

# Studi Eksperimen Non-Destructive Test dengan Metode Semi-Direct pada Beton

Faqih Ma'arif<sup>a</sup>, Iskandar Yasin<sup>a,\*</sup>, Zainul Faizien Haza<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta 55281, Indonesia

keywords:  
Non-Destructive Test  
UPV  
semi-direct

kata kunci:  
Non-Destructive Test  
UPV  
semi-langsung

## ABSTRACT

This study aims to determine the important role of the semi-direct method in concrete using Ultrasonic Pulse Velocity (UPVM). The test method used a laboratory experiment consisting of 18 normal concrete specimens with a quality of 20 MPa, 25 MPa, and 30 MPa respectively. Each variant was tested by Non-Destructive Testing using the direct method with a total of 54 points, and each variance consisted of 18 (eighteen) points. As for the semi-direct method, 180 points were tested, with each variance tested using different distances at the top and bottom using the notation (S20A; S20B; S25A; S25B; and S30A; S30B). The destructive test was carried out after 28 days old. The test results show that the pulse velocity propagation is determined by the quality of the concrete, density, distance, and aggregates. The semi-direct test has the best accuracy at the distance of 100 mm (Transducer and Receiver), and the value of the deviation for the semi-direct test compared to the direct method at that distance is 20% for all tests categories. These results can be used as a reference for the circular column test with the placement of the second model point (minimum distance of 100 mm).

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran penting metode *semi-direct* pada beton dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse velocity* (UPVM). Metode pengujian menggunakan eksperimen laboratorium yang terdiri dari 18 benda uji beton normal dengan mutu 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa. Masing-masing varian diuji NDT dengan metode direct dengan total 54 titik, dan masing-masing varian terdiri 18 (delapan belas) titik. Sedangkan untuk metode *semi-direct* dilakukan pengujian 180 titik, dengan masing-masing varian diuji menggunakan jarak berbeda pada bagian atas dan bawah menggunakan notasi (S20A; S20B; S25A; S25B; dan S30A; S30B). Uji *destructive* dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan perambatan gelombang ditentukan oleh mutu beton, kerapatan, dimensi dan agregat. Pengujian *semi-direct* memiliki tingkat akurasi pembacaan terbaik pada jarak *Transducer* dan *Receiver* sebesar 100 mm; dan besarnya deviasi untuk pengujian *semi-direct* dibandingkan dengan metode *direct* pada jarak tersebut adalah 20% untuk semua kategori pengujian. Nilai tersebut dapat dijadikan rujukan untuk skema pengujian kolom berbentuk lingkaran dengan penempatan titik model kedua (jarak minimal 100 mm).



This is an open access article under the [CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

## 1. Pendahuluan

Penilaian kondisi bangunan rumah tinggal menjadi hal penting dalam beberapa dekade mendatang, karena salah satu hal yang sering dipertanyakan oleh para ahli di bidang struktur adalah perihal kualitas beton, kualitas baja tulangan, terutama pada daerah sendi plastis atau

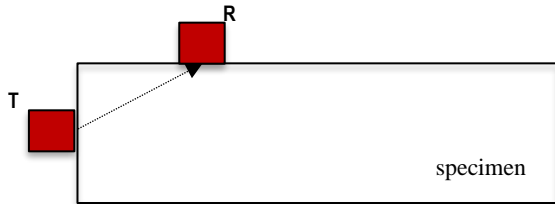
hubungan balok dan kolom. *Non-destructive test* dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* merupakan salah satu seperangkat instrumen yang digunakan untuk mengetahui kualitas beton terpasang dilapangan (kondisi eksisting). Dengan alat ini dapat diketahui nilai kecepatan rambat gelombang yang dipancarkan dari *transducer* dan diterima

\*Corresponding author.  
E-mail: iskandaryasin@ustjogja.ac.id

oleh *receiver*, cara bekerjanya sederhana dan mudah diaplikasikan dalam pekerjaan proyek konstruksi [1]-[12].

