

STUDI EKSPERIMENTAL BETON GEOPOLIMER DENGAN MEMANFAATKAN FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEMEN DAN SERAT MAT SEBAGAI ADITIF

Nisa Latifah Gandina¹⁾, Y. Djoko Setiyarto²⁾

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer
Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia

diterima: 10 Maret 2020
dipublikasi: 6 April 2020

ABSTRAK

Semen adalah material yang paling penting dalam pembuatan beton konvensional. Ketika dalam produksinya, pada saat yang sama sejumlah CO₂ juga akan diproduksi sebagai akibat sampingan dan akan mencemari udara. Beton geopolimer akan diperkenalkan sebagai beton alternatif yang tidak menggunakan semen apapun dalam pencampuran tetapi menggunakan abu terbang, NaOH dan Na₂SiO₃ digunakan sebagai zat pengaktif, serta ditambahkan pula serat mat sebagai bahan aditif. Dalam penelitian ini dibuat 6 sampel beton geopolimer yang dibedakan menjadi 3 dengan komposisi sebagai berikut : Campuran 1,5 M Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat terhadap Sodium Hidroksida dengan rasio 0,5 dan 1,5 dan proses curing dengan cara dioven serta penambahan serat mat sebagai bahan aditif; Campuran 1,5 M Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat terhadap Sodium Hidroksida dengan rasio 0,5 dan 1,5 dan proses curing dengan cara dioven serta tanpa penambahan serat mat; Campuran 1,5 M Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat terhadap Sodium Hidroksida dengan rasio 0,5 dan 1,5 dan proses curing dengan cara tidak dioven serta penambahan serat mat sebagai bahan aditif. Berdasarkan pengujian kuat tekan, rasio perbandingan sodium silikat dengan sodium hidroksida 0,5 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan rasio 1,5. Untuk proses curing dengan cara tidak dioven menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan proses curing dengan cara dioven. Penggunaan serat mat diketahui dapat meningkatkan daktilitas material geopolimer.

Kata kunci: Beton Geopolimer

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu jenis konstruksi yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Semen portland sebagai pengikat merupakan bahan yang paling penting digunakan dalam pembuatan beton konvensional. Dengan pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan permintaan jumlah semen yang meningkat pula. Akan tetapi, pada saat proses produksinya, terjadi emisi CO₂ ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi Davidovits, 1991^[1], sehingga menyebabkan pencemaran udara. Hal inilah yang merupakan salah satu faktor pendorong untuk ditemukannya bahan alternatif lain yang bisa menggantikan posisi semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan.

Geopolimer adalah campuran beton di mana penggunaan material semen portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (fly ash), abu kulit padi (rise husk ash), dan

lain-lain yang banyak mengandung silika dan aluminium Davidovits, 2004^[2]. Pada penelitian ini digunakan abu terbang (fly ash) sebagai pengganti material semen portland 100%.

Komposisi material beton geopolimer masih banyak dilakukan penelitiannya sehingga belum ada peraturan yang mengatur tentang mix desain yang tepat. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mencoba untuk meneliti beton geopolimer agar mendapatkan komposisi mix desain yang tepat.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi material beton geopolimer yang memiliki kuat tekan yang cukup untuk mendukung konstruksi, baik itu komposisi alkaline aktivator dan bahan tambahan (serat mat) dan diharapkan dengan penelitian ini dapat menambah wawasan masyarakat mengenai beton geopolimer.

Dari penelitian ini penulis akan meneliti :

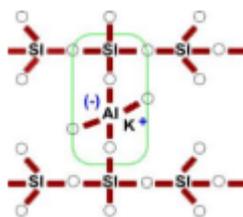
- Penggunaan molaritas NaOH 1,5M
- Rasio perbandingan sodium silikat dengan

- sodium hidroksida 0,5 dan 1,5
- c. Hanya menggunakan fly ash tipe F
- d. Proses curing dengan cara di oven dan tidak di oven
- e. Zat aditif yang digunakan adalah serat mat dengan berat 100gram
- f. Binder dengan menggunakan silinder ukuran 5cm x 10cm dan beton dengan menggunakan silinder ukuran 10cm x 20cm.
- g. Pengujian ini hanya mempertimbangkan pengujian kuat tekan saja

2. Landasan Teori

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat (semen). Beton mempunyai karakteristik tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah. Beton tidak dapat dipergunakan pada elemen konstruksi yang memikul momen lengkung atau tarikan, karena beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik.

Geopolimer adalah campuran beton di mana penggunaan material semen portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (fly ash), abu kulit padi (rice husk ash), dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan aluminium Davidovits, 1997^[2]. Penggantian bahan dasar semen portland dianggap lebih ramah lingkungan dan lebih efektif dengan memanfaatkan bahan sisa limbah pabrik industri sehingga lebih peduli lingkungan. Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, silika (Si) dan aluminium (Al) mempunyai peranan yang penting dalam ikatan polimerisasi. Reaksi silika dan aluminium dengan alkaline akan menghasilkan SiO dan AlO₄ seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 1 Ikatan Polimerisasi yang Terjadi pada Beton Geopolimer

Dalam penggunaannya, beton geopolimer

memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut :

- a) Kelebihan beton geopolimer
 - Tahan terhadap serangan asam sulfat,
 - Tahan terhadap reaksi silika-alkali,
 - Tahan terhadap api,
 - Mempunyai rangkai dan susut yang kecil,
 - Dapat mengurangi polusi udara.
- b) Kekurangan beton geopolimer
 - Proses pembuatan yang sedikit lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional

Belum ada perhitungan mix design yang pasti.

