

BAB II

TINJAUAN TEORITIS

2.1 Beton Geopolimer

Geopolimer didefinisikan sebagai bahan yang digunakan sebagai alternatif pengganti semen agar lebih ramah terhadap lingkungan. Davidovits (1997) mengemukakan bahwa beton geopolimer yaitu sebuah senyawa alumino silikat anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lain-lain, yang banyak mengandung Silika (Si) dan Aluminium (Al). Beton geopolimer adalah material baru yang tidak memerlukan kehadiran semen portland sebagai pengikat. Sebagai gantinya, bahan seperti abu terbang (*fly ash*) yang memiliki kandungan Silika (Si) dan Aluminium (Al) diaktifkan oleh larutan alkali sebagai bahan pengikat. Pasta geopolimer mengikat agregat kasar, agregat halus dan material lainnya yang menjadi bahan penyusun untuk membentuk beton geopolimer. Pembuatan beton geopolimer dilakukan dengan menggunakan metode pelaksanaan beton konvensional pada umumnya. Seperti pada beton konvensional, agregat menempati 75-80% komposisi material pada beton geopolimer.

(a) sifat-sifat beton geopolimer:

(a) pada beton segar (*fresh concrete*):

- (a) memiliki waktu setting 10 jam pada suhu 20°C;
- (b) kehilangan masa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0,1%;
- (c) penyusutan selama setting kurang dari 0,05%.

(b) pada beton keras (*hardened concrete*):

- (a) memiliki water absorption kurang dari 3%;
- (b) memiliki kuat tarik sebesar 10-15 MPa pada umur 28 hari;

(c) memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 MPa pada umur 28 hari.

(b) kelebihan dan kekurangan beton geopolimer:

(a) kelebihan-kelebihan beton geopolimer:

- (a) tahan terhadap lingkungan korosif;
- (b) tahan terhadap reaksi alkali silika;
- (c) tahan terhadap api;
- (d) mempunyai rangkai susut yang kecil;
- (e) tidak menggunakan semen sebagai bahan perekatnya, maka dapat mengurangi polusi udara dan ramah lingkungan.

(b) kekurangan-kekurangan beton geopolimer:

- (a) belum ada rancangan campuran yang asli;
- (b) pembuatan beton geopolimer lebih rumit, karena membutuhkan aktivator.

2.2 Penelitian Tentang Perancangan Campuran Beton Geopolimer

Rancangan campuran beton geopolimer telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti. Penelitian rancangan campuran beton geopolimer Mochammad Qomaruddin (2018), dan Muhammad Ridwan (2018) disajikan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2. 1. Komposisi Material Beton

Jenis Pengujian	Bahan Material Geopolimer dan Konvensional (gram)						
	Pasir	Semen	<i>Fly Ash</i>	Air	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Krikil
Beton Geopolimer	22100	-	18445	-	3768,33	7536,67	33150
Beton Konvensional	22100	18445	-	11305	-	-	

(Sumber: Mochammad Qomaruddin, 2018)

Tabel 2. 2. Komposisi Material Beton Geopolimer

Beton	Perbandingan Aktivator	Na ₂ SiO ₃ (kg)	NaOH (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Fly Ash (kg)	Air (ml)
75: 25	0,5	1,412	2,825	38,185	76,371	28,257	7,064
	1,0	2,825	2,825	38,185	76,371	28,257	7,064
	1,5	4,238	2,825	38,185	76,371	28,257	7,064
	2,0	5,651	2,825	38,185	76,371	28,257	7,064
	2,5	7,064	2,825	38,185	76,371	28,257	7,064
Total		21,193	14,128	190,92	381,857	141,287	35,321

(Sumber: Muhammad Ridwan, 2018)

