proses pembuatan semen yang memerlukan suhu hingga 800 derajat celcius. Dengan pemanasan lebih kurang 90 derajat celcius selama satu hari penuh sudah dapat dihasilkan beton yang berkekuatan tinggi.

Fly Ash sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Untuk melarutkan unsur- unsur silikon dan aluminium yang ada di dalam *Fly Ash*, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, diperlukan larutan yang bersifat alkalis (natrium silikat dan natrium hidroksida). Material geopolimer ini digabungkan dengan batuan (agregat) kemudian menghasilkan beton geopolimer, tanpa menggunakan semen lagi.

Penelitian dengan menggunakan *Fly Ash* sebagai bahan dasar beton, ternyata kekuatan yang dihasilkan dapat mencapai mutu tinggi, yaitu diatas K-500 (Hardjito, Djuwantoro, et. Al, 2004). Untuk memperoleh komposisi campuran yang dapat menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang tinggi, maka

diperlukan *trial mix* dengan menggunakan mortar geopolimer untuk mencari pengaruh dari setiap parameter terhadap kuat tekan beton geopolimer.

1.2 Perumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam studi literatur ini meliputi :

1. Bagaimana pengaruh dari setiap parameter terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*?
2. Bagaimana karakteristik mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari studi literatur ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh dari setiap parameter terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.
2. Untuk menentukan karakteristik mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.

1.4 Manfaat

Manfaat dari studi literatur ini adalah :

1. Memberikan gambaran pengaruh dari setiap parameter terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.
2. Memberikan gambaran karakteristik mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.

1.5 Ruang lingkup

Ruang lingkup studi literatur ini adalah menelaah komposisi dan karakteristik mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* secara kimiawi yaitu melalui reaksi unsur- unsur penyusunnya dan metode perawatan yang digunakan.

1.6 Sistematika

Laporan dari hasil studi literatur ini terbagi dalam 5 bab, dimana isi dari masing- masing bab saling berkaitan, sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, dan ruang lingkup studi literatur.

Bab II : Landasan Teori

Berisi uraian teori- teori yang menunjang studi literatur yang mencakup pengertian dan karakteristik dari mortar, material- material utama penyusun mortar seperti semen, agregat halus, air, dan material geopolimer seperti *Fly Ash*, natrium silikat, natrium hidroksida.

BAB III : Metodologi Studi

Berisi uraian tentang metodologi studi yang meliputi penjelasan mengenai langkah-langkah studi yang akan digunakan.

BAB IV : Studi Literatur

Berisi uraian dan analisis dari jurnal – jurnal berkaitan dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*. Hasil analisis dari setiap parameter yang disajikan akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik agar lebih mudah dimengerti.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan hasil studi literatur, yang ditarik dari hasil analisis studi literatur pada bab sebelumnya, serta saran yang diharapkan dapat memberikan masukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 MORTAR^[1]

Menurut SNI 03-4817-1998, mortar adalah campuran yang terdiri dari semen, agregat halus, dan air. Semen berfungsi sebagai pengikat antar material (*adhesive*). Namun selain sebagai pengikat, semen juga memberikan sumbangan kekuatan, apabila material ini tidak hadir maka mortar tersebut tidak akan memiliki kekuatan sama sekali. Mortar merupakan campuran yang mengikat agregat kasar sehingga menghasilkan beton yang padat dan kuat. Penggunaan mortar biasanya dalam pekerjaan pasangan bata tetapi juga dapat diaplikasikan pada hal lain seperti pembuatan conblok, genteng beton atau panel-panel, beton untuk dinding dan lantai.

Sejarah mortar

Sebelum mengenal beton seperti sekarang, ribuan tahun yang lalu, pada tahun 12000 sampai 6000 sebelum Masehi pertama kali digunakan *lime* mortar di Cyprus, Yunani, dan Timur Tengah. Pengetahuan tertua tentang mortar ditemukan di Timur Tengah pada tahun 5600 sebelum Masehi. Pada abad ke-26 sebelum Masehi, Bangsa Mesir telah menggunakan campuran jerami dengan gypsum, dan semen kapur sebagai pengikat batu kering untuk membangun konstruksi Piramida.

Pada awal abad ke-19 merupakan awal penggunaan mortar secara lebih intensif (G. Nawy, 1998). Pada tahun 1824, Joseph Aspdin melakukan suatu eksperimen dimana menghasilkan kesimpulan bahwa semen yang terbuat dari batu kapur (*limestone*) dengan kandungan tanah liat akan mengalami proses pengerasan apabila dicampurkan dengan air. Semen inilah yang kemudian dikenal dengan *Portland Cement* (PC) sebagai material penyusun beton normal sekarang ini.

2.1.1 Material penyusun mortar

Berdasarkan material penyusunnya, mortar terdiri dari semen, agregat halus, air, dan bila perlu ditambahkan *additive & admixture*. Setiap material penyusun mortar memberikan kontribusi yang penting pada performa mortar.

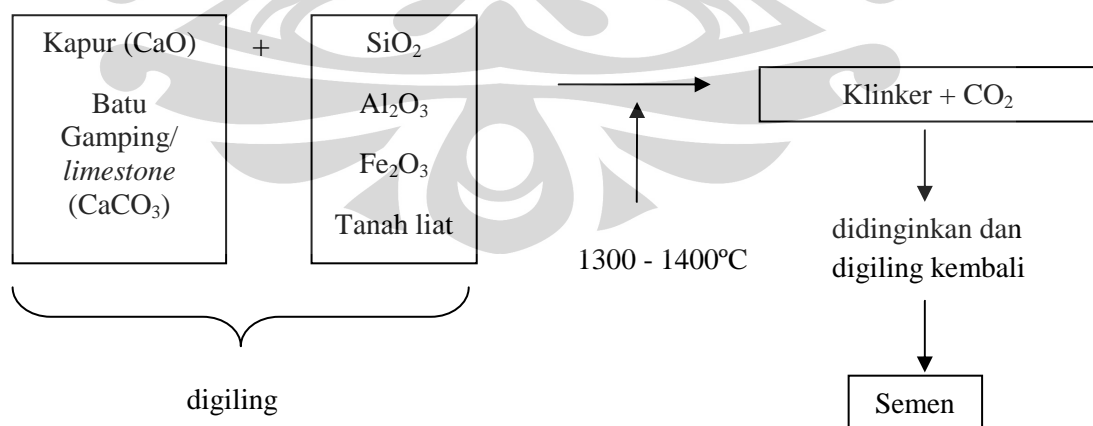
2.1.1.1 Semen Portland

Semen Portland ditemukan tahun 1824 oleh Joseph Aspdin. Semen Portland (PC) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat – silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (SNI 15- 2049- 1994). Oksida pembentuk semen Portland adalah :

Tabel 2.1. Oksida pembentuk semen Portland

Oksida	Rumus kimia	Persen dari berat (%)
kapur	CaO	60- 67
Silika	SiO ₂	17- 25
Alumina	Al ₂ O ₃	3- 8
Besi	Fe ₂ O ₃	0.5- 6.0
Magnesia	MgO	0.1- 5.5
Alkali	Na ₂ O + K ₂ O	0.5- 1.3
Titania	TiO ₂	0.1- 0.4
Fosforus Pentaoksida	P ₂ O ₅	0.1- 0.2
Sulfur	SO ₃	1- 3

Proses Pembuatan semen :



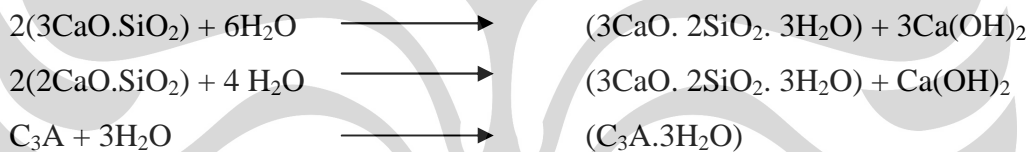
Gambar 2.1. Proses pembuatan semen

Semen adalah hidraulik binder (perekat hidraulik), artinya senyawa - senyawa di dalam semen dapat bereaksi dengan air (hidrasi) membentuk zat baru yang dapat mengikat benda - benda padat lainnya membentuk satu kesatuan masa yang kompak, padat, dan keras (Banerjea, 1980). Hidrasi senyawa semen bersifat eksotermal (mengeluarkan panas). Panas hidrasi adalah jumlah panas (dalam Joule) per gram semen yang belum terhidrasi, yang dikeluarkan sampai terjadi hidrasi yang komplit pada temperatur tertentu. Jumlah air yang dibutuhkan agar terjadi reaksi hidrasi :

Tabel 2.2. Rasio air terhadap senyawa kimia semen

Senyawa kimia	Persen dari berat semen (%)
C3S	24
C2S	21
C3A	40

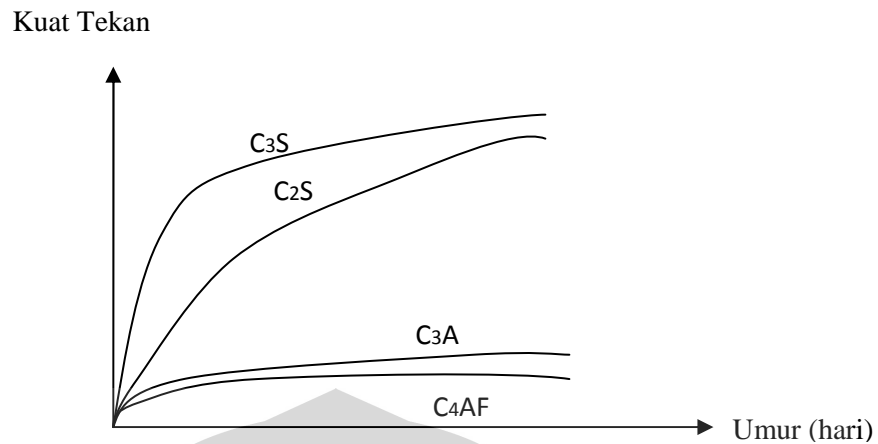
Rumus proses kimia untuk reaksi hidrasi C_3S , C_2S , dan C_3A :



Hasil utama dari proses diatas ialah $(3CaO.2SiO_2. 3H_2O)$ atau $C_3S_2H_3$ disebut “**Tobermorite**” yang berbentuk gel. Sedangkan $Ca(OH)_2$ yang dihasilkan bersifat porous dan reaktif terhadap sulfat, sehingga dapat menurunkan durabilitas beton, seperti pengembangan volume, dan keretakan. Untuk mereduksi $Ca(OH)_2$ maka dapat dilakukan penambahan mineral yang mengandung silikat dioksida sangat tinggi sehingga akan menambah jumlah gel $C_3S_2H_3$ yang dihasilkan



Berikut adalah grafik hubungan antara umur dengan kuat tekan beton terkait dengan senyawa kimia yang bereaksi dengan air :



Gambar 2.2. Grafik hubungan antara umur dengan kuat tekan beton

Grafik diatas menggambarkan bahwa senyawa kimia C_3S akan memberikan sumbangan terhadap kekuatan awal dan akhir beton. Senyawa kimia C_2S akan memberikan sumbangan terhadap kekuatan akhir beton. Sedangkan, senyawa C_3A dan C_4F tidak terlalu memberikan sumbangan pada kekuatan awal dan akhir beton. Berikut adalah tabel senyawa kimia yang terbentuk dalam proses pembuatan semen dan karakteristik senyawa kimia tersebut bila bereaksi dengan air :

Tabel 2.3. Sifat dari hasil reaksi kimia senyawa semen

Reaksi kimia	Hasil reaksi kimia	Senyawa kimia yang dihasilkan	Karakteristik senyawa kimia akibat bereaksi dengan air
$CaO + SiO_2$	$3CaO.SiO_2$	C_3S (trikalsium silikat)	<ul style="list-style-type: none"> - Bersifat perekat - Mengeras dengan cepat sebelum mencapai umur 14 hari - Menimbulkan panas hidrasi sedang
$CaO + SiO_2$	$2CaO.SiO_2$	C_2S (dikalsium silikat)	<ul style="list-style-type: none"> - Bersifat perekat - Mengeras dengan lambat setelah berumur lebih dari 7 hari - Menimbulkan panas hidrasi yang rendah - Memberikan kekuatan akhir - Mengurangi besar susutan pengeringan semen - Membuat semen tahan terhadap serangan kimia (Chemical Attack)
$CaO + Al_2O_3$	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A (trikalsium aluminat)	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak mempunyai sifat perekat - Menimbulkan panas hidrasi yang tinggi - Mengeras dengan cepat sebelum 7 hari - Sebagai penurun temperatur pembakaran pada klinker - kekuatan ada setelah 24 jam
$CaO + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF (tetrakalsium aluminoforit)	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak mempunyai sifat perekat - Jumlah sedikit - Menimbulkan panas hidrasi yang sedang - Berpengaruh terhadap warna semen

Jenis- jenis Semen Portland

Ada berbagai jenis semen berdasarkan perbedaan komposisinya menurut ASTM C- 150 :

Tabel 2.4. Jenis- jenis Semen Portland menurut ASTM C- 150

Type –type semen	Kandungan senyawa	Sifat semen bila bereaksi dengan air	Penggunaan
Type- I (<i>ordinary Portland cement</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - C₂S : 48- 52% - C₃A : 10 -15% 	Tidak berpengaruh pada panas hidrasi dan sulfat dari lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> - Trotoar jalan - Rumah - Jembatan kecil - Struktur rel kereta api - Got atau saluran air
Type- II (<i>moderate heat cement</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - C₃A : 8% - C₃S : 40- 45% 	<ul style="list-style-type: none"> - Menimbulkan panas hidrasi sedang - Tahan sulfat (tahan asam) 	<ul style="list-style-type: none"> - Dermaga - Pangkal jembatan (<i>abutment</i>) - Bangunan dinding penahan (<i>retaining wall</i>)
Type- III (<i>high early strength cement</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - C₃S : > 55% - C₃A : > 12% 	<ul style="list-style-type: none"> - Cepat mengeras - Menimbulkan panas hidrasi rendah 	Pembangunan bangunan di daerah bertemperatur rendah
Type IV (<i>low heat cement</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - C₃A : 7% - C₃S : 35% - C₂S : 40- 50% 	<ul style="list-style-type: none"> - Menimbulkan panas hidrasi rendah - Mencegah peningkatan temperatur yang berlebihan (keretakan) 	Pembangunan dam /bendungan
Type- V (<i>sulfate resistance cement</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - C₃A : 5% 	Tahan sulfat (tahan asam)	<ul style="list-style-type: none"> - Pembangunan reaktor nuklir - Pembangunan bangunan lepas pantai

Campuran semen Portland

Beberapa macam campuran semen diantaranya :

1. PCC (*Portland Composite Cement*)

PCC merupakan semen ramah lingkungan. PCC adalah variasi produk semen Portland I yang dicampur dengan bahan - bahan aditif bersifat *cementitious* (SNI 15-7064-2004). Bahan - bahan aditif diantaranya *Fly Ash* dan bahan - bahan bersifat *cementitious* (dalam jumlah yang lebih kecil). Perbandingan semen Portland : bahan- bahan aditif bersifat *cementitious* = 4 : 1. Sifat semen PCC antara lain tahan terhadap korosi sulfat, memiliki panas hidrasi yang rendah, dan memiliki kuat awal yang rendah.