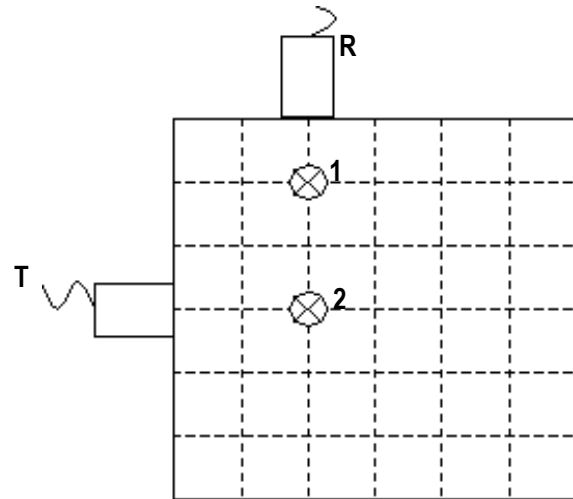
Dalam proses pelaksanaan pengujian, terdapat 3 (tiga) metode yang digunakan untuk menilai kualitas material diantaranya adalah (1) langsung (*direct*); (2) tidak langsung (*indirect*); dan (3) semi langsung (*semi-direct*). Metode *direct* merupakan salah satu uji yang secara umum digunakan untuk memprediksi besarnya kuat tekan beton, pengujian ini paling banyak diimplementasikan dan memiliki nilai akurasi yang paling baik diantaranya dua uji lainnya. Selanjutnya uji *indirect* merupakan uji tidak langsung yang dapat digunakan untuk mendeteksi retak pada beton ataupun cacat lainnya pada struktur, yang mana tidak dapat dilakukan dengan menggunakan metode *direct*. Sedangkan uji *semi-direct* memiliki tingkat akurasi yang cenderung kurang baik dibandingkan dengan kedua uji sebelumnya [4]-[6].

Namun demikian, pengujian *semi-direct* dibutuhkan terutama untuk kondisi eksisting yang sulit untuk dijangkau, terutama pada kasus dimana antara *Transducer* dan *Receiver* dalam posisi tidak saling berhadapan (Gambar 1). Dalam hal ini, uji *semi-direct* sangat dibutuhkan dan berperan penting untuk menghasilkan suatu prediksi kualitas bangunan yang ditinjau.



Gambar 1. Pola pengujian *semi-direct* [9]

Skema di atas berlaku untuk benda uji berbentuk persegi dan dapat ditemui pada kolom langsing ataupun kolom pendek. Riset terapan lainnya terkait uji *semi-direct* dilakukan pada benda uji dinding sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola pengujian *semi-direct* [13]

*Transducer* bergerak tegak lurus dengan *receiver* pada titik 1 (kesatu), titik 2 (kedua) dan seterusnya hingga menempati *grid system* yang telah ditentukan. Dalam hal ini didapatkan hubungan antara *pulse velocity* ( $v$ ) dan posisi titik uji yang bervariasi.

Dalam hal sebuah kasus yang ditinjau berbentuk lingkaran, belum ditemukan formulasi yang tepat dan memadai. Uji eksperimen terkait hal tersebut perlu dilakukan dalam rangka untuk mendapatkan sebuah solusi model pengujian yang dapat diterapkan dalam kondisi di lapangan. Oleh karena itu, minimnya referensi tentang hal ini penting untuk dapat diselesaikan melalui berbagai skema modifikasi uji antar titik *Transducer* dan *Receiver*.

## 2. Metode

Metode pelaksanaan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium. Benda uji terdiri dari 18 specimen dengan varian  $S_{20}$ ,  $S_{25}$ , dan  $S_{30}$ . Masing-masing varian memiliki kualitas beton yang berbeda diantaranya adalah 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah benda uji

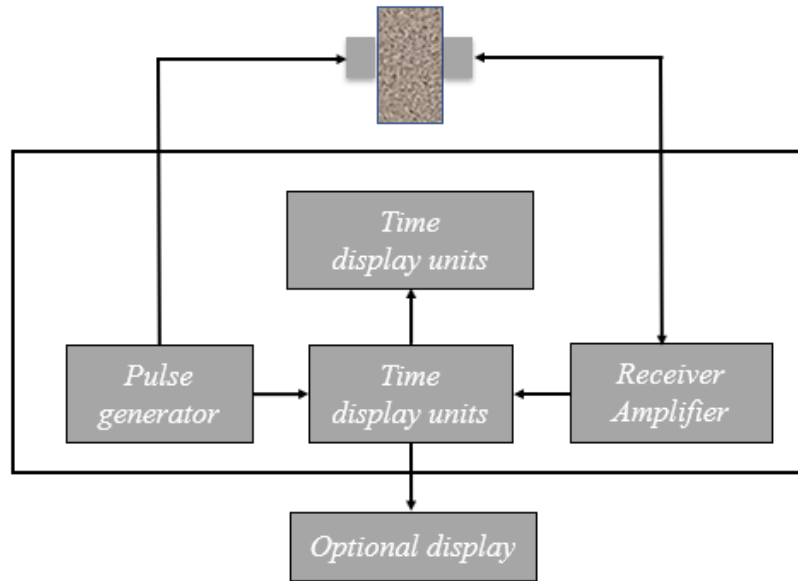
No	Mutu beton	Jumlah benda uji	Kuat tekan	Jumlah titik pengujian	
				<i>Direct</i>	<i>Semi direct</i>
1	$S_{20}$	6	6	18	60
2	$S_{25}$	6	6	18	60
3	$S_{30}$	6	6	18	60
Jumlah		18	18	54	180