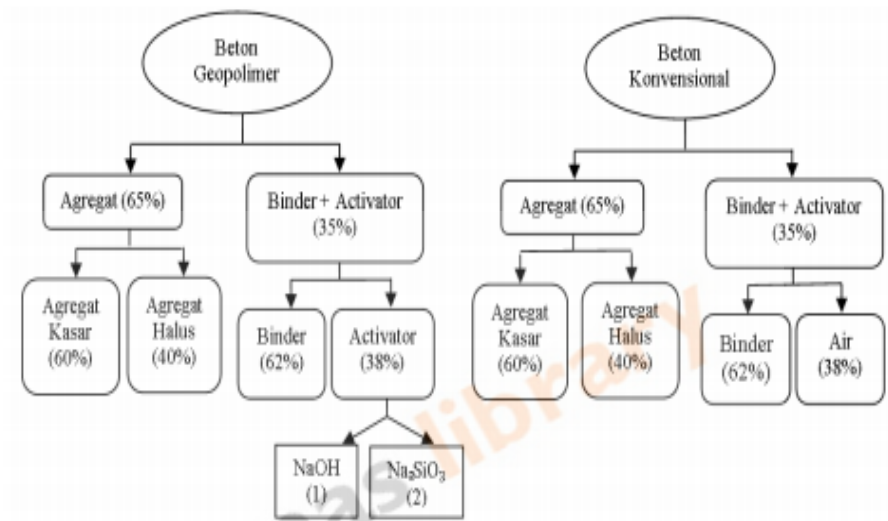
Dalam perancangan campuran beton geopolimer standar perancangan geopolimer belum ada sampai saat ini, sehingga dibutuhkan metode pendekatan, salah satunya dapat digunakan perancangan beton konvensional, yang dihitung berdasarkan SK-SNI 03-2834-2002. Prinsip utama dalam perancangan campuran beton geopolimer yaitu penggantian pasta (semen+ air) dengan (prekursor + aktifator + air), sedangkan untuk kebutuhan agregat kasar dan krikil sama seperti kebutuhan agregat beton konvensional. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Johanes dan Surya, 2007) *fly ash* tipe C kandungan kapurnya (CaO) lebih tinggi dibandingkan *fly ash* tipe F, maka sangat berpengaruh dalam hasil kuat tekan beton geopolimer dan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Senyawa Kimia dalam *Fly Ash*

Oksida	<i>Fly Ash</i> tipe C (%)	<i>Fly Ash</i> tipe F (%)
SiO ₂	46,39	54
Al ₂ O ₃	20,08	29,12
Fe ₂ O ₃	13,32	9,81
CaO	13,07	1,33
SO ₃	2,16	0,65
MgO	1,09	0,81
Mn ₂ O ₃	0,15	0,04

(Sumber: Johanes dan Surya, 2007)

Dalam penelitian (Mochammad Qomaruddin, 2018) variasi benda uji terdiri dari dua jenis beton yaitu beton geopolimer dan beton konvensional dengan umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari serta proses pembuatan menggunakan *Mix Design* yang sama. Adapun *mix design* dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. (a) *Mix design* Beton Geopolimer, (b) *Mix design* Beton Konvensional

(Sumber: Mochammad Qomaruddin, 2018)

Jumlah sampel uji yang dibuat sesuai dengan jenis sampel dan umur beton, dapat dilihat sesuai Tabel 2.4. berikut:

