

PENGARUH VARIASI AGREGAT KASAR PENYUSUN BETON TERHADAP KERAPATAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN *PULSE VELOCITY* PADA ALAT UPV (*ULTRASONIC PULSE VELOCITY*)

Enggie Ayu Herma P¹, Indradi Wijatmiko² dan Sugeng P. Budio²

¹Mahasiswa Program Studi Sarjana / Jurusan Teknik Sipil / Universitas Brawijaya

²Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Universitas Brawijaya

*Korespondensi : enggieherma18@gmail.com

ABSTRACT

Concrete has already get through many developments, one of them is technological ones with mixture combination of various materials. Due to various materials, it is necessary to test the concrete. One of the test is a non-destructive test or test without damaging the test object with a device called Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). This study aims to determine the relation between compressive strength and the concrete velocity produced by UPV test. This study analyze the velocity, which is obtained from UPV testing on cylindrical specimens with different variations of aggregate. There are 4 types of variation in this study, fiber concrete, pumice concrete, porous concrete, and recycle concrete. In this study the relation between compressive strength and velocity produces coefficient of determination which is different on each variation of concrete.

Keywords : *Creepage, Concrete, Fiber Concrete, Porous Concrete, Pumice Concrete, Compressive Strength, Ultrasonic Pulse Velocity*

1. PENDAHULUAN

Pada era modern ini beton sudah mengalami banyak, yaitu perkembangan teknologi pada beton dengan ditemukannya kombinasi antara material beton. Dengan adanya berbagai macam kombinasi untuk campuran material beton, maka saat dilapangan kualitas beton harus selalu diperhatikan dengan pengawasan agar memenuhi syarat perencanaan. Untuk pelaksanaan dilapangan maka dilakukan pengujian langsung (*in situ*) dengan pengujian *non-destructive test* (NDT) yang salah satunya menggunakan pengujian *ultrasonic pulse wave* (UPV). Alat yang digunakan dalam pengujian UPV disebut PUNDIT (*Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester*). Dalam pengujian tersebut didapatkan beberapa parameter salah satunya nilai cepat rambat gelombang pada beton tersebut. Dari data cepat rambat tersebut dapat diketahui bagaimana kerapatan, homogenitas, dan ada tidaknya rongga didalam beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang masih tertahan pada saringan no 4 standart ASTM yang berukuran 4,75 mm. Beberapa beton mempunyai variasi agregat yang bermacam-macam.

Beton porous biasa disebut juga dengan beton non pasir dan biasa dikenal pula sebagai pervious concrete adalah campuran antara air, semen, dan agregat kasar yang nantinya akan membentuk suatu material tembus air [1]. Beton porous pada dasarnya menjadi solusi untuk mendorong konstruksi yang ramah lingkungan karena kemampuan beton tersebut untuk perserapan air dapat menjadi harapan untuk pembangunan perkotaan yang ramah lingkungan.

Beton agregat kasar daur ulang (RCA) ialah agregat yang terbentuk dari proses pemecahan, pengukuran, pencucian, dan pemilihan beton keras yang sudah ada. Limbah

beton yang tidak terpakai lalu dihancurkan dengan mesin penghancur batu dan diayak agar mendapatkan butiran-butiran agregat yang diinginkan. Beton RCA dapat menjawab banyaknya permasalahan limbah industri konstruksi dan permasalahan akan melestarikan sumber daya alam.

Batu Apung (*Pumice*) Batu apung adalah salah satu batuan sediman dari batuan vulkanis yang bobotnya ringan karena memiliki banyak pori. Batu apung biasanya memiliki warna terang atau keputih-putihan. Karena bobotnya yang ringan, maka jika digunakan sebagai agregat kasar pada pembuatan beton akan diperoleh beton yang ringan [2].

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat/*fiber*. Bahan-bahan serat yang bisa digunakan dalam memperbaiki sifat beton pada beton serat yaitu baja, plastik, kaca, karbon serta serat dari bahan alami seperti ijuk, rami maupun serat dari tumbuhan lain [3]. Penambahan serat ke dalam beton akan meningkatkan kuat tarik beton yang umumnya rendah. Pertambahan kuat tarik akan memperbaiki kinerja komposit beton serat dengan kualitas yang lebih bagus dibandingkan dengan beton konvensional.