keterangan:

$S_{20}$ : benda uji silinder dengan kuat tekan 20MPa;  $S_{25}$ : benda uji silinder dengan kuat tekan 25MPa

$S_{30}$ : benda uji silinder dengan kuat tekan 30MPa

Konsep pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* mengacu kepada ASTM C597-02-2003 sebagaimana Gambar 1.

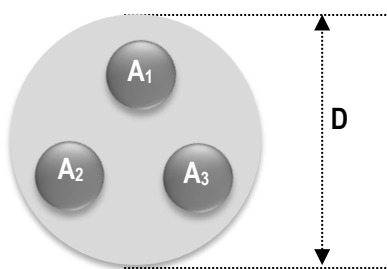


Gambar 3. Konsep pengujian UPV [12]

Berdasarkan standar Eropa EN 12504-4, BS EN 12504-4 dan ASTM C597-02 (2003) dua metode transmisi (*transducer dan receiver*) diterapkan dengan sistem frekuensi pengiriman gelombang sebesar 54kHz. Dalam pelaksanaannya, metode pengujian UPV dibagi menjadi tiga diantaranya adalah: (1) pengujian langsung (*direct*); (2) pengujian tidak langsung (*indirect*); dan (3) pengujian semi-direct. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan tergantung dari kondisi di lapangan.

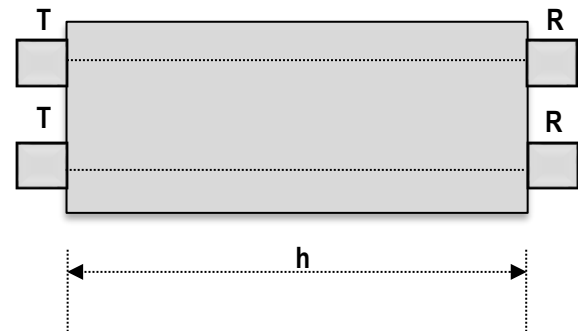
2.1. Direct test

Mekanisme untuk pengujian *Non-Destructive Test* dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilaksanakan pada benda uji berumur 28 hari. Setiap varian pengujian diambil tiga titik data dengan pola sebagaimana pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola pengujian direct pada benda uji 150x300 mm (tampak depan) [8]

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan metode pengujian *direct* pada silinder beton dengan tiga varian mutu (20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa) yang jumlah 3 (tiga) titik pengujian. jumlah total titik pengujian untuk setiap varian adalah 54 (lima puluh empat).



Gambar 5. Pengujian *direct* pada benda uji silinder 150 mm x 300 mm (tampak samping) [11]

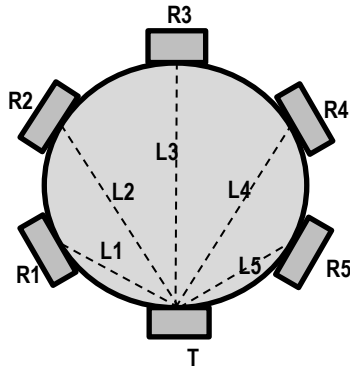
Besarnya nilai kecepatan perambatan gelombang dihitung dengan persamaan (2).

$$V = \frac{L}{T} \tag{1}$$

Keterangan: V: kecepatan (km/s); L: Panjang (m); T: *Travel time* (µs)

