

BAB IV

ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

4.1. MATERIAL DASAR PEMBENTUK BETON

Analisa terhadap *properties* material dasar penting dilakukan, karena *properties* material dasar ini yang akan mempengaruhi campuran beton yang akan dihasilkan.

4.1.1. Agregat Halus (Pasir)

Tabel 4.1. Pengujian terhadap Agregat Halus

No	Uji	Standar	Data
1	Berat Isi	ASTM C 29	1546,5 gr/dm ³
2	<i>Void</i>	ASTM C 29	39,09 %
3	<i>Specific Gravity</i>	ASTM C 128 - 04a	2545 gr/dm ³
4	Absorpsi	ASTM C 128 - 04a	4,064%
5	Analisa Saringan	ASTM C 136 - 05	(Lampiran)
			FM = 2,177
6	Kandungan Organik	ASTM C 40	Standar Warna no.2
7	Bahan Lewat Saringan no.200	ASTM C 117	4,8 %

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa karakteristik pasir yang digunakan antara lain berat isi agregat sebesar 1546,5 gr/dm³. Besar *Void* termasuk dalam standar 30 – 50%. Kemudian nilai *specific gravity*-nya 2545 gr/dm³. Untuk nilai absorpsi, pasir yang digunakan cukup besar yaitu 4,064%. Dari uji kandungan organik, pasir yang digunakan memiliki kandungan organik yang relatif rendah, yaitu di bawah warna standar no.3. Untuk kadar lumpurnya, hanya sekitar 4,8%. Gradasi pasir yang digunakan dapat dilihat di Lampiran. Gradasi pasir sangat berhimpit dengan batas atas dari standara gradasi ASTM, hal ini menunjukkan pasir yang digunakan sangat halus, sedangkan bila mengacu pada Indian Standard, maka termasuk ke dalam zona

3. Modulus kehalusannya juga relatif kecil, sehingga pasir yang digunakan cukup halus.

1.1.2. Agregat Kasar (Batu Pecah)

Tabel 4.2. Pengujian terhadap Agregat Kasar

No	Uji	Standar	Data
1	Berat Isi	ASTM C 29	1452,977 gr/dm ³
2	Void	ASTM C 29	40,967 %
3	<i>Specific Gravity</i>	ASTM C 127 - 04	2578 gr/dm ³
4	Absorbsi	ASTM C 127 - 04	3,455%
5	Analisa Saringan	ASTM C 136 - 05	(Lampiran)

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa karakteristik agregat kasar yang digunakan antara lain berat isi agregat sebesar 1455,977 gr/dm³. Besar *Void* termasuk dalam standar 30 – 50%. Kemudian nilai *specific gravity*-nya 2578 gr/dm³. Untuk nilai absorpsi, agregat kasar yang digunakan melebihi standar 3% yang ditetapkan. Dari Analisa saringan, karena tidak ada standar untuk MSA 20mm, maka digunakan standar untuk MSA 25mm, dan hasil gradasi termasuk ke dalam standar gradasi agregat kasar.

Yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah tempat penyimpanan benda uji agregat kasar yang berada di lapangan terbuka, sehingga sulit menjaga kadar air, kelembaban dan kadar organik material. Kondisi yang berbeda – beda ini juga dianggap menjadi faktor yang mempengaruhi kadar air dalam campuran.

4.1.3. Semen

Semen yang digunakan merupakan produk manufaktur pabrik, sehingga berat jenis-nya sudah tersatandar, yaitu sebesar 3150kg/m³. Dalam penggunaannya semen yang baik harus kering dan terhindar dari kontak udara dan kelembaban, karena bila semen terpengaruh oleh udara dan kelembaban, maka kemungkinan semen akan

bereaksi dengan air udara, dan terjadi proses hidrasi terlebih dahulu, sehingga semen dapat dikategorikan sudah tidak baik untuk digunakan.

Dalam penelitian ini sendiri, penyediaan semen dilakukan setiap awal minggu dari penelitian, dan penggunaan paling lama hanya dalam jangka waktu 2 minggu setelah pembelian. Sebenarnya waktu penggunaan tidak menjadi masalah bila semen disimpan dengan baik dan terhindari dari kontak udara seperti sebelumnya, namun dalam penelitian ini, kondisi penyimpanan yang ada dapat dikategorikan kurang baik, serta berubah – ubah, sehingga kerusakan yang terjadi pada semen diantisipasi dengan waktu penggunaan yang lebih cepat. Kondisi penyimpanan yang dimaksud adalah :

1. Penyimpanan semen di bawah basin pencuci, sehingga kemungkinan air terkena air cukup tinggi,
2. Penyimpanan dengan menggunakan alas kayu hanya dilakukan sesekali, sedang sisanya hanya diletakkan di atas alas lapisan karung saja, dan
3. Kantong – kantong semen hanya dilapisi oleh lapisan karung, yang rentan tembus air.

Selain kondisi penyimpanan, kondisi penggunaan juga mempengaruhi kerusakan semen. Dalam penggunaannya sendiri, ternyata ada kondisi dimana semen yang digunakan sudah kurang baik, hal ini dapat dilihat dengan butiran semen yang sudah terikat satu sama lain dan menggumpal atau tidak terjadi kondisi tercurah (*free flowing condition*). Kondisi semen seperti ini ditemui pada semen yang sudah cukup lama tersimpan atau biasanya pada bagian semen yang terakhir pada sak. Setiap sak semen sendiri terdiri dari $\pm 50kg$ semen, namun dalam penggunaan satu kali pembuatan campuran beton, tidak semua semen dalam 1 sak digunakan. Kontak udara pada sisa semen ini sendiri tidak dapat dihindari, karena kantong semen sendiri sudah terbuka, sehingga sisa semen pada kantong biasanya memiliki kondisi yang lebih buruk. Penggunaan semen secara bersama, juga sering kali menimbulkan kondisi, dimana terdapat peneliti yang kurang cermat, yang meninggalkan kantong

semen terbuka, tanpa ditutup, sehingga kontak semen dengan udara terjadi dengan bebas.

Kerusakan semen yang terjadi akan mempengaruhi proses hidrasi pada saat pembuatan campuran beton

4.1.4. Air

Pada penelitian ini, air yang digunakan bersumber dari air PAM di Laboratorium Struktur dan Material, Departemen Sipil, FTUI. Untuk kandungan air sendiri tidak dilakukan pengujian, sehingga kualitas air tidak dapat digunakan sebagai objek analisa material yang mempengaruhi campuran.

Secara kasat mata, air yang digunakan tidak berbau dan tidak berwarna, sehingga secara visual dapat dikatakan baik digunakan sebagai air pencampur. Selain itu karena air berasal dari air PAM, maka seharusnya air sendiri sudah memenuhi standar air minum dari PAM.

4.1.5. Cacahan Plastik *Polypropylene*

Untuk cacahan plastik *polypropylene* sendiri, di dapat dari mesin pencacah. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Ukuran cacahan rencana yang digunakan adalah sebesar 3 – 25 mm, namun ada beberapa cacahan yang memiliki ukuran yang lebih besar, sehingga kembali dilakukan pemisahan pada saat akan digunakan.
2. Plastik yang akan dicacah harus bersih, sehingga cacahan yang dihasilkan tidak mengandung bahan – bahan yang berasal dari produk minuman sebelumnya.
3. Setelah dicacah-pun, cacahan harus dibersihkan kembali, karena kondisi mesin pencacahan yang kurang bersih, sehingga setelah dicacah, hasil cacahan menjadi kotor kembali.
4. Pembersihan dilakukan dengan menggunakan soda api atau deterjen pencuci. Pengaruh dari pembersihan dengan menggunakan kedua bahan ini tidak dianalisa pengaruhnya terhadap campuran beton.

5. Cacahan yang digunakan harus dalam kondisi kering. Hal ini memudahkan dalam hal penimbangan dan penggunaan, serta untuk mengontrol jumlah air dalam campuran.
6. Jumlah cacahan yang digunakan berdasarkan fraksi volume, sehingga kadar variasi cacahan akan sangat dipengaruhi oleh berat jenis plastik. Pengujian terhadap berat jenis dilakukan sebagai pembandingan terhadap data yang di dapat dari literature, dan setelah dilakukan pengujian, ternyata berat jenis plastik *polypropylene* tidak jauh berbeda dengan literature, sehingga digunakan nilai dari literature.

4.2. PENGUJIAN TERHADAP BETON MUDA

Pengujian terhadap beton muda dilakukan menggunakan analisa nilai *slump* beton segar yang baru selesai dicampur.

Dari Tabel 4.3 dan Grafik 4.1 dapat dilihat perubahan nilai *slump* beton untuk setiap variasi penambahan kadar cacahan *polypropylene*. Untuk penambahan sampai 0,3% nilai *slump* beton yang terjadi konstan, kemudian terjadi penurunan nilai *slump* dari kadar 0,3% sampai kadar 2% dengan fungsi $y = -5,337x + 13,6$; dimana y adalah nilai *slump* (cm) dan x adalah nilai kadar penambahan cacahan plastik *polypropylene* dalam campuran beton. Kemudian nilai *slump* menurun dengan kemiringan yang lebih landai dengan fungsi $y = -2x + 7$; sehingga bila mengacu pada fungsi ini, nilai *slump* nol akan tercapai pada penambahan kadar 3,5%.