2.2 Pengujian UPV

Pengujian UPV adalah cara untuk memperkirakan kekerasan beton yang didasarkan pada hubungan cepat rambat gelombang melalui media beton dengan kekuatan tekan beton itu [4]. Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal yang melalui media beton.

Metode kecepatan pulsa ultrasonik atau UPV telah berhasil digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari beton selama lebih dari 60 tahun. Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi retak internal dan cacat lainnya termasuk perubahan dari beton seperti penurunan kualitas beton akibat lingkungan kimia yang agresif atau pembekuan dan pencairan [5].

Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekakuan elastis dan kekuatan beton; pada beton dengan pemadatan yang kurang baik, atau mengalami kerusakan butiran material, gelombang UPV akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan beton pada tes UPV ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan

gelombangnya; jika kecepatan turun, adalah tanda bahwa beton mengalami penurunan kekuatan, dan sebaliknya, jika kecepatan naik, adalah tanda bahwa kekuatan beton meningkat [6].

Untuk medium padat elastis yang homogen, kecepatan rambat adalah:

$$V = \sqrt{\frac{KE}{\rho}} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

- V = kecepatan rambat,
- $K = \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}$
- E = modulus elastis dinamis
- ρ = kerapatan
- μ = rasio Poisson dinamis

Rentang variasi dari nilai K sangat kecil, yaitu antara 1,06-1,20. Tetapi, variasi nilai E dan ρ berpengaruh signifikan terhadap V. Umumnya kecepatan rambat (V) pada beton yaitu antara 3000 hingga 5000 m/s.

Ketika rambatan gelombang menemui bagian yang memiliki sifat material yang berbeda, sebagian energi dari gelombang tersebut akan tersebar dari lintasan awal gelombang. Misalnya dengan adanya rongga, retak, maupun partikel agregat dalam beton akan menyebarkan sebagian energi gelombang kompresi dari lintasan awal gelombang tersebut. Tingkat penyebaran akan meningkat ketika panjang gelombang yang merambat besarnya lebih kecil atau sama dengan ukuran bagian penyebarannya, yang menimbulkan terjadinya gelombang tersebut mengalami redaman lebih cepat. Pada beton, batas maksimal dari frekuensi yang digunakan adalah 500 kHz sebagaimana terkait dengan panjang gelombang sekitar 10 mm, yang berada dalam rentang ukuran agregat kasar.

Cara kerja alat UPV, dengan memberikan getaran gelombang longitudinal melewati transduser elektro akustik, yang merambat melalui cairan pasta yang disebut couplant. Sebelum pengujian dimulai pada permukaan beton diolesi cairan kental (couplant). Saat gelombang merambat melalui media yang berbeda, yaitu permukaan beton dan couplant maka akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang longitudinal dan geser. Gelombang longitudinal merambat

sejajar lintasan dan gelombang geser merambat tegak lurus lintasan. Gelombang yang pertama kali diterima oleh transduser adalah gelombang longitudinal. Gelombang ini diubah menjadi gelombang elektronik yang dapat diterima oleh transduser penerima. Dari hasil perhitungan cepat rambat, dapat ditentukan kualitas beton seperti pada **Tabel 1**.

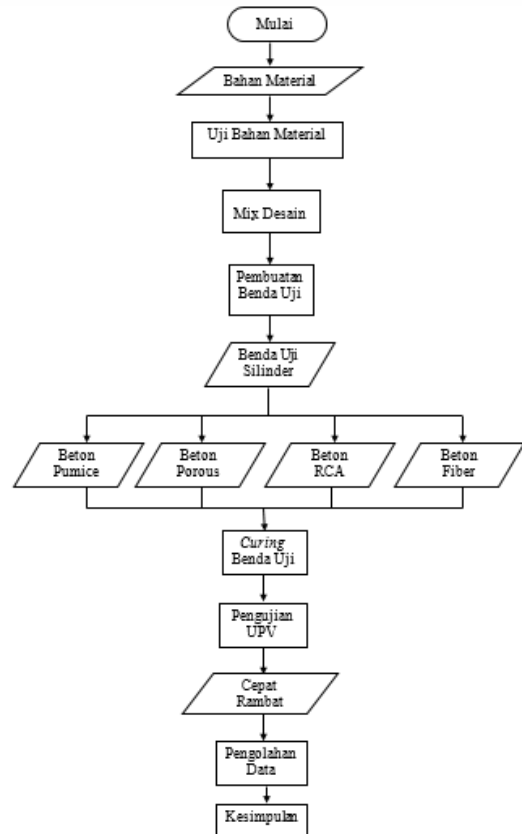
Tabel 1. Kualifikasi beton berdasarkan cepat rambat gelombang

