

## **BAB IV**

### **DATA DAN ANALISA**

Bab ini akan dijelaskan mengenai hasil data pengujian, yang dijelaskan adalah hasil pengujian properties material berupa *X-Ray Fluorescence* dan *X-Ray Diffraction* dari abu terbang (*fly ash*), *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan *Gravity Metric* dari waterglass (*Natrium Silikat*), berat jenis dan analisa ayak dari agregat yang digunakan.

Design campuran benda uji berupa pengujian campuran material geopolimer, dan pengujian campuran beton lulus air. Hasil pengujian permeabilitas berupa persentase rongga udara, kecepatan air, dan persentase lolos air.

Hasil pengujian sifat fisik beton segar berupa uji slump sedangkan pengujian kekuatan mekanik benda uji berupa kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat tarik yang kemudian dianalisa berdasarkan hasil pengujian. Dalam bab ini disajikan hasil pengolahan data dalam bentuk tabel dan grafik.

#### **4.1. MATERIAL YANG DIGUNAKAN**

Material-material yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu:

##### **I. Abu Terbang (*fly Ash*)**

Sumber : PLTU Suralaya

Diproduksi Oleh : PT. Indonesia Power UBP Suralaya

##### **II. Agregat**

Sumber : PT. Adhimix

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm.

##### **III. Air**

Sumber : Pompa Air Tanah Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indonesia.

Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian terhadap air.

## 4.2. PENGUJIAN PROPERTIES MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Material-material yang digunakan sebagai penyusun beton lulus air (*Porous Concrete*) pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk mengetahui karakterisasi dan unsur penyusun dari material tersebut.

### 4.2.1. Pengujian Abu Terbang (Fly Ash)

Pengujian material abu terbang (*fly ash*) dilakukan oleh Departemen 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.** Komposisi Kimia Abu Terbang (Berat %)

No.	Chemical formula	Sample Wt (%)
1	SiO <sub>2</sub>	45,446
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,089
3	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	19,651
4	CaO	9,816
5	MgO	3,947

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

Hasil pengujian dengan *X-Ray Diffraction* berupa grafik hasilnya bisa dilihat pada Lampiran 1, 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 yang bersifat *crystalline*. Namun pada pengujian *X-ray Diffraction* tidak dapat diketahui jumlah secara kualitatif material yang bersifat *amorphous* dan *crystalline*.

Hasil pengujian abu terbang secara fisik menunjukkan material tersebut memiliki kandungan yang seragam (murni), bertekstur bulat dan halus, sehingga reaksi polimerisasi dapat berjalan makin baik.

#### 4.2.2. Pengujian Waterglass (Natrium Silikat)

Pengujian material waterglass (*Natrium Silikat*) 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  $\text{Na}_2\text{O}$ , sedangkan *Gravity Metric* untuk mengetahui jumlah unsur atau senyawa  $\text{SiO}_2$  yang terkandung didalam *waterglass* tersebut. Hasilnya adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.2.** Pengujian Waterglass (*Natrium Silikat*)

No.	Parameter	Result	Units	Metode
1	$\text{SiO}_2$	35,04	%	Gravimetric
2	$\text{Na}_2\text{O}$	0,47	%	AAS

Dari hasil pengujian diatas, selanjutnya dapat ditentukan komposisi kandungan dari waterglass ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), abu terbang, dan NaOH yang digunakan pada campuran material geopolimer. Komposisi tersebut pada saat pencampuran dihitung agar didapatkan komposisi larutan dengan molaritas. Hal ini berpengaruh dalam reaksi polimerisasi yang akan terjadi.

#### 4.2.3. Pengujian Agregat

##### 4.2.3.1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian material agregat yang dilakukan adalah berat jenis dan penyerapan air yang bertujuan untuk menentukan berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat. Hasilnya adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.3.** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Air Agregat

GAMBARAN		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)	$\frac{B}{(B-C)}$	2,559	
Berat Jenis	$\frac{A}{(B-C)}$	2,491	
Berat Jenis semu	$\frac{B}{(A-C)}$	2,747	
Absorpsi	$\frac{B-A}{A} \times 100\%$	2,739	%