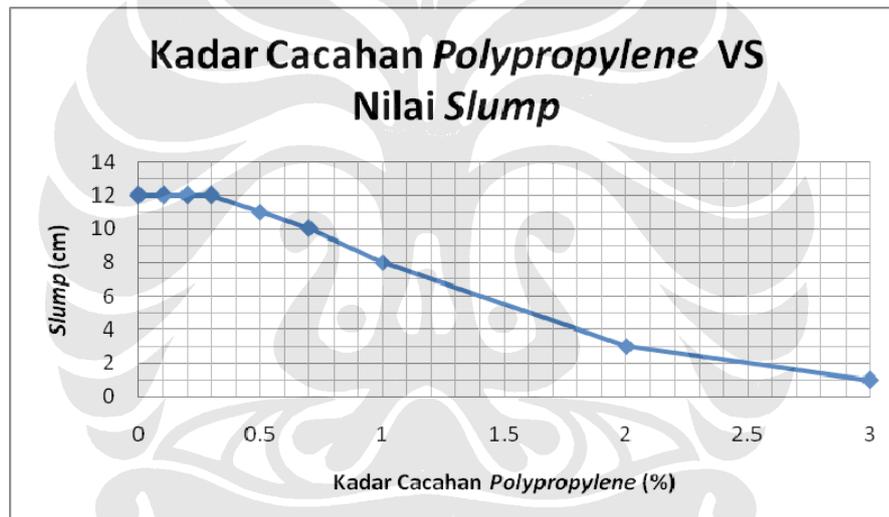
Semakin rendah nilai *slump* menunjukkan :

1. Workabilitas campuran yang semakin menurun, sehingga campuran beton muda semakin sulit untuk dipindahkan dan dicetak. Hal ini akan berakibat pada peningkatan jumlah rongga udara pada benda uji, karena tahap pemadatan sulit dilakukan.
2. Penurunan nilai *slump* juga menunjukkan penurunan jumlah kandungan air dalam campuran. Hal ini diakibatkan oleh penambahan jumlah cacahan dengan komposisi jumlah air yang tetap, sehingga

kandungan air dalam campuran semakin menurun untuk setiap penambahan jumlah kadar cacahan. (*band: Lampiran*)

Tabel 4.3. Nilai *Slump* Beton untuk setiap kadar cacahan *Polypropylene*

Kadar Cacahan <i>Polypropylene</i>	<i>Slump</i>	Kadar Cacahan <i>Polypropylene</i>	<i>Slump</i>
0%	12	0,7 %	10
0,1 %	12	1%	8
0,2 %	12	2%	3
0,3 %	12	3%	1
0,5 %	11		



Grafik 4.1. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Nilai *Slump*

4.3. PENGUJIAN TERHADAP KUAT TARIK

4.3.1. Analisa Data Uji Kuat Tarik Belah

Analisa terhadap data uji kuat tarik belah dilakukan melalui dua pendekatan yaitu analisa secara kuantitatif dan analisa secara kualitatif. Analisa secara kuantitatif mencakup analisa terhadap data hasil uji kuat tarik belah yang di dapat, sedangkan analisa secara kualitatif dilakukan terhadap pola retak yang terjadi pada benda uji.

4.3.1.1. Analisa Kuantitatif

Tabel 4.4. Berat dan Tegangan Tarik pada Benda Uji umur 7 hari

Kadar Cacahan (%)	Berat (g)	Tegangan Tarik (MPa)	Kadar Cacahan (%)	Berat (g)	Tegangan Tarik (MPa)
0	12054	2,217	0,7	11843	2,079
	11880	2,079		12007	2,356
	11991	2,009		11966	2,148
0,1	11971	2,321	1	11982	2,183
	11956	1,732		11969	2,252
	12003	2,425		11775	2,183
0,2	11935	2,148	2	11719	1,421
	11916	2,183		11991	2,495
	12067	2,217		11964	2,564
0,3	12095	2,148	3	11813	2,148
	11938	2,598		11845	2,079
	12031	2,252		11621	2,113
0,5	11964	1,940			
	11954	1,351			
	12151	2,876			

Tabel 4.5. Kenaikan Tegangan Tarik rata – rata pada Benda Uji umur 7 hari

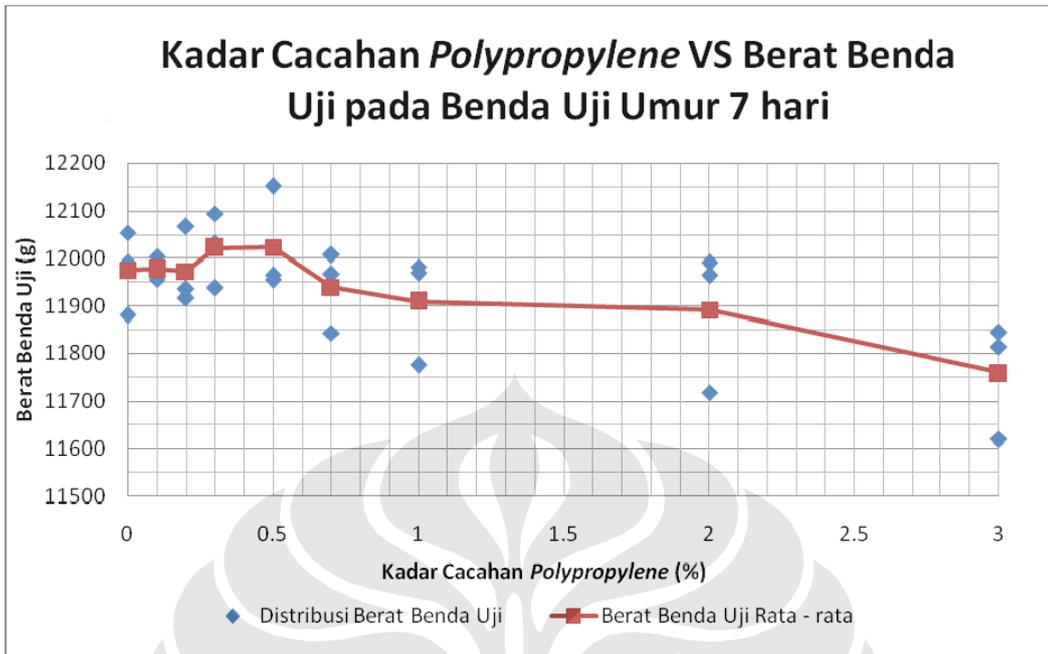
Kadar Cacahan (%)	Tegangan Tarik rata - rata (MPa)	Kenaikan Tegangan Tarik rata - rata (%)
0	2,102	0
0,1	2,160	2,747
0,2	2,183	3,846
0,3	2,333	10,989
0,5	2,056	-2,19
0,7	2,194	4,396
1	2,206	4,945
2	2,160	2,747
3	2,113	0,549

Tabel 4.6. Berat dan Tegangan Tarik pada Benda Uji umur 28 hari

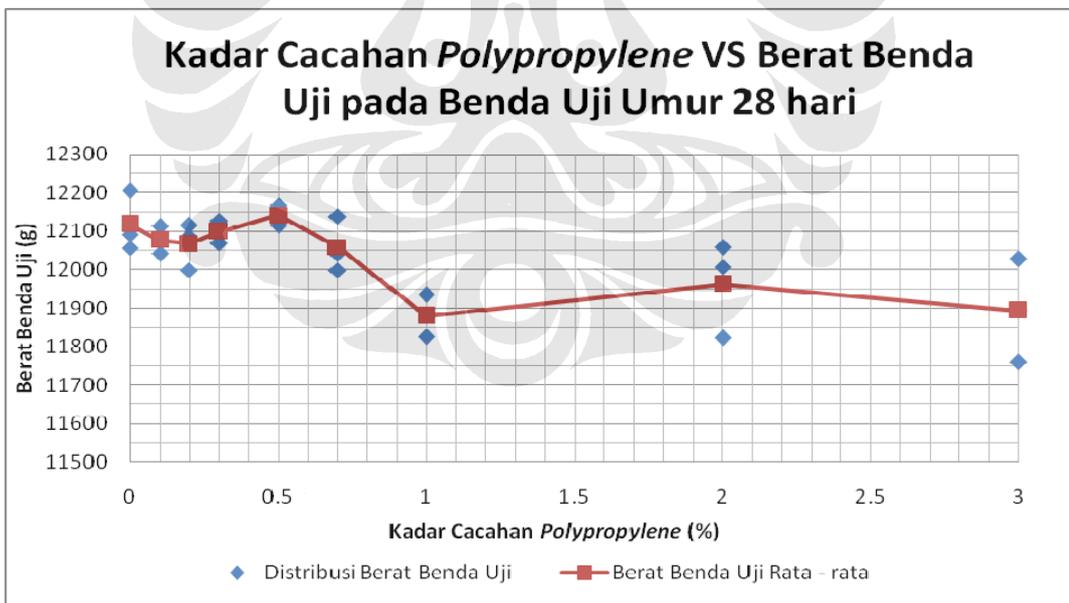
Kadar Cacahan (%)	Berat (g)	Tegangan Tarik (MPa)	Kadar Cacahan (%)	Berat (g)	Tegangan Tarik (MPa)
0	12205	3,361	0,7	12041	2,356
	12056	2,633		11999	2,148
	12092	3,049		12138	2,356
0,1	12076	2,044	1	11881	2,425
	12113	2,737		11934	2,702
	12041	2,010		11826	2,737
0,2	12115	3,395	2	12057	2,425
	12086	3,395		12007	2,841
	11999	2,772		11823	2,772
0,3	12102	2,668	3	12028	2,425
	12069	2,772		11894	2,772
	12127	2,425		11760	2,564
0,5	12168	3,049			
	12138	2,494			
	12116	2,148			

Tabel 4.7. Kenaikan Tegangan Tarik rata – rata pada Benda Uji umur 28 hari

Kadar Cacahan (%)	Tegangan Tarik rata - rata (MPa)	Kenaikan Tegangan Tarik rata - rata (%)
0	3,014	0
0,1	2,264	-24,904
0,2	3,187	5,747
0,3	2,622	-13,027
0,5	2,564	-14,943
0,7	2,287	-24,138
1	2,622	-13,027
2	2,679	-11,111
3	2,587	-14,176



Grafik 4.2. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Berat Benda Uji pada Benda Uji Umur 7 hari



