

## **PENGARUH GRADASI PASIR DAN FAKTOR AIR SEMEN PADA MORTAR TERHADAP KEKUATAN BETON *PREPACKED***

M. Luthfi, Dita Daniaty, Nuroji <sup>\*)</sup>, Yulita Arni Priastiwi <sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Beberapa waktu belakangan ini, dikembangkan suatu metoda baru dalam pembuatan beton yang berbeda dari beton konvensional, dimana agregat kasar dalam beton diharapkan dapat berkontribusi secara maksimal terhadap mutu beton. Metoda ini disebut metoda *prepacked*. Dengan metoda ini, agregat kasar yang ditempatkan terlebih dahulu di dalam bekisting akan saling mengunci satu sama lain (*interlocking*) dan menimbulkan gaya saling aksi (*interaction*). Perlu diperhatikan mortar yang akan digunakan dalam beton *prepacked* haruslah mortar yang mampu mengisi celah kecil yang ada di antara partikel agregat kasar tanpa mengganggu susunan agregat kasar yang sudah ditempatkan di dalam bekisting. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penelitian terhadap mortar mengenai pengaruh faktor air semen serta gradasi pasir terhadap *flowability* dan sifat fisik dan mekanik mortar dan juga bagaimana pengaruh *interlocking* dan *interaction* terhadap karakteristik beton *prepacked*. Dari hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa nilai faktor air semen dan gradasi pasir sangat berpengaruh terhadap *flowability* dan sifat fisik dan mekanik mortar. Pengaruh *interlocking* dan *interaction* juga sangat berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton, namun dalam kapasitas kuat tekan beton masih kurang maksimal karena lemahnya interface antara agregat kasar dengan mortar sehingga harus diteliti lebih lanjut untuk meningkatkan mutu lekatan antara agregat kasar dan mortar.*

**Kata kunci:** *Beton *prepacked*, Flowability mortar, Interlocking, Interaction, Interface*

### **ABSTRACT**

*Recent, there is a new method to make concrete that is different from conventional concrete. In which the coarse aggregate in the concrete is expected to contribute to the quality of the concrete. This method is called the *prepacked* method. In this method, the coarse aggregate that were placed first in the formwork will interlock with one another and create mutual action force. That note mortar to be used in *prepacked* concrete should be able to fill small gaps that exist between the coarse aggregate particles without disturbing the arrangement of coarse aggregate that has been placed in the formwork. Therefore, in this study conducted research on the effects of water cement ratio and sand gradation toward *flowability* and physical and mechanical properties of mortar and also how the *interlocking* and *interaction* influence the *prepacked* concrete. The results of this study concluded that water cement ratio and sand gradation have strong influence on *flowability* and properties of mortar. Mortar that is used for *prepacked* concrete can fill cavities between coarse aggregate. *Interlocking* and *interaction* also affects the tensile strength of concrete, but the compressive strength is not maximum because the lack of*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*interface between coarse aggregate with mortar and should be investigated further to improve the quality of bond between coarse aggregate and mortar.*

**Keywords:** *Prepacked concrete, Flowability mortar, Interlocking, Interaction, Interface*

## **PENDAHULUAN**

Beton merupakan material komposit yang sangat bergantung pada sifat masing-masing unsur serta interaksinya. Unsur tersebut adalah semen, air, agregat (Nugraha dan Antoni, 2007). Agregat halus (pasir) dan pasta semen yang merupakan gabungan antara semen dan air membentuk mortar. Mortar ini mengikat dan menyatukan agregat-agregat kasar (*split*) menjadi satu kesatuan material komposit yaitu beton. Saat ini pembuatan beton masih menggunakan konsep atau metoda yang konvensional, yaitu pembuatannya dilakukan dengan cara mencampurkan air, semen, pasir, *split* menjadi kesatuan yang homogen kemudian dicetak didalam bekisting. Beton konvensional ini sangat bergantung kepada jumlah semen atau proporsi semen dalam peningkatan mutunya. Dengan kata lain, semakin banyak proporsi semen dalam beton tersebut, maka semakin tinggi mutu betonnya.

Beberapa waktu belakangan ini, dikembangkan suatu metoda baru dalam pembuatan beton yang berbeda dari beton konvensional, dimana agregat kasar dalam beton diharapkan dapat berkontribusi secara maksimal terhadap mutu beton. Metoda ini disebut metoda *prepacked* atau bisa disebut juga dengan beton *prepacked*. Beton *prepacked* adalah beton yang unik dalam pengerjaannya, karena tidak seperti beton normal, dimana pada beton *prepacked*, agregat kasar terlebih dahulu ditempatkan pada bekisting dan kemudian mortar yang merupakan campuran dari pasir, semen, dan air disuntikan untuk mengisi rongga antara partikel agregat kasar (Awal *et al*, 1988). Beton *prepacked* berbeda dari beton normal, tidak hanya di metode penempatan, tetapi juga pada proporsi dari agregat kasar yang lebih tinggi. Beton ini dapat dianggap sebagai "beton kerangka" karena agregat kasar mempunyai peran penting terhadap satu sama lain dan rongga tersisa diisi dengan adukan mortar. Dengan kondisi agregat kasar yang padat dan saling mengunci (*interlocking*) di dalam beton, maka akan terjadi saling aksi (*interaction*) antar agregat kasar. Jadi agregat kasar dapat berperan lebih besar dalam menahan beban dan tidak hanya bergantung kepada kekuatan mortar yang mengikat partikel agregat kasar.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *water cement ratio* dan gradasi agregat halus terhadap *flowability* serta kekuatan mortar.
2. Mengetahui pengaruh *interlocking* dan *interaction* agregat kasar terhadap kekuatan beton *prepacked*.
3. Mengetahui pengaruh *flowability* mortar terhadap *workability* serta kekuatan beton *prepacked*.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji untuk uji kuat tekan mortar berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm.
2. Benda uji untuk uji kuat tarik langsung mortar berbentuk angka delapan dengan ketebalan 2,5 cm.
3. Benda uji untuk uji kuat tekan beton berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.
4. Benda uji untuk kuat tarik belah beton berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.
5. Menggunakan material agregat halus (pasir) dengan gradasi tertahan saringan 0,25 mm dan 0,15 mm.
6. Menggunakan material agregat kasar (*split*) dengan gradasi tertahan saringan 19 mm.

7. Semua benda uji akan diuji setelah umur 28 hari.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Pengujian Material**

Pengujian material diperlukan untuk mendapatkan bahan campuran beton yang memenuhi spesifikasi material. Pengujian material bertujuan untuk memastikan bahwa material yang digunakan merupakan material dengan kualitas baik dan tidak mempengaruhi hasil penelitian yang diharapkan. Pengujian material terdiri dari pengujian kadar lumpur, kadar air SSD, serta analisa saringan baik agregat halus maupun agregat kasar.

### **Benda Uji Mortar**

Sebelum dilakukan penelitian terhadap beton *prepacked* terlebih dahulu dilakukan penelitian terhadap benda uji mortar yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan benda uji beton. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya keropos pada saat pembuatan benda uji beton serta untuk mengetahui pengaruh komposisi gradasi agregat halus serta faktor air semen terhadap *flowability* dan kuat tekan mortar. Variabel benda uji mortar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel benda uji mortar

No	Kode Benda Uji Mortar	Perbandingan Berat			Gradasi Pasir	
		Air	Semen	Pasir	0,15mm	0,25mm
1.	A01	0,4	1	1,5	0%	100%
2.	A11	0,4	1	1,5	50%	50%
3.	A10	0,4	1	1,5	100%	0%
4.	B01	0,45	1	1,5	0%	100%
5.	B11	0,45	1	1,5	50%	50%
6.	B10	0,45	1	1,5	100%	0%
7.	C01	0,5	1	1,5	0%	100%
8.	C11	0,5	1	1,5	50%	50%
9.	C10	0,5	1	1,5	100%	0%

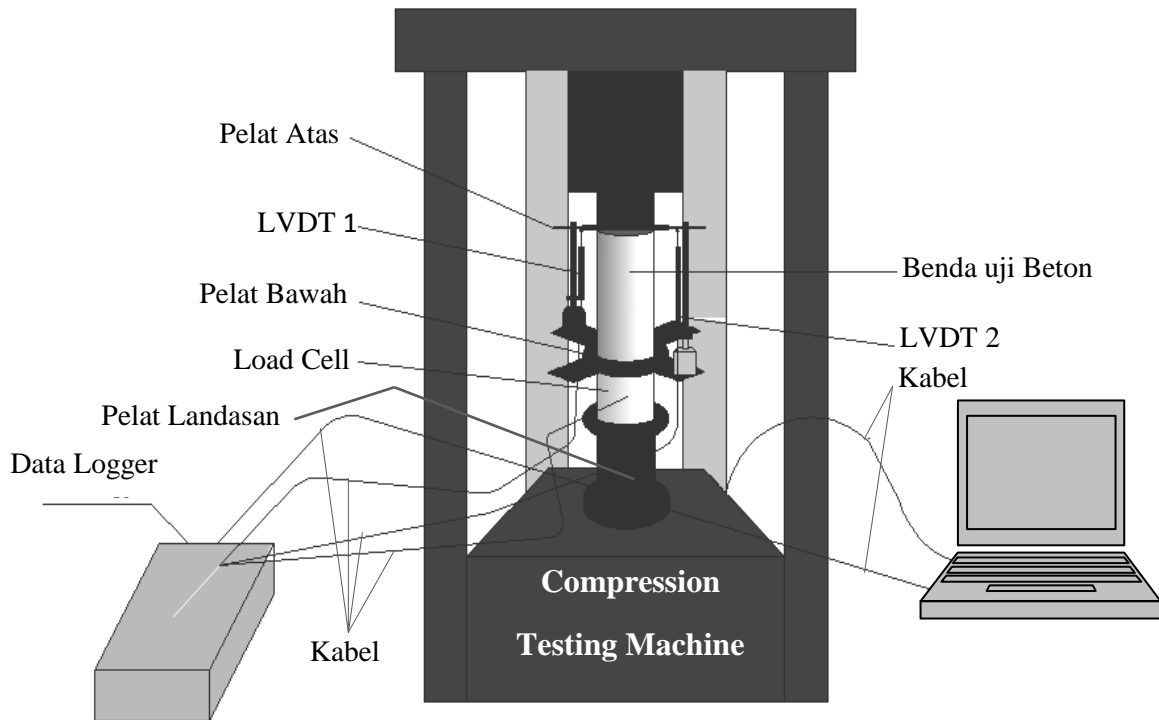
### **Benda Uji Beton**

Pada tahapan ini dilakukan penentuan gradasi agregat kasar yang akan digunakan, pengujian berat jenis SSD serta berat isi SSD agregat kasar, pemeriksaan workabilitas beton, pengujian kuat tekan beton serta kuat tarik belahnya. *Set-up* pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang menggunakan alat *computer control servo hydraulic concrete compression testing machine* dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

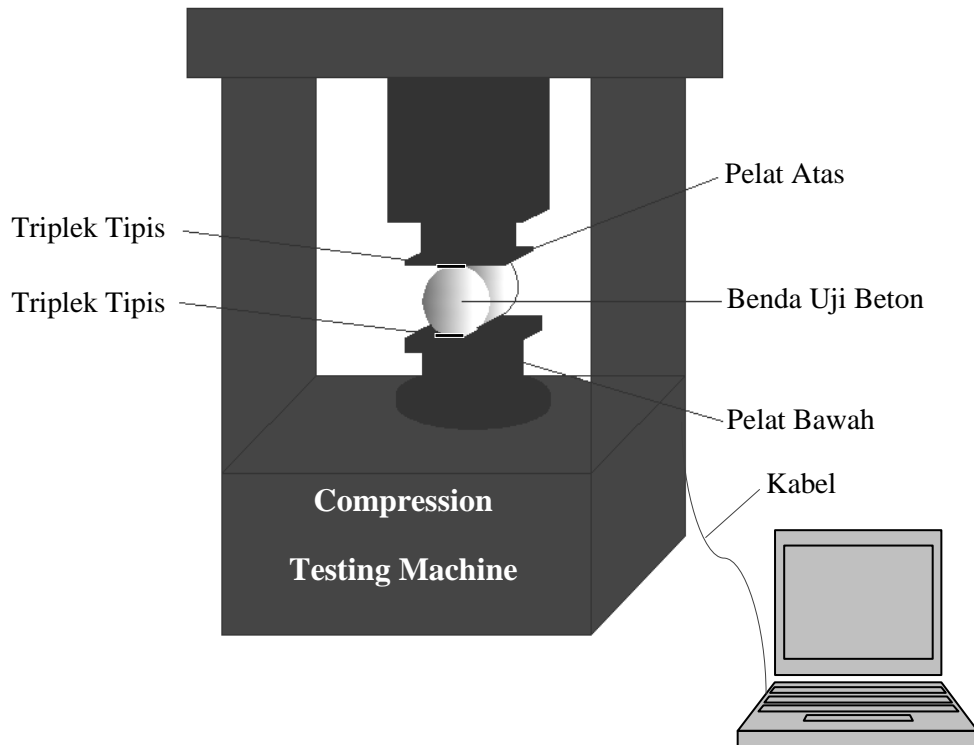
## **HASIL DAN ANALISIS**

### **Hasil Penelitian Mortar**

Pada tahap penelitian mortar dapat diketahui gradasi pasir yang akan digunakan berdasarkan hasil analisa saringan pasir pada Tabel 2.



Gambar 1. *Set up* pengujian kuat tekan beton



Gambar 2. *Set up* pengujian kuat tarik belah beton

Tabel 2. Hasil analisa saringan agregat halus

Diameter Saringan (mm)	Sisa di Atas Saringan				Jumlah Sisa Kumulatif (%)	Jumlah yang Lolos (%)
	Saringan I (gram)	Saringan II (gram)	Rata-Rata			
			gram	%		
9,52	0	0	0	0	0	100
4,76	25,1	33,85	29,475	2,951	2,951	97,049
2,36	46,3	57,1	51,7	5,176	8,127	91,873
1,18	105,85	100,85	103,35	10,347	18,474	81,526
0,6	207,3	202,4	204,85	20,509	38,982	61,018
0,25	420,3	415,55	417,925	41,841	80,823	19,177
0,15	140,4	137,9	139,15	13,931	94,754	5,246
0,074	47,35	47,2	47,275	4,733	99,487	0,513
0	5,2	5,05	5,125	0,513	100	0
Jumlah	997,8	999,9	998,85			

Berdasarkan hasil analisa saringan pasir pada Tabel 2 maka digunakan pasir dengan gradasi tertahan saringan 0,25mm serta pasir 0,15mm karena selain dikarenakan prosentase sisa di atas saringan yang besar, gradasi pasir tertahan saringan 0,25mm dan 0,15mm cukup halus untuk dapat mengisi rongga-rongga antar agregat kasar.

Setelah diketahui gradasi pasir yang akan digunakan maka dilakukan pengujian *flowability* mortar untuk mengetahui keenceran mortar yang akan digunakan sehingga memudahkan untuk pengerjaan pembuatan benda uji beton serta cukup encer untuk dapat mengisi rongga antar agregat kasar. Hasil pengujian *flowability* mortar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian *flowability* mortar

Kode Benda Uji	FAS	Gradasi Pasir	Nilai Slump (mm)	Tingkat Workabilitas
A01	0,4	0,25mm	73,75	Sedang sampai tinggi
A11	0,4	0,25mm+0,15mm	68	Sedang sampai tinggi
A10	0,4	0,15mm	37,5	Rendah sampai
B01	0,45	0,25mm	117,5	Tinggi
B11	0,45	0,25mm+0,15mm	106,25	Tinggi
B10	0,45	0,15mm	67,5	Sedang sampai tinggi
C01	0,5	0,25mm	136,25	Tinggi
C11	0,5	0,25mm+0,15mm	130	Tinggi
C10	0,5	0,15mm	111,25	Tinggi

Berdasarkan hasil pengujian *flowability* mortar pada Tabel 3, benda uji di atas memiliki tingkat workabilitas yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya faktor air semen (FAS) dan gradasi pasir yang digunakan. Pada benda uji C01 dengan faktor air semen (FAS) dan gradasi pasir yang besar, didapatkan nilai slump yang paling besar dibandingkan dengan yang lain yaitu sebesar 136,25 mm. Nilai slump yang besar akan meningkatkan workabilitas menjadi lebih tinggi. (Murdock dan Brook,1999) membuat suatu hubungan antara tingkat workabilitas, nilai slump dan faktor kepadatan adukan yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Selanjutnya pada mortar yang memiliki *flowability* dan tingkat workabilitas yang tinggi, akan dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik.

Tabel 4. Hubungan tingkat workabilitas, nilai slump dan tingkat kepadatan adukan

Tingkat Workabilitas	Nilai Slump	Faktor Kepadatan
Sangat rendah	0 - 25	0,8 – 0,87
Rendah sampai sedang	25 - 50	0,87 – 0,93
Sedang sampai tinggi	50 - 100	0,93 – 0,95
Tinggi	100 - 175	> 0,95

Sumber: Murdock dan Brook, 1999.

Pengujian kuat tekan dan kuat tarik ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan mortar sehingga mortar yang akan digunakan pada pembuatan beton *prepacked* tidak hanya mortar dengan *flowability* dan tingkat workabilitas yang tinggi tetapi juga mortar yang memiliki kekuatan yang tinggi. Hasil uji kuat tekan dan kuat tarik mortar dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Hasil uji kuat tekan mortar

Kode Benda Uji	FAS	Gradasi Pasir		Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata
		0,15 mm	0,25 mm		
A01	0,4	0%	100%	58,37	60,202
A01				64,25	
A01				58,76	
A01				60,34	
A01				59,29	
A11	0,4	50%	50%	48,61	50,6625
A11				56,53	
A11				45,29	
A11				52,22	
B01	0,45	0%	100%	51,66	49,8775
B01				53,07	
B01				49,8	
B01				44,98	
B11	0,45	50%	50%	47,25	47,158
B11				45,24	
B11				48,74	
B11				51,14	
B11				43,42	
B10	0,45	100%	0%	47,98	47,218
B10				47,41	
B10				49,28	
B10				43,13	
B10				48,29	
C01	0,5	0%	100%	43,14	44,5125
C01				43,88	
C01				43,52	
C01				47,51	

Tabel 5. Hasil uji kuat tekan mortar (lanjutan)

Kode Benda Uji	FAS	Gradasi Pasir		Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata
		0,15 mm	0,25 mm		
C11	0,5	50%	50%	47,45	46,696
C11				47,87	
C11				50,05	
C11				46,1	
C11				42,01	
C10	0,5	100%	0%	38,44	41,07
C10				38,59	
C10				46,18	

Tabel 6. Hasil uji kuat tarik mortar

No	Kode Benda Uji	Berat (gram)	Beban Maksimum (N)	Luas Permukaan (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (MPa)	Rata-Rata (MPa)	% Terhadap Kuat Tekan
1.	B01	1	130	2160	625	3,456	7,85
		2	120	2780	625	4,448	
		3	130	2400	625	3,840	
2.	B11	1	120	3440	625	5,504	11,13
		2	130	3460	625	5,536	
		3	130	2940	625	4,704	
3.	C01	1	120	1760	625	2,816	2,869
		2	120	2000	625	3,200	
		3	120	1620	625	2,592	
4.	C11	1	130	1420	625	2,272	2,432
		2	120	1900	625	3,040	
		3	130	1240	625	1,984	

Berdasarkan hasil uji kuat tekan mortar, maka akan dipilih benda uji dengan kode B01, B11, C01, C11 karena memiliki kuat tekan dan tingkat workabilitas yang tinggi. Benda uji ini nantinya akan dipakai pada pembuatan beton *prepacked*.

### Hasil Penelitian Beton

Sebelum pembuatan beton, agregat kasar telah melewati pengujian analisa saringan, berat isi serta berat jenis agregat kasar untuk mengetahui gradasi agregat kasar yang akan digunakan serta mengetahui volume rongga sehingga dapat diketahui berapa besar kebutuhan mortar untuk pembuatan 1 benda uji silinder beton ukuran diameter 10cm dan panjang 20cm. Hasil analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 7 dan hasil perhitungan volume rongga beton dapat dilihat pada Tabel 8.

Setelah dilakukan pembuatan beton, benda uji beton akan diuji kuat tekan dan tarik belah untuk mengetahui kekuatan beton. Pada benda uji beton juga akan dilakukan uji visual untuk mengetahui kinerja mortar apakah sudah cukup optimal dalam mengisi rongga kecil yang terdapat diantara agregat kasar yang bersifat *interlocking* dan *interaction* didalam beton *prepacked* serta pengaruh keduanya dalam peningkatan mutu beton *prepacked*. Hasil dari uji kuat tekan dan tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 7. Analisa saringan agregat kasar

Diameter Saringan (mm)	Sisa di Atas Saringan				Jumlah Sisa Kumulatif (%)	Jumlah yang Lolos (%)
	Saringan I (gram)	Saringan II (gram)	Rata-Rata			
			gram	%		
38,1	0	0	0	0,000	0,000	100
25,4	297	283	290	5,801	5,801	94,199
19,1	2186	2154	2170	43,409	49,210	50,790
12,7	1731	1809	1770	35,407	84,617	15,383
9,52	677	663	670	13,403	98,020	1,980
4,76	98	82	90	1,800	99,820	0,180
2,36	4,11	3,89	4	0,080	99,900	0,100
1,18	2,32	1,68	2	0,040	99,940	0,060
0,6	2,13	1,87	2	0,040	99,980	0,020
0,25	1,25	0,75	1	0,020	100,000	0,000
0,15	0	0	0	0,000	100,000	0,000
0,074	0	0	0	0,000	100,000	0,000
0	0	0	0	0,000	100,000	0,000
Jumlah	4998,81	4999,19	4999			

Tabel 8. Perhitungan volume rongga beton

Agregat kasar	Berat Silinder (gram)	Berat padat + silinder (gram)	Berat padat (gram)	Berat isi padat (kg/dm <sup>3</sup> )	Berat jenis (kg/dm <sup>3</sup> )	Volume Silinder (dm <sup>3</sup> )	Berat agregat (kg)	Volume agregat (dm <sup>3</sup> )	Volume rongga (dm <sup>3</sup> )
Tertahan saringan 19,1 mm	3620	8190	4570	1,554	2,780	1,571	2,441	0,878	0,693

Tabel 9. Hasil uji kuat tekan beton

Kode Benda Uji		FAS	Gradasi Pasir		Kuat (MPa)	Rata-Rata
			0,15 mm	0,25 mm		
B01	1	0,45	0%	100%	13,8	14,55
	3				15,3	
B11	1	0,45	50%	50%	10	10,4
	2				10,8	
C01	1	0,5	0%	100%	8,4	8,75
	2				9,1	
C11	1	0,5	50%	50%	8,4	8,4

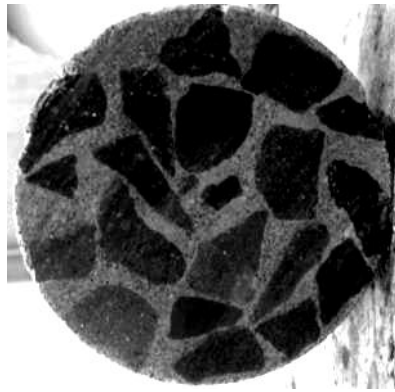
Tabel 10. Hasil uji kuat tarik belah beton

No	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji Silinder (mm)	Berat (gram)	Beban Maksimum (N)	Luas Permukaan (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (MPa)	% Terhadap Kuat Tekan	
1	B01	4	100x200	3970	84452,860	20000	2,690	18,49
2	B11	4	100x200	3860	91621,740	20000	2,918	28,05
3	C01	4	100x200	3940	89685,910	20000	2,856	32,64
4	C11	4	100x200	3900	76690,190	20000	2,442	29,07



Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10 didapatkan benda uji beton dengan kuat tekan paling besar adalah benda uji B01 yaitu sebesar 14,55 Mpa sedangkan pada uji kuat tarik belah beton didapatkan kuat tarik belah paling besar pada benda uji B11 yaitu sebesar 2,918 MPa. Dibandingkan dengan beton konvensional, kuat tekan beton *prepacked* sedikit lebih rendah tetapi untuk kuat tarik belah beton cukup baik. Menurut (Nurlina, 2008) ada beberapa kelemahan dari sifat material beton yaitu diantaranya kuat tarik rendah sekitar 10% dari kuat tekan sehingga mudah retak. Pada Tabel 10 terlihat prosentase kuat tarik terhadap kuat tekan lebih dari 10% sehingga dapat dikatakan kuat tarik beton *prepacked* lebih besar dibandingkan dengan beton konvensional. Lemahnya kuat tekan beton disebabkan oleh lemahnya *interface* antara mortar dan agregat kasar sehingga peran *interlocking* dan *interaction* agregat kasar kurang maksimal dalam peningkatan mutu beton. Meskipun begitu, pada kuat tarik belah beton peran *interlocking* dan *interaction* agregat kasar cukup berpengaruh dalam peningkatan mutu beton yang nantinya akan dibahas lebih lanjut pada uji visual beton.

Kinerja mortar dalam mengisi rongga kecil diantara agregat kasar dapat dilihat dari uji visualnya seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Potongan benda uji beton

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa tidak ada keropos yang terjadi pada beton. Hal ini menandakan bahwa mortar berfungsi secara optimal dalam mengisi rongga kecil yang terdapat diantara agregat kasar pada beton *prepacked*.



Gambar 4. Potongan beton setelah pengujian

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa agregat kasar yang terlepas lebih banyak dibandingkan agregat kasar yang terbelah. Hal ini menunjukkan lemahnya *interface* antara agregat kasar dan mortar. Lemahnya interface ini membuat agregat kasar cenderung lepas ikatan dengan

mortar pada saat menerima beban sehingga peran *interlocking* dan *interaction* dalam meningkatkan mutu beton belum maksimal.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan analisa data hasil pengujian pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan hasil uji *flowability* mortar menunjukkan bahwa semakin besar nilai FAS dan gradasi pasir yang digunakan maka nilai slump mortar akan semakin besar.
2. Berdasarkan hasil uji kuat tekan mortar menunjukkan bahwa semakin besar nilai FAS maka nilai kuat tekan mortar akan semakin menurun sedangkan semakin besar gradasi pasirnya maka nilai kuat tekan akan semakin besar.
3. Berdasarkan hasil uji kuat tarik langsung mortar menunjukkan bahwa semakin besar nilai FAS dan gradasi pasir maka nilai kuat tarik langsung mortar akan semakin menurun.
4. Berdasarkan hasil uji visual dapat diketahui bahwa rendahnya nilai kuat tekan beton dalam penelitian ini disebabkan oleh lemahnya *interface* antara agregat kasar dengan mortar sehingga *interaction* agregat kasar di dalam peningkatan kekuatan beton belum maksimal.
5. Berdasarkan hasil uji kuat tarik belah beton menunjukkan bahwa tingginya nilai kuat tarik beton disebabkan oleh peran *interlocking* agregat kasar di dalam beton.
6. Berdasarkan hasil uji *flowability* dan kuat tekan mortar, maka digunakan proporsi benda uji B01, B11, C01 serta C11 untuk pembuatan benda uji beton. Hal ini dikarenakan benda uji mortar tersebut memiliki tingkat workabilitas yang tinggi untuk mengisi rongga antar agregat kasar serta memiliki kuat tekan yang tinggi.

## **SARAN**

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini untuk penelitian selanjutnya antara lain yaitu:

1. Lemahnya kuat tekan beton dalam penelitian ini disebabkan oleh lemahnya *interface* antara agregat kasar dengan mortar, sehingga diperlukan perbaikan mutu ikatan antara agregat kasar dengan mortar.
2. Dalam penelitian selanjutnya juga perlu diperhatikan cara untuk memperbesar pengaruh *Interfacial Transition Zone (ITZ)* pada beton *prepacked*.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdul Awal A. S. M. et all, 1988. *Failure Mechanism of Prepacked Concrete*, J. Struct. Eng., 114(3), 727-732.
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M., 1999. *Bahan dan Praktek Beton*, diterjemahkan oleh Ir. Stephanus Hendarko, Erlangga, Jakarta.
- Nugraha, P. dan Antoni, 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Nurlina, S., 2008. *Struktur Beton*, Bargie Media, Malang.
- Standard Nasional Indonesia 03-1968-1990. *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar*, Bandung.