



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI LITERATUR PENGARUH PERBANDINGAN
FAKTOR AIR-PREKURSOR TERHADAP KUAT TEKAN
BETON GEOPOLIMER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ROMASTA HUTAJULU
0606072673**

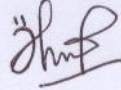
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Romasta Hutajulu

NPM : 0606072673

Tanda tangan : 

Tanggal : Juni 2010

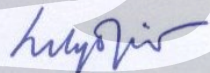
HALAMAN PENGESAHAN

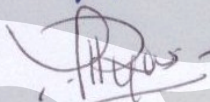
Skripsi ini diajukan oleh

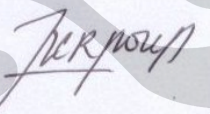
Nama : Romasta Hutajulu
NPM : 0606072673
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Literatur Pengaruh Perbandingan Faktor Air-Prekursor Terhadap Kuat tekan Beton Geopolimer


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 : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. ()

Pembimbing : Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D. ()

Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA. ()

Penguji : Ir. H. Madsuri, M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 07 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Bapa yang Mahakuasa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis sebagai penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Literatur Pengaruh Perbandingan Faktor Air-Prekursor Terhadap Kuat tekan beton Geopolimer ”. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mencapai gelar kesarjanaan khususnya Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama pelaksanaan penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Orang tuaku beserta seluruh keluarga besar Op.Romasta, dengan doa yang tulus dan dengan dorongan moral sehingga penulis lebih semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
2. Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA dan Ibu Ir. Essy Ariyuni, MSc., PhD selaku kedua pembimbing yang telah memberikan bimbingan, bantuan, ilmu pengetahuan dan saran yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
3. Dr. Ir. Heru Purnomo dan Ir. H. Madsuri, MT, selaku Dosen Penguji Sidang Skripsi
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia lainnya yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya selama masa perkuliahan
5. Seluruh staf Departemen Teknik Sipil dan Laboratorium Struktur dan Material & Laboratorium Struktur Jalan Departemen Sipil FTUI (Pak Samin, Pak Idris, Pak Yudhi, Pak Agus, Pak Pri) yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan
6. PT. Hakiki, yang telah memberikan material penelitian yaitu abu sekam padi
7. PLTU Suralaya, yang telah memberikan material penelitian yaitu abu terbang

8. Teman seperjuanganku “renny, litha dan pugar” dalam menyelesaikan skripsi ini yang telah memberikan kesabaran dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
9. Temanku “yanti, lena, eyi, mardo” yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
10. Teman-teman angkatan’06 yang sama-sama saling memberi dorongan dan semangat dalam mengerjakan penulisan skripsi ini
11. Seluruh Staf Departemen Sipil FTUI (Mba Wati, Mba Dian, Jali, Pak Kasim)
12. Kepada rekan-rekan lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang ada di dalam skripsi ini. Segala kritik dan saran sangat penulis harapkan guna memperbaiki kesalahan tersebut dan sebagai penyempurna penulisan naskah skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Romasta Hutajulu

NPM : 0606072673

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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 Pengaruh Perbandingan
Faktor Air-Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan 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 : Juni 2010

Yang Menyatakan

(Romasta Hutajulu)

ABSTRAK

Nama : Romasta Hutajulu
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Literatur Pengaruh Perbandingan Faktor Air-Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Skripsi ini membahas mengenai pengaruh perbandingan rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer pada beberapa penelitian. Analisa dilakukan berdasarkan data yang sudah dikelompokkan dan kemudian diolah dengan cara menghitung nilai rasio air-prekursor pada tiap variasi campuran. Pengelompokan data dilakukan berdasarkan faktor yang mempengaruhi nilai air prekursor yaitu kadar air dan zat *Admixture*. Dan perhitungan nilai rasio air-prekursor dilakukan dengan cara membagi berat air tambahan (*extra water*) dengan berat prekursor, tanpa menghitung kandungan air yang berasal dari aktivator. Hasil yang diperoleh adalah nilai air-prekursor dan komposisi campuran beton geopolimer yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada tiap pengelompokan data. Selain itu, dilakukan juga penelitian laboratorium pada pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi.

Kata kunci:

Rasio air-prekursor, kuat tekan, beton geopolimer, zat *Admixture*, *extra water*

ABSTRACT

Name : Romasta Hutajulu
Study Program : Civil Engineering
Title : Literature Study Comparative Effect of Water-Precursor Factor to Compressive Strength Geopolymer Concrete

This mini thesis discusses about the effect of water-precursor ratio to compressive strength geopolymer concrete in several studies. The analysis was made based on data that has been classified and then processed by calculating the ratio of water-precursor mixture in each variation. Grouping data is based on the factors that affect the value of water precursor substance water content and admixture. And calculating the ratio of water-precursor conducted by dividing the additional weight of water (the extra water) with a weight of precursors, without calculating the water content derived from the activators. The main result is the value of water-precursor and the composition of geopolymer concrete mixture that produced the highest compressive strength at each grouping of data. In addition, laboratory analysis showed that the precursor pastes with fly ash geopolymer and rice husk ash.

Keywords:

Water-precursor ratio, compressive strength, geopolymer concrete, admixture substances, extra water

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
2. LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Defenisi Beton Geopolimer.....	5
2.2 Sejarah Beton Geopolimer.....	6
2.3 Sifat-sifat Beton Geopolimer.....	6
2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer.....	7
2.5 Reaksi Geopolimer.....	7
2.6 Material Beton Geopolimer.....	10
2.6.1 Agregat.....	11
2.6.2 Prekursor.....	13
2.6.3 Aktifator Alkalin.....	16
2.6.4 Air.....	18
2.7 Faktor yang Mempengaruhi Rasio Air-Prekursor.....	18
2.7.1 Kadar air.....	18
2.7.2 Zat <i>Admixture</i>	19
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Studi Literatur.....	21
3.2 Penelitian Laboratorium.....	23
3.2.1 Tempat Penelitian.....	24
3.2.2 Bahan Baku Penelitian.....	24
3.2.3 Perancangan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	25
3.2.4 Prosedur Pembuatan Benda Uji.....	26
4. STUDI LITERATUR.....	28
4.1 Pengumpulan Data.....	28
4.1.1 Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete.....	28
4.1.2 Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete.....	37
4.1.3 Fly Ash Based Geopolymer Concrete.....	39

4.1.4	Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview	42
4.1.5	Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus.....	44
4.1.6	Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete	47
4.1.7	Recent Research Geopolymer Concrete.....	50
4.2	Pengelompokan Data	55
4.3	Pengolahan Data	57
5.	HASIL DAN ANALISA PENELITIAN	66
5.1	Penelitian Awal.....	66
5.2	Desain Campuran Benda Uji	74
5.3	Hasil Pengujian Pasta Geopolimer.....	77
5.3.1	Suhu Ruangan Pada Saat <i>Mix Design</i>	77
5.3.2	Kelembaban Pada Saat <i>Mix Design</i>	78
5.3.3	Berat Pasta (gram).....	78
5.3.4	Kuat Tekan (MPa).....	79
5.3.5	Hubungan Berat Jenis dan Kuat Tekan.....	82
5.3.6	Pola Keruntuhan.....	83
5.4	Analisa Hasil Pengujian.....	83
5.4.1	Pengaruh Faktor Air-Prekursor.....	83
5.4.2	Pengaruh Faktor Suhu <i>Curing</i>	86
6.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	90
6.1	Kesimpulan	90
6.2	Saran	93
	DAFTAR PUSTAKA	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ikatan Polimerisasi Beton Geopolimer	6
Gambar 2.2. Alur Polimerisasi.....	8
Gambar 2.3. Tahap Disolusi	9
Gambar 2.4. Skema Reaksi Polikondensasi Monomer $Al(OH)_4^-$ dan $Si(OH)_4$	10
Gambar 2.5. <i>Scanning Electron Microscopy</i> dari Campuran antara Abu terbang dengan Natirum Silikat	17
Gambar 2.6. <i>Scanning Electron Microscopy</i> dari Campuran antara Abu terbang dengan Natirum Hidroksid.....	18
Gambar 3.1. Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Metode Penelitian Studi literatur.....	23
Gambar 3.2. Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Metode Penelitian Laboratorium.....	24
Gambar 4.1. Distribusi partikel abu terbang tipe 1	31
Gambar 4.2. Distribusi partikel abu terbang tipe 2.....	31
Gambar 4.3. Distribusi partikel abu terbang tipe 3	31
Gambar 5.1. Pola kehancuran pada Pasta Geopolimer.....	83



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Syarat Gradasi Agregat Halus/Pasir (Standar ASTM C 33-78).....	12
Tabel 2.2. Syarat Gradasi Agregat Kasar(Standar ASTM C 33-78).....	13
Tabel 2.3. Karakteristik Abu Sekam Padi.....	16
Tabel 3.1. Jumlah Benda uji <i>Mix Design</i>	26
Tabel 4.1. Gradasi Agregat Tipe 1	29
Tabel 4.2. Gradasi Agregat Tipe 2	29
Tabel 4.3. Gradasi Agregat Tipe 3	30
Tabel 4.4. Komposisi Kimia Abu terbang berdasarkan tes <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	30
Tabel 4.5. Komposisi <i>Mix Design</i> (kg/m ³).....	32
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Kuat Tekan	35
Tabel 4.7. Komposisi Senyawa Abu Terbang.....	38
Tabel 4.8. Komposisi <i>Mix Design</i> per m ³	38
Tabel 4.9. Hasil kuat tekan beton <i>geopolymer</i> (MPa).....	39
Tabel 4.10. Komposisi <i>Mix Design</i> per m ³	41
Tabel 4.11. Kuat Tekan Umur 7 Hari	42
Tabel 4.12. Komposisi Unsur <i>Fly Ash</i>	43
Tabel 4.13. Komposisi <i>Mix Design</i> per m ³	43
Tabel 4.14. Kuat Tekan Umur 3 Hari dengan Agregat Limbah.....	44
Tabel 4.15. Kuat Tekan Umur 3 Hari dengan Agregat Murni.....	44
Tabel 4.16. Komposisi Senyawa <i>Fly Ash</i>	46
Tabel 4.17. Komposisi <i>Mix Design</i> per m ³	46
Tabel 4.18. Kuat Tekan Umur 3 Hari	47
Tabel 4.19. Komposisi Senyawa <i>Fly Ash</i>	48
Tabel 4.20. Komposisi <i>Mix Design</i> (kg/m ³).....	49
Tabel 4.21. Hasil Pengujian Kuat Tekan	49
Tabel 4.22. Komposisi Senyawa Abu Terbang.....	50
Tabel 4.23. Komposisi <i>Mix Design</i> (kg/m ³).....	50
Tabel 4.24. Data Tiap Literatur.....	52
Tabel 4.25. Material yang Digunakan.....	54
Tabel 4.26. Bahan Tambahan dan <i>Curing</i>	58
Tabel 4.27. Pengelompokan Tiap Penelitian	56
Tabel 5.1. Komposisi Pasta Metode 1.....	67
Tabel 5.2. Berat Pasta Geopolimer Metode 1	67
Tabel 5.3. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 1	67
Tabel 5.4. Komposisi Pasta Metode 2, 3 dan 4.....	69
Tabel 5.5. Berat Pasta Geopolimer Metode 2	69
Tabel 5.6. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 2	69
Tabel 5.7. Berat Pasta Geopolimer Metode 3	71
Tabel 5.8. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 3	71

Tabel 5.9. Berat Pasta Geopolimer Metode 4	72
Tabel 5.10. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 4	72
Tabel 5.11. Jumlah Benda Uji.....	75
Tabel 5.12. Komposisi <i>Mix Design</i> per m ³	76
Tabel 5.13. Suhu Ruangan Pada Saat <i>Mix Design</i>	77
Tabel 5.14. Kelembaban Pada Saat <i>Mix Design</i>	78
Tabel 5.15. Berat Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,25.....	78
Tabel 5.16. Berat Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3.....	78
Tabel 5.17. Berat Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,35.....	79
Tabel 5.18. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,25	79
Tabel 5.19. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3	80
Tabel 5.20. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,35	81



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Gardasi Agregat Kasar.....	45
Grafik 4.2. Gardasi <i>Bottom Ash</i>	45
Grafik 4.3. Kuat Tekan Umur 7 Hari.....	51
Grafik 4.4. Hubungan antara Rasio Air-Prekursor dengan Kuat tekan dengan Bahan Tambahan Superplasticizer	60
Grafik 4.5. Hubungan antara Rasio Air-Prekursor dengan Kuat tekan Tanpa Bahan Tambahan Superplasticizer.....	63
Grafik 5.1. Kuat Tekan Tiap Metode <i>Curing</i>	73
Grafik 5.2. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,25 dan Suhu 30 ⁰ C.....	79
Grafik 5.3. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3 dan Suhu 30 ⁰ C.....	80
Grafik 5.4. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3 dan Suhu 60 ⁰ C.....	80
Grafik 5.5. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3 dan Suhu 90 ⁰ C.....	81
Grafik 5.6. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,35 dan Suhu 90 ⁰ C.....	81
Grafik 5.7. Kuat Tekan pada Beberapa Variasi Umur.....	82
Grafik 5.8. Hubungan antara Berat Jenis dengan Kuat Tekan Pasta Geopolimer....	83
Grafik 5.9. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Variasi Rasio Air-Prekursor Pada Suhu <i>Curing</i> 30 ⁰ C.....	84
Grafik 5.10. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Variasi Rasio Air-Prekursor Pada Suhu <i>Curing</i> 90 ⁰ C.....	85
Grafik 5.11. Pengaruh Rasio <i>Water/Geopolymer Solids</i> Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer.....	86
Grafik 5.12. Pengaruh Suhu <i>Curing</i> Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer.....	87

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kurun waktu satu dasawarsa terakhir, permasalahan pemanasan global (*global warming*) menjadi salah satu isu yang paling menarik perhatian dunia. Salah satu faktor penyebab terjadinya pemanasan global adalah gas rumah kaca yang terdiri dari CO₂, CH₄, N₂O. Diantara gas-gas tersebut, kontribusi CO₂ merupakan yang paling signifikan dan menurut beberapa sumber, sumbangan CO₂ dari industri semen dunia mencapai 5% dari total emisi gas CO₂. Hal ini disebabkan oleh proses pembakaran tiga bahan dasar semen yaitu: kapur, silika dan alumina yang memerlukan suhu sekitar 1400°C untuk membentuk klinker.

Dalam produksi satu ton semen Portland, akan dihasilkan kurang lebih sekitar satu ton gas karbondioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Produksi semen dunia akan meningkat dari 1,5 milyar ton pada tahun 1995 menjadi 2,2 milyar ton pada tahun 2010 (Malhotra, 1999), yang berarti pada tahun 2010 industri semen akan melepaskan gas karbondioksida sejumlah 2,2 miliar ton ke alam bebas. Sehingga untuk mereduksi gas CO₂, dilakukan penelitian untuk mengganti sebagian atau seluruh semen dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan.

Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO₄ dan AlO₄ yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1994). Beton geopolimer adalah campuran beton yang secara total tanpa menggunakan semen. Beton geopolimer dihasilkan dengan sepenuhnya mengganti semen portland dengan prekursor yang berupa mineral alam atau hasil sampingan seperti lempung, kaolin, abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi. Dengan memanfaatkan beton geopolimer maka secara tidak langsung kita juga akan mengurangi pencemaran lingkungan yang terjadi, karena dapat mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh industri semen.

Pada umumnya, sebagai pengganti semen digunakan bahan pozzolan yang mengandung unsur aluminium (Al) dan Silikat (Si) yang berperan penting dalam membuat ikatan polimer. Bahan tersebut tidak memiliki kemampuan mengikat,

namun dengan adanya air dan aktivator alkalin misalnya NaOH, KOH, Na₂SiO₃, oksida silika pada bahan pozzolan akan bereaksi kimia membentuk ikatan polimer. Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan abu terbang sebagai bahan dasar beton, ternyata kekuatan yang dihasilkan dapat mencapai mutu tinggi, yaitu diatas K-500 (Hardjito, Djuwanto, et al., 2004).

Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer, baik dari segi proporsi campuran, lamanya pencampuran, jenis prekursor dan aktivator, suhu *curing* dan lain sebagainya. Salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah hubungan antara rasio air-prekursor dengan kuat tekan beton geopolimer seperti halnya rasio air-semen (*water cement ratio*) pada beton konvensional.

Besarnya nilai rasio air-prekursor beton geopolimer dipengaruhi oleh banyaknya kadar air dan prekursor dalam campuran beton, dimana kadar air dipengaruhi oleh banyaknya air tambahan (*extra water*) dan kandungan air pada aktivator alkalin (NaOH dan sodium silikat). Selain itu, zat *admixture* seperti superplasticizer juga sangat mempengaruhi rasio air-prekursor tersebut karena dapat mereduksi air. Oleh karena itu, dilakukan studi literatur mengenai beton geopolimer dengan meninjau perbandingan rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian dengan judul “*Studi Literatur Pengaruh Perbandingan Faktor Air-Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*” ini merupakan salah satu prasyarat kelulusan penulis sebagai sarjana Teknik Sipil pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Selain tujuan utama tersebut di atas, secara lebih mendalam penulis melakukan penelitian ini dengan maksud untuk :

- Mempelajari dan menganalisa beton geopolimer secara umum.
- Mempelajari dan menganalisa pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer pada beberapa penelitian.
- Mempelajari dan menganalisa faktor yang mempengaruhi nilai rasio air-prekursor pada beton geopolimer.

1.3 Batasan Penelitian

Ruang lingkup atau batasan penelitian ini yaitu :

1. Penelitian dilakukan dengan studi literatur mengenai pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer.
2. Data yang dikumpulkan berasal dari literatur yang ada misalnya dari buku, skripsi, jurnal internasional dan bahan yang mendukung lainnya.
3. Penelitian mencakup analisa data percobaan di laboratorium mengenai pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberi manfaat sebagai berikut :

- Untuk penulis
Menambah pengetahuan dan wawasan mengenai beton geopolimer secara umum serta pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton.
- Untuk pembaca
Menambah pengetahuan dan wawasan mengenai beton geopolimer secara umum serta pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton.
- Untuk peneliti
Penelitian ini bisa dijadikan referensi dan acuan dalam penelitian selanjutnya.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika yang dilakukan dalam penulisan penelitian.

BAB II: LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang pengumpulan teori yang mendukung dalam penulisan yaitu mencakup pengertian, sejarah, sifat-sifat, material pembentuk beton geopolimer, serta faktor yang mempengaruhi nilai rasio air-prekursor.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian yang mencakup studi literatur dan pengolahan beberapa data di laboratorium. Metode yang digunakan pada studi literatur adalah metode yang digunakan peneliti dalam pengumpulan dan pengelompokan data dengan variabel rasio air-prekursor sampai pada penarikan kesimpulan. Sedangkan metode yang digunakan dalam pengolahan data laboratorium adalah membuat benda uji, menganalisa dan mengambil kesimpulan.

BAB IV : STUDI LITERATUR

Bab ini berisi tentang hasil ringkasan dari beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang variasi rasio air-prekursor dan hasil kuat tekan beton geopolimer. Kemudian melakukan pengumpulan dan pengelompokan data dari hasil ringkasan. Hasil akhir yang diperoleh adalah mendapatkan nilai rasio air-prekursor dan komposisi campuran yang memiliki kuat tekan paling tinggi pada tiap-tiap pengelompokan.

BAB V : HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi tentang hasil analisa dari percobaan laboratorium pada pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi dengan meninjau variabel rasio air-prekursor dan suhu *curing*.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil analisis pada bab sebelumnya beserta saran-saran yang diberikan.

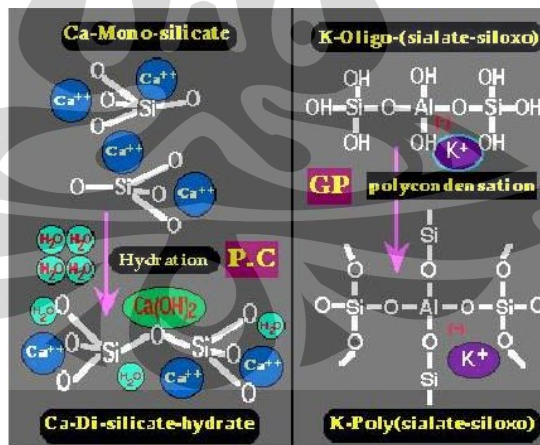
BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Defenisi Beton Geopolimer

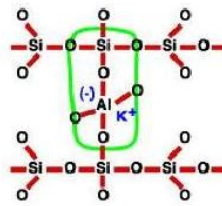
Beton geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Beton geopolimer dihasilkan dengan sepenuhnya mengganti semen portland biasa (OPC). Dengan memanfaatkan beton geopolimer maka secara tidak langsung kita juga akan mengurangi pencemaran lingkungan yang terjadi, karena dapat mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh industri semen dan memanfaatkan limbah pabrik seperti abu terbang.

Ikatan polimerisasi yang terjadi adalah Si – O – Al – O (Hardjito, Djuwantoro, dkk. *The Stress-Strain Behaviour of Fly ash-based Geopolymer Concrete*), sedangkan ikatan yang terjadi pada beton konvensional yang menggunakan semen menghasilkan ikatan kalsium silikat hidrat (CSH). Perbandingan ikatan kimiawi yang terjadi antara beton geopolimer dan beton konvensional dapat dilihat pada gambar 2.1., sedangkan Ikatan polimerisasi yang terjadi tampak pada gambar 2.2.



Gambar 2.1. Ikatan Pada Beton Konvensional (kiri) dan Ikatan Pada Beton Gopolimer (kanan)

(Sumber : www.geopolymer.org)



Gambar 2.1. Ikatan Polimerisasi Beton Geopolimer

(Sumber : www.geopolymer.org)

2.2 Sejarah Beton Geopolimer

Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Davidovits sejak tahun 70an. Objek yang pertama kali diteliti adalah tentang struktur mineral dari piramid. Sebelumnya, piramid dibuat dengan menyusun balok-balok raksasa, namun berdasarkan penelitian Davidovits, piramid dibuat dengan metode re-aglomerasi batuan atau dengan kata lain, pada saat itu piramid dibangun dengan cara seperti dengan cara modern, yaitu “semen” jaman dulu. Penelitian selanjutnya, Davidovits menemukan bahwa “semen” tersebut dapat dibuat dengan mencampurkan metakaolinit dan larutan alkali.

Dibandingkan dengan Semen Portland biasa, geopolimer memiliki keunggulan yaitu lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Sebagaimana telah diketahui, produksi Semen Portland juga akan menghasilkan gas Karbondioksida yang menyebabkan efek rumah kaca. Geopolimer tidak memiliki efek samping tersebut bahkan bisa dibuat dari abu terbang. Beberapa riset juga menunjukkan bahwa geopolimer memiliki kinerja yang cukup tinggi sebagai material bangunan (Palomo et al., 1992; Davidovits and Davidovics, 1988). Bahkan memiliki ketahanan terhadap serangan asam (Bakharev, 2005).

2.3 Sifat-sifat Beton Geopolimer

Suatu campuran beton dikatakan sebagai beton *geopolimer* jika memiliki sifat-sifat berikut:

- a. Pada beton segar (*Fresh Concrete*)
 - Memiliki waktu *setting* 10 jam pada suhu -20°C sampai 7-60 menit pada suhu 20°C

- Penyusutan selama *setting* kurang dari 0,05%
 - Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0,1% (ASTM 4843)
- b. Pada beton keras (*hardened concrete*)
- Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 MPa pada umur 28 hari
 - Memiliki kuat tarik sebesar 10-15 MPa pada umur 28 hari
 - Memiliki *water absorption* kurang dari 3%

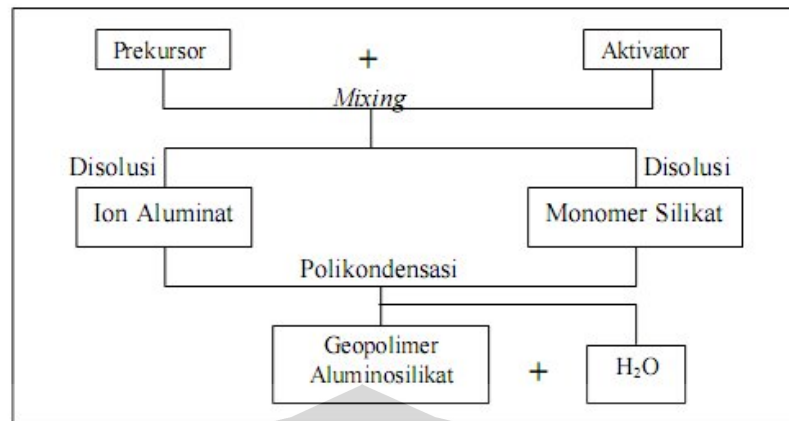
2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer

- a. Kelebihan – kelebihan penggunaan Beton Geopolimer :
- Beton geopolimer ramah lingkungan karena mampu mereduksi CO₂.
 - Beton geopolimer relatif murah.
 - Beton geopolimer tahan terhadap serangan asam sulfat.
 - Beton geopolimer mempunyai rangkakan dan susut yang kecil.
 - Beton geopolimer tahan reaksi alkali-silika.
 - Beton geopolimer tahan api.
- b. Kekurangan – kekurangan penggunaan beton geopolimer :
- Pembuatannya sedikit lebih rumit dari beton konvensional karena jumlah material yang digunakan lebih banyak daripada beton konvensional.
 - Belum ada perhitungan *mix design* yang pasti.