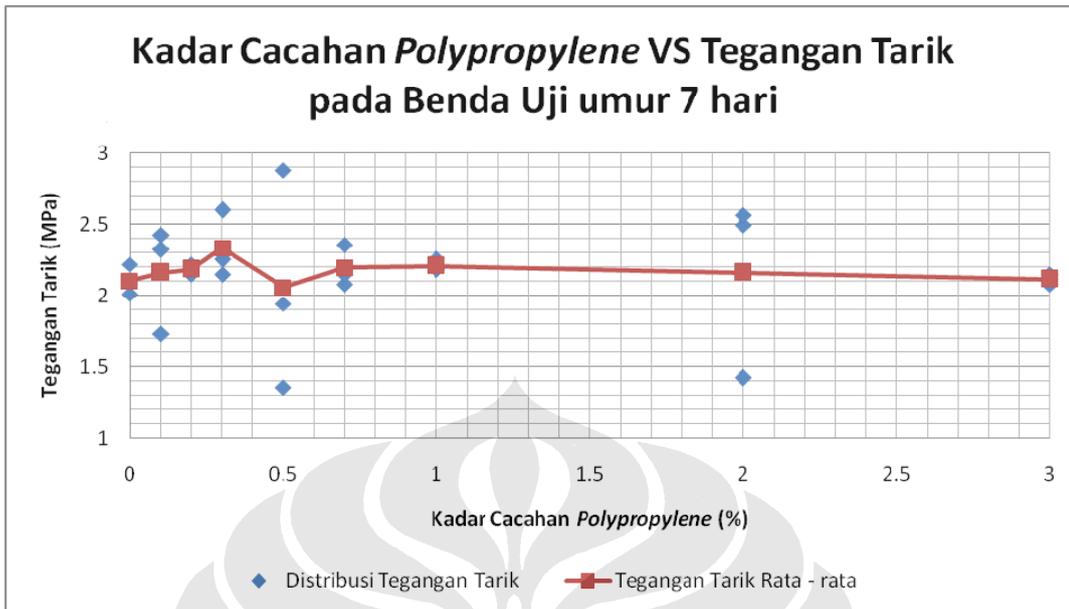
Grafik 4.3. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Berat Benda Uji pada Benda Uji Umur 28 hari

Dari grafik 4.2 dapat dilihat pengaruh kadar cacahan *polypropylene* terhadap berat benda uji pada benda uji umur 7 hari. Sampai kadar 0,5%, tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap berat benda uji, namun untuk kadar di atas 0,5% sampai 1% mulai terdapat penurunan berat benda uji, kemudian konstan sampai 2% dan kembali menurun sampai variasi 3%. Penurunan berat benda uji, secara langsung disebabkan oleh jumlah rongga udara yang semakin besar.

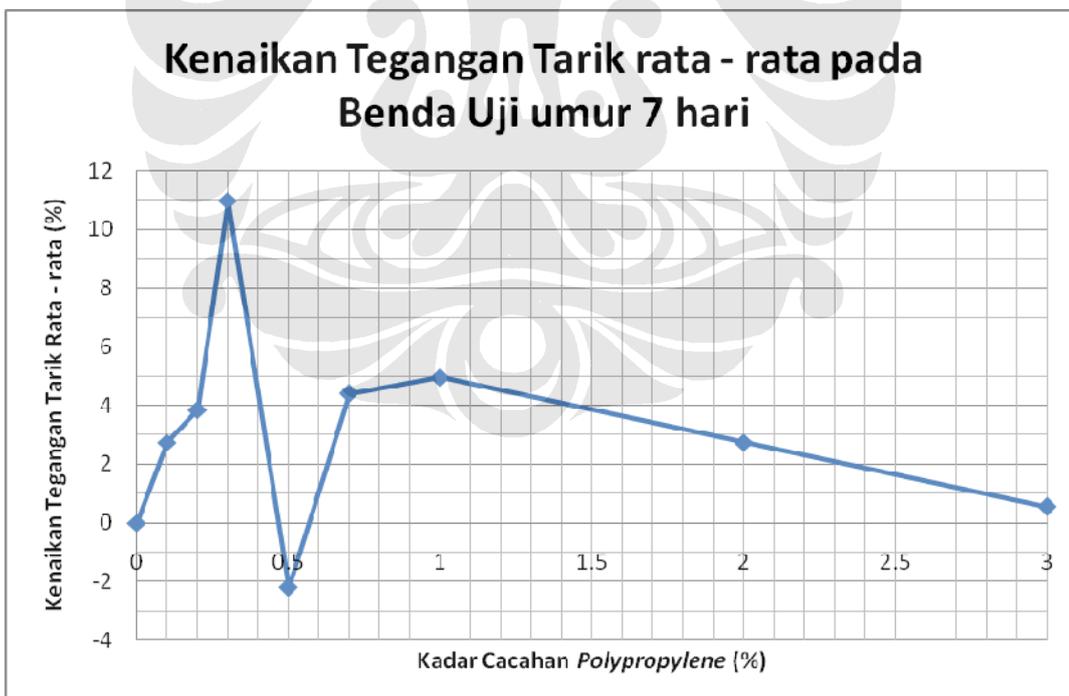
Sedangkan bila kita bandingkan dengan grafik 4.3, dapat dilihat pada pembuatan benda uji umur 28 hari, sama seperti benda uji umur 7 hari, berat benda uji sampai penambahan kadar 0,5% memiliki berat yang cenderung konstan, kemudian terjadi penurunan sampai kadar 1%. Berbeda dengan benda uji umur 7 hari, pada penambahan kadar di atas 1% sampai 3%, pada benda uji umur 28 hari memiliki berat yang cenderung lebih konstan dibanding benda uji umur 7 hari. Hal ini karena pada pembuatan benda uji umur 28 hari dilakukan pemadatan yang lebih baik, setelah pengalaman pada saat pembuatan benda uji umur 7 hari yang relatif kurang padat.

Penurunan berat benda uji dari kadar 0,5% sampai 1% dapat disebabkan oleh :

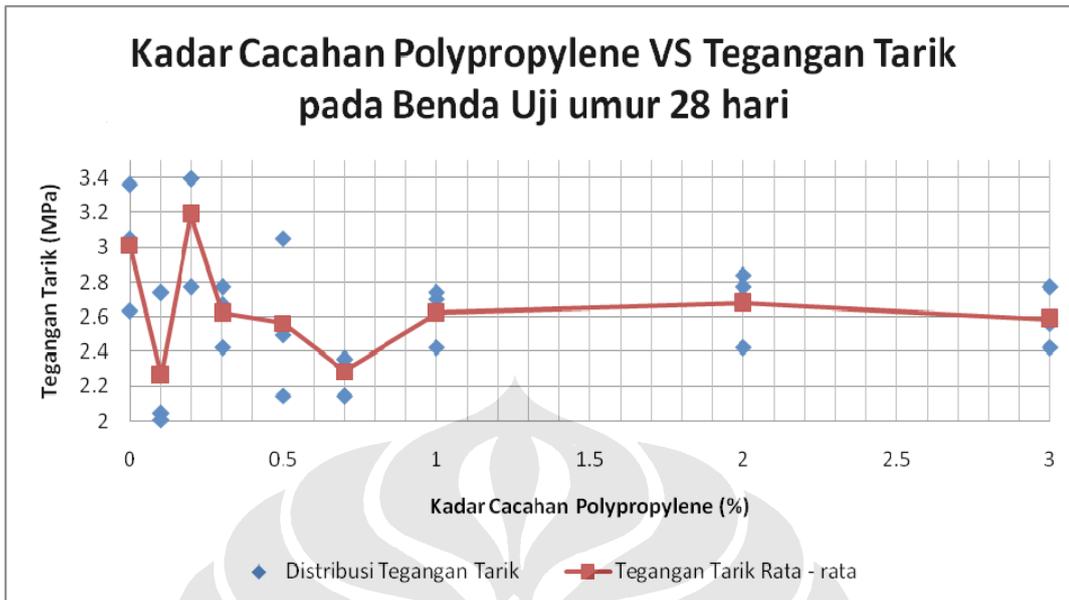
1. dengan meningkatnya jumlah cacahan *polypropylene*, maka campuran yang dibuat memiliki workabilitas yang lebih kecil, hal ini juga dapat dilihat dari penurunan nilai *slump* campuran. Workabilitas yang rendah ini, menyebabkan sulitnya dilakukan pemadatan pada saat pencetakan, sehingga beton menjadi keropos dan memiliki banyak rongga udara
2. Untuk campuran 1% sampai 3%, berat benda uji cenderung konstan setelah penurunan sebelumnya. Penurunan dapat disebabkan karena jumlah plastik dalam campuran semakin banyak. Dimungkinkan dengan meningkatnya jumlah cacahan plastik, ikatan antara plastik dengan campuran beton normal tidak mampu mengisi rongga udara dalam campuran, sehingga timbul banyak rongga udara dalam benda uji yang menyebabkan benda uji terisi udara yang relatif lebih ringan dibanding campuran beton.



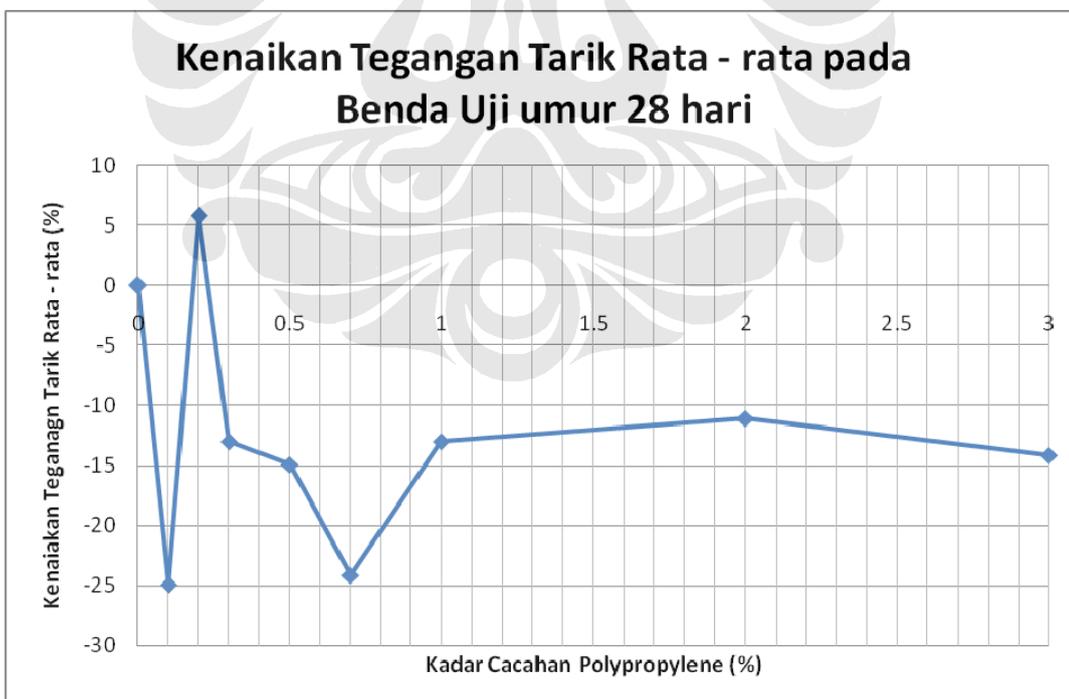
Grafik 4.4. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Tegangan Tarik pada Benda Uji Umur 7 hari