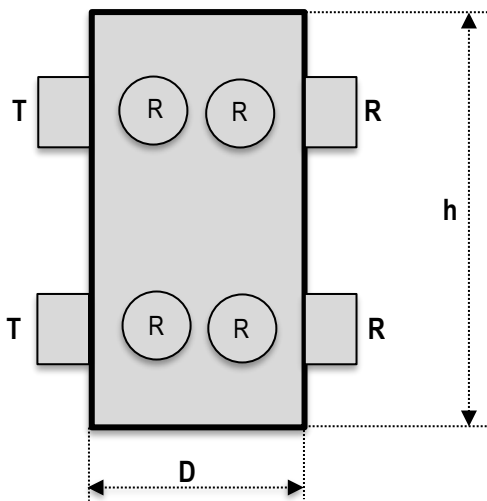
2.2. Usulan *Semi direct test*

Pengujian *semi direct* dilaksanakan apabila pengujian *direct* dan *indirect* tidak dapat diimplementasikan. Kasus yang sering dijumpai adalah kondisi eksisting yang menyulitkan sehingga dibutuhkan inovasi metode untuk mengevaluasi mutu beton. Usulan yang dilaksanakan mengacu pada Gambar 6 dengan berfokus pada *receiver* yang digerakkan pada bidang permukaan silinder. Sedangkan untuk posisi *Transducer* tetap pada bidang muka. Jarak antar keduanya berubah-ubah dan setiap kecepatan perambatan gelombang dianalisis sesuai dengan besaran jaraknya.



Gambar 6. Metode pengujian *semi-direct test*

keterangan: (1) T : *transducer*; (2) R : *receiver*.



Gambar 7. Ilustrasi pengujian tampak samping

Gambar 6 melaporkan tentang metode usulan *semi-direct* untuk benda uji berbentuk silinder. *Transducer* diletakkan dalam satu titik, kemudian *Receiver* diposisikan pada lima titik yang berbeda untuk sisi yang melingkar. Besaran L1 sampai dengan L5 diukur untuk mendapatkan besarnya kecepatan pada setiap titik pengujian. Setiap benda uji dilakukan 5 (lima) kali uji, sehingga untuk total jumlah uji adalah 120 (seratus dua puluh). Sebagai catatan penting, proses pengujian dilaksanakan pada sisi bawah dan atas untuk akurasi data yang dihasilkan.

**2.3. Uji kuat tekan**

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan mengacu pada Gambar 8. Menggunakan mesin uji CONTROLS AUTOMAX 5 *Automatic EN Compression Testers* kapasitas 3000 kN.

Sebelum dilaksanakannya pengujian tekan, modulus juga diperhitungkan [11], benda uji diberi *capping* yang berfungsi untuk meratakan beban. Besarnya kuat tekan dihitung sesuai dengan ASTM C39/C39M-14 pada Persamaan (2).

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2}$$

keterangan:  $\sigma$ : tegangan (MPa); P: Beban (kN); A: Luas (mm<sup>2</sup>).

**3. Pembahasan**

**3.1. Pengujian langsung (*direct test*)**

Pengujian langsung dilaksanakan untuk tiga kategori kuat tekan beton yaitu 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Hasil pengujian tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian *direct* untuk variasi mutu beton