**Analisa :**

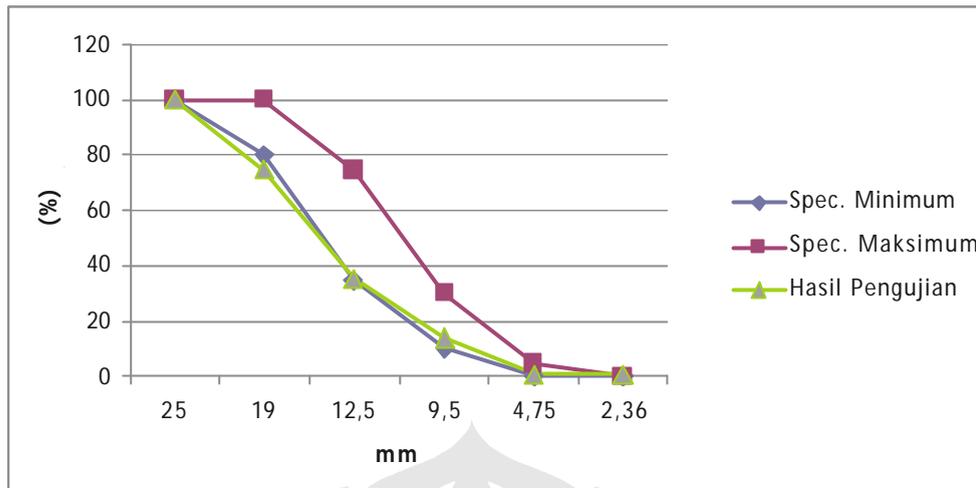
Dari pengujian berat jenis pada agregat kasar didapat berat jenis kondisi SSD adalah 2,559. Dengan berat jenis ini maka agregat yang dipakai dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena masih berada diantara 2,2 dan 2,7. Dari data tersebut juga dihasilkan penyerapan air sebesar 2,739 %, yang berarti kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh muka kering sebesar 2,739 % dari berat kering agregat itu sendiri.

**4.2.3.2. Analisa Ayak**

Analisa ayak bertujuan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Hasilnya adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.4.** Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat

Lubang Saringan		Berat Tertahan	Berat Tertahan Kumulatif	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif	Specificasi ASTM
Inch	(mm)	(gram)	(gram)	(%)	(%)	C 33-78
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

**Analisa :**

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

**4.3. DESIGN CAMPURAN BENDA UJI**

Design campuran benda uji dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pertama adalah membuat sampel campuran material geopolimer yang bertujuan untuk mencari komposisi material geopolimer dan tahap kedua adalah membuat sampel campuran beton lulus air yang bertujuan untuk mencari komposisi beton lulus air (*Porous Concrete*).

**4.3.1. Pengujian Campuran Material Geopolimer**

Design campuran material geopolimer 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, dengan cara mengatur komposisi prekursor dan aktivator alkali. Pertama-tama yang dilakukan adalah mencari komposisi geopolimer yang tepat dengan membuat sampel kecil, seperti pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.2.** Pembuatan *Sample* Kecil

Design ini didapatkan dari modifikasi pada jumlah  $NaOH$  dan  $H_2O$  disebabkan penentuan *workability* dan kuat tekan material geopolimer terbesar. Didapatkan design campuran yang baik, yaitu: (Komposisi 1 : 1)

Abu terbang ( <i>Fly ash</i> )	= 20 gram
$NaOH$	= 2,55 gram
<i>Waterglass</i> ( $Na_2SiO_3$ )	= 10,67 gram
$H_2O$	= 2 gram

Pembuatan sampel kecil seperti diatas dilakukan pada suhu kamar, setelah minggu kedua baru mengeras. Sehingga untuk membantu reaksi polimerisasi digunakan oven dengan suhu  $80^{\circ}C$  selama 24 jam. Pertambahan temperatur dalam proses pengerasan (*curing*) diperlukan sebab material geopolimer membutuhkan energi aktivasi tambahan untuk mempercepat proses polimerisasi, hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan kurang tinggi.

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



**Gambar 4.3.** Kubus 5 x 5 x 5 cm

Dari hasil kuat tekan dengan komposisi tersebut material geopolimer ini mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 211 Kg/cm<sup>2</sup> (21 Mpa), seperti pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.5.** Kuat Tekan Material Geopolimer (Pasta)

No	Kode	Tanggal		Umur [Hari]	Gaya [Kg]	Luas [cm <sup>2</sup> ]	Tegangan [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tegangan Rata-rata [Kg/cm <sup>2</sup> ]
		Pembuatan	Ditest					
1	TM-14-11-01	14/11/2007	16/11/2007	2	5550	25	222	211
2	TM-14-11-02	14/11/2007	16/11/2007	2	5000	25	200	
3	TM-14-11-03	14/11/2007	16/11/2007	2	5300	25	212	

#### 4.3.2. Pengujian Campuran Beton Lulus Air

. Design campuran beton lulus air (*Porous Concrete*) belum memiliki peraturan yang dibakukan, sehingga pembuatan campuran beton lulus air ini dilakukan dengan cara *trial and error*. Setelah mendapatkan komposisi material geopolimer yang tepat, komposisi tersebut akan digunakan untuk design campuran tahap dua.

Tahap kedua adalah membuat sampel beton lulus air (*Porous Concrete*) dengan syarat memiliki kekuatan yang kuat dan menghasilkan beton yang dapat menyerap air. Pada tahap ini dibuat sampel campuran secara *trial and error* dengan ukuran cetakan diameter (D) =10 cm, dan tinggi (H) = 20 cm. Untuk mengetahui komposisi yang tepat dilakukan pengaturan persentase berat material geopolimer dengan agregat.