2.5 Reaksi Geopolimer

Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits,1994). Reaksi AL dan Si dengan alkalin akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 .

Berikut adalah diagram alur polimerisasi pada beton geopolimer hingga menghasilkan produk akhir berupa Geopolimer Aluminosilikat dan hasil sampingan H₂O.



Gambar 2.2. Alur Polimerisasi

(Sumber : M.Fajar Hermansyah, Skripsi, 2008)

1. Prekursor

Bahan mentah atau prekursor yang digunakan untuk membentuk geopolimer dapat berupa mineral aluminosilikat alami seperti lempung atau limbah industri. Limbah industri yang dimaksud adalah limbah yang banyak mengandung alumina dan silika seperti blast furnace slag, abu terbang, serbuk granit dan lumpur merah.

2. Aktivator

Alkalin aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi. Alkali mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan mereka ke dalam monomer $[\text{SiO}_4]$ dan $[\text{AlO}_4]$.

- Natrium silikat (NaSiO_4) berfungsi untuk mempercepat reaksi polimer. Mudah didapat dan ekonomis.

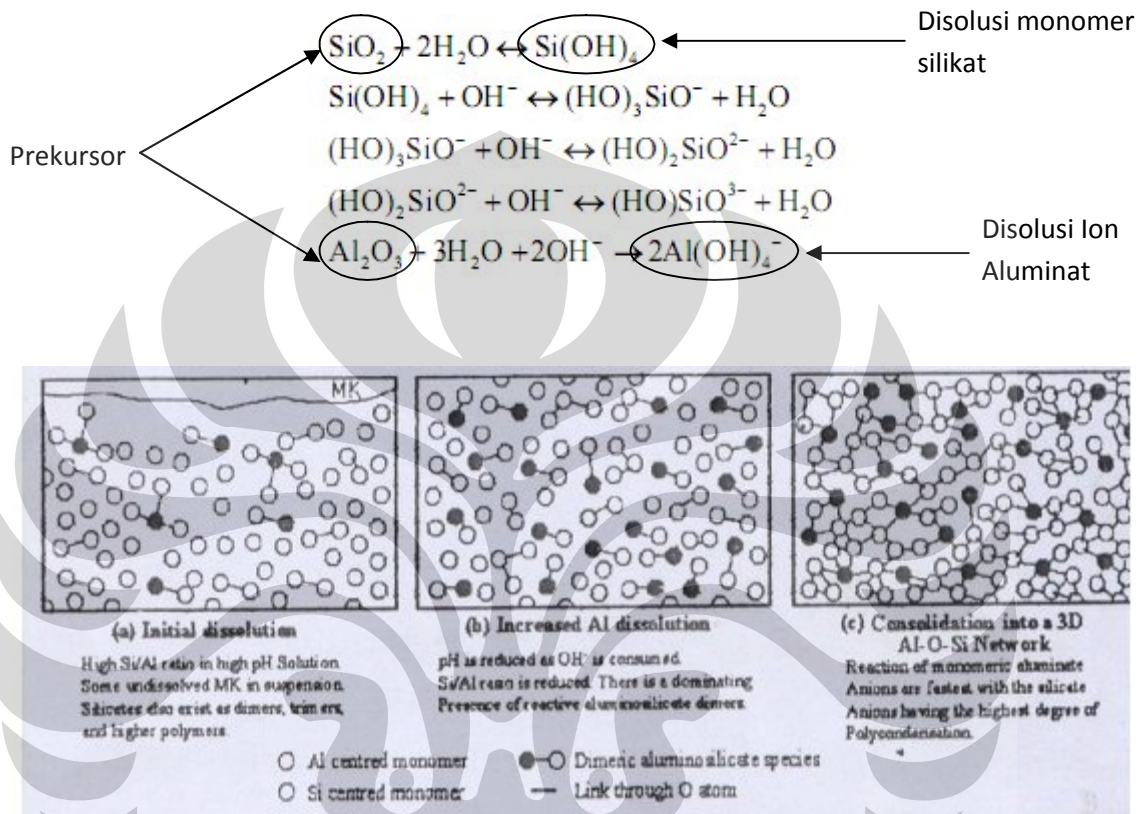
Campuran antara abu terbang dan natrium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur.

- Natrium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si dengan menambah ion Na^+

Campuran Abu terbang dan natrium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan.

Saat SiO_2 dan Al_2O_3 terikat secara tetrahedral dengan berbagi atom oksigen, harus ada ion positif (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^+) dalam lubang kerangka untuk menyeimbangkan muatan negatif dari Al^{3+}

3. Disolusi dan Polikondensasi



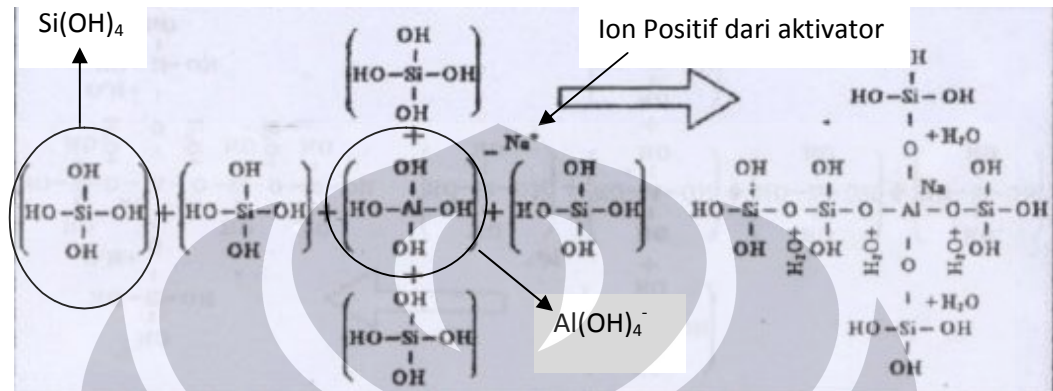
Gambar 2.3. Tahap Disolusi

(Sumber : M.Fajar Hermansyah, Skripsi, 2008)

Keterangan Gambar

- Tahap awal dimana rasio Si/Al tinggi, karena kecepatan pelepasan Al dari prekursor bersifat lambat. Lebih dari satu monomer berinti Si yang berikatan dengan satu anion Aluminat, sehingga hanya terdapat beberapa ikatan.
- Penambahan disolusi Al menyebabkan pengurangan rasio Si/Al sehingga OH semakin dikonsumsi dan pH campuran akan turun. Hal ini menyebabkan pengurangan monomer berinti -Si dan peningkatan grup hidroksil (OH) yang terikat pada monomer berinti -Si.

- c. Peningkatan grup hidroksil (OH) meningkatkan kemungkinan reaksi polikondensasi antara monomer berinti -Si dengan $\text{Al}(\text{OH})_4$. Seiring dengan waktu, produk polikondensasi akan terkonssolidasi ke dalam jaringan aluminosilikat yang mengandung rantai -Si-O-Si dan -Si-O-Al



Gambar 2.4. Skema Reaksi Polikondensasi Monomer $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ dan $\text{Si}(\text{OH})_4$

(Sumber : M.Fajar Hermansyah, Skripsi, 2008)

Pada disolusi alumina, OH dikonsumsi untuk menghidrolisis unsur Al untuk membentuk anion aluminat $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Maka, untuk mencapai disolusi yang sempurna pada pembentukan monomer aluminat dan silikat dibutuhkan larutan alkali aktivator yang mencukupi.

Proses sintesis terbagi atas proses aktivasi bahan alumina-silika oleh ion alkali dan proses *curing* untuk mendorong terjadinya polimerisasi dari monomer alumina-silika menjadi struktur jaringan molekul tiga dimensi.

Untuk menjaga koordinasi tetrahedral monomer Al yang terdapat pada larutan alkali, rasio ion logam alkali dengan Al haruslah satu. Nilai 1 pada rasio Na:AL memperlihatkan jumlah minimum kation Na yang dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan muatan di dalam geopolimer.

2.6 Material Beton Geopolimer

Material beton geopolimer hampir sama dengan beton konvensional, perbedaannya adalah bahan pembentuk pasta beton (media pengikat). Pada beton geopolimer, semen diganti dengan prekursor dan aktivator yang berfungsi untuk mereaksikan prekursor.

Bahan pembentuk beton geopolimer terdiri dari :

- Agregat kasar dan agregat halus
- Prekursor
- Aktifator alkalin (*Activator alkaline*)
- Air
- Zat *additive* dan *admixture* (jika diperlukan)

2.6.1 Agregat

Dalam SNI-03-2847-2002, agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media perangkat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik.

Didalam beton, agregat baik kasar maupun halus, mengisi sebagian besar volume beton, yaitu antara 50% hingga 80%, sehingga sifat-sifat dan mutu agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat dan mutu beton.

Dalam teknologi beton, agregat yang digunakan terdiri dari banyak klasifikasi yaitu:

a. Ditinjau dari asalnya

o Agregat Alam

Agregat alam adalah agregat yang menggunakan bahan baku batu alam atau hasil penghancurannya. Agregat alam ini dapat dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu : kerikil dan pasir alam, agregat batu pecah, dan agregat batu apung.

o Agregat Buatan

Agregat batuan adalah suatu agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan tertentu (khusus), atau karena kekurangan agregat dari batuan alam. Agregat yang umum dibuat adalah agregat ringan.

b. Ditinjau dari Tekstur Permukaannya

Sehubungan kuat ikatan antar butir, maka keadaan permukaan agregat terdiri atas:

- o Mengkilat
- o Kasar
- o Licin
- o Berbutir

- o Berpori
- c. Ditinjau dari besar butirannya
 - Agregat Halus

Agregat halus dalam hal ini adalah pasir. Agregat halus didefinisikan sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau hasil industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Bila digunakan untuk campuran beton, pasir harus memenuhi syarat-syarat diantaranya, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering, serta harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam (well grading).

Menurut British Standar (BS) yang juga dipakai di Indonesia saat ini. Kekasaran pasir dapat dibagi menjadi 4 (empat) kelompok gradasi (zone), yaitu pasir yang halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Keempat gradasi tersebut disebut sebagai Daerah I (zone 1), Daerah II (zone 2), Daerah III (zone 3), Daerah IV (zone 4).

Tabel 2.1. Syarat Gradasi Agregat Halus/Pasir (Standar ASTM C 33-78)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Tembus Kumulatif				Standar ASTM C 33-78
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	
9,5	100	100	100	100	100
4,75	90-100	90-100	90-100	95-100	95-100
2,36	60-95	75-100	85-100	95-100	80-100
1,18	30-70	55-90	75-100	90-100	50-85
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100	25-60
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50	10-30
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15	2-10

(Sumber : Neville A M, 1981, p.186)

- Agregat Kasar

Agregat kasar didefinisikan sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah hasil industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5,0 mm sampai dengan 40,0 mm. Bila digunakan untuk campuran beton, agregat kasar harus memenuhi syarat-syarat diantaranya, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% berat kering, serta harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam (well grading).

Tabel 2.2. Syarat Gradasi Agregat Kasar(Standar ASTM C 33-78)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Tembus Kumulatif		
	Ukuran Butir Nominal (mm)		
	37,5-4,75	19-4,75	12,5-4,75
50	100	-	-
38,1	95-100	-	-
25	-	100	-
19	35-70	90-100	100
12,5	-		90-100
9,5	10-30	20-55	40-70
4,75	0-5	0-10	0-15
2,36	-	0-5	0-5

(Sumber : Neville A M, 1981, p.191)

2.6.2 Prekursor

Prekursor geopolimer adalah material yang berbasis alumina silikat yang kaya akan silikon dan aluminium, yang dapat berupa mineral alami seperti kaolin, tanah liat, mika dan bahan lain yang rumus empirisnya mengandung Si, Al, dan oksigen (O). Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai prekursor adalah produk sampingan seperti abu terbang, abu sekam padi, *silica fume*, lumpur merah dan lain lain. Berikut akan dibahas dua jenis prekursor yaitu abu terbang dan abu sekam padi.

2.6.2.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang adalah mineral aditif yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai yang diklasifikasikan sebagai limbah B3 berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No.18 Tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah (PP) No. 85 Tahun 1999.

Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik. Kandungan abu terbang sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, natrium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit.

Sifat fisik dari abu terbang (*fly ash*) adalah : (ACI *Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-6*)

- a) *Specific Gravity* : 2,2 – 2,8
- b) Ukuran : Ø 1 mikron – Ø 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 |

Sebagian besar komposisi kimia dari abu terbang tergantung tipe batu bara. Menurut ASTM C618-86, terdapat dua jenis abu terbang, kelas F dan C. Kelas F dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit dan bituminous, sedangkan kelas C dari batubara jenis lignite dan subituminous. Kelas C memiliki kadar kapur tinggi. Abu terbang dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3), yaitu :

a. Kelas C

Abu terbang yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%.
- Kadar CaO mencapai 10%.

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.

b. Kelas F

Abu terbang yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara.

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%.
- Kadar CaO < 5%.

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Penggunaan abu terbang dalam campuran beton mempunyai beberapa keunggulan, yaitu :

- a. Pada beton segar
 - Kehalusan dan bentuk partikel abu terbang yang bulat dapat meningkatkan *workability*.
 - Mengurangi terjadinya bleeding dan segregasi.
- b. Pada beton keras
 - Kontribusi peningkatan kuat tekan beton pada umur setelah 52 hari.
 - Meningkatkan durabilitas beton.
 - Meningkatkan kepadatan (*density*) beton.
 - Mengurangi terjadinya penyusutan beton.

Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan aktifator alkalin, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan aktivator alkalin.

2.6.2.2 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi adalah hasil pembakaran sekam padi yang biasanya terbuang begitu saja karena dianggap sebagai limbah pertanian (*waste product*). Karakteristik kimia abu sekam padi berdasarkan ASTM C618-94a, terdiri dari senyawa Silikat (SiO_2) yaitu 87,9 % namun tidak mengandung Al_2O_3 seperti abu terbang.

Abu sekam padi adalah limbah hasil pembakaran dari sekam padi yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran batu bata mentah, dalam proses pembuatan bata. Sekam padi atau kulit gabah merupakan limbah dari pabrik penggilingan padi dimana sekam merupakan bagian terbesar kedua setelah beras dan gabah. Sekam padi atau kulit gabah merupakan limbah dari pabrik penggilingan padi dimana sekam merupakan bagian terbesar kedua setelah beras dari gabah. Abu sekam padi banyak mengandung senyawa silikat (SiO_2) yaitu 88,92 % sehingga dapat digolongkan sebagai pozzolan.

Pembakaran sekam pada proses pembuatan batu bata dapat mencapai suhu $600-700^\circ\text{C}$ dalam waktu sekitar 1 sampai 2 jam, dimana pada suhu tersebut akan dihasilkan SiO_2 yang reaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan

pozzolan buatan. Hebatnya silika yang dari abu sekam padi ini tidak kalah dengan *silica fume* yang harganya cukup tinggi.

Pembakaran sekam pada suhu 550-880°Celsius menghasilkan *amorphous silica* sedangkan pada pembakaran dengan temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan Kristal silika.

Tabel 2.3. Karakteristik Abu Sekam Padi

Karakteristik fisika	Nilai
Specific gravity	2.28
Fineness- median size	7
Surface area	30.24
Karakteristik kimia	(%)
Silicon dioxide (SiO ₂)	87.90
Carbon (C)	5.32

(Sumber : Strength and durability of Rice Husk Ash-Modified Concrete in the Marina Environment, Marcelina Alvarez)

2.6.3 Aktifator Alkalin

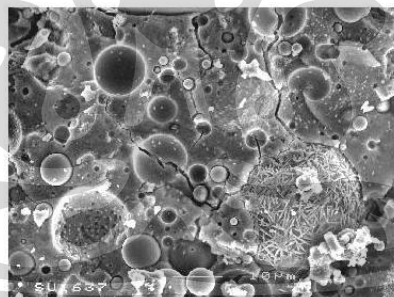
Aktifator alkalin adalah senyawa kimia yang direaksikan dengan prekursor sehingga terjadi reaksi polimerisasi. Natirum silikat dan natirum hidroksida digunakan sebagai aktifator alkalin (Hardjito, Djuwantoro, dkk. *Factors Influencing the Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*). Natirum silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan natirum hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

2.6.3.1 Natirum Silikat

Natirum silikat merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang sering digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana maka sejak 1818 natirum silikat berkembang dengan cepat.

Natirum silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan, untuk campuran beton lebih banyak digunakan dengan bentuk larutan natirum silikat atau yang lebih dikenal dengan *water glass*, pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, *coating*, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industry seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa natirum silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono, B. dan Sutanto, E., 2005).

Natirum silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang memainkan peranan penting dalam proses polimerisasi karena natirum silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara lebih cepat pada larutan alkali yang banyak mengandung larutan silikat seperti natirum silikat ataupun potassium silikat dibandingkan larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida. Pada Gambar dibawah, ditunjukkan bahwa campuran antara abu terbang dan natirum silikat membentuk ikatan yang sangat kuat.

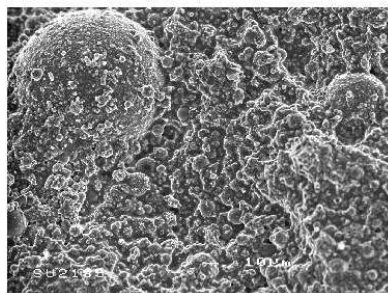


Gambar 2.5. *Scanning Electron Microscopy* dari Campuran antara Abu terbang dengan Natirum Silikat

(Sumber : Sandy Kosnatha dan Johanes Prasetyo Utomo, Skripsi, 2007)

2.6.3.2 Natirum Hidroksida

Natirum hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Pada gambar dibawah, ditunjukkan bahwa campuran abu terbang dengan natirum hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan.



Gambar 2.6. *Scanning Electron Microscopy* dari Campuran antara Abu terbang dengan Natirum Hidroksid

(Sumber : Sandy Kosnatha dan Johannes Prasetio Utomo, Skripsi, 2007)

2.6.4 Air

Didalam campuran beton geopolimer, air mempunyai fungsi utama yaitu untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan pencetakan.

Air yang dipergunakan untuk membuat beton harus terbebas dari bahan-bahan yang merugikan seperti Lumpur, tanah liat, bahan organik dan asam organik, alkali dan garam-garam lain. BS 3148 : 1959 (1) memberikan cara-cara pengujian air dan ada catatan tentang cocok atau tidaknya air untuk membuat beton. Bila ada hal yang meragukan, disarankan untuk mengirim contoh bahan air ke laboratorium untuk dianalisa dan dibandingkan dengan air yang telah diketahui memenuhi syarat.

2.7 Faktor yang Mempengaruhi Rasio Air-Prekursor

Penelitian ini membahas tentang pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer. Dalam hal ini faktor yang ditinjau adalah nilai rasio air-prekursor dan kuat tekan.

Berikut ini adalah dua faktor yang ditinjau, yang dapat mempengaruhi nilai rasio air-prekursor :

2.7.1 Kadar air

Telah lama diketahui bahwa kekuatan beton merupakan kebalikan fungsi (*Invers Function*) dari rasio FAS (Faktor Air Semen) pada beton konvensional

yang menggunakan semen sebagai bahan perekat atau pengikat agregat. Semakin kecil FAS maka akan semakin kuat beton yang di peroleh. Air merupakan bahan yang esensial dan merupakan salah satu komponen pokok dalam pembuatan beton, yang mempunyai peranan dalam reaksi hidrasi. Sama halnya dengan beton geopolimer dengan campuran bahan prekursor dan aktifator alkalin yang digunakan sebagai pengganti semen. Pada beton geopolimer, air merupakan senyawa penting dalam proses polimerisasi. Untuk itu perlu ditinjau kadar air yang diperlukan dalam campuran beton geopolimer untuk mendapatkan kuat tekan maksimum. Faktor ini dapat ditinjau dari rasio air-prekursor, dimana semakin banyak kandungan air pada campuran beton maka nilai rasio air-prekursor akan semakin besar.

Kadar air pada beton geopolimer berasal dari *extra water* (tambahan air) dan air yang terkandung dalam alkalin aktivator. *Extra water* (tambahan air) adalah banyaknya air tambahan yang dicampur ke dalam beton. Sedangkan air pada alkalin aktivator adalah banyaknya kandungan air yang berada dalam senyawa alkalin aktivator yang biasanya diketahui dalam bentuk persentase kandungan air yang diperoleh berdasarkan hasil tes bahan alkalin aktivator yang digunakan.

2.7.2 Zat Admixture

Pemambahan zat *admixture* pada campuran beton seperti superplasticizer memungkinkan pengurangan air dalam jumlah yang sangat besar, kuat awal yang tinggi serta karakteristik *flow* yang sangat bagus. Superplasticizer disebut juga sebagai bahan tambahan kimia pengurang air.

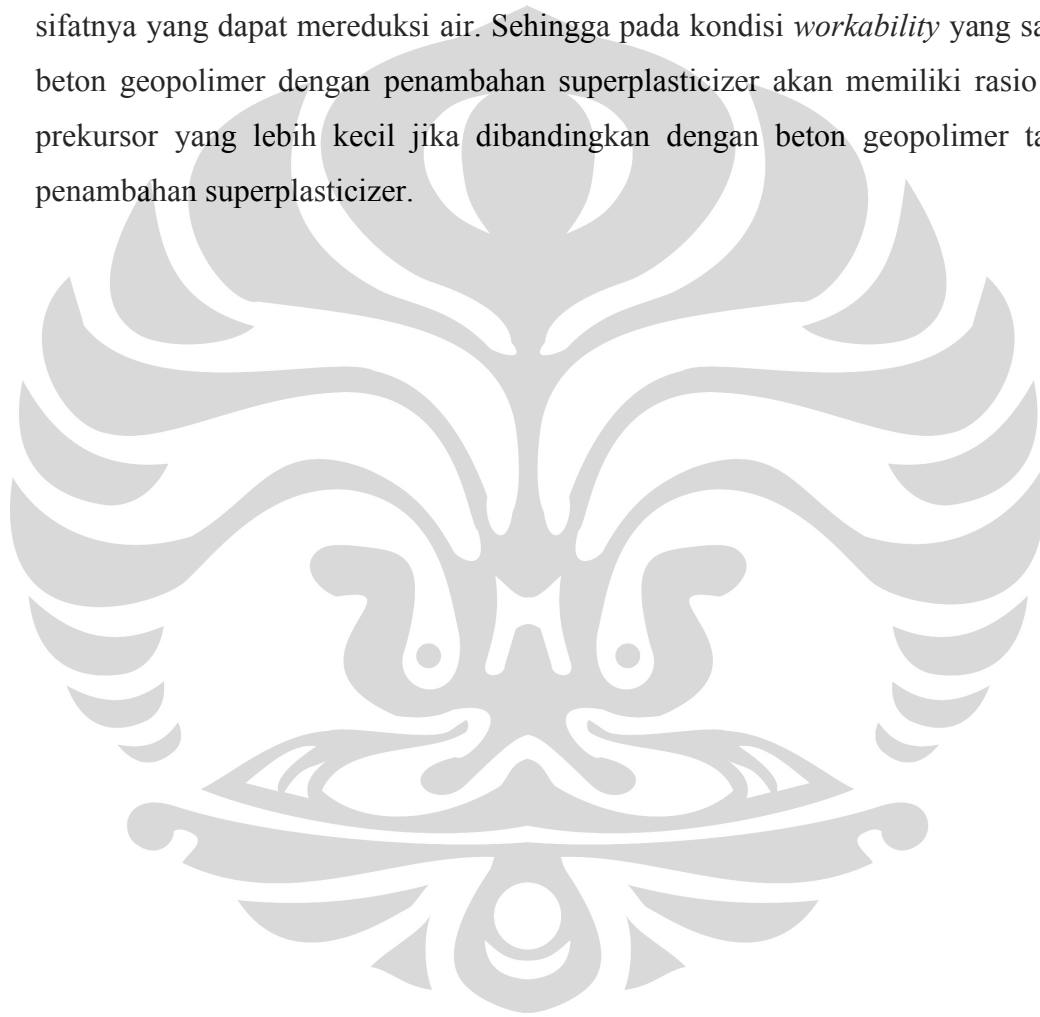
Pada umumnya superplasticizer digunakan untuk :

- Aplikasi untuk beton yang memerlukan kekuatan awal yang sangat besar
- Beton dengan pengurangan air yang besar
- Beton mutu tinggi
- *Self Compacting Concrete* (SCC)

Keuntungan penggunaan superplasticizer ini adalah sebagai berikut :

- Pengurangan air yang banyak akan memberikan densitas yang besar, kekuatan yang tinggi dan mengurangi permeabilitas beton.
- Memudahkan pengerjaan untuk kebutuhan kekuatan awal yang besar
- Efek plastik yang sangat bagus

Sehingga untuk menghasilkan kuat tekan serta *workability* yang tinggi, superplasticizer ditambahkan ke dalam campuran beton. Penambahan superplasticizer tersebut akan mempengaruhi kadar air campuran beton karena sifatnya yang dapat mereduksi air. Sehingga pada kondisi *workability* yang sama, beton geopolimer dengan penambahan superplasticizer akan memiliki rasio air-prekursor yang lebih kecil jika dibandingkan dengan beton geopolimer tanpa penambahan superplasticizer.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan pembahasan mengenai rancangan yang peneliti lakukan. Peran dari rancangan penelitian itu sendiri adalah :

1. Membantu peneliti dalam menyusun kerangka pemikiran serta alur proses penelitian yang jelas dan baik.
2. Rancangan penelitian ini juga membantu peneliti dalam membuktikan proses pembenaran dari kerangka berpikir peneliti.
3. Sebagai pedoman peneliti dalam melangkah dalam upaya menyelesaikan penelitian ini.