Cepat Rambat gelombang longitudinal		Kualitas
km/detik	ft/detik	
> 4,5	> 15	Sangat Baik
3,5 - 4,5	12 - 15	Baik
3,0 - 3,5	10 - 12	Diragukan
2,0 - 3,0	7 - 10	Jelek
< 2,0	< 7	Sangat Jelek

(Sumber: *International Atomic Energy Agency*, 2002)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang dimulai pada bulan Mei 2018 sampai selesai. Benda uji yang digunakan adalah beton silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm dengan berbagai macam variasi agregat. Variasi beton dalam penelitian ini yaitu, beton normal dengan kuat tekan rencana 17 Mpa seperti pada **Gambar 2**. Beton variasi fiber dengan kuat tekan rencana 17 Mpa seperti pada **Gambar 3** sebanyak 2 jenis yaitu fiber kaleng normal dan fiber kaleng kait. Beton variasi pumice dengan kuat tekan rencana 17 Mpa seperti pada **Gambar 4** sebanyak 4 jenis yaitu pumice normal, pumice fiber kaleng normal, umice pilin A (serat dipilin 1x), pumice pilin B (serat dipilin 1,5x). Beton variasi porous dengan kuat tekan rencana 14 Mpa seperti **Gambar 5** sebanyak 4 jenis yaitu porous normal, porous 1 (tambahan silica fume 7%), porous 2 (tambahan fly ash 25%), dan porous recycle. Beton variasi *recycle* dengan kuat tekan rencana 20 Mpa seperti pada **Gambar 6** sebanyak 1 jenis. Variable yang digunakan yaitu kuat tekan beton dan kecepatan beton yang kemudian dianalisis hubungannya.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Campuran (Mix Design) Benda Uji

Tabel 2. Kebutuhan bahan untuk campuran benda uji

Beton	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Normal	17	1	0,6	2,1	3,0
Fiber Normal	17	1	0,5	2,1	2,9
Fiber Kait	17	1	0,5	2,1	2,9
Pumice Normal	17	1	0,6	2,1	3,2
Pumice Fiber Normal	17	1	0,5	2,1	2,4
Pumice Pilin A	17	1	0,5	2,1	2,4
Pumice Pilin B	17	1	0,5	2,1	2,4
Porous Normal	14	1	0,4	-	8,4
Porous 1	14	1	0,4	-	9,1
Porous 2	14	1	0,6	-	11,3
Porous Recycle	14	1	0,4	-	7,6
Recycle	20	1	0,6	1,7	1,9

Tabel 3. Variasi campuran benda uji

Beton	Keterangan
Normal	-
Fiber Normal	Fiber kaleng sebesar 10%
Fiber Kait	Fiber kaleng sebesar 10%
Pumice Normal	25 % Agregat kasar adalah pumice
Pumice Fiber Normal	25 % Agregat kasar adalah pumice & Fiber kaleng sebesar 10%
Pumice Pilin A	25 % Agregat kasar adalah pumice & Fiber kaleng sebesar 10% dipilin 1x
Pumice Pilin B	25 % Agregat kasar adalah pumice & Fiber kaleng sebesar 10% dipilin 1,5x
Porous Normal	-
Porous 1	Silica Fume 7 %
Porous 2	Fly Ash 25 %
Porous Recycle	Agregat kasar menggunakan RCA 100%
Recycle	Agregat kasar menggunakan RCA 100%