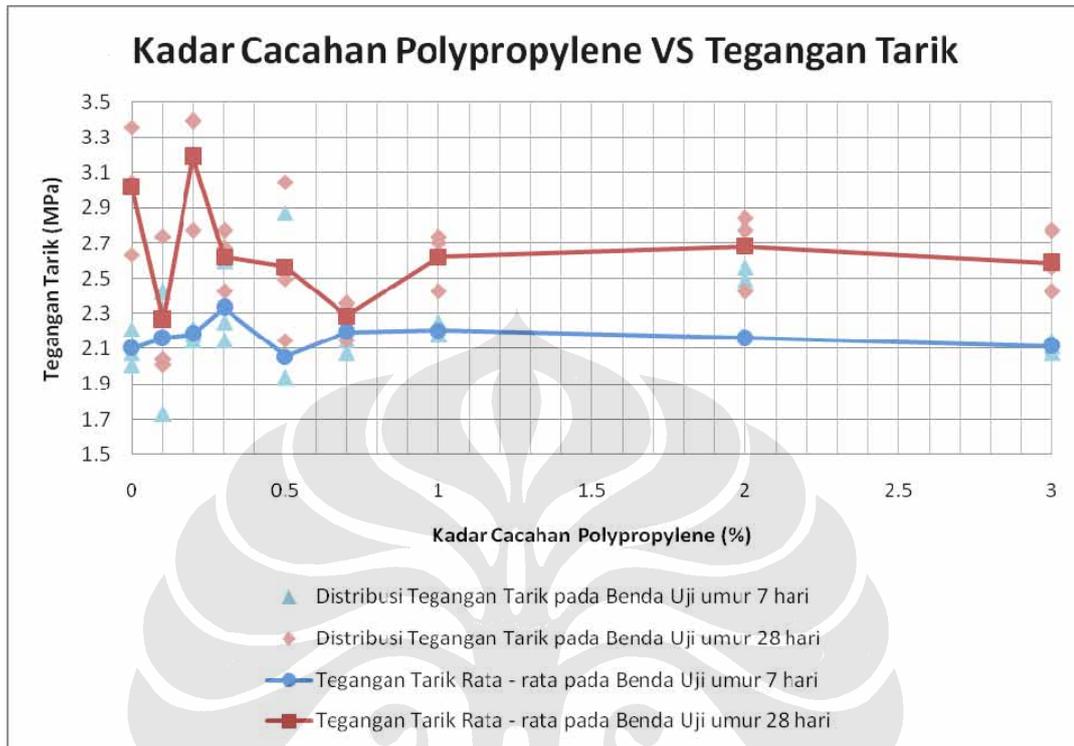
Grafik 4.5. Kenaikan Tegangan Tarik rata – rata pada Benda Uji umur 7 hari



Grafik 4.6. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Tegangan Tarik pada Benda Uji Umur 28 hari



Grafik 4.7. Kenaikan Tegangan Tarik rata – rata pada Benda Uji umur 28 hari



Grafik 4.8. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Tegangan Tarik

Dari grafik 4.4 dan 4.5 dapat dilihat bahwa, hasil pengujian pada benda uji umur 7 hari menunjukkan penggunaan cacahan plastik *polypropylene* dalam campuran beton normal tidak mempengaruhi kuat tarik (dalam hal ini tegangan tariknya) beton. Peningkatan tegangan tarik yang paling tinggi hanya mencapai sekitar 11% pada kadar cacahan 0,3%. Kemudian terjadi fluktuasi peningkatan tegangan tarik, namun tidak secara signifikan.

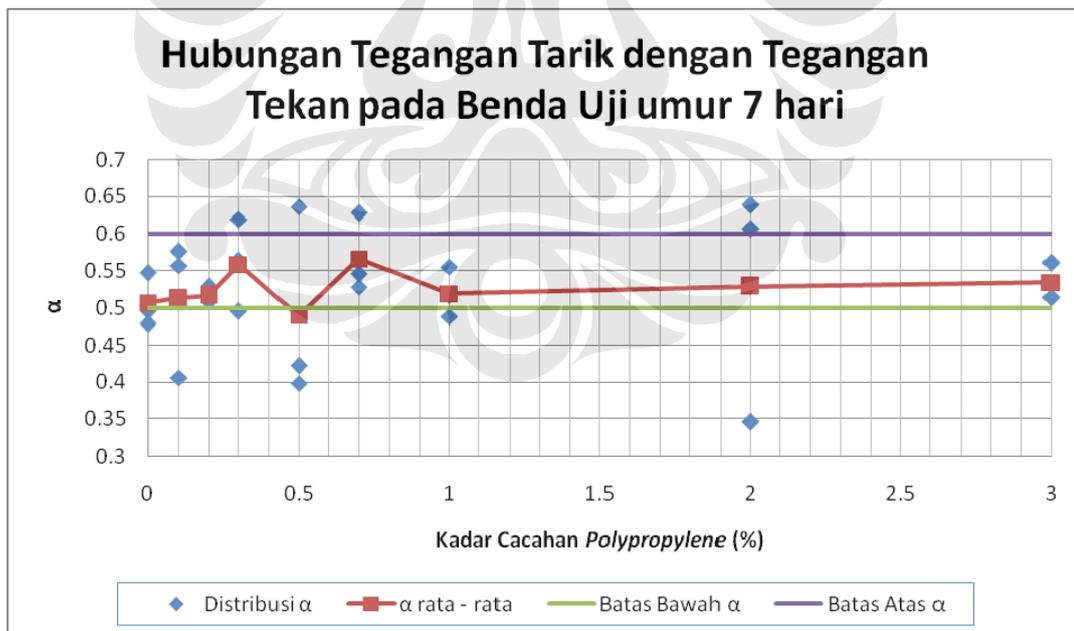
Sedangkan grafik 4.6 dan 4.7 menunjukkan pada benda uji umur 28 hari, tegangan tarik beton dengan penambahan kadar plastik *polypropylene* justru menurun, bahkan sangat signifikan pada kadar 0,1% terjadi penurunan sampai hampir 25%., kemudian meningkat pada kadar 0,2%, lalu turun pada kadar 0,3% yang dilanjutkan dengan fluktuasi hasil dari kadar 0,5% sampai kadar 3%

Bila kita bandingkan antara tegangan tarik pada benda uji umur 7 hari dan 28 hari, seperti pada grafik 4.8, ada beberapa hal yang dapat dicermati, antara lain:

1. Dapat dilihat bahwa tegangan tarik pada umur 28 hari lebih besar dari 7 hari. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa tegangan yang terjadi akan meningkat seiring peningkatan umur beton, dimana ikatan antara material campuran beton semakin besar, dan optimum pada 28 hari.
2. Tren yang terjadi pada benda uji dengan kadar cacahan 0,5% lalu 1% sampai 3% cenderung sama, sehingga tidak perlu dilakukan analisa
3. Untuk Kadar 0,7% terlihat tren yang berbeda, dimana terjadi penurunan pada benda uji umur 28 hari, sedangkan peningkatan tegangan tarik pada benda uji umur 7 hari. Hal ini dimungkinkan karena benda uji tidak dibuat dalam satu adukan, sehingga terjadi perbedaan homogenitas pada keduanya
4. Bila dicermati lebih lanjut, pada kadar 0,3% perbedaan tren yang terjadi diakibatkan oleh benda uji umur 7 hari, dengan deviasi yang cukup besar. Hal ini dimungkinkan karena untuk benda uji ini dilakukan perbedaan pengeringan benda uji, yaitu dengan dioven selama setengah hari, sehingga kemungkinan data yang di dapat kurang akurat.
5. Untuk benda uji 0% dan 0,2% kemungkinan terjadi ketidak akuratan data pada benda uji umur 28 hari. Hal ini dapat dilihat dari deviasi data uji yang cukup besar. Kemungkinan posisi pengujian menjadi penyebab ketidak akuratan data yang terjadi.
6. Untuk benda uji 0,1% tidak diketahui apa yang menjadi penyebab perbedaan tren yang terjadi, namun analisa pola retak dapat membantu menjelaskan permasalahan ini.
7. Secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa penggunaan cacahan plastik *polypropylene* tidak mempunyai pengaruh yang cukup berarti pada peningkatan tegangan tarik beton normal

Tabel 4.8. Hubungan Tegangan Tarik dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji umur 7 hari