Metodologi penelitian dalam skripsi ini terbagi atas dua bagian yaitu metodologi untuk studi literatur beton geopolimer dan metodologi untuk penelitian laboratorium pasta geopolimer.

3.1 Studi Literatur

Metodologi penelitian yang digunakan secara sistematis dijelaskan sebagaimana pada gambar 3.1 dengan uraian sebagai berikut:

1. Pengumpulan data

Dari hasil penelusuran literatur, data-data yang diperoleh adalah data hasil penelitian yaitu berupa kuat tekan, komposisi material serta data lain yang disebutkan dalam penelitian tersebut yang mempengaruhi rasio air-prekursor dan kuat tekan. Berikut adalah data-data yang dibutuhkan :

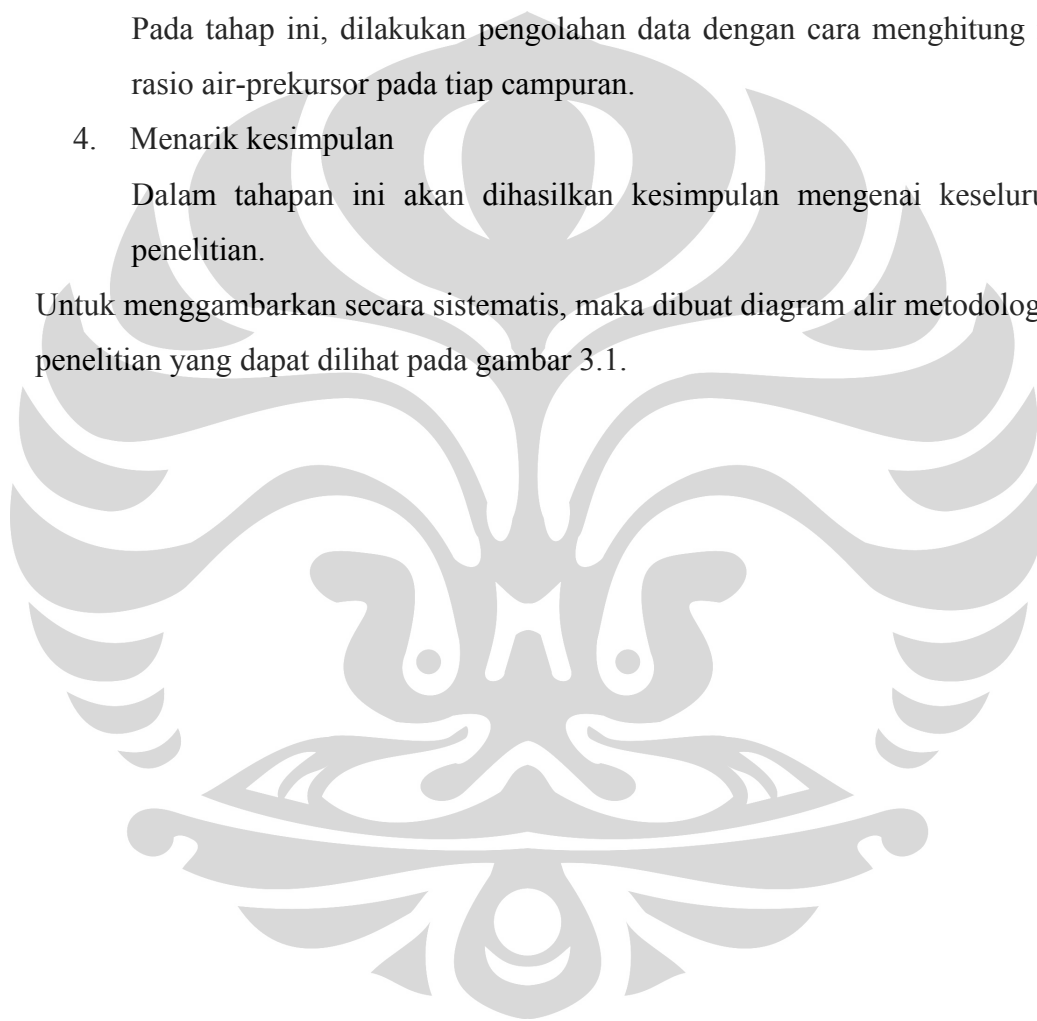
- a. Jenis material pembentuk beton geopolimer beserta spesifikasinya.
- b. Komposisi setiap *mix design*.
- c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer.
- d. Hasil pengujian kuat tekan.

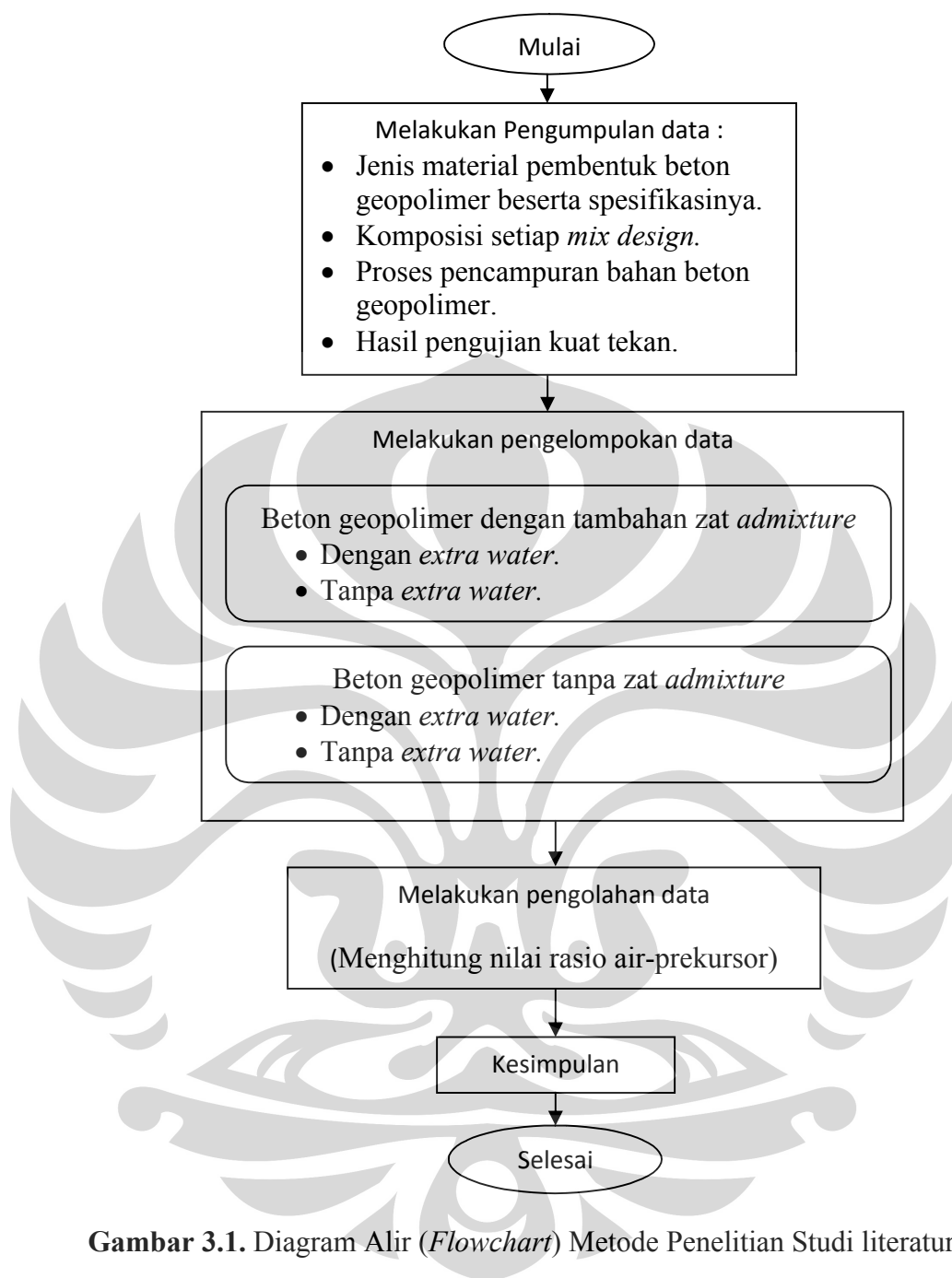
2. Pengelompokan data

Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan semua data kedalam empat kelompok, yaitu :

- Beton geopolimer dengan tambahan zat *admixture*.
 1. Dengan *extra water*.
 2. Tanpa *extra water*.
 - Beton geopolimer tanpa zat *admixture*.
 3. Dengan *extra water*.
 4. Tanpa *extra water*.
3. Melakukan pengolahan data
Pada tahap ini, dilakukan pengolahan data dengan cara menghitung nilai rasio air-prekursor pada tiap campuran.
4. Menarik kesimpulan
Dalam tahapan ini akan dihasilkan kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian.

Untuk menggambarkan secara sistematis, maka dibuat diagram alir metodologi penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3.1.





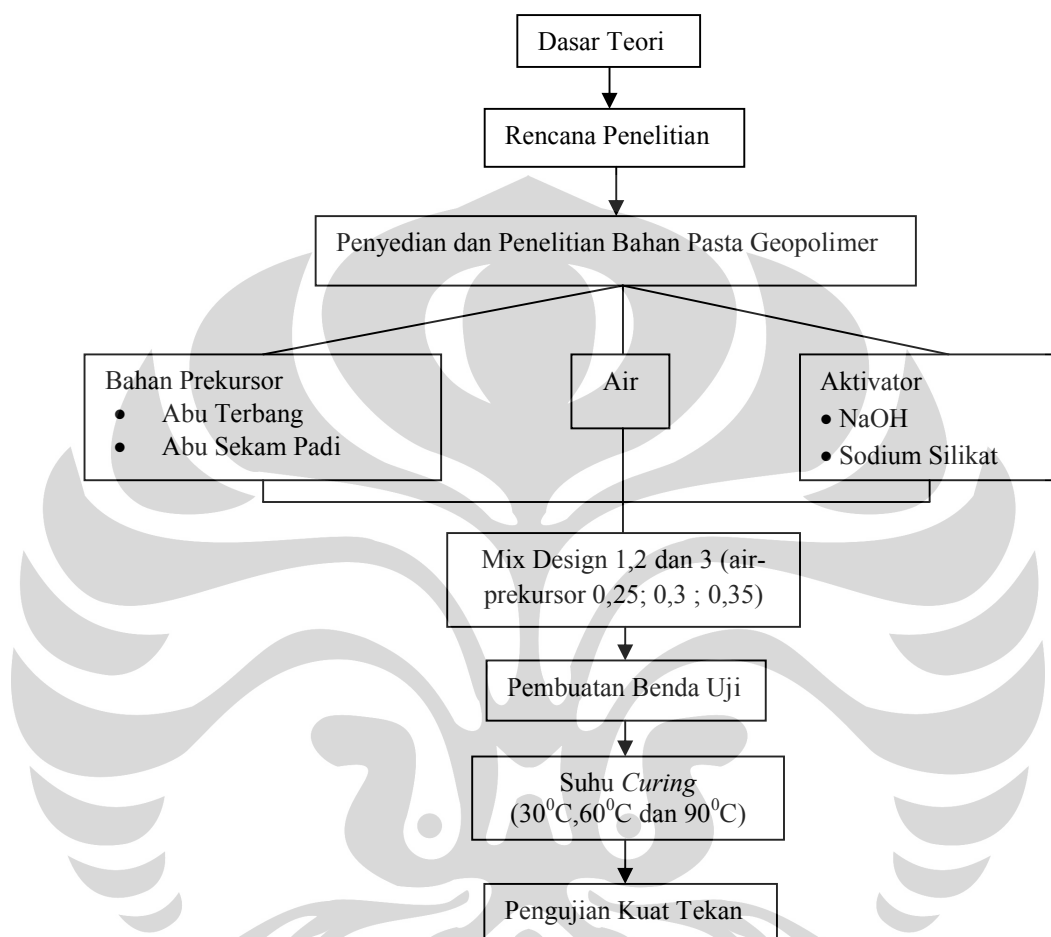
Gambar 3.1. Diagram Alir (*Flowchart*) Metode Penelitian Studi literatur

3.2 Penelitian Laboratorium

Metode penelitian di laboratorium ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian pasta geopolimer, kemudian menganalisa pengaruh air-prekursor dan suhu *curing* terhadap kuat tekan pada pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi. Pelaksanaan penelitian ini menghasilkan tiga variasi rasio air-prekursor (0,25; 0,3 dan 0,35) serta tiga variasi suhu *curing*

(30⁰C; 60⁰C dan 90⁰C). Tahap selanjutnya adalah tahap pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat tekan pasta.

Dapat disimpulkan bahwa diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Diagram Alir (*Flowchart*) Metode Penelitian Laboratorium

3.2.1 Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

3.2.2 Bahan Baku Penelitian

Bahan Baku Penelitian pasta geopolimer yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Air
- b. Abu Terbang (*Fly Ash*)
- c. Abu Sekam Padi
- d. Sodium Silikat
- e. Sodium Hidroksida

3.2.3 Perancangan Campuran (*Mix Design*)

a. Komposisi *Mix Design* Pasta Geopolimer

Prosedur perhitungan campuran pasta geopolimer yang dilakukan pada penelitian ini merupakan hasil konversi dari perhitungan beton geopolimer. Jadi, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat perhitungan untuk *mix design* beton geopolimer.

Prosedur perhitungan campuran beton geopolimer berbeda dengan perhitungan campuran beton normal. Komposisi campuran beton geopolimer yang diteliti mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh B.V. Rangan, 2008, pada penelitiannya yang berjudul “FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE”, dimana penelitian B.V. Rangan juga mengacu pada penelitian Joseph Davidovits yang menjelaskan beberapa ketentuan perhitungan komposisi beton geopolimer.

Namun, perhitungan *mix design* pada penelitian ini tidak sepenuhnya mengikuti perhitungan B.V. Rangan karena pengaruh kandungan air aktivator yang berbeda sehingga mempengaruhi hasil komposisi bahan.

Detail perbandingan komposisi tiap material dan bahan kimia yang digunakan merupakan hak kekayaan intelektual peneliti, sehingga tidak ditampilkan dalam laporan penelitian ini.

b. Benda uji *Mix Design*

Benda uji *mix design* yang akan dibuat pada penelitian ini adalah sample untuk uji kuat tekan pasta geopolimer. Berikut adalah tabel jumlah benda uji yang akan dibuat.

Tabel 3.1. Jumlah Benda uji *Mix Design*

No	Umur	Jumlah benda uji tiap variasi (buah)	Jumlah Variasi rasio air-prekursor (buah)	Jumlah Variasi suhu <i>curing</i> (buah)	Total benda uji (buah)
1	4 jam	5	3	3	45
2	8 jam	5	3	3	45
3	1 hari	5	3	3	45
4	3 hari	5	3	3	45
5	7 hari	5	3	3	45
6	14 hari	5	3	3	45
7	21 hari	5	3	3	45
8	28 hari	5	3	3	45

Berdasarkan tabel diatas, maka jumlah total benda uji yang akan dianalisis dalam penelitian adalah sebanyak 360 buah dengan bentuk benda uji kubus (5cm x 5cm x 5cm).

3.2.4 Prosedur Pembuatan Benda Uji

Urutan pekerjaan pencampuran dan pengadukan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan-bahan pembentuk pasta yaitu prekursor (abu terbang dan abu sekam padi), aktivator alkalin (NaOH dan natrium silikat) dan air sesuai dengan perhitungan *mix design*.
2. Menyiapkan bekisting dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm kemudian melapisi permukaan bekisting dengan plastik untuk menghindari bekisting berkarat karena pengaruh dari aktifator alkalin. Selain itu fungsi penggunaan plastik juga untuk mempermudah pengeluaran benda uji.
3. Sodium hidroksida dilarutkan terlebih dahulu ke dalam air sehingga terbentuk NaOH dengan molaritas 8Mol.
4. Melarutkan sodium silikat dengan sisa air tambahan (*extra water*) dengan tujuan supaya membentuk cairan yang mudah dicampur dengan bahan lain karena sebelum air dicampurkan, sodium silikat berbentuk seperti *gel* (kadar air rendah).
5. Mencampur larutan NaOH dan sodium silikat yang sebelumnya sudah dicampur dengan sisa air tambahan (*extra water*).

6. Persiapan mesin *mix* serta alat-alat lain yang dibutuhkan pada saat melakukan pencampuran (*mixing*), seperti alat penusuk khusus pasta dan sendok untuk memasukkan pasta ke dalam bekisting.
7. Memasukkan prekursor yang terdiri dari abu terbang dan abu sekam padi ke dalam mesin *mix*, kemudian dicampur hingga campuran merata.
8. Memasukkan larutan NaOH dan sodium silikat ke dalam prekursor yang sudah tercampur. Kemudian melakukan pengadukan secara bertahap dengan total waktu pengadukan ± 5 menit. Perlu diperhatikan bahwa campuran harus homogen atau tidak terjadi pemisahan campuran. Jika hal ini terjadi, waktu pengadukan diperpanjang.
9. Setelah selesai dicampur, pasta segar (*fresh paste*) dicetak didalam cetakan yang berbentuk persegi berukuran 5cm x 5cm x 5cm dan kemudian memadatkannya dengan tongkat pemadat khusus pasta.
10. Setelah melakukan pemadatan, sisi cetakan diketuk perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup. Permukaan pasta diratakan. Kemudian pasta dibiarkan dalam cetakan selama 1 jam dengan asumsi selama 1 jam pasta segar sudah mengeras.
11. Setelah 1 jam, benda uji di masukkan ke dalam oven untuk di-*curing* pada suhu (30⁰C, 60⁰C atau 90⁰C) tergantung variasi yang sudah ditentukan. Sebelum memasukkan benda uji ke dalam oven, permukaan atas ditutup plastik. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya retak akibat penguapan pada saat *curing*.
12. Untuk benda uji yang akan diuji pada umur 4 jam, 8 jam dan 24 jam, benda uji dikeluarkan 15 menit sebelum melakukan uji kuat tekan. Sedangkan untuk benda uji lainnya, cetakan dikeluarkan dari oven setelah 24 jam dan dibiarkan di dalam bekisting selama 1 jam untuk menghindari terjadinya perubahan suhu yang drastis.
13. Selanjutnya, cetakan dibuka dan benda uji dikeluarkan kemudian membuat catatan pada benda uji yaitu nomor, tanggal pembuatan, suhu *curing* dan rasio air-prekursor.

BAB 4 STUDI LITERATUR

4.1 Pengumpulan Data

Berikut ini adalah literatur yang diperoleh dari penelitian beton geopolimer yang sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang secara khusus meninjau nilai rasio air-prekursor dan kuat tekan beton geopolimer. Data-data yang dibutuhkan dari tiap literatur adalah sebagai berikut:

- a. Jenis material pembentuk beton geopolimer beserta spesifikasinya.
- b. Komposisi setiap *mix design*.
- c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer.
- d. Hasil pengujian kuat tekan.

4.1.1 Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete

Faculty of Engineering and Computing Departement of Civil Engineering Curtin University of Technology, Australia November (2005).

Peneliti : Djwantoro Hardsjito

Penelitian ini menjelaskan secara rinci tentang perkembangan pembuatan beton geopolimer dengan bahan dasar abu terbang. Karena literatur yang terbatas, maka penelitian dilakukan dengan proses *trial and error* dengan tujuan untuk mengidentifikasi parameter yang sangat mempengaruhi sifat beton geopolimer.

- a. Material yang digunakan :
 1. Agregat Kasar
 2. Agregat Halus
 3. Prekursor (*Fly Ash* tipe F atau *low Calcium*)
 4. Alkalin Aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃)
 5. Super plasticizer
 6. Air

b. Spesifikasi material

1. Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari industri beton lokal di Australia bagian barat. Agregat halus dan kasar pada kondisi *saturated surface dry* (SSD) sesuai dengan standar Australia, AS 1141.5-2000 dan AS 1141.6-2000 (2000,2000). Agregat kasar dalam kondisi *crushed form* dan mayoritas dari jenis granit, sedangkan agregat halus dalam kondisi *uncrushed form* dengan *Finesness Modulus* (FM) dari kombinasi agregat sebesar 5,01.