2. PPC (Portland *Pozzolan Cement*)

PPC adalah variasi semen Portland dengan pozzolan. Sifat semen PPC antara lain tahan terhadap korosi sulfat, memiliki panas hidrasi yang rendah, memiliki kuat awal yang rendah. Penggunaan semen PCC biasanya dalam pembangunan dam dan bendungan.

2.1.1.2 Agregat Halus (*fine aggregate*)

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm. Pasir dapat dibedakan lagi menjadi :

- Pasir halus : diameter 0 - 1 mm atau tertahan saringan no.200
- Pasir kasar : Diameter 1 - 5 mm atau lolos saringan no.4

Fungsi agregat halus adalah sebagai bahan pengisi, penahan susut, dan penambah kekuatan. Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus harus memenuhi :

a. Ukuran, bentuk, dan tekstur permukaan

- Agregat halus alami hasil disintegrasi batu alam
- Agregat halus hasil olahan diproses khusus sehingga bentuk dan ukuran sesuai dengan persyaratan pada gradasi agregat
- Agregat halus yang berbutir bulat dan berukuran seragam tidak boleh digunakan
- Agregat halus berbidang kasar, bersudut tajam

b. Material yang terkandung

- Partikel yang mudah pecah maksimum 1%
- Tidak mengandung zat organik
- Partikel ringan yang terapung pada cairan maksimum 0.5% dengan berat jenis 2.0
- Kadar lumpur maksimum 5%
- Bebas kotoran yang dapat merusak warna

c. Kandungan air

Berat jenis dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan kondisinya. Kondisi tersebut adalah kering (*oven dry*), kering permukaan (*saturated surface dry*), kering udara dan kondisi basah. Biasanya pada pekerjaan mortar digunakan berat jenis kering permukaan. Hal ini disebabkan karena pada saat pencampuran, pasta semen akan diserap masuk oleh permukaan agregat, namun karena bagian dalam agregat terisi air, maka penyerapan tidak berlebihan. Hal ini akan membuat ikatan antar agregat semakin kuat.

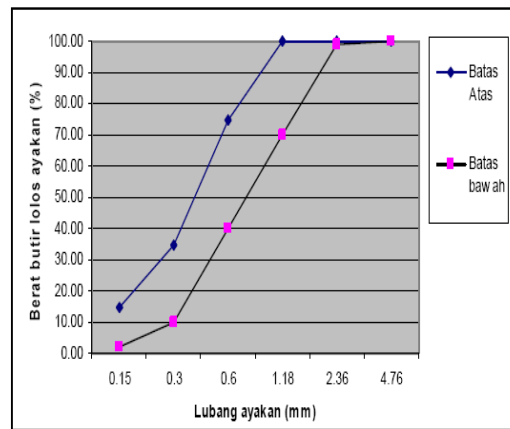


Gambar 2.3. Kandungan air agregat

d. Gradasi

Tabel 2.5. Gradasi agregat halus untuk adukan mortar menurut SNI 03-6820-2002 (2002: 172)

Saringan	Persen lolos Kumulatif	
	Pasir alam	Pasir olahan
No. 4 (4,76 mm)	100	100
No. 8 (2,36 mm)	99 – 100	95 – 100
No. 16 (1,18 mm)	70 – 100	70 – 100
No. 30 (0,6 mm)	40 – 75	40 – 75
No. 50 (0,3 mm)	10 – 35	20 – 40
No. 100 (0,15 mm)	2 – 15	10 – 25
No. 200 (0,075 mm)	0	0 – 10



Gambar 2.4. Grafik gradasi agregat halus untuk adukan menurut SNI 03-6820-2002

2.1.1.3 Air

Fungsi air dalam pembuatan mortar adalah untuk memungkinkan reaksi kimia sehingga terjadi pengikatan dan pengerasan. Kualitas air untuk mortar sangat penting untuk diperhatikan karena ketidakmurnian dalam air dapat menghambat proses pengerasan semen, dapat menimbulkan efek negatif terhadap kekuatan mortar, dan mengakibatkan noda - noda pada permukaan mortar. Berikut adalah beberapa jenis kandungan dalam air yang berdampak buruk terhadap kekuatan mortar :

Tabel 2.6. Jenis- jenis kandungan dalam air dan dampak kandungan

Kandungan dalam air	Dampak
Natrium dan Potasium yang tinggi	Menimbulkan bahaya reaksi alkali- agregat pada beton yang telah mengeras
Kadar garam yang tinggi	Menimbulkan resiko perkaratan tulangan
Peningkatan kandungan jamur	Meningkatkan jumlah udara dalam campuran Mereduksi kekuatan beton
Minyak dalam jumlah besar	Menghambat "setting time" Mengurangi kekuatan beton
Material Organik	Menghambat proses pengerasan beton

2.1.1.4 Additive, Amixtures, dan kandungan udara

Additive merupakan bahan yang ditambahkan pada semen pada tahap pembuatannya. Sedangkan *admixture* adalah bahan yang ditambahkan pada campuran mortar pada tahap pencampurannya. Hal ini dilakukan untuk mengubah beberapa sifat semen yang biasa digunakan. Bahan *admixture* ditambahkan kedalam *batch* sebelum, selama, atau setelah proses pencampuran.

Pada saat ini banyak jenis *admixture* yang telah berhasil dikembangkan untuk memperbaiki sifat- sifat mortar, baik dalam kondisi masih segar maupun dalam kondisi yang telah mengeras. Jenis *admixture* yang pada umumnya digunakan menurut ASTM C494-92 sebagai berikut :

a. Retarder

Retarder dapat memperlambat proses *setting* mortar tanpa mempengaruhi kekentalan campuran mortar. Biasanya dengan *admixture* ini proses pengerasan (*hardening*) juga diperlambat. Material *retarder* yang paling dikenal adalah kalsium klorida. Bahan-bahan kimia lain yang berfungsi sebagai retarder antara lain senyawa-senyawa garam seperti klorida, bromida, karbonat, silikat dan terkadang senyawa organik lainnya seperti trietanolamin. Dosis maksimum adalah 2% dari berat semen Portland.

b. Superplastizer

Superplasticizer adalah salah satu jenis bahan *admixture* yang dapat mengurangi secara signifikan kebutuhan air pencampur dengan tetap mempertahankan *workability* campuran. Bahan ini dapat mengurangi kebutuhan air sampai maksimum 15%. *Superplasticizer* digunakan untuk meningkatkan workabilitas campuran mortar yang diindikasikan dengan peningkatan nilai konsistensi. Terdapat tiga jenis *plastisizer*, yakni :

1. Kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%;
2. Sulfonat naphthalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan;
3. Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini dibuat dari sulfonat organik dan disebut *superplastisizer* karena dapat banyak mengurangi air pada campuran mortar sehingga konsistensi bertambah. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen Portland. Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan kuat tekan mortar yang rendah.

Kandungan udara di dalam mortar harus benar - benar dikontrol, karena jika jumlahnya terlalu sedikit akan menurunkan durabilitas dan workabilitas mortar, sedangkan jika jumlahnya terlalu banyak akan menghasilkan kuat tekan mortar yang rendah.

Rongga udara timbul pada saat terjadinya penguapan air secara perlahan-lahan dari campuran mortar. Rongga yang terdistribusi secara tidak merata akan mempengaruhi karakteristik mortar. Rongga - rongga yang terdistribusi secara merata akan memudahkan pengerjaan mortar, mengurangi kerapatannya, menambah keawetan, dan mengurangi jumlah pasir yang diperlukan dalam campuran. Kandungan udara optimum adalah 9% dari fraksi mortar dalam beton.

2.1.2 Karakteristik mortar

Berdasarkan ASTM C 270 Appendixes, mortar memiliki dua bentuk properti yang penting, yaitu mortar plastis dan mortar keras. Properti mortar plastis menentukan kemudahan pelaksanaan pengerjaan mortar, yang nantinya akan mempengaruhi properti mortar keras.

2.1.2.1 Mortar Plastis

1. *Workability*

Workability adalah sifat mudah dikerjakan. *Workability* ditentukan oleh gradasi agregat, proporsi material, konsentrasi udara, dan konsentrasi air. *Workability* dibagi menjadi tiga karakteristik yang umum digunakan, yaitu:

- a. *Consistency*. *Workability* tergantung dari karakter fisik dari campuran semen dan agregat.
- b. *Mobility*, peralatan untuk pencampuran (*mixing*), perpindahan tempat (*transporting*) dan pemadatan (*compacting*). *Workability* tergantung dari ukuran dan jarak dari perkerasan mortar.
- c. *Compactibility*, bentuk dari struktur yang menjadi beban. *Workability* tergantung dari porsi semen yang tinggi, jumlah material bermutu yang cukup, dan jumlah air yang tinggi.

2. Konsistensi Mortar (*flow*)

Konsistensi merupakan tolak ukur dari sifat kebasahan pada mortar (*fluidity*). Konsistensi ini sangat bergantung pada proporsi dan sifat - sifat dari campuran mortar. Konsistensi merupakan komponen penting dari *workability*. Konsistensi biasanya diukur dengan metode *Flow Test*. Hasil dari *flow test* ini juga digunakan untuk mengukur tingkat *workability* walaupun sebenarnya yang diukur disini hanya satu macam sifat yaitu konsistensi.

Pengujian konsistensi mortar biasanya menggunakan alat yang bernama *flow table* dengan diameter dasar *mold* 100 mm dan diameter atas 70 mm. *Mold* diletakkan di tengah - tengah *flow table* dan diisi dengan adukan mortar. Kemudian *mold* diangkat dan diukur diameter mortar, setelah plat datar pada *flow table* dijatuhkan bebas setinggi kurang lebih ½ inchi, sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik. Berdasarkan ASTM C 230 mortar yang sifat lecahnya baik memiliki *flow* 110% ± 5%.

3. *Water Retentivity*

Water Retentivity adalah rasio dalam persen dari *flow* awal dengan *flow* setelah penghisapan. Pada umumnya mortar membutuhkan *water retentivity* minimum 75%. *Water Retentivity* merupakan alat ukur kemampuan mortar dalam kondisi penghisapan air, untuk mempertahankan air adukan. *Water Retentivity* akan meningkatkan konsentrasi kapur atau air yang tinggi dengan penambahan gradasi pasir yang halus.

4. Karakteristik Kekakuan

Tingkat kekakuan mortar plastis berhubungan dengan karakteristik *setting* dari mortar, dapat dilihat dari kemampuannya menahan deformasi. *Setting* awal yang diukur untuk material semen menunjukkan tingkat hidrasi atau karakteristik *setting* dari pasta semen murni. Mortar yang cepat kaku sebelum digunakan akan berbahaya.

2.1.2.2 Mortar Keras

1. *Bond*

Bond adalah ukurandaya ikat mortar. *Bond* sulit untuk diprediksi dan ditetapkan nilainya karena banyak variabel yang mempengaruhi, sehingga sulit mencari satu set laboratorium yang dapat digunakan secara konsisten dan dapat mewakili untuk perencanaan di lapangan.

2. *Extensibility* dan *Plastic Flow*

Extensibility adalah regangan (penambahan panjang) maksimum akibat gaya tarik hingga hancur. Pada perbandingan semen dan pasir yang sama, mortar dengan kekuatan rendah dan modulus elastisitas yang rendah, menunjukkan *plastic flow* yang lebih besar daripada mortar dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, mortar dengan kekuatan lebih tinggi dari yang dibutuhkan tidak baik digunakan.

Sifat mekanis mortar keras adalah sebagai berikut :

1. Sifat jangka pendek

a. Kuat Tekan

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan mortar antara lain :

- *Jenis semen dan kualitasnya.*
- *Kualitas dari curing.* Perawatan (*curing*) terutama dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang disebabkan oleh suhu, kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time*, kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama, dan perbedaan suhu mortar dengan lingkungan yang terlalu besar.
- *Suhu ikat.* Pada umumnya suhu yang tinggi dapat *setting time* yang cepat.
- *Umur.* Pada keadaan normal, penambahan umur dapat meningkatkan kuat tekan mortar.

- *Faktor air semen (FAS)*. Semakin kecil nilai FAS maka jumlah airnya sedikit sehingga kuat tekan mortar akan semakin besar.
- Komposisi campuran.
- Kelecekan (*workability*).

b. Kuat Tarik

Kuat tarik adalah ukuran kuat mortar yang diakibatkan oleh suatu beban aksial yang menyebabkan tarik pada mortar. Uji kuat tarik dilakukan dengan membuat mortar dalam bentuk seperti angka delapan. Benda uji ini setelah keras kemudian ditarik dengan uji *cemen briquettes*. Kuat tarik mortar umumnya adalah sekitar seperdelapan kuat tekan pada waktu masih muda, dan berkisar seperduapuluh kuat tekan sesudahnya. Kuat tarik berperan penting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu.

Analisis tegangan pada benda uji tarik :

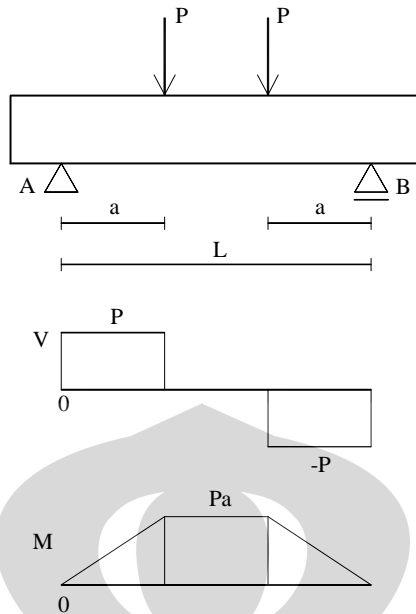
Kuat tarik dihitung dengan persamaan : $(f_{ct}) = \frac{F}{A} (Kg / mm^2)$

Dimana :

f_{ct}	=	Tegangan tarik (Kg/mm^2)
F	=	Gaya tarik (Kg)
A	=	Luas bidang tarik efektif (mm^2)

c. Kuat tarik lentur (*flexure/modulus of rupture*)

Kuat lentur (f_r) adalah ukuran kuat tarik mortar dalam keadaan lentur akibat momen. Kuat lentur berperan penting untuk menentukan retak-retak dan lendutan dari suatu balok yang dibebani. Pada umumnya, permulaan retak terjadi di daerah tarik (sebelah bawah) dan memiliki arah tegak lurus terhadap garis netral balok. Balok yang dibebani secara simetris dalam gambar 2.5 merupakan balok yang mengalami lentur murni (*pure bending*). Daerah tengah balok mengalami lentur murni karena gaya geser adalah nol dan momen lentur adalah konstan. Bagian-bagian balok di dekat ujung mengalami lentur tak seragam karena ada gaya geser dan momen lentur yang bervariasi.