Gambar 2. Sampel beton normal



Gambar 3. Variasi jenis beton fiber



Gambar 4. Variasi jenis beton pumice



Gambar 5. Variasi jenis beton porous



Gambar 6. Variasi jenis beton recycle

4.2 Pengujian Kuat Tekan

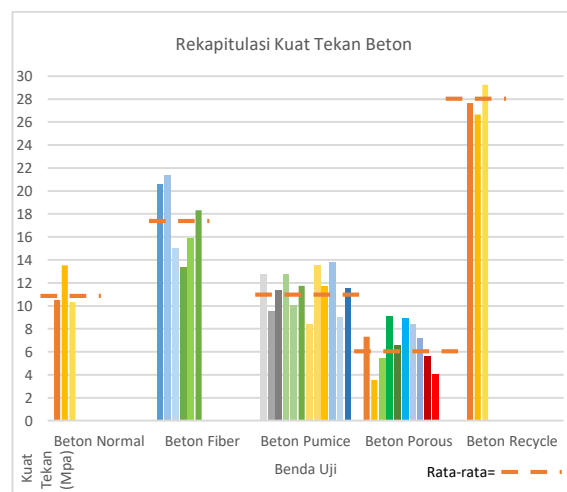
Pengujian tekan menggunakan *Compression Test Machine* dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan untuk benda uji silinder terdapat pada **Tabel 4**. Dari hasil pengujian kuat tekan tersebut

didapat bahwa pada beton variasi fiber rata-rata nilai kuat tekan yang didapat berada diatas kuat tekan rencana, hal ini dikarenakan adanya fiber pada campuran beton yang menambah kuat tekan pada beton walaupun nilainya tidak signifikan. Pada beton pumice hasil pengujian kuat tekan didapat bahwa pada beton variasi pumice rata-rata nilai kuat tekan yang didapat berada dibawah kuat tekan rencana, hal ini dikarenakan adanya campuran agregat pumice yang ringan dan bersifat rapuh yang dapat mempengaruhi kuat tekan dan saat pencampuran material beton distribusi bahan yang tidak merata dikarenakan sifat batuan apung yang cenderung naik ke permukaan. Untuk beton porous hasil pengujian kuat tekan didapat bahwa pada beton variasi porous rata-rata nilai kuat tekan yang didapat berada jauh dibawah kuat tekan rencana, hal ini dikarenakan saat pengujian kuat tekan ada beberapa kendala saat dilakukan *capping* permukaan sampel beton yang tidak rata. *Capping* yang terpasang pada permukaan beton hanya terkena pada bagian agregat pada sisi-sisi tertentu saja. Kondisi ini dapat menyebabkan gaya tekan yang diterima tidak bisa merata secara maksimal pada seluruh luasan permukaan. Sedangkan pada beton variasi *recycle* nilai kuat tekan yang didapat berada diatas nilai kuat tekan rencana, hal ini dikarenakan pada beton *recycle* menggunakan agregat kasar beton *recycle* mutu tinggi.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan

Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	f'c (Mpa)	Rata-rata f'c (Mpa)
Beton Normal 1	Beton Normal	1	10,52	11,450
		2	13,52	
		3	10,31	
Beton Fiber	Beton Fiber Normal	1	20,58	18,993
		2	21,35	
		3	15,05	
	Beton Fiber Kait	4	13,41	15,870
		5	15,87	
		6	18,33	
Beton Pumice	Beton Pumice Normal	1	12,78	11,540
		2	10,09	
		3	11,75	
	Beton Pumice Fiber Normal	4	12,80	11,251
		5	9,57	
		6	11,38	
		7	8,42	
		8	13,57	

Pilin A				
		9	11.70	
Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	f'c (Mpa)	Rata-rata f'c (Mpa)
	Beton Pumice Pilin B	10	13.79	11.4
		11	9.00	
		12	11.55	
Beton Porous	Beton Porous Normal	1	7.31	5.4
		2	3.56	
	Beton Porous 1	3	5.43	7.0
		4	9.07	
		5	6.62	
	Beton Porous 2	6	8.94	8.1
		7	8.37	
		8	7.23	
	Beton Porous Recycle	9	5.62	4.8
		10	4.09	
Beton Recycle	Beton Recycle	1	27,67	27,8
		2	26,65	
		3	29,25	



Gambar 7. Kuat tekan sampel beton silinder dengan uji tekan

Hasil pengujian kuat tekan pada **Gambar 7** menunjukkan bahwa kuat tekan beton aktual sebagian besar lebih kecil dari kuat tekan rencana. Untuk beton normal sebesar 11,45 Mpa, untuk beton variasi fiber sebesar 17,432 Mpa, untuk beton variasi pumice sebesar 11,367 Mpa, untuk beton variasi porous sebesar 6,337 Mpa, dan beton *recycle* sebesar 27,857 Mpa. Hal ini dapat disebabkan oleh proses pengerjaan beton yang kurang sempurna baik pada saat pengadukan hingga proses vibrasi.