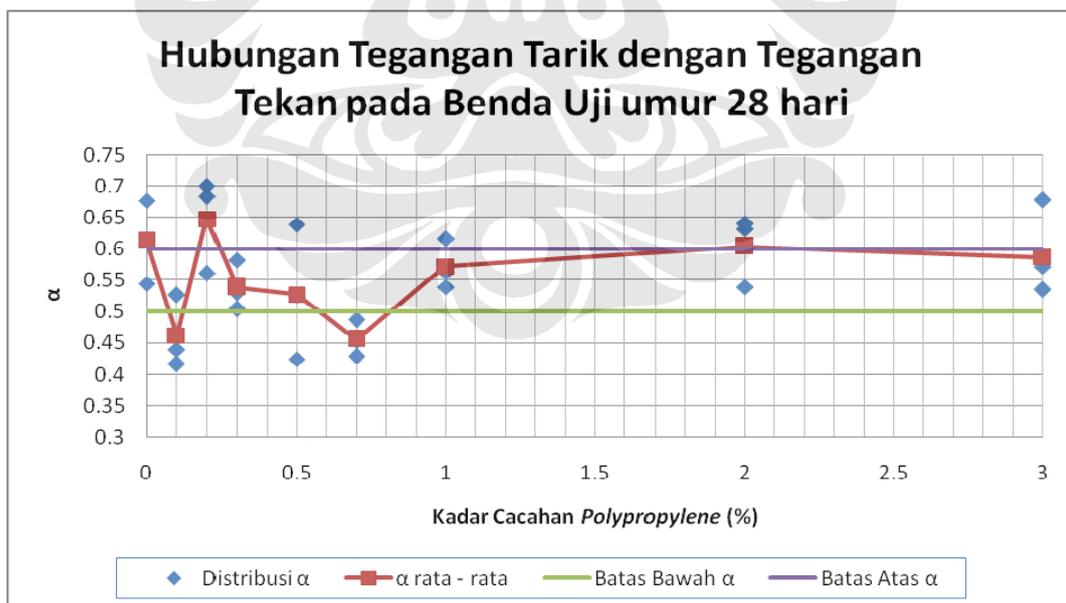
Variasi Kadar Cacahan (%)	Tegangan Tekan (MPa)	Tegangan Tarik (MPa)	Hubungan Tegangan Tarik dan Tegangan Tekan
0	17,215	2,102	$0,507 \sqrt{f'_c}$
0,1	17,763	2,160	$0,512 \sqrt{f'_c}$
0,2	17,880	2,183	$0,516 \sqrt{f'_c}$
0,3	17,450	2,333	$0,558 \sqrt{f'_c}$
0,5	17,684	2,056	$0,489 \sqrt{f'_c}$
0,7	15,024	2,194	$0,566 \sqrt{f'_c}$
1	18,076	2,206	$0,519 \sqrt{f'_c}$
2	16,667	2,160	$0,529 \sqrt{f'_c}$
3	15,650	2,113	$0,534 \sqrt{f'_c}$



Grafik 4.9. Hubungan Tegangan Tarik dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji umur 7 hari

Tabel 4.9. Hubungan Tegangan Tarik dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji umur 28 hari

Variasi Kadar Cacahan (%)	Tegangan Tekan (MPa)	Tegangan Tarik (MPa)	Hubungan Tegangan Tarik dan Tegangan Tekan
0	24,218	3,014	$0,612 \sqrt{f'_c}$
0,1	23,944	2,264	$0,462 \sqrt{f'_c}$
0,2	24,218	3,187	$0,648 \sqrt{f'_c}$
0,3	23,709	2,622	$0,538 \sqrt{f'_c}$
0,5	23,631	2,564	$0,527 \sqrt{f'_c}$
0,7	23,983	2,287	$0,467 \sqrt{f'_c}$
1	21,010	2,622	$0,572 \sqrt{f'_c}$
2	19,719	2,679	$0,603 \sqrt{f'_c}$
3	19,445	2,587	$0,587 \sqrt{f'_c}$



Grafik 4.10. Hubungan Tegangan Tarik dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji umur 28 hari

Grafik 4.9 dan 4.10 menunjukkan hubungan antara tegangan tarik dengan tegangan tekan yang disimbolkan dengan α , dimana

$$\alpha = \frac{\sigma_t}{\sqrt{f_c}} \dots\dots\dots(4.1)$$

Bila kita bandingkan dengan standar yang ditetapkan, dimana tegangan tarik berkisar antara $0,5 - 0,6 \sqrt{f_c}$, maka tabel 4.8 dan grafik 4.9 menunjukkan untuk benda uji umur 7 hari, hubungan ini dapat dicapai. Hanya pada kadar 0,5% tegangan tariknya tidak mencapai hubungan ini. Hal ini dapat dilihat adanya penurunan yang cukup besar pada tegangan tariknya, sedangkan tegangan tekan mengalami sedikit kenaikan. Dimungkinkan hasil uji tegangan tarik pada kadar 0,5% tidak akurat, hal ini diperkuat dengan distribusi tegangan tarik pada kadar ini yang memiliki standar deviasi yang cukup besar dibanding distribusi pada variasi lain. Selain itu, keterbatasan kapasitas mesin pencampur menyebabkan pembuatan benda uji untuk pengujian tarik dengan tekan pada kadar ini tidak dibuat dalam satu adukan, sehingga sulit untuk memastikan homogenitas campuran keduanya.

Dapat kita lihat beberapa kasus yang memiliki deviasi yang cukup besar ada pada kadar 0,5% dan 2%. Untuk kadar 2% sendiri terdapat 1 benda uji yang cukup menyimpang, hal ini dimungkinkan terjadi perbedaan saat pematatan benda uji, sehingga benda uji tidak penuh, dan memiliki tegangan tarik yang lebih kecil. Sayangnya pada kadar ini tidak dapat dilakukan analisa pola retak, karena tidak ada dokumentasi yang direkam untuk benda uji pada kadar ini

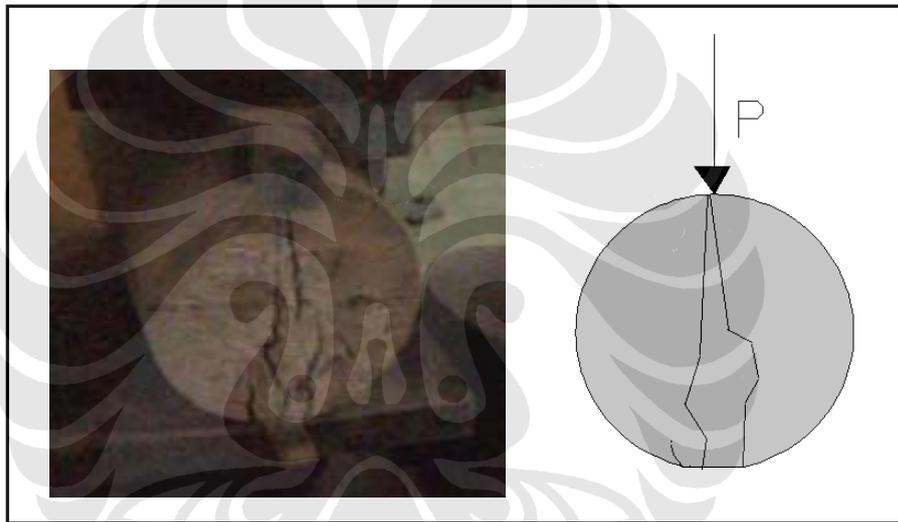
Untuk benda uji umur 28 hari, Bila dilihat dari tabel 4.9 dan grafik 4.10, pada kadar 0%, tegangan tarik melebihi $0,6 \sqrt{f_c}$ yang merupakan batas atas-nya, sehingga dimungkinkan pada pengujian beton normal, retak yang terjadi tidak akibat tarik murni, melainkan adanya pengaruh geser. Hal ini juga terjadi pada kadar 0,2%. Sedangkan pada kadar 0,1% dan 0,7% tegangan tarik tidak mencapai $0,5 \sqrt{f_c}$. Untuk kadar 0,7% dimungkinkan karena perbedaan mesin pencampur yang digunakan,

sehingga tidak terjadi homogenitas antara benda uji tarik dengan tekan. Sedangkan benda uji kadar 0,1% memang diakibatkan oleh penurunan tegangan tarik yang cukup signifikan seperti sudah dijelaskan sebelumnya.

4.3.1.2. Analisa Kualitatif

Analisa secara kualitatif dilakukan dengan melihat pola retak yang terjadi pada benda uji saat dibebani. Namun karena keterbatasan dokumentasi yang direkam, maka analisa terhadap pola retak dilakukan terhadap benda uji yang terdokumentasi.

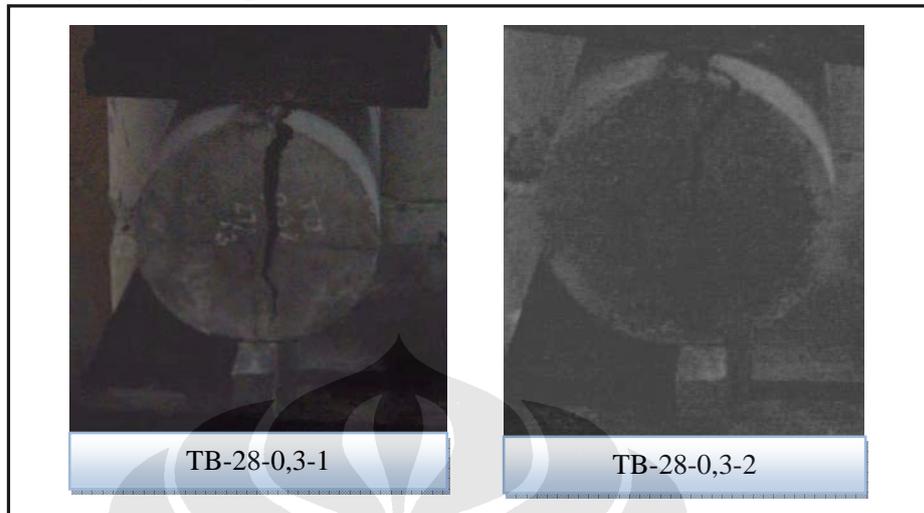
1. Benda Uji 0,1 % pada Umur 7 hari



Gambar 4.1. Pola Retak Benda Uji TB-7-0,1-1

Gambar 4.1 menunjukkan pola keretakan yang terjadi pada benda uji ini disebabkan oleh bentuk benda uji yang tidak bulat sempurna, dan terdapat bagian silinder yang pipih pada bagian bawah posisi uji. Hal ini menyebabkan ketika dibebani, maka beban terdistribusi pada sepanjang bagian pipih ini, dan menghasilkan keretakan di tiga tempat. Namun bila dilihat dari pola keretakkannya, maka retak yang terjadi dihasilkan oleh tarik murni yang terjadi di beberapa tempat.

2. Benda Uji 0,3 % pada Umur 28 hari



Gambar 4.2. Pola Retak Benda Uji 0,3% pada umur 28 hari

Pada Gambar 4.2, pola keretakan pada benda uji TB-28-0,3-1, cukup sering terjadi, dimana bila diperhatikan, benda uji terbelah tidak tepat pada titik dimana pelat besi berada. Hal ini sangat mungkin terjadi karena posisi silinder pada saat pengujian tidak tepat, sehingga pembebanan yang terjadi tidak terpusat di pelat baja, tapi ada yang terkena langsung ke benda uji, hal ini menyebabkan terjadinya pergeseran titik retak.

Sedangkan pola keretakan pada benda uji TB-28-0,3-2, pergeseran garis retak terjadi pada ujung silinder, hal ini diakibatkan karena pelat besi yang digunakan sudah bengkok akibat pembebanan sebelumnya, sehingga pembebanan yang terjadi tidak menyeluruh di benda uji, yang pada akhirnya menyebabkan pergeseran retak pada ujung silinder.

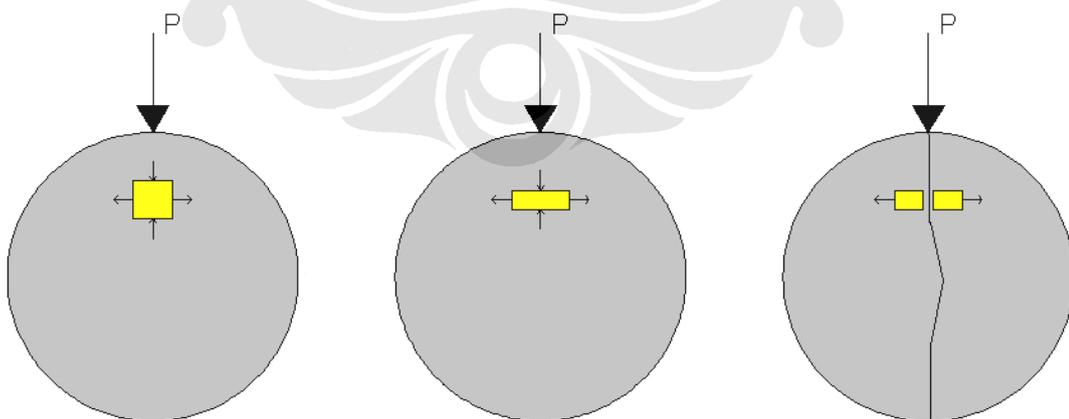
3. Benda Uji 1% pada umur 28 hari

Pola retak seperti pada gambar 4.3 inilah yang seharusnya terjadi, artinya retak yang terjadi murni akibat tarik, sehingga garis retak yang terjadi relatif lurus melintang. Garis retak yang terjadi sendiri beralur mengikuti komposisi material campuran beton.



Gambar 4.3. Pola Retak Benda Uji TB-28-1-1

Sedangkan mekanisme keruntuhan tarik murni yang terjadi dimodelkan dalam gambar 4.4, dimana bila kita tinjau suatu elemen persegi pada benda uji, akan terjadi robek akibat tarik pada elemen tersebut. Robek yang terjadi dimulai dari elemen yang dibebani, kemudian merambat sampai benda uji terbelah.



Gambar 4.4. Mekanisme keruntuhan akibat tarik murni



Gambar 4.5. Benda Uji TB-28-1-2 yang sudah terbelah

Gambar 4.5 menunjukkan, pada benda uji ini, retak terjadi baik memanjang dan melintang benda uji. Kemungkinan hal ini diakibatkan oleh benda uji yang keropos, sehingga ketika dibebani sudah terjadi keretakan pada arah melintang terlebih dahulu.

4. Benda Uji 3% pada umur 7 hari



Gambar 4.6. Pola Retak Benda Uji TB-7-3-1

Pola retak seperti pada gambar 4.6 terjadi di beberapa tempat, yang kemungkinan diakibatkan oleh benda uji yang keropos, sehingga ketika dibebani, tegangan tarik tidak terkonsentrasi pada elemen tengah, namun juga menjalar ke tempat dimana rongga udara terjadi, sehingga retak terjadi di beberapa tempat.



Gambar 4.7. Pola Retak Benda Uji TB-7-3-2

Pola retak seperti ini terjadi kemungkinan adanya rongga yang tidak penuh pada bagian retak yang ada, sehingga retak tidak terjadi tepat di tengah, namun terjadi pergeseran di daerah terdapat rongga. Rongga terjadi akibat pemadatan yang kurang, sehingga beton menjadi keropos.



Gambar 4.8. Pola Retak Benda Uji TB-7-3-3

Pola retak yang digambarkan pada gambar 4.8 cukup baik bila dilihat secara langsung, artinya retak yang terjadi sesuai dengan yang diharapkan, dimana bila dilihat dari garis retaknya terjadi tarik murni pada benda uji.

5. Benda Uji 0,7% pada umur 28 hari



Gambar 4.9. Pola Retak Benda Uji TB-7-0,7-1

Kasus seperti gambar 4.9 sama dengan yang terjadi pada gambar 4.2, benda uji 2 kadar 0,3% umur 28 hari. Namun pada gambar 4.9 terlihat lebih jelas bahwa pembebanan tidak terjadi merata di sepanjang silinder akibat pelat besi yang sudah bengkok, sehingga terjadi pergeseran garis retak benda uji.



Gambar 4.10. Pola Retak Benda Uji TB-7-0,7-2

Pada gambar 4.10 terlihat jelas pada benda uji ini, retak terjadi karena pembebanan langsung pada benda uji. Dimungkinkan pada saat pembebanan digunakan pelat besi yang pendek, sehingga tidak menjangkau keseluruhan silinder, dan terjadi pembebanan langsung pada ujung benda uji.



Gambar 4.11. Pola Retak Benda Uji TB-7-0,7-3

Dari gambar 4.11 terlihat jelas pada saat pengujian terjadi pergeseran posisi pelat besi. Hal ini terjadi karena penempatan posisi pengujian yang tidak tepat, menyebabkan pergeseran pelat besi, sehingga beban terkena langsung pada benda uji.

4.3.2. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Secara umum, penggunaan cacahan plastik *polypropylene* tidak mempunyai pengaruh pada tegangan tarik beton. Namun analisa pola retak yang terjadi menunjukkan masih banyak benda uji yang tidak mengalami retak akibat tarik murni seperti yang diharapkan, dan adanya pengaruh geser pada tegangan.

Cacahan tidak memiliki pengaruh berarti terhadap tegangan tariknya, dimungkinkan karena gaya adhesi antara plastik dengan matriks beton lebih lemah dari kohesi antara matriks beton itu sendiri.

4.4. PENGUJIAN TERHADAP KUAT LENTUR

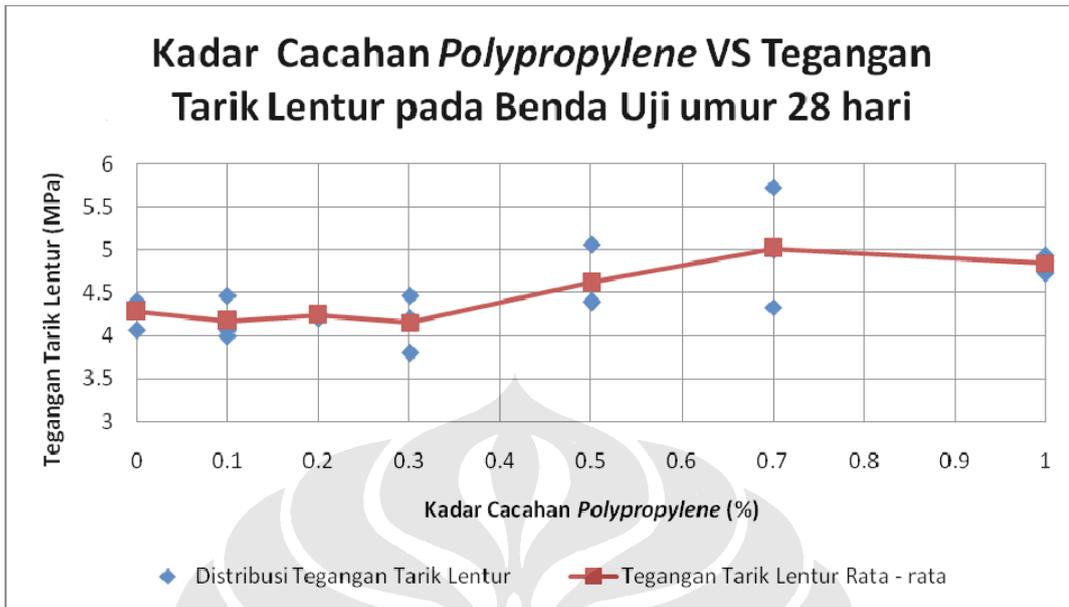
4.4.1. Analisa Data Uji Kuat Lentur

Analisa terhadap data uji kuat lentur juga dilakukan melalui dua pendekatan yaitu analisa secara kuantitatif dan analisa secara kualitatif. Analisa secara kuantitatif mencakup analisa terhadap data hasil uji kuat lentur yang di dapat, sedangkan analisa secara kualitatif dilakukan terhadap pola retak yang terjadi pada benda uji.

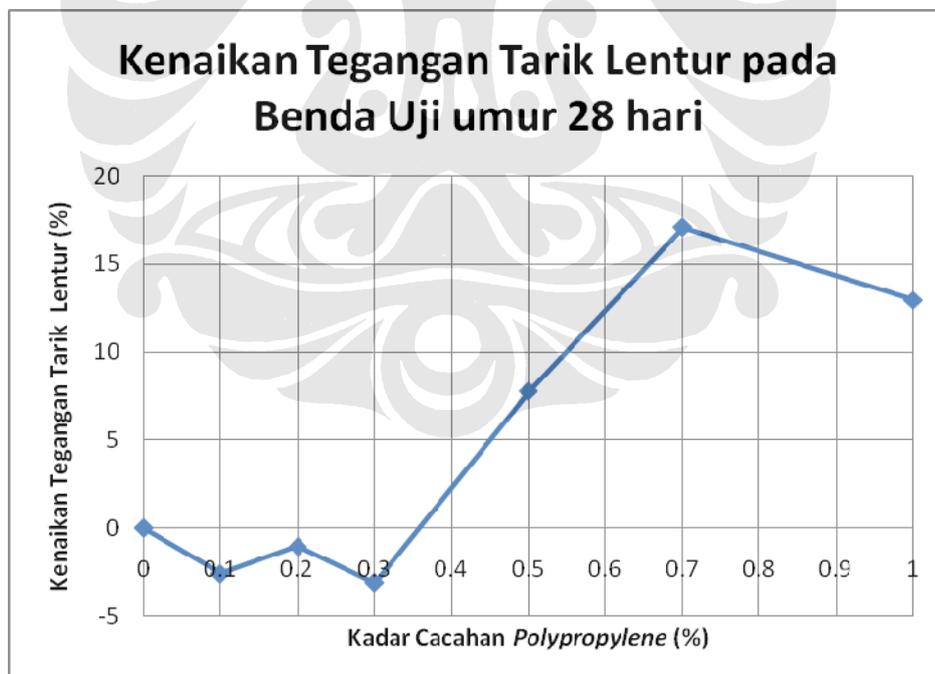
4.4.1.1. Analisa Kuantitatif

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Tegangan Tarik Lentur

Variasi Kadar Cacahan (%)	Tegangan Tarik Lentur (MPa)	Tegangan Tarik Lentur Rata - rata (MPa)	Kenaikan Tegangan Lentur (%)
0	4,063	4,285	0
	4,396		
	4,396		
0,1	3,996	4,174	-2,591
	4,462		
	4,063		
0,2	4,262	4,240	-1,036
	4,196		
	4,262		
0,3	4,462	4151	-3,109
	3,796		
	4,196		
0,5	4,396	4,618	7,772
	5,062		
	4,396		
0,7	5,727	5,017	17,098
	4,995		
	4,329		
1	4,928	4,840	12,953
	4,862		
	4,729		



Grafik 4.11. Kadar Cacahan *Polypropylene* VS Tegangan Tarik Lentur pada Benda Uji Umur 28 hari



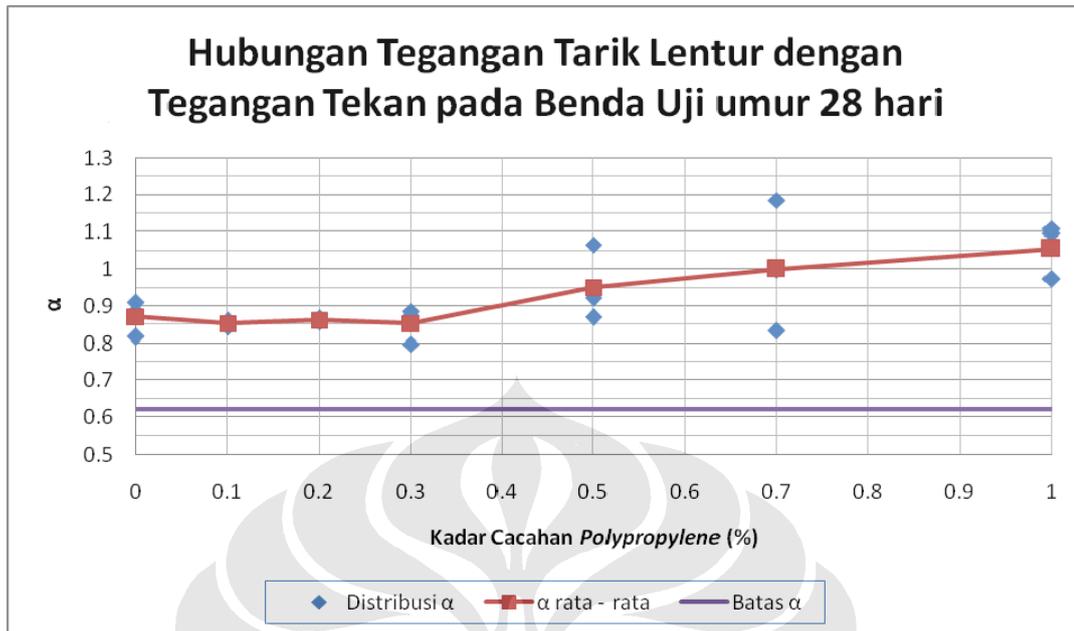
Grafik 4.12. Kenaikan Tegangan Tarik Lentur pada Benda Uji umur 28 hari

Dari grafik 4.11 dan 4.12, terlihat bahwa penggunaan cacahan plastik *polypropylene* lebih terlihat pengaruhnya pada tegangan tarik lenturnya. Dari uji lentur yang dilakukan, dapat dilihat bahwa tegangan lentur pada variasi sampai 0,3% cenderung konstan, lalu terjadi kenaikan untuk kadar di atas 0,3%, dan mencapai optimum pada kadar 0,7% dengan peningkatan tegangan tarik lentur sampai 17%, kemudian terjadi penurunan kembali pada kadar 1%. Kemungkinan hal ini diakibatkan oleh ukuran benda uji yang cukup besar, sehingga pada penggunaan kadar yang tidak terlalu besar, tidak mempengaruhi tegangan lentur benda uji.

Tabel 4.11. Hubungan Tegangan Tarik Lentur dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji umur 28 hari

Variasi Kadar Cacahan (%)	Tegangan Tarik Lentur (MPa)	Tegangan Tekan (MPa)	Hubungan Tegangan Tarik Lentur dengan Tegangan Tekan
0	4,284	24,218	$0,871 \sqrt{f'_c}$
0,1	4,174	23,944	$0,853 \sqrt{f'_c}$
0,2	4,240	24,218	$0,862 \sqrt{f'_c}$
0,3	4,151	23,710	$0,853 \sqrt{f'_c}$
0,5	4,618	23,631	$0,950 \sqrt{f'_c}$
0,7	5,017	25,157	$1,000 \sqrt{f'_c}$
1	4,840	21,010	$1,056 \sqrt{f'_c}$

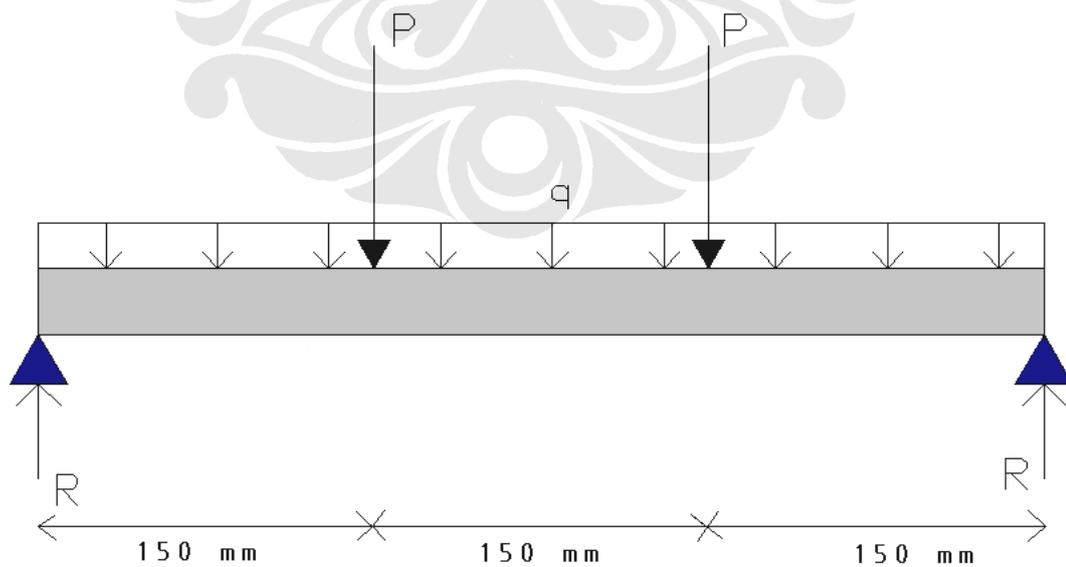
Bila dilihat dari hubungannya dengan tegangan tekan, seharusnya besar tegangan tarik lentur berkisar $0,62 \sqrt{f'_c}$, namun bila dilihat dari tabel 4.11 dan grafik 4.13, maka hampir semua variasi melebihi nilai ini. Peningkatan hubungan tegangan tarik lentur terhadap tegangan tekannya seiring dengan peningkatan jumlah kadar cacahan plastik *polypropylene* yang ditambahkan menunjukkan bahwa penambahan cacahan plastik *polypropylene* akan meningkatkan kekuatan tarik lenturnya.



Grafik 4.13. Hubungan Tegangan Tarik Lentur dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji umur 28 hari

4.4.1.2. Analisa Kualitatif

Secara teoritis, bila kita melakukan pemodelan terhadap pembebanan pada uji kuat lentur, dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12. Permodelan Gaya Luar pada Uji Lentur

Bila P (kN) adalah beban luar yang bekerja pada benda uji, dan q (kN/m) adalah berat sendiri benda uji, maka reaksi perletakan yang terjadi adalah

$$R = \left(\frac{2P + ql}{2} \right) kN = \left(P + \frac{1}{2} ql \right) kN \dots (4.2)$$

Maka bila kita tinjau sepanjang benda uji, gaya dalam yang terjadi adalah sebagai berikut

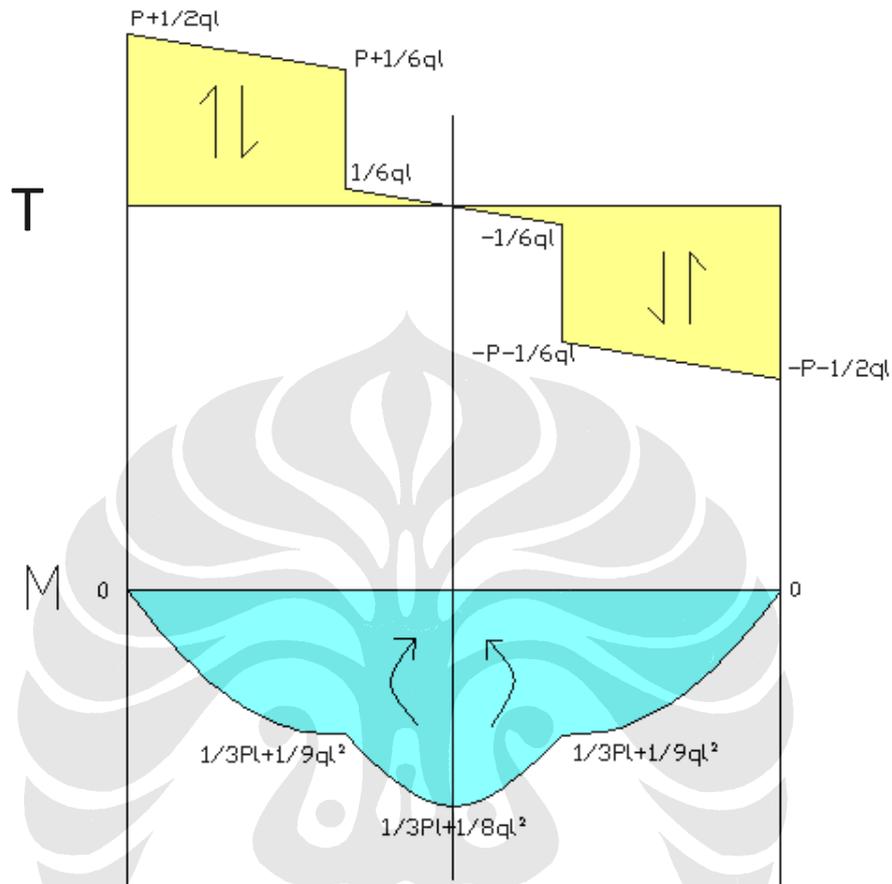
- $0 \leq x \leq \frac{1}{3}l$
 - $T = R - qx = \left[P + \left(\frac{1}{2}l - x \right) q \right] kN \dots (4.3)$
 - $M = \left[Rx - \frac{1}{2} qx^2 \right] kNm \dots (4.4)$
- $\frac{1}{3}l \leq x \leq \frac{2}{3}l$
 - $T = R - P - qx = \left[\left(\frac{1}{2}l - x \right) q \right] kN \dots (4.5)$
 - $M = \left[Rx - \frac{1}{2} qx^2 - P \left(x - \frac{1}{3}l \right) \right] kNm \dots (4.6)$

Maka momen maksimum akan terjadi pada:

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dx} &= 0 \\ R - qx - P &= 0 \\ \left(P + \frac{1}{2} ql \right) - P &= qx, \text{ pada } x = \frac{1}{2} l \dots (4.7) \\ x &= \frac{\frac{1}{2} ql}{q} = \frac{1}{2} l \end{aligned}$$

- $0 \leq x_1 \leq \frac{1}{3}l$
 - $T = -R + qx = \left[-P + \left(-\frac{1}{2}l + x \right) q \right] kN \dots (4.8)$
 - $M = \left[Rx - \frac{1}{2} qx^2 \right] kNm \dots (4.9)$

Dari persamaan 4.7, di dapat bahwa momen maksimum terjadi pada setengah bentang. Gambar 4.13 menunjukkan diagram gaya dalam Lintang dan Momennya . Persamaan 4.7 dan Gambar 4.13 menunjukkan, secara teoritis pada pembebanan uji lentur, retak seharusnya terjadi pada tengah bentang.



Gambar 4.13. Diagram Gaya Dalam pada Benda Uji Lentur

Minimnya dokumentasi menyebabkan analisa terhadap pola retak yang terjadi sulit untuk dilakukan. Namun secara garis besar, pola retak yang terjadi untuk setiap benda uji terjadi pada daerah di antara titik pembebanan. Retak yang terjadi pada benda uji ada yang terletak di tengah benda uji, namun ada juga yang tidak di tengah, namun tetap di daerah antara titik pembebanan. Beberapa contoh pola retak yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.14 dan 4.15



Gambar 4.14. Pola Retak Lentur pada Benda Uji TL-28-0,3-1



Gambar 4.15. Pola Retak Lentur pada Benda Uji TL-28-0,3-2

Pada gambar 4.14, terlihat retak yang terjadi tidak di tengah benda uji, artinya ada pergeseran garis retak. Bila dilihat pada gambar tersebut, terlihat pada saat benda uji terbelah, maka perletakkan dari benda uji terangkat. Kemungkinan hal ini yang menyebabkan beban yang ditransfer tidak tepat ditengah, artinya reaksi yang ditahan perletakkan tersebut tidak simetris, sehingga terjadi pergeseran garis retak. Selain itu bentuk benda uji yang permukaannya tidak rata juga menyebabkan beban yang ditransfer ke benda uji tidak berupa beban terbagi merata, namun ada perputaran sudut, sehingga beban menjadi miring, akibat bentuk geometris benda uji.

Sedangkan pada gambar 4.15, terlihat retak terjadi relatif di tengah bentang benda uji. Hal ini sesuai dengan analisa teoritis yang dilakukan sebelumnya.

4.4.2. Hasil Uji Kuat Lentur

Secara umum, penggunaan plastik cacahan *polypropylene*, terbukti meningkatkan tegangan tarik lentur pada benda uji. Penggunaan paling optimum

dicapai pada kadar 0,7% dengan peningkatan sebesar 17%. Penggunaan cacahan plastik dalam kadar yang rendah tidak memiliki pengaruh berarti pada tegangan tarik lentur benda uji, namun pengaruhnya meningkat seiring peningkatan jumlah cacahan yang digunakan, namun kembali terjadi penurunan pada kadar 1%.

Benda uji yang tidak rata, kemungkinan menjadi penyebab tidak meratanya pembebanan pada benda uji, sehingga ada beberapa benda uji yang mengalami garis retak tidak tetapt di tengah seperti yang dianalisa secara teoritis.

4.5. PENGUJIAN TERHADAP ELASTISITAS

4.5.1. Analisa Data Uji Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson

Pengujian terhadap Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson hanya dilakukan pada benda uji T-28-0,7-3, sehingga data yang didapat kurang dapat menggambarkan pengaruh penambahan cacahan plastik *polypropylene* terhadap kedua nilai ini. Hasil Uji dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12. Nilai Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson pada Benda Uji T-28-0,7-3

Siklus	Modulus Elastisitas (MPa)	Rasio Poisson
1	25504,248	0,231
2	27935,992	0,247
3	25262,555	0,208
Rata - rata	26234,265	0,229

Tabel 4.13. Hubungan Modulus Elastisitas dengan Tegangan Tekan pada Benda Uji T-28-0,7-3

Siklus	Modulus Elastisitas (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	β
1	25504,248	23,475	5263,925
2	27935,992	23,475	5765,823
3	25262,555	23,475	5214,041
Rata - rata	26234,265	23,475	5414,596

Bila Kita Bandingkan dengan nilai f_c' benda uji tersebut, yaitu sebesar 23,475MPa, maka Tabel 4.13 menunjukkan hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekannya yang disimbolkan dengan β , dimana

$$\beta = \frac{E}{\sqrt{f_c'}} \dots\dots\dots(4.10)$$

Nilai β dari persamaan 2.17 adalah sebesar 4730, sehinggabila dilihat dari percobaan pada benda uji tersebut terdapat peningkatan modulus elastisitas sebesar 13,255%, sebenarnya data ini tidak dapat diambil sebagai acuan, karena pengujian tidak dilakukan pada semua benda uji, namun bila melihat peningkatan pada benda uji ini, maka relatif tidak memiliki pengaruh yang berarti. Hal ini diakibatkan, pembebanan yang dilakukan pada uji modulus elastis hanya sebesar 40% dari beban ultimit, sehingga dianggap masih dalam batas elastisnya, artinya, tidak akan mempunyai pengaruh berarti pada nilai modulus elastisitasnya.

Bila mengacu pada standar nilai μ pada beton normal adalah 0,15 – 0,2, maka Tabel 4.12 menunjukkan peningkatan nilai poisson pada benda uji, namun sekali lagi data ini tidak dapat diambil sebagai acuan, karena pengujian tidak dilakukan pada semua benda uji.

4.5.2. Hasil Uji Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson

Hasil Uji modulus elastisitas dan rasio poisson pada percobaan ini tidak dapat diambil sebagai acuan, karena pengujian tidak dilakukan pada semua benda uji, melainkan hanya pada benda uji T-28-0,7-3. Penggunaan kadar cacahan 0,7% meningkatkan nilai rasio poisson, namun pada nilai modulus elastisitas tidak memiliki pengaruh yang berarti.

4.6. ANALISA BIAYA

Tujuan dari penambahan cacahan plastik *polypropylene* pada campuran beton bukan hanya untuk melihat pengaruhnya terhadap daktilitas beton, juga untuk melihat tingkat ekonomis penggunaannya terhadap pembuatan beton.

Biaya yang dikeluarkan untuk pembelian 1kg limbah gelas plastik adalah sebesar 4000 rupiah (bervariasi untuk pembelian di tempat yang berbeda, nilai ini adalah biaya yang dikeluarkan penulis dalam penelitian). Harga ini belum termasuk biaya untuk mengolahnya menjadi cacahan.

Berdasarkan peningkatan maksimum yang terjadi, yaitu pada kadar 0,3% untuk benda uji tarik dan pada kadar 0,7% untuk benda uji lentur, maka analisa biaya untuk pembuatan 1m³ beton, bila diasumsikan biaya pembuatan 1m³ beton normal Rp. 400000,00 dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14. Analisa Biaya

Beton Normal	Harga (Rupiah)		Persen Kenaikan Biaya (%)	
	Plastik <i>Polypropylene</i>		0,3%	0,7%
	0,3% (2,7kg)	0,7% (6,3kg)	0,3%	0,7%
400000	12000	28000	3	7

Untuk uji tarik, dengan penambahan 3% biaya produksi, akan meningkatkan tegangan tarik beton sampai 10,989% dan untuk uji lentur, dengan penambahan biaya produksi sebesar 7%, akan meningkatkan tegangan lenturnya sampai 17,098%.

Bila dilihat dari analisa tersebut, maka penambahan tegangan dibandingkan dengan penambahan biaya-nya, menghasilkan peningkatan nilai ekonomis yang cukup baik, sehingga penggunaan cacahan limbah gelas plastik *polypropylene* dalam material beton dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut, serta dalam jangka panjang untuk penggunaan praktisnya.