Gambar 2.5. Balok Sederhana Dengan Lentur Murni

Analisis tegangan pada benda uji tarik lentur :

Tegangan Lentur dihitung dengan persamaan $(\sigma) = \frac{M}{W}$

Dimana: M = Momen lentur

$$W_{\text{konstan}} = \text{Modulus Penampang persegi panjang} = \frac{bh^2}{6}$$

2. Sifat jangka panjang

a. Rangkak (*creep*)

Struktur mortar berintensitas beban rendah akan menghasilkan deformasi dalam daerah elastis, tetapi lambat laun deformasi ini akan bertambah menurut lamanya pembebanan meskipun kondisi beban tersebut konstan. Gejala ini disebut rangkak (*creep*). Deformasi akibat rangkak dapat beberapa kali lebih besar daripada deformasi akibat pembebanan awal. Besar kecilnya rangkak ini tergantung baik pada kondisi material, misalnya rasio air – semen, jenis semen, jenis agregat, maupun pada kelembapan lingkungan, dimensi atau ukuran mortar, dan ada tidaknya aditif. Dalam kondisi lembap, dimana kehilangan air dalam mortar rendah, nilai rangkak juga akan rendah.

Adanya rangkai tidak terlalu mempengaruhi kekuatan elemen struktur, tetapi redistribusi tegangan elemen dan defleksi yang lebih besar dapat terjadi. Tegangan mortar akibat beda penurunan titik (*differential settlement*) dapat berkurang karena adanya rangkai. Sebenarnya gejala rangkai dan susut saling berkaitan (saling bergantung), tetapi untuk mempermudah perhitungan umumnya kedua gejala ini ditinjau secara terpisah sehingga dapat ditambahkan satu sama lain.

b. Susut (*shrinkage*)

Pada waktu proses hidrasi berlangsung, mortar melepaskan panas dan air, yang dapat diamati dengan naiknya suhu mortar tersebut, yang menyebabkan terjadinya susut (*shrinkage*). Susut dapat menyebabkan retak bila tidak dikendalikan dengan baik.

Faktor utama yang menentukan besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan mortar. Sedangkan faktor – faktor lain (misalnya: butir agregat, faktor air – semen, ukuran elemen mortar, kondisi lingkungan, tipe semen, serta ada tidaknya aditif) kurang menentukan. Beberapa pedoman yang dapat diambil adalah :

1. Susut akan rendah bila nilai konsistensi mortar rendah
2. Susut yang terjadi akan berkurang dengan meningkatnya kelembapan udara lingkungan (*ambient humidity*)
3. Susut akan berkurang bila tebal elemen mortar bertambah.

2.1.3 Tipe Mortar

Mortar dapat dibedakan menjadi 4 macam, yaitu :

- a. Mortar lumpur, dibuat dari campuran pasir, tanah liat/lumpur dan juga air.
- b. Mortar kapur, dibuat dari campuran pasir, kapur dan air.
- c. Mortar semen, dibuat dari campuran pasir, semen portland dan air dalam perbandingan yang tepat.

- d. Mortar khusus, dibuat dengan menambahkan bahan khusus pada mortar kapur dan mortar semen dengan tujuan tertentu misalnya dengan penambahan serat, bubuk batu api dan sebagainya.

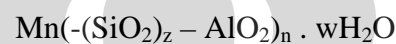
Berdasarkan kuat tekannya mortar pasangan bata dibedakan menjadi beberapa tipe sebagai berikut :

- a. Mortar type M.
Mortar dengan kuat tekan yang tinggi dipakai untuk tembok bata bertulang, tembok dekat tanah/ pasangan pondasi. Kuat tekan minimum 2500 psi atau $\pm 175 \text{ kg/cm}^2$.
- b. Mortar type S.
Mortar dengan kekuatan yang sedang, dipakai bila tidak disyaratkan menggunakan type M, tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya pengaruh gaya samping. Kuat tekan minimum 124 kg/cm^2 .
- c. Mortar type N.
Mortar dengan kuat tekan sedang, dipakai untuk aduk pasangan terbuka diatas tanah. Kuat tekan minimum $52,5 \text{ kg/cm}^2$.
- d. Mortar type O.
Mortar dengan kekuatan yang agak rendah, dipakai untuk konstruksi tembok yang tidak menahan beban tekan tidak lebih dari 7 kg/cm^2 dan gangguan cuaca tidak berat. Kuat tekan minimum $24,5 \text{ kg/cm}^2$.
- e. Mortar type K.
Mortar dengan kuat tekan rendah, dipakai untuk dinding terlindung dan tidak menahan beban, serta tidak ada persyaratan mengenai kekuatan. Kuat tekan minimum $5,25 \text{ kg/cm}^2$.

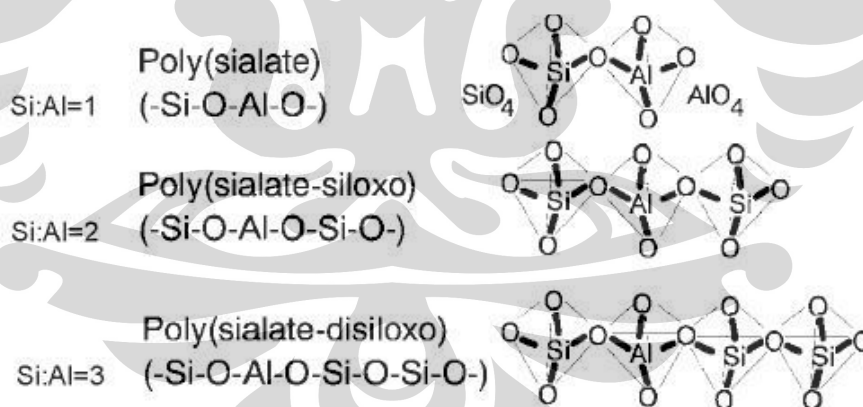
2.2 GEOPOLIMER

Istilah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978 untuk menggambarkan jenis pengikat material yang memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki mikrostruktur yang amorf.^[2] Davidovits juga menganjurkan penggunaan istilah “poly(sialate)” untuk geopolimer berbasis silika - aluminat; sialate adalah kependekan dari silikon – okso - aluminat (*silico-oxo - aluminate*).

Rumus empiris dari poly(sialate)^[3] adalah :



Dimana “z” adalah bilangan 1,2,3 sampai dengan 32; M adalah kation monovalen seperti kalium atau natrium, dan “n” adalah derajat polikondensasi. Davidovits juga membedakan tiga tipe polysialate yaitu tipe poly(sialate) (-Si-O-Al-O), tipe poly(sialate-siloxo) (-Si-O-Al-O-Si-O), dan tipe poly(sialate-disiloxo) (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O). Struktur dari polysialate - polysialate ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.6. Struktur kimia Polysialate^[2]

Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia dari alumina - silikat oksida (Si_2O_3 , Al_2O_3) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang disuplai oleh industri kimia atau bubuk silika halus sebagai produk sampingan dari proses

dibandingkan dengan ikatan batu alam. Banyak literatur tersedia tentang material ini sehubungan dengan pasta geopolimer.

Davidovits dan Sawyer (1985) menggunakan *ground blast furnace slag* untuk menghasilkan produk geopolimer. Mereka mematenkan produk mereka dengan didokumentasikan ke dalam jurnal ilmiah di AS dengan judul *Early High-Strength Mineral Polymer Was Used As A Supplementary Cementing Material In The Production Of Precast Concrete Products*. Sebagai produk tambahan, suatu mortar semen siap pakai, dimana hanya perlu tambahan campuran air untuk menghasilkan material yang tahan lama dan cepat mengeras. Produk tersebut dimanfaatkan pada renovasi airport baik untuk landasan pacu, landasan hubung, dan apron, pada pembangunan jalan raya dan geladak jembatan, dan untuk beberapa konstruksi ketika kekuatan awal beton yang besar sangat diperlukan.^[4]

Geopolimer telah digunakan pula untuk menggantikan polimer organik sebagai suatu zat adhesive untuk memperkuat struktur. Geopolimer ditemukan untuk menjadi material tahan api dan bersifat awet tahan lama di bawah sinar UV.^[5]

Van Jaarsveld, van Deventer, dan Schartzman (1999) melakukan eksperimen tentang geopolimer menggunakan dua jenis *Fly Ash*. Mereka menemukan bahwa kuat tekan geopolimer setelah 14 hari adalah sekitar 5 - 51 MPa. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan itu adalah saat proses pencampuran bahan dan komposisi kimia dari *Fly Ash*. Senyawa CaO yang lebih tinggi akan mengurangi porositas dari mikro-struktur, dan meningkatkan kuat tekan. Di samping itu, rasio perbandingan air : *Fly Ash* juga mempengaruhi kekuatan material. Jika rasio air : *Fly Ash* lebih sedikit, hal ini akan meningkatkan kekuatan tekan dari material.^[6]

Palomo, Grutzeck, dan Blanco (1999) mempelajari pengaruh temperatur, waktu dan rasio larutan alkali : *Fly Ash* pada kekuatan tekan material geopolimer. Dilaporkan bahwa faktor temperatur dan waktu perawatan mempengaruhi kekuatan tekan material geopolimer tersebut. Penggunaan larutan sodium hidroksida (NaOH) dan larutan sodium silikat (Na₂SiO₃) merupakan solusi dalam

menghasilkan kekuatan tekan yang paling tinggi. Kuat tekan dapat mencapai hingga 60 MPa jika di-*curing* pada suhu 85° C selama 5 jam.^[7]

Xu dan van Deventer (2000) meneliti proses geopolimerisasi dari 15 unsur alami Al-Si. Telah ditemukan bahwa mineral dengan tingkat disolusi yang tinggi akan menghasilkan kuat tekan lebih baik setelah proses polimerisasi. Persentase dari kalsium dioksida (CaO), kalium dioksida (K₂O), rasio molaritas Si-Al pada *Fly Ash*, jenis larutan alkali dan rasio molaritas Si/Al di dalam larutan alkali selama proses disolusi merupakan faktor – faktor penting yang mempengaruhi kuat tekan dari material geopolimer.^[8]

Swanepoel dan Strydom (2002) melakukan suatu penelitian tentang geopolimer yang diproduksi dengan pencampuran *Fly Ash*, kaolin, larutan natrium silikat, NaOH dan air. Kedua faktor waktu dan temperatur masa curing mempengaruhi kuat tekan tersebut, dan kekuatan optimum terjadi ketika material di-*curing* pada suhu 60° C selama 48 jam.^[9]

Van Jaarsveld, van Deventer dan Lukey (2002) mempelajari hubungan timbal balik dari berbagai parameter yang mempengaruhi kekuatan material geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*. Mereka melaporkan bahwa properti material geopolimer dipengaruhi oleh proses disolusi yang tidak sempurna. Jumlah air, waktu dan temperatur masa *curing* mempengaruhi properti material geopolimer, khususnya faktor temperatur saat di-*curing* mempengaruhi kuat tekan material tersebut. Ketika benda uji di-*curing* pada suhu 70° C selama 24 jam, terjadi suatu peningkatan kuat tekan. *Curing* untuk suatu periode yang lebih lama justru mengurangi kuat tekan material.^[10]

Palomo et. al (2004) menyelidiki karakteristik mekanis dari beton geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*. Ditemukan bahwa karakteristik material kebanyakan ditentukan oleh metode *curing*, terutama faktor waktu dan temperature masa *curing*.

2.2.1 Material penyusun beton geopolimer^[3]

Bahan penyusun geopolimer adalah prekursor dan aktivator, kedua bahan tersebut akan bersintesa membentuk material padat melalui proses disolusi dan proses polikondensasi.

2.2.1.1 Prekursor

Bahan mentah (*raw materials*) atau prekursor, yang digunakan untuk membentuk geopolimer dapat berupa mineral aluminosilikat alami seperti lempung atau limbah industri. Tanah lempung perlu dikalsinasi (*calcined*) pada suhu sekitar 650⁰c sebagai pengolahan awal untuk sintesis geopolimer. Limbah industri yang memiliki banyak kandungan alumina dan silika dapat digunakan sebagai prekursor.

Limbah industri yang termasuk ke dalam klasifikasi ini diantaranya adalah *blast Furnace slag*, abu terbang (*Fly Ash*), serbuk granit dan lumpur merah (*red mud*). Dengan menggunakan proses rekayasa, bahan mentah aluminosilikat dapat disintesis menjadi geopolimer. Berikut adalah sifat fisik dari *Fly Ash* (*ACI Manual of Concrete Practise 1993 Parts 1 226. 3R-6*) :

- a. *Spesific Gravity* : 2.2 – 2.8
- b. Ukuran : ϕ 1 mikron - ϕ 1 mm, dengan kehalusan 70% - 80% melewati saringan no. 200 (75 mikron)
- c. Kehalusan :

% tertahan ayakan 0.075 mm	3.5
% tertahan ayakan 0.045 mm	19.3
% sampai ke dasar	77.22

Fly Ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu (*ASTM C 618*) :

1. Kelas C

- *Fly Ash* yang mengandung CaO di atas 10%-30% dan C kurang dari 2%.
- Dihasilkan dari pembakaran lignite atau batu bara dengan kadar carbon \pm 60% atau sub bitumen.

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%.
- Kadar Na_2O mencapai 10%.
- Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15%-40% dari total berat binder.

2. Kelas F

- *Fly Ash* yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% dan C kurang dari 5%.
- Dihasilkan dari pembakaran anthrachacite atau bitumen batu bara.
- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%.
- Kadar Na_2O < 5%.
- Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15%-25% dari total berat binder.
- Memiliki sifat pozzolan

3. Kelas N

- Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik, dimana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran.
- Mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Berikut adalah kandungan oksida yang terdapat dalam *Fly Ash C* dan *Fly Ash F* menurut ASTM C618- 93 :

Tabel 2.7. Kandungan oksida yang terdapat dalam *Fly Ash*

Oksida	<i>Fly Ash C</i>	<i>Fly Ash F</i>
SiO_2	46.39	54
Al_2O_3	20.08	29.12
Fe_2O_3	13.32	9.81
CaO	13.07	1.33
SO_3	2.16	0.65
MgO	1.09	0.81
Mn_2O_3	0.15	0.04
Cr_2O_3	0.01	-
Na_2O	0.17	< 0.01
K_2O	0.77	0.96
TiO_2	1.64	1.35
P_2O_5	1.03	0.16

2.2.1.2 Larutan Alkali

Aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi monomer alumina dan silika. Alkali sebagai aktivator akan melarutkan (disolusi) prekursor ke dalam monomer (SiO_4) dan (AlO_4). Selama proses curing monomer (SiO_4) dan (AlO_4) terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi yang berikatan silang. Ion alkali juga bertindak sebagai penetral muatan untuk tiap molekul tetrahedron alumina (AlO_4).