Tabel 2.4. Jumlah Pembuatan Benda Uji

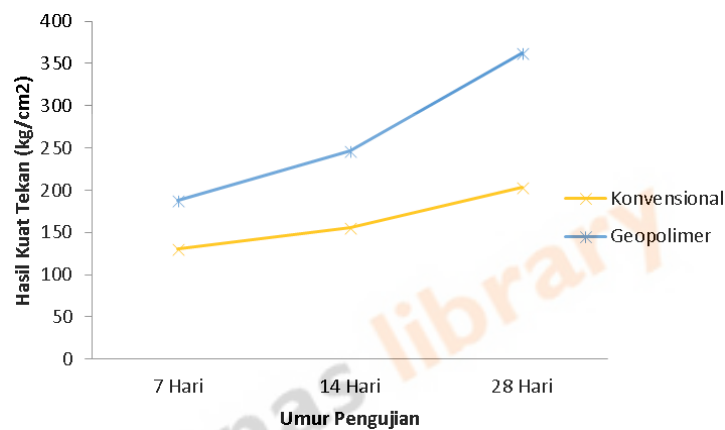
Jenis Sampel Pengujian	Jumlah Pembuatan Benda Uji			Jumlah
	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari	
Beton Geopolimer	3	3	3	9
Beton Konvensional	3	3	3	9

(Sumber: Mochammad Qomaruddin, 2018)

Tabel 2.5. Hasil Kuat Tekan Beton

Variasi sampel uji	Kuat_Tekan Beton (kg/cm ²)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
Konvensional	130,37	155,56	202,96
Geopolimer	188,15	245,93	362,96

(Sumber: Mochammad Qomaruddin, 2018)

**Gambar 2. 2.** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan

(Sumber: Mochammad Qomaruddin, 2018)

Dari hasil uji kuat tekan dalam penelitian Mochammad Qomaruddin (2018) didapatkan kuat tekan beton konvensional pada umur 28 hari sebesar 202,96 kg/cm² dan kuat tekan beton geopolimer pada umur 28 hari sebesar 362,96 kg/cm².

Tabel 2. 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 0,5

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-0,5/7/1	7	1,243	1,230
2	GP-0,5/7/2		1,065	
3	GP-0,5/7/3		1,381	
4	GP-0,5/14/1	14	5,043	5,798
5	GP-0,5/14/2		6,079	
6	GP-0,5/14/3		6,271	
7	GP-0,5/21/1	21	8,941	8,621
8	GP-0,5/21/2		8,658	
9	GP-0,5/21/3		8,263	
10	GP-0,5/28/1	28	9,873	9,203
11	GP-0,5/28/2		9,202	
12	GP-0,5/28/3		8,533	

(Sumber: Muhammad Ridwan, 2018)

Tabel 2. 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 1

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-1/7/1	7	5,832	4,514
2	GP-1/7/2		4,884	
3	GP-1/7/3		2,826	
4	GP-1/14/1	14	8,271	12,915
5	GP-1/14/2		1,627	
6	GP-1/14/3		1,846	
7	GP-1/21/1	21	1,695	13,355
8	GP-1/21/2		14,404	
9	GP-1/21/3		14,965	
10	GP-1/28/1	28	16,655	19,670
11	GP-1/28/2		14,407	
12	GP-1/28/3		27,949	

(Sumber: Muhammad Ridwan, 2018)

Tabel 2.8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 1,5

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-1,5/7/1	7	13,741	14,754
2	GP-1,5/7/2		15,002	
3	GP-1,5/7/3		15,519	
4	GP-1,5/14/1	14	27,336	24,646
5	GP-1,5/14/2		25,858	
6	GP-1,5/14/3		20,744	
7	GP-1,5/21/1	21	33,705	34,158
8	GP-1,5/21/2		36,923	
9	GP-1,5/21/3		31,845	
10	GP-1,5/28/1	28	34,898	34,796
11	GP-1,5/28/2		38,890	
12	GP-1,5/28/3		30,599	

(Sumber: Muhammad Ridwan, 2018)

Tabel 2.9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-2/7/1	7	10,277	11,115
2	GP-2/7/2		12,494	
3	GP-2/7/3		10,575	
4	GP-2/14/1	14	24,453	24,692
5	GP-2/14/2		24,922	
6	GP-2/14/3		24,701	
7	GP-2/21/1	21	33,728	37,219
8	GP-2/21/2		43,457	
9	GP-2/21/3		34,473	
10	GP-2/28/1	28	31,760	39,049
11	GP-2/28/2		42,383	
12	GP-2/28/3		43,003	