Tabel 4.1. Gradasi Agregat Tipe 1

Sieve Size	Agregat				Kombinasi *)	BS 882:92
	20 mm	14 mm	7 mm	Pasir		
19 mm	93,34	99,99	100,00	100,00	99,00	95-100
9,5 mm	3,89	17,40	99,90	100,00	69,03	
4,75 mm	0,9	2,99	20,10	100,00	37,77	35-55
2,36 mm	0,88	1,07	3,66	100,00	31,63	
1,18 mm	0,87	0,81	2,05	99,99	31,01	
600 µm	0,85	0,7	1,52	79,58	24,67	10-35
300 µm	0,75	0,59	1,08	16,53	5,57	
150 µm	0,54	0,42	0,62	1,11	0,72	0-8

*) 15% (20mm) + 20% (14mm) + 35% (7mm) + 30% (pasir)

Tabel 4.2. Gradasi Agregat Tipe 2

Sieve Size	Kombinasi *)			Kombinasi *)	BS 882:92
	10 mm	7 mm	Pasir		
19 mm	100	100	100	100	95-100
9,5 mm	74,86	99,99	100	92,42	
4,75 mm	9,32	20,10	100	44,83	35-55
2,36 mm	3,68	3,66	100	37,34	
1,18 mm	2,08	2,05	100	36,34	
600 µm	1,47	1,52	79,6	28,83	10-35
300 µm	1,01	1,08	16,5	6,47	
150 µm	0,55	0,62	1,11	0,77	0-8

*) 30% (10mm) + 35% (7mm) + 35% (pasir)

Tabel 4.3. Gradasi Agregat Tipe 3

Sieve Size	Kombinasi ^{*)}		Kombinasi ^{*)}	BS 882:92
	7 mm	Pasir		
19 mm	100	100	100	95-100
9,5 mm	99,99	100	99,93	
4,75 mm	20,10	100	44,07	35-55
2,36 mm	3,66	100	32,56	
1,18 mm	2,05	100	31,43	
600 µm	1,52	79,6	24,94	10-35
300 µm	1,08	16,5	5,72	
150 µm	0,62	1,11	0,77	0-8

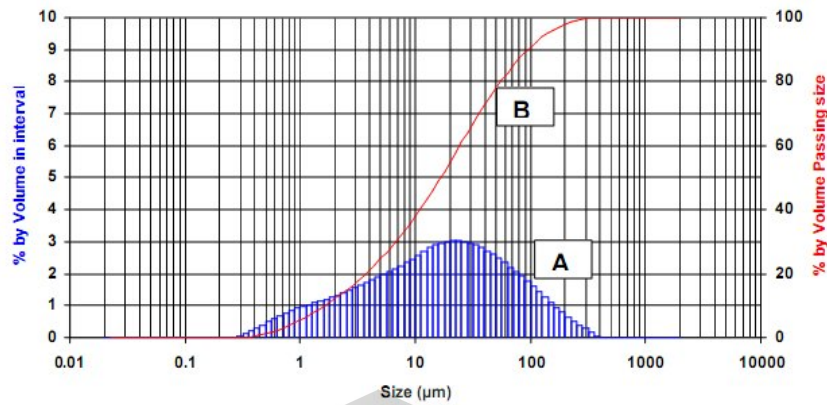
^{*)} 70% (7mm) + 30% (pasir)

2. Fly Ash tipe F

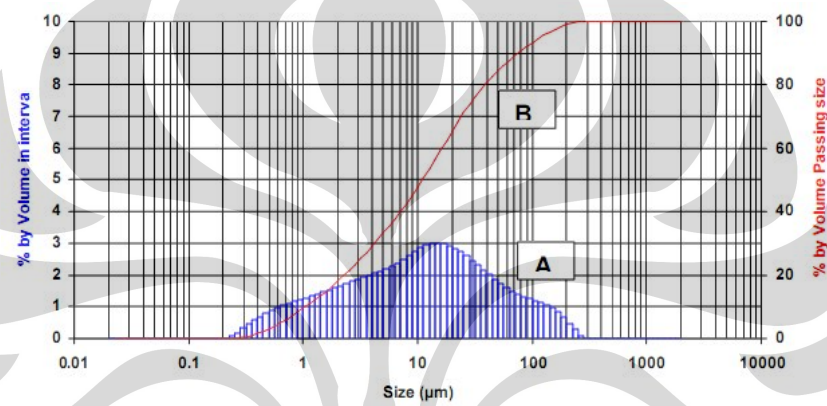
Abu terbang yang diproduksi dari pembangkit listrik di Australia yaitu abu terbang tipe F (*low calcium*), memiliki warna yang sama dengan serbuk semen dan memiliki kandungan silika dan aluminium sebesar 80-85% (Heidrich 2002).

Tabel 4.4. Komposisi Kimia Abu terbang berdasarkan tes *X-Ray Fluorescence* (XRF)

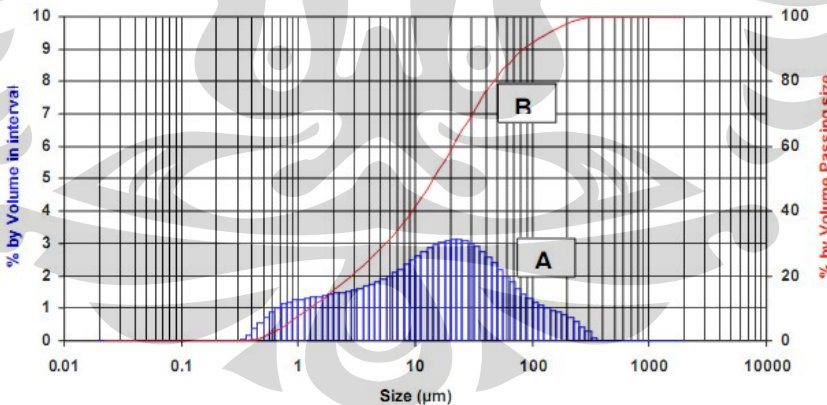
Oksida	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
SiO ₂	53,36	47,8	48
Al ₂ O ₃	26,49	24,4	29
Fe ₂ O ₃	10,86	17,4	12,7
CaO	1,34	2,42	1,78
Na ₂ O	0,37	0,31	0,39
K ₂ O	0,8	0,55	0,55
TiO ₂	1,47	1,328	1,67
MgO	0,77	1,19	0,89
P ₂ O ₅	1,43	2	1,69
SO ₃	1,7	0,29	0,5
ZrO ₂	-	-	0,06
Cr	-	0,01	0,016
MnO	-	0,12	0,06
LOI	1,39	1,1	1,61



Gambar 4.1. Distribusi partikel abu terbang tipe 1



Gambar 4.2. Distribusi partikel abu terbang tipe 2



Gambar 4.3. Distribusi partikel abu terbang tipe 3

Grafik A dan B menunjukkan distribusi ukuran partikel abu terbang yang digunakan pada penelitian. Grafik A menunjukkan distribusi ukuran partikel terhadap persentase volume sedangkan grafik B menunjukkan distribusi ukuran partikel yang lolos terhadap persentase volume.

3. Alkalin Aktivator

Palomo et al (1999) menyimpulkan bahwa tipe aktifator yang digunakan sangat berpengaruh terhadap proses polimerisasi. Dan berdasarkan penelitian Xu dan van Deventer (2000), penambahan sodium silikat ke dalam sodium hidroksida sehingga membentuk solusi aktifator alkalin dapat meningkatkan reaksi antara material (prekursor dan agregat) dengan solusi.

Aktifator alkalin yang digunakan pada penelitian ini adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat. Pemilihan sodium hidroksida (NaOH) didasari oleh harga yang lebih murah dibandingkan dengan potassium hidroksida (KOH).

a. Sodium hidroksida (NaOH)

Terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Golongan teknis, yaitu NaOH dari Sigma-Aldrich Pty Ltd, Australia dengan Specific gravity 2,13 dan kemurnian 98%.
2. Golongan komersial, yaitu NaOH dari Lomb Scientific, Australia dengan kemurnian 97%.

b. Sodium silikat

- *Specific gravity* = 1,53 g/cc
- *Viscosity* pada suhu 20⁰C = 400 cp
- Komposisi Kimia terdiri dari :
 - Na₂O = 14,7%
 - SiO₂ = 29,4%
 - Air = 55,9%

4. Super plasticizer

Untuk meningkatkan *workability* beton geopolimer, digunakan super plasticizer naphthalene sulphonate dengan merek Rheobuild 1000. Super plasticizer yang berbentuk cair ini diperoleh dari Master Builders Technologies, Perth, Australia.

Tabel 4.5. Komposisi *Mix Design* (kg/m³)

<i>Mix</i>	Agregat (mm)					<i>Fly ash</i>	NaOH	Sodium Silikat	<i>Extra Water</i>	SP
	20	14	10	7	Pasir					
1	277	370	-	647	554	476a	120 (8M*)	48	-	-
2	277	370	-	647	554	476a	48	120	-	-

							(8M [*])			
3	277	370	-	647	554	476a	120 (14M [*])	48	-	-
4	277	370	-	647	554	476a	48 (14M [*])	120	-	-
5	-	-	-	1294	554	408c	51,5 (14M ^{**})	103	16,5 ^{x)}	-
6	-	-	-	1294	554	408c	51,5 (14M ^{**})	103	16,5 ^{x)}	4,1
7	-	-	-	1294	554	408c	51,5 (14M ^{**})	103	16,5 ^{x)}	8,2
8	-	-	-	1294	554	408c	51,5 (14M ^{**})	103	16,5 ^{x)}	16,3
9	-	-	554	647	647	408b	41 (12M ^{**})	103	14,3 ^{y)}	6,1
10	-	-	554	647	647	408b	41 (14M ^{**})	103	17,6 ^{y)}	6,1
11	-	-	554	647	647	408b	41 (12M [*])	103	14,3 ^{y)}	6,1
12	-	-	554	647	647	408b	41 (8M [*])	103	-	6,1
13	277	370	-	647	554	408a	41 (14M [*])	103	-	8,2
14	277	370	-	647	554	408a	41 (14M [*])	103	10,7 ^{y)}	8,2
15	277	370	-	647	554	408a	41 (14M [*])	103	21,3 ^{y)}	8,2
16	-	-	554	647	647	408b	41 (8M [*])	103	-	6,1
17	-	-	554	647	647	408b	41 (10M [*])	103	7,5 ^{y)}	6,1
18	-	-	554	647	647	408b	41 (12M [*])	103	14,4 ^{y)}	6,1
19	-	-	554	647	647	408b	41 (14M [*])	103	20,7 ^{y)}	6,1
20	-	-	554	647	647	408b	41 (16M [*])	103	26,5 ^{y)}	6,1
21	-	-	554	647	647	408b	41 (14M ^{**})	103	20,7 ^{y)}	6,1
22	-	-	-	1294	554	408c	41 (14M ^{**})	103	16,5 ^{x)}	6,1
23	-	-	554	647	647	408b	41 (14M [*])	103	-	8,2
24	-	-	554	647	647	408b	41 (8M [*])	103	-	6,1
25	-	-	554	647	647	408b	55,4 (8M [*])	103	-	6,1

26	-	-	554	647	647	408b	55,4 (8M [*])	103	-	6,1
----	---	---	-----	-----	-----	------	----------------------------	-----	---	-----

Keterangan : *Fly ash* (a = tipe 1 ; b = tipe 2 ; c = tipe 3)
 NaOH (* = golongan teknik ; ** = golongan komersial)
Extra water (^x = air leding ; ^y = air suling)

c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer

- o mempersiapkan mesin pengaduk dengan kapasitas 80 liter.



- o mempersiapkan agregat dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*), dan *fly ash* sesuai perhitungan.



- o memasukkan material kering (abu terbang dan agregat) ke dalam mesin pengaduk kemudian mencampurnya selama \pm 3 menit.
- o memasukkan geopolimer *liquid* yaitu aktifator, super plasticizer dan tambahan air (jika ada) ke dalam mesin pengaduk dan melakukan pencampuran (*wet mixing*) selama 4 menit. Setelah pencampuran, beton geopolimer yang terbentuk memiliki warna gelap dan mengkilap pada bagian permukaan.



- o melakukan *slump test* seperti pada beton konvensional untuk menentukan *workability*.



- o memasukkan beton ke dalam bekisting silinder besi 100 x 200 mm dengan melakukan pemadatan tiga *layer* dengan 60 kali tusukan pada tiap *layer* kemudian dilanjutkan dengan pemadatan dengan vibrator selama 10 detik.



- o langkah selanjutnya adalah melakukan *curing* oven 30⁰C, 45⁰C, 75⁰C dan 90⁰C selama 24 jam.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

<i>Mix</i>	Umur	<i>fc'</i> (MPa)	Suhu <i>curing</i> (°C)	Jenis <i>Curing</i>	Keterangan
1	7	17	60	Oven	-
2	7	8	30	Oven	-
	7	24	60	Oven	-
	7	37	90	Oven	-
	7	20	30	Oven	-
	7	57	60	Oven	-

	7	66	90	Oven	-
3	7	48	60	Oven	-
4	7	49	30	Oven	-
	7	25	60	Oven	-
	7	30	90	Oven	-
	7	29	30	Oven	-
	7	68	60	Oven	-
	7	70	90	Oven	-
5	3	42	60	Steam	Superplasticizer 0%
6	3	41	60	Steam	Superplasticizer 1%
7	3	41	60	Steam	Superplasticizer 2%
8	3	36	60	Steam	Superplasticizer 4%
9	7	40	60	Steam	<i>Rest Period</i> 0 hari
	7	41	60	Steam	<i>Rest Period</i> 1 hari
	7	48	60	Steam	<i>Rest Period</i> 2 hari
	7	50	60	Steam	<i>Rest Period</i> 3 hari
	7	49	60	Steam	<i>Rest Period</i> 4 hari
10	7	43	60	Steam	<i>Rest Period</i> 0 hari
	7	53	60	Steam	<i>Rest Period</i> 1 hari
	7	56	60	Steam	<i>Rest Period</i> 2 hari
	7	57	60	Steam	<i>Rest Period</i> 3 hari
	7	57	60	Steam	<i>Rest Period</i> 4 hari
	7	58	60	Steam	<i>Rest Period</i> 5 hari
11	7	38	60	Steam	<i>Rest Period</i> 0 hari
	7	53	60	Steam	<i>Rest Period</i> 1 hari
	7	56	60	Steam	<i>Rest Period</i> 2 hari
	7	59	60	Steam	<i>Rest Period</i> 3 hari
	7	59	60	Steam	<i>Rest Period</i> 4 hari
	7	59	60	Steam	<i>Rest Period</i> 5 hari
12	7	63	60	Oven	<i>Rest Period</i> 0 hari
	7	74	60	Oven	<i>Rest Period</i> 1 hari
	7	73	60	Oven	<i>Rest Period</i> 2 hari
	7	76	60	Oven	<i>Rest Period</i> 3 hari
	7	75	60	Oven	<i>Rest Period</i> 4 hari
	7	77	60	Oven	<i>Rest Period</i> 5 hari
13	7	44	30	Oven	H ₂ O/Na ₂ O = 10
	7	55	45	Oven	-
	7	59	60	Oven	-
	7	65	75	Oven	-
	7	71	90	Oven	-
14	7	35	30	Oven	H ₂ O/Na ₂ O = 11,25
	7	42	45	Oven	-
	7		60	Oven	-
	7	60	75	Oven	-
	7	59	90	Oven	-
15	7	32	30	Oven	H ₂ O/Na ₂ O = 12,5

	7	37	45	Oven	-
	7	44	60	Oven	-
	7	44	75	Oven	-
	7	44	90	Oven	-
16	7	55	60	Oven	Na ₂ O/SiO ₂ = 0,097
	7	47	60	Steam	-
17	7	53	60	Oven	Na ₂ O/SiO ₂ = 0,103
	7	45	60	Steam	-
18	7	51	60	Oven	Na ₂ O/SiO ₂ = 0,109
	7	42	60	Steam	-
19	7	45	60	Oven	Na ₂ O/SiO ₂ = 0,115
	7	40	60	Steam	-
20	7	47	60	Oven	Na ₂ O/SiO ₂ = 0,120
	7	40	60	Steam	-
21	21	37	60	Steam	Mixing time 2 menit
	21	40	60	Steam	Mixing time 4 menit
	21	45	60	Steam	Mixing time 6 menit
	21	45	60	Steam	Mixing time 8 menit
	21	47	60	Steam	Mixing time 10 menit
	21	49	60	Steam	Mixing time 13 menit
	21	52	60	Steam	Mixing time 16 menit
22	3	40	90	Steam	Mixing time 4 menit
	3	47	90	Steam	Mixing time 8 menit
	3	56	90	Steam	Mixing time 16 menit
23	90	89	90	Oven	-
24	90	68	90	Oven	-
25	90	55	60	Oven	-
26	90	44	60	Steam	-

4.1.2 Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete

International Conference pozzolan, Concrete and Geopolymer, Thailand, May, (2006).

Peneliti : Khon Kaen.

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian terhadap kuat tekan dari 7 proporsi campuran mortar dan beton geopolymer yang berbeda. Beton geopolymer yang terbentuk terdiri dari *fly ash* sebagai binder dan sodium hidroksida dan sodium silikat sebagai aktivator alkalin. Bekisting beton yang digunakan pada penelitian ini adalah bekisting kubus dengan ukuran 100 x 100 x 100 mm dan *curing* dilakukan pada suhu 25°C dan 60°C selama 24 jam.

a. Material yang digunakan :

1. Agregat Kasar

2. Agregat Halus
 3. Prekursor (*Fly Ash* tipe F atau *low Calcium*)
 4. Aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃)
 5. Air
- b. Spesifikasi material

1. Agregat

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir sungai, sedangkan agregat kasarnya adalah batu gamping (ukuran maksimum = 3/8 in) dan agregat pada kondisi *saturated surface dry* (SSD).

2. *Fly Ash*

Tipe abu terbang yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe F (*low calcium*) yang berasal dari pembangkit listrik Mae Moh dengan luasan area permukaan 2120 cm²/g.

Tabel 4.7. Komposisi Senyawa Abu Terbang

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	LOI
45,32	20,92	10,7	7,6	1,8	0,2

3. Aktifator

Aktifator alkalin yang digunakan adalah sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH). Sodium hidroksida memiliki kemurnian 98% sedangkan sodium silikat terdiri dari Na₂O = 14,7%, SiO₂ = 29,4% dan air = 55,9%.

Tabel 4.8. Komposisi *Mix Design* per m³

<i>mix</i>	w/b	FA (kg)	Agg.(kg)	S (kg)	W(kg)	Na ₂ O:SiO ₂	NaOH
1	0,4	514	1056	700	95	127	55 (15M)
2	0,42	514	1056	700	119	79	79 (15M)
3	0,41	514	1056	700	119	79	79 (20M)
4	0,47	475	1056	700	79	158	79 (15M)
5	0,46	475	1056	700	79	158	79 (20M)
6	0,48	475	1056	700	79	119	119 (15M)
7	0,46	475	1056	700	79	119	119 (20M)

w/b = *water/binder*, FA = *fly ash*, Agg = agregat, S = pasir, W = air

Tabel 4.9. Hasil kuat tekan beton *geopolymer* (MPa)

<i>Mix</i>	<i>Curing 25°C</i>				<i>Curing 60°C</i>			
	1 hari	3 hari	7 hari	28 hari	1 hari	3 hari	7 hari	28 hari
1	0,9	1,3	2,4	3,1	4,1	4,4	4,9	6,6
2	0,6	1,6	2,8	10,9	7,8	10,7	11,6	13,7
3	0,7	0,8	1,6	11,5	8,6	9,4	13,4	16,6
4	1,7	5,5	12,4	26,6	21,1	22,7	25,5	28,9
5	3,4	8,3	16,3	29,7	25,7	32,9	32,9	35,8
6	1,8	4,5	9,1	15,8	17,5	18,7	21,9	24,4
7	1,8	5,4	10,6	21,8	21,6	24,7	27,0	28,4

4.1.3 Fly Ash Based Geopolymer Concrete

Research Report GC 4 Engineering Faculty Curtin University Technology Perth, Australia (2008).

Peneliti : B. Vijaya Rangan

Secara umum, tujuan penelitian yang dilakukan oleh B.V Rangan adalah untuk mengidentifikasi efek dari beberapa faktor yang mempengaruhi sifat beton geopolimer, baik sifat pada kondisi beton segar maupun beton keras. Dari hasil identifikasi, maka B.V Rangan membuat usulan metode campuran untuk beton geopolimer tersebut. Selain itu, B.V Rangan juga meninjau aplikasi beton geopolimer dalam industri konstruksi dan juga manfaat ekonomi dari beton tersebut.

a. Material yang digunakan :

1. Agregat Kasar
2. Agregat Halus
3. Prekursor (*Fly Ash* tipe F atau *low Calcium*)
4. Aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃)
5. Super Plasticizer
6. Air

b. Spesifikasi material

1. Agregat

Agregat kasar dan halus bisa digunakan dalam pemebentukan beton geopolimer (Hardjito and Rangan, 2005; Wallah and Rangan, 2006; Sumajouw and Rangan, 2006; Gourey, 2003; Gourley and Johnson, 2005; Siddiqui, 2007).

Persentase banyaknya agregat kasar berdasarkan ukuran agregat pada penelitian ini adalah:

- 20 mm = 21,4 %
- 14 mm = 28,6 %
- 7 mm = 50 %

2. Fly Ash

Tipe abu terbang yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe F (*low calcium*). Pemilihan prekursor ini didasarkan dari penelitian (Gourley, 2003; Gourley and Johnson, 2005) yang menyimpulkan bahwa kehadiran kalsium dalam dosis yang tinggi akan mengganggu proses polimerisasi. Kandungan oksida abu terbang tipe F berdasarkan berat adalah :

- Silika dan aluminium sekitar 80% dengan rasio atom Si/Al = 2
- Besi sekitar 10-20%
- Kalsium lebih kecil dari 5%.
- Karbon lebih kecil dari 2%

Tes distribusi ukuran partikel abu terbang mengungkapkan bahwa 80% memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 50 μm (Gourley, 2003; Gourley and Johnson, 2005; Hardjito and Rangan, 2005; Wallah and Rangan, 2006; Sumajouw and Rangan, 2006; Fernandez-Jimenez et al, 2006a; Sofi et al, 2006a; Siddiqui, 2007).

3. Aktifator

Campuran dari sodium silikat dan sodium hidroksida disebut sebagai cairan alkalin. Pencampuran kedua aktifator tersebut direkomendasikan paling tidak 24 jam sebelum digunakan.

Berikut adalah kandungan dari tiap aktifator:

Spesifikasi Na_2SiO_3

- Na_2O = 14,7%
- SiO_2 = 29,4%
- Air = 55,9%

Spesifikasi NaOH

- Kemurnian = 97-98%
- Solid = 26,2%
- air = 73,8%
- Konsentrasi = 8 Molar

4. Super Plasticizer

Penambahan super plasticizer pada penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hardjito dan Rangan, 2005 yang menyimpulkan bahwa penambahan super plasticizer dengan bahan dasar naphthalene sulphonate sampai pada kadar 4% dari berat *fly ash* akan meningkatkan *workability* beton segar *geopolymer* namun pada dosis melebihi 2% akan terjadi degradasi pada beton keras. Sehingga pada penelitian ini, persentase super plasticizer yang dipakai adalah 1,5% dari berat *fly ash*.

Tabel 4.10. Komposisi *Mix Design* per m³

<i>Mix</i>	1	2	3	4
Agregat Kasar	1294	1294	1294	1294
Agregat Halus	554	554	554	554
<i>Fly Ash</i>	425	408	394	380
NaOH	36	41	45	49
NaSiO ₄	91	103	112	122
Super Plasticizer	6,4	6,1	5,9	5,7

Parameter *water* yang dimaksud pada *water-geopolymer solids* adalah kandungan air yang terdapat pada aktivator yaitu NaOH dan NaSiO₄, sedangkan yang termasuk *geopolymer solids* adalah prekursor yaitu abu terbang dan padatan dari aktivator.

- c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer
 - mempersiapkan material sesuai dengan perhitungan.
 - mencampur superplasticizer dengan aktivator (*geopolimer liquid*).
 - memasukkan material kering (abu terbang dan agregat) ke dalam mesin pengaduk yang berkapasitas 80 liter, kemudian mencampurnya selama ± 3 menit, dimana agregat dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*).
 - memasukkan geopolimer *liquid* ke dalam mesin pengaduk dan melakukan pencampuran (*wet mixing*) selama 4 menit.
 - setelah pencampuran, beton geopolimer langsung di tes dengan *slump test* dan dimasukkan ke dalam bekisting silinder 100 x 200 mm dengan metode seperti pada beton konvensional.
 - langkah selanjutnya adalah melakukan *steam curing* 60⁰ selama 24 jam.

Tabel 4.11. Kuat Tekan Umur 7 Hari

<i>Mix</i>	<i>f_c</i> (MPa)
1	58
2	45
3	37
4	32

4.1.4 Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview

Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia, Indonesia (2008).

Peneliti : M E Suryatriyastuti

Penelitian ini membahas tentang kemampuan material beton geopolimer dalam aplikasi balok konstruksi struktural. Namun, dari hasil penelitian ini diperoleh data berupa komposisi campuran beton geopolimer dan nilai kuat tekannya. Data tersebut dapat digunakan untuk meninjau pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan.

a. Material yang digunakan :

1. Agregat Kasar
2. Agregat Halus
3. Prekursor (*Fly Ash* tipe F atau *low Calcium*)
4. Aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃)
5. Air

b. Spesifikasi material

1. Agregat

Jenis agregat kasar yang digunakan adalah :

- Agregat murni Ø 10/20
- Agregat limbah yang *dicrushing* hingga Ø 10/20

Agregat kasar Ø 10/20 adalah agregat yang lolos saringan 1” dan tertahan saringan No.4. Agregat halus merupakan agregat yang lolos saringan No.4 dengan nilai FM diatas 2.0.

2. *Fly Ash*

Jenis *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* tipe F yaitu limbah buangan pembakaran batu bara pada PLTU Suralaya.