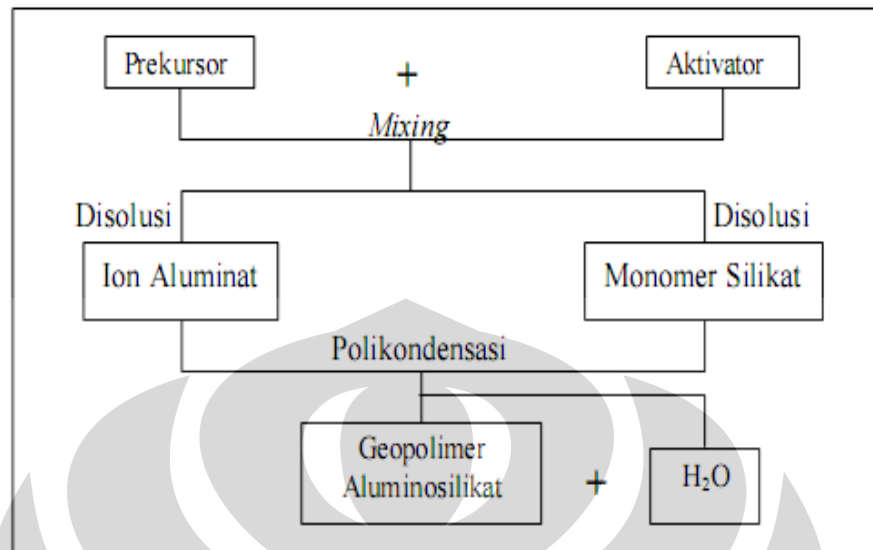
Larutan natrium silikat adalah aktivator yang secara umum digunakan karena mudah didapat dan ekonomis. Natrium silikat menyediakan kation berikatan valensi satu (Na^+) sebagai aktivator dimana ion resiprokal - nya (Si^{4+}) adalah komposisi utama geopolimer. Natrium silikat yang terlarut dalam air, menyediakan lingkungan reaksi cairan padatan yang ideal untuk pelarutan material prekursor. Larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) berfungsi untuk mempercepat reaksi polimer. Campuran antara *Fly ash* dan natrium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur. Larutan natrium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk menambah ion (Na^+) pada proses polimerisasi. Campuran *Fly Ash* dan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan.

2.2.2 Proses Polimerisasi

Sintesa geopolimer aluminosilikat membutuhkan dua konstituen utama dalam reaksi pencampuran, yaitu prekursor yang kaya akan kandungan Al dan Si dan larutan alkali aktivator. Reaksi kimia yang terjadi pada proses polimerisasi terbagi dalam 2 tahapan.^[8] Ketiga tahap di bawah ini dapat saling bergantian dan terjadi bersamaan, membuat ini menjadi sulit ditelaah secara terpisah.^[7] 2 tahap proses polimerisasi tersebut adalah :

1. Disolusi SiO_2 dan Al_2O_3 dari geopolimer aluminosilikat oleh ion hidroksida, untuk membentuk monomer aluminat dan silikat.

Polimerisasi akan menghasilkan geopolimer dengan hasil sampingan H₂O



Gambar 2.8. Proses Polikondensasi^[3]

2.2.3 Aplikasi geopolimer

Menurut Davidovits, geopolimer dapat diaplikasikan pada berbagai lapangan industri seperti automobil, *aerospace*, metalurgi dan pengecoran bukan besi, teknik sipil dan industri plastik. Tipe dari aplikasi material-material geopolimer ditentukan oleh struktur kimia dalam hal ini adalah rasio atom Si : Al dalam *polysialate*. Rasio Si : Al yang rendah seperti 1,2, dan 3 menginisiasi jaringan 3D yang sangat kaku. Sementara rasio Si:Al yang lebih besar dari 15 menghasilkan karakter polimer dari material geopolimer tersebut. Kebanyakan aplikasi geopolimer pada bidang teknik sipil cocok pada rasio Si: Al yang rendah.

Satu dari bidang yang potensial dari aplikasi material geopolimer adalah pada manajemen limbah beracun karena geopolimer berperilaku seperti material zeolit yang dikenal baik akan kemampuannya untuk menyerap limbah kimia beracun. Comrie dan rekan-rekan juga memberikan gambaran dan hasil pengujian yang relevan dari potensi penggunaan teknologi geopolimer dalam manajemen limbah beracun. Berdasarkan pengujian menggunakan GEOPOLYMITE 5.0, mereka merekomendasikan geopolimer dapat digunakan dalam proses penyimpanan limbah beracun. GEOPOLYMITE 5.0 adalah merek dagang dari

cordi- Geopolymere SA, sebuah tipe pengikat geopolimer yang dibuat dari berbagai macam *alumina silicate precondensate* dengan *alkali hardener*.

Tabel. 2.8. Aplikasi- aplikasi Material Geopolimer berdasarkan rasio Si: Al

Si:Al ratio	Applications
1	<ul style="list-style-type: none"> - Bricks - Ceramics - Fire protection
2	<ul style="list-style-type: none"> - Low CO₂ cements and concretes - Radioactive and toxic waste encapsulation
3	<ul style="list-style-type: none"> - Fire protection fibre glass composite - Foundry equipments - Heat resistant composites, 200°C to 1000°C - Tooling for aeronautics titanium process
>3	<ul style="list-style-type: none"> - Sealants for industry, 200°C to 600°C - Tooling for aeronautics SPF aluminium
20 - 35	<ul style="list-style-type: none"> - Fire resistant and heat resistant fibre composites



BAB III

METODOLOGI STUDI

3.1 Umum

Metodologi studi yang digunakan adalah studi literatur. Langkah - langkah studi yang digunakan adalah pertama mengumpulkan literatur berupa jurnal – jurnal penelitian yang terkait dengan studi mortar geopolimer. Selanjutnya, melakukan studi literatur terhadap jurnal – jurnal penelitian yang ada. Kemudian, mengelompokkan dan menganalisis parameter yang mempengaruhi. Hasil pembahasan atau analisis dari setiap parameter yang disajikan akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik agar lebih mudah dimengerti, sehingga dapat ditarik kesimpulan dari hasil studi literatur.



Gambar 3.1. Langkah- langkah studi

BAB IV

STUDI LITERATUR

4.1 Studi jurnal yang ada

4.1.1 Strength and thermal stability of *Fly Ash* based geopolymer mortar

2008

Djwantoro Hardjito- Senior Lecturer; M.Z. Tsen- Student
Curtin University of Technology, Malaysia. E-mail: djwantoro.h@curtin.edu.my

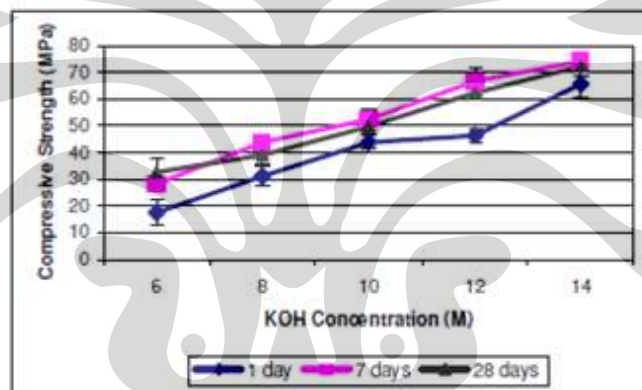
Jurnal ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium) dari Kuching, Sarawak, Malaysia dengan campuran larutan kalium hidroksida (KOH) dan larutan kalium silikat (K_2SiO_3) sebagai alkali aktivator. Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer dari berbagai parameter antara lain konsentrasi kalium hidroksida, rasio larutan, stabilitas pada suhu yang tinggi, dan *setting time*. Proses *curing* mortar geopolimer menggunakan oven dengan suhu $60^{\circ}C$ selama 24 jam. Pasir yang digunakan berasal dari Miri, Sarawak, Malaysia dengan modulus kehalusan (*fm*) adalah 1.48. Rasio Pasir dan *Fly Ash* adalah 2.75. Rasio alkali dan *Fly Ash* adalah 0.3. Pengujian dilakukan pada umur 1 hari, 7 hari, dan 28 hari mortar geopolimer (kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm).

a. Parameter konsentrasi larutan kalium hidroksida (molaritas)

Konsentrasi KOH mempengaruhi percepatan dalam proses geopolimerisasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi KOH yang tinggi dapat mempercepat proses geopolimerisasi sehingga dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Alonso dan Palomo (2001) dengan mortar geopolimer berbahan dasar metakaolin murni (57% SiO_2 , 41.5% Al_2O_3). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi KOH $> 10M$ dapat memperlambat pembentukan polimer alkali. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan jenis sumber material dan proporsi campuran.

Tabel 4.1. Komposisi mortar geopolimer parameter konsentrasi KOH
(Djwantoro Hardjito,2008)

No.	Prekursor	KOH	KOH : K_2SiO_3	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Alkali : Fly Ash	Pasir : Fly Ash	Kuat tekan (MPa)		
								Umur mortar (hari)		
								1	7	28
1	Fly Ash F	6 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	18	30	32
2	Fly Ash F	8 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	30	42	38
3	Fly Ash F	10 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	42	50	48
4	Fly Ash F	12 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	46	66	60
5	Fly Ash F	14 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	65	72	70



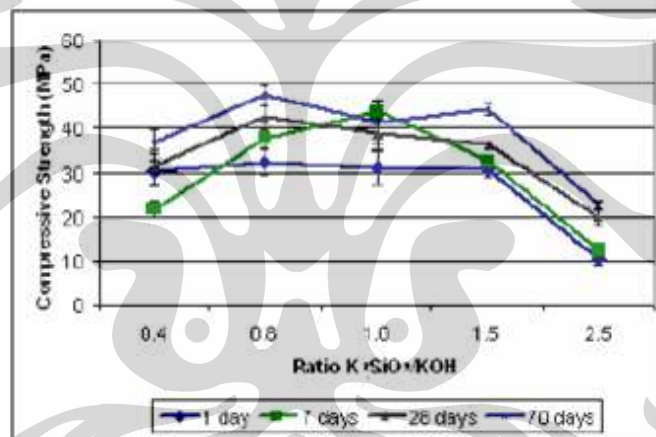
Gambar 4.1. Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar
(Djwantoro Hardjito,2008)

b. Parameter rasio larutan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio larutan K_2SiO_3 dan larutan KOH adalah 0.8 – 1.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer.

Tabel 4.2. Komposisi mortar geopolimer parameter rasio larutan
(Djwantoro Hardjito,2008)

No.	Prekursor	KOH	KOH : K_2SiO_3	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Alkali : Fly Ash	Pasir : Fly Ash	Kuat tekan (MPa)		
								Umur mortar (hari)		
								1	7	28
1	Fly Ash F	8 M	5: 2	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	30	22	30
2	Fly Ash F	8 M	5: 4	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	32	48	42
3	Fly Ash F	8 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	31	42	38
4	Fly Ash F	8 M	2: 3	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	30	32	35
5	Fly Ash F	8 M	2: 5	60 ⁰ c	24	3:10	11:4	10	12	20



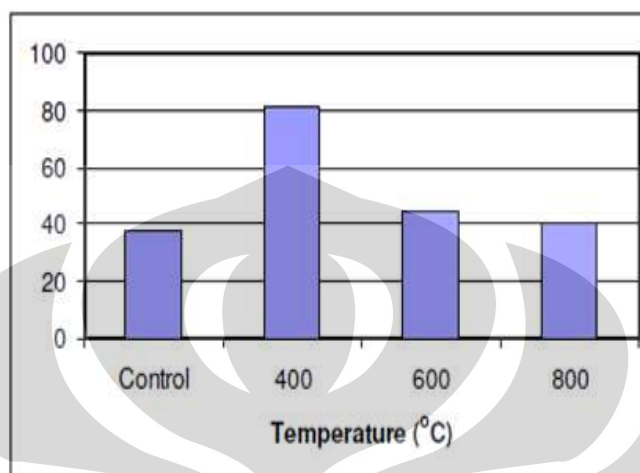
Gambar 4.2. Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar
(Djwantoro Hardjito,2008)

c. Parameter stabilitas mortar geopolimer pada suhu yang tinggi

Pada umur 7 hari mortar geopolimer didiamkan pada tungku api selama 3 jam pada suhu 400⁰ C, 600⁰ C, 800⁰ C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada suhu 400⁰ C dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Hasil penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Cheng dan Chiu. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 400⁰C dapat menghasilkan dua kali lipat kuat tekan mortar geopolimer dari kuat tekan mortar kontrol setelah didiamkan pada tungku api selama 3 jam.

Tabel 4.3. Komposisi mortar geopolimer parameter stabilitas suhu tinggi (Djwantoro Hardjito,2008)

Prekursor	KOH	KOH : K_2SiO_3	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>
<i>Fly Ash F</i>	8 M	1:1	60 ⁰ c	24	3:10	11:4



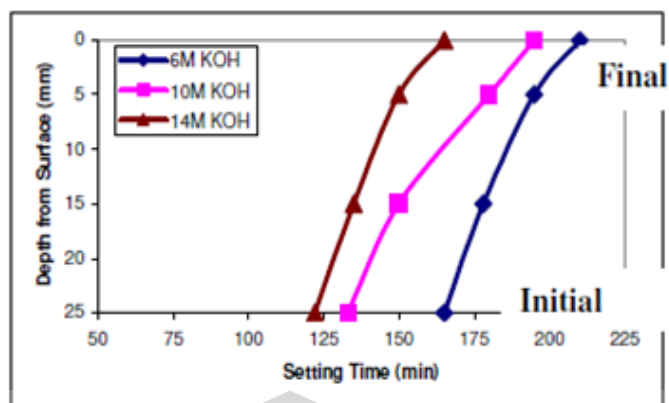
Gambar 4.3. Grafik stabilitas mortar pada suhu yang tinggi (Djwantoro Hardjito,2008)

d. Parameter setting time pasta geopolimer

Pengujian *setting time* dilakukan dengan menggunakan alat jarum Vicat (ASTM C191). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi KOH yang tinggi dapat mempercepat *setting time* sehingga dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Cheng dan Chiu. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi KOH yang tinggi dapat memperlambat *setting time*.

Tabel 4.4. Komposisi mortar geopolimer parameter *setting time* (Djwantoro Hardjito,2008)

No.	Prekursor	KOH	KOH : K_2SiO_3	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>
1	<i>Fly Ash F</i>	6 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3: 10	11:4
2	<i>Fly Ash F</i>	10 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3: 10	11:4
3	<i>Fly Ash F</i>	14 M	1: 1	60 ⁰ c	24	3: 10	11:4



Gambar 4.4. Grafik *setting time* (Djwantoro Hardjito,2008)

4.1.2 Effect of temperature on compressive strength of *Fly Ash*-based geopolymer mortar

S. Songpiriyakij
Lecturer, Department of Civil and Environmental Engineering Technology, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand

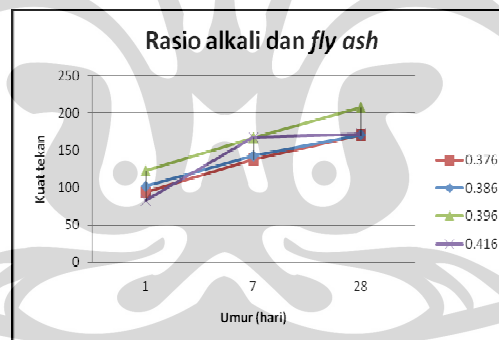
Jurnal ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium) dengan campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) 14M 98% (TIS: 150-2518) dan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) $\text{Na}_2\text{O} = 14.7\%$, $\text{SiO}_2 = 29.4\%$, air = 55.9% (TIS: 4332539) sebagai alkali aktivator. Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer dari parameter rasio alkali dan *Fly Ash* dan suhu *curing*. Proses *curing* mortar geopolimer menggunakan oven dengan suhu 60°C dan 30°C selama 24 jam. Rasio larutan NaOH dan larutan Na_2SiO_3 adalah 0.4. Rasio Pasir dan *Fly Ash* adalah 2.75. Pengujian dilakukan pada umur 1 hari, 7 hari, dan 28 hari mortar geopolimer (kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm).

Tabel 4.5. Komposisi mortar (S. Songpiriyakij)

No.	Prekursor	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Waktu <i>curing</i> (jam)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Suhu <i>curing</i>	Kuat tekan (Kg/ cm ²)		
						Umur mortar (hari)		
						1	7	28
1	<i>Fly Ash F</i>	2: 5	24	0.376	30 ⁰ c			
					60 ⁰ c	93.5	137.6	171.1
2	<i>Fly Ash F</i>	2: 5	24	0.386	30 ⁰ c	37.1	185.6	304
					60 ⁰ c	102.1	142.7	170.6
3	<i>Fly Ash F</i>	2: 5	24	0.396	30 ⁰ c			
					60 ⁰ c	122.9	167.2	207.6
4	<i>Fly Ash F</i>	2: 5	24	0.416	30 ⁰ c	31.9	166.6	207.1
					60 ⁰ c	82.7	167.4	171.7

a. **Parameter rasio alkali dan *Fly Ash***

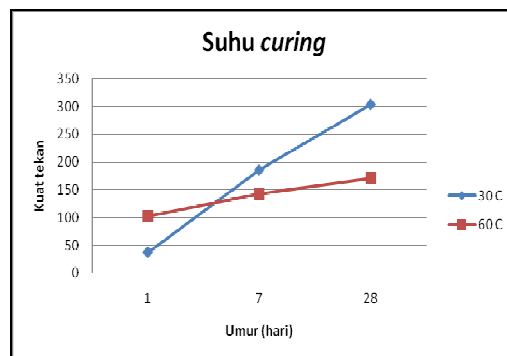
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio alkali dan *Fly Ash* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer.



Gambar 4.5. Grafik hubungan rasio alkali dan *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (S. Songpiriyakij)

b. **Parameter suhu *curing***

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer. Hasil penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Hardjito et al (July,2008) dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium).



Gambar 4.6. Grafik hubungan umur mortar terhadap kuat tekan mortar (S. Songpiriyakij)

Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. Oct.2009 711
 DOI 10.1007/s11595-009-5711-3

4.1.3 Effect of activator and curing mode on Fly Ash-based geopolymers

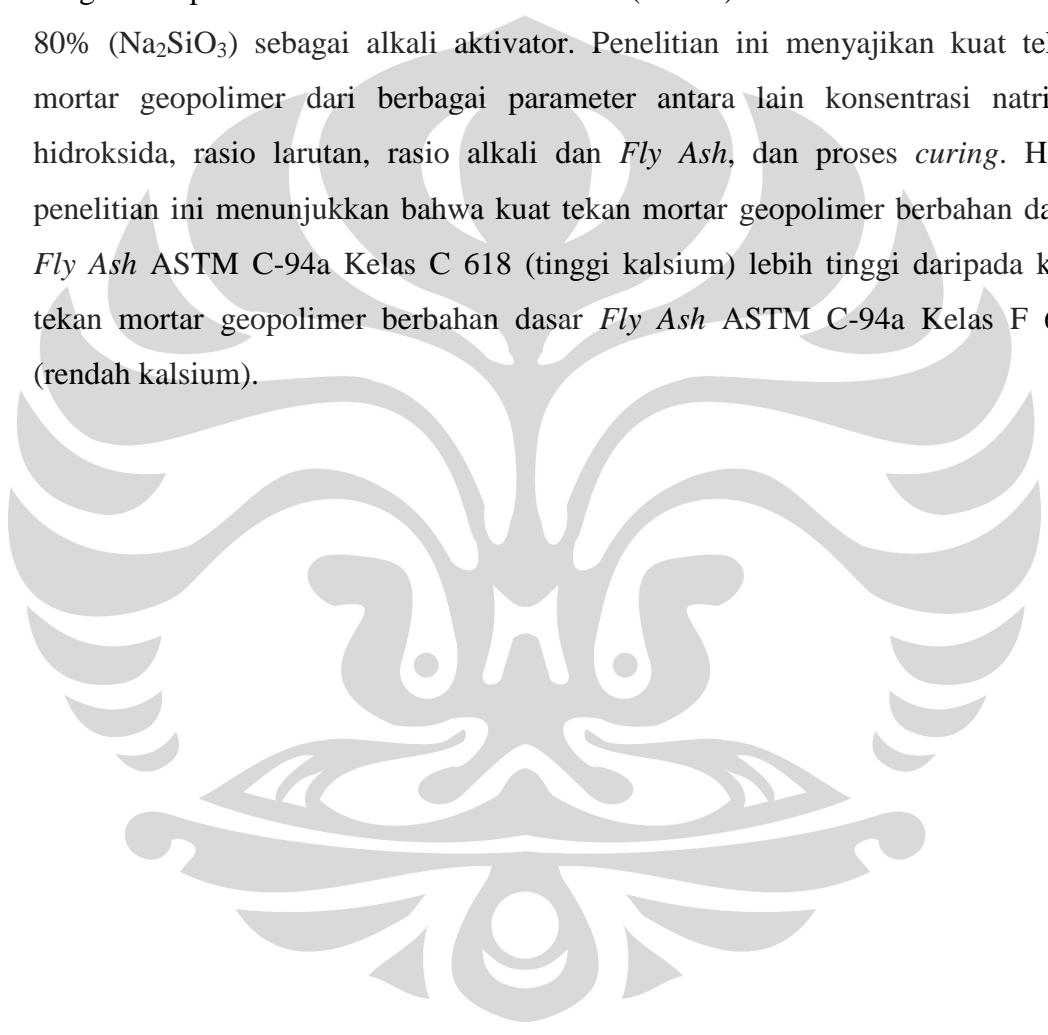
HOU Yunfen^{1, 2}, WANG Dongmin², ZHOU Wenjuan¹, LU Hongbo,¹ WANG Lin¹
 (1. Institute of Civil Engineering and Traffic, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Department of Material, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Jurnal ini tidak menyajikan komposisi dari penelitian yang dilakukan. Jurnal ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium) dengan campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebagai alkali aktivator. Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer dari parameter rasio larutan dan suhu *curing*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer. Penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer pada umur 1 hari dan 3 hari untuk suhu *curing* 65⁰ C dan 80⁰ C lebih tinggi daripada suhu *curing* 50⁰C. Namun, kuat tekan mortar pada umur 7 hari untuk suhu *curing* 65⁰ C dan 80⁰ C cenderung sama dengan suhu *curing* 50⁰C. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa rasio larutan Na_2SiO_3 dan larutan NaOH < 1.4 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer.

4.1.4 Komposisi dan karakteristik beton geopolimer dari *Fly Ash* tipe C dan tipe F

Universitas Kristen Petra , 2007
Sandykosnatha
Johannes prasetio Utomo

Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium) dan Kelas C 618 (tinggi kalsium) dengan campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat 80% (Na_2SiO_3) sebagai alkali aktivator. Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer dari berbagai parameter antara lain konsentrasi natrium hidroksida, rasio larutan, rasio alkali dan *Fly Ash*, dan proses *curing*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas C 618 (tinggi kalsium) lebih tinggi daripada kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium).



Fly Ash tipe C

Tabel 4.6. Komposisi mortar Fly Ash tipe C (Sandykosnatha,2007)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : Fly Ash	Pasir : Fly Ash	Kuat tekan (MPa)
1	Fly Ash C	6 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	11.94
2	Fly Ash C	7 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	16.38
3	Fly Ash C	8 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	18.31
4	Fly Ash C	10 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	17.43
5	Fly Ash C	12 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	11.54
6	Fly Ash C	8 M	1:1	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	54.87
7	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	72.23
8	Fly Ash C	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	63.71
9	Fly Ash C	8 M	1:3	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	59.3
10	Fly Ash C	8 M	1:3.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	54.66
11	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.25	2:1	57.22
12	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	71.59
13	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.35	2:1	66.04
14	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	61.96
15	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	14	0.3	2:1	62.17
16	Fly Ash C	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	28	0.3	2:1	67.6
17	Fly Ash C	8 M	1:2	-	-	7	0.3	2:1	27.69
18	Fly Ash C	8 M	1:2	-	-	14	0.3	2:1	33.21
19	Fly Ash C	8 M	1:2	-	-	28	0.3	2:1	33.74

Fly Ash tipe F

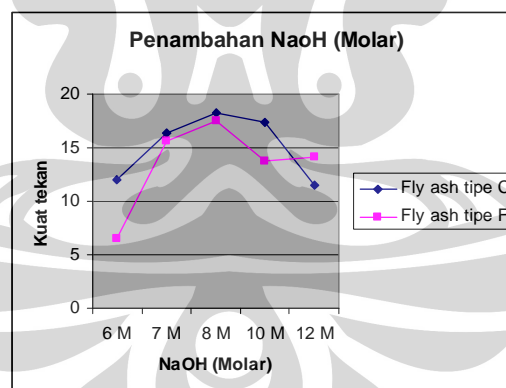
Tabel 4.7. Komposisi mortar Fly Ash tipe F (Sandykosnatha,2007)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	umur mortar (hari)	Alkali : Fly Ash	Pasir : Fly Ash	Kuat tekan (Mpa)
1	Fly Ash F	6 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	6.56
2	Fly Ash F	7 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	15.64
3	Fly Ash F	8 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	17.45
4	Fly Ash F	10M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	13.75
5	Fly Ash F	12 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	14.08
6	Fly Ash F	8 M	1:1	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	31.42
7	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	61.69
8	Fly Ash F	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	62.11
9	Fly Ash F	8 M	1:3	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	54.44
10	Fly Ash F	8 M	1:3.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	59.44
11	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.25	2:1	51.91
12	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	62.88
13	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.35	2:1	55.11
14	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	0.3	2:1	55.97
15	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	14	0.3	2:1	61.01
16	Fly Ash F	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	28	0.3	2:1	61
17	Fly Ash F	8 M	1:2	-	-	7	0.3	2:1	6.99
18	Fly Ash F	8 M	1:2	-	-	14	0.3	2:1	10.9
19	Fly Ash F	8 M	1:2	-	-	28	0.3	2:1	14.35

a. Parameter konsentrasi NaOH (Molar)

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer untuk kedua jenis tipe *Fly Ash*. Penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas C 618 (tinggi kalsium) lebih tinggi daripada kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium).

Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Hardjito dan Rangan (2004) dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Namun, Hasil penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya dan Yuwono (2006) dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas C 618 (tinggi kalsium). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer.

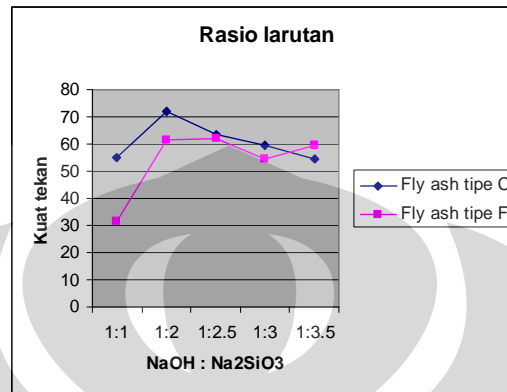


Gambar 4.7. Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)

b. Parameter rasio larutan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio larutan NaOH dan larutan Na_2SiO_3 adalah 0.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer untuk kedua jenis tipe *Fly Ash*. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan natrium silikat berpengaruh drastis terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Ketika tidak diberikan Na_2SiO_3 sebagai campuran dalam mortar, kuat tekan yang

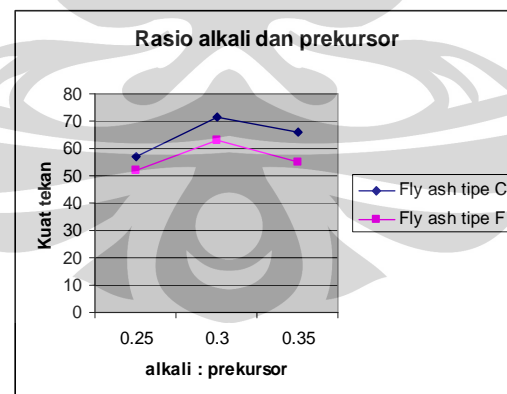
dihasilkan 3 kali lebih rendah (Gambar 4.7) dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer dengan penambahan Na_2SiO_3 sebanyak 2 kali daripada berat NaOH. Namun, penambahan Na_2SiO_3 yang lebih banyak dari 2 kali daripada berat NaOH dapat menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah.



Gambar 4.8. Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)

c. Parameter rasio alkali dan *Fly Ash*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio alkali dan *Fly Ash* adalah 0.3 dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk kedua jenis tipe *Fly Ash*. Semakin banyak air atau semakin sedikit air dalam campuran dapat menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah.

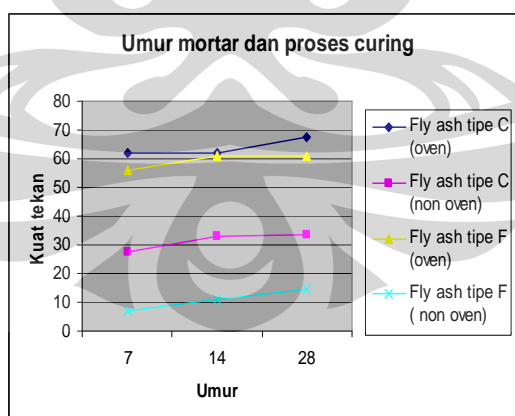


Gambar 4.9. Grafik hubungan rasio alkali : *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)

d. Parameter umur mortar dan proses *curing*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan umur tidak berpengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer untuk kedua jenis tipe *Fly Ash*. Hasil Penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Hardjito (2004) dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer pada umur 3 hari sampai dengan umur 91 hari tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Hal yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya dan Yuwono (2006) dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas C 618 (tinggi kalsium). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer pada umur 7 hari dan 28 hari tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Hasil penelitian ini berbeda dengan kuat tekan mortar normal yang dipengaruhi oleh umur.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses *curing* dengan menggunakan oven dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer untuk kedua jenis tipe *Fly Ash*. Hasil penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Hardjito (2004) dengan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium).

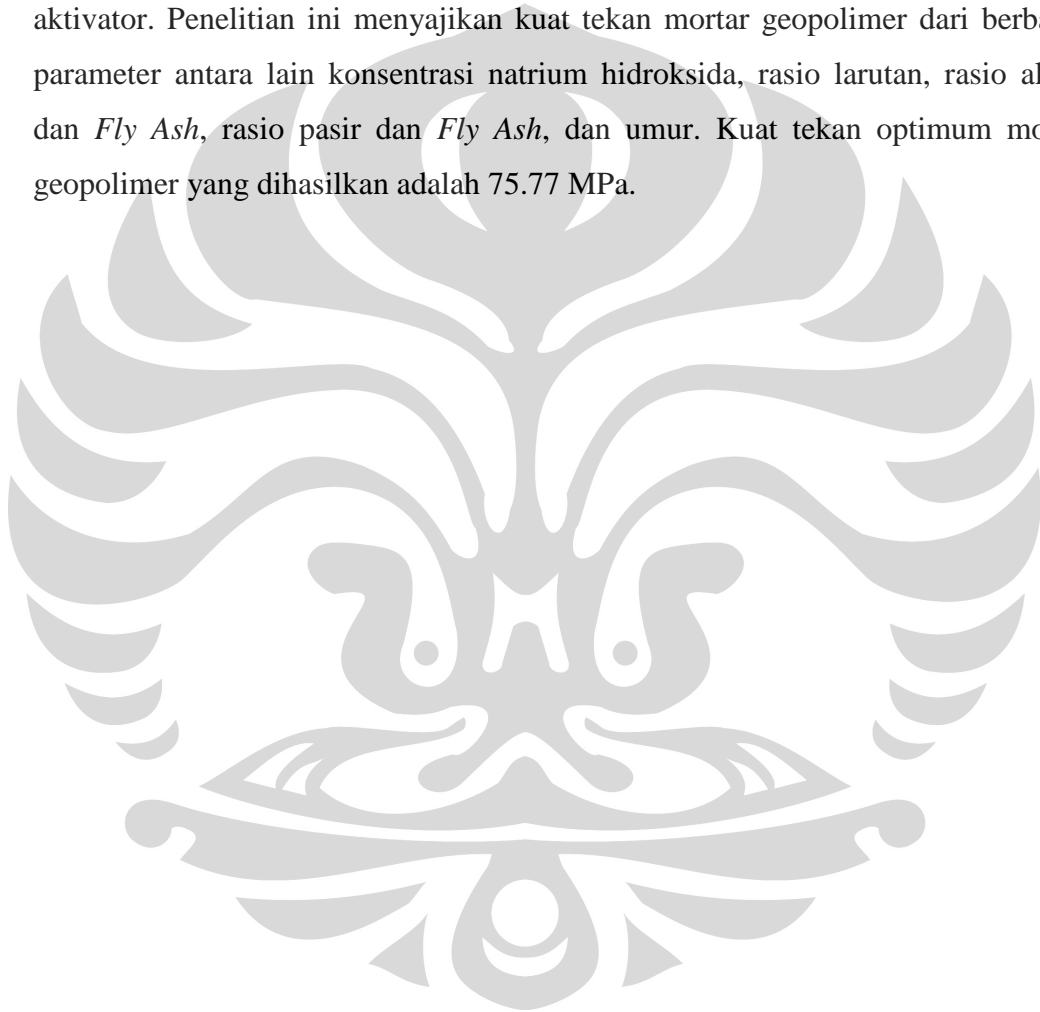


Gambar 4.10. Grafik hubungan rasio umur mortar & proses *curing* dan kuat tekan mortar (Sandykosnatha,2007)

4.1.5 Komposisi alkaline aktivator dan *Fly Ash* untuk beton geopolimer mutu tinggi

Universitas Kristen Petra , 2006
Andy sanjaya dan Calvin Yuwono Leondarto

Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium) dengan campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebagai alkali aktivator. Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer dari berbagai parameter antara lain konsentrasi natrium hidroksida, rasio larutan, rasio alkali dan *Fly Ash*, rasio pasir dan *Fly Ash*, dan umur. Kuat tekan optimum mortar geopolimer yang dihasilkan adalah 75.77 MPa.

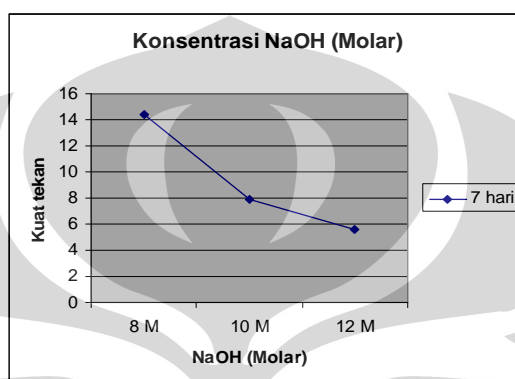


Tabel 4.8. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe C (Sanjaya&Yuwono,2006)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	14.42
2	<i>Fly Ash C</i>	10 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	7.87
3	<i>Fly Ash C</i>	12 M	1:0	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	5.64
4	<i>Fly Ash C</i>	8 M	3:1	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	13.13
5	<i>Fly Ash C</i>	8 M	2.5:1	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	11.12
6	<i>Fly Ash C</i>	8 M	2:1	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	10.36
7	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:1	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	9.5
8	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	27.38
9	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.25	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	33.09
10	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	35.87
11	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.75	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	27.46
12	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:3	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	21.85
13	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	39.25
14	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	2:5	2:1	46.05
15	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	7:20	2:1	52.85
16	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	3:10	2:1	67.9
17	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:4	2:1	75.77
18	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:5	2:1	49.6
19	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	1:1	40.2
20	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	35.91
21	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	3:1	31.09
22	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	3	1:2	2:1	41.37
23	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	7	1:2	2:1	43.78
24	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	14	1:2	2:1	45.62
25	<i>Fly Ash C</i>	8 M	1:2.5	90 ⁰ c	24 + 6	28	1:2	2:1	47.18

a. Parameter konsentrasi NaOH (Molar)

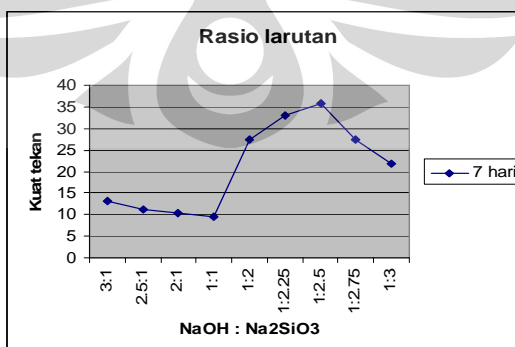
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Pada penelitian ini digunakan 3 benda uji mortar berbentuk kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. Masing - masing benda uji dengan rasio NaOH : Na₂SiO₃ = 1:0, rasio alkali : *Fly Ash* = 1:2, dan rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1.



Gambar 4.11. Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006)

b. Parameter rasio larutan

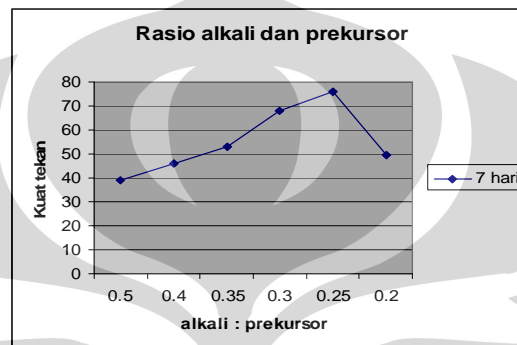
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio NaOH : Na₂SiO₃ = 1:2.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Pada penelitian ini digunakan 9 benda uji mortar berbentuk kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. Masing - masing benda uji dengan konsentrasi NaOH 8M, rasio alkali : *Fly Ash* = 1:2, dan rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1.



Gambar 4.12. Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006)

c. Parameter rasio alkali dan *Fly Ash*

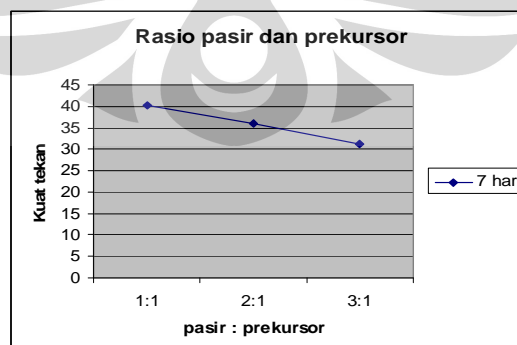
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio alkali : *Fly Ash* = 1:4 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Pada penelitian ini digunakan 6 benda uji mortar berbentuk kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. Masing – masing benda uji dengan konsentrasi NaOH 8M, rasio NaOH : Na₂SiO₃ = 1:2.5, dan rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1.



Gambar 4.13. Grafik hubungan rasio alkali : *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006)

d. Parameter rasio pasir dan *Fly Ash*

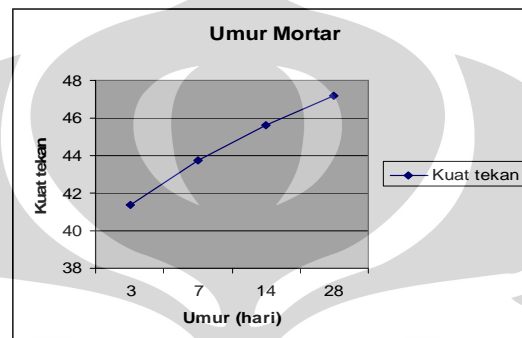
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio pasir : *Fly Ash* = 1:1 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Pada penelitian ini digunakan 3 benda uji mortar berbentuk kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. Masing masing benda uji dengan konsentrasi NaOH 8M, rasio NaOH : Na₂SiO₃ = 1:2.5 dan rasio alkali : *Fly Ash* = 1 : 2.



Gambar 4.14. Grafik hubungan rasio pasir : *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006)

e. Parameter umur

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan umur tidak berpengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Pada penelitian ini digunakan 4 benda uji mortar berbentuk kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. Masing masing benda uji dengan konsentrasi NaOH 8M, rasio NaOH : Na₂SiO₃ = 1:2.5, rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1, dan rasio alkali : *Fly Ash* = 1:2.



Gambar 4.15. Grafik hubungan rasio umur dan kuat tekan mortar (Sanjaya&Yuwono,2006)

4.1.6 Effect of mix composition on compressive strength and microstructure of *Fly Ash* based geopolymer composites

June 2009

Ravindra N. Thakur and Somnath Ghosh

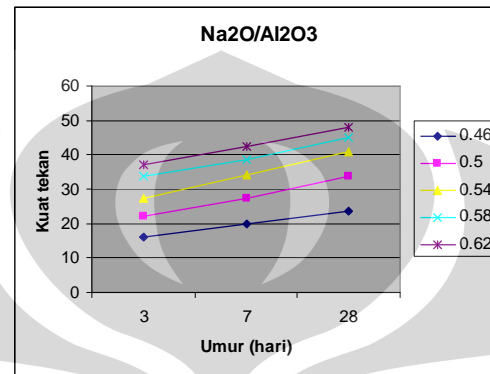
Department of Civil Engineering, Jadavpur University, Kolkata, India

a. Parameter rasio Na_2O dan Al_2O_3

Penelitian ini menunjukkan bahwa rasio $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.62$ dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.

Tabel 4.9. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ravindra N.,2009)

No.	Prekursor	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali content ($\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$)	Silika Content ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.46	4	16.25
2	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.46	4	20
3	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.46	4	23.75
4	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	22
5	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	27.5
6	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	33.75
7	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.54	4	27.5
8	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.54	4	34
9	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.54	4	41
10	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.58	4	33.75
11	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.58	4	38.75
12	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.58	4	45
13	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.62	4	37
14	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.62	4	42.5
15	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.62	4	48



Gambar 4.16. Grafik hubungan rasio $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan kuat tekan mortar (Ravindra N.,2009)

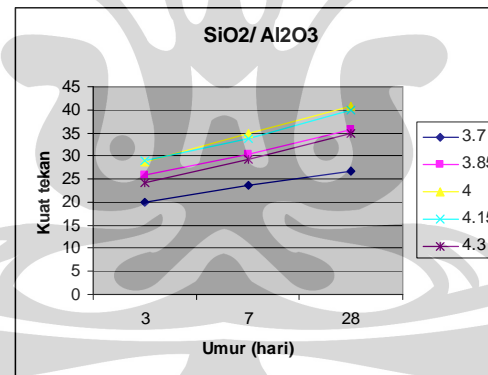
b. Parameter rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Penelitian ini menunjukkan bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4$ dapat menghasilkan kuat tekan maksimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.

Tabel 4.10. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ravindra N.,2009)

No.	Prekursor	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali content ($\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$)	Silika Content ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	3.7	20
2	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	3.7	23.7
3	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	3.7	26.8
4	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	3.85	25.9
5	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	3.85	30.3

6	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	3.85	35.7
7	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	28.8
8	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	34.8
9	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	40.8
10	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4.15	29
11	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4.15	33.7
12	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4.15	39.8
13	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4.3	24.2
14	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4.3	29.2
15	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4.3	35



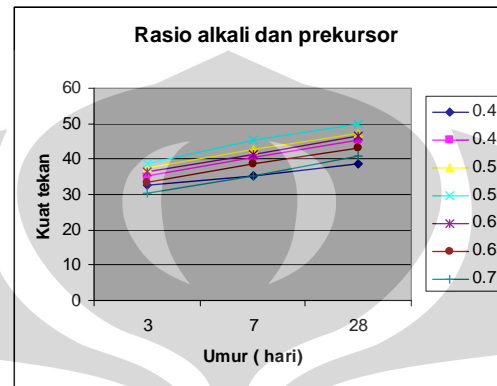
Gambar 4.17. Grafik hubungan rasio SiO₂/ Al₂O₃ dan kuat tekan mortar (Ravindra N.,2009)

c. Parameter rasio alkali dan *Fly Ash*

Penelitian ini menunjukkan bahwa rasio alkali : *Fly Ash* = 0.55 dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.

Tabel 4.11. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter alkali : *Fly Ash* (Ravindra N.,2009)

No.	Prekursor	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali content (Na ₂ O/ Al ₂ O ₃)	Silika Content (SiO ₂ / Al ₂ O ₃)	Kuat tekan (Mpa)
1	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.4	3:2	0.5	4	32.5
2	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.4	3:2	0.5	4	35.3
3	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.4	3:2	0.5	4	38.5
4	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.45	3:2	0.5	4	35.2
5	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.45	3:2	0.5	4	40.5
6	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.45	3:2	0.5	4	45.2
7	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.5	3:2	0.5	4	37.5
8	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.5	3:2	0.5	4	42.8
9	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.5	3:2	0.5	4	47.2
10	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.55	3:2	0.5	4	38.8
11	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.55	3:2	0.5	4	45.3
12	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.55	3:2	0.5	4	50
13	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.6	3:2	0.5	4	36.3
14	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.6	3:2	0.5	4	41.3
15	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.6	3:2	0.5	4	46.5
16	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.65	3:2	0.5	4	33.3
17	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.65	3:2	0.5	4	38.8
18	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.65	3:2	0.5	4	43
19	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	0.7	3:2	0.5	4	30.2
20	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	0.7	3:2	0.5	4	35.4
21	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	0.7	3:2	0.5	4	41



Gambar 4.18. Grafik hubungan rasio alkali : *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (Ravindra N.,2009)

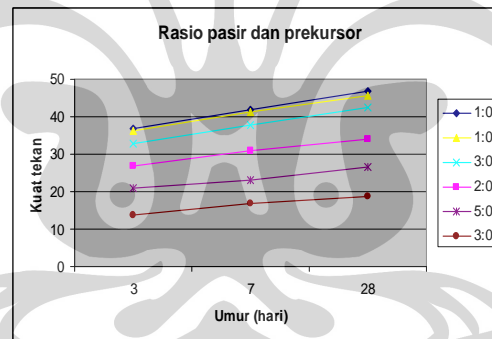
d. Parameter rasio pasir dan *Fly Ash*

Penelitian ini menunjukkan bahwa rasio pasir : *Fly Ash* = 1:2 dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.

Tabel 4.12. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter pasir : *Fly Ash* (Ravindra N.,2009)

No.	Prekursor	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali content (Na ₂ O : Al ₂ O ₃)	Silika Content (SiO ₂ : Al ₂ O ₃)	Kuat tekan (Mpa)
1	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	1:2	0.5	4	37
2	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	1:2	0.5	4	42
3	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	1:2	0.5	4	47
4	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	1:1	0.5	4	36.3
5	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	1:1	0.5	4	41.3
6	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	1:1	0.5	4	45.5
7	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	32.8

8	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	37.8
9	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	42.5
10	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	2:1	0.5	4	27
11	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	2:1	0.5	4	31
12	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	2:1	0.5	4	34
13	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	5:2	0.5	4	20.8
14	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	5:2	0.5	4	23
15	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	5:2	0.5	4	26.5
16	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:1	0.5	4	13.8
17	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:1	0.5	4	16.8
18	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:1	0.5	4	18.8



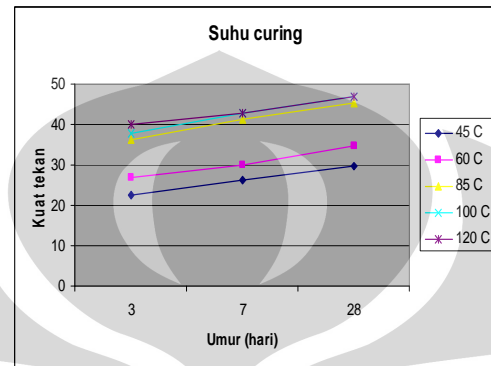
Gambar 4.19. Grafik hubungan rasio pasir : *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (Ravindra N.,2009)

e. Parameter suhu *curing*

Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu *curing* 120⁰C dapat mencapai kekuatan maksimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F

Tabel 4.13. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter suhu *curing* (Ravindra N.,2009)

No.	Prekursor	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali content (Na ₂ O/Al ₂ O ₃)	Silika Content (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	Kuat tekan (Mpa)
1	<i>Fly Ash</i> F	45 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	22.5
2	<i>Fly Ash</i> F	45 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	26.3
3	<i>Fly Ash</i> F	45 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	29.7
4	<i>Fly Ash</i> F	60 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	26.8
5	<i>Fly Ash</i> F	60 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	30
6	<i>Fly Ash</i> F	60 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	34.8
7	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	36.3
8	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	41.3
9	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	45.2
10	<i>Fly Ash</i> F	100 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	37.7
11	<i>Fly Ash</i> F	100 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	42.8
12	<i>Fly Ash</i> F	100 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	47
13	<i>Fly Ash</i> F	120 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	40
14	<i>Fly Ash</i> F	120 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	42.8
15	<i>Fly Ash</i> F	120 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	46.8



Gambar 4.20. Grafik hubungan rasio suhu *curing* dan kuat tekan mortar (Ravindra N.,2009)

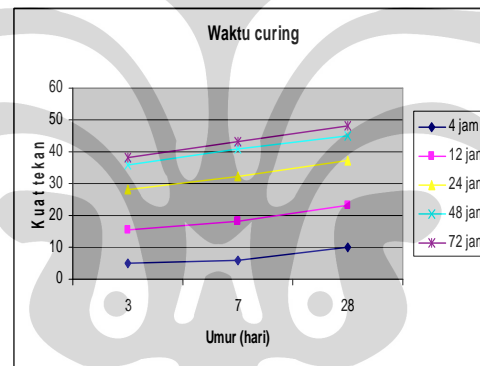
f. Parameter waktu *curing*

Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu *curing* selama 72 jam dapat mencapai kekuatan maksimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.

Tabel 4.14. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter waktu *curing* (Ravindra N.,2009)

No.	Prekursor	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali content (Na ₂ O : Al ₂ O ₃)	Silika Content (SiO ₂ : Al ₂ O ₃)	Kuat tekan (Mpa)
1	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	4	3	1:2	3:2	0.5	4	5
2	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	4	7	1:2	3:2	0.5	4	6
3	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	4	28	1:2	3:2	0.5	4	10
4	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	12	3	1:2	3:2	0.5	4	15.5
5	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	12	7	1:2	3:2	0.5	4	18
6	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	12	28	1:2	3:2	0.5	4	23
7	<i>Fly Ash</i> F	85 ⁰ c	24	3	1:2	3:2	0.5	4	28

8	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	24	7	1:2	3:2	0.5	4	32.5
9	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	24	28	1:2	3:2	0.5	4	37.5
10	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	3	1:2	3:2	0.5	4	36
11	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	7	1:2	3:2	0.5	4	41
12	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	48	28	1:2	3:2	0.5	4	45
13	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	72	3	1:2	3:2	0.5	4	38
14	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	72	7	1:2	3:2	0.5	4	43
15	<i>Fly Ash F</i>	85 ⁰ c	72	28	1:2	3:2	0.5	4	48



Gambar 4.21. Grafik hubungan waktu *curing* dan kuat tekan mortar (RavindraN.,2009)

4.1.7 Strength and setting times of low Calcium *Fly Ash* based geopolymer mortar

July 2008
Djwantoro Hardjito, Chua Chung Cheak & Carrie Ho Lee Ing
Department of Civil & Construction Engineering
Curtin University of Technology, Sarawak Campus

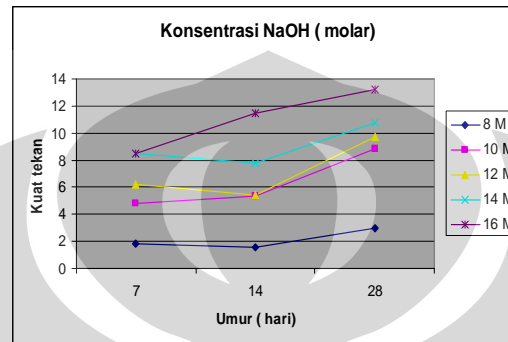
Jurnal ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium) dari Sejangkat Power Plant di Kuching, Sarawak, Malaysia dengan campuran larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dan larutan natrium hidroksida (NaOH) sebagai alkali aktivator. Penelitian ini menyajikan kuat tekan mortar geopolimer dari parameter rasio larutan dan rasio pasir dan *Fly Ash*. Proses *curing* mortar geopolimer menggunakan oven dengan suhu 65°C selama 24 jam. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari mortar geopolimer (kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm).

a. Parameter konsentrasi NaOH

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 16 M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Alonso dan Palomo (2001) dengan menggunakan metakaolin murni. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH $> 10\text{M}$ dapat memperlambat pembentukan polimer. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan jenis material.

Tabel 4.15. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter NaOH (Djwantoro Hardjito, July 2008)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	8 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	1.8
2	<i>Fly Ash</i> F	8 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	1.6
3	<i>Fly Ash</i> F	8 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	3
4	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	4.8
5	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	5.3
6	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	8.8
7	<i>Fly Ash</i> F	12 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	6.2
8	<i>Fly Ash</i> F	12 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	5.4
9	<i>Fly Ash</i> F	12 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	9.7
10	<i>Fly Ash</i> F	14 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	8.5
11	<i>Fly Ash</i> F	14 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	7.8
12	<i>Fly Ash</i> F	14 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	10.8
13	<i>Fly Ash</i> F	16 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	8.5
14	<i>Fly Ash</i> F	16 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	11.5
15	<i>Fly Ash</i> F	16 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	13.2



Gambar 4.22. Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito, July 2008)

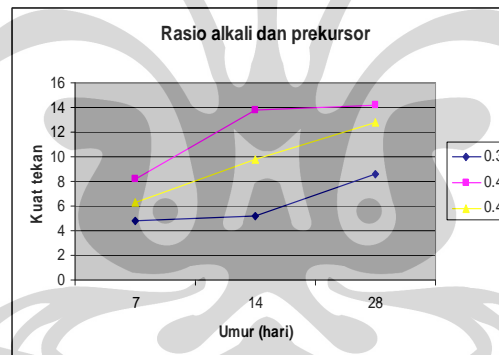
b. Parameter rasio alkali dan *Fly Ash*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio alkali : *Fly Ash* = 2:5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Namun, bila larutan alkali ditambahkan akan menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah. Hal ini disebabkan karena adanya kelebihan OH^- yang dapat membentuk natrium karbonat dengan karbonasi atmosfer sehingga mengganggu proses polimerisasi (Barbosa et al 1999).

Palomo, Grutzeck, dan Blanco (1999) menyatakan bahwa rasio larutan dan *Fly Ash* bukan parameter yang relevan untuk kuat tekan geopolimer. Namun, pada penelitian ini menunjukkan hasil yang berbeda sehingga memerlukan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan hasil.

Tabel 4.16. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter alkali : *Fly Ash* (Djwantoro Hardjito, July 2008)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	7:20	11:4	4.8
2	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	7:20	11:4	5.2
3	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	7:20	11:4	8.6
4	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	8.2
5	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	13.8
6	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	14.2
7	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	9:20	11:4	6.3
8	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	9:20	11:4	9.8
9	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	9:20	11:4	12.8

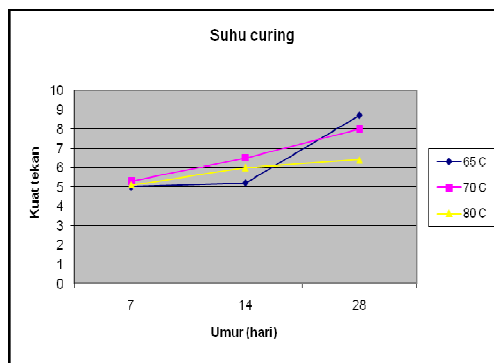
Gambar 4.23. Grafik hubungan rasio alkali : *Fly Ash* dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito, July 2008)

c. Parameter suhu curing

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu *curing* yang lebih tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* ASTM C-94a Kelas F 618 (rendah kalsium).

Tabel 4.17. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F parameter suhu *curing* (Djwanto Hardjito, July 2008)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Umur mortar (hari)	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	5
2	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	5.2
3	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	65 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	8.7
4	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	70 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	5.3
5	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	70 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	6.5
6	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	70 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	8
7	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	80 ⁰ c	24	7	2:5	11:4	5.1
8	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	80 ⁰ c	24	14	2:5	11:4	6
9	<i>Fly Ash</i> F	10 M	1:2.5	80 ⁰ c	24	28	2:5	11:4	6.4



Gambar 4.24. Grafik hubungan suhu *curing* dan kuat tekan mortar (Djwantoro Hardjito, July 2008)

4.2 Pengelompokkan dan analisis parameter yang mempengaruhi

4.2.1 Larutan alkali

Pengelompokkan komposisi mortar geopolimer berdasarkan perbedaan rasio larutan alkali. Konsentrasi NaOH 8M, dan rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1. Proses curing dengan menggunakan oven suhu 90⁰c selama 24 jam. Pengujian dilakukan pada mortar geopolimer umur 7 hari.

Tabel 4.18. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe C & NaOH 8M (Sandykosnatha,2007)

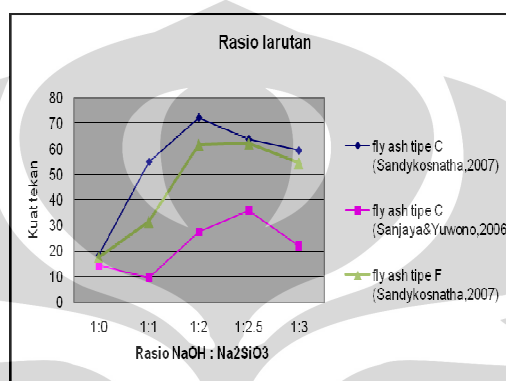
No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:0	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	18.31
2	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:1	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	54.87
3	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:2	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	72.23
4	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:2.5	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	63.71
5	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:3	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	59.3

Tabel 4.19. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe C & NaOH 8M (Sanjaya&Yuwono,2006)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:0	90 ⁰ c	24	2:1	0.5	7	14.42
2	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:1	90 ⁰ c	24	2:1	0.5	7	9.5
3	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:2	90 ⁰ c	24	2:1	0.5	7	27.38
4	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:2.5	90 ⁰ c	24	2:1	0.5	7	35.87
5	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:3	90 ⁰ c	24	2:1	0.5	7	21.85

Tabel 4.20. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F & NaOH 8M (Sandykosnatha,2007)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	8M	1:0	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	17.45
2	<i>Fly Ash</i> F	8M	1:1	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	31.42
3	<i>Fly Ash</i> F	8M	1:2	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	61.69
4	<i>Fly Ash</i> F	8M	1:2.5	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	62.11
5	<i>Fly Ash</i> F	8M	1:3	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	54.44

Gambar 4.25. Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar *Fly Ash* tipe C dan tipe F (Sandykosnatha,2007) dan mortar *Fly Ash* tipe C (Sanjaya&Yuwono,2006)

Gambar 4.25 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) lebih rendah daripada kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C dan *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007). Gambar 4.25 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer sebelum penambahan Na₂SiO₃ adalah cenderung sama.

Penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) menunjukkan bahwa rasio larutan 1:1 menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang paling rendah. Kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) dan *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) dapat dihasilkan pada rasio larutan 1: 2.5. Penambahan Na₂SiO₃ lebih banyak dari 2.5 kali daripada berat NaOH dapat menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah.

Gambar 4.25 menunjukkan bahwa rasio larutan NaOH : Na₂SiO₃ = 1: 2 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe

C yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007). Penambahan Na_2SiO_3 lebih banyak dari 2 kali daripada berat NaOH dapat menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash* dalam campuran.

4.2.2 Prekursor

Pengelompokkan komposisi mortar geopolimer berdasarkan perbedaan jenis prekursor. Rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1. Proses curing dengan menggunakan oven suhu *curing* 90°C selama 24 jam. Pengujian dilakukan pada mortar geopolimer umur 7 hari tanpa penambahan Na_2SiO_3 .

Tabel 4.21. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F & perbedaan molaritas NaOH (Sandykosnatha,2007)

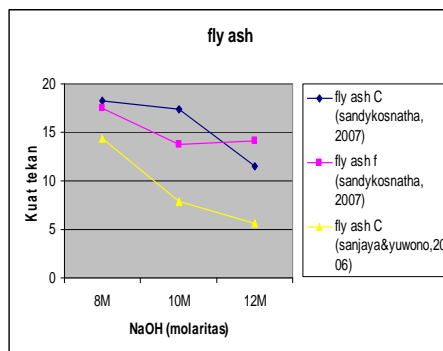
No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na_2SiO_3	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	8M	1:0	90°C	24	2:1	0.3	7	17.45
2	<i>Fly Ash</i> F	10M	1:0	90°C	24	2:1	0.3	7	13.75
3	<i>Fly Ash</i> F	12M	1:0	90°C	24	2:1	0.3	7	14.08

Tabel 4.22. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe C & perbedaan molaritas NaOH (Sandykosnatha,2007)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na_2SiO_3	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:0	90°C	24	2:1	0.3	7	18.31
2	<i>Fly Ash</i> C	10M	1:0	90°C	24	2:1	0.3	7	17.43
3	<i>Fly Ash</i> C	12M	1:0	90°C	24	2:1	0.3	7	11.54

Tabel 4.23. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe C & perbedaan molaritas NaOH (Sanjaya&Yuwono, 2006)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na_2SiO_3	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar	Kuat tekan (Mpa)
1	<i>Fly Ash</i> C	8M	1:0	90°C	24	2:1	0.5	7	14.42
2	<i>Fly Ash</i> C	10M	1:0	90°C	24	2:1	0.5	7	7.87
3	<i>Fly Ash</i> C	12M	1:0	90°C	24	2:1	0.5	7	5.64



Gambar 4.26. Grafik hubungan molaritas dan kuat tekan mortar *Fly Ash* tipe C dan tipe F (Sandykosnatha, 2007) dan mortar *Fly Ash* tipe C (Sanjaya&Yuwono, 2006)

Gambar 4.26 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) lebih rendah dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C dan tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007). Gambar 4.26 menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Konsentrasi NaOH yang meningkat dapat menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah. Perbedaan hasil penelitian dapat disebabkan karena perbedaan rasio alkali : *Fly Ash*

4.2.3 Umur

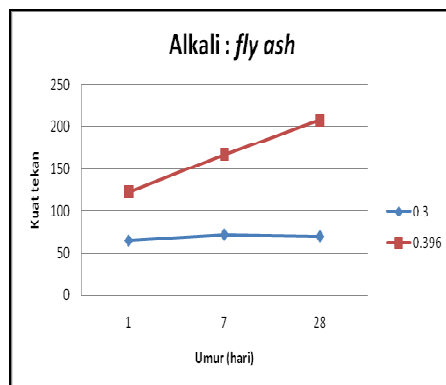
Pengelompokkan komposisi mortar geopolimer berdasarkan perbedaan jenis prekursor, rasio alkali : *Fly Ash* = 3:10. rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1. Proses curing dengan menggunakan oven suhu curing 90⁰c selama 24 jam. Pengujian dilakukan pada mortar geopolimer umur 1,7, dan 28 hari.

Tabel 4.24. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F & NaOH 14M (Djwantoro,2008)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	14M	1:1	60 ⁰ c	24	11:4	3:10	1	65
2	<i>Fly Ash</i> F	14M	1:1	60 ⁰ c	24	11:4	3:10	7	72
3	<i>Fly Ash</i> F	14M	1:1	60 ⁰ c	24	11:4	3:10	28	70

Tabel 4.25. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F & NaOH 14M (S. Songpiriyakij)

No.	Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (MPa)
1	<i>Fly Ash</i> F	14M	1:1	60 ⁰ c	24	11:04	0.396	1	122.9
2	<i>Fly Ash</i> F	14M	1:1	60 ⁰ c	24	11:04	0.396	7	167.2
3	<i>Fly Ash</i> F	14M	1:1	60 ⁰ c	24	11:04	0.396	28	207.6



Gambar 4.27. Grafik hubungan rasio larutan dan kuat tekan mortar *Fly Ash* tipe F (Djwantoro,2008) dan mortar *Fly Ash* tipe F (S. Songpiriyakij)

Gambar 4.27 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F* yang dilakukan oleh Djwantoro (2008) lebih rendah dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F* yang dilakukan oleh S. Songpiriyakij.

Penelitian yang dilakukan oleh Songpiriyakij menunjukkan bahwa penambahan umur akan meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F* yang cukup signifikan. Gambar 4.27 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F* yang dilakukan oleh Djwantoro (2008) tidak berpengaruh terhadap umur. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam masing-masing *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash*.

4.2.4 Suhu curing

Pengelompokkan komposisi mortar geopolimer berdasarkan perbedaan suhu curing. Rasio alkali : *Fly Ash* = 3:10. rasio pasir : *Fly Ash* = 2:1. Proses curing dengan menggunakan oven suhu curing 90⁰c selama 24 jam. Pengujian dilakukan pada mortar geopolimer umur 7 dan 28 hari.

Tabel 4.26. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F (Djwantoro,2008)

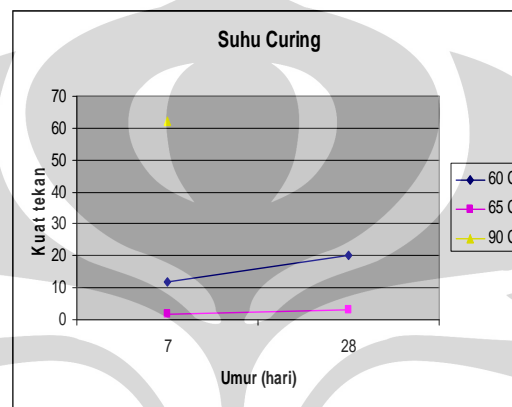
Prekursor	KOH	KOH : K ₂ SiO ₃	Suhu curing	Waktu curing (jam)	Pasir : <i>Fly Ash</i>	Alkali : <i>Fly Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (Mpa)
<i>Fly Ash</i> F	8M	1:2.5	60 ⁰ c	24	11:4	0.3	7	12

Tabel 4.27. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F (Djawantoro, July 2008)

Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Pasir : <i>Fly</i> <i>Ash</i>	Alkali : <i>Fly</i> <i>Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (Mpa)
<i>Fly Ash</i> F	8M	1:2.5	65 ⁰ c	24	11:4	0.4	7	1.8

Tabel 4.28. Komposisi mortar *Fly Ash* tipe F (Sandykosnatha, 2007)

Prekursor	NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Suhu <i>curing</i>	Waktu <i>curing</i> (jam)	Pasir : <i>Fly</i> <i>Ash</i>	Alkali : <i>Fly</i> <i>Ash</i>	Umur mortar (hari)	Kuat tekan (Mpa)
<i>Fly Ash</i> F	8M	1:2.5	90 ⁰ c	24	2:1	0.3	7	62.11



Gambar 4.28. Grafik hubungan suhu *curing* dan kuat tekan mortar *Fly Ash* tipe F (Djawantoro, 2008), mortar *Fly Ash* tipe F (Djawantoro, July 2008), dan mortar *Fly Ash* tipe F (Sandykosnatha, 2007)

Gambar 4.28 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F* yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) lebih tinggi dari kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F* yang dilakukan oleh Djawantoro (2008).

Gambar 4.28 menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) dengan suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash tipe F*. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam masing- masing *Fly Ash*, rasio pasir : *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi terhadap jurnal - jurnal yang ada, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Djwantoro Hardjito (2008) :

1. Konsentrasi KOH yang tinggi dapat mempercepat proses geopolimerisasi sehingga dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
2. Rasio larutan K_2SiO_3 dan larutan KOH adalah 0.8 – 1.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
3. Stabilitas pada suhu 400^0 C dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
4. Konsentrasi KOH yang tinggi dapat mempercepat *setting time* sehingga dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh S. Songpiriyakij :

1. Rasio alkali dan *Fly Ash* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar fly ash tipe F.
2. Suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar fly ash tipe F.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh HOU Yunfen (2009) :

1. Suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.

2. Rasio larutan Na_2SiO_3 dan larutan $\text{NaOH} < 1.4$ dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) :

1. Konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer untuk jenis *Fly Ash* tipe C dan tipe F.
2. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C lebih tinggi daripada kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
3. Rasio larutan NaOH dan larutan Na_2SiO_3 adalah 0.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer untuk jenis *Fly Ash* tipe C dan tipe F.
4. Rasio alkali dan *Fly Ash* adalah 0.3 dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe C dan tipe F.
5. Penambahan umur tidak berpengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer untuk jenis *Fly Ash* tipe C dan tipe F.
6. Proses *curing* dengan menggunakan oven dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer untuk jenis *Fly Ash* tipe C dan tipe F.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) :

1. Konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.
2. Rasio $\text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1:2.5$ dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.
3. Rasio alkali : *Fly Ash* = 1:4 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.
4. Rasio pasir : *Fly Ash* = 1:1 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.

5. Penambahan umur tidak berpengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ravindra N. (2009) :

1. Rasio $\text{Na}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 0.62$ dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F
2. Rasio $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 4$ dapat menghasilkan kuat tekan maksimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.
3. Rasio alkali : *Fly Ash* = 0.55 dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.
4. Rasio pasir : *Fly Ash* = 1:2 dapat menghasilkan kuat tekan optimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.
5. Suhu *curing* 120°C dapat mencapai kekuatan maksimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F
6. Waktu *curing* selama 72 jam dapat mencapai kekuatan maksimum untuk jenis *Fly Ash* tipe F.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Djwantoro (July, 2008) :

1. Konsentrasi NaOH 16 M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
2. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio alkali : *Fly Ash* = 2:5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
3. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu *curing* yang lebih tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.

Berdasarkan pengelompokkan dan analisis parameter yang mempengaruhi, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

Menurut pengelompokkan rasio larutan alkali :

1. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) lebih rendah daripada kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C dan *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007).
2. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C Sanjaya & Yuwono (2006) dan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C dan *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) sebelum penambahan Na_2SiO_3 adalah cenderung sama.
3. Kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) dan *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) dapat dihasilkan pada rasio larutan 1:2.5.
4. Rasio larutan $\text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1:2$ dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007)
5. Perbedaan hasil optimum dari rasio larutan alkali dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash* dalam campuran.

Menurut pengelompokkan prekursor :

1. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sanjaya & Yuwono (2006) lebih rendah dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C dan tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007).
2. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) dengan konsentrasi NaOH 8M dapat

menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer. Konsentrasi NaOH yang meningkat dapat menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang rendah.

3. Perbedaan hasil penelitian dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash* dalam campuran.

Menurut pengelompokkan umur :

1. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Djawantoro (2008) lebih rendah dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh S. Songpiriyakij.
2. Penelitian yang dilakukan oleh S. Songpiriyakij menunjukkan bahwa penambahan umur akan meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F yang cukup signifikan.
3. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Djawantoro (2008) tidak berpengaruh terhadap umur.
4. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash* dalam campuran.

Menurut pengelompokkan suhu *curing* :

1. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) lebih tinggi dari kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F yang dilakukan oleh Djawantoro (2008).
2. Penelitian yang dilakukan oleh Sandykosnatha (2007) dengan suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
3. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan kandungan oksida kimia dalam *Fly Ash* , rasio pasir : *Fly Ash* dan rasio alkali : *Fly Ash* dalam campuran.

Berdasarkan studi terhadap jurnal- jurnal yang ada dan pengelompokkan dan analisis parameter yang mempengaruhi, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Rasio larutan K_2SiO_3 / Na_2SiO_3 dan larutan KOH / NaOH adalah 0.8 – 1.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
2. Rasio larutan K_2SiO_3 / Na_2SiO_3 dan larutan KOH / NaOH adalah 2 – 2.5 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.
3. Konsentrasi KOH / NaOH yang tinggi dapat mempercepat proses geopolimerisasi sehingga dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.
4. Konsentrasi NaOH 8M dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C.
5. Suhu *curing* yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan awal mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.
6. Kenaikan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* pada umur 14 hari ke 28 hari tidak signifikan / tidak besar.
7. Rasio alkali dan *Fly Ash* adalah 0.25 - 0.4 dapat menghasilkan kuat tekan optimum mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.
8. Kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe C lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *Fly Ash* tipe F.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang komposisi dan karakteristik geopolimer berbahan dasar *Fly Ash*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowes, William H., Russel, Leslie T., dan Suter, Gerhard T. 1984. *Mechanics of Engineering Materials*. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Davidovits, J. dan Sawyer, J. L. 1985. *Early High-Strength Mineral*. US Patent No.4, 509, 1985.
- Davidovits, J. 1988. *Soft Mineralurgy and Geopolymers*. Geopolymer 88 International Conference, The Université de Technologie, Compiègne, France.
- Davidovits, J. 1994. *High-Alkali Cements for 21st Century Concretes in Concrete Technology, Past, Present and Future*. V. Mohan Malhotra Symposium, ACI SP-144. pp. 383-397.
- Davidovits, J. 1999. *Chemistry of Geopolymer Systems, Terminology* Geopolymer'99 International Conferences, France.
- Hardjito, Djwantoro. 2001. "Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen". Sinar Harapan, Senin 29 Oktober 2001 No. 3950.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., dan Rangan, B. V. 2002. *Study on Engineering Properties of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Journal of the Australasian Ceramic Society, Vol. 38, No.1, pp. 44-47.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., dan Rangan B. V. 2004. *Properties of Geopolymer Concrete with Fly Ash as Source Material : Effect of Mixture Composition*. The Seventh CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Las Vegas, SP-222- 8, pp. 109-118.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., dan Rangan B. V. 2004. *On The Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Technical Paper No. 101 M52, ACI Material Journal, Vol. 101, No. 6, November-Desember, American Concrete Institute.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., dan Rangan, B. V. 2005. *Effect of Mixing Time and Rest Period on the Engineering Properties of Fly Ash- Based Geopolymer Concrete*. Geopolymer 2005 Fourth International Conference, Saint Quentin, France.
- Hardjito, D. dan Rangan, B. V. 2005. *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Research Report GC-1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology.
- Swanepoel, J. C. dan Strydom, C. A. 2002. *Utilisation of Fly Ash in Geopolymeric Material*. Journal of Applied Geochemistry, 17 : pp.1143-1148.

Wallah, S. E., Hardjito, D., Sumajouw D. M. J., dan Rangan, B. V. 2005. *Creep and Drying Shrinkage Behaviour of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. The 22nd Biennial Conference Concrete 2005, Melbourne.

Wallah, S.E. dan Rangan, B.V. 2006. *Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete : Long-Term Properties*. Research Report GC2, Faculty of Engineering. Curtin University of Technology.

Xu, H. dan van Deventer J.S.J. 2000. *The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals*. International Journal of Mineral Processing 59(3) : 247-226.



DAFTAR ACUAN

- [1] Ir. Iswandi Imran, MASc., Ph.D. “*Catatan kuliah : Pengenalan Rekayasa & Bahan Konstruksi*”. Bandung : ITB
- [2] J. Davidovits. 1999. “*Chemistry of Geopolymer Systems, Terminology.*” Geopolymer '99 International Conferences, France.
- [3] Daniel A. Hartanto. 2007. “*Pembuatan Beton Geopolimer dengan Menggunakan Sisa Beton Semen*”. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia : Depok.
- [4] J. Davidovits dan J.L. Sawyer. 1985. “*Early High-Strength Mineral Polymer*”. US Patent No. 4,509,985.
- [5] P.N. Balaguru, S. Kurtz, dan J. Rudolph. 1997. *Geopolymer for Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams.*
- [6] J.G.S. van Jaarsveld, J.S.J. van Deventer, dan A. Scharzman. 1999. “*The Potential Use of Geopolymer Materials to Immobilise Toxic Metals : Part II, Material and Leaching Characteristics*”. Mineral Engineering, 12(1), pp.75- 91.
- [7] A. Palomo, M.W. Grutzeck, dan M.T. Blanco. 1999. “*Alkali-Activated Fly Ash Cement for Future*”. Cement and Concrete Research, 29(8); pp.1323- 1329.
- [8] H. Xu dan J.S.J. van Deventer. 2000. “*The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals*”. International Journal of Mineral Processing 59(3) : 247- 226.
- [9] J.C. Swanepoel dan C.A. Strydom. 2002. “*Utilisation of Fly Ash in Geopolymeric Material*”. Journal of Applied Geochemistry, 17 : pp.1143- 1148.
- [10] J.G.S. van Jaarsveld, J.S.J. van Deventer, dan G.C. Lukey. 2002. “*The Effect of Composition and Temperature on The Properties of Fly Ash and Kaolinite-Based Geopolymers*”. Chemical Engineering Journal, 4001 : 1-11.