(Sumber: Muhammad Ridwan, 2018)

Tabel 2. 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2,5

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-2,5/7/1	7	10,610	10,811
2	GP-2,5/7/2		12,768	
3	GP-2,5/7/3		9,054	
4	GP-2,5/14/1	14	22,865	20,834
5	GP-2,5/14/2		19,944	
6	GP-2,5/14/3		19,693	
7	GP-2,5/21/1	21	27,410	29,065
8	GP-2,5/21/2		29,590	
9	GP-2,5/21/3		30,194	
10	GP-2,5/28/1	28	34,161	34,779
11	GP-2,5/28/2		35,412	
12	GP-2,5/28/3		34,763	

(Sumber: Muhammad Ridwan, 2018)

Dari hasil uji kuat tekan dalam penelitian Muhammad Ridwan (2018) didapatkan kuat tekan rerata beton geopolimer dengan komposisi perbandingan alkali aktivator 1/2, 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 pada umur 28 hari sebesar 9,203 MPa, 19,67 MPa; 34,796 MPa; 39,049 MPa; 34,779 MPa. Kuat tekan beton geopolimer dipengaruhi oleh komposisi perbandingan aktivator.

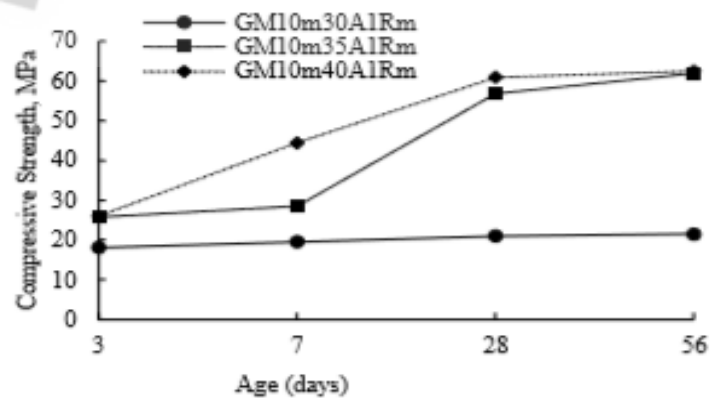
Dari kedua penelitian Mochammad Qomaruddin (2018), dan Muhammad Ridwan (2018) dapat disimpulkan dalam perancangan campuran beton geopolimer (*Mix Design Geopolymer*) sampai saat ini hanya dilakukan dengan cara coba-coba.

Selanjutnya geopolimer juga diaplikasikan pada mortar dan penelitian tentang mortar geopolimer telah dilakukan oleh Remigildus Cornelis (2019) dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.11 dan Gambar 2.3, Gambar 2.4, Gambar 2.5, Gambar 2.6, Gambar 2.7, Gambar 2.8 dan Gambar 2.9.

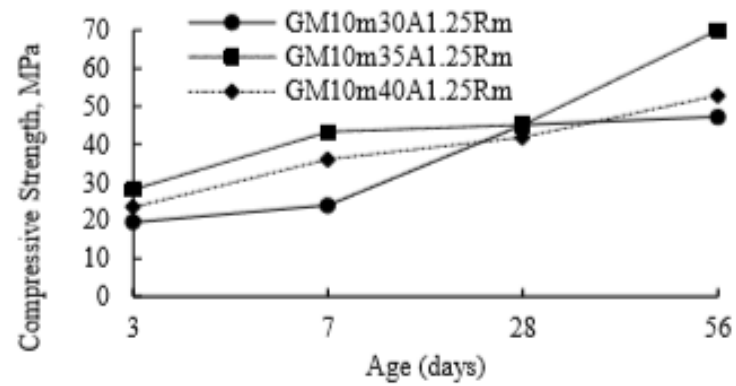
Tabel 2. 11. Komposisi Mortar Beton Geopolimer (kg/m^3)

