

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini akan dipaparkan analisa dan hasil pembuatan cacahan *polypropylene* serta hasil pengujian bahan baku penelitian. Di samping itu, bab ini akan dipaparkan pula mengenai analisa dan hasil pengujian beton segar dan beton yang telah mengeras.

4.1 ANALISA PEMBUATAN CACAHAN *POLYPROPYLENE*

Cacahan *polypropylene* dari limbah gelas plastik *polypropylene* (PP) mempunyai karakteristik geometrik yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Karakteristik geometrik cacahan *polypropylene*

Karakteristik Cacahan <i>Polypropylene</i>	Pembahasan
Bentuk	Tidak beraturan, bersudut
Tekstur Permukaan	Licin
Ukuran	3 – 25 mm

Dari Tabel 4.1 dapat terlihat bahwa cacahan *polypropylene* mempunyai karakteristik geometrik yang tidak beraturan dan bersudut. Bentuk yang tidak beraturan ini didapat karena pemecahan yang dilakukan dengan bantuan mesin pencacah.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan cacahan *polypropylene* :

- Membersihkan limbah gelas plastik dengan deterjen sebelum dilakukan pencacahan. Hal ini untuk menghindari adanya zat kimia yang masih tersisa pada limbah gelas plastik minuman.
- Hasil cacahan plastik *polypropylene* perlu dibersihkan kembali dengan deterjen. Proses ini perlu dilakukan karena mesin pencacah tidak bersih.

- Dalam proses pelaksanaan pengecoran, cacahan plastik *polypropylene* yang digunakan harus dalam kondisi kering untuk menghasilkan campuran yang merata. Karena apabila cacahan dalam kondisi tidak kering, cacahan akan saling menempel antara cacahan yang satu dengan cacahan lainnya.



Gambar 4.1 Membersihkan cacahan plastik *polypropylene* dengan deterjen

4.2 ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN

Pada sub bab ini akan dipaparkan mengenai analisa dan hasil pengujian bahan baku penelitian yang meliputi agregat halus, agregat kasar dan cacahan *polypropylene*.

4.2.1 Analisa dan Hasil Pengujian Agregat Halus

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian agregat halus

Pengujian	Hasil
Berat isi agregat halus (kg/dm^3)	1,547
Void (%)	36,741
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-1 	
<i>Bulk Specific Gravity</i> SSD (ton/m^3)	2,545
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-2 	

<i>Fine Modulus (FM)</i> ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-3	2,177
Kadar Material Lolos Saringan No.200 (%) ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-4	4,800
Kadar Organik ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-5	No.2

Dari Tabel 4.2 dapat disimpulkan :

- Berat isi agregat halus adalah $1,547 \text{ kg/dm}^3$ dengan *void* 36,741%.
Nilai *void* masih memenuhi batas yang bernilai antara 30 – 50 %. Nilai *void* yang dihasilkan dari pengujian adalah 36,741%.
- Nilai dari *bulk specific gravity (SSD)* = $2,545 \text{ ton/m}^3$ dan *fine modulus* = 2,177 akan dipergunakan dalam perhitungan *mix design*.
- Agregat halus memiliki kadar lumpur sebesar 4,800 %.
- Dari hasil pengujian kadar organik terhadap agregat halus didapat warna yang lebih terang dari warna standar (No. 3) dan bila disesuaikan dengan *organic plate* tergolong No.2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar organik dalam agregat halus masih memenuhi standar yang ada.

4.2.2 Analisa dan Hasil Pengujian Agregat Kasar

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian	Hasil
Berat isi agregat kasar (kg/dm^3)	1,453
Void (%) ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-6	41,710
<i>Bulk Specific Gravity</i> SSD (ton/m^3) ▪ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-7	2,579

Dari Tabel 4.3 dapat disimpulkan :

- Berat isi agregat kasar adalah $1,453 \text{ kg}/\text{dm}^3$ dengan *void* 41,710%.
Nilai *void* masih memenuhi batas yang bernilai antara 30 – 50 %. Nilai *void* yang dihasilkan dari pengujian adalah 41,710%.
- Nilai dari *bulk specific gravity* (SSD) = $2,579 \text{ ton}/\text{m}^3$ akan dipergunakan dalam perhitungan *mix design*.

4.2.3 Analisa dan Hasil Pengujian *Polypropylene*

Hasil pengujian berat jenis *polypropylene* adalah $0,897 \text{ g}/\text{cm}^3$. Dari hasil pengujian tersebut terbukti bahwa berat jenis *polypropylene* memiliki nilai yang mendekati dengan nilai literatur yaitu 0,9 – $0,91 \text{ g}/\text{cm}^3$. Jumlah cacahan plastik *polypropylene* yang digunakan sebagai bahan tambahan pada beton normal berdasarkan fraksi volume yang dipengaruhi oleh berat jenis plastik *polypropylene*.

4.3 ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN BETON SEGAR (UJI *SLUMP*)

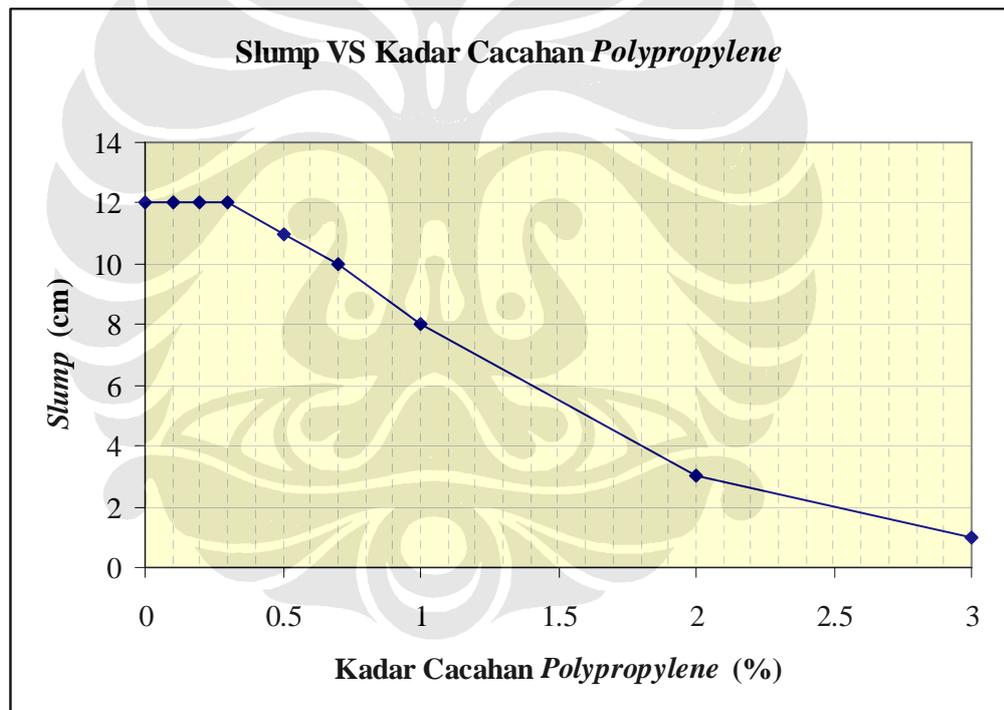
Analisa pengaruh penambahan kadar cacahan *polypropylene* pada pengujian beton segar menggunakan pendekatan analisa kuantitatif dalam bentuk tabel dan grafik.

Hasil pengujian *slump* menunjukkan tingkat konsistensi adukan beton dari setiap percobaan. Dimana dalam analisa akan dilihat pengaruh adanya penambahan bahan

tambahan berupa cacahan *polypropylene* dalam adukan beton terhadap tingkat kelecakan (*workability*). Nilai target rencana *slump* adalah 12 cm. Hasil pengujian *slump* ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Grafik 4.1.

Tabel 4.4 Hasil pengujian *slump* beton

Variasi (%)	Slump (cm)	Variasi (%)	Slump (cm)
0,00	12	0,70	10
0,10	12	1,00	8
0,20	12	2,00	3
0,30	12	3,00	1
0,50	11		



Grafik 4.1 Hasil pengujian *slump* beton

Dari grafik di 4.1 menunjukkan bahwa pada saat beton normal diberikan cacahan dengan kadar :

- Kurang dari 0,30% nilai *slump* cenderung konstan dan sesuai dengan target rencana *slump* yaitu sebesar 12 cm.