Tabel 4.12. Komposisi Unsur *Fly Ash*

Unsur	Berat dalam Campuran (%)
Si	36,9493
Fe	29,9807
Al	19,6704
Ca	7,1182
Ti	2,3313
Mg	1,6518
K	1,3072
S	0,4895
Sr	0,328
Zr	0,1737

3. Aktifator

Aktifator alkalin yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium silikat dan sodium hidroksida. Sodium silikat dibeli dari Toko Kimia BRATAKO dengan senyawa yang terkandung di dalamnya adalah SiO_2 (42,23%), H_2O (22,84%) dan Na_2O (0,11%).

Tabel 4.13. Komposisi *Mix Design* per m^3

Material	Berat (kg)
Agregat Kasar	1037,508
Agregat Halus	650,809
<i>Fly Ash</i>	369,938
NaOH	38,011
Na_2SiO_3	197,307
Air	83,236

c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer

- Mencampur agregat kasar dan agregat halus dalam keadaan kering. Masukkan hasil pencampuran ke dalam *concrete mixer*.
- Membuat larutan aktivator alkali dalam wadah. Setelah terjadi reaksi dalam larutan (ditandai dengan kenaikan suhu), masukkan *fly ash* dan air kedalam larutan kemudian aduk merata. Bahan ini merupakan material geopolimer yang berfungsi sebagai matriks (mortar)
- Memasukkan mortar dan air ke dalam *concrete mixer* dan aduk sampai mendapatkan kondisi homogen.

- Melakukan pencetakan dengan terlebih dahulu melapisi dinding bekisting dengan plastik. Bekisting yang digunakan adalah bekisting kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Proses pencetakan dibagi menjadi tiga lapisan, tiap lapisan dipadatkan dengan menggunakan batang besi sebanyak 25 kali tusukan.
- Setelah bekisting penuh, tutup permukaan beton segar dengan film yaitu berupa bahan plastik termoset yang tahan panas 100⁰C-120⁰C. Hal ini bertujuan untuk menjaga terlepasnya air melalui proses penguapan.
- Untuk *curing*, benda uji dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 60⁰C – 80⁰C selama ± 24 jam.

Tabel 4.14. Kuat Tekan Umur 3 Hari dengan Agregat Limbah

No	P (kg)	A (cm ²)	fc' (MPa)
1	50.000	225	22,22
2	44.000	225	29,56
3	49.250	225	21,89
Rata-rata			21,22
1	62.500	225	27,78
2	62.750	225	27,89
3	73.000	225	32,44
Rata-rata			29,37

Tabel 4.15. Kuat Tekan Umur 3 Hari dengan Agregat Murni

No	P (kg)	A (cm ²)	fc' (MPa)
1	88.000	225	39,11
2	90.500	225	40,22
3	85.500	225	38
Rata-rata			39,11

4.1.5 Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu

Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus

Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia, Indonesia (2008).

Peneliti : M. Fajar Hermansyah

Penelitian ini membahas tentang beton geopolimer dengan bahan dasar abu terbang dimana agregat halus yang digunakan adalah abu dasar. Penelitian ini

dapat digunakan sebagai sumber data dalam meninjau rasio air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer.

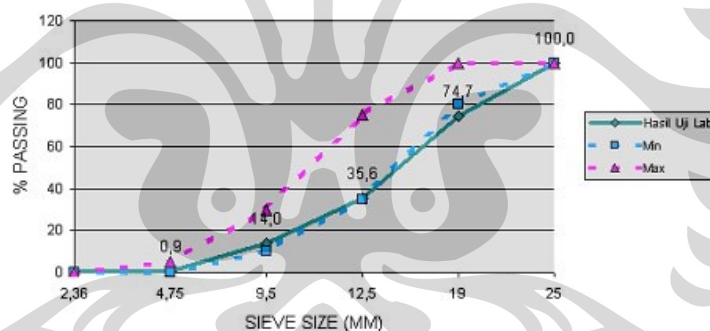
a. Material yang digunakan :

1. Agregat Kasar
2. Agregat Halus
3. Prekursor (*Fly Ash* tipe F atau *low Calcium*)
4. Aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃)
5. Air

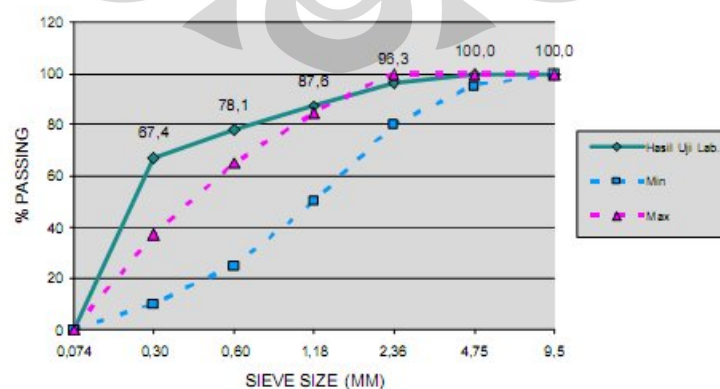
b. Spesifikasi material

1. Agregat

Agregat kasar diperoleh dari PT. Adhimix Precast Indonesia dengan ukuran maksimum 19 mm. Agregat halus yang digunakan adalah *bottom ash* dengan ukuran maksimum 2,36 mm.



Grafik 4.1. Gardasi Agregat Kasar



Grafik 4.2. Gardasi *Bottom Ash*

2. Fly Ash

Jenis *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* tipe F yaitu limbah buangan pembakaran batu bara pada PLTU Suralaya. Dengan melakukan pengujian *X-Ray Fluorescence*, diperoleh unsur dan senyawa yang terkandung di dalam abu terbang tersebut, yaitu :

Tabel 4.16. Komposisi Senyawa *Fly Ash*

<i>Chemical Formula</i>	<i>Wt. (%)</i>
MgO	3,9472
Al ₂ O ₃	19,0896
SiO ₂	45,4462
S	0,2271
K ₂ O	1,2955
CaO	9,8161
Mn ₃ O ₄	0,1658
Fe ₃ O ₄	19,6509
SrO	0,236
ZrO ₂	0,1256

3. Aktifator

Aktifator alkalin yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium silikat dan sodium hidroksida. Pengujian material sodium silikat yang dilakukan adalah pengujian AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) sehingga dapat diketahui senyawa yang terkandung dalam sodium silikat adalah SiO₂ (35,04%) dan Na₂O (0,47%).

Tabel 4.17. Komposisi *Mix Design* per m³

No	CA	S	<i>Fly ash</i>	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O
1	944	572	388,802	39,949	207,368	38,88
2	944	572	348,639	35,823	185,947	104,592
3	944	572	367,627	37,774	196,074	73,525
4	944	572	357,881	36,772	190,876	89,47
5	944	572	362,689	37,266	193,44	81,605
6	944	572	360,269	37,018	192,149	85,564

c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer

Tabel 4.18. Kuat Tekan Umur 3 Hari

No	fc' (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	10,323	14,283
	17,535	
	14,99	
2	18,384	18,766
	19,529	
	18,384	
3	38,889	38,276
	42,283	
	33,657	
4	22,667	22,778
	25,889	
	19,778	
5	44,222	45,111
	46,667	
	44,444	
6	22	21,889
	22	
	21,667	

4.1.6 Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete International Conference On Construction and Building Technology Australia (2008).

Peneliti : M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz

Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti tentang *penetrability* (daya tembus air) pada beton *geopolymer* yang meliputi absorpsi, permeabilitas dan soprtivity sehingga durabilitas beton dapat dikontrol. Penelitian ini menggunakan prekursor *fly ash* tipe F (*low calcium*). Faktor yang sangat mempengaruhi penetrabilitas beton *geopolymer* adalah rasio *water/binder* dan gradasi agregat.

a. Material yang digunakan :

1. Agregat Kasar
2. Agregat Halus
3. *Fly Ash* tipe F atau *low Calcium*
4. Aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃)
5. Air

6. Super Plasticizer

b. Spesifikasi material

1. Agregat

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat jenis granit dengan ukuran maksimum agregat 20mm. Agregat halus dan kasar pada kondisi *saturated surface dry* (SSD) dengan kondisi kelembapan (3-5%).

2. Fly Ash

Tipe abu terbang yang digunakan adalah *fly Ash* tipe F dengan kandungan kimia $\text{CaO} \leq 10\%$ (*low calcium*). *Fly ash* ini diperoleh dari Collie power station, Western Australia dengan komposisi kimia :

Tabel 3.11 Komposisi Senyawa Abu Terbang

Tabel 4.19. Komposisi Senyawa *Fly Ash*

Elemen	<i>Fly ash</i>
SiO_2	50,3
Al_2O_3	26,3
Fe_2O_3	13,6
CaO	2,27
K_2O	0,55
MgO	1,44
Na_2O	0,36
P_2O_5	1,58
SO_3	0,32
LOI	0,54

3. Aktifator

Aktifator yang digunakan adalah sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Pada penelitian ini, konsentrasi dari sodium hidroksida yang digunakan adalah 14M. Sodium silikat diperoleh dari PQ Australia dan rasio perbandingan SiO_2 dan Na_2SiO_3 sama dengan dua.

4. Super Plasticizer

Untuk meningkatkan *workability* beton *geopolymer*, ditambahkan Super Plasticizer dengan bahan dasar naphthalene.

Tabel 4.20. Komposisi *Mix Design* (kg/m³)

Mix	w/b	air	Agregat Kasar			pasir	FA	NaOH	S.S	S.P
			7mm	10mm	20mm					
1	0,20	16,5	647	554	-	647	408	41	103	6,1
2	0,22	20,7	647	554	-	647	408	41	103	6,1
3	0,23	25,8	647	554	-	647	408	41	103	6,1
4	0,25	36,2	647	554	-	647	408	41	103	6,1
5	0,22	25,8	630	540	-	630	444	44	111	6,1
6	0,23	25,8	645	370	277	554	408	41	103	6,1
7	0,24	25,8	672	576	-	672	356	36	89	6,1

S.S = Sodium silikat ; S.P = Super plasticizer ; FA = *Fly ash*

c. Proses pencampuran bahan beton geopolimer

- mempersiapkan material sesuai dengan perhitungan.
- mencampur bahan kimia yaitu NaOH (14M), Sodium silikat, air dan super plasticizer minimal dua jam sebelum proses pencampuran.
- mencampur *fly ash* dan agregat (*dry mix*) selama tiga menit.
- memasukkan campuran kimia secara perlahan ke dalam *dry mix* selama empat menit sampai campuran homogen.
- memasukkan beton segar ke dalam bekisting silinder 100 x 200 mm. Dimana setiap jenis variasi terdiri dari 15 buah beton *geopolymer*. Pengujian yang dilakukan adalah 3 buah untuk tes kuat tekan umur 7 hari, 3 buah untuk 28 hari, 3 buah untuk tes absorpsi, 3 buah untuk tes AVPV dan 3 buah untuk tes sorptivity pada umur 28 hari.
- langkah selanjutnya adalah melakukan *steam curing* 60⁰ selama 24 jam.
- kemudian melakukan *curing* udara pada suhu 23-25⁰C sampai pada waktu pengujian.

Tabel 4.21. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Mix	w/b	Slump (mm)	Compressive strenght (MPa)	
			7 hari	28 hari
1	0,20	270	67,09	67,53
2	0,22	230	38,32	41,36
3	0,23	260	39,68	47,50
4	0,25	270	-	25,28
5	0,22	260	45,96	48,06
6	0,23	260	32,45	36,13
7	0,24	240	24,19	25,44

4.1.7 Recent Research Geopolymer Concrete

The 3rd ACF International Conference-ACF/VCA Faculty of Civil Engineering
University of technology HCM City, Vietnam (2008).

Peneliti : Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan

Penelitian ini membahas tentang keunggulan beton geopolimer jika dibandingkan dengan beton semen portland. Selain itu, penelitian ini juga membahas tentang material, komposisi campuran, mikrostruktur dan parameter yang mempengaruhi beton geopolimer.

Material yang digunakan :

1. Abu terbang (FA)
2. Agregat (A) yang terdiri dari Agregat Halus (SA) dan Agregat Kasar (CA)
3. *Alkaline Liquid* (AL) yaitu NaOH dan Na₂SiO₃
4. Air (W)
5. Super plasticizer (SP)

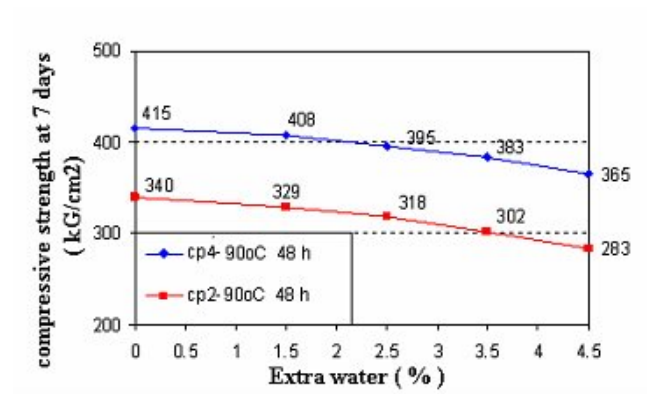
Tabel 4.22. Komposisi Senyawa Abu Terbang

Oxida	(%)	Oxida	(%)
SiO ₂	52	Na ₂ O	0,27
Al ₂ O ₃	33,9	MgO	0,81
Fe ₂ O ₃	4	SO ₃	0,28
CaO	1,2	LOI	6,23
K ₂ O	0,83	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,5

Berdasarkan komposisi kimia bau terbang diatas maka dapat disimpulkan bahwa jenias dari tipe *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fly Ash* tipe F atau *low Calcium* dengan kandungan CaO = 1,2%.

Tabel 4.23. Komposisi *Mix Design* (kg/m³)

<i>Mix</i>	CA	SA	FA	AL	W	SP	A/FA
cp1	1050	595	329	132	0	5	5
cp2	1050	595	365	147	0	5	4,5
cp3	1050	595	411	165	0	6	4
cp4	1050	595	498	199	0	7	3,5
cp5	1050	595	538	210	0	8	3



Grafik 4.3. Kuat Tekan Umur 7 Hari

Grafik diatas menjelaskan pengaruh penambahan air (*extra water*) pada *mix* cp2 dan cp4 dengan komposisi material pada tabel diatas. Dimana penambahan persentase *extra water* pada grafik adalah rasio berat antara air-abu terbang.

Pengaruh penambahan *extra water* menurunkan kuat tekan beton 7 hari pada kedua jenis komposisi *mix* dengan suhu *curing* 90°C selama 48 jam atau 2 hari.

Jika dibuat dalam tabel, berikut adalah data literatur-literatur yang perlu diketahui yaitu data literatur, material yang digunakan, bahan tambahan dan *curing* yang dilakukan pada masing-masing penelitian.

Tabel 4.24. Data Tiap Literatur

No	Nama Peneliti	Judul	Tahun Penelitian/ Tahun <i>Publish</i>	Tempat Penelitian
1	Djwantoro Hardjito	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	2005	Curtin University of Technology, Australia
2	Khon Kaen.	Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete	2006	Thailand
3	B.Vijaya Rangan	Fly Ash Based Geopolymer Concrete	2008	Curtin University Technology Perth, Australia
4	M E Suryatriastuti	Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview	2008	Universitas Indonesia, Indonesia
5	M. Fajar Hermansyah	Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus	2008	Universitas Indonesia, Indonesia
6	M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz	Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete	2008	Australia
7	Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan	Recent Research Geopolymer Concrete	2008	University of technology HCM City, Vietnam

Tabel 4.25. Material yang Digunakan

No	Nama Peneliti	Judul	Ukuran Agregat Kasar (mm)	Jenis Prekursor	Jenis Aktifator Alkalin	Molaritas NaOH (mol)
1	Djwantoro Hardjito	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	20, 14, 10 dan 7	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	8, 10, 12, 14 dan 16
2	Khon Kaen.	Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete	Ukuran maksimum 9,5	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	15 dan 20
3	B.Vijaya Rangan	Fly Ash Based Geopolymer Concrete	20, 14 dan 7	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	8
4	M E Suryatriastuti	Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview	Ukuran maksimum 25,4	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	Tidak diberitahu
5	M. Fajar Hermansyah	Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus	ukuran maksimum 19	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	Tidak diberitahu
6	M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz	Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete	Ukuran maksimum 20	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	14
7	Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan	Recent Research Geopolymer Concrete	Tidak diberitahu	<i>Fly Ash</i> tipe F atau <i>low Calcium</i>	NaOH dan Na ₂ SiO ₃	Tidak diberitahu

Tabel 4.26. Bahan Tambahan dan *Curing*

No	Nama Peneliti	Judul	Bahan Tambahan	Suhu <i>Curing</i> (°C)	Jenis <i>Curing</i>	Lama <i>Curing</i> (jam)
1	Djwantoro Hardjito	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	Beberapa campuran menggunakan Naphthalene sulphonate (Superplasticizer)	30, 45, 60 dan 90	Oven dan <i>Steam</i>	24
2	Khon Kaen.	Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete	-	25 dan 60	Tidak diberitahu	24
3	B.Vijaya Rangan	Fly Ash Based Geopolymer Concrete	Superplasticizer	60	<i>Steam</i>	24
4	M E Suryatriastuti	Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview	-	60-80	Oven	24
5	M. Fajar Hermansyah	Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus	-	60	Oven	24
6	M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz	Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete	Naphthalene (Superplasticizer)	60	<i>Steam</i>	24
7	Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan	Recent Research Geopolymer Concrete	Superplasticizer	90	Tidak dibritahu	48

4.2 Pengelompokan Data

Pengelompokan data terhadap tiap penelitian dilakukan berdasarkan adanya material tambahan yaitu *superplasticizer* dan *extra water* pada campuran beton geopolimer. Kedua bahan tersebut menjadi faktor yang sangat mempengaruhi nilai rasio air-prekursor. Maka, pengelompokan yang dilakukan adalah :

- Beton geopolimer dengan tambahan zat *admixture*.
 1. Dengan *extra water*.
 2. Tanpa *extra water*.
- Beton geopolimer tanpa zat *admixture*.
 3. Dengan *extra water*.
 4. Tanpa *extra water*.

Kadar *extra water* pada campuran akan digunakan pada perhitungan nilai air-prekursor. Namun ada beberapa data pada penelitian tertentu yang tidak menggunakan *extra water* pada pembuatan beton geopolimer, sehingga nilai air-prekursornya tidak dapat dihitung. Data tersebut akan tetap dianalisa, akan tetapi dikelompokkan berbeda dengan kelompok beton geopolimer dengan *extra water*.

- a. Beton geopolimer dengan tambahan zat *admixture*.

Literatur penelitian yang termasuk dalam pengelompokan ini adalah penelitian yang menggunakan zat *admixture* (misalnya *superplasticizer*) dalam penelitiannya. Pengelompokan ini dilakukan untuk menghindari terjadinya perbedaan nilai rasio air-prekursor. Perbedaan nilai rasio air-prekursor yang dimaksud terjadi karena tambahan zat *admixture* yang mampu mereduksi air sehingga jika dibandingkan dengan beton geopolimer tanpa zat *admixture*, maka nilai rasio air-prekursor dengan menggunakan zat *admixture* akan relatif lebih kecil.

Kemudian kelompok ini dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Dengan *extra water*.

Data yang termasuk dalam kelompok ini adalah data dengan campuran beton geopolimer yang mengandung *superplasticizer* dan *extra water* sehingga dapat dihitung nilai air-prekursornya.

2. Tanpa *extra water*.

Data yang termasuk dalam kelompok ini adalah data dengan campuran beton geopolimer yang mengandung *superplasticizer* namun tidak memiliki *extra water*.

b. Beton geopolimer tanpa zat *admixture*

Literatur penelitian yang termasuk dalam pengelompokan ini adalah penelitian yang tidak menggunakan zat *admixture* dalam penelitiannya. Kemudian kelompok ini dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Dengan *extra water*.

Data yang termasuk dalam kelompok ini adalah data campuran yang tidak mengandung *superplasticizer* tetapi terdapat *extra water* dalam campurannya sehingga dapat dihitung nilai air-prekursornya.

2. Tanpa *extra water*.

Data yang termasuk dalam kelompok ini adalah data dengan campuran beton geopolimer yang tidak mengandung *superplasticizer* dan *extra water*.

Tabel 4.27. Pengelompokan Tiap Penelitian

Beton geopolimer dengan tambahan zat <i>admixture</i> .				
• Dengan <i>extra water</i>	No	Judul	Peneliti	
	1	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	Djwantoro Hardjito	
	2	Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete	M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz	
	3	Recent Research Geopolymer Concrete	Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan	
• Tanpa <i>extra water</i> .	No	Judul	Peneliti	
	1	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	Djwantoro Hardjito	
	2	Fly Ash Based Geopolymer Concrete	B. Vijaya Rangan	
	3	Recent Research Geopolymer Concrete	Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan	
Beton geopolimer tanpa zat <i>admixture</i> .				

• Dengan <i>extra water</i>	1	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	Djwantoro Hardjito
	2	Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete	Khon Kaen.
	3	Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview	M E Suryatriastuti
	4	Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus	M. Fajar Hermansyah
• Tanpa <i>extra water</i> .	1	Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete	Djwantoro Hardjito

4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan adalah menghitung rasio air-prekursor masing-masing campuran pada tiap penelitian. Nilai rasio air-prekursor diperoleh dengan cara membagi berat air tambahan (*extra water*) dengan berat prekursor. Perhitungan nilai rasio air-prekursor ini didasarkan oleh kurangnya informasi tentang data yang dibutuhkan pada beberapa penelitian. Beberapa penelitian tidak menjelaskan secara rinci persentase kadar air aktifator alkalin, sehingga tidak dapat dihitung banyaknya air yang disumbangkan oleh aktifator tersebut. Untuk itu pada perhitungan rasio air-prekursor ini, kadar air pada aktifator alkalin tidak dimasukkan dengan tujuan untuk menyamakan asumsi perhitungan pada semua campuran. Sedangkan untuk campuran yang tidak menambahkan *extra water* tetap akan dianalisa tetapi tidak ada pengolahan data pada kelompok tersebut.

Berikut adalah pengolahan data pada tiap pembagian kelompok.

- Beton geopolimer dengan tambahan zat *admixture*.
 1. Dengan *extra water*.

Pada pengelompokan ini, data yang dapat dibandingkan adalah data kuat tekan pada umur 7 hari. Berikut adalah nilai air-prekursor dan kuat tekan masing-masing campuran pada umur 7 hari beton geopolimer :

a. Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
9	14,3	408	0,0350	40
	14,3	408	0,0350	41
	14,3	408	0,0350	48
	14,3	408	0,0350	50
	14,3	408	0,0350	49
10	17,6	408	0,0431	43
	17,6	408	0,0431	53
	17,6	408	0,0431	56
	17,6	408	0,0431	57
	17,6	408	0,0431	57
11	14,3	408	0,0350	38
	14,3	408	0,0350	53
	14,3	408	0,0350	56
	14,3	408	0,0350	59
	14,3	408	0,0350	59
14	10,7	408	0,0262	35
	10,7	408	0,0262	42
	10,7	408	0,0262	60
	10,7	408	0,0262	59
	10,7	408	0,0262	59
15	21,3	408	0,0522	32
	21,3	408	0,0522	37
	21,3	408	0,0522	44
	21,3	408	0,0522	44
	21,3	408	0,0522	44
17	7,5	408	0,0184	53
	7,5	408	0,0184	45
18	14,4	408	0,0353	51
	14,4	408	0,0353	42
19	20,7	408	0,0507	45
	20,7	408	0,0507	40
20	26,5	408	0,0650	47
	26,5	408	0,0650	40
21	20,7	408	0,0507	37
	20,7	408	0,0507	40
	20,7	408	0,0507	45
	20,7	408	0,0507	45

	20,7	408	0,0507	47
	20,7	408	0,0507	49
	20,7	408	0,0507	52
22	16,5	408	0,0404	40
	16,5	408	0,0404	47
	16,5	408	0,0404	56

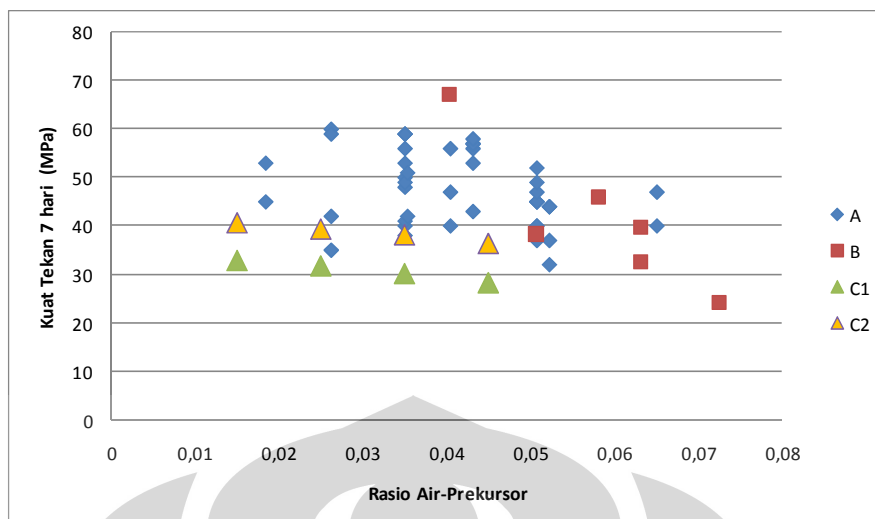
b. Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Ash Geopolymer Concrete

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
1	16,5	408	0,0404	67,09
2	20,7	408	0,0507	38,32
3	25,8	408	0,0632	39,68
4	36,2	408	0,0887	-
5	25,8	444	0,0581	45,96
6	25,8	408	0,0632	32,45
7	25,8	356	0,0725	24,19

c. Recent Research Geopolymer Concrete

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
cp2				
1	5,475	365	0,015	32,9
2	9,125	365	0,025	31,8
3	12,775	365	0,035	30,2
4	16,425	365	0,045	28,3
cp4				
1	7,47	498	0,015	40,8
2	12,45	498	0,025	39,5
3	17,43	498	0,035	38,3
4	22,41	498	0,045	36,5

Berikut adalah grafik hubungan antara rasio air-prekursor dengan kuat tekan beton geopolimer dengan penambahan superplasticizer pada tiga penelitian yang berbeda.