2.1 Material

- a. Fly Ash
Fly ash yang baik digunakan untuk dijadikan bahan dasar pembuatan beton geopolimer adalah fly ash tipe F.
- b. Alkali Aktivator
Adapun jenis aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida. Sodium hidroksida dalam bentuk serbuk terlebih dahulu harus dilarutkan dengan air 1,5 M.
- c. Agregat
Dalam penelitian ini, menggunakan agregat halus (pasir) dan agregat kasar berupa batu pecah.

2.2 Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami respon inelastik yang dominan dalam memikul beban agar tidak terjadi kegagalan tiba-tiba. Secara matematis, nilai daktilitas (μ) didefinisikan sebagai perbandingan antara suatu parameter regangan ultimit (μ_u) dengan regangan pada saat terjadinya leleh pertama pada material yang ditinjau (μ_y), seperti yang diberikan dalam persamaan berikut :

$$\mu = \frac{\Sigma u}{\Sigma y} \quad (\text{pers.1})$$

Banyak peneliti yang telah mendapatkan proporsi campuran untuk membuat beton geopolimer dengan bermacam-macam kuat tekan yang dihasilkan.

- 1. Penelitian yang dilakukan Hardjito dan

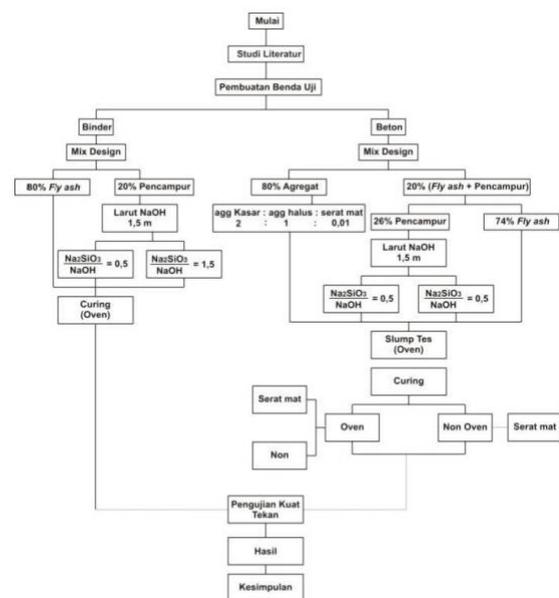
Rangan (2005)^[3] dilakukan dengan membuat sampel beton silinder berukuran 15 x 30 cm² dan dilakukan curing selama 24 jam pada suhu 60°C dengan metode memasukkan benda uji ke dalam oven kemudian dilakukan pengujian comprehensive strength atau kuat tekan beton pada umur beton 7 hari. Selain itu dapat diambil kesimpulan mix design yang dilakukan di dalam literatur dan hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio sodium silikat : NaOH yang paling optimum adalah 2.5 dengan molaritas sodium hidroksida sebesar 12M, selain itu dapat diketahui bahwa water / geopolymer solid sangat mempengaruhi kekuatan beton dimana semakin besar water / geopolymer solid maka semakin kecil kuat tekannya, sedangkan umur beton tidak mempengaruhi pertambahan kekuatan seperti beton konvensional.

2. Dalam penelitian ini digunakan literatur penelitian yang dilakukan oleh Djuwanto Hardjito, Steenie E. Wallah, Doddy M.J. Sumajouw, dan B. Vijaya Rangan^[4] yang berjudul On The Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. Penelitian beton geopolymer ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan ukuran 100 x 200 mm berbahan dasar fly ash kelas F dan dengan proses curing 60°C. Penelitian ini membandingkan komposisi campuran sodium silikat dan NaOH terhadap kekuatan beton, efek curing waktu dalam kekuatan beton, dan efek delay time setelah beton selesai di cetak dan sebelum beton dirawat terhadap peningkatan kekuatan beton. Selain itu dapat diambil kesimpulan mix design yang dilakukan di dalam literatur dan hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa peningkatan waktu curing lebih dari 60 jam tidak menambah kekuatan secara luar biasa dan waktu delay sebelum dioven tidak mempengaruhi kekuatan beton.
3. Dalam penelitian ini digunakan literatur penelitian yang dilakukan oleh B.V Rangan^[5] dalam laporan penelitian GC4 Curtin University yang berjudul Fly Ash Based Geopolymer Concrete. Penelitian beton geopolymer ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan ukuran 100 x 200 mm² berbahan dasar fly ash kelas F dan

dirawat selama 24 jam dengan suhu berbeda. Dari penelitian tersebut dapat dilihat bahwa jumlah air mempengaruhi tingkat kemudahan dikerjakannya campuran beton geopolymer berbahan dasar fly ash. Sedangkan jumlah air yang semakin banyak akan menurunkan kekuatan tekan beton. Perbandingan alkali dengan fly ash yang semakin besar dalam campuran memperlemah kekuatan beton itu sendiri.

3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan dibahas metode penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui prosedur pembuatan benda uji binder geopolymer dan beton geopolymer. Berikut disajikan diagram alir yang menjelaskan urutan-urutan langkah yang diperlukan untuk prosedur pembuatan Benda uji binder geopolymer dan beton geopolymer.



Gambar 2 Flowchart Langkah Penelitian

3.1 Binder Geopolimer

Untuk pembuatan binder geopolymer, material yang digunakan berupa fly ash tipe F dan alkaline aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida) dengan molaritas NaOH 1,5M dan rasio perbandingan Na₂SiO₃ dengan NaOH 0,5 dan 1,5.