No	Sampel	Molar ratio	Ratio of	Ratio of	Ratio of Vol. Pasta	Sand	Fly Ash	Na_2SiO_3	NaOH
		NaOH	$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	Alkaline/Fly Ash	/vol.sand cavity	(Ws)	(Wfa)	(Wss)	(Wsh)
		(M)	(R)	(A)	(Rm)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
1	GM10m30A1Rm	10	2	0,30	1	1531,54	801.92	160.38	80.19
2	GM10m30A1.25Rm	10	2	0,30	1.25	1237,93	1002.4	200.48	100.24
3	GM10m30A1.5Rm	10	2	0,30	1.5	944.31	1202.88	240.58	120.29
4	GM10m30A2Rm	10	2	0,30	2	357.08	1603.84	320.77	160.385
5	GM10m35A1Rm	10	2	0,35	1	1531.54	757.25	176.69	88.345
6	GM10m35A1.25Rm	10	2	0,35	1.25	1237.93	946.56	220.86	110.43
7	GM10m35A1.5Rm	10	2	0,35	1.5	944.31	1135.87	265.04	132.52
8	GM10m35A2Rm	10	2	0,35	2	357.08	1514.49	353.38	176.69
9	GM10m40A1Rm	10	2	0,40	1	1531.54	717.29	191.28	95.64
10	GM10m40A1.25Rm	10	2	0,40	1.25	1237.93	896.61	239.1	119.55
11	GM10m40A1.5Rm	10	2	0,40	1.5	944.31	1075.93	286.92	143.46
12	GM10m40A2Rm	10	2	0,40	2	357.08	1434.58	382.55	191.275

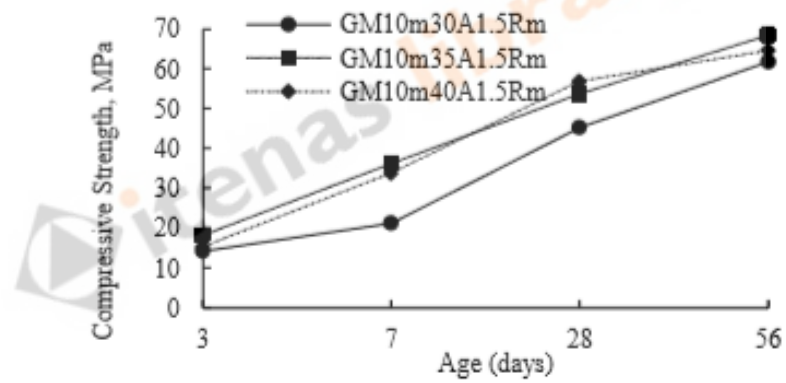
(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)

**Gambar 2. 3.** Pengaruh alkali terhadap ratio massa semen (A) pada kekuatan tekan $R_m = 1$

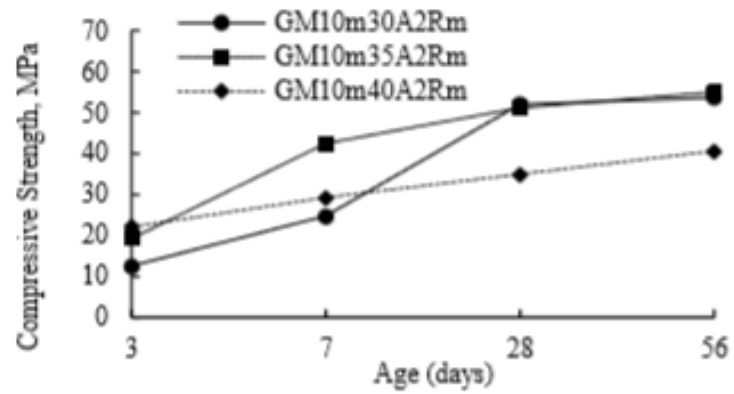
(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)