Grafik 4.4. Hubungan antara Rasio Air-Prekursor dengan Kuat tekan dengan Bahan Tambahan Superplasticizer

Keterangan grafik :

A : Penelitian Djwantoro Hardjito

B : Penelitian M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz

C1 : Penelitian Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan pada *mix* cp2

C2 : Penelitian Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, Dang Van Tuan pada *mix* cp4

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan data-data di atas adalah :

- Rasio air-prekursor yang paling kecil adalah 0,015 sedangkan nilai paling besar adalah 0,0887 dan 0,0725.
- Nilai kuat tekan beton geopolimer pada umur 7 hari dengan rasio air-prekursor 0,015 hampir dua kali lebih besar dari kuat tekan dengan rasio air-prekursor 0,0725.
- Nilai kuat tekan pada umur 7 hari yang paling besar diantara ketiga penelitian yang berbeda ini adalah sebesar 67,09 MPa dengan rasio air-prekursor 0,0404 yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh M.Olivia, P.Sarker dan H.Nikraz.
- Nilai kuat tekan beton geopolimer tidak hanya dipengaruhi oleh rasio air-prekursor, tetapi terdapat faktor lain yang juga sangat mempengaruhi nilai kuat tekan seperti komposisi campuran serta bahan yang digunakan dalam campuran.

- Komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada kelompok ini adalah :

Mix	w/b	air	Agregat Kasar			pasir	FA	NaOH	S.S	S.P
			7mm	10mm	20mm					
1	0,20	16,5	647	554	-	647	408	41	103	6,1

S.S = Sodium silikat ; S.P = Super plasticizer ; FA = *Fly ash*

2. Tanpa *extra water*.

Pada pengelompokan ini, data yang dapat dibandingkan adalah data kuat tekan pada umur 7 hari. Berikut adalah nilai air-prekursor dan kuat tekan masing-masing campuran pada umur 7 hari beton geopolimer :

a. Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete

No mix	fc' (MPa)
12	63
	74
	73
	76
	75
	77
13	44
	55
	59
	65
	71
16	55
	47
23	89
24	68
25	55
26	44

a. Fly Ash Based Geopolymer Concrete

No mix	fc' (MPa)
1	58
2	45
3	37
4	32

b. Recent Research Geopolymer Concrete

No mix	fc' (MPa)
--------	-----------

cp2	34
cp4	41,5

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan data-data di atas adalah :

- Nilai rasio air-prekursor tidak dapat dihitung karena tidak adanya *extra water* pada campuran.
- Pada pembagian data kelompok ini, kadar air hanya diperoleh dari aktifator alkalin sehingga perlu diketahui kadar aktifator alkalin pada campuran sehingga menghasilkan kuat tekan paling tinggi.
- Nilai kuat tekan yang paling tinggi adalah 89 MPa yaitu penelitian yang dilakukan oleh Djwantoro Hardjito.
- Komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada kelompok ini adalah :

Mix	Agregat (mm)					Fly ash	NaOH	Sodium Silikat	Extra Water	SP
	20	14	10	7	Pasir					
23	-	-	554	647	647	408b	41 (14M*)	103	-	8,2

Perawatan pada beton dilakukan dengan *curing* di oven pada suhu 90°C.

- Beton geopolimer tanpa zat *admixture*.
3. Dengan *extra water*.

Pada pengelompokan ini, data yang dapat dibandingkan adalah data kuat tekan pada umur 3 hari. Berikut adalah nilai air-prekursor dan kuat tekan masing-masing campuran pada umur 3 hari beton geopolimer :

a. Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
5	16,5	408	0,0404	42

b. Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
1	95	514	0,1848	4,4
2	119	514	0,2315	10,7
3	119	514	0,2315	9,4
4	79	475	0,1663	22,7

5	79	475	0,1663	32,9
6	79	475	0,1663	18,7
7	79	475	0,1663	24,7

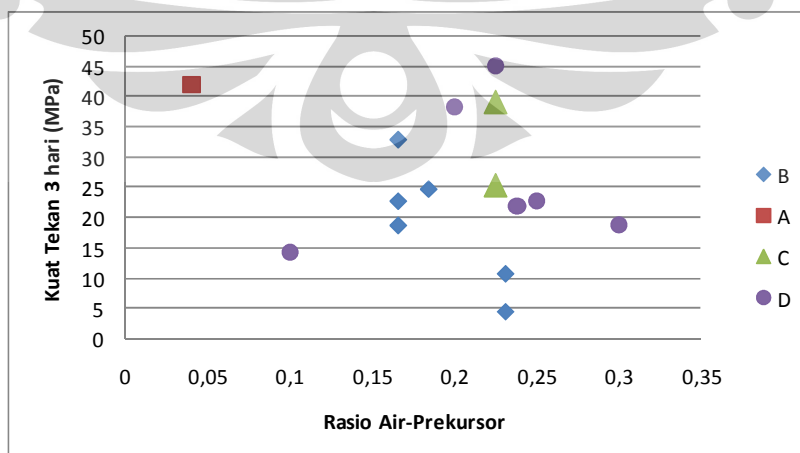
c. Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
1	83,236	369,938	0,225	21,22
				29,37
2	83,236	369,938	0,225	39,11

d. Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus

No mix	Air	Fly ash	a/p	fc' (MPa)
1	38,88	388,802	0,100	14,283
2	104,592	348,639	0,300	18,766
3	73,525	367,627	0,200	38,276
4	89,47	357,881	0,250	22,778
5	81,605	362,689	0,225	45,111
6	85,564	360,269	0,238	21,889

Berikut adalah grafik hubungan antara rasio air-prekursor dengan kuat tekan beton geopolimer tanpa penambahan superplasticizer pada empat penelitian yang berbeda.



Grafik 4.5. Hubungan antara Rasio Air-Prekursor dengan Kuat tekan Tanpa Bahan Tambahan Superplasticizer

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan data-data di atas adalah :

- Nilai kuat tekan yang paling tinggi adalah 45,111 MPa yaitu penelitian yang dilakukan oleh M. Fajar Hermansyah.
- Nilai kuat tekan pada umur 3 hari yang paling besar diantara empat penelitian yang berbeda ini adalah 45,111 MPa dengan rasio air-prekursor 0,225.
- Rasio air-prekursor yang sangat berbeda yaitu 0,0404 dan 0,225 menghasilkan perbedaan nilai kuat tekan yang relatif kecil yaitu sebesar 3,111 MPa. Hasil kuat tekan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya komposisi campuran dan material yang digunakan.
- Komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada kelompok ini adalah :

No	CA	S	Fly ash	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O
5	944	572	362,689	37,266	193,44	81,605

4. Tanpa *extra water*.

Pada pengelompokan ini, data yang dapat dibandingkan adalah data pada umur 7 hari. Berikut adalah nilai air-prekursor dan kuat tekan masing-masing campuran pada umur 7 hari beton geopolimer :

No <i>mix</i>	fc' (MPa)
1	17
2	8
	24
	37
	20
	57
	66
3	48
4	49
	25
	30
	29
	68
	70

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan data-data di atas adalah :

- Nilai rasio air-prekursor tidak dapat dihitung karena tidak adanya *extra water* pada campuran.
- Nilai kuat tekan yang paling tinggi pada umur 7 hari adalah 70 MPa.
- Komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada kelompok ini adalah :

<i>Mix</i>	Agregat (mm)					<i>Fly ash</i>	NaOH	Sodium Silikat	<i>Extra Water</i>	SP
	20	14	10	7	Pasir					
4	277	370	-	647	554	476a	48 (14M*)	120	-	-

Perawatan pada beton dilakukan dengan *curing* di oven pada suhu 90⁰C.

Secara umum, berdasarkan analisa terhadap keseluruhan data dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar perbandingan rasio air-prekursor (a/p) maka kebutuhan air yang digunakan semakin besar. Hal ini menghasilkan kuat tekan beton geopolimer menjadi kecil atau menurun seiring dengan penambahan air. Salah satu penelitian yang menjadi sumber literatur penulis yang menjelaskan kesimpulan tersebut di atas adalah penelitian Nguyen Van Chanh, Bui Dang Trug, dan Dang Van Tuan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan semakin tinggi seiring dengan berkurangnya nilai rasio air-prekursor.

Selain itu dapat disimpulkan juga bahwa pada perbandingan rasio air-prekursor yang terlalu kecil menyebabkan beton kekurangan air sehingga kuat tekan yang dihasilkan kecil. Hasil penelitian yang dapat menjelaskan kesimpulan tersebut adalah penelitian M. Fajar Hermansyah. Berdasarkan hasil penelitiannya, kuat tekan paling tinggi yang diperoleh pada rasio air-prekursor (a/p) dengan variasi dari 0,1 sampai 0,3 adalah sebesar 0,225. Terjadi penurunan kuat tekan pada nilai rasio air-prekursor lebih kecil dari 0,225 yaitu 0,1 dan 0,2.

Sehingga jika ditinjau dari nilai rasio air-prekursornya, dapat disimpulkan bahwa tiap penelitian dengan material dan campuran yang berbeda memiliki nilai rasio air-prekursor yang berbeda untuk menghasilkan kuat tekan paling tinggi.

BAB 5

HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

5.1 Penelitian Awal

Dalam sebuah penelitian, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil penelitian. Pada penelitian pasta geopolimer ini, beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan diantaranya adalah suhu *curing*, metode *curing*, jenis material, komposisi campuran dan lain sebagainya. Sebelum melakukan penelitian pasta geopolimer dengan meninjau faktor air-prekursor dan suhu *curing*, dilakukan penelitian awal. Penelitian awal yang dilakukan adalah untuk menentukan metode *curing* pada penelitian ini. Hasil dari penelitian awal berguna sebagai referensi bagi peneliti dalam pelaksanaan penelitian berikutnya sehingga diperoleh metode *curing* yang cocok untuk penelitian selanjutnya.

Ada empat variasi metode *curing* yang dilakukan namun berdasarkan hasil penelitian hanya tiga metode yang bisa dibandingkan karena metode 1 memiliki perhitungan yang berbeda dengan metode lainnya. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing metode.

1. Metode 1

Pada metode ini, benda uji dikeluarkan dari *mold* setelah 1 jam, kemudian di-*curing* di dalam oven dengan suhu 60⁰C. Setelah 4 jam, suhu diturunkan menjadi 30⁰C karena adanya retakan pada pasta. Penurunan suhu dilakukan karena terjadi retak pada permukaan benda uji yang mungkin disebabkan oleh suhu *curing* yang terlalu tinggi.

Perhitungan campuran pasta geopolimer diperoleh dari hasil konversi campuran beton geopolimer yaitu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh B.V. Rangan, 2008, 2009 pada penelitiannya yang berjudul “FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE”. Variasi air-prekursor yang digunakan adalah 0,3 dengan persentase prekursor abu terbang dan abu sekam padi adalah 7:3.

a. Komposisi Pasta Geopolimer tiap m³

Berdasarkan perhitungan, maka diperoleh komposisi pasta geopolimer tiap m³

Tabel 5.1. Komposisi Pasta Metode 1

Material	Berat (kg)
NaOH	52,703
+Air	148,458
Water Glass	502,908
Abu Terbang	1083,180
Abu Sekam Padi	464,221
Ekstra Air	34,636
Total (%)	2286,106

Pada saat melakukan *mixing*, air ditambahkan sebanyak 250 ml ke dalam campuran pasta. Penambahan air dilakukan karena campuran pasta yang masih kering dan tidak mengikat karena kekurangan air.

b. Perhitungan Volume :

- Dimensi bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Volume 1 bekisting = $0,05^3 = 0,000125 \text{ m}^3$
- Tes = 4, 8 dan 24 jam
- Jumlah total benda uji = 9 buah

Maka, volume total = $0,001125 \text{ m}^3$

c. Hasil Pengujian Pasta

Hasil uji tekan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Hari/Tanggal = sabtu/6 Maret 2010
- Ukuran bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Jumlah sample = 9 buah
- Suhu = $27,7^{\circ}\text{C}$
- Kelembaban = 84

Tabel 5.2. Berat Pasta Geopolimer Metode 1

Uji (jam)	A (gram)	B (gram)	C (gram)
4	231	226	232
8	223	220	208
24	223	206	204

Tabel 5.3. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 1

Uji (jam)	A (MPa)	B (MPa)	C (MPa)	Rata-rata (MPa)
4	9	10,6	10,4	10

8	7,6	8,4	10,8	8,933
24	11,2	9,7	8	9,633

d. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian pada metode 1 ini adalah :

1. Dilakukan penambahan air sebanyak 250 ml ke dalam campuran karena kondisi pasta tidak mengikat yang terjadi karena kekurangan air.
2. Pada umur 1 jam yaitu pada saat benda uji dikeluarkan dari *mold* untuk kemudian di *curing oven* , kondisi benda uji masih belum mengeras.
3. Permukaan benda uji retak pada saat dikeluarkan dari oven (umur 4 jam) sehingga suhu *curing* diturunkan menjadi 30⁰C.
4. Dari hasil kuat tekan dapat disimpulkan bahwa kuat tekan pada umur 4 jam lebih tinggi jika dibandingkan dengan umur 8 dan 24 jam. Hal ini mungkin terjadi karena penurunan suhu *curing* dari 60⁰C menjadi 30⁰C.

2. Metode 2

Pada metode ini, benda uji dikeluarkan dari *mold* setelah 1 jam, kemudian di- *curing* di dalam oven dengan suhu 30⁰C dan benda uji ditutup dengan plastik. Pada saat melakukan analisis pasta, variasi air-prekursor yang digunakan adalah 0,3 dengan persentase agregat sebesar 70%. Perhitungan mix design yang dilakukan berbeda dengan metode 1.

✚ Metode 1

Asumsi yang digunakan adalah *waterglass* (Na₂SiO₃) sudah mengandung air sebesar 55,9% dari total bahan kimia. Persentase air dalam *waterglass* tersebut diperoleh dari literatur perhitungan yang dilakukan oleh B.V. Rangan.

✚ Metode 2

Asumsi yang digunakan adalah *waterglass* (Na₂SiO₃) belum mengandung air karena *waterglass* yang diuji ternyata hanya mengandung ± 2% air, sehingga pada perhitungan diasumsikan *waterglass* hanya mengandung padatan atau tidak mengandung air. Sehingga perbedaan perhitungan kedua metode adalah banyaknya ekstra air dalam campuran.

a. Komposisi Pasta Geopolimer tiap m^3

Berdasarkan perhitungan, maka diperoleh komposisi pasta geopolimer tiap m^3

Tabel 5.4. Komposisi Pasta Metode 2, 3 dan 4

Material	Berat (kg/m^3)
NaOH	48,463
+ air	136,511
<i>Water glass</i>	462,435
Abu Terbang	996,015
Abu Sekam Padi	426,863
Ekstra Air	290,352
Σ	2360,64

b. Perhitungan Volume :

- Dimensi bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Volume 1 bekisting = $0,05^3 = 0,000125 m^3$
- Tes = 4, 8 dan 24 jam
- Jumlah total benda uji = 9 buah

Maka, volume total = $0,001125 m^3$

c. Hasil Pengujian Pasta

Hasil uji tekan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Hari/Tanggal = Kamis/11 Maret 2010
- Ukuran bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Jumlah sample = 9 buah
- Suhu = 27^0C
- Kelembaban = 80

Tabel 5.5. Berat Pasta Geopolimer Metode 2

Uji (jam)	A (gram)	B (gram)	C (gram)
4	231	230	231
8	221	221	219

Tabel 5.6. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 2

Uji (jam)	A (MPa)	B (MPa)	C (MPa)	Rata-rata (MPa)
4	1,7	1,6	1,7	1,667

8	5,5	2,8	5,6	4,633
---	-----	-----	-----	-------

d. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian pada metode 2 ini adalah :

- 1 Aktifator alkalin (Na_2SiO_3) yang digunakan hanya mengandung $\pm 2\%$ air sehingga perhitungan campuran berbeda dengan metode 1 yang mengacu pada penelitian B.V. Rangan. Pada perhitungan, Na_2SiO_3 dianggap tidak menyumbangkan air atau dalam arti tidak mengandung air.
- 2 Benda uji yang dites pada metode ini hanya pada umur 4 dan 8 jam.
- 3 Pada saat dikeluarkan dari *mold* untuk kemudian dimasukkan ke dalam oven yaitu pada umur 1 jam, kondisi benda uji relatif belum mengeras dan pada saat dikeluarkan dari oven untuk dites terjadi retak pada permukaan pasta.

3. Metode 3

Pada metode ini, benda uji dikeluarkan dari *mold* setelah 2 jam, kemudian di-*curing* di dalam oven dengan suhu 30°C .

Pada saat melakukan analisis pasta, variasi air-prekursor yang digunakan adalah 0,3 dengan persentase agregat sebesar 70% dengan perhitungan yang sama dengan metode 2.

a. Perhitungan Volume :

- Dimensi bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Volume 1 bekisting = $0,05^3 = 0,000125 \text{ m}^3$
- Tes = 4, 8 dan 24 jam
- Jumlah total benda uji = 12 buah

Maka, volume total = $0,0015 \text{ m}^3$

b. Hasil Pengujian Pasta

Hasil uji tekan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Hari/Tanggal = Sabtu/13 Maret 2010
- Ukuran bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Jumlah sample = 12 buah
- Suhu = 27°C

- Kelembaban = 77%

Tabel 5.7. Berat Pasta Geopolimer Metode 3

Uji (jam)	A (gram)	B (gram)	C (gram)
4	233	237	238
8	225	218	216
24	208	207	214

Tabel 5.8. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 3

Uji (jam)	A (MPa)	B (MPa)	C (MPa)	Rata-rata (MPa)
4	3,9	4	3,9	3,933
8	10	8,5	8,4	8,967
24	9,6	12,5	15,6	12,567

c. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian pada metode 3 ini adalah :

- 1 Perhitungan campuran pasta geopolimer pada metode ini sama dengan metode 2 yaitu dengan asumsi bahwa Na_2SiO_3 tidak mengandung air.
- 2 Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan naik dari umur 4 jam sampai 24 jam.
- 3 Jika dibandingkan dengan metode 2, retak permukaan benda uji pada metode 3 lebih sedikit. Hal ini mungkin terjadi karena pada metode 3 ini, benda uji di-*curing* setelah 2 jam dengan kondisi lebih keras jika dibandingkan dengan benda uji pada metode 2.

4. Metode 4

Pada metode ini, benda uji di-*curing* oven setelah 1 jam pada suhu 60°C dimana *mold* (cetakan) pasta ikut dimasukkan ke dalam oven dan permukaan *mold* ditutup dengan plastik.

Pada saat melakukan analisis pasta, variasi air-prekursor yang digunakan adalah 0,3 dengan persentase agregat sebesar 70% dengan perhitungan yang sama dengan metode 2 dan 3.

a. Perhitungan Volume :

- Dimensi bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm

- Volume 1 bekisting = $0,05^3 = 0,000125 \text{ m}^3$
- Tes = 4, 8 dan 24 jam
- Jumlah total benda uji = 9 buah

Maka, volume total = $0,001125 \text{ m}^3$

b. Hasil Pengujian Pasta

Hasil uji tekan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Hari/Tanggal = Sabtu/ 13 Maret 2010
- Ukuran bekisting = 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Jumlah sample = 9 buah
- Suhu = 27°C
- Kelembaban = 77%

Tabel 5.9. Berat Pasta Geopolimer Metode 4

Uji (jam)	A (gram)	B (gram)	C (gram)
4	240	244	-
8	252	253	255
24	222	253	255

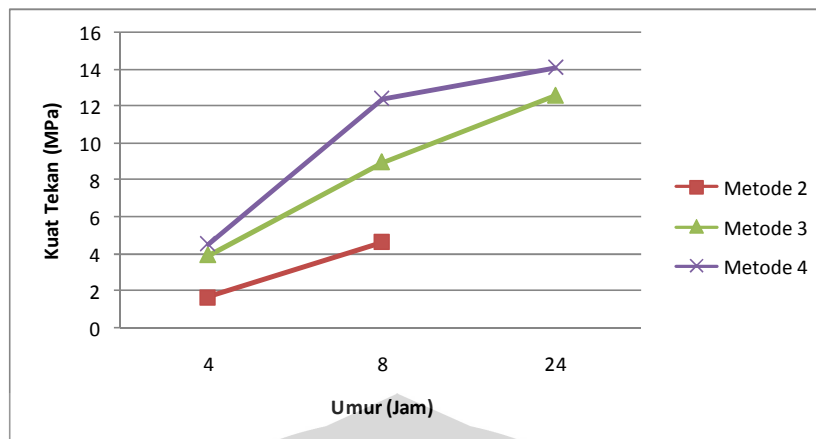
Tabel 5.10. Kuat Tekan Pasta Geopolimer Metode 4

Uji (jam)	A (MPa)	B (MPa)	C (MPa)	Rata-rata (MPa)
4	4,6	4,5	-	4,55
8	13	10,4	13,8	12,4
24	13,6	15	13,7	14,1

c. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian pada metode 4 ini adalah :

- 1 Perhitungan campuran pasta geopolimer pada metode ini sama dengan metode 2 dan 3.
- 2 Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan naik dari umur 4 jam sampai 24 jam dan pada setiap umur, kuat tekan pada metode ini lebih tinggi dibandingkan dengan metode 3.
- 3 Tidak terjadi retak pada benda uji meskipun di-*curing* pada suhu 60°C . Hal ini mungkin terjadi karena pada saat *curing*, benda uji tidak dilepaskan dari *mold* sehingga kandungan air pada benda uji tidak menguap.



Grafik 5.1. Kuat Tekan Tiap Metode *Curing*

Metode	Keterangan kondisi <i>curing</i>
2	Dikeluarkan dari <i>mold</i> setelah 1 jam dan dibungkus dengan plastik, kemudian dioven pada suhu 30 ⁰ C.
3	Dikeluarkan dari <i>mold</i> setelah 2 jam kemudian dioven pada suhu 30 ⁰ C
4	Tidak dikeluarkan dari <i>mold</i> dan permukaan ditutup plastik kemudian setelah 1 jam dioven pada suhu 60 ⁰ C.

Metode yang bisa dibandingkan adalah metode 2, 3 dan 4. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa terdapat perbedaan perhitungan campuran pada metode 1 sehingga metode tersebut tidak dapat dibandingkan dengan metode lainnya. Maka, berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa metode *curing* yang relatif baik berdasarkan hasil uji kuat tekan umur 4, 8 dan 24 jam adalah metode 4 yaitu benda uji di *curing* setelah 1 jam, tidak dikeluarkan dari *mold* dan permukaan ditutup dengan plastik. Kondisi permukaan benda uji pada metode 4 tidak mengalami retak, berbeda dengan metode 2 dan 3. Untuk itu, penelitian selanjutnya akan dilakukan dengan metode *curing* metode 4.