3.2 Beton Geopolimer

Untuk pembuatan benda uji beton geopolymer, dilakukan mix design untuk material-

material yang akan digunakan yaitu agregat kasar, agregat halus, aditif (serat mat), fly ash tipe F dan pencampur ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$). Dalam pembuatan beton geopolimer ini digunakan molaritas NaOH 1,5M dan rasio perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH 0,5 dan 1,5.

3.3 Penentuan Komposisi Alkaline Aktivator

Pada studi ini alkaline aktivator yang digunakan berupa Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH). Nilai molaritas NaOH dibatasi sebesar 1,5M, Adapun cara mendapatkan molaritas NaOH 1,5M adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Mr NaOH = 40 (berdasarkan tabel periodik)

maka ;

Mr NaOH x molaritas yang diinginkan = NaOH (gram)

Contoh :

$40 \times 1,5\text{M} = 60 \text{ gram}$

Untuk mendapatkan 1,5 molar NaOH dalam bentuk cair, 60gram NaOH tersebut dicampurkan dengan air dan dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer hingga volume campuran di dalam erlenmeyer mencapai 1 liter.

3.4 Slump Test

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian slump untuk beton geopolimer saja.

3.5 Curing

Pada penelitian ini untuk binder geopolimer dilakukan proses curing selama 24 jam dengan suhu 90°C dengan metode memasukkan benda uji ke dalam oven. Sedangkan untuk beton geopolimer dilakukan 2 proses curing yaitu dengan metode memasukkan benda uji ke dalam oven dan dibiarkan dalam suhu ruangan.

3.6 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan binder geopolimer dilakukan di Laboratorium Rekayasa Struktur ITB menggunakan alat uji kuat tekan Ibertest berkapasitas 20 ton dengan 3 sampel disetiap umur hari pengujian.

3.7 Penamaan Benda Uji Binder Geopolimer

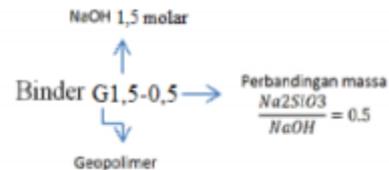
Untuk mempermudah mengenali benda uji, maka masing-masing benda uji diberi nama sebagai berikut:

- Binder G1,5-0,5 : binder yang menggunakan

larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5M dengan perbandingan massa 0.5

- Binder G1,5-1,5 : binder yang menggunakan larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5M dengan perbandingan massa 1.5

Contoh :



Gambar 3 Contoh Penamaan Benda Uji Binder Geopolimer

3.8 Penamaan Benda Uji Beton Geopolimer

Untuk penamaan benda uji beton Geopolimer adalah sebagai berikut :

- Beton GF1,5-0,5 : beton geopolimer yang menggunakan serat mat dan larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5M dengan perbandingan massa 0,5
- Beton GF1,5-1,5 : beton geopolimer yang menggunakan serat mat dan larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5M dengan perbandingan massa 1,5
- Beton G1,5-0,5 : beton geopolimer yang hanya menggunakan larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5M dengan perbandingan massa 0,5
- Beton G1,5-1,5 : beton geopolimer yang hanya menggunakan larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5M dengan perbandingan massa 1,5

Contoh



Gambar 4 Contoh Penamaan Beton Geopolimer

3.9 Prosedur Pembuatan Benda Uji

1. Binder geopolimer Ukuran $50 \times 100 \text{ mm}^2$
 - a. Campur Sodium Hidroksida dengan air menjadi 1,5M dengan cara

- b. Timbang Sodium Hidroksida, Sodium Silikat dan Fly Ash
 - c. Aduk semua bahan hingga merata
 - d. Binder geopolimer kemudian dicetak dalam cetakan berukuran 50 x 100 mm² dan diratakan
 - e. Cetakan bisa dilepas setelah binder sudah mengeras. Biasanya dilakukan pada umur 24 jam. Setelah dilepas dari cetakan, binder geopolimer ini kemudian dimasukkan dalam oven hingga 24 jam, lalu dibiarkan hingga uap panas keluar dan setelah itu dimasukkan dalam wadah kedap air. Hal ini dilakukan hingga tiba waktu pengetesan-pengetesan selanjutnya
2. Beton Geopolimer Ukuran 100x200 mm²
- a. Campur Sodium Hidroksida dengan air hingga menjadi 1,5M
 - b. Timbang semua material yang akan digunakan
 - c. Aduk larutan Sodium Hidroksida, Sodium Silikat hingga tercampur rata
 - d. Campurkan agregat kasar, agregat halus, fly ash dan serat mat dan di aduk hingga merata, lalu campurkan pula larutan Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat, aduk hingga semua tercampur rata.
 - e. Masukkan adukan beton geopolimer ke dalam kerucut abram untuk mengetahui nilai slump beton geopolimer.
 - f. Beton geopolimer kemudian dicetak dalam cetakan silinder berukuran 100x200 mm² dan diratakan
 - g. Untuk beton geopolimer yang akan di oven, cetakan bisa dilepas setelah beton sudah mengeras setelah 24 jam. Setelah dilepas dari cetakan, beton geopolimer ini kemudian dimasukkan dalam oven dengan temperatur 90°C selama 24 jam. Setelah di oven selama 24 jam, beton geopolimer disimpan dalam suhu ruangan sampai pengetesan-pengetesan dilakukan.

Sedangkan, untuk beton geopolimer yang tidak di oven cetakan bisa dilepaskan setelah beton mengeras lalu beton disimpan dalam suhu ruangan dan ditutup dengan plastik, dimaksudkan agar mengurangi penguapan / kehilangan air selama proses curing berlangsung hingga pengetesan-pengetesan dilakukan.

4. Hasil Pengujian dan Analisis Data

4.1 Slump

Tabel 1 Tabel Hasil Pengujian Slump Beton Geopolimer

Curing	Kode Jenis Benda Uji	Nilai Slump (cm)
Oven	GF1,5-0,5	3
Oven	GF1,5-1,5	2,7
Oven	G1,5-0,5	3,6
Oven	G1,5-1,5	3,2
Non Oven	GF1,5-0,5	3
Non Oven	GF1,5-1,5	2,8

Dari tabel.1 dapat dilihat bahwa seluruh beton geopolimer memiliki nilai slump yang cukup rendah. Hal ini menyebabkan beton geopolimer cukup sulit untuk dicetak atau tidak workability. Diperkirakan, nilai slump yang kecil pada beton geopolimer disebabkan oleh waktu pengikatan awal dari pasta geopolimer yang terlalu cepat.

4.2 Uji Kuat Tekan Binder Geopolimer

Tabel 2 Tabel Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer G1,5-0,5

No.	Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di-Cur	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks. (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-Rata (kg/cm ²)
1	g1,5-0,5	1806/13	2106/13	3	0,35	19,63	1.018	51,92	66,16
2	g1,5-0,5	1806/13	2106/13	3	0,35	19,63	1.555	79,20	
3	g1,5-0,5	1806/13	2106/13	3	0,33	19,63	1.323	67,36	
4	g1,5-0,5	1806/13	0307/13	15	0,33	19,63	1.456	74,13	77,60
5	g1,5-0,5	1806/13	0307/13	15	0,33	19,63	1.436	73,21	
6	g1,5-0,5	1806/13	0307/13	15	0,34	19,63	1.678	85,46	104,35
7	g1,5-0,5	1806/13	1607/13	28	0,33	19,63	2.058	104,83	
8	g1,5-0,5	1806/13	1607/13	28	0,09	19,63	2.141	109,02	
9	g1,5-0,5	1806/13	1607/13	28	0,33	19,63	1.946	99,22	

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan binder geopolimer dengan molaritas 1.5M dan ratio 0.5 diatas, dapat diketahui bahwa kuat tekan binder geopolimer G1,5-0,5 setelah umur 15 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan.

Untuk binder geopolimer dengan molaritas 1.5 M dan ratio 1.5 hasil kuat tekan binder Geopolimer adalah sebagai berikut :

Tabel 3 Tabel Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer G1,5-1,5

No.	Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	G1,5-1,5	18/06/13	21/06/13	3	0,33	19,83	937	47,74	45,14
2	G1,5-1,5	18/06/13	21/06/13	3	0,33	19,83	817	41,64	
3	G1,5-1,5	18/06/13	21/06/13	3	0,33	19,83	904	45,05	
4	G1,5-1,5	18/06/13	03/07/13	15	0,32	19,83	792	39,85	39,70
5	G1,5-1,5	18/06/13	03/07/13	15	0,31	19,83	904	45,07	
6	G1,5-1,5	18/06/13	03/07/13	15	0,32	19,83	671	34,19	
7	G1,5-1,5	18/06/13	16/07/13	28	0,32	19,83	937	47,75	43,58
8	G1,5-1,5	18/06/13	16/07/13	28	0,32	19,83	891	43,85	
9	G1,5-1,5	18/06/13	16/07/13	28	0,31	19,83	798	39,11	

Berdasarkan hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa kuat tekan binder geopolimer G1,5-1,5 setelah umur 15 hari mengalami penurunan kuat tekan yang tidak signifikan. Adapun contoh perhitungan kuat tekan dan luas bidang tekan adalah sebagai berikut :

Contoh perhitungan :

Luas Bidang Tekan

$$A_o = 0,25 \times \pi \times (D^2)$$

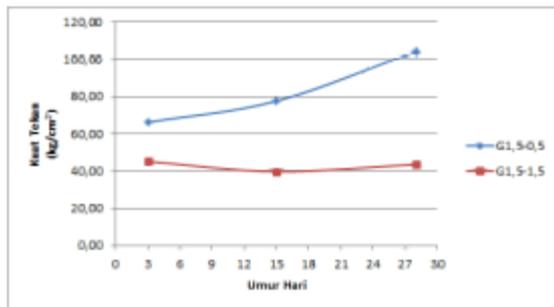
$$A_o = 0,25 \times 3,1415 \times (5^2)$$

$$A_o = 19,22 \text{ cm}^2$$

Kekuatan Tekanan σ'

$$\sigma' = \frac{P}{A_o} = \frac{768}{19,63} = 39,11 \text{ kg/cm}^2$$

Grafik perbandingan kuat tekan binder geopolimer untuk setiap perubahan ratio alkaline activator adalah sebagai berikut :



Gambar 5 Grafik Perbandingan Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer

Berdasarkan pada tabel dan grafik di atas dapat disimpulkan, bahwa kuat tekan binder geopolimer mengalami kenaikan dari umur 3 hari sampai umur 28 hari. Untuk binder dengan rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 0,5 menghasilkan kuat tekan yang lebih besar

dibandingkan binder dengan rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5.

4.3 Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Struktur Teknik Sipil ITB dengan menggunakan alat Ibertest berkapasitas 20 ton. Berikut adalah tabel dan grafik hasil analisis data kuat tekan beton geopolimer yang telah di uji di laboratorium:

Tabel 4 Hasil Tes Kuat Tekan Beton Geopolimer non Oven GF1,5-0,5

No.	Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Slam (cm)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	NO GF1,5-0,5	19/06/13	21/06/13	2	4,17	3	78,54	1,552	19,76	20,38
2	NO GF1,5-0,5	19/06/13	21/06/13	2	4,18	3	78,54	1,714	21,82	
3	NO GF1,5-0,5	19/06/13	21/06/13	2	4,16	3	78,54	1,536	19,56	
4	NO GF1,5-0,5	19/06/13	03/07/13	14	3,97	3	78,54	6,992	89,03	93,01
5	NO GF1,5-0,5	19/06/13	03/07/13	14	3,95	3	78,54	7,393	94,14	
6	NO GF1,5-0,5	19/06/13	03/07/13	14	3,95	3	78,54	7,528	95,86	
7	NO GF1,5-0,5	19/06/13	17/07/13	28	4,16	3	78,54	7,041	89,65	103,71
8	NO GF1,5-0,5	19/06/13	17/07/13	28	4,15	3	78,54	7,929	100,95	
9	NO GF1,5-0,5	19/06/13	17/07/13	28	4,17	3	78,54	9,468	120,52	

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kuat tekan beton geopolimer dengan curing di oven GF1,5- 0,5 setelah umur 3hari mengalami peningkatan kuat tekan yang signifikan dan terus meningkat hingga umur 28 hari.

Untuk beton geopolimer dengan metode curing di oven dengan molaritas 1.5 M dan ratio 1.5 serta penambahan serat mat hasil kuat tekan beton Geopolimer adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Hasil Tes Kuat Tekan Beton Geopolimer non Oven GF1,5-1,5

No.	Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Slam (cm)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	NO GF1,5-1,5	20/06/13	24/06/13	4	4,20	2,7	78,54	3,097	39,43	39,13
2	NO GF1,5-1,5	20/06/13	24/06/13	4	4,14	2,7	78,54	2,566	32,66	
3	NO GF1,5-1,5	20/06/13	24/06/13	4	4,20	2,7	78,54	3,322	42,30	
4	NO GF1,5-1,5	20/06/13	04/07/13	14	4,08	2,7	78,54	4,261	54,25	58,99
5	NO GF1,5-1,5	20/06/13	04/07/13	14	4,08	2,7	78,54	4,710	59,97	
6	NO GF1,5-1,5	20/06/13	04/07/13	14	4,10	2,7	78,54	4,927	62,74	
7	NO GF1,5-1,5	20/06/13	18/07/13	28	4,16	2,7	78,54	5,659	72,06	70,50
8	NO GF1,5-1,5	20/06/13	18/07/13	28	4,16	2,7	78,54	6,053	77,07	
9	NO GF1,5-1,5	20/06/13	18/07/13	28	4,19	2,7	78,54	4,898	62,37	

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kuat tekan beton geopolimer dengan curing tidak di oven GF1,5-1,5 setelah umur 3 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan dan terus meningkat hingga umur 28 hari.

Untuk beton geopolimer dengan metode curing di oven dengan molaritas 1.5 M dan ratio 0.5 tanpa penambahan serat mat hasil kuat tekan beton Geopolimer adalah sebagai berikut :

Tabel 6 Hasil Tes Kuat Tekan Beton Geopolimer Oven G1,5-0,5

No. Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Slam (cm)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	010105	2405/13	2705/13	3	4,03	3,6	78,54	4.242	54,01
2	010105	2405/13	2705/13	3	3,94	3,6	78,54	4.467	56,87
3	010105	2405/13	2705/13	3	3,99	3,6	78,54	5.140	65,44
4	010105	2405/13	0807/13	14	4,10	3,6	78,54	5.344	68,05
5	010105	2405/13	0807/13	14	4,09	3,6	78,54	4.048	51,54
6	010105	2405/13	0807/13	14	4,05	3,6	78,54	5.234	66,54
7	010105	2405/13	2207/13	28	4,17	3,6	78,54	6.283	79,74
8	010105	2405/13	2207/13	28	4,03	3,6	78,54	5.829	74,22
9	010105	2405/13	2207/13	28	4,15	3,6	78,54	5.555	70,73

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kuat tekan beton geopolimer dengan curing di oven G1,5-0,5 setelah umur 3 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan dan terus meningkat hingga umur 28 hari.

Untuk beton geopolimer dengan metode curing di oven dengan molaritas 1.5 M dan ratio 1.5 tanpa penambahan serat mat hasil kuat tekan beton Geopolimer adalah sebagai berikut :

Tabel 7 Hasil Tes Kuat Tekan Beton Geopolimer Oven G1,5-1,5

No. Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Slam (cm)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	0101-1,5	05/07/13	08/07/13	3	3,97	3,2	78,54	1.608	20,48
2	0101-1,5	05/07/13	08/07/13	3	3,97	3,2	78,54	1.692	21,54
3	0101-1,5	05/07/13	08/07/13	3	3,99	3,2	78,54	1.156	14,72
4	0101-1,5	05/07/13	19/07/13	14	3,90	3,2	78,54	1.781	22,67
5	0101-1,5	05/07/13	19/07/13	14	3,88	3,2	78,54	1.819	23,16
6	0101-1,5	05/07/13	19/07/13	14	3,91	3,2	78,54	1.310	16,68
7	0101-1,5	05/07/13	02/08/13	28	3,89	3,2	78,54	1.729	22,01
8	0101-1,5	05/07/13	02/08/13	28	3,75	3,2	78,54	1.797	22,88
9	0101-1,5	05/07/13	02/08/13	28	3,78	3,2	78,54	2.245	28,59

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kuat tekan beton geopolimer dengan curing di oven G1,5-1,5 setelah umur 3 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan dan terus meningkat hingga umur 28 hari.

Untuk beton geopolimer dengan metode curing di oven dengan molaritas 1.5 M dan ratio 0.5 serta penambahan serat mat hasil kuat tekan beton Geopolimer adalah sebagai berikut :

Tabel 8 Hasil Tes Kuat Tekan Beton Geopolimer Oven GF1,5-0,5

No. Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Slam (cm)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	010105-0,5	01/07/13	04/07/13	3	4,82	3	78,54	4.569	58,17
2	010105-0,5	01/07/13	04/07/13	3	4,09	3	78,54	4.861	59,36
3	010105-0,5	01/07/13	04/07/13	3	4,07	3	78,54	5.263	67,02
4	010105-0,5	01/07/13	15/07/13	14	3,90	3	78,54	5.125	65,26
5	010105-0,5	01/07/13	15/07/13	14	3,95	3	78,54	5.280	67,23
6	010105-0,5	01/07/13	15/07/13	14	4,02	3	78,54	5.988	76,25
7	010105-0,5	01/07/13	29/07/13	28	3,88	3	78,54	6.312	80,37
8	010105-0,5	01/07/13	29/07/13	28	3,94	3	78,54	5.524	70,33
9	010105-0,5	01/07/13	29/07/13	28	3,99	3	78,54	6.588	83,88

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kuat tekan beton geopolimer dengan curing di oven GF1,5- 0,5 setelah umur 3 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan dan terus meningkat hingga umur 28 hari.

Untuk beton geopolimer dengan metode curing di oven dengan molaritas 1.5 M dan ratio 1.5 serta penambahan serat mat hasil kuat tekan beton Geopolimer adalah sebagai berikut :

Tabel 9 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Oven GF1,5-1,5

No. Identifikasi Benda Uji	Tanggal Beton Di Cor	Tanggal Beton Di Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Slam (cm)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)	Kekuatan Rata-rata (kg/cm ²)
1	01012-1,5	02/07/13	05/07/13	3	4,01	2,8	78,54	2.543	32,38
2	01012-1,5	02/07/13	05/07/13	3	4,00	2,8	78,54	2.386	30,38
3	01012-1,5	02/07/13	05/07/13	3	3,90	2,8	78,54	2.819	35,89
4	01012-1,5	02/07/13	16/07/13	14	3,98	2,8	78,54	3.632	46,25
5	01012-1,5	02/07/13	16/07/13	14	3,99	2,8	78,54	3.772	48,03
6	01012-1,5	02/07/13	16/07/13	14	3,91	2,8	78,54	3.615	46,03
7	01012-1,5	02/07/13	30/07/13	28	3,85	2,8	78,54	2.909	37,04
8	01012-1,5	02/07/13	30/07/13	28	3,82	2,8	78,54	3.237	41,21
9	01012-1,5	02/07/13	30/07/13	28	3,82	2,8	78,54	3.814	48,57

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kuat tekan beton geopolimer dengan curing di oven GF1,5- 1,5 setelah umur 3 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan dan terus meningkat hingga umur 28 hari. Adapun contoh perhitungan kuat tekan dan luas bidang tekan adalah sebagai berikut :

Contoh Perhitungan:

Luas Bidang Tekan

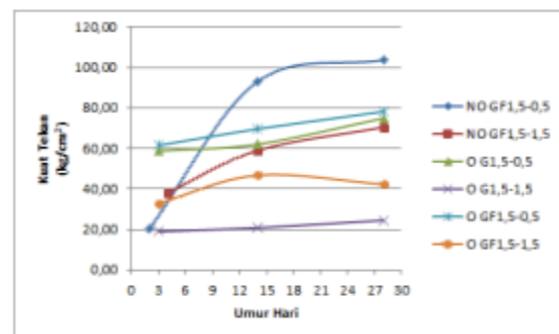
$$A_0 = 0,25 \times \pi \times (D^2)$$

$$A_0 = 0,25 \times 3,1415 \times (10^2)$$

$$A_0 = 78,54 \text{ cm}^2$$

Kekuatan Tekanan σ'

$$\sigma' = \frac{P}{A_0} = \frac{6588}{78,54} = 83,88 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 6 Grafik Perbandingan Tes Kuat Tekan Beton Geopolimer

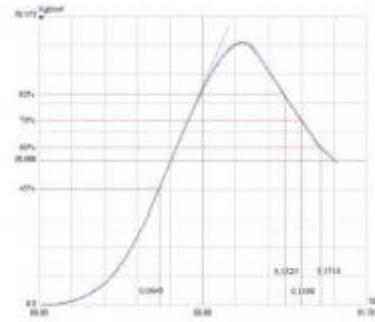
Berdasarkan tabel dan grafik di atas, beton dengan proses curing di oven awalnya menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi pada saat pengujian umur 14 hari, kenaikan kuat tekannya tidak terlalu signifikan. Sedangkan beton dengan proses curing yang tidak di oven awalnya menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah tetapi pada saat pengujian umur 14 hari kenaikannya cukup signifikan. Beton dengan rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 0,5 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida 1,5. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa hasil kuat tekan beton geopolimer lebih tinggi dibandingkan hasil kuat tekan binder geopolimer. Itu semua dipengaruhi oleh adanya perbedaan kemampuan untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus yang ditambahkan dalam campuran beton geopolimer.

4.4 Pengaruh Penambahan Serat Mat

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diperoleh hasil yang lain, yaitu daktilitas. Berdasarkan kurva beban-perpendekan dari uji kuat tekan terhadap sampel beton geopolimer dengan serat mat dan tanpa serat mat dengan proses curing oven, dapat dihitung nilai daktilitas dari masing-masing sampel. Hasil perhitungan menunjukkan beton dengan serat mat memiliki nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa serat mat. Berikut ini adalah kurva beban-perpendekan dari uji kuat tekan terhadap sampel beton geopolimer G1,5-0,5 :



Gambar 7 Grafik Beban – Perpendekan dari Uji Kuat Tekan Beton G1,5-0,5



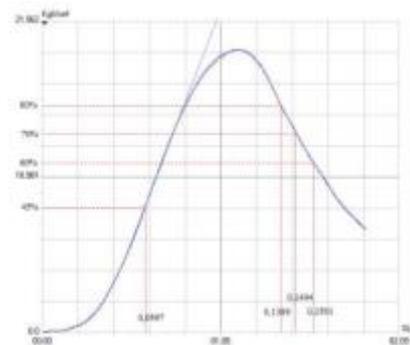
Gambar 8 Grafik Beban – Perpendekan dari Uji Kuat Tekan Beton GF1,5-0,5

Berdasarkan kurva di atas, maka dihasilkan nilai persentase peningkatan daktilitas seperti tabel berikut :

Tabel 10 Daktilitas Beton Geopolimer Rasio 0,5

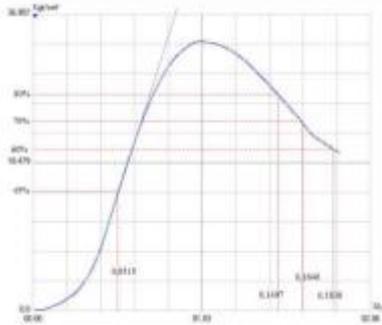
Komposisi	Daktilitas	
	28 hari	Rata-rata
G1,5-0,5	2,3348	2,4334
	2,793	
	2,1726	
GF1,5-0,5	2,1888	2,5073
	2,3359	
	2,9979	
Peningkatan Daktilitas (%)		3,0369

Berdasarkan hasil dari Tabel 10, pengaruh penambahan serat mat dalam campuran beton geopolimer dengan rasio 0,5, menunjukkan beton dengan penambahan serat mat menghasilkan nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan beton tanpa penambahan serat mat. Berikut ini adalah kurva beban-perpendekan dari uji kuat tekan terhadap sampel beton geopolimer G1,5-1,5 :



Gambar 9 Grafik Beban – Perpendekan dari Uji Kuat Tekan Beton G1,5-1,5

Berikut ini adalah kurva beban-perpendekan dari uji kuat tekan terhadap sampel beton geopolimer GF1,5- 1,5:



Gambar 10 Grafik Beban – Perpendekan dari Uji Kuat Tekan Beton G1,5-1,5

Berdasarkan kurva di atas, maka dihasilkan nilai persentase peningkatan daktilitas seperti tabel berikut :

Tabel 11 Daktilitas Beton Geopolimer Rasio 1,5

Komposisi	Daktilitas	
	28 hari (%)	Rata-rata (%)
G1,5-1,5	2,6649	2,5243
	2,8684	
	2,0397	
GF1,5-1,5	3,5698	2,7107
	2,3987	
	2,1636	
Peningkatan Daktilitas (%)		7,3842

Berdasarkan hasil dari tabel 11, pengaruh penambahan serat mat dalam campuran beton geopolimer dengan rasio 1,5 menunjukkan beton dengan penambahan serat mat menghasilkan nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan beton tanpa penambahan serat mat. Bila dilihat dari persentase Tabel 10 mendapatkan nilai peningkatan daktilitas 3,0369% dan Tabel 11 mendapatkan nilai peningkatan daktilitas 7,3842%. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai peningkatan daktilitas dengan penambahan serat mat tidak signifikan karena nilai peningkatan daktilitas ini terjadi pada level material. Jika diaplikasikan pada level elemen / penampang maupun struktur, nilai ini hanya memberikan pengaruh daktilitas yang sangat kecil. Berikut adalah contoh perhitungan daktilitas :
Daktilitas leleh 1 → Fraktur (dibagi oleh tegangan sisa) μ_1

$$\mu_1 = \frac{\Sigma 60\%}{\Sigma leleh} = \frac{0,1925}{0,0439} = 2,3348$$

$$\mu_2 = \frac{\Sigma 70\%}{\Sigma leleh} = \frac{0,1004}{0,0439} = 2,2870$$

$$\mu_3 = \frac{\Sigma 80\%}{\Sigma leleh} = \frac{0,0972}{0,0439} = 2,2141$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai daktilitas untuk beton geopolimer pada tegangan sisa 60% dengan penambahan serat mat memiliki nilai daktilitas yang lebih tinggi. Contoh besarnya peningkatan daktilitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\% \text{ Kenaikan Daktilitas} = \frac{\text{Daktilitas Serat Mat} - \text{Non Serat Mat}}{\text{Daktilitas Non Serat Mat}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kenaikan Daktilitas} = \frac{2,7107 - 2,5243}{2,5243} \times 100\%$$

$$= 7,3842\%$$

Peningkatan terhadap kuat tekan Untuk melihat pengaruh penambahan serat mat terhadap peningkatan kuat tekan pada beton geopolimer, dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13 berikut ini :

Tabel 12 Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan penambahan Serat Mat Rasio 0,5

Komposisi	Kuat Tekan	
	28 hari	Rata-rata
G1,5-0,5	79,74	74,90
	74,22	
	70,73	
GF1,5-0,5	80,37	78,19
	70,33	
	83,88	
Peningkatan Kuat Tekan (%)		4,3925

Tabel 13 Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan penambahan Serat Mat Rasio 1,5

Komposisi	Kuat Tekan	
	28 hari	Rata-rata
G1,5-1,5	22,01	24,50
	22,88	
	28,59	
GF1,5-1,5	37,04	42,27
	41,21	
	48,57	
Peningkatan Kuat Tekan (%)		72,53

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan penambahan serat mat rasio 0,5

menghasilkan peningkatan kuat tekan sebesar 4,3925% dan beton tanpa penambahan serat mat rasio 1,5 menghasilkan peningkatan kuat tekan sebesar 72,53%. Berdasarkan penelitian ini, tidak dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan penambahan serat mat akan mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer, karena kenaikannya tidak sebanding dan tidak menunjukkan korelasi yang jelas.

Berikut adalah contoh perhitungan persentase peningkatan kuat tekan :

$$\begin{aligned} & \frac{\% \text{ Kenaikan Kuat Tekan}}{\text{Serat Mat} - \text{Non Serat Mat}} \\ &= \frac{\text{Non Serat Mat}}{\text{Non Serat Mat}} \times 100\% \\ & \frac{\% \text{ Kenaikan Kuat Tekan}}{\text{Serat Mat} - \text{Non Serat Mat}} \\ &= \frac{42,72 - 24,50}{24,50} \times 100\% \\ &= 72,53\% \end{aligned}$$

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Binder dan beton geopolimer dengan molaritas NaOH 1,5 M dan rasio perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 0,5 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan molaritas NaOH 1,5 M dan rasio perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 1,5.
2. Proses curing pada beton yang memiliki molaritas dan rasio yang sama menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi untuk proses curing dengan metode non oven dibandingkan dengan proses curing oven.
3. Uji slump untuk beton geopolimer menghasilkan nilai slump yang cukup rendah. Hal ini menyebabkan beton geopolimer cukup sulit untuk dicetak atau tidak workability. Diperkirakan, nilai slump yang kecil pada beton geopolimer disebabkan oleh waktu pengik.
4. Beton geopolimer dengan penambahan serat mat dalam campurannya memiliki nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton geopolimer tanpa penambahan serat mat dalam campurannya. Tetapi nilai peningkatannya tidak signifikan dan hanya memberikan nilai daktilitas yang sangat kecil.
5. Hasil Kesimpulan ini hanya dikhususkan pada

penelitian yang dilakukan. Berlaku pada jenis material, metode, dan sampel benda uji yang dilakukan.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan uji binder untuk mendapatkan molaritas dan rasio perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH yang optimum. Nilai optimum akan diperoleh dengan melakukan virabilitas terhadap molaritas dan rasio perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH di rentang batas tertentu.
2. Setelah mendapatkan molaritas dan rasio perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH yang optimum, maka sampel benda uji dapat dibuat dengan menggunakan nilai tersebut dan tidak perlu di variasikan lagi, dengan demikian variasi dapat dilakukan terhadap persentase jumlah serat mat yang ditambahkan maupun terhadap variabel lain yang nanti akan ditinjau pada penelitian selanjutnya.
3. Sebelum melakukan percobaan sebaiknya melakukan mix design untuk beton konvensional, sehingga dapat diketahui perbedaan kuat tekannya.
4. Perlu diperhatikan lebih lanjut tentang penentuan molaritas NaOH.

Daftar Pustaka

- [1] Davidovits, Geopolymer : Inorganic Polymeric New Materials, Geopolymer Institute, France, 1991
- [2] Davidovits, Global Warming Impact On The Cement And Aggregates Industries, Geopolymer Institute, France, 2004
- [3] Hardjito, D.and Rangan, B.V, Development and Properties of Low-Calcium Fly AshBased Geopolymer Concrete, Perth, Australia, 2005
- [4] Hardjito, D., Wallah S.E., and Rangan, B.V., On The Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete, 2004.
- [5] Rangan, B.V. (2008), "Fly Ash Based Geopolymer Concrete", Curtin University
- [6] Fitrah Nur, Oscar, "Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Daktilitas Kurvatur Balok Bertulang", Jurnal Rekayasa Sipil Vol.5, 2009.
- [7] Ekaputri et.all, "Sifat Mekanik Beton Geopolimer", Jurnal Pondasi Vol.13, Surabaya, 2007.
- [8] Frantisek Skvara, dkk , "Concrete bash on fly

ash geopolymer”, 2006.

- [9] Sutanto, Erik, dkk. “Beton Geopolimer dan fly ash untuk beton structural”, UK.Petra, Surabaya, 2005.
- [10] Setyarto, YD. Catatan Kuliah, Universitas Katholik Parahyangan, Bandung, 2006.