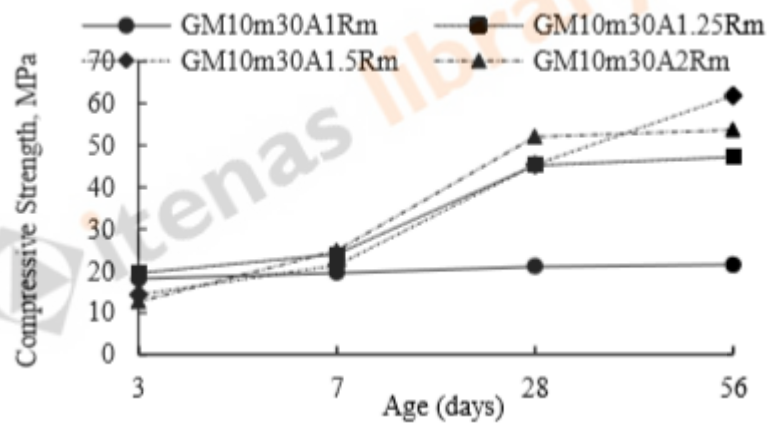
Gambar 2. 4. Pengaruh alkali terhadap ratio massa semen (A) pada kekuatan tekan $R_m = 1,25$
(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)



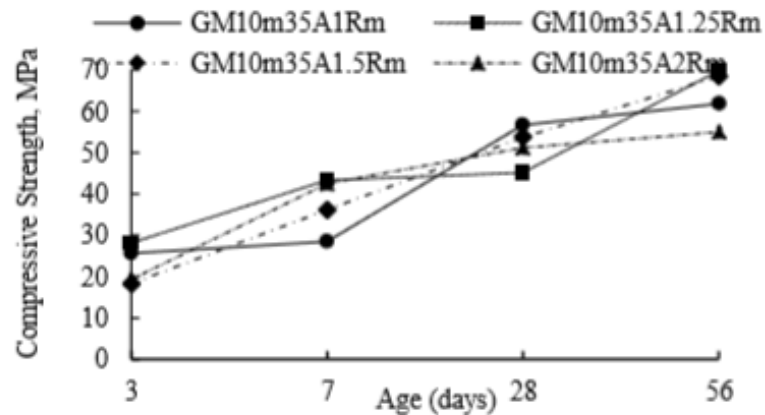
Gambar 2. 5. Pengaruh alkali terhadap ratio massa semen (A) pada kekuatan tekan $R_m = 1,5$
(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)



Gambar 2. 6. Pengaruh alkali terhadap ratio massa semen (A) pada kekuatan tekan $R_m = 2$
(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)

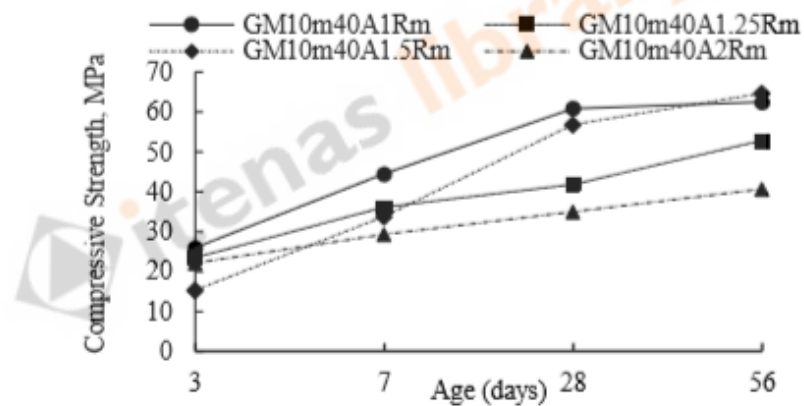


Gambar 2. 7. Pengaruh ratio volume absolut (Rm) dari pasta terhadap kekosongan agregat pada kuat tekan $A = 0,3$
(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)