Berdasarkan grafik di atas, nilai kuat tekan metode 3 lebih tinggi dibandingkan dengan metode 2. Perbedaan pada kedua metode tersebut adalah waktu tenggang benda uji sebelum dimasukkan ke dalam oven (*rest period*). Benda uji dengan *rest period* 2 jam memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada benda uji dengan *rest period* 1 jam. Cheng and Chiu (2003) menyimpulkan bahwa

waktu setting awal beton geopolimer adalah selama 15-45 menit dan *curing* sangat diperlukan dalam proses polimerisasi. Seharusnya benda uji langsung di-*curing* setelah *casting* karena menurut Djwantoro (2005) pada suhu ruangan (kurang dari 30°C), tidak akan terjadi *setting* pada beton geopolimer. Berdasarkan kesimpulan Djwantoro, seharusnya kuat tekan metode 2 lebih besar daripada metode 3. Hasil kuat tekan tersebut mungkin dipengaruhi oleh sifat dari prekursor abu sekam padi yang mungkin mempengaruhi reaksi polimerisasi sehingga memiliki *rest period* dan *setting time* yang berbeda dengan beton geopolimer dengan prekursor abu terbang. Selain itu permukaan benda uji yang miring juga kemungkinan dapat mempengaruhi nilai kuat tekan sehingga tidak dapat ditentukan faktor yang mempengaruhi perbedaan kuat tekan tersebut.

Maka, berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- 1 Dari ke tiga metode *curing* (metode 2, 3 dan 4), metode yang menghasilkan kuat tekan yang relatif tinggi dengan kondisi permukaan benda uji tidak retak adalah metode 4.
- 2 Pelapisan bekisting yang kurang rapih akan menyebabkan permukaan tidak datar dan pada akhirnya akan mengurangi hasil kuat tekan pasta.
- 3 Apabila benda uji dikeluarkan dari bekisting pada saat *curing* maka akan terjadi retak-retak pada pasta bahkan pada suhu 30°C.
- 4 Aktifator alkalin (Na_2SiO_3) yang digunakan hanya mengandung $\pm 2\%$ air sehingga perhitungan campuran berbeda dengan metode 1 yang mengacu pada penelitian B.V. Rangan.

5.2 Desain Campuran Benda Uji

Pada penelitian ini, variasi yang akan ditinjau selanjutnya adalah rasio air-prekursor dan suhu *curing* oven. Nilai yang diambil sebagai variasi air-prekursor adalah 0,25 ; 0,3 ; 0,35 sedangkan variasi suhu *curing* oven yang akan ditinjau adalah suhu 30°C, 60°C dan 90°C selama 24jam. Pengambilan besaran air-prekursor yang diteliti adalah berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan syarat perhitungan beton geopolimer, nilai air-prekursor yang disarankan adalah berkisar antara 0,3 - 0,45, namun pada saat meneliti pasta dengan kandungan air-prekursor 0,3 kondisi pasta yang terbentuk terlalu cair.

Selain itu, beberapa penelitian beton geopolimer menyimpulkan bahwa semakin kecil nilai air-prekursor maka kuat tekan dari beton akan semakin besar. Untuk itu, pada penelitian ini akan diambil nilai air-prekursor sebesar 0,25 ; 0,3 dan 0,35.

Pasta geopolimer yang akan diuji adalah pasta persegi dengan dimensi 5 cm x 5 cm x 5cm dan uji kuat tekan akan dilakukan pada umur 4jam, 8jam, 1, 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Pengambilan nilai kuat tekan diperoleh dari hasil rata-rata lima buah benda uji. Sehingga berdasarkan variasi dan jumlah benda uji yang sudah ditentukan, maka jumlah benda uji yang akan dihasilkan pada penelitian ini sebanyak 360 buah.

Pada saat pelaksanaan penelitian terdapat kendala yang menyebabkan penelitian ini tidak dapat dilanjutkan lagi sehingga tidak mencapai jumlah benda uji yang ditargetkan sebelumnya. Berikut ini adalah matriks benda uji yang dihasilkan dari penelitian laboratorium. Keterangan kolom dengan tanda *check list* adalah benda uji yang dihasilkan dengan masing-masing benda uji sebanyak 5 buah benda uji sehingga total benda uji adalah sebanyak 70 buah. Total benda uji yang dihasilkan sebenarnya lebih dari 70 buah, namun data yang diambil hanya sebanyak 70 buah. Penambahan benda uji dilakukan karena banyaknya benda uji dengan permukaan miring yang pada akhirnya menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah. Sehingga untuk menghindari hal tersebut, benda uji yang dibuat lebih dari 70 buah dan data yang diambil pada setiap pengujian adalah 5 buah data kuat tekan dengan nilai yang saling mendekati.

Tabel 5.11. Jumlah Benda Uji

Air-prekursor	Suhu Curing (°C)	Umur Benda Uji							
		4jam	8jam	1hari	3hari	7hari	14hari	21hari	28hari
0,25	30						√	√	√
	60								
	90								
0,3	30							√	√
	60	√							√
	90					√	√	√	
0,35	30								
	60								
	90	√				√	√	√	

Pada saat proses *curing*, benda uji tetap berada di dalam *mold* untuk menghindari terjadinya retakan. Pengambilan kesimpulan mengenai terjadinya retakan sudah diuji sebelumnya dengan empat metode *curing* yang berbeda. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian awal tersebut adalah bahwa metode *curing* seharusnya dilakukan dengan cara memasukkan *mold* ke dalam oven dan permukaan *mold* ditutup dengan plastik dengan tujuan supaya tidak terjadi retak pada permukaan benda uji.

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3, desain campuran yang digunakan adalah perhitungan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh B.V. Rangan, 2008, 2009 pada penelitiannya yang berjudul "FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE", dimana syarat untuk komposisi agregat disesuaikan dengan beton konvensional. Sedangkan untuk perbandingan komposisi material lain meninjau penelitian Hardjito dan Rangan, 2005. Namun terdapat sedikit perbedaan perhitungan karena persentase kandungan air Na_2SiO_3 yang digunakan pada penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan penelitian B.V. Rangan. Kandungan air Na_2SiO_3 pada penelitian ini adalah $\pm 2\%$ sedangkan pada penelitian B.V. Rangan, kandungan air sebesar 55,9%. Perbedaan persentase kandungan air tersebut tentu saja akan mempengaruhi perhitungan *mix design* dan komposisi campuran tiap bahan juga pasti akan berbeda. Untuk itu, pada saat perhitungan *mix design* kandungan air pada Na_2SiO_3 yang digunakan pada perhitungan adalah sebesar 2% dari berat total. Berdasarkan perhitungan *mix design* maka diperoleh komposisi pasta geopolimer sebagai berikut :

Tabel 5.12. Komposisi *Mix Design* per m^3

air/prekursor	0,25	0,3	0,35
Material	Berat (gram)	Berat (gram)	Berat (gram)
NaOH	48,890	48,890	48,890
+air	137,712	137,712	137,712
Waterglass	457,175	457,175	457,175
abu terbang	1044,972	1004,780	967,566
abu sekam padi	447,845	430,620	414,671
ekstra air	226,162	283,578	336,741
Σ	2362,756	2362,756	2362,756

Komposisi bahan yang digunakan pada campuran pasta geopolimer ini adalah :

- Perbandingan prekursor abu terbang dan abu sekam padi adalah 7:3. Perbandingan ini ditentukan sendiri oleh peneliti karena merupakan penelitian baru yang belum pernah diteliti sebelumnya sehingga tidak ada referensi yang bisa digunakan untuk menentukan persentase perbandingan kedua jenis prekursor ini.
- Molaritas NaOH yang digunakan adalah 8Mol.

Molaritas NaOH ditentukan berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa konsentrasi 8 molar memiliki kuat tekan paling tinggi, diantaranya Sanjaya & Yuwono (2006) dan Sandy & Johannes (2007). Namun penelitian Hardjito & Rangan (2004) menyimpulkan bahwa campuran dengan konsentrasi NaOH 8 molar memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi sodium hidroksida 14 molar. Jika meninjau faktor biaya, NaOH 8 molar lebih murah dibandingkan NaOH dengan konsentrasi yang lebih tinggi karena semakin tinggi konsentrasi NaOH maka padatan NaOH yang dibutuhkan semakin banyak. Sehingga pada penelitian pasta geopolimer ini, digunakan NaOH dengan konsentrasi 8 molar.

5.3 Hasil Pengujian Pasta Geopolimer

5.3.1 Suhu Ruangan Pada Saat *Mix Design*

Tabel 5.13. Suhu Ruangan Pada Saat *Mix Design*

Air-prekursor	Suhu <i>Curing</i> (°C)	Suhu (°C)							
		4jam	8jam	1hari	3hari	7hari	14hari	21hari	28hari
0,25	30						28,4	28,4	28,4
	60								
	90								
0,3	30							26,8	26,8
	60	26,8							26,8
	90					27,1	27,1	27,1	
0,35	30								
	60								
	90	27,3				27,3	27,3	27,3	

5.3.2 Kelembaban Pada Saat *Mix Design***Tabel 5.14.** Kelembaban Pada Saat *Mix Design*

Air-prekursor	Suhu Curing (°C)	Kelembaban (%)							
		4jam	8jam	1hari	3hari	7hari	14hari	21hari	28hari
0,25	30						78	78	78
	60								
	90								
0,3	30							88	88
	60	88							88
	90					84	84	84	
0,35	30								
	60								
	90	84				84	84	84	

5.3.3 Berat Pasta (gram)

- Air/prekursor : 0,25

Tabel 5.15. Berat Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,25

Suhu curing (°C)	30	30	30
No	14 hari	21 hari	28 hari
1	232	228	225
2	221	232	219
3	237	236	228
4	235	232	228
5	223	241	226
Σ	229,6	233,8	225,2

- Air/prekursor : 0,3

Tabel 5.16. Berat Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3

Suhu curing (°C)	30	30	60	60	90	90	90
No	21 hari	28 hari	4 jam	28 hari	7 hari	14 hari	21 hari
1	225	216	230	221	209	214	205
2	232	215	230	210	205	206	212
3	231	226	228	229	216	209	216
4	226	219	231	219	209	214	206
5	227	231	232	224	210	213	218
Σ	228,2	221,4	230,2	220,6	209,8	211,2	211,4

- Air/prekursor : 0,35

Tabel 5.17. Berat Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,35

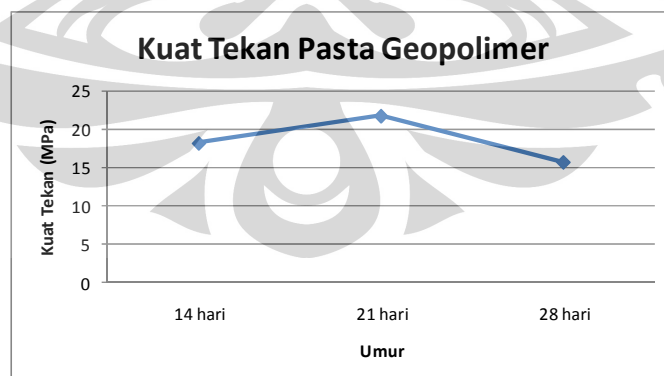
Suhu curing (°C)	90	90	90	90
No	4 jam	7 hari	14 hari	21 hari
1	230	210	208	204
2	220	200	209	205
3	217	213	205	205
4	225	219	210	208
5	233	199	209	197
Σ	225	208,2	208,2	203,8

5.3.4 Kuat Tekan (MPa)

- Rasio air/prekursor : 0,25

Tabel 5.18. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,25

Suhu curing (°C)	30	30	30
No	14 hari	21 hari	28 hari
1	21,111	30	14
2	17,778	20	16
3	10,000	23,333	20,556
4	24,444	17,778	15,111
5	17,556	17,444	13,333
Σ	18,178	21,711	15,711

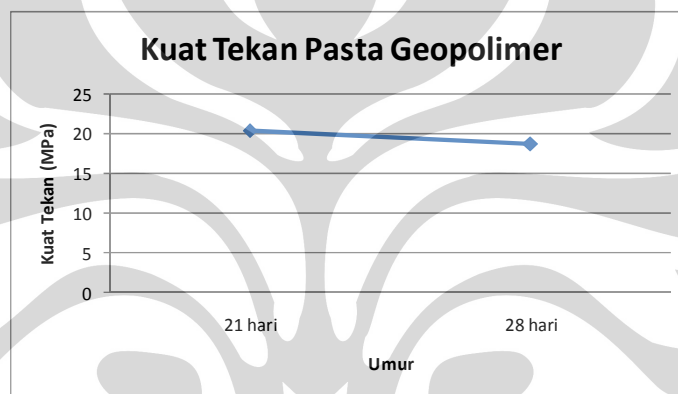


Grafik 5.2. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,25 dan Suhu 30°C

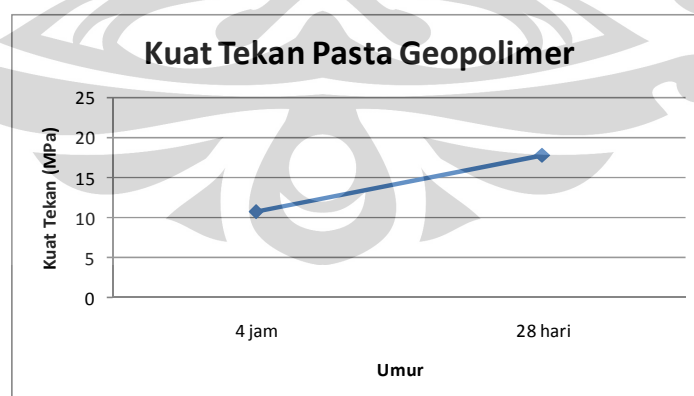
- Rasio air/prekursor : 0,3

Tabel 5.19. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3

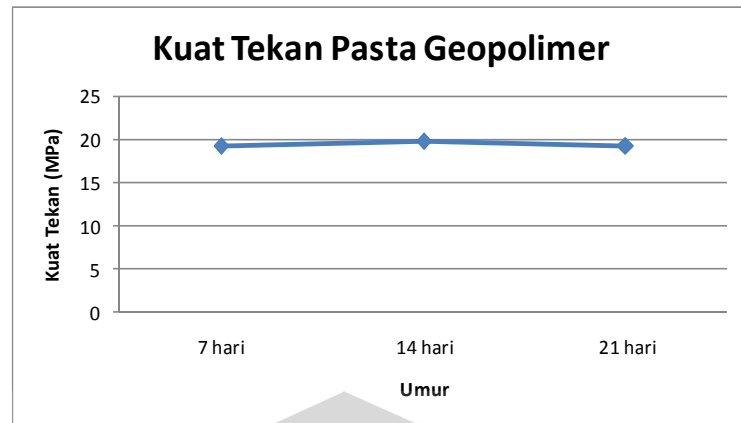
Suhu curing (°C)	30	30	60	60	90	90	90
No	21 hari	28 hari	4 jam	28 hari	7 hari	14 hari	21 hari
1	21,111	18,667	8,333	24,111	28,889	17,778	15,333
2	22	17,333	10,222	16,889	16	13,889	22,222
3	16	18,889	11,111	15,222	16	26,222	20
4	22,111	19,556	12,444	15,333	16	18,889	19,111
5	20,444	18,889	11,444	17,333	18,889	21,778	19,11111
Σ	20,333	18,667	10,711	17,778	19,156	19,711	19,156



Grafik 5.3. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3 dan Suhu 30°C



Grafik 5.4. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3 dan Suhu 60°C

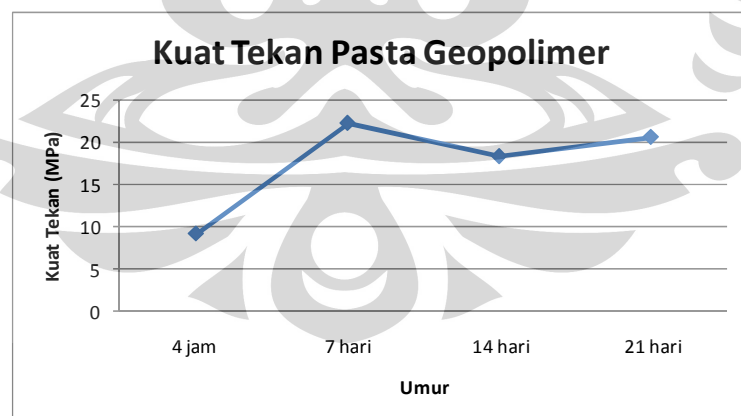


Grafik 5.5. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,3 dan Suhu 90⁰C

- Rasio air/prekursor : 0,35

Tabel 5.20. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,35

Suhu curing (°C)	90	90	90	90
No	4 jam	7 hari	14 hari	21 hari
1	11,556	23,333	21,778	24,889
2	9,111	26,222	19,889	18,222
3	7,778	20,889	19,222	24,222
4	8,444	14,222	16,222	15,333
5	8,667	26,444	14,333	20,222
Σ	9,111	22,222	18,289	20,578

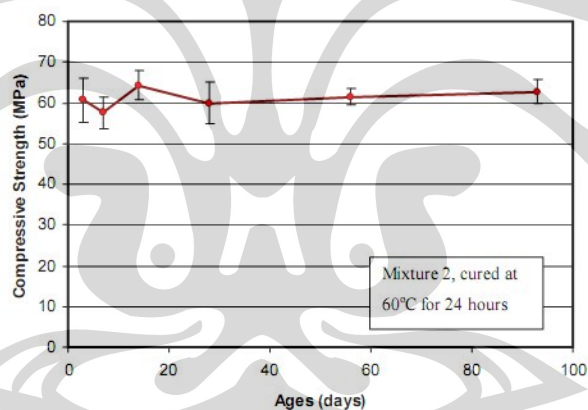


Grafik 5.6. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Rasio Air-Prekursor 0,35 dan Suhu 90⁰C

Berdasarkan Grafik 5.6. di atas, dapat disimpulkan bahwa kenaikan kuat tekan pada tiap umur benda uji tidak selalu meningkat. Pada umur 14 hari, kuat

tekan pasta geopolimer menurun tetapi naik lagi pada umur 21 hari. Hal yang sama juga terjadi pada grafik kuat tekan yang lain.

Jika dibandingkan dengan kuat tekan beton geopolimer dari hasil penelitian sebelumnya yaitu penelitian Djwantoro Hardjito pada tahun 2005, kuat tekan tiap umur juga tidak selalu meningkat. Berdasarkan Grafik 5.7, kuat tekan beton geopolimer tidak konstan naik. Pada umur tertentu terjadi penurunan kuat tekan. Hal tersebut terjadi karena adanya reaksi kimia yang terjadi pada beton geopolimer yaitu proses polimerisasi. Pada umumnya proses polimerisasi pada campuran beton geopolimer selesai pada umur awal. Disolusi ion-ion silikat pada aktivator dan prekursor selesai bereaksi pada umur awal, sehingga proses polikondensasi berhenti dan kenaikan kuat tekan tidak terlalu signifikan pada umur 7 hari sampai 21 hari. Berbeda dengan beton konvensional yang menggunakan semen, dimana kuat tekan akan semakin meningkat dari waktu ke waktu karena mengalami proses hidrasi.



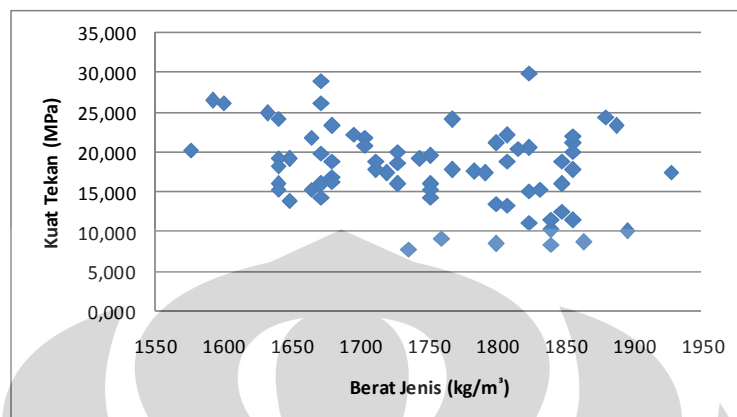
Grafik 5.7. Kuat Tekan pada Beberapa Variasi Umur

(Sumber : Djwantoro Hardjito, 2005, p.65)

5.3.5 Hubungan Berat Jenis dan Kuat Tekan

Selain beberapa parameter di atas, hasil lainnya yang dapat diamati dari penelitian ini adalah hubungan antara berat jenis dari benda uji dibandingkan dengan hasil kuat tekan yang dihasilkan. Pada Grafik 5.7 ditunjukkan bahwa berat jenis pasta geopolimer tidak mempengaruhi nilai kuat tekannya. Hasil kuat tekan paling tinggi yang diperoleh yaitu pada berat jenis 1.824 kg/m^3 , sedangkan pada

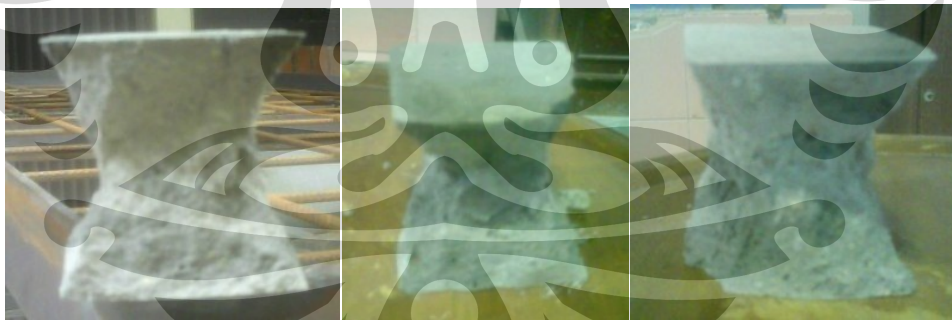
berat jenis paling tinggi yaitu 1.928 kg/m^3 kuat tekan yang dihasilkan adalah sebesar 17,44 MPa.



Grafik 5.8. Hubungan antara Berat Jenis dengan Kuat Tekan Pasta Geopolimer

5.3.6 Pola Keruntuhan

Peneliti juga mengamati pola keruntuhan yang terjadi pada pasta geopolimer. Benda uji yang diteliti memiliki pola keruntuhan yang didominasi oleh pola keruntuhan *cone*. Pada gambar 5.1 ditunjukkan pola kehancuran yang terjadi setelah pengujian kuat tekan pasta geopolimer.



Gambar 5.1. Pola kehancuran pada Pasta Geopolimer

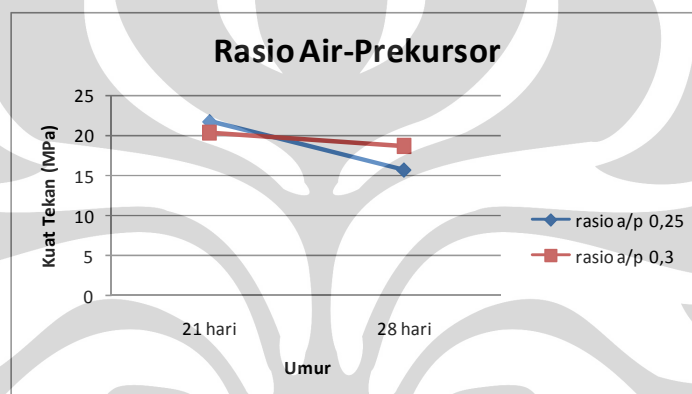
5.4 Analisa Hasil Pengujian

5.4.1 Pengaruh Faktor Air-Prekursor

Faktor air-prekursor pasta geopolimer mempengaruhi *workability* pasta tersebut. Semakin tinggi nilai rasio air-prekursor, *workability* pasta geopolimer juga semakin tinggi. Pada rasio air-prekursor 0,35 tidak perlu dilakukan pemadatan karena sifat pasta segar yang cair dan terdapat banyak gelembung

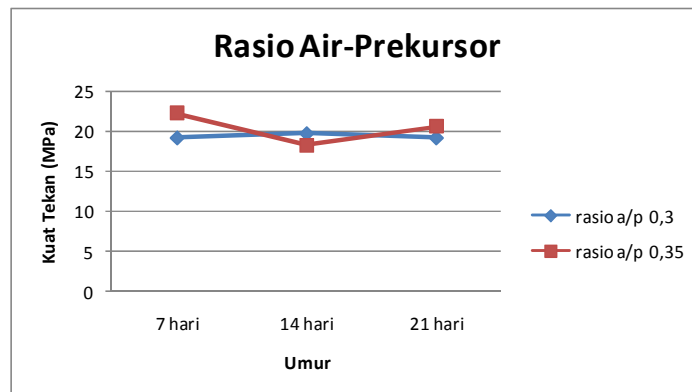
udara pada permukaan pasta. Pada saat memasukkan benda uji ke dalam bekisting, pasta segar dituangkan dan mengalir masuk ke dalam bekisting. Sedangkan benda uji dengan rasio air-prekursor 0,25 memiliki *workability* yang rendah sehingga pada campuran tertentu, *mixing time* diperpanjang karena campuran terlihat kurang merata dan perlu dilakukan pemadatan pada saat memasukkannya ke dalam bekisting.