Selama *trial and error* ada kendala yang dihadapi selama pembuatan beton lulus air yaitu pada saat pembukaan cetakan, sebagian beton patah dan menempel di cetakan walaupun sudah diberi oli pelumas. Penyebab beton menempel pada cetakan adalah sifat dari material geopolimer yang korosif dan merusak besi maka beton menempel pada cetakan sehingga beton mudah patah. Maka cetakan diberi plastik agar melapisi permukaan beton dan tidak menempel pada cetakan besi. Selain itu fungsi plastik juga untuk menjaga terlepasnya air melalui proses penguapan. Penguapan air yang berlebihan akan mengganggu proses polimerisasi



**Gambar 4.4.** Pemberian Plastik Pada Cetakan

Walaupun perbandingan material geopolimer dikurangi terhadap berat agregat total hingga 10%, material geopolimer masih terjadi penumpukan dibawah cetakan. Penyebabnya adalah adanya fly ash yang memiliki butiran halus yang membuat workabilitas tinggi, dapat bergerak lebih bebas dan partikel halus dapat memasuki rongga-rongga antar butiran, sehingga campuran beton menjadi lebih plastis dan mudah jatuh kebawah menumpuk dibawah cetakan. Maka perlu penambahan bahan Gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) sebagai bahan yang membantu pada awal pengerasan material geopolimer sebesar 2 : 1 terhadap air. Seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.5.** Sample 15% c/a +  $\text{CaSO}_4$  dan 10% c/a

Didapatkan design campuran *porous concrete* yang baik dengan persentase perbandingan berat material geopolimer dengan agregat sebesar 15% ditambah gypsum, yaitu : (Vol. Silinder =  $0,00157 \text{ m}^3$ ) :

1. Agregat Kasar = 5 Kg
2. Fly Ash = 0,382 Kg
3. NaOH = 0,049 Kg
4. Waterglass = 0,204 Kg
5. Air = 0,038 Kg
6. Gypsum = 0,076 Kg

#### 4.4. PENGUJIAN SIFAT FISIK BETON

Setiap pengecoran dilakukan pengujian sifat fisik berupa uji slump pada beton yang masih segar. Menggunakan Kerucut Abrams berbentuk kerucut terpancung ukuran Dia. bawah = 203 mm ( 8"), Dia. atas = 102 mm ( 4"), Tinggi = 305 mm ( 12"). Data dari uji slump digunakan untuk mengetahui konsistensi (kekentalan) adukan beton.

Adukan beton dimasukkan kedalam Kerucut Abrams mula-mula sebanyak  $\frac{1}{3}$  tinggi kerucut. Lalu ditusuk-tusuk dengan batang baja  $\varnothing 16$ , sebanyak 25 kali pada tempat yang berlainan, diulangi lagi langkah tersebut hingga 3 kali. Nilai slump yang didapatkan setiap pengecoran adalah nol, disebabkan penggunaan bahan gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) yang membantu pembentukan beton agar lulus air sejak awal pengerasan material geopolimer, seperti pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.6.** Pengujian Slump

#### 4.5. PENGUJIAN PERMEABILITAS

Data-data yang digunakan pada pengujian permeabilitas adalah tinggi (cm), berat (Kg) benda uji, jumlah air yang menyerap (ml), waktu lolos air (detik), dan jumlah air yang digunakan sebesar 1000 ml, seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.7.** Pengujian Permeabilitas Air

##### 4.5.1. Analisa Persentase Rongga Udara

Perhitungan persentase rongga udara dilakukan dengan rumus

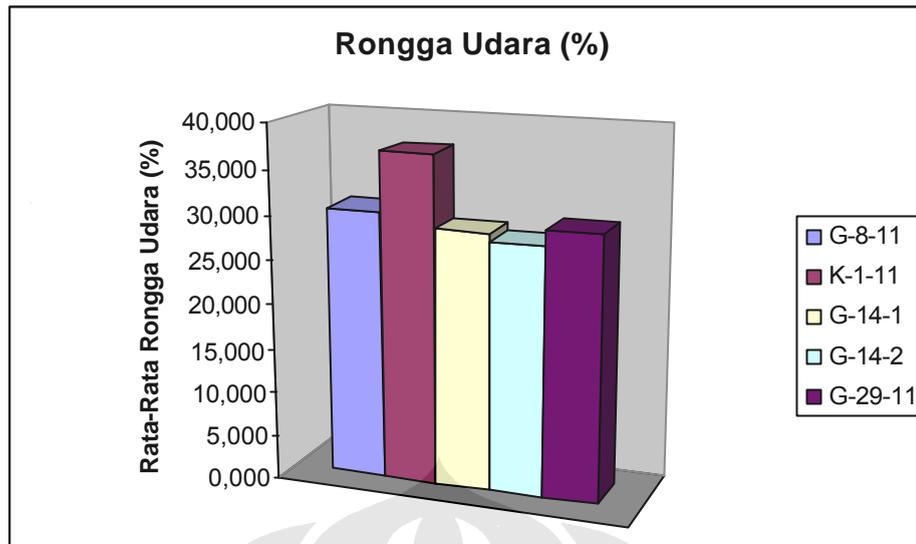
$$\% \text{Rongga Udara} = \frac{B_n - \text{Berat Sampel (Kg)}}{B_n} \times 100\%$$

Keterangan :

$B_n$  = Asumsi bahwa berat beton normal adalah 12,5 Kg (Silinder besar) ;  
3,5 Kg (Silinder kecil).