- 0,30% - 2,00% nilai *slump* mengalami penurunan linier dengan fungsi $y = -5,337x + 13,600$; dimana y adalah nilai *slump* (cm) dan x adalah kadar penambahan cacahan plastik *polypropylene* dalam beton.
- Lebih dari 2,00% nilai *slump* menunjukkan nilai yang sangat rendah, dengan kemiringan yang lebih landai dengan fungsi $y = -2x + 7$. *Slump* akan mencapai nilai 0 cm pada penambahan kadar cacahan sebesar 3,50%.

Nilai *slump* yang semakin menurun menunjukkan :

- Tingkat kelecakan (*workability*) yang semakin rendah. Tingkat kelecakan yang rendah mengakibatkan semakin sulitnya proses *mobility* dan pencetakan beton.
- Di samping itu, nilai *slump* yang menurun menggambarkan berkurangnya kandungan air dalam campuran. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan cacahan *polypropylene* dalam adukan beton dengan komposisi agregat kasar, agregat halus, semen dan air yang tetap.

4.4 ANALISA DAN HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

Analisa pengaruh penambahan kadar cacahan *polypropylene* pada uji kuat tekan beton menggunakan dua pendekatan yaitu analisa kuantitatif dan analisa kualitatif. Analisa kuantitatif menggunakan bantuan tabel dan grafik, sedangkan analisa kualitatif meliputi analisa pola retak yang terjadi pada saat uji tekan beton.

4.4.1 Analisa Kuantitatif untuk Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan untuk beton dengan umur 7 hari dan 28 hari ditunjukkan pada Tabel 4.5, Tabel 4.6, Grafik 4.2, Grafik 4.3 dan Grafik 4.4. Dimana nilai target desain f_c' beton umur 28 hari adalah 25 MPa.

Tabel 4.5 Hasil uji tekan beton umur 7 hari

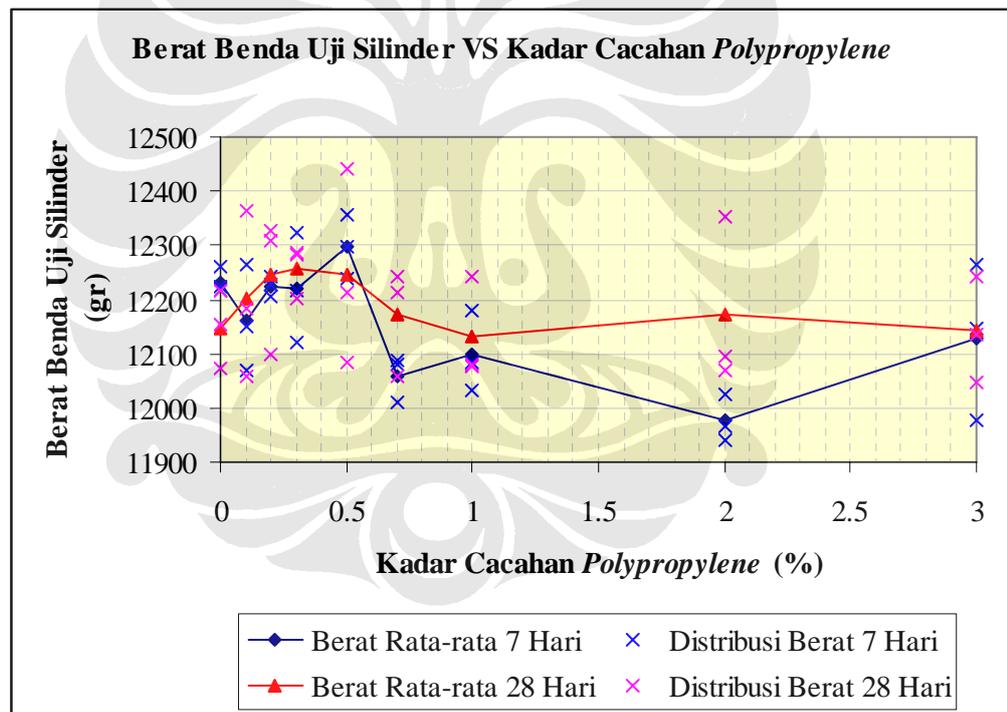
Variasi (%)	Berat (g)	Rata-rata Berat (g)	P_{max} (kg)	f_c' (MPa)	$f_c'_{rata-rata}$ (MPa)	kenaikan f_c' (%)
0,00	12259	12233,000	35000	16,432	17,215	0,000
	12224		37500	17,606		
	12216		37500	17,606		
0,10	12265		37000	17,371		

	12070	12161,333	38750	18,193	17,763	3,182
	12149		37750	17,723		
0,20	12226	12225,333	38000	17,841	17,880	3,864
	12206		36250	17,019		
	12244		40000	18,780		
0,30	12121	12220,333	40000	18,780	17,450	1,364
	12325		37500	17,606		
	12215		34000	15,963		
0,50	12237	12296,667	45000	21,127	17,684	2,727
	12357		24500	11,503		
	12296		43500	20,423		
0,70	12087	12059,667	33000	15,493	15,024	-12,727
	12012		30000	14,085		
	12080		33000	15,493		
1,00	12033	12098,667	38000	17,841	18,076	5,000
	12084		35000	16,432		
	12179		42500	19,954		
2,00	12024	11977,333	36000	16,902	16,667	-3,182
	11941		32500	15,259		
	11967		38000	17,841		
3,00	12145	12128,333	37250	17,489	15,650	-9,091
	12264		32500	15,259		
	11976		30250	14,202		

Tabel 4.6 Hasil uji tekan beton umur 28 hari

Variasi (%)	Berat (g)	Rata-rata Berat (g)	P_{max} (kg)	fc' (MPa)	$fc'_{rata-rata}$ (MPa)	Kenaikan fc' (%)
0,00	12154	12148,000	52500	24,648	24,218	0,000
	12216		49750	23,357		
	12074		52500	24,648		
0,10	12362	12202,000	46000	21,597	23,944	-1,131
	12059		57500	26,996		
	12185		49500	23,240		
0,20	12328	12244,667	52750	24,766	24,218	0,000
	12308		50000	23,475		
	12098		52000	24,414		
0,30	12203	12257,000	54000	25,353	23,709	-2,100
	12287		48250	22,653		
	12281		49250	23,123		
0,50	12213		48500	22,771		

	12442	12246,333	48000	22,536	23,631	-2,423
	12084		54500	25,587		
0,70	12244	12172,00	49750	23,36	23,98	-0,970
	12213		53500	25,12		
	12059		50000	23,47		
1,00	12080	12132,667	43000	20,188	21,010	-13,247
	12077		41000	19,249		
	12241		50250	23,592		
2,00	12071	12172,000	43000	20,188	19,719	-18,578
	12351		43000	20,188		
	12094		40000	18,780		
3,00	12241	12141,333	43750	20,540	19,445	-19,709
	12134		50000	23,475		
	12049		30500	14,320		



Grafik 4.2 Berat benda uji silinder VS kadar cacahan *polypropylene*

Grafik 4.2 menunjukkan pengaruh berat benda uji 7 hari dan 28 hari terhadap penambahan kadar cacahan *polypropylene*.