Untuk melihat pengaruh rasio air-prekursor terhadap kuat tekan pasta geopolimer, data kuat tekan yang ditinjau adalah data pada variasi rasio air-prekursor dengan suhu *curing* yang sama. Berikut adalah dua grafik yang dapat digunakan dalam melakukan analisa pengaruh rasio air-prekursor :



Grafik 5.9. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Variasi Rasio Air-Prekursor Pada Suhu *Curing* 30°C

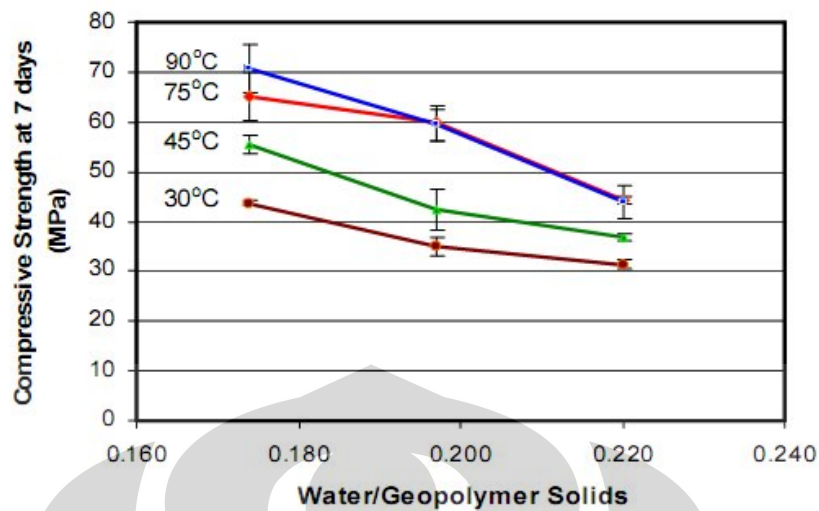
Dari hasil *mix design* pada rasio air-prekursor 0,25 dan 0,3 dengan suhu *curing* 30°C selama 24 jam, diperoleh nilai kuat tekan pasta geopolimer seperti pada gambar di atas. Hasil kuat tekan yang dapat dianalisis adalah kuat tekan pada umur 21 dan 28 hari. Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan pasta geopolimer dengan rasio air-prekursor 0,25 pada umur 21 hari lebih tinggi jika dibandingkan dengan pasta dengan rasio air-prekursor 0,3. Namun perbedaan kuat tekan yang dihasilkan relatif kecil. Sedangkan pada umur 28 hari, kuat tekan pasta pada rasio air-prekursor 0,25 lebih rendah dibandingkan dengan rasio air-prekursor 0,3. Dan pada kedua grafik hasil uji kuat tekan yaitu pada rasio air-prekursor 0,25 dan 0,3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuat tekan dari umur 21 hari ke 28 hari.



Grafik 5.10. Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan Variasi Rasio Air-Prekursor Pada Suhu *Curing* 90⁰C

Dari hasil *mix design* pada rasio air-prekursor 0,3 dan 0,35 dengan suhu *curing* 90⁰C selama 24 jam, diperoleh nilai kuat tekan pasta geopolimer seperti pada gambar di atas. Hasil kuat tekan yang dapat dianalisis adalah kuat tekan pada umur 7, 14 dan 21 hari. Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan pasta geopolimer pada rasio air-prekursor 0,3 pada umur 7 dan 21 hari lebih rendah jika dibandingkan dengan pasta dengan air-prekursor 0,35 dengan perbedaan kuat tekan pada umur 21 hari relatif kecil. Sedangkan pada umur 14 hari, kuat tekan pasta pada rasio air-prekursor 0,3 lebih tinggi dibandingkan dengan rasio air-prekursor 0,35. Hasil uji kuat tekan yaitu pada rasio air-prekursor 0,3 dan 0,35 ditunjukkan dengan grafik kuat tekan naik turun. Berdasarkan grafik di atas, kuat tekan pada rasio air-prekursor 0,3 pada umur 14 hari naik, sedangkan pada rasio air-prekursor 0,35 kuat tekan turun.

Djwantoro hardjito adalah salah satu dari beberapa peneliti yang meneliti pengaruh air terhadap kuat tekan beton geopolimer. Berikut ini adalah grafik hasil penelitiannya pada tahun 2005.



Grafik 5.11. Pengaruh Rasio *Water/Geopolymer Solids* Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

(Sumber : Djwantoro Hardjito, 2005, p.59)

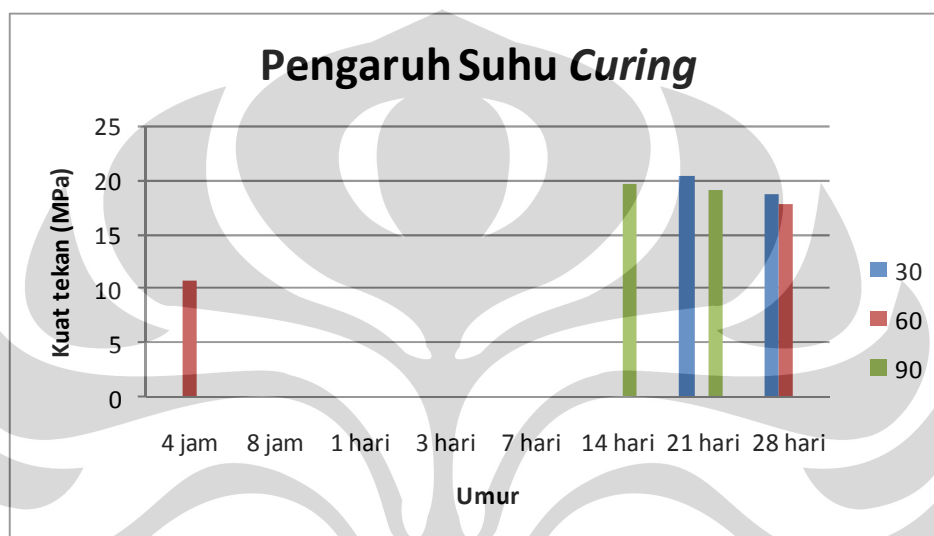
Pada perhitungan *mix design* yang dilakukan oleh Djwantoro hardjito, rasio *water/geopolymer solids* diperoleh dari hasil pembagian antara berat air dengan material padat. Air berasal dari *extra water* dan aktifator alkalin sedangkan material padat berasal dari prekursor dan berat aktifator alkalin yang berbentuk padatan atau *solid*. Perbedaan nilai rasio yang relatif besar dengan penelitian yang sudah dilakukan terjadi karena pada penelitian pasta geopolimer ini, nilai yang dihitung adalah perbandingan air-prekursor bukan *geopolymer solids*. Namun, grafik diatas dapat menjadi referensi perbandingan pengaruh penambahan air terhadap kuat tekan beton geopolimer. Dimana berdasarkan grafik tersebut, kuat tekan turun seiring dengan bertambahnya jumlah air.

5.4.2 Pengaruh Faktor Suhu *Curing*

Suhu *curing* yang diteliti pada penelitian ini adalah *curing oven* dengan suhu 30°C, 60°C dan 90°C. Kondisi benda uji setelah dikeluarkan dari oven berbeda pada tiap jenis variasi. Pada benda uji yang di-*curing* pada suhu 30°C tidak mengalami retak sama sekali. Pada suhu 60°C, benda uji mulai mengalami retak-retak halus pada bagian permukaan atas dan bawah sampel sedangkan retak

yang terjadi pada suhu 90°C lebih besar dibandingkan dengan benda uji pada suhu 60°C .

Analisa data terhadap suhu *curing* hanya dapat dilihat dari hasil uji kuat tekan pada campuran dengan rasio air-prekursor 0,3. Untuk rasio air-prekursor 0,2 dan 0,35, suhu *curing* yang dilakukan hanya satu jenis sehingga tidak dapat dibandingkan. Berikut adalah hasil uji kuat tekan pada masing-masing suhu *curing* pada rasio air-prekursor 0,3.



Grafik 5.12. Pengaruh Suhu *Curing* Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Grafik di atas menjelaskan bahwa nilai kuat tekan paling tinggi adalah pada suhu *curing* 30°C . Perbedaan kuat tekan antara suhu *curing* 30°C dan 90°C dapat dilihat pada saat benda uji berumur 21 hari sedangkan perbedaan kuat tekan antara suhu *curing* 30°C dan 60°C dapat dilihat pada saat benda uji berumur 28 hari. Perbedaan kuat tekan relatif kecil. Untuk suhu *curing* 30°C dan 90°C , perbedaan kuat tekannya hanya 1,177 MPa sedangkan antara suhu *curing* 30°C dan 60°C perbedaan kuat tekannya sebesar 0,889 MPa.

Djwantoro hardjito adalah salah satu dari beberapa peneliti yang meneliti pengaruh suhu *curing* terhadap kuat tekan beton geopolimer. Pada tahun 2005, Djwantoro hardjito meneliti pengaruh suhu *curing* terhadap kuat tekan beton geopolimer dengan variasi 5 suhu *curing* yang berbeda yaitu 30°C , 45°C , 60°C , 75°C , dan 90°C . Berdasarkan hasil penelitiannya, benda uji yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah benda uji yang di-*curing* pada suhu 90°C . Semakin tinggi suhu *curing*, nilai kuat tekan semakin tinggi juga. Namun, kenaikan kuat

tekan benda uji yang di-*curing* dari suhu 60⁰C ke suhu 90⁰C relatif kecil sehingga lebih dianjurkan melakukan *curing* pada suhu 60⁰C. Berdasarkan grafik di atas yaitu pada umur 21 hari dan 28 hari, pengaruh suhu *curing* terhadap kuat tekan berbanding terbalik dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Djwantoro hardjito. Kuat tekan pada suhu *curing* 30⁰C lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu *curing* 90⁰C (umur 21 hari) dan 60⁰C (umur 28 hari).

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Djwantoro hardjito, terdapat perbedaan dengan hasil penelitian pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi ini. Perbedaan yang terjadi adalah perbedaan pengaruh penambahan air dan suhu *curing* terhadap kuat tekan beton geopolimer. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti jenis material yang digunakan atau faktor lain yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton.

Jika ditinjau dari segi material yang digunakan, beberapa material yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan material yang digunakan oleh Djwantoro hardjito pada penelitiannya. Prekursor pada penelitian ini adalah abu terbang dan abu sekam sedangkan penelitian Djwantoro hardjito hanya menggunakan abu terbang sebagai prekursor. Selain jenis prekursor, senyawa yang terkandung dalam natrium silikat yang digunakan juga berbeda termasuk kandungan airnya.

Hal-hal lain yang dapat mempengaruhi hasil uji kuat tekan pasta geopolimer pada penelitian ini adalah :

- Kemiringan permukaan benda uji

Permukaan miring pada benda uji disebabkan oleh sisi-sisi bekisting yang bergeser pada saat melakukan pepadatan *fresh paste*. Pada akhirnya, kondisi permukaan pasta geopolimer akan miring dan akan mempengaruhi kuat tekan pasta tersebut. Benda uji dengan permukaan miring akan memiliki kuat tekan yang lebih rendah. Berdasarkan hasil kuat tekan, peneliti memastikan bahwa banyak benda uji yang memiliki permukaan miring ditunjukkan dengan adanya beberapa nilai kuat tekan yang drastis berbeda pada jenis campuran dan *curing* yang sama.

- Plastik penutup benda uji

Plastik yang digunakan sebagai penutup benda uji pada saat dimasukkan ke dalam oven juga perlu diperhatikan. Jenis plastik yang seharusnya digunakan adalah plastik khusus yang bisa melindungi benda uji dari suhu oven. Sedangkan jenis plastik yang digunakan pada penelitian pasta geopolimer ini belum bisa dipastikan mampu melindungi pasta. Akibatnya, benda uji yang dimasukkan ke dalam oven tidak terlindungi dan menyebabkan terjadinya penguapan air dan pada saat dikeluarkan dari oven, benda uji mengalami retak.

- Sifat prekursor

Hasil pengujian X-Ray Diffraction dapat menunjukkan sifat abu terbang atau abu sekam yaitu sifat *amorphous* dan *crystalline* yang terkandung dalam material tersebut. Struktur yang bersifat *amorphous* akan lebih reaktif bila dibandingkan dengan yang bersifat *crystalline*. Namun pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian terhadap prekursor yang digunakan sehingga tidak dapat ditentukan sifatnya.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi literatur pengaruh perbandingan faktor air-prekursor terhadap kuat tekan beton geopolimer, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Dua faktor yang dapat mempengaruhi nilai rasio air-prekursor adalah :
 - a. Kadar air
Kadar air pada beton geopolimer berasal dari *extra water* (tambahan air) dan air yang terkandung dalam alkalin aktivator.
 - b. Zat *Admixture*
Penambahan superplasticizer dapat mempengaruhi kadar air campuran beton geopolimer karena sifatnya yang dapat mereduksi air.
- 2) Perhitungan nilai rasio air-prekursor untuk pengolahan data diperoleh dengan cara membagi berat air tambahan (*extra water*) dengan berat prekursor. Kandungan air pada aktivator tidak diperhitungkan karena kurangnya informasi tentang kadar air pada aktivator.
- 3) Komposisi campuran dengan kuat tekan paling tinggi pada tiap pengelompokan data adalah :
 - a. Beton geopolimer dengan tambahan zat *admixture*
 1. Dengan *extra water*
Berdasarkan analisa pada tiga penelitian berbeda, nilai rasio air-prekursor yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah 0,2. Penelitian ini dilakukan oleh Djwantoro Hardjito yang berjudul *Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete* (2005) dengan komposisi :

Mix	w/b	air	Agregat Kasar			pasir	FA	NaOH	S.S	S.P
			7mm	10mm	20mm					
1	0,20	16,5	647	554	-	647	408	41	103	6,1

2. Tanpa *extra water*

Berdasarkan analisa pada tiga penelitian berbeda, nilai kuat tekan paling tinggi pada umur 7 hari adalah 89 MPa. Penelitian ini dilakukan oleh Djwantoro Hardjito yang berjudul *Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete (2005)* dengan komposisi :

Mix	Agregat (mm)					Fly ash	NaOH	Sodium Silikat	Extra Water	SP
	20	14	10	7	Pasir					
23	-	-	554	647	647	408b	41 (14M*)	103	-	8,2

b. Beton geopolimer tanpa tambahan zat *admixture*

3. Dengan *extra water*

Berdasarkan analisa pada empat penelitian berbeda, nilai rasio air-prekursor yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah 0,225. Penelitian ini dilakukan oleh M. Fajar Hermansyah yang berjudul *Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus (2008)* dengan komposisi :

No	CA	S	Fly ash	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O
5	944	572	362,689	37,266	193,44	81,605

4. Tanpa *extra water*

Berdasarkan analisa pada satu penelitian tetapi dengan 14 variasi capuran, nilai kuat tekan paling tinggi pada umur 7 hari adalah 70 MPa. Penelitian ini dilakukan oleh Djwantoro Hardjito yang berjudul *Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete (2005)* dengan komposisi :

Mix	Agregat (mm)					Fly ash	NaOH	Sodium Silikat	Extra Water	SP
	20	14	10	7	Pasir					
4	277	370	-	647	554	476a	48 (14M*)	120	-	-

- 4) Nilai kuat tekan beton geopolimer tidak hanya dipengaruhi oleh rasio air-prekursor, tetapi terdapat faktor lain yang juga sangat mempengaruhi nilai kuat tekan seperti komposisi campuran serta bahan yang digunakan dalam campuran.
- 5) Tiap penelitian dengan material dan campuran yang berbeda memiliki nilai rasio air-prekursor yang berbeda untuk menghasilkan kuat tekan paling tinggi.

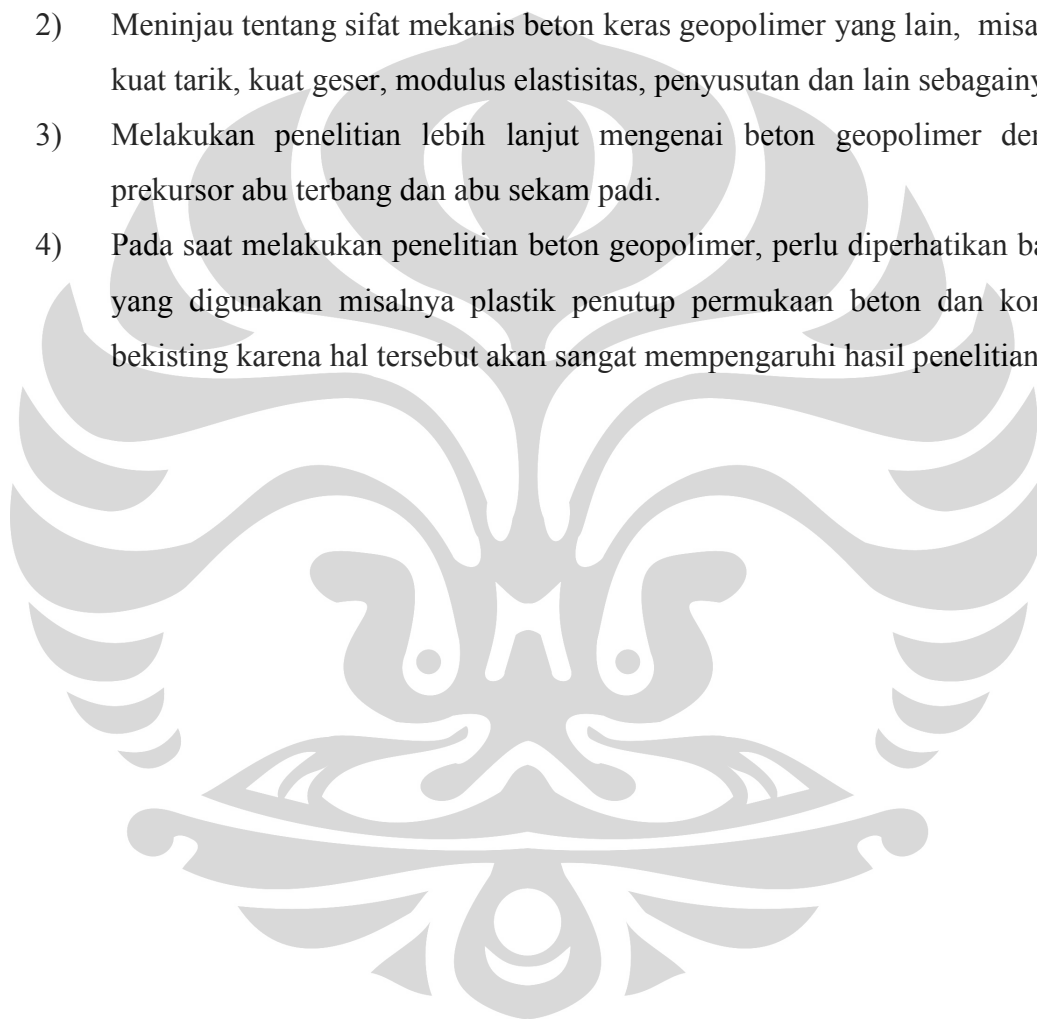
Beberapa kesimpulan dari penelitian pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi adalah :

- 1) Penelitian pasta geopolimer yang meninjau faktor air-prekursor dan suhu *curing* memiliki perbedaan hasil dengan penelitian beton geopolimer yang dilakukan oleh Djwantoro hardjito pada tahun 2005
- 2) Pada penelitian awal mengenai metode *curing* disimpulkan bahwa kuat tekan pasta geopolimer dengan *rest period* 2 jam memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada benda uji dengan *rest period* 1 jam.
- 3) Hal-hal yang dapat mempengaruhi hasil kuat tekan penelitian laboratorium pada pasta geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi adalah :
 - a. Kemiringan permukaan benda uji
Permukaan miring pada benda uji disebabkan oleh sisi-sisi bekisting yang bergeser pada saat melakukan pematatan *fresh paste*.
 - b. Plastik penutup benda uji
Jenis plastik yang digunakan belum bisa dipastikan mampu melindungi pasta. Akibatnya, benda uji yang dimasukkan ke dalam oven tidak terlindungi dan menyebabkan terjadinya penguapan air sehingga benda uji mengalami retak.
 - c. Sifat prekursor
Prekursor yang bersifat *amorphous* akan lebih reaktif bila dibandingkan dengan yang bersifat *crystalline*.

6.2 Saran

Mengingat bahwa penelitian mengenai beton geopolimer perlu dikembangkan lebih lanjut maka terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

- 1) Meninjau tentang faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton geopolimer pada beberapa penelitian yang berbeda, misalnya suhu *curing*, waktu *curing*, *mixing time* dan rasio aktivator-prekursor.
- 2) Meninjau tentang sifat mekanis beton keras geopolimer yang lain, misalnya kuat tarik, kuat geser, modulus elastisitas, penyusutan dan lain sebagainya.
- 3) Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai beton geopolimer dengan prekursor abu terbang dan abu sekam padi.
- 4) Pada saat melakukan penelitian beton geopolimer, perlu diperhatikan bahan yang digunakan misalnya plastik penutup permukaan beton dan kondisi bekisting karena hal tersebut akan sangat mempengaruhi hasil penelitian.



DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, Kamil. (2010). *Studi Perilaku Kuat Tekan Semen Rapid-Setting Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Metakaolin*. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia : Depok.
- Chanh, Nguyen Van., Bui Dang Trug & Dang Van Tuan. (2008). *Recent Research Geopolymer Concrete*. The 3rd ACF International Conference-ACF/VCA Faculty of Civil Engineering University of technology HCM City : Vietnam.
- Davidovits, Joseph. n.d. *Geopolymer Chemistry & Application* .France: Institut Geoplimer.
- Djwanto H., Chua C. C., & Carrie H.L.I. (2008, July). *Strength And Setting Times of Low Calcium Fly Ash based Geopolymer Mortar*. www.ccsenet.org/journal.html
- Erick dan Budi Hartono. (2005). *Beton Geopolimer Dengan Fly Ash Untuk Beton Struktural*. Skripsi Sarjana. Universitas Kristen Petra : Surabaya.
- Hardjito, Djwanto. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Faculty of Engineering and Computing Departement of Civil Engineering Curtin University of Technology : Australia.
- Hermansyah, M. Fajar. (2008). *Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus*. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia : Depok.
- Kaen, Khon. (2006). *Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete*. International Conference pozzolan, Concrete and Geopolymer : Thailand.
- Kosnatha, Sandy dan Johannes Prasetio Utomo. (2007). *Komposisi dan Karakteristik Beton Geopolimer dari Fly Ash Tipe C dan Tipe F*. Skripsi Sarjana. Universitas Kristen Petra : Surabaya.
- Nawy, Edward G. (1990). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* .Bandung: PT ERESKO.
- Neville, A.M. (1981). *Properties of Concrete 3rd Edition*. London: Pitman Books Ltd.
- Olivia, M., P.Sarker & H.Nikraz. (2008). *Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete*. International Conference On Construction and Building Technology : Australia.

- Rangan, B.V. (2008). *Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Research Report GC 2 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth: Australia.
- Sanjaya, Andi dan Calvin Yuwono Leindarto. (2006). *Komposisi Alkaline Activator dan Fly Ash untuk Beton Geopolimer Mutu Tinggi*. Skripsi Sarjana. Universitas Kristen Petra : Surabaya.
- Suryatriyastuti, M. E. (2008). *Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Statis dengan bantuan Software Labview*. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia : Depok.
- Wallah, S.E. & B.V. Rangan. (2006). *Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete: Long-Term Properties*. Research Report GC 2 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth: Australia.