**Tabel 4.6.** Persentase Rongga Udara

No.	Kode	Berat Normal (Kg)	Berat (Kg)	Rongga Udara (%)	Rata-rata (%)	Keterangan
Agregat No.1/2" (12,5 mm)						
1	G-8-11-01	12,5	8,817	29,46	30,341	Oven suhu 80°C selama 24 jam
2	G-8-11-02	12,5	8,756	29,95		
3	G-8-11-03	12,5	8,549	31,61		
4	K-1-11-11	3,5	2,355	32,71	36,829	
5	K-1-11-12	3,5	2,237	36,09		
6	K-1-11-13	3,5	2,041	41,69		
7	G-14-11-04	12,5	8,967	28,26	28,776	Suhu Kamar 6 hari
8	G-14-11-05	12,5	8,839	29,29		
9	G-14-11-06	12,5	8,746	30,03	27,960	
10	G-14-11-07	12,5	9,239	26,09		
11	G-14-11-08	12,5	9,030	27,76		
Agregat All						
12	G-29-11-09	12,5	8,877	28,98	29,612	Oven suhu 80°C selama 24 jam
13	G-29-11-10	12,5	8,800	29,60		
14	G-29-11-11	12,5	8,649	30,81		
15	G-29-11-12	12,5	8,868	29,06		



**Gambar 4.8.** Grafik Persentase Rongga Udara (%)

**Analisa :**

Kriteria persentase rongga udara yang disyaratkan untuk beton lulus air adalah antara 30% sampai dengan 40%.<sup>12</sup> Dari hasil pengujian, benda uji yang memenuhi kriteria adalah benda uji G-8-11 dan K-1-11 menggunakan agregat seragam (No.1/2”) mempunyai rongga udara masing-masing sebesar 30,341% dan 36,829%. Seperti pada tabel 4.6.

**4.5.2. Analisa Kecepatan Air**

Perhitungan kecepatan air dilakukan dengan rumus :

$$V(cm/det) = \frac{H(cm)}{T(det)}$$

Keterangan : V = Kecepatan air (cm/det)

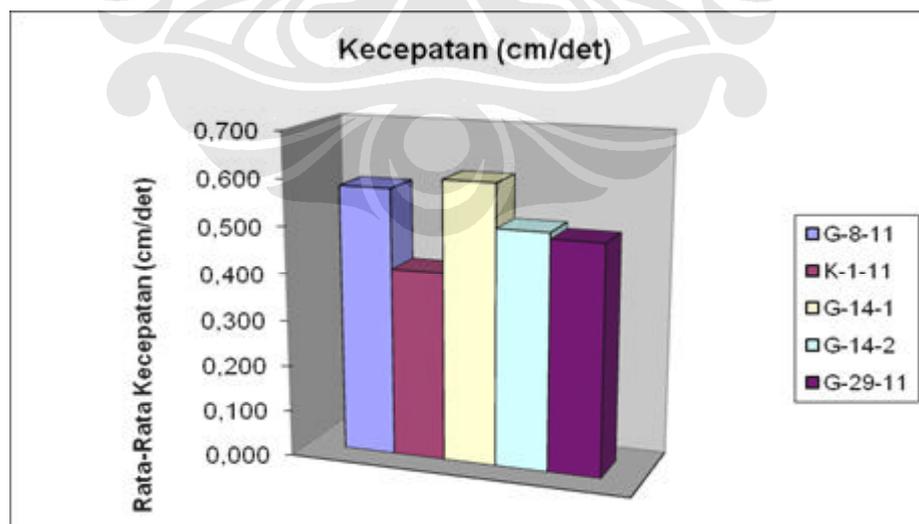
H = Tinggi benda uji (cm)

T = Waktu lolos air (det)

<sup>12</sup> Bruce K. ferguson. Water Management and Land Development, “*Porous Pavement*”, hlm. 42

**Tabel 4.7. Kecepatan Air**

No.	Kode	Tinggi (cm)	Waktu (detik)	Kecepatan Air (cm/det)	Rata-rata (cm/det)	Keterangan
Agregat No.1/2" (12,5 mm)						
1	G-8-11-01	30	51	0,588	0,578	Oven suhu 80°C selama 24 jam
2	G-8-11-02	30	55	0,545		
3	G-8-11-03	30	50	0,600		
4	K-1-11-11	20	45	0,444	0,407	
5	K-1-11-12	20	50	0,400		
6	K-1-11-13	20	53	0,377		
7	G-14-11-04	30	43	0,698	0,603	Suhu Kamar 6 hari
8	G-14-11-05	30	59	0,508		
9	G-14-11-06	30	62	0,484		
10	G-14-11-07	30	59	0,508	0,509	
11	G-14-11-08	30	56	0,536		
Agregat All						
12	G-29-11-09	30	60	0,500	0,496	Oven suhu 80°C selama 24 jam
13	G-29-11-10	30	66	0,455		
14	G-29-11-11	30	55	0,545		
15	G-29-11-12	30	62	0,484		



**Gambar 4.9. Grafik Kecepatan Air (cm/det)**

### Analisa :

Kriteria kecepatan menyerap air yang disyaratkan untuk beton lulus air adalah antara 0,558 cm/det sampai dengan 0,75 cm/det<sup>13</sup>. Dari hasil pengujian, benda uji yang memenuhi kriteria adalah benda uji G-8-11 dan G-14-1 menggunakan agregat seragam (No.1/2") mempunyai kecepatan menyerap air masing-masing sebesar 0,578 dan 0,603 cm/det. Seperti pada tabel 4.7.

#### 4.5.3. Analisa Persentase Lolos Air

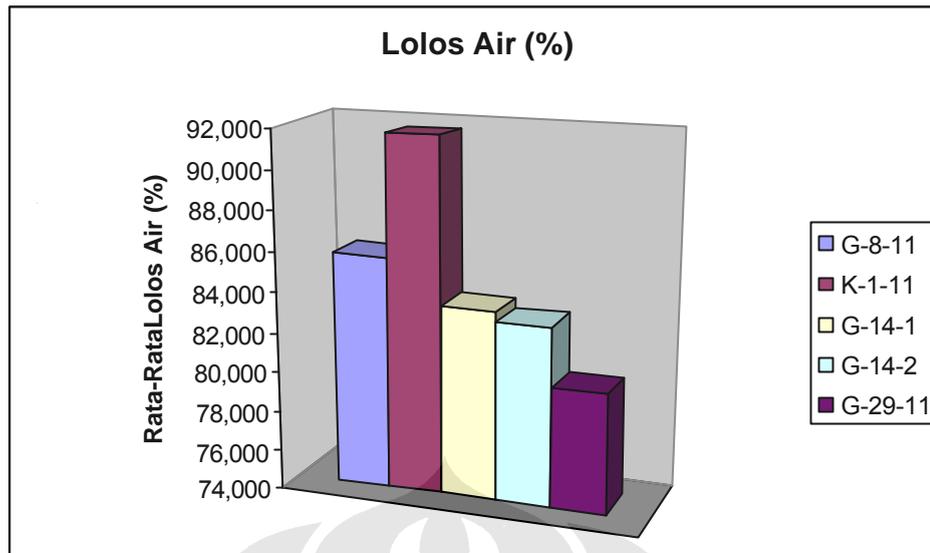
Perhitungan persentase lolos air dilakukan dengan rumus :

$$\% \text{ Lolos Air} = \frac{\text{Jumlah Air Lolos (ml)}}{1000} \times 100\%$$

**Tabel 4.8.** Persentase Lolos Air

No.	Kode	Jumlah air (ml)	Jumlah air lolos (ml)	Persentase Lolos Air (%)	Rata-rata Lolos Air (%)	Persentase Air Dalam Void (%)	Ket.
Agregat No.1/2" (12,5 mm)							
1	G-8-11-01	1000	880	88	85,667	14,333	Oven suhu 80°C selama 24 jam
2	G-8-11-02	1000	800	80			
3	G-8-11-03	1000	890	89			
4	K-1-11-11	1000	940	94	91,667	8,333	
5	K-1-11-12	1000	910	91			
6	K-1-11-13	1000	900	90			
7	G-14-11-04	1000	850	85	83,500	16,500	Suhu Kamar 6 hari
8	G-14-11-05	1000	820	82			
9	G-14-11-06	1000	840	84	83,000	17,000	
10	G-14-11-07	1000	830	83			
11	G-14-11-08	1000	820	82			
Agregat All							
12	G-29-11-09	1000	840	84	80,000	20,000	Oven suhu 80°C selama 24 jam
13	G-29-11-10	1000	820	82			
14	G-29-11-11	1000	840	84			
15	G-29-11-12	1000	700	70			

<sup>13</sup> Bruce K. ferguson. Water Management and Land Development, "Porous Pavement", hal. 124



**Gambar 4.10.** Grafik Persentase Lolos Air (%)

**Analisa :**

Dari hasil pengujian, pada benda uji K-1-11 menggunakan agregat seragam (No.1/2”) mempunyai persentase lolos air hingga 91,667%. Sedangkan pada benda uji G-29-11 menggunakan agregat all persentase lolos air hanya sebesar 80%, seperti pada tabel 4.8. Disebabkan penggunaan agregat all memiliki pengikatan antar agregat yang dapat saling mengisi rongga-rongga udara di beton sehingga persentase aliran menjadi lebih kecil dibandingkan penggunaan agregat seragam.

Karena pengujian lolos air ini dilakukan setelah beton dalam kondisi kering oven sehingga kadar airnya 0%, maka terdapat air pengujian yang tertahan didalam void antar agregat.

**4.6. PENGUJIAN SIFAT MECHANICAL PROPERTIES**

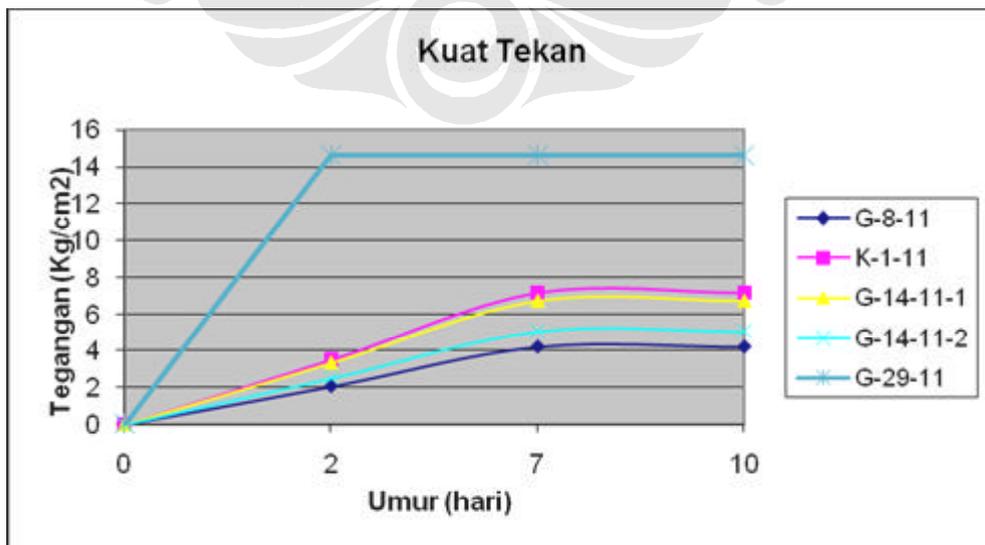
Pengujian sifat mechanical properties yang dilakukan adalah kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur.

**4.6.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan**

Hasil pengujian kuat tekan adalah seperti pada tabel dan grafik di bawah ini:

**Tabel 4.9.** Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kode	Tanggal		Umur [Hari]	Gaya [Kg]	Luas [cm <sup>2</sup> ]	Tegangan [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tegangan Rata-rata [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ket.
		Pembuatan	Pengujian						
Agregat No.1/2" (12,5 mm)									
1	G-8-11-01	08/11/2007	12/11/2007	7	800	176,625	5	4,333	Oven suhu 80°C selama 24 jam
2	G-8-11-02	08/11/2007	12/11/2007	7	700	176,625	4		
3	G-8-11-03	08/11/2007	12/11/2007	7	725	176,625	4		
4	K-1-11-11	01/11/2007	08/11/2007	7	800	176,625	5	7,333	
5	K-1-11-12	01/11/2007	08/11/2007	7	675	78,5	9		
6	K-1-11-13	01/11/2007	08/11/2007	7	650	78,5	8		
7	G-14-11-04	14/11/2007	21/11/2007	7	700	78,5	9	7	Suhu Kamar 7 hari
8	G-14-11-05	14/11/2007	21/11/2007	7	800	176,625	5		
9	G-14-11-06	14/11/2007	21/11/2007	7	925	176,625	5		
10	G-14-11-07	14/11/2007	21/11/2007	7	900	176,625	5		
11	G-14-11-08	14/11/2007	21/11/2007	7	850	176,625	5		
Agregat All									
12	G-29-11-09	29/11/2007	01/12/2007	2	2500	176,625	14	14,75	Oven suhu 80°C selama 24 jam
13	G-29-11-10	29/11/2007	01/12/2007	2	2675	176,625	15		
14	G-29-11-11	29/11/2007	01/12/2007	2	2400	176,625	14		
15	G-29-11-12	29/11/2007	01/12/2007	2	2750	176,625	16		



**Gambar 4.11.** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan

### **Analisa :**

Dari hasil pengujian didapatkan hasil kuat tekan terbesar pada saat menggunakan agregat all sebesar  $14,75 \text{ kg/cm}^2$ . Dibandingkan dengan pengujian *porous concrete* menggunakan semen portland (Lampiran 5) hasil kuat tekan agregat all sebesar  $50,6 \text{ kg/cm}^2$ . Maka perlu dilakukan beberapa perubahan yaitu komposisi berat air pada material geopolimer mengalami perubahan sebesar  $8,76 \text{ Kg}$  (Volume= $1\text{m}^3$ ), dan proses pengerasan suhu oven menjadi  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam.

Hasil kuat tekan yang kecil disebabkan kurangnya ikatan antara material geopolimer dengan agregat. Hal yang menyebabkan adalah jumlah material geopolimer yang hanya sebesar 15% dari total berat agregat sehingga agregat tidak diselimuti dengan baik oleh bahan pengikat.

Salah satu hal yang penting dalam proses geopolimer adalah menjaga agar tidak terjadi pelepasan air selama proses disolusi dan polikondensasi. Kehilangan air akan membuat proses polimerisasi tidak sempurna sehingga pada bagian tertentu geopolimer tidak akan terbentuk.

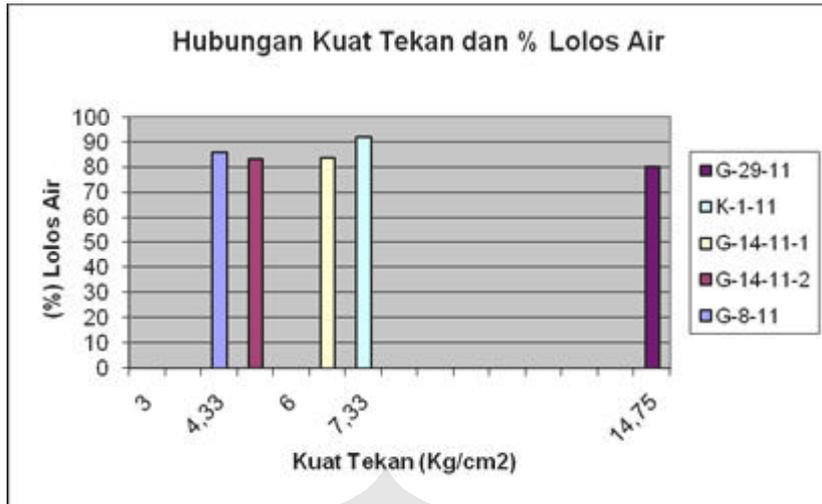
Selama percobaan setelah dilakukan pengujian permeabilitas, beton telah bersentuhan langsung dengan air dan udara sehingga sangat sukar menemukan metode yang tepat untuk menutup benda uji secara sempurna sebelum pengujian kuat tekan. Akibatnya beton mengeluarkan serbuk berwarna putih yang kemungkinan besar menjadi senyawa *Natrium Karbonat* yang dihasilkan dari reaksi antara *Sodium* dengan  $\text{CO}_2$  diudara, sehingga menurunkan kekuatan tekan, seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.12.** Beton Mengeluarkan Serbuk *Natrium Karbonat*

Walaupun material *fly ash* sebagian besar adalah alumina dan silika, namun *fly ash* terdiri dari partikel berstruktur *crystalline* dan *amorphous*. Sebagian prekursor yang bersifat *amorphous* dapat bereaksi dengan aktivator membentuk geopolimer, sedangkan *crystalline* mengendap dan berperan sebagai inklusi. Adapun larutan aktivator yang tidak bereaksi dengan prekursor akan mengalami pengerasan (*kristalisasi*), sebagai akibat dari pemanasan yang diberikan pada saat *curing* di oven.

Pengujian dengan menggunakan agregat all memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat seragam No.1/2" (12,5 mm), karena pori-pori (*void*) didalam beton lulus air lebih terisi oleh agregat dan material geopolimer mengikat lebih baik. Namun dari hasil persentase lolos air agregat all didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat seragam No.1/2". Hubungan kuat tekan dengan persentase lolos air dapat dilihat pada grafik berikut ini .:



**Gambar 4.13.** Hubungan Kuat Tekan Dan (%) Lolos Air



**Gambar 4.14.** Pengujian Kuat Tekan Sampel Silinder

#### 4.6.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

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

**Tabel 4.10.** Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

No	Kode	Umur (hari)	Tegangan [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Keterangan
1	1-BLK-01	7	0	Error
2	1-BLK-02	7	0	Error

### Analisa :

Pengujian kuat tarik lentur dilakukan dengan dua benda uji dengan komposisi campuran yang sama, satu curing dengan suhu kamar selama 7 hari dengan kode 1-BLK-01 dan satu benda uji dengan kode 1-BLK-02 dicuring dengan oven suhu 80°C selama 24 jam.

Hasil penelitian beton lulus air dengan kuat tarik lentur yaitu kedua balok saat pengujian, dial mesin kuat tarik tidak bergerak (0 kN) hingga balok mengalami patah artinya balok-balok tersebut tidak dapat menahan kuat tarik lentur atau kemampuan balok menerima lentur dibawah 1kN (Minimal dial mesin kuat tarik).



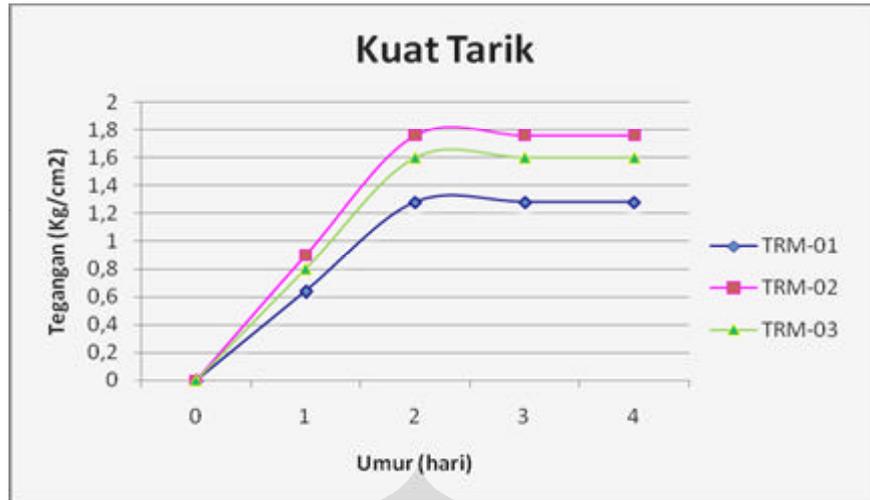
**Gambar 4.15.** Pengujian Kuat Lentur Sampel Balok

### 4.6.3. Hasil Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik adalah seperti tabel di bawah ini:

**Tabel 4.11.** Hasil Pengujian Kuat Tarik

No	Kode	Umur [Hari]	Gaya [Kg]	Luas [cm <sup>2</sup> ]	Tegangan [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tegangan Rata-rata [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1	TRM-01	3	8	6,25	1,28	1,547
2	TRM-02	3	11	6,25	1,76	
3	TRM-03	3	10	6,25	1,6	



**Gambar 4.16.** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik

**Analisa :**

Pengujian kuat tarik dibuat dari komposisi material geopolimer (*pasta*) seperti pada sub bab sebelumnya, menggunakan sampel cetakan angka 8. Hasil pengujian kuat tarik (*direct tension*), bahwa pada material geopolimer (*pasta*) memiliki kuat tarik yang sangat kecil sebesar 1,547 kg/cm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan kekuatan tekannya sebesar 211 kg/cm<sup>2</sup>. Perbandingannya sekitar seperduaratus dari kekuatan tekannya. Berdasarkan pengujian ini dapat dikatakan bahwa material geopolimer tidak memiliki kekuatan tarik yang besar.



**Gambar 4.17.** Pengujian Kuat Tarik Sampel Angka 8

#### 4.7. PENGUJIAN LEACHING

Pengujian leaching dilakukan oleh Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Pada percobaan ini dibuat sampel larutan berupa Serbuk campuran geopolimer berbahan dasar *fly ash*, *NaOH*, *waterglass* dan *H<sub>2</sub>O* dilarutkan ke larutan asam (*H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>* dengan pH 5,5).

Tujuan dari tes pelarutan (*leaching*) adalah untuk mengetahui kadar unsur Fe, Na, dan Mg yang terlarut dalam air sehingga dapat diketahui unsur tersebut apabila bercampur dengan air tanah aman terhadap lingkungan. Hasilnya terdapat pada Lampiran 6.

Berikut ini table 4.12. hasil dari perhitungan unsur terlarut pada beton lulus air menggunakan material geopolimer sebagai bahan pengikat ditinjau 1 m<sup>3</sup> beton, contoh perhitungan terdapat pada Lampiran 7.

**Tabel 4.12.** Hasil Perhitungan Unsur Terlarut (M<sup>3</sup>)

Beton [kg]	Agregat [kg]	Pasta [kg]	Unsur Yang Ditinjau	Pasta * %Unsur [kg]	Unsur Terlarut [kg]
1880	1592	288	Mg	3,305	0,06
			Fe	16,452	4,48
			Na	0,000	0,00

Dari hasil perhitungan unsur terlarut beton geopolimer ditinjau per m<sup>3</sup> beton yaitu, unsur Mg pada sampel sebesar 0,06 kg/m<sup>3</sup>. Unsur Fe pada sampel sebesar 4,48 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan unsur Na pada sampel sebesar 0 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.8. NILAI EKONOMI PEMBUATAN BETON LULUS AIR

Setelah mengetahui bahwa sifat-sifat mekanik beton lulus air (*porous concrete*) menggunakan material geopolimer sebagai bahan pengikat, maka dibuat harga pembuatan beton lulus air (*porous concrete*) semua dengan barang-barang yang baru bukan limbah. Dengan ketentuan-ketentuan seperti dibawah ini : (Dalam Rupiah)

Harga Agregat Kasar	= Gratis (Sumber : PT. Adhimix)
Harga Fly Ash	= Gratis (Sumber : PLTU Suralaya)
Harga NaOH	= Rp.7000 / kg
Harga <i>Waterglass</i>	= Rp.6500 / kg
Harga <i>Gypsum</i>	= Rp.3500 / kg
Harga Semen Portland	= Rp.1000 / kg

**Tabel 4.13.** Perhitungan biaya pembuatan *Porous concrete* 1m<sup>3</sup>

Material Geopolimer

Bahan	Berat [Kg]	Harga [Rp] Per Kg	Harga [Rp]
<i>Fly ash</i>	145,86	0	0
NaOH	14,968	7000	104.777
<i>Waterglass</i> (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	77,71	6500	505.096
H <sub>2</sub> O	17,52	0	0
Agregat kasar [Ca]	1592,35	0	0
<i>Gypsum</i>	31,85	3500	111.465
Jumlah			721.338

Semen Portland

Bahan	Berat [Kg]	Harga [Rp] Per Kg	Harga [Rp]
Semen [C]	238,535	1000	238.535
H <sub>2</sub> O	17,52	0	0
Agregat kasar [Ca]	1592,35	0	0
Jumlah			238.535

Dapat dilihat bahwa harga untuk membuat 1m<sup>3</sup> beton lulus air geopolimer relatif mahal dibandingkan dengan semen portland. Pembuatan beton lulus air dengan material geopolimer sebagai bahan pengikat ini relatif mahal, disebabkan karena mahalnya per Kg harga *waterglass*, *gypsum* dan NaOH sehingga melambungnya harga beton lulus air (*porous concrete*) ini.