No	Mutu 20MPa	Jarak (mm)	Titik pengujian	TT	Mutu 25MPa	Jarak (mm)	Titik pengujian	TT	Mutu 30MPa	Jarak (mm)	Titik pengujian	TT
1	S <sub>20A</sub>	30.40	A <sub>1</sub>	22.00	S <sub>25A</sub>	30.70	A <sub>1</sub>	21.00	S <sub>30A</sub>	30.18	A <sub>1</sub>	20.00
		30.50	A <sub>2</sub>	22.00		30.60	A <sub>2</sub>	21.00		30.07	A <sub>2</sub>	21.00
		30.40	A <sub>3</sub>	22.50		30.60	A <sub>3</sub>	21.00		29.92	A <sub>3</sub>	21.00
2	S <sub>20B</sub>	30.50	A <sub>4</sub>	21.00	S <sub>25B</sub>	30.40	A <sub>4</sub>	21.00	S <sub>30B</sub>	30.18	A <sub>4</sub>	20.00
		30.50	A <sub>5</sub>	21.00		30.40	A <sub>5</sub>	14.50		30.07	A <sub>5</sub>	20.00
		30.50	A <sub>6</sub>	21.00		30.40	A <sub>6</sub>	21.00		29.92	A <sub>6</sub>	20.50
3	S <sub>20C</sub>	30.60	A <sub>7</sub>	20.50	S <sub>25C</sub>	30.50	A <sub>7</sub>	21.00	S <sub>30C</sub>	30.18	A <sub>7</sub>	20.00
		30.70	A <sub>8</sub>	21.50		30.60	A <sub>8</sub>	22.00		30.07	A <sub>8</sub>	20.00
		30.60	A <sub>9</sub>	23.00		30.70	A <sub>9</sub>	22.00		29.92	A <sub>9</sub>	21.00
4	S <sub>20D</sub>	30.20	A <sub>10</sub>	23.00	S <sub>25D</sub>	30.30	A <sub>10</sub>	21.50	S <sub>30D</sub>	30.18	A <sub>10</sub>	20.50
		30.20	A <sub>11</sub>	21.50		30.30	A <sub>11</sub>	22.50		30.07	A <sub>11</sub>	21.00
		30.10	A <sub>12</sub>	21.50		30.30	A <sub>12</sub>	21.00		29.92	A <sub>12</sub>	20.00
5	S <sub>20E</sub>	30.60	A <sub>13</sub>	20.50	S <sub>25E</sub>	30.30	A <sub>13</sub>	21.50	S <sub>30E</sub>	30.18	A <sub>13</sub>	21.50
		30.60	A <sub>14</sub>	21.00		30.50	A <sub>14</sub>	21.50		30.07	A <sub>14</sub>	21.00
		30.80	A <sub>15</sub>	23.50		30.30	A <sub>15</sub>	21.50		29.92	A <sub>15</sub>	21.50
6	S <sub>20F</sub>	30.60	A <sub>16</sub>	20.50	S <sub>25F</sub>	30.60	A <sub>16</sub>	22.00	S <sub>30F</sub>	30.18	A <sub>16</sub>	21.00
		30.60	A <sub>17</sub>	20.50		30.40	A <sub>17</sub>	22.00		30.07	A <sub>17</sub>	20.50

No	Mutu 20MPa	Jarak (mm)	Titik pengujian	TT	Mutu 25MPa	Jarak (mm)	Titik pengujian	TT	Mutu 30MPa	Jarak (mm)	Titik pengujian	TT
		30.70	A <sub>18</sub>	21.00		30.50	A <sub>18</sub>	22.00		29.92	A <sub>18</sub>	21.00

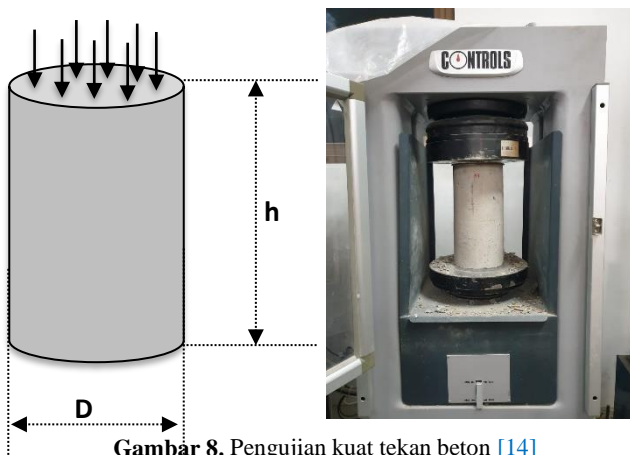
keterangan: TT: *travel time* ( $\mu$ s); S20: kuat tekan beton silinder 20 MPa; S25: kuat tekan beton silinder 25 MPa; dan S30: kuat tekan beton silinder 30 MPa.

Selanjutnya, hasil pengujian direpresntasikan ke dalam kecepatan sebagaimana pada Tabel 3 dengan menggunakan [Persamaan \(2\)](#)

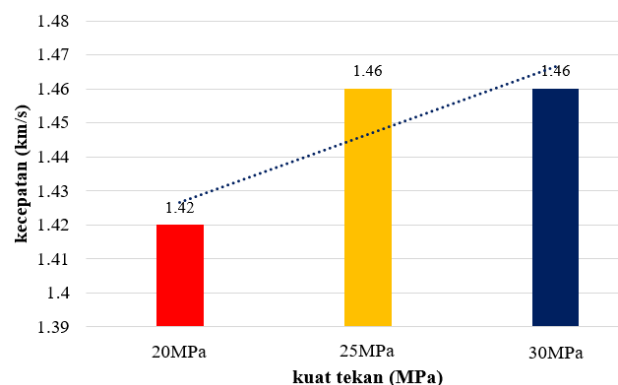
**Tabel 3.** Analisis kecepatan rambat gelombang

No	Mutu 20MPa	Titik pengujian	V (km/s)	Mutu 25MPa	Titik pengujian	V (km/s)	Mutu 30MPa	Titik pengujian	V (km/s)		
1	S <sub>20A</sub>	A <sub>1</sub>	1.38	S <sub>25A</sub>	A <sub>1</sub>	1.46	S <sub>30A</sub>	A <sub>1</sub>	1.51		
		A <sub>2</sub>	1.39		A <sub>2</sub>	1.46		A <sub>2</sub>	1.43		
		A <sub>3</sub>	1.35		A <sub>3</sub>	1.46		A <sub>3</sub>	1.42		
		rerata	1.37		rerata	1.46		rerata	1.45		
2	S <sub>20B</sub>	A <sub>4</sub>	1.45	S <sub>25B</sub>	A <sub>4</sub>	1.45	S <sub>30B</sub>	A <sub>4</sub>	1.51		
		A <sub>5</sub>	1.45		A <sub>5</sub>	2.10		A <sub>5</sub>	1.50		
		A <sub>6</sub>	1.45		A <sub>6</sub>	1.45		A <sub>6</sub>	1.46		
		rerata	1.45		rerata	1.67		rerata	1.49		
3	S <sub>20C</sub>	A <sub>7</sub>	1.49	S <sub>25C</sub>	A <sub>7</sub>	1.45	S <sub>30C</sub>	A <sub>7</sub>	1.51		
		A <sub>8</sub>	1.43		A <sub>8</sub>	1.39		A <sub>8</sub>	1.50		
		A <sub>9</sub>	1.33		A <sub>9</sub>	1.40		A <sub>9</sub>	1.42		
		rerata	1.42		rerata	1.41		rerata	1.48		
4	S <sub>20D</sub>	A <sub>10</sub>	1.31	S <sub>25D</sub>	A <sub>10</sub>	1.41	S <sub>30D</sub>	A <sub>10</sub>	1.47		
		A <sub>11</sub>	1.40		A <sub>11</sub>	1.35		A <sub>11</sub>	1.43		
		A <sub>12</sub>	1.40		A <sub>12</sub>	1.44		A <sub>12</sub>	1.50		
		rerata	1.37		rerata	1.40		rerata	1.47		
5	S <sub>20E</sub>	A <sub>13</sub>	1.49	S <sub>25E</sub>	A <sub>13</sub>	1.41	S <sub>30E</sub>	A <sub>13</sub>	1.40		
		A <sub>14</sub>	1.46		A <sub>14</sub>	1.42		A <sub>14</sub>	1.43		
		A <sub>15</sub>	1.31		A <sub>15</sub>	1.41		A <sub>15</sub>	1.39		
		rerata	1.42		rerata	1.41		rerata	1.41		
6	S <sub>20F</sub>	A <sub>16</sub>	1.49	S <sub>25F</sub>	A <sub>16</sub>	1.39	S <sub>30F</sub>	A <sub>16</sub>	1.44		
		A <sub>17</sub>	1.49		A <sub>17</sub>	1.38		A <sub>17</sub>	1.47		
		A <sub>18</sub>	1.46		A <sub>18</sub>	1.39		A <sub>18</sub>	1.42		
		rerata	1.48		rerata	1.39		rerata	1.44		
Jumlah rerata			1.42	Jumlah rerata			1.46	Jumlah rerata			1.46

Berdasarkan pada Tabel 3 besarnya kecepatan perambatan gelombang S<sub>20</sub>, S<sub>25</sub>, dan S<sub>30</sub> berturut-turut sebesar 1.42 km/s, 1.46 km/s, dan 1.46 km/s.



**Gambar 8.** Pengujian kuat tekan beton [14]



**Gambar 9.** Hubungan antara kecepatan dan kuat tekan

Gambar 9 menunjukkan bahwa kecepatan perambatan gelombang linear dengan kuat tekan betonnya. Semakin tinggi kuat tekan beton, rapat masa semakin baik, dan akan

berpengaruh terhadap pembacaan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. Pada media padat, kecepatan akan meningkat sedemikian rupa sehingga pada kasus tertentu seperti keadaan beton retak, dapat dideteksi dengan melemahnya nilai *travel time* di zona yang mengandung cacat merujuk pada [15].

Selanjutnya, nilai yang dihasilkan dapat ditransformasikan kedalam persamaan yang bermuara kepada tindakan mitigasi untuk rencana tindak lanjut proses perbaikan, atau perkuatan sebuah struktur bangunan. Gambar 9 juga menunjukkan bahwa pencapaian uji kecepatan rambat gