

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1. MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Material-material yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

I. Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Abu Dasar (*Bottom Ash*)

- Sumber : PLTU Suralaya PT. Indonesia Power

II. Agregat Kasar

- Sumber : PT. Adhimix Precast Indonesia, Cabang Lenteng Agung

III. Air

- Sumber : Pompa Air Tanah Lab. Struktur dan Material Teknik Sipil

4.2. HASIL PENGUJIAN *PROPERTIES* MATERIAL

4.2.1. Pengujian Abu Terbang (*Fly Ash*)

Pengujian material abu terbang (*fly ash*) dilakukan oleh Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Indonesia dengan metode *X-Ray Fluorescence*, dan *X-Ray Diffraction*. Pengujian *X-Ray Fluorescence* bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur atau senyawa yang terkandung didalam *fly ash* tersebut. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran *Fly Ash* Dengan Menggunakan XRF

No.	Chemical Formula	Wt. (%)
1.	MgO	3,9472
2.	Al ₂ O ₃	19,0896
3.	SiO ₂	45,4462
4.	S	0,2271
5.	K ₂ O	1,2955
6.	CaO	9,8161
7.	Mn ₃ O ₄	0,1658
8.	Fe ₃ O ₄	19,6509
9.	SrO	0,2360
10.	ZrO ₂	0,1256

Dapat dilihat berdasarkan hasil pengujian diatas, *fly ash* memiliki kandungan alumina dan silika yang dominan, dari hal ini dapat diketahui bahwa material *fly ash* ini dapat digunakan sebagai material prekursor karena kandungan alumina dan silika yang dominan tersebut.

Hasil pengujian dengan X-Ray Diffraction, grafik hasil bisa dilihat pada lampiran, menunjukkan bahwa material *fly ash* bersifat heterogen. Material *fly ash* tersebut terdiri dari material yang *amorphous* dan *crystalline*. Struktur yang bersifat *amorphous* akan lebih reaktif bila dibandingkan dengan dengan yang bersifat *crystalline*. Namun pada pengujian X-Ray Diffraction tidak dapat diketahui jumlah secara kualitatif material yang bersifat *amorphous* dan *crystalline*.

4.2.2. Pengujian *Sodium Silikat* Na_2SiO_3 (Waterglass)

Pengujian material Sodium Silikat (waterglass) dilakukan oleh Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia dengan metode Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) dan Gravity Metric. Pengujian Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) bertujuan untuk mengetahui jumlah unsur atau senyawa Na_2O , sedangkan Gravity Metric untuk mengetahui jumlah unsur atau senyawa SiO_2 yang terkandung didalam *waterglass* tersebut. Hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Pengujian *Sodium Silikat* Na_2SiO_3 (Waterglass)

No.	Parameter	Result	Units
1	SiO_2	35,04	%
2	Na_2O	0,47	%

Dari hasil pengujian diatas, selanjutnya dapat ditentukan komposisi dari waterglass (Na_2SiO_3), abu terbang, dan NaOH yang digunakan pada campuran material geopolimer.

4.2.3. Pengujian Agregat

4.2.3.1 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian material agregat kasar yang dilakukan adalah berat jenis dan penyerapan air yang bertujuan untuk menentukan berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat. Serta analisa ayak yang bertujuan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Hasilnya adalah sebagai berikut :

4.2.3.1.1 Berat jenis dan penyerapan air

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Air Agregat

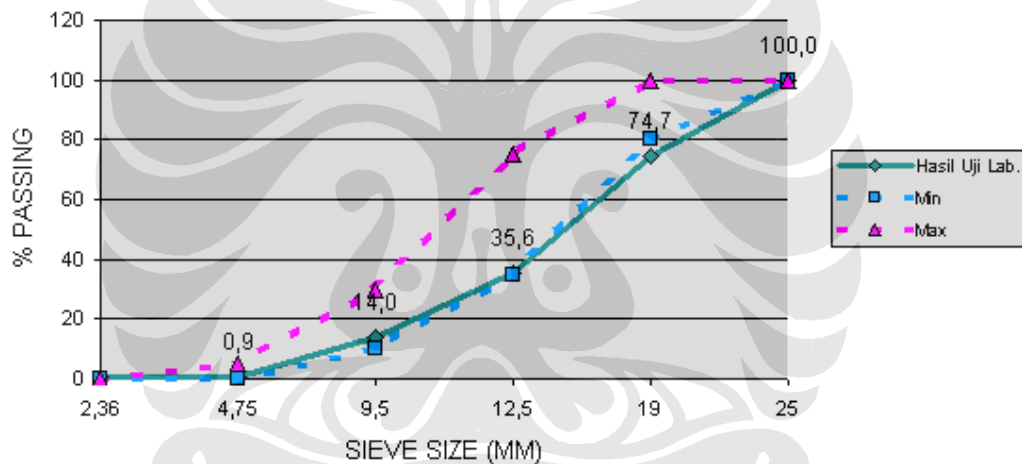
Gambaran	Test	Test	Unit
Berat sample di dalam air	C	1828	gram
Berat sample dalam kondisi ssd	B	3000	gram
Berat sample (kondisi kering oven)	A	2920	gram
Berat Jenis (kondisi ssd)	$\frac{B}{(B-C)}$	2,560	
Berat Jenis	$\frac{A}{(B-C)}$	2,491	
Berat Jenis semu	$\frac{A}{(A-C)}$	2,674	
Absorpsi	$\frac{B-A}{A} \times 100\%$	2,740	%

Dari pengujian berat jenis pada agregat kasar didapat berat jenis kondisi SSD adalah 2,560. Dari data tersebut juga dihasilkan penyerapan air sebesar 2,739 %, yang berarti kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh muka kering sebesar 2,740 % dari berat kering agregat itu sendiri.

4.2.3.1.2 Analisa ayak

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat

Lubang Saringan		Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan Kumulatif (gram)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Spesifikasi ASTM C 33-78
Inch	(mm)					
1"	25	0	0	0	100	100
3/4"	19	505	505	25,31	74,69	80-100
1/2"	12,5	779	1284	64,36	35,64	35-75
3/8"	9,5	431	1715	85,96	14,04	10-30
No.4	4,75	262	1977	99,10	0,90	0-5
No.8	2,36	5	1982	99,35	0,65	0
pan		13	1995	100	0	0



Gambar 4.1. Grafik Gradasi Agregat Dibandingkan ASTM C 33-78

Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian ini mempunyai gradasi yang cukup baik, meskipun terdapat gradasi yang tidak masuk kedalam spesifikasi yaitu untuk ayakan ukuran 3/4" (19 mm).

4.2.3.2 Pengujian Bottom Ash Sebagai Agregat Halus

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah *bottom ash*. Pengujian material *bottom ash* yang dilakukan adalah berat jenis dan penyerapan air yang bertujuan untuk menentukan berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh *bottom ash*. Serta analisa ayak yang bertujuan untuk menentukan

pembagian butiran (gradasi) *bottom ash* dengan menggunakan saringan. Hasilnya adalah sebagai berikut :

4.2.3.2.1 Berat jenis dan penyerapan air

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Air *Bottom Ash*

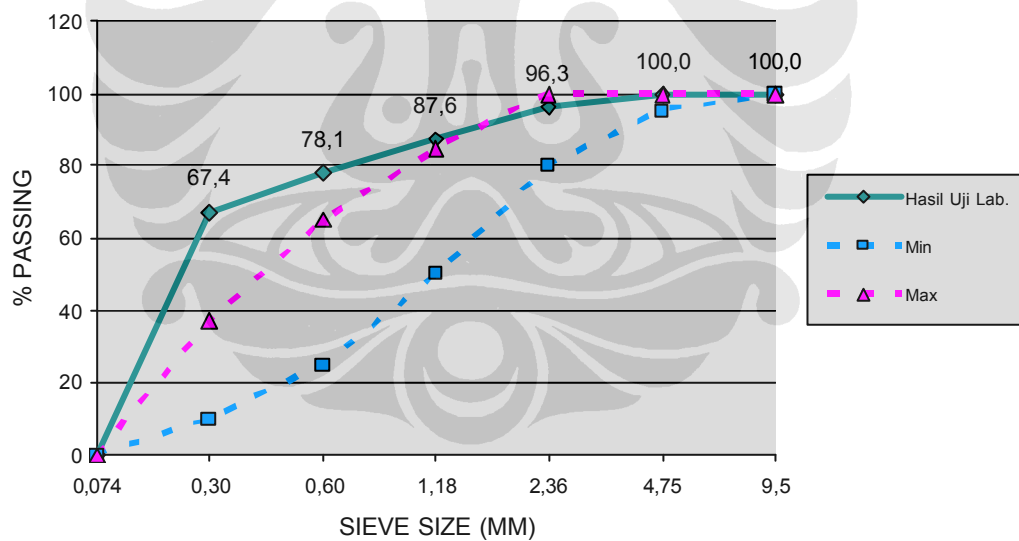
Gambaran		Sample		Unit
		I	II	
Berat sample (kondisi kering oven)	A	487	489	gram
Berat picnometer dan air	B	668	670	gram
Berat picnometer dengan sample dan air	C	946	945	gram
Bulk Specific Gravity	$\frac{A}{B+500-C}$	2,194	2,173	
Rata-Rata		2,184		
Bulk Specific Gravity SSD	$\frac{500}{B+500-C}$	2,252	2,222	
Rata-Rata		2,237		
Apparent Specific Gravity	$\frac{A}{(B+A-C)}$	2,330	2,285	
Rata-Rata		2,308		
Penyerapan	$\frac{500-A}{A} \times 100\%$	2,669	2,249	%
Rata-Rata		2,459		%

Dari pengujian berat jenis pada *bottom ash* didapat berat jenis kondisi SSD adalah 2,237. Dari data tersebut juga dihasilkan penyerapan air sebesar 2,459 %, yang berarti kemampuan *bottom ash* dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh muka kering sebesar 2,459 % dari berat kering agregat itu sendiri.

4.2.3.2.2 Analisa ayak

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Analisa Ayak *Bottom Ash*

Sieve Size		Sample No. 1			Sample No. 2			Average		
		Weight Ret. Grams	Ind. % Ret.	Cum. % Ret.	Weight Ret. Grams	Ind. % Ret.	Cum. % Ret.	Ind. % Ret.	Cum. % Ret.	Total % Passing
mm	No.									
9,5	3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4,75	No. 4	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
2,36	No. 8	17	3,4	3,4	20	4,0	4,0	3,7	3,7	96,3
1,18	No. 16	41	8,2	11,6	46	9,2	13,2	8,7	12,4	87,6
0,60	No. 30	47	9,4	21,0	48	9,6	22,8	9,5	21,9	78,1
0,30	No. 50	56	11,2	32,2	51	10,2	33,0	10,7	32,6	67,4
0,15	No. 100	131	26,2	58,4	133	26,6	59,6	26,4	59,0	41,0
0,074	No. 200	133	0	0	128	0	0	0	0	0
PAN		75	15,0	73	74	14,8	74	14,9	100	100
TOTAL		500	73		500	74		74		
FM		1,296								



Gambar 4.2. Grafik Gradasi *Bottom Ash*

Bottom ash yang digunakan mempunyai gradasi yang halus dengan angka kehalusan sebesar 1,296. Terdapat gradasi yang tidak masuk ke dalam spesifikasi yaitu untuk ayakan ukuran #50 (0,30 mm), #30 (0,60 mm), dan #16 (1,18 mm).

4.3. DESAIN CAMPURAN BENDA UJI

Desain campuran benda uji dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pertama adalah membuat *sample* campuran material geopolimer yang bertujuan untuk mencari komposisi material geopolimer dan tahap kedua adalah membuat sampel campuran beton geopolimer yang bertujuan untuk mencari komposisi beton geopolimer yang memiliki campuran dengan *workability* yang baik dan kuat tekan yang besar dengan kata lain campuran yang optimum untuk beton geopolimer.

4.3.1. Desain Campuran Material Geopolimer (Pasta)

Desain campuran material geopolimer (pasta) belum memiliki peraturan yang dibakukan, sehingga pembuatan campuran material geopolimer ini dilakukan dengan cara *trial and error*, yaitu dilakukan secara coba-coba hingga didapatkan material geopolimer yang memiliki reaksi polimerisasi yang sempurna dan kuat tekan terbesar, dengan cara mengatur komposisi prekursor dan aktivator alkali. Pertama-tama yang dilakukan adalah mencari komposisi geopolimer yang tepat dengan membuat *sample* rel kecil, seperti pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Pembuatan *Sample* Rel Kecil

Desain ini didapatkan dari modifikasi pada jumlah NaOH dan H₂O disebabkan penentuan *workability* yang baik dan target kuat tekan material geopolimer (pasta) sebesar 35 MPa. Didapatkan design campuran yang baik, yaitu:

<i>Fly ash</i>	=	20	gram
NaOH	=	2,055	gram
<i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	=	10,667	gram
H ₂ O	=	2	gram

Pembuatan sampel kecil seperti diatas dilakukan pada suhu kamar. Setelah minggu kedua baru mengeras. Sehingga diambil keputusan untuk menggunakan oven dengan suhu 60°C selama 24 jam untuk membantu reaksi polimerisasi.

Untuk mencari kuat tekan dari komposisi material geopolimer (pasta) diatas maka dibuat *sample* kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm, seperti pada gambar dibawah :



Gambar 4.4. Benda Uji Kubus 5 x 5 x 5 cm

Dari hasil kuat tekan dengan komposisi tersebut material geopolimer (pasta) ini mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 211 kg/cm² (21 MPa).

Tabel 4.7. Kuat Tekan Material Geopolimer (Pasta)

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	TM-14-11-01	3	5550	25	222	211	
2	TM-14-11-02	3	5000	25	200		
3	TM-14-11-03	3	5300	25	212		

4.3.2. Desain Campuran Beton Geopolimer

Proses desain campuran beton geopolimer dimulai dengan melakukan rancang campur untuk beton normal dengan kuat tekan f_c' 35 Mpa (350 kg/cm^2) perhitungan rancang campur beton normal ada pada lampiran. Berikut adalah hasil desain campuran beton normal yang akan dibuat per m^3 :

Semen [C]	=	477	kg	}	Pasta Semen = 675 kg
Air [W]	=	198	kg		
Pasir [S] (<i>Bottom Ash</i>)	=	572	kg		
Agregat kasar [CA]	=	944	kg		

Kemudian setelah didapat komposisi beton normal, dilakukan perbandingan antara pasta semen dengan pasta geopolimer yang telah didapat komposisinya pada sub-bab sebelumnya.

Untuk mengetahui kekuatan dari beton geopolimer dapat dilakukan dengan pembuatan benda uji silinder $\text{Ø}15 \times 30$ atau $15 \times 15 \times 15$, juga dapat dilihat *workability*-an dari campuran beton geopolimer itu sendiri dengan pengujian slump.

Desain campuran beton geopolimer I

Dicoba H_2O sebanyak 2 gram sesuai dengan komposisi pada sub-bab sebelumnya. Benda uji berupa silinder $\text{Ø}15 \times 30$

Pasta Geopolimer :

<i>Fly ash</i>	=	20	gram	→	57,6	%
NaOH	=	2,055	gram	→	5,92	%
<i>Waterglass</i> (Na_2SiO_3)	=	10,667	gram	→	30,72	%
H_2O	=	2	gram	→	5,76	%

Berikut adalah tabel desain campuran beton geopolimer I yang dibuat:

Tabel 4.8. Desain Campuran Beton Geopolimer I

No	Kode	CA [kg/m ³]	S [kg/m ³]	Geopolimer [kg/m ³]				Keterangan
				<i>Fly ash</i>	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	
1	BGT1-xx-xx	944	572	388,802	39,949	207,368	38,880	

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Campuran Beton Geopolimer I

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGT1-03-01	3	18250	176,79	103,23	142,83	
2	BGT1-03-02	3	31000	176,79	175,35		
3	BGT1-03-03	3	26500	176,79	149,90		

Dengan desain campuran beton geopolimer I didapat kuat tekan sebesar 14,283 MPa, tapi benda uji dalam keadaan berpori. Hal ini disebabkan campuran yang sangat kaku dengan nilai slump 0 cm, sehingga pasta tidak mengisi ruang/pori yang ada.



Gambar 4.5. Pengujian Slump Campuran Beton Geopolimer I

Dengan desain campuran beton geopolimer I belum didapat hasil yang optimum. Perlu ditambahkan air pada campuran beton geopolimer I.

Desain campuran beton geopolimer II

Dicoba H₂O sebanyak 6 gram. Benda uji berupa silinder Ø15 x 30

Pasta Geopolimer :

<i>Fly ash</i>	=	20 gram	→	51,65 %
NaOH	=	2,055 gram	→	5,307 %
<i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	=	10,667 gram	→	27,548 %
H ₂ O	=	6 gram	→	15,495 %

Tabel 4.10. Desain Campuran Beton Geopolimer II

No	Kode	CA [kg/m ³]	S [kg/m ³]	Geopolimer [kg/m ³]				Keterangan
				<i>Fly ash</i>	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	
1	BGT2-xx-xx	944	572	348,639	35,823	185,947	104,592	

Tabel 4.11. Hasil Pengujian Kuat Tekan Campuran Beton Geopolimer II

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGT2-03-01	3	32500	176,79	183,84	187,66	
2	BGT2-03-02	3	34525	176,79	195,29		
3	BGT2-03-03	3	32500	176,79	183,84		

Dengan desain campuran beton geopolimer II didapat kuat tekan sebesar 18,73 MPa. Campuran yang dihasilkan sangat encer dengan nilai slump 24 cm. Proporsi air masih terlalu banyak.

Dengan desain campuran beton geopolimer II belum didapat hasil yang optimum.



Gambar 4.6. Pengujian Slump Campuran Beton Geopolimer II

Desain campuran beton geopolimer III

Dicoba H₂O sebanyak 4 gram. Benda uji berupa silinder Ø15 x 30

Pasta Geopolimer :

<i>Fly ash</i>	=	20	gram	→	54,463 %
NaOH	=	2,055	gram	→	5,596 %
<i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	=	10,667	gram	→	29,048 %
H ₂ O	=	4	gram	→	10,893 %

Tabel 4.12. Desain Campuran Beton Geopolimer III

No	Kode	CA [kg/m ³]	S [kg/m ³]	Geopolimer [kg/m ³]				Keterangan
				<i>Fly ash</i>	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	
1	BGT3-xx-xx	944	572	367,627	37,774	196,074	73,525	

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Kuat Tekan Campuran Beton Geopolimer III

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGT3-03-01	3	68750	176,79	388,89	382,76	
2	BGT3-03-02	3	74750	176,79	422,83		
3	BGT3-03-03	3	59500	176,79	336,57		

Dengan desain campuran beton geopolimer III didapat kuat tekan sebesar 38,914 MPa. Benda uji dalam keadaan berpori. Hal ini disebabkan campuran yang kaku dengan nilai slump 0 cm, sehingga pasta tidak mengisi ruang/pori yang ada. Proporsi air masih kurang.



Gambar 4.7. Pengujian Slump Campuran Beton Geopolimer III

Dengan desain campuran beton geopolimer II belum didapat hasil yang optimum.

Desain campuran beton geopolimer IV

Dicoba H₂O sebanyak 5 gram. Benda uji berupa kubus 15 x 15 x 15

Pasta Geopolimer :

<i>Fly ash</i>	=	20 gram	→	53,019 %
NaOH	=	2,055 gram	→	5,448 %
<i>Waterglass</i> (Na_2SiO_3)	=	10,667 gram	→	28,278 %
H_2O	=	5 gram	→	13,255 %

Tabel 4.14. Desain Campuran Beton Geopolimer IV

No	Kode	CA [kg/m ³]	S [kg/m ³]	Geopolimer [kg/m ³]				Keterangan
				<i>Fly ash</i>	NaOH	Na_2SiO_3	H_2O	
1	BGT4-xx-xx	944	572	357,881	36,772	190,876	89,470	

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kuat Tekan Campuran Beton Geopolimer IV

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGT4-03-01	3	51000	225	226,67	227,78	
2	BGT4-03-02	3	58250	225	258,89		
3	BGT4-03-03	3	44500	225	197,78		

Dengan desain campuran beton geopolimer IV didapat kuat tekan sebesar 22,778 MPa. Campuran yang dihasilkan encer dengan nilai slump 20 cm. Proporsi air masih terlalu banyak. Desain ini belum optimum.



Gambar 4.8. Pengujian Slump Campuran Beton Geopolimer IV

Desain campuran beton geopolimer V

Dicoba H₂O sebanyak 4,5 gram. Benda uji berupa kubus 15 x 15 x 15

Pasta Geopolimer :

<i>Fly ash</i>	=	20	gram	→	53,732 %
NaOH	=	2,055	gram	→	5,521 %
<i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	=	10,667	gram	→	28,658 %
H ₂ O	=	4,5	gram	→	12,090 %

Tabel 4.16. Desain Campuran Beton Geopolimer V

No	Kode	CA [kg/m ³]	S [kg/m ³]	Geopolimer [kg/m ³]				Keterangan
				<i>Fly ash</i>	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	
1	BGT5-xx-xx	944	572	362,689	37,266	193,440	81,605	

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Kuat Tekan Campuran Beton Geopolimer V

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGT5-03-01	3	99500	225	442,22	451,11	
2	BGT5-03-02	3	105000	225	466,67		
3	BGT5-03-03	3	100000	225	444,44		

Dengan desain campuran beton geopolimer V didapat kuat tekan sebesar 45,111 MPa. *Workability* campuran yang dihasilkan sudah cukup baik dengan nilai slump sebesar 2 cm



Gambar 4.9. Benda Uji Campuran Beton Geopolimer V

Desain campuran beton geopolimer VI

Dicoba H₂O sebanyak 4,75 gram. Benda uji berupa kubus 15 x 15 x 15

Pasta Geopolimer :

<i>Fly ash</i>	=	20 gram	→	53,373 %
NaOH	=	2,055 gram	→	5,484 %
<i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	=	10,667 gram	→	28,467 %
H ₂ O	=	4,75 gram	→	12,676 %

Berikut adalah tabel desain campuran beton geopolimer VI yang dibuat:

Tabel 4.18. Desain Campuran Beton Geopolimer VI

No	Kode	CA [kg/m ³]	S [kg/m ³]	Geopolimer [kg/m ³]				Keterangan
				<i>Fly ash</i>	NaOH	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	
1	BGT5-xx-xx	944	572	360,269	37,018	192,149	85,564	

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Kuat Tekan Campuran Beton Geopolimer VI

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGT6-03-01	3	49500	225	220,00	218,89	
2	BGT6-03-02	3	49500	225	220,00		
3	BGT6-03-03	3	48750	225	216,67		

Dengan desain campuran beton geopolimer VI *workability* campuran yang dihasilkan sudah baik dengan nilai slump sebesar 10 tapi didapat kuat tekan sebesar 21,889 MPa.

Dari percobaan-percobaan desain campuran yang dilakukan diatas didapatkan desain campuran yang optimum dengan membandingkan hasil kuat tekan dan *workability* dari campuran beton geopolimer, maka diambil campuran beton geopolimer V dengan percobaan H₂O sebanyak 4,5 gr untuk menjadi desain campuran beton geopolimer pada percobaan-percobaan selanjutnya.

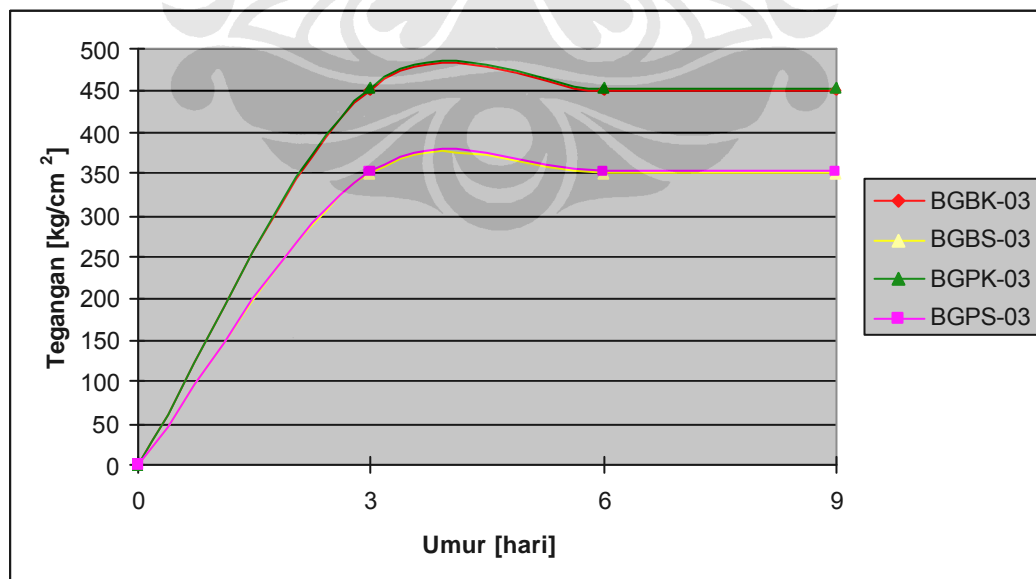
4.4. HASIL PENGUJIAN SIFAT MEKANIK

4.4.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada pengujian kuat tekan ini akan dilakukan perbandingan antara kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan *bottom ash* sebagai agregat halus dengan beton geopolimer yang menggunakan pasir sebagai agregat halus. Dengan menggunakan benda uji silinder Ø15 x 30 dan kubus 15 x 15 x 15.

Tabel 4.20. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGBK-03-01	3	99500	225	442,22	451,11	<i>Bottom ash</i>
2	BGBK-03-02	3	105000	225	466,67		
3	BGBK-03-03	3	100000	225	444,44		
4	BGBS-03-04	3	61000	176,79	345,05	349,76	<i>Bottom ash</i>
5	BGBS-03-05	3	62500	176,79	353,54		
6	BGBS-03-06	3	62000	176,79	350,71		
7	BGPK-03-07	3	102500	225	455,56	452,59	Pasir
8	BGPK-03-08	3	100000	225	444,44		
9	BGPK-03-09	3	105000	225	466,67		
10	BGPS-03-10	3	63000	176,79	356,36	353,54	Pasir
11	BGPS-03-11	3	62000	176,79	350,71		
12	BGPS-03-12	3	62500	176,79	353,54		



Gambar 4.10. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Maksud dari perbandingan ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus terhadap kekuatan beton geopolimer. Dari hasil pengujian kuat tekan di atas, didapat kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan *bottom ash* sebagai agregat halus sedikit lebih kecil dibanding dengan kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan pasir sebagai agregat halus. Ini disebabkan *bottom ash* memiliki kehalusan yang lebih dibanding dengan pasir alam.

Hasil penelitian beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus sesuai dengan hipotesa awal, yaitu memiliki kekuatan yang setara dengan beton normal. Sehingga beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus dapat digunakan sebagai beton struktural.

4.4.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur



Gambar 4.11. Benda Uji Balok Setelah Pengujian Kuat Lentur

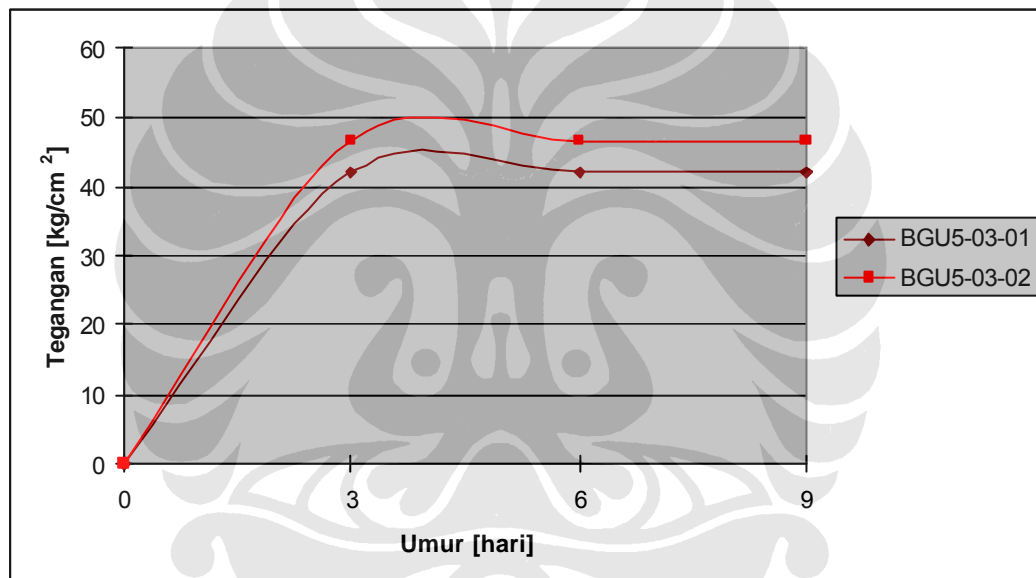
Pada percobaan ini benda uji untuk pengujian kuat tarik menggunakan 2 balok 15 x 15 x 55 antara lain untuk beton geopolimer yang menggunakan *bottom*

ash sebagai agregat halus dan beton geopolimer yang menggunakan pasir sebagai agregat halus.

Hasil pengujian kuat tarik lentur adalah seperti tabel di bawah ini:

Tabel 4.21. Hasil Pengujian Kuat Lentur

No	Kode	Umur [hari]	W [cm ³]	M [kgcm]	Tegangan [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGU5-03-01	3	562,5	23625	42	Bottom Ash
2	BGU5-03-02	3	562,5	26250	46,67	Pasir



Gambar 4.12. Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat lentur, bahwa beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus memiliki kuat lentur lebih kecil dari kuat lentur beton geopolimer dengan pasir sebagai agregat halus. Dimana besarnya kuat lentur beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus kekuatannya seperdelapan kekuatan tekannya. Ini menyatakan bahwa beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus memiliki sifat yang sama seperti beton normal yang memiliki kekuatan berkisar 10 % - 15 % kekuatan tekannya.

4.4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik

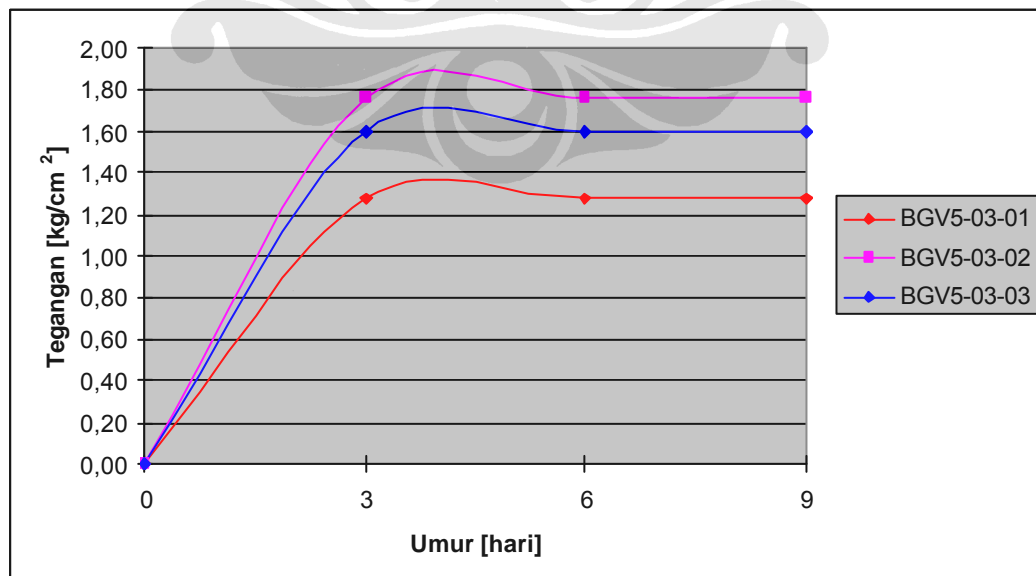


Gambar 4.13. Benda Uji *Direct Tension* Pada Saat Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik (*direct tension*) adalah seperti tabel di bawah ini:

Tabel 4.22. Hasil Pengujian Kuat Tarik (*Direct Tension*)

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm ²]	Tegangan [kg/cm ²]	Tegangan Rata-rata [kg/cm ²]	Keterangan
1	BGV5-03-01	3	8	6,25	1,28	1,55	
2	BGV5-03-02	3	11	6,25	1,76		
3	BGV5-03-03	3	10	6,25	1,60		



Gambar 4.14. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik (*direct tension*), bahwa pada pasta geopolimer memiliki kuat tarik yang sangat kecil dibandingkan dengan kekuatannya. Perbandingan sekitar seperduaratus dari kekuatan tekannya. Berdasarkan pengujian ini dapat dikatakan bahwa pasta geopolimer tidak memiliki kekuatan tarik langsung yang besar.

4.5. ANALISIS LEACHING

Analisis leaching bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur yang terlarut dalam air sehingga dapat diketahui unsur yang terlarut tersebut apabila bercampur dengan air tanah aman terhadap lingkungan. Pengujian ini sebagai modelisasi aplikasi di lapangan jika beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus terkena air hujan. Pada penelitian ini air hujan dianggap air hujan asam dengan $pH < 5,6$.¹²

Pada percobaan ini dibuat 1 sample larutan, yaitu serbuk campuran pasta geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan agregat halus *bottom ash* dilarutkan ke larutan asam (H_2SO_4 dengan pH 5,5).

Pengujian sample larutan dilakukan oleh Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) bertujuan untuk mengetahui jumlah unsur Na, Fe, Mg yang terkandung di dalam sample larutan. Hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.23. Hasil Pengujian AAS

No.	Fe [ppm]	Mg [ppm]	Na [ppm]
1.	807,46	11,26	908,84

Berikut ini hasil dari perhitungan unsur terlarut pada beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus ditinjau per m^3 beton dengan perhitungannya ada pada lampiran :

¹² Hujan asam - Wikipedia Indonesia, ensiklopedia bebas berbahasa Indonesia.htm

Tabel 4.24. Hasil Perhitungan Persentase Terlarut

Berat Serbuk	Berat Larutan	Persentase Komposisi Pasta			Unsur yang Ditinjau	Hasil AAS	Hasil XRF		Total Unsur Terlarut	Berat Serbuk * %Unsur Pada Pasta	Persentase Terlarut
		Fly Ash	Bottom Ash	NaOH + Na ₂ SiO ₃			Fly Ash	Bottom Ash			
[gr]	[gr]	[%]	[%]	[%]		[ppm]	[%]	[%]	[gr]		[%]
25	482	29,08	45,87	18,50	Mg	11,26	3,95	0,00	0,005	0,287	1,89
					Fe	807,46	19,65	15,65	0,389	3,223	12,08
					Na	908,84	0,00	0,00	0,438	4,625	9,47

Tabel 4.25. Hasil Perhitungan Unsur Terlarut Per m³

Beton	Agregat	Pasta	Unsur Yang Ditinjau	Berat Pasta * %Unsur Pada Pasta	Unsur Terlarut
[kg]	[kg]	[kg]		[kg]	[kg]
2400	944	1456	Mg	16,713	0,32
			Fe	187,694	22,67
			Na	269,360	25,51

Dari hasil perhitungan persentase terlarut dapat dikatakan, untuk persentase Mg sebesar 1,89 % lebih kecil dari hasil unsur yang terkandung pada pasta pasta geopolimer yaitu sebesar 3,95 %. Untuk persentase Fe sebesar 12,08 % lebih kecil dari hasil unsur yang terkandung pada pasta geopolimer yaitu sebesar 35,30 %. Untuk persentase Na sebesar 9,47 % lebih kecil dari hasil unsur yang terkandung pada pasta geopolimer yaitu sebesar 18,50 %.

Dari hasil perhitungan unsur terlarut beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus ditinjau per m³ beton di atas dapat dikatakan, untuk unsur Mg sebesar 0,32 kg. Untuk unsur Fe sebesar 22,67 kg. Untuk unsur Na sebesar 25,51 kg. Hasil analisis leaching beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus dapat dibanding dengan beton normal (Portland).

4.6. PERBANDINGAN HARGA

Setelah mengetahui bahwa sifat karakteristik beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus sama seperti beton normal (portland), maka dibuat perbandingan harga memakai beton semen dan beton geopolimer dengan

bottom ash sebagai agregat halus. Dengan ketentuan-ketentuan seperti dibawah ini:

Harga Agregat Kasar	= Rp. 150000/m ³
Harga Pasir	= Rp. 150000/m ³
Harga Semen Portland	= Rp. 1000/kg
Harga NaOH	= Rp. 7000/kg
Harga <i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	= Rp. 6500/kg
Harga <i>Fly Ash</i>	= Gratis
Harga <i>Bottom Ash</i>	= Gratis

Tabel 4.26. Perhitungan Biaya Pembuatan Beton Semen Per m³

Bahan	Berat [kg/m ³]	Harga [Rp]
Semen [C]	477	477000
Air [W]	198	0
Pasir [S]	572	150000
Agregat kasar [CA]	944	150000
Jumlah		777000

Tabel 4.27. Perhitungan Biaya Pembuatan Beton Geopolimer Dengan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Halus Per m³

Bahan	Berat [kg/m ³]	Harga [Rp]
<i>Fly ash</i>	362,689	0
NaOH	37,266	260862
<i>Waterglass</i> (Na ₂ SiO ₃)	193,440	1257360
H ₂ O	81,605	0
<i>Bottom Ash</i>	572	0
Agregat kasar [CA]	944	150000
Jumlah		1668222

Dapat dilihat bahwa harga untuk membuat 1 m³ beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus lebih mahal daripada beton semen. Membuat beton geopolimer mahal, diakibatkan karena mahalnya harga *waterglass* sehingga mengakibatkan melambungnya harga beton geopolimer dengan *bottom ash* sebagai agregat halus.