Pada benda uji umur 7 hari, kondisi berat benda uji terhadap kadar cacahan *polypropylene* adalah :

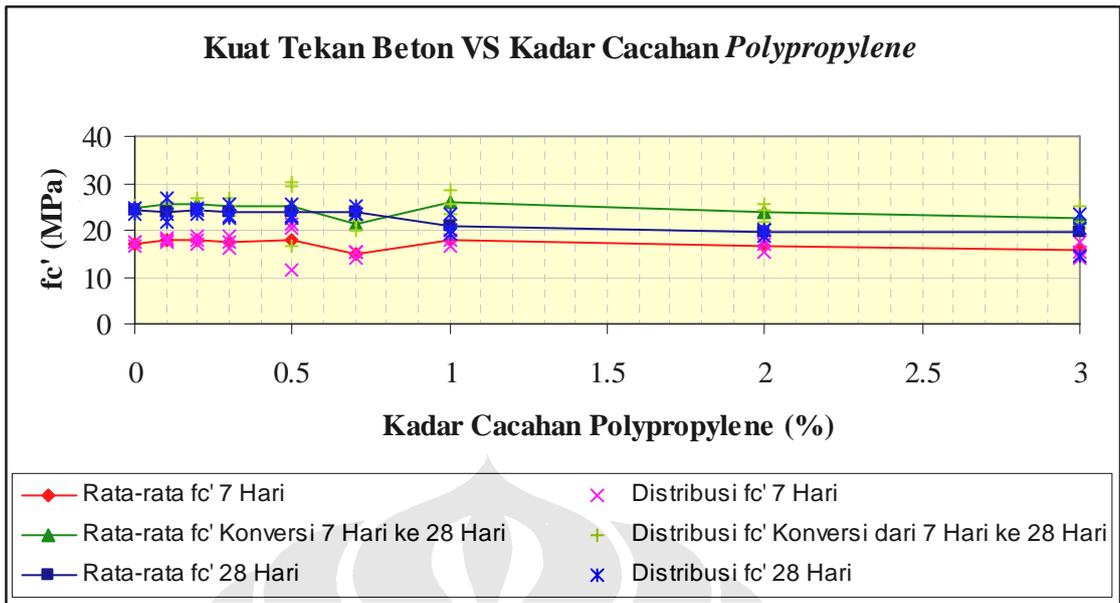
- Pada kadar 0,10% mengalami penurunan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 0,20% mengalami peningkatan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 0,20% - 0,30% , berat benda uji cenderung konstan.
- Pada kadar 0,50% mengalami peningkatan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 0,70% mengalami penurunan berat yang cukup signifikan.
- Pada kadar 1,00% mengalami peningkatan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 2,00% mengalami penurunan berat yang cukup signifikan.
- Pada kadar 3,00% mengalami peningkatan berat yang cukup signifikan.

Pada benda uji umur 28 hari, kondisi berat benda uji terhadap kadar cacahan *polypropylene* adalah :

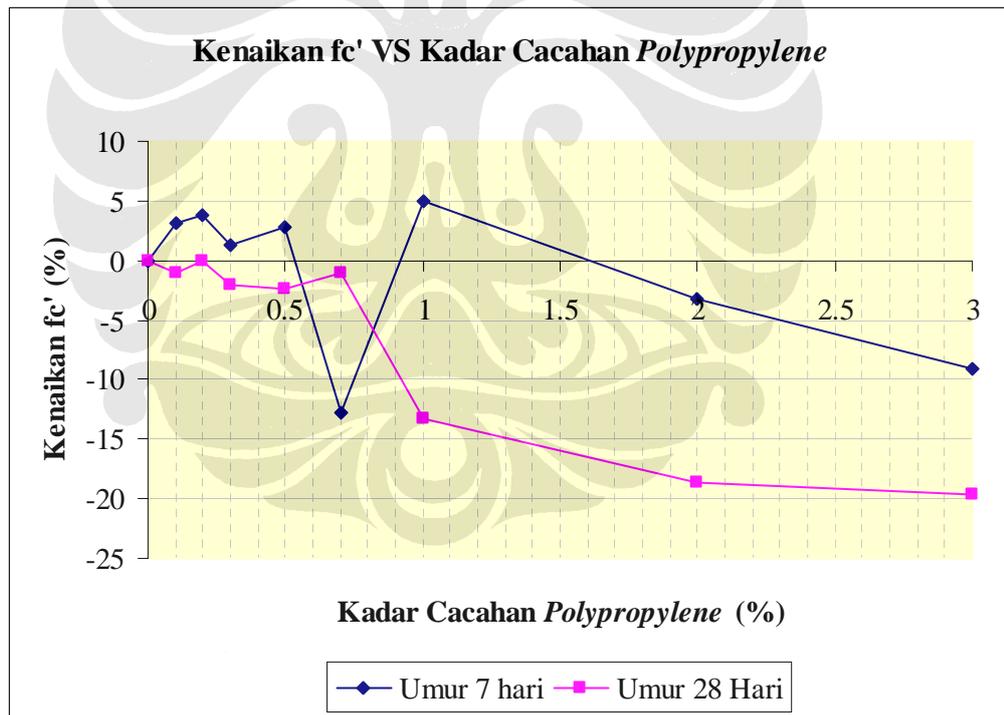
- Pada kadar 0,00% - 0,20% mengalami peningkatan berat yang linear.
- Pada kadar 0,30% , berat benda uji mengalami penurunan yang relatif kecil.
- Pada kadar 0,50% - 1,00% mengalami penurunan berat dengan grafik yang tidak beraturan.
- Pada kadar 2,00% mengalami peningkatan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 3,00% mengalami penurunan berat yang relatif kecil.

Penurunan berat benda uji yang signifikan untuk umur beton 7 hari dan 28 hari terjadi pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,50% - 1,00%. Hal ini dapat disebabkan oleh karena adanya penurunan nilai *slump* yang mempengaruhi penurunan tingkat *workability*. Dalam arti akan menyebabkan sulitnya proses pemadatan pada saat proses pencetakan benda uji. Proses pemadatan yang kurang sempurna akan mengakibatkan meningkatnya rongga udara pada beton sehingga beton menjadi lebih ringan. Di samping itu, pemadatan juga sulit dilakukan pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 2,00% dan 3,00% sehingga menghasilkan beton yang keropos (Gambar 4.2).

Grafik 4.3 menunjukkan pengaruh kuat tekan beton 7 hari dan 28 hari terhadap penambahan kadar cacahan *polypropylene*. Sedangkan Grafik 4.4 menunjukkan pengaruh kenaikan kuat tekan beton 7 hari dan 28 hari terhadap penambahan kadar cacahan *polypropylene*.



Grafik 4.3 Kuat tekan beton VS kadar cacahan *polypropylene*



Grafik 4.4 Kenaikan f_c' (umur 7 dan 28 hari) VS kadar cacahan *polypropylene*

Dari Grafik 4.3 dan Grafik 4.4 dapat dilihat hubungan antara kuat tekan beton dan %kenaikan kuat tekan beton terhadap penambahan kadar cacahan *polypropylene* diantaranya :

- Hingga penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,50% dalam beton normal tidak memberikan penambahan kuat tekan yang cukup berarti.
- Pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,70% dalam beton normal memberikan hasil yang berlawanan antara kuat tekan 7 hari (grafik cenderung turun) dengan kuat tekan 28 hari (grafik cenderung naik). Hal ini disebabkan karena kurangnya kapasitas mesin pengaduk sehingga sangat sulit untuk menjaga kehomogenan adukan beton. Di samping itu, pada Grafik 4.2 dapat dilihat berat benda uji 7 hari dengan kadar cacahan *polypropylene* 0,70% mengalami penurunan yang signifikan, dalam arti terjadi pemadatan yang kurang sempurna pada saat proses pencetakan benda uji. Hal ini mengakibatkan peningkatan rongga udara dalam beton sehingga hasil kuat tekan beton menjadi menurun. Faktor penyebab lain adalah kondisi agregat yang tidak SSD (akibat faktor temperatur dan cuaca).
- Penurunan grafik secara linier terjadi dengan penambahan kadar cacahan *polypropylene* 1,00% hingga 3,00% dalam beton normal. Hal ini disebabkan oleh hasil dari penambahan kadar cacahan *polypropylene* akan menghasilkan benda uji beton dengan fisik yang tidak ideal akibat pemadatan yang kurang sempurna (Gambar 4.1). Hal ini terkait dengan nilai *slump* yang rendah.
- Kuat tekan beton umur 28 hari lebih besar dari kuat tekan beton umur 7 hari. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa kuat tekan beton akan meningkat selaras dengan peningkatan umur beton.
- Kuat tekan beton 28 hari memiliki nilai yang mendekati dengan kuat tekan beton konversi 7 hari ke 28 hari. Hal ini membuktikan keakuratan koefisien konversi kuat tekan beton 7 hari ke 28 hari yang bernilai 0,70.
- Dari hasil uji kuat tekan beton umur 7 hari terhadap sembilan variasi campuran terlihat bahwa nilai optimum terdapat pada variasi kadar cacahan *polypropylene* 1,00% dengan nilai $f_c' = 18,076$ MPa dengan %kenaikan f_c' beton sebesar 5,000%.

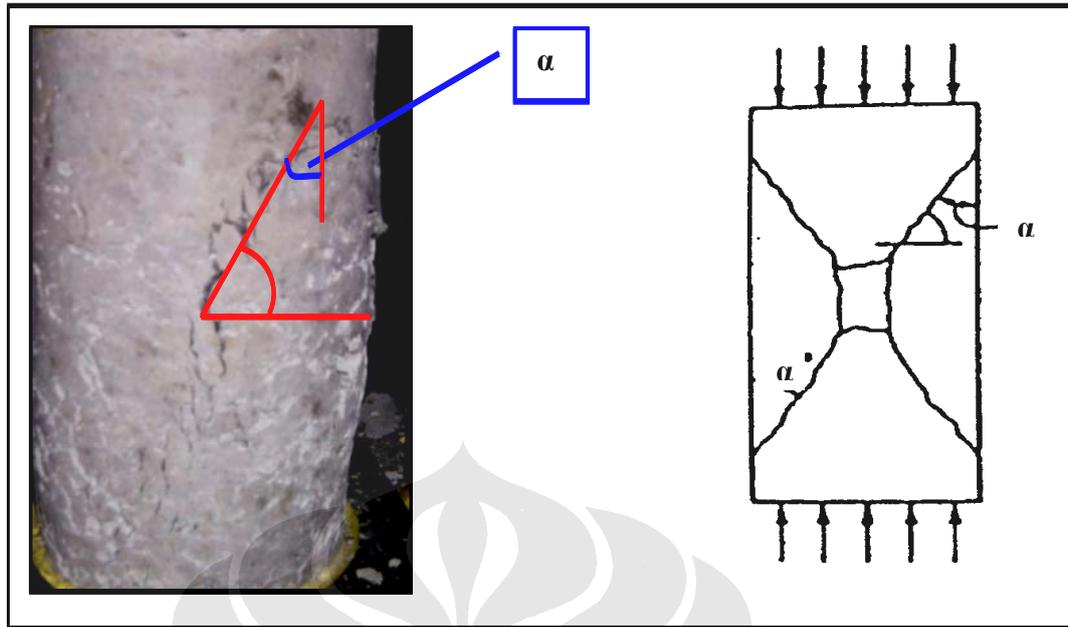
- Dari hasil uji kuat tekan beton umur 28 hari terhadap sembilan variasi campuran dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi peningkatan kuat tekan beton secara signifikan.
- Hasil uji kuat tekan beton 7 hari dan 28 hari menghasilkan kenaikan nilai f_c' yang relatif kecil. Dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar cacahan *polypropylene* dalam beton normal tidak terlalu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton.



Gambar 4.2 Beton dengan kadar cacahan *polypropylene* 2,00%

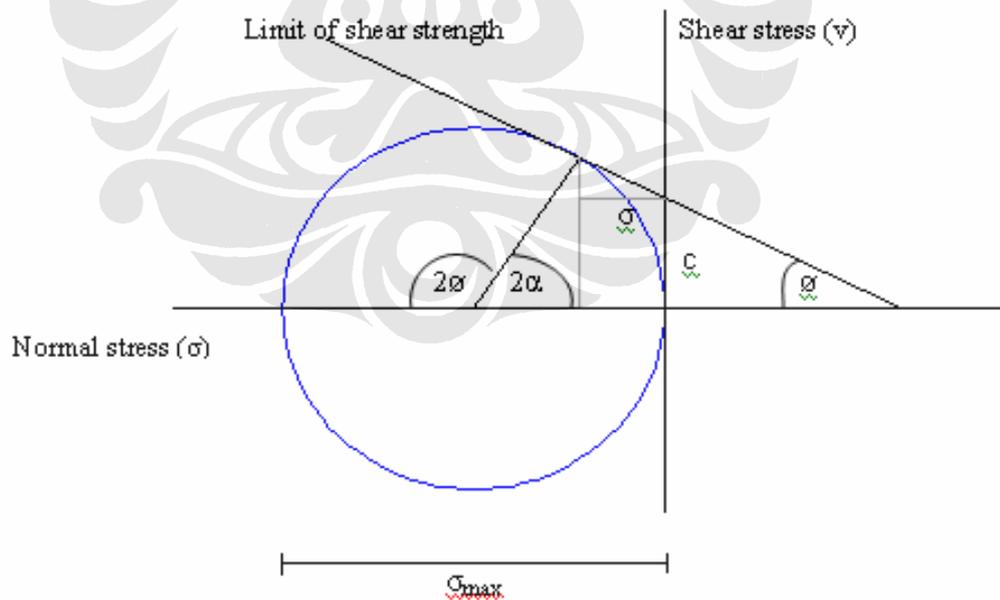
4.4.2 Analisa Kualitatif untuk Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton akan memberikan pola retak tertentu pada benda uji silinder. Analisa kualitatif terkait dengan analisa pola retak dari uji tekan beton. Pada Gambar 4.3, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan berbagai macam pola retak yang terjadi saat pengujian tekan beton.



Gambar 4.3 Pola retak beton dengan kadar cacahan 2,00% pada uji tekan beton

Pola keruntuhan dari Gambar 4.3 terjadi pada benda uji T28-2-2 karena adanya tahanan kohesi dan geser yang dapat dinyatakan dengan diagram lingkaran mohr pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Diagram lingkaran mohr

(hubungan antara sudut geser dalam ϕ dan sudut geser keruntuhan α)

Hubungan antara sudut geser dalam (ϕ) dan sudut keruntuhan (α) adalah :

$$v = c + \sigma \cdot \tan(\phi) \dots \dots \dots (4.1)$$

dimana :

v = tahanan geser.

c = kohesi.

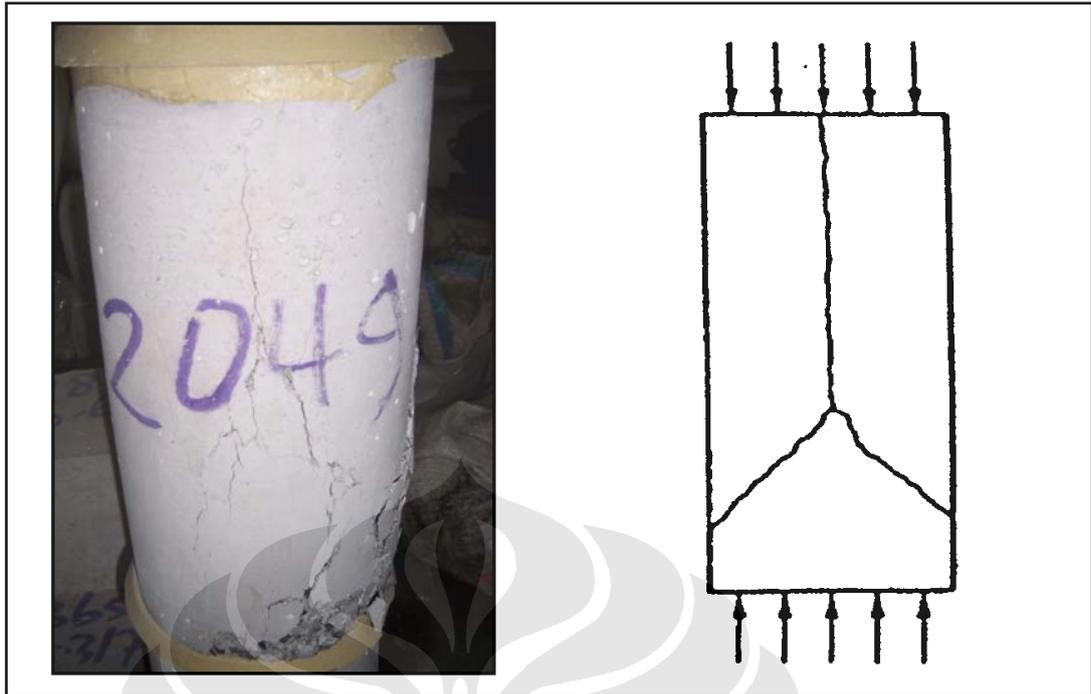
ϕ = sudut geser dalam.

Jika tidak terdapat kohesi, maka $\alpha = 45^\circ$, jika terdapat kohesi, maka $\alpha = (45 - \phi/2)^\circ$.



Gambar 4.5 Pola retak beton pada uji tekan beton dengan kadar cacahan 0,70%

Pola keruntuhan pada Gambar 4.5 disebabkan akibat tarik murni disebut *splitting fracture*. Pola keruntuhan ini terjadi pada benda uji T28-0,7-3.



Gambar 4.6 Pola retak beton pada uji tekan beton dengan kadar cacahan 3,00%

Pola keruntuhan pada Gambar 4.6 disebabkan akibat kombinasi antara keruntuhan geser dan *splitting*. Pola keruntuhan ini terjadi pada benda uji T28-3-3.

4.5 ANALISA DAN HASIL UJI KUAT GESER BETON

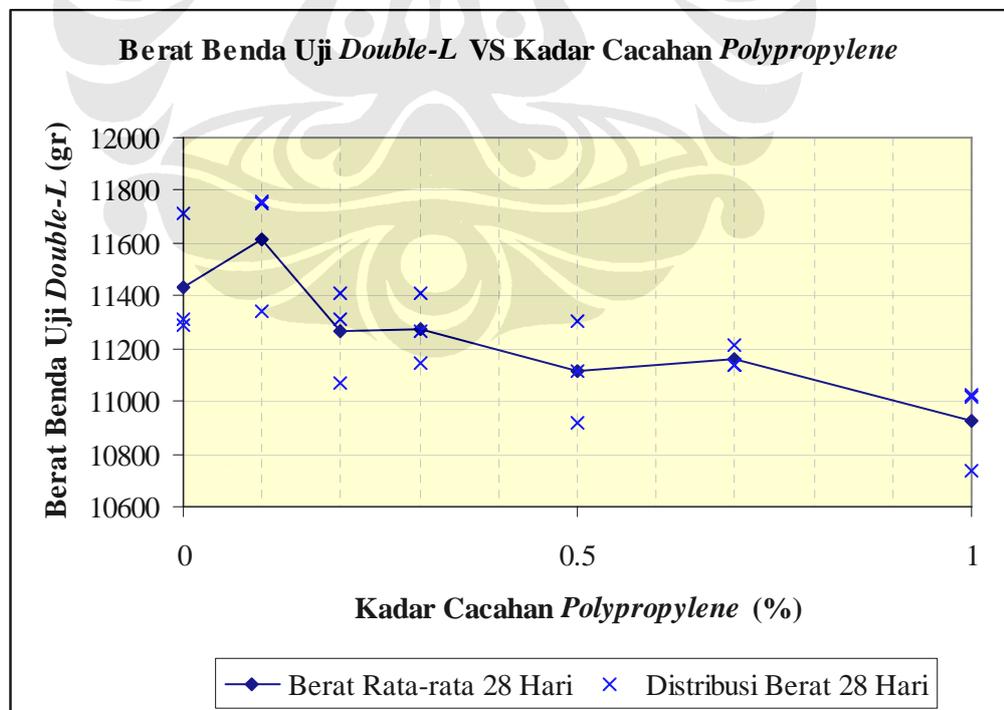
Analisa pengaruh penambahan kadar cacahan *polypropylene* pada uji kuat geser beton menggunakan dua pendekatan yaitu analisa kuantitatif dan analisa kualitatif. Analisa kuantitatif menggunakan bantuan tabel dan grafik, sedangkan analisa kualitatif meliputi analisa pola retak yang terjadi pada saat uji geser beton.

4.5.1 Analisa Kuantitatif untuk Kuat Geser Beton

Hasil pengujian kuat geser untuk beton dengan umur 28 hari ditunjukkan pada Tabel 4.7, Grafik 4.5, Grafik 4.6 dan Grafik 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji kuat geser beton 28 hari

Variasi (%)	Berat (g)	Rata-rata Berat (g)	P _{max} (kg)	Kuat Geser (kg/cm ²)	Kuat Geser Rata-rata		Kenaikan Kuat Geser (%)
					(kg/cm ²)	(MPa)	
0,00	11288	11435,667	2250	33,333	41,975	4,118	0,000
	11709		4000	59,259			
	11310		2250	33,333			
0,10	11747	11616,000	4200	62,222	44,568	4,372	6,176
	11756		2075	30,741			
	11345		2750	40,741			
0,20	11314	11264,000	2400	35,556	44,568	4,372	6,176
	11071		2525	37,407			
	11407		4100	60,741			
0,30	11148	11275,333	3925	58,148	59,753	5,862	42,353
	11412		4475	66,296			
	11266		3700	54,815			
0,50	11117	11114,333	4000	59,259	59,877	5,874	42,647
	11307		3950	58,519			
	10919		4175	61,852			
0,70	11211	11163,000	2900	42,963	43,457	4,263	3,529
	11139		2700	40,000			
	11139		3200	47,407			
1,00	11026	10927,333	2900	42,963	43,333	4,251	3,235
	10736		3625	53,704			
	11020		2250	33,333			



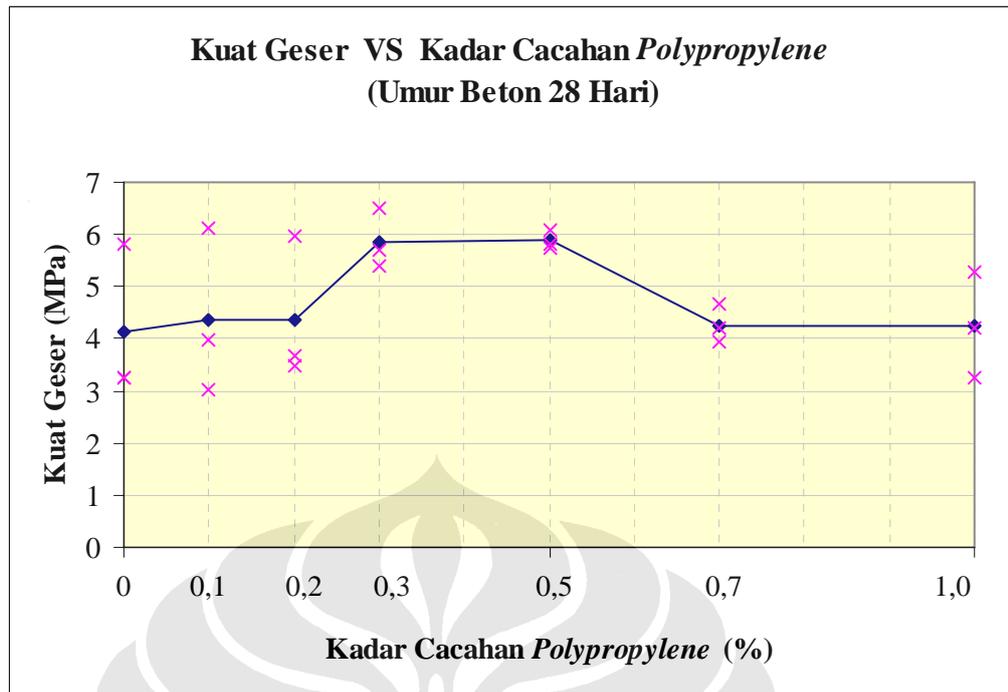
Grafik 4.5 Berat benda uji *double – L* VS kadar cacahan *polypropylene*

Grafik 4.5 menunjukkan pengaruh berat benda uji *double – L* umur 28 hari terhadap penambahan kadar cacahan *polypropylene*. Kondisi berat benda uji *double – L* terhadap kadar cacahan *polypropylene* adalah :

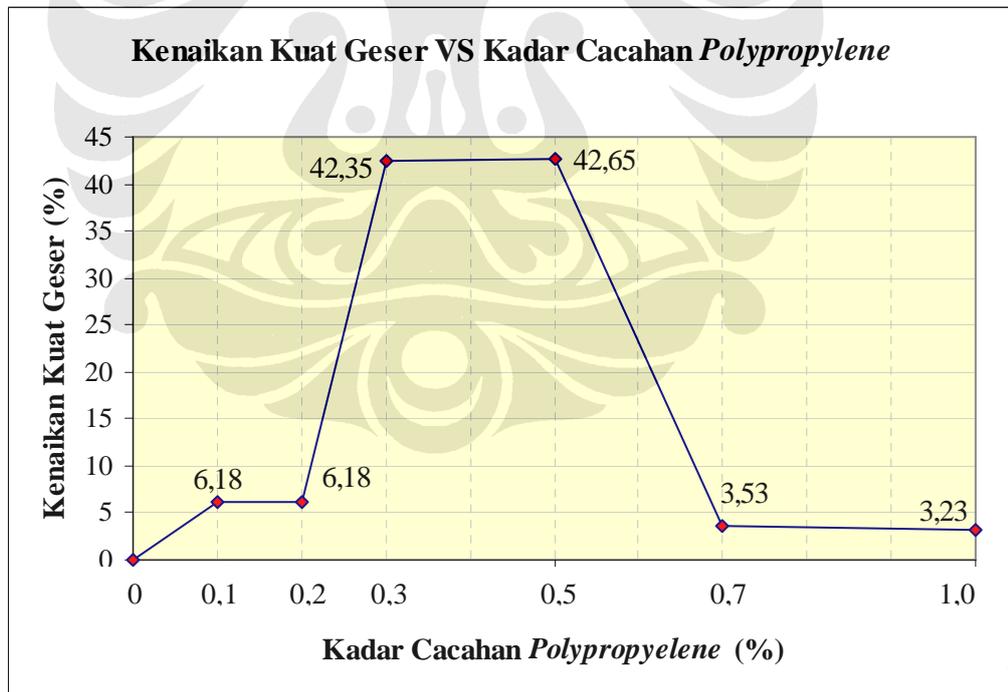
- Pada kadar 0,10% mengalami peningkatan berat yang cukup signifikan.
- Pada kadar 0,20% , berat benda uji mengalami penurunan yang cukup signifikan.
- Pada kadar 0,20% - 0,30% berat benda uji cenderung konstan.
- Pada kadar 0,50% mengalami penurunan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 0,70% mengalami peningkatan berat yang relatif kecil.
- Pada kadar 1,00% mengalami penurunan berat yang relatif kecil.

Secara keseluruhan, penurunan berat dari benda uji disebabkan oleh karena nilai *slump* yang semakin rendah seiring dengan penambahan kadar cacahan *polypropylene*. Penurunan nilai *slump* menyebabkan tingkat *workability* yang semakin menurun. Dalam arti akan menyebabkan sulitnya proses pemadatan pada saat proses pencetakan benda uji. Proses pemadatan yang kurang sempurna akan mengakibatkan meningkatnya rongga udara pada beton sehingga beton menjadi lebih ringan. Kesulitan dalam proses pemadatan juga dialami oleh karena adanya tulangan yang digunakan untuk memperkuat sisi-sisi *double – L*.

Grafik hubungan kuat geser beton dan %kenaikan kuat geser beton pada umur 28 hari terhadap variasi kadar cacahan *polypropylene* ditunjukkan pada Grafik 4.6 dan Grafik 4.7.



Grafik 4.6 Kuat geser beton 28 hari VS kadar cacahan *polypropylene*

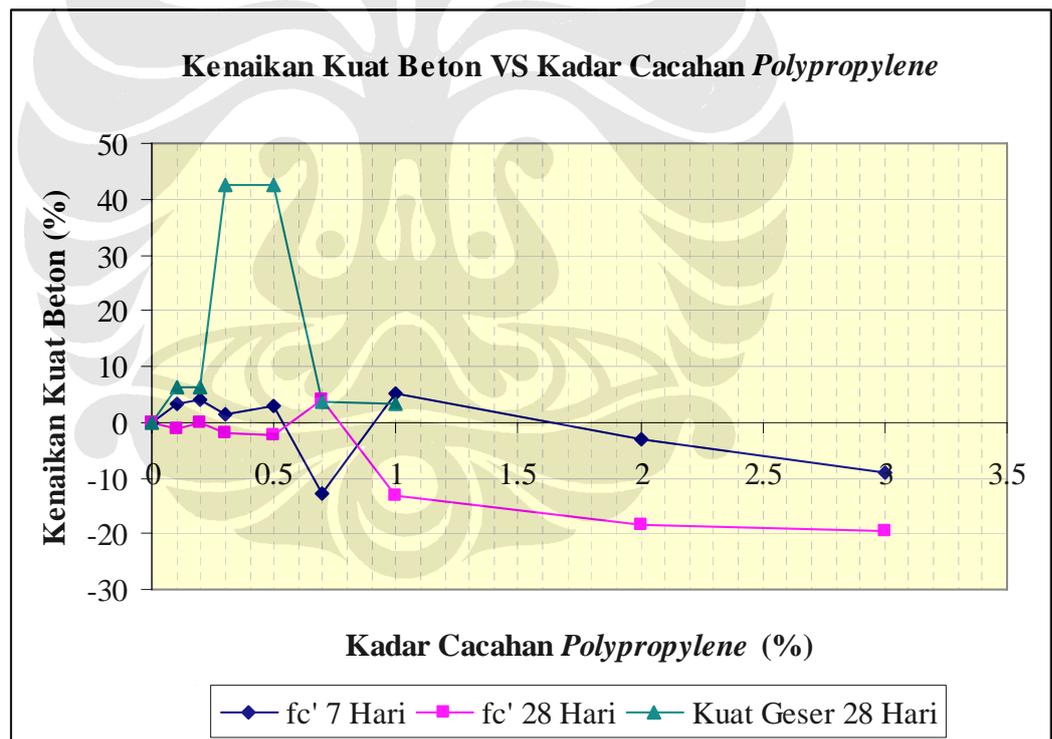


Grafik 4.7 Kenaikan kuat geser (umur 28 hari) VS kadar cacahan *polypropylene*

Dari Grafik 4.6, terlihat mulai adanya peningkatan kuat geser beton pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,30% dalam beton normal dan mencapai nilai maksimum pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,50% dalam beton normal. Kemudian mengalami penurunan tajam pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,70% dalam beton normal.

Dari hasil uji kuat geser beton umur 28 hari terhadap tujuh variasi kadar cacahan *polypropylene* terlihat bahwa nilai optimum terdapat pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,50% dengan nilai $f_c' = 5,872$ MPa dengan persentase peningkatan kuat geser sebesar 42,647%.

Perbandingan antara %kenaikan kuat tekan beton dengan %kenaikan kuat geser beton terhadap variasi penambahan kadar cacahan *polypropylene* dalam beton normal ditunjukkan pada Grafik 4.8.



Grafik 4.8 Kenaikan kuat tekan beton VS kadar cacahan *polypropylene*

Dari Grafik 4.8, hasil uji kuat geser beton lebih menunjukkan hasil peningkatan yang signifikan (pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,50%) dibandingkan dengan hasil uji kuat tekan beton. Dapat disimpulkan penambahan cacahan

polypropylene dalam beton normal lebih memberikan pengaruh terhadap kuat geser beton dengan kadar penambahan cacahan *polypropylene* tertentu dibandingkan dengan kuat tekan beton. Peningkatan kuat geser terjadi karena adanya interaksi antara cacahan dengan matriks beton. Ketika matriks diberi beban, sebagian dari beban ditransfer ke cacahan *polypropylene* di sepanjang permukaannya karena adanya perbedaan kekakuan antara cacahan *polypropylene* dengan matriks, terjadi tegangan geser di sepanjang permukaan serat. Ketika pembebanan berlangsung, kekuatan tidak bergantung pada gaya adhesi antara plastik dengan matriks beton. Hal ini dikarenakan arah pembebanan tegak lurus dengan arah gaya adhesi bekerja.

Hubungan antara kuat geser dengan kuat tekan beton ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil uji kuat geser beton 28 hari

Variasi kadar Cacahan (%)	Kuat Geser (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	Hubungan Kuat Geser dan Kuat Tekan Beton	
			α_1	α_2
0,00	4,118	24,218	0,837	0,170
0,10	4,372	23,944	0,893	0,183
0,20	4,372	24,218	0,888	0,181
0,30	5,862	23,709	1,024	0,247
0,50	5,874	23,631	1,208	0,249
0,70	4,263	23,983	0,870	0,178
1,00	4,251	21,010	0,927	0,202

Tabel 4.8 menunjukkan hubungan antara kuat geser dengan kuat tekan beton diwakilkan dengan koefisien α , dimana

$$\alpha_1 = \frac{v}{\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\alpha_2 = \frac{v}{f'_c} \dots\dots\dots(4.3)$$

Dimana :

v = kuat geser beton (MPa).

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

Dari Tabel 4.8 maka dapat disimpulkan :

- Hubungan antara kuat geser beton dengan $\sqrt{f'_c}$ yang dilambangkan dengan koefisien α_1 memiliki nilai berkisar antara 0,837 – 1,208. Apabila koefisien α_1 yang dihasilkan lebih besar daripada 0,837 artinya terjadi peningkatan kuat geser beton pada kadar cacahan *polypropylene* tertentu.
- Hubungan antara kuat geser beton dengan f'_c yang dilambangkan dengan koefisien α_2 memiliki nilai berkisar antara 0,170 – 0,249. Apabila koefisien α_2 yang dihasilkan lebih besar daripada 0,170 artinya terjadi peningkatan kuat geser beton pada kadar cacahan *polypropylene* tertentu.
- Hubungan antara kuat geser beton dengan kuat tekan beton menghasilkan sebuah koefisien α dengan nilai maksimum pada penambahan kadar cacahan *polypropylene* 0,50%.

4.5.2 Analisa Kualitatif untuk Kuat Geser Beton

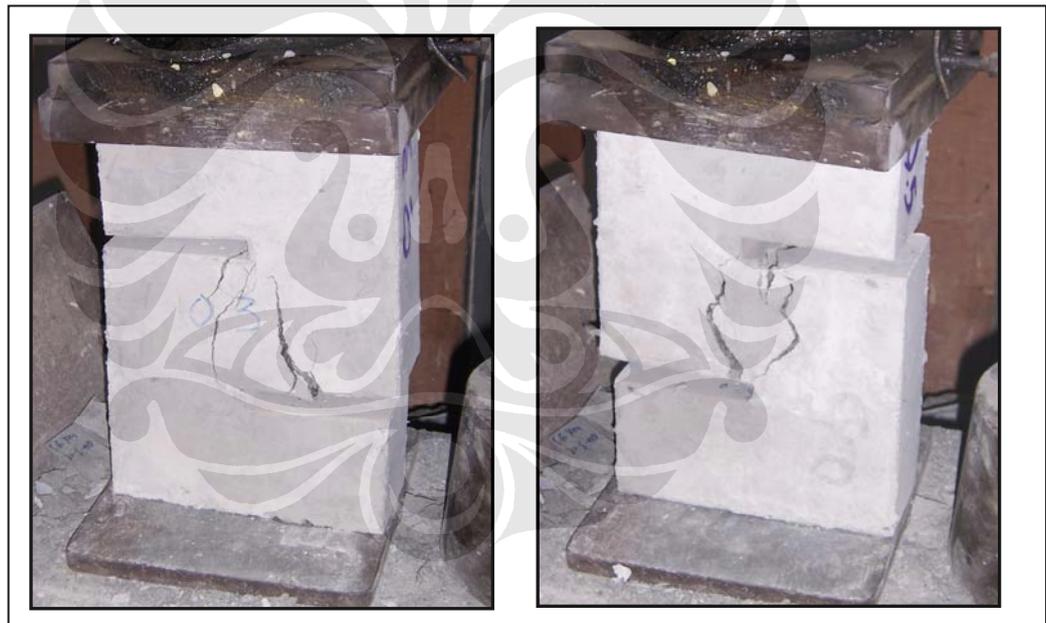
Hasil pengujian kuat geser beton akan memberikan pola retak tertentu pada benda uji *double – L*. Analisa kualitatif terkait dengan analisa pola retak dari uji geser beton. Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 menunjukkan beberapa macam pola retak yang terjadi saat pengujian geser beton.

Dari Gambar 4.7, pola retak yang terjadi adalah pola keruntuhan geser murni yang ideal. Sedangkan dari Gambar 4.8, pola keruntuhan geser yang terjadi pada benda uji G28-0,3-2 dan G28-0,5-1 tergolong tidak ideal. Hal ini dapat terjadi dikarenakan :

- Tidak diberikan guratan pada keruntuhan bidang geser yang dikehendaki. Hal ini dikarenakan jalannya distribusi tegangan tidak diarahkan ke bidang geser yang dikehendaki. Sehingga seharusnya bagian geser yang dikehendaki diperlemah dengan memberikan guratan dengan ketebalan $\pm 0,50$ cm. Kondisi ini akan mempengaruhi hasil dari uji kuat geser.
- Benda uji diletakkan pada posisi yang kurang tepat pada mesin uji geser. Sehingga pembebanan sentris tidak terjadi tepat pada bidang geser yang dikehendaki.



Gambar 4.7 Pola retak geser yang ideal



Gambar 4.8 Pola retak geser yang tidak ideal

4.6 ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN ANGKA PERBANDINGAN POISSON

Analisa pengujian modulus elastisitas beton dan angka perbandingan poisson menggunakan pendekatan analisa kuantitatif dalam bentuk tabel. Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada benda uji silinder dengan kode T28-0,7-3.

Perhitungan tegangan, regangan vertikal dan regangan horizontal untuk setiap siklus ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. Perhitungan tegangan dan regangan berdasarkan Rumus 4.1 dan Rumus 4.2 :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana :

- σ = tegangan (kg/cm²).
- P = beban yang diberikan (kg).
- A = Luas penampang (cm²).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times \text{koreksi} \dots\dots\dots(4.5)$$

Dimana :

- ε = regangan (mm/mm).
- ΔL = perubahan panjang (mm).
- L = panjang (mm).

Tabel 4.9 Regangan vertikal

L	200mm	
Koreksi vertikal	285mm	140mm

Tegangan (kg/cm ²)	Regangan (vertikal)					
	Siklus 1		Siklus 2		Siklus 3	
	Naik (mm/mm)	Turun (mm/mm)	Naik (mm/mm)	Turun (mm/mm)	Naik (mm/mm)	Turun (mm/mm)
0,000	0,000000	0,000037	0,000037	0,000049	0,000049	0,000049
14,141	0,000025	0,000147	0,000074	0,000123	0,000061	0,000147
28,283	0,000061	0,000246	0,000098	0,000246	0,000098	0,000246
42,424	0,000098	0,000344	0,000135	0,000319	0,000147	0,000344
56,566	0,000147	0,000381	0,000196	0,000368	0,000196	0,000418
70,707	0,000196	0,000381	0,000221	0,000418	0,000246	0,000418
84,848	0,000246	0,000393	0,000295	0,000430	0,000295	0,000430
98,990	0,000295	0,000393	0,000344	0,000430	0,000344	0,000430
113,131	0,000393	0,000393	0,000430	0,000430	0,000430	0,000430

Tabel 4.10 Regangan horizontal

d	150mm	
Koreksi horizontal	280mm	95mm

Tegangan (kg/cm ²)	Regangan (horizontal)					
	Siklus 1		Siklus 2		Siklus 3	
	Naik (mm/mm)	Turun (mm/mm)	Naik (mm/mm)	Turun (mm/mm)	Naik (mm/mm)	Turun (mm/mm)
0,000	0,000000	0,000023	0,000023	0,000023	0,000023	0,000023
14,141	0,000011	0,000034	0,000023	0,000023	0,000023	0,000034
28,283	0,000011	0,000057	0,000023	0,000023	0,000023	0,000057
42,424	0,000023	0,000079	0,000034	0,000034	0,000034	0,000079
56,566	0,000034	0,000090	0,000045	0,000045	0,000045	0,000090
70,707	0,000045	0,000090	0,000057	0,000057	0,000057	0,000102
84,848	0,000057	0,000090	0,000068	0,000068	0,000068	0,000102
98,990	0,000068	0,000090	0,000079	0,000079	0,000079	0,000102
113,131	0,000090	0,000090	0,000102	0,000102	0,000102	0,000102

Perhitungan modulus elastisitas beton dan angka perbandingan poisson ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12. Perhitungan modulus elastisitas beton dan angka perbandingan poisson berdasarkan rumus :

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas (kg/cm²).

S₂ = tegangan pada 40 % beban maksimum.

S₁ = stress pada longitudinal strain ϵ_1 , mencapai seperlima puluh juta, psi.

ϵ_2 = regangan vertikal yang disebabkan oleh S₂.

$$\mu = (\epsilon_{12} - \epsilon_{11}) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) \dots \dots \dots (4.7)$$

Dimana :

μ = rasio poisson.

ϵ_{12} = transverse strain di tengah panjang spesimen disebabkan oleh stress S₂.

ϵ_{11} = transverse strain di tengah panjang spesimen disebabkan oleh stress S₁.

Tabel 4.11 Tabel Perhitungan Modulus elastisitas beton dan angka poisson

Siklus	Pmax (kg)	40% x Pmax (kg)	S ₂ (kg/cm ²)	ε ₂	ε ₁	S ₁ (kg/cm ²)	ε ₁₂	ε ₁₁
1	50000	20000	113,131	0,000393	0,000050	23,962	0,000090	0,000011
2	50000	20000	113,131	0,000430	0,000050	4,968	0,000102	0,000008
3	50000	20000	113,131	0,000430	0,000050	15,320	0,000102	0,000023

Tabel 4.12 Modulus elastisitas beton dan angka perbandingan poisson

Siklus	E (kg/cm ²)	μ
1	259982,141	0,231
2	284770,562	0,247
3	257518,399	0,208
Rata-rata	267423,701	0,229

Tabel 4.13 Hubungan modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton

Siklus	E (MPa)	β	β (untuk beton normal)
1	25504,248	5263,925	4700
2	27935,992	5765,823	4700
3	25262,555	5214,041	4700
Rata-rata	26234,265	5414,596	

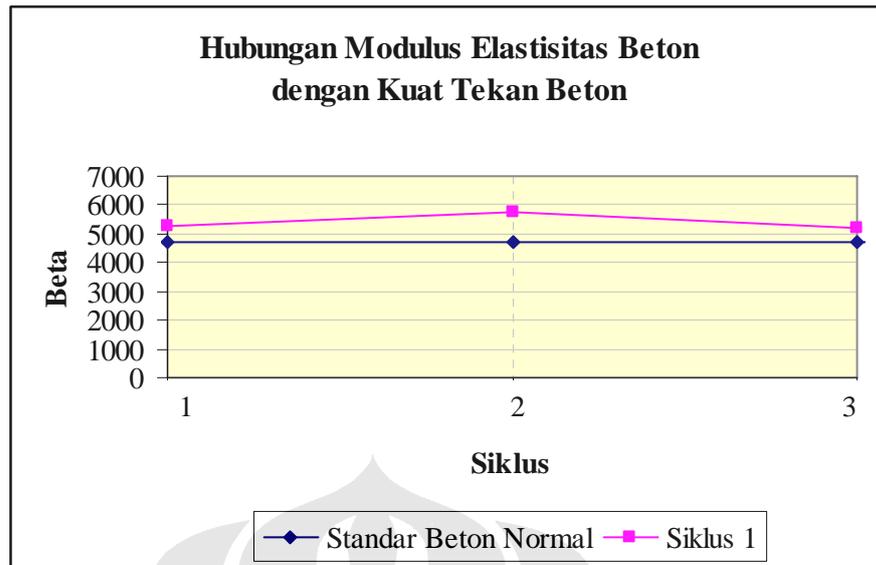
Tabel 4.13 menunjukkan hubungan antara modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton diwakilkan dengan koefisien β, dimana

$$\beta = \frac{E}{\sqrt{f'_c}} \dots \dots \dots (4.8)$$

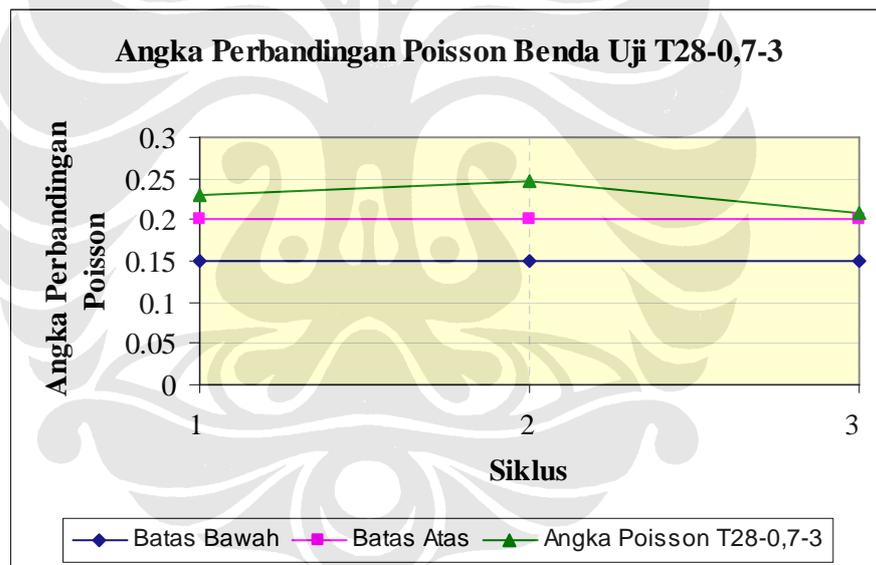
Dimana :

E = modulus elastisitas beton (MPa).

f_c' = kuat tekan beton (MPa).



Grafik 4.9 Hubungan modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton



Grafik 4.10 Angka perbandingan poisson untuk benda uji T28-0,7-3

Dari Grafik 4.9 dan Grafik 4.10, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Nilai koefisien β untuk beton normal adalah 4700. Nilai β dari setiap siklus untuk benda uji T28-0,7-3 lebih besar dari 4700. Nilai maksimum β terjadi pada siklus 2 dengan nilai sebesar 5765,823.

- Nilai angka perbandingan poisson untuk beton normal adalah 0,15 – 0,20. Nilai angka perbandingan poisson yang diperoleh dari siklus 1 sampai dengan siklus 3 memiliki nilai yang lebih tinggi dari 0,20. Nilai angka perbandingan poisson maksimum diperoleh pada siklus 2 dengan nilai sebesar 0,247.

4.7 ANALISA BIAYA

Setelah melakukan penelitian terhadap pengaruh penambahan cacahan *polypropylene* dalam beton normal terhadap kuat tekan dan kuat geser beton, maka dilakukan analisa biaya yaitu analisa besarnya biaya yang dikeluarkan dalam tujuan konstruksi selain harus memenuhi syarat kekuatan, syarat ekonomis haruslah juga terpenuhi.

Analisa biaya pada penelitian ini, lebih diprioritaskan pada biaya langsung yang dikeluarkan dalam memproduksi cacahan *polypropylene* dari limbah gelas plastik. Penulis memperoleh limbah gelas plastik dengan membeli dari pengumpul limbah gelas plastik guna memenuhi kuantitas cacahan *polypropylene* yang telah ditetapkan dalam perhitungan rancang campur beton.

Harga satuan limbah gelas plastik *polypropylene*, yaitu terhitung pada tahun 2007/2008, adalah sebagai berikut :

- 1 kg limbah gelas plastik *polypropylene* (PP) berbagai merk = Rp. 4000,-/kg
- 1 m³ beton normal = Rp. 400.000,-/m³

Harga satuan beton normal, adalah sebagai berikut :

Perbandingan analisa biaya antara beton normal dan beton dengan bahan tambahan cacahan *polypropylene* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perbandingan analisa biaya antara beton normal dan beton dengan bahan tambahan berupa cacahan *polypropylene*

Harga beton normal per m ³	Harga beton dengan bahan tambahan cacahan <i>polypropylene</i> per m ³					
	Variasi PP	Harga PP/kg	Harga PP	Harga beton + PP	% Penambahan biaya	% Kenaikan kuat beton optimal
Rp. 400.000,-	1,00% (9,00kg/m ³)	Rp. 4.000,-	Rp. 36.000,-	Rp. 436.000,-	9,00	Kuat tekan 5,00%

Dari Tabel 14.14, penulis menyimpulkan biaya produksi beton normal dengan bahan tambahan cacahan *polypropylene* belum tergolong ekonomis. Hal ini dikarenakan dengan penambahan cacahan *polypropylene* tidak memberikan kenaikan kuat tekan yang signifikan. Dengan peningkatan biaya sebesar 9,00% hanya meningkatkan kuat tekan sebesar 5,00%. Namun biaya produksi ini dapat digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi pengujian-pengujian selanjutnya yang serupa.