Gambar 2. 8. Pengaruh ratio volume absolut (Rm) dari pasta terhadap kekosongan agregat pada kuat tekan $A = 0,35$

(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)



Gambar 2. 9. Pengaruh ratio volume absolut (Rm) dari pasta terhadap kekosongan agregat pada kuat tekan $A = 0,4$

(Sumber: Remigildus Cornelis, 2019)

Dari hasil penelitian mortar geopolimer yang telah dilakukan oleh Remigildus Cornelis (2019) bahwa kemampuan kerja mortar geopolimer berbasis abu meningkat seiring meningkatnya ratio *alkaline/fly ash* (A) dan rasio volume absolut (Rm). Dengan nilai kuat tekan mortar (*fpc*) yang terbesar pada umur 28 hari yaitu 60 MPa.

2.3 Aplikasi Perancangan Campuran Beton Cara Dreux Gorrise Pada Beton Geopolimer

Pada tahun 1979, metode Dreux Gorrise dikembangkan di Perancis berdasarkan pada teori Bolomey dalam merumuskan kuat tekan beton. Menurut metode ini, kuat tekan beton dipengaruhi oleh kuat tekan semen, faktor granular agregat, dan perbandingan berat semen terhadap berat air.

Perumusan rancangan campuran beton semen dapat menggunakan persamaan berikut:

$$f_c = G \cdot f_{pc} \cdot \left(\frac{c}{w} - 0.5\right) \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

f_c = kuat tekan beton silinder pada umur beton 28 hari (MPa);

f_{pc} = kuat tekan mortar semen pada umur 28 hari (MPa);

G = faktor granular (0,4-0,6);

c/w = faktor semen-air.

Maka untuk perumusan rancangan campuran beton geopolimer persamaan 2.1 menjadi:

$$f_c = G \cdot f_{GM} \cdot \left(\frac{FA}{A} - 0.5\right) \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

f_c = kuat tekan beton silinder pada umur beton 28 hari (MPa);

f_{GM} = kuat tekan mortar geopolimer pada umur 28 hari (MPa);

G = faktor granular (0,4-0,6);

FA/A = ratio berat *fly ash* terhadap berat aktivator.

Nilai faktor granular (G) dapat dihitung menggunakan persamaan dari Thesia (2013):

$$G = k \times V_{pasir} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

k = nilai konstanta yang dapat dilihat pada Tabel 2.12;

V_{pasir} = volume pasir yang digunakan dalam $1m^3$ beton

Tabel 2. 12. Nilai k untuk $0,4 \leq G \leq 0,6$

No	Vpasir/Vtotal Agregat	K
1	$\leq 0,26$	3
2	0,26 – 0,29	2
3	0,29 – 0,39	1,8
4	0,39 – 0,43	1,5
5	0,43 – 0,49	1,8
6	$\geq 0,50$	1,5

(Sumber: Thesia, 2013)

Dalam perancangan campuran beton geopolimer jika metode Dreux Gorrise diaplikasikan kedalam perancangan campuran beton geopolimer dan ditinjau dari data komposisi campuran beton geopolimer yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, Tabel 2.2 dan komposisi mortar geopolimer yang ditunjukkan pada Tabel 2.11 bahwa didalam persamaan Dreux Gorrise $f_c = G \cdot f_{pc} \cdot \left(\frac{c}{w} - 0,5\right)$, f_{pc} adalah kuat tekan mortar semen, maka dalam perancangan beton geopolimer mortar yang digunakan berbeda dengan mortar beton konvensional. Mortar yang digunakan pada geopolimer untuk mendapatkan f_{GM} dianggap campuran (agregat halus + fly ash + aktivator), c (semen) didalam persamaan Dreux Gorrise c menjadi (fly ash), dan w menjadi (aktivator).

Dari anggapan ini maka perancangan campuran beton geopolimer diduga dapat dirancang dengan metode Dreux Gorrise.