4.3 Pengujian UPV

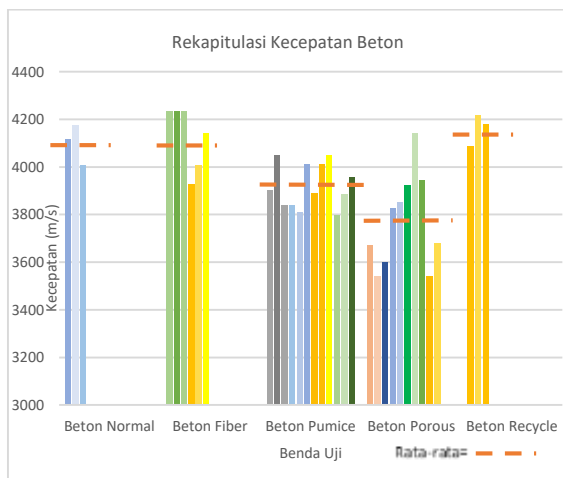
Pengujian UPV dilakukan pada benda uji silinder (4 jenis beton). Pengujian dilakukan menggunakan alat PUNDIT PL-200 dari PROCEQ dengan menggunakan mode pengukuran *pulse velocity* (PV) pada sampel yang sama. Untuk mendapatkan cepat rambat gelombang yang perlu diinputkan pada alat yaitu jarak rambat, di mana pada penelitian ini yang menggunakan metode langsung (*direct method*) maka jaraknya yaitu tinggi silinder yaitu 30 cm yang kemudian dibagi dengan waktu. Mode tersebut menghasilkan output hasil kecepatan yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link. Hasil pengujian untuk moda PV terdapat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil pengujian kecepatan

Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	Kecepatan (m/s)	Rata-rata Kecepatan (m/s)	
Beton Normal	Beton Normal	1	4117	4117	
		2	4233	4175	
		3	4117 4007 4007	4007	
Beton Fiber	Beton Fiber Normal	1	4233	4233	
		2	4233	4233	
		3	4174	4234	
	Beton Fiber Kait	1	3954	3929	
		2	4007	4007	
		3	4117	4139	
	Beton Pumice	Beton Pumice Normal	1	3623	3900
			2	4011	4047
			3	4065	3840
Beton Pumice Fiber Normal		1	3807	3840	
		2	3856	3808	
		3	3856	4011	
Beton Pumice Pilin A		1	3906	3889	
		2	3856		
		3	3906		

Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	Kecepatan (m/s)	Rata-rata Kecepatan (m/s)	
Beton		2	3958	4012	
			3958		
			4121		
Beton		3	4011	4048	
			4011		
			4121		
	Beton Pumice Pilin B	1	3580	3796	
		2	4065	3885	
		3	3580	3958	
	Beton Porous	Beton Porous Normal	1	3650	3670
			2	3741	3541
			3	3618	3503
Beton Porous 1		1	3618	3599	
		2	3560	3828	
		3	3618	3851	
Beton Porous 2		1	3741	3924	
		2	4015	4141	
		3	4015	3944	
Beton Porous Recycle		1	4089	4141	
		2	4167	3944	
		3	4167	3943	
			2	3560	3541
				3560	
				3503	
		2	3618	3679	
			3741		
			3679		

Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	Kecepatan (m/s)	Rata-rata Kecepatan (m/s)
Beton Recycle	Beton Recycle	1	4065	4084
			4121	
			4065	
	2	4178	4217	
		4237		
		4237		
Beton	3	3	4178	4178
			4178	
			4178	



Gambar 8. Kecepatan sampel beton silinder dengan uji UPV

4.4 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dengan Parameter Gelombang

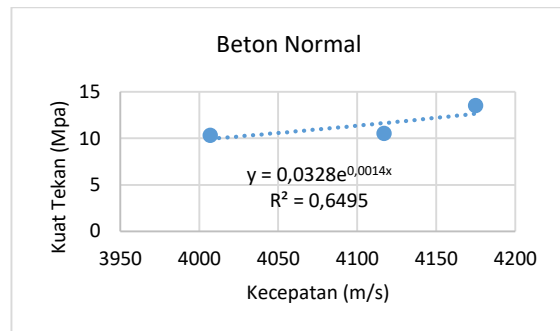
Setelah data-data didapat, kemudian setiap benda uji dirata-rata untuk dapat dicari hubungan antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang. Perbandingan antara kuat tekan dan kecepatan gelombang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hubungan kuat tekan dan kecepatan

Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)	Rata-Rata Kecepatan (m/s)
Beton Normal	Normal	1	10.52	4117
		2	13.52	4175
		3	10.31	4007
Beton Fiber	Beton	1	20.58	4233
		2	21.35	4233
		3	15.05	4234
	Fiber	4	13.41	3929
		5	15.87	4007
		6	18.33	4139
Beton	Beton	1	12.78	3900

Pumice	Pumice	2	10.09	4047
	Normal	3	11.75	3840
	Beton	4	12.80	3840
	Pumice	5	9.57	3808
	Fiber	6	11.38	4011
	Normal	7	8.42	3889
	Beton	8	13.57	4012
	Pilin A	9	11.70	4048
	Beton	10	13.79	3796
	Pumice	11	9.00	3885
	Pilin B	12	11.55	3958

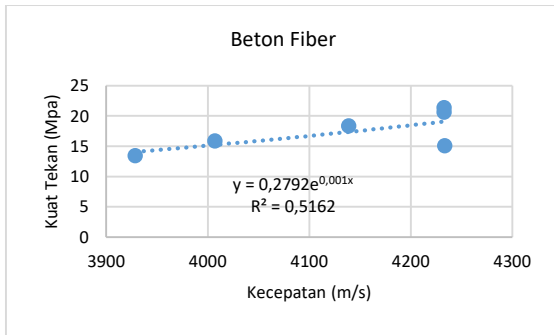
Jenis Beton	Benda Uji	Sampel	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata Kecepatan (m/s)
Beton Porous	Beton Porous Normal	1	7.31	3670
		2	3.56	3541
	Beton Porous 1	3	5.43	3599
		4	9.07	3828
		5	6.62	3851
	Beton Porous 2	6	8.94	3924
		7	8.37	4141
		8	7.23	3944
	Beton Porous Recycle	9	5.62	3541
		10	4.09	3679
Beton Recycle	Recycle	1	27.67	4084
		2	26.65	4217
		3	29.25	4178



Gambar 9. Hubungan kecepatan dan kuat tekan pada beton normal

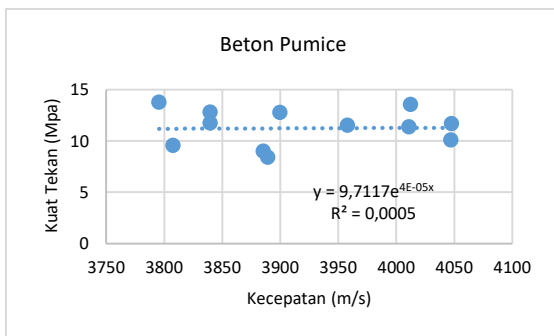
Pada Gambar 9 hasil pengujian kuat tekan dan UPV didapatkan hubungan yang cukup kuat antara kuat tekan dengan kecepatan (PV) pada beton normal dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,6495. Nilai kuat tekan dan kecepatan yang didapat cukup berhubungan. Pada beton normal rata-rata mempunyai hubungan nilai kuat tekan tinggi dan nilai kecepatan yang tinggi walaupun nilainya tidak absolut. Pada nilai kuat tekan karena dipengaruhi adanya gradasi yang merata pada campuran beton normal. Sedangkan untuk kecepatan dipengaruhi karena sedikitnya rongga pada beton normal karena gradasi yang merata pada beton normal, sehingga rongga semakin kecil.

Pada **Gambar 10** hasil pengujian kuat tekan dan UPV didapatkan hubungan yang cukup kuat antara kuat tekan dengan kecepatan (PV) pada beton fiber dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,5162. Nilai kuat tekan dan kecepatan yang didapat cukup berhubungan. Pada beton fiber rata-rata mempunyai hubungan nilai kuat tekan tinggi dan nilai kecepatan yang tinggi walaupun nilainya tidak absolut.



Gambar 10. Hubungan kecepatan dan kuat tekan pada beton fiber

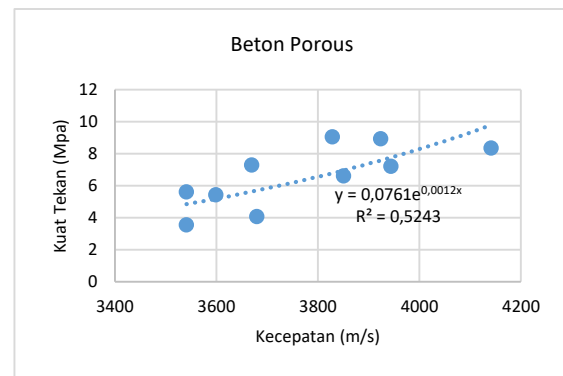
Pada nilai kuat tekan karena dipengaruhi adanya fiber pada campuran beton yang menambah kuat tekan pada beton walaupun nilainya tidak signifikan. Sedangkan untuk kecepatan dipengaruhi penambahan fiber kaleng yang membuat rongga pada beton semakin kecil dan dikarenakan adanya fiber kaleng terbuat dari material baja yang disalut timah yang membuat modulus elastisitasnya tinggi.



Gambar 11. Hubungan kecepatan dan kuat tekan pada beton pumice

Pada **Gambar 11** hasil pengujian kuat tekan dan UPV didapatkan hubungan yang sangat rendah antara kuat tekan dengan kecepatan (PV) pada beton pumice dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,0005. Hal ini dikarenakan untuk beton pumice beberapa sampel beton ada yang mendapat nilai kuat tekan tinggi namun kecepatan rendah, begitu

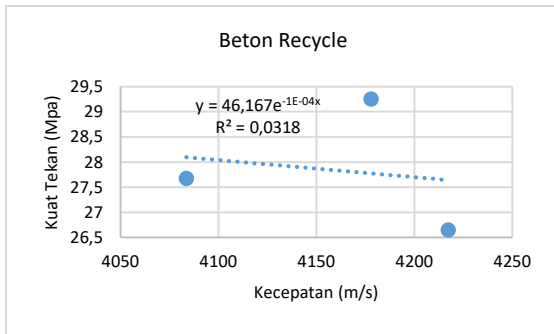
juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan beberapa faktor, untuk nilai kuat tekan hal ini dikarenakan adanya campuran agregat pumice yang ringan dan bersifat rapuh yang dapat mempengaruhi kuat tekan dan saat pencampuran material beton distribusi bahan yang tidak merata dikarenakan sifat batuan apung yang cenderung naik ke permukaan. Sedangkan untuk kecepatan dipengaruhi adanya banyak rongga yang berbentuk seperti pori-pori yang tersebar tidak merata diseluruh bagian batuan.



Gambar 12. Hubungan kecepatan dan kuat tekan pada beton porous

Pada **gambar 12** hasil pengujian kuat tekan dan UPV didapatkan hubungan yang cukup kuat antara kuat tekan dengan kecepatan (PV) pada beton porous dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,5243. Hal ini dikarenakan untuk beton porous rata-rata mempunyai hubungan nilai kuat tekan rendah dan nilai kecepatan yang rendah. Untuk nilai kuat tekan hal ini dikarenakan saat pengujian kuat tekan ada beberapa kendala saat dilakukan *capping* permukaan sampel beton yang tidak rata. *Capping* yang terpasang pada permukaan beton hanya terkena pada bagian agregat pada sisi-sisi tertentu saja. Kondisi ini dapat menyebabkan gaya tekan yang diterima tidak bisa merata secara maksimal pada seluruh luasan permukaan. Dan juga berkurangnya komponen penyusun beton karena tidak adanya agregat halus. Untuk kecepatannya sendiri dipengaruhi adanya rongga didalam beton porous lebih banyak yang membuat kerapatan pada beton porous rendah.

Pada **Gambar 13** hasil pengujian kuat tekan dan UPV didapatkan hubungan yang sangat rendah antara kuat tekan dengan kecepatan (PV) pada beton recycle dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,0318.



Gambar 13. Hubungan kecepatan dan kuat tekan pada beton *recycle*

Nilai kuat tekan dan kecepatan didapat hubungan yang sangat rendah. Untuk kuat tekan dikarenakan pada beton *recycle* menggunakan agregat kasar mutu tinggi, sehingga kuat tekan yang didapatkan tinggi. Untuk nilai kecepatan pada beton *recycle* cukup tinggi hal ini dikarenakan gradasi agregat pada beton *recycle* baik dan rongga didalam beton *recycle* lebih sedikit yang membuat kerapatan pada beton recycle tinggi. Namun hubungan kuat tekan dan cepat rambat masih rendah hal ini juga dikarenakan sampel beton *recycle* yang sedikit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada beton variasi fiber dengan mutu beton rencana 17 Mpa memiliki kuat tekan aktual sebesar 17,432 Mpa. Nilai kuat tekannya tinggi hal ini dikarenakan adanya fiber pada campuran beton yang menambah kuat tekan pada beton walaupun nilainya tidak signifikan. Untuk kecepatan pada beton fiber bernilai tinggi hal ini dikarenakan rongga didalam beton fiber sedikit yang membuat kerapatan pada beton fiber tinggi. Adanya penambahan fiber kaleng juga berpengaruh pada kuat tekan dan kecepatan beton dikarenakan fiber kaleng terbuat dari material baja yang dibalut timah yang membuat modulus elastisitasnya tinggi.
2. Pada beton variasi pumice dengan mutu beton rencana 17 Mpa memiliki kuat tekan sebesar 11,367 Mpa. Nilai kuat tekan dibawah kuat tekan rencana hal ini dikarenakan adanya campuran agregat pumice yang ringan dan bersifat rapuh yang dapat mempengaruhi kuat tekan dan saat pencampuran material beton distribusi bahan yang tidak merata dikarenakan sifat batuan apung yang cenderung naik ke permukaan.

Untuk nilai kecepatan pada beton pumice rendah hal ini dikarenakan rongga beton lebih banyak membuat kerapatan beton pumice kecil, sehingga kecepatan rendah.

3. Pada beton variasi porous dengan mutu beton rencana 14 Mpa memiliki kuat tekan aktual sebesar 6,377 Mpa. Beton variasi porous memiliki nilai kuat tekan rendah hal ini dikarenakan banyaknya rongga dan persebaran gradasi penyusun beton yang tidak merata. Untuk kecepatan pada beton porous nilainya rendah, hal ini dikarenakan rongga beton lebih banyak membuat kerapatan beton porous rendah.
4. Pada beton variasi *recycle* dengan mutu beton rencana 20 Mpa memiliki kuat tekan sebesar 27,857 Mpa. Beton variasi *recycle* memiliki nilai kuat tekan yang tinggi hal ini dikarenakan pada beton *recycle* menggunakan agregat kasar mutu tinggi, sehingga kuat tekan yang didapatkan tinggi. Untuk kecepatan pada beton *recycle* tinggi hal ini dikarenakan rongga didalam beton recycle lebih sedikit yang membuat kerapatan pada beton *recycle* tinggi.

5.2 Saran

Menurut penelitian terhadap benda uji silinder dengan berbagai macam jenis agregat, yang menggunakan alat UPV maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Diperlukan adanya penambahan jumlah sampel agar regresi dan korelasi yang telah didapat dapat digunakan secara umum.
2. Beberapa jenis beton mempunyai nilai koefisien determinasi R^2 yang sangat rendah maka perlu diteliti lebih lanjut.
3. Diperlukan kontrol yang lebih baik terhadap proses pencampuran beton dan berbagai macam komposisi material agar terhindar dari faktor-faktor yang tidak diinginkan.
4. Diperlukan kestabilan transduser dan cairan couplant saat pengujian UPV berlangsung.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Neville & Brooks. Concrete technology, 442. 2010.
- [2] Graha, D.S., 1987, "Batuan dan Mineral", Nova, Bandung
- [3] ACI Committee 544. 1982. State of the art report on fiber reinforced concrete -Report : ACI 544 IR-82. Farmington Hills : American Concrete Institute.

- [4] International Atomic Energy Agency, Vienna. *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures, Training Course Series No. 17*. 2002.
- [5] Malhotra, V.M. & Carino, N.J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. Boca Raton: CRC Press.
- [6] Yulian, Albertus Eky. (2017). Analisis Kerapatan Beton Dengan Menggunakan Cepat Rambat Dan Transmission Time Pada Alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil 1 (1)*, pp. 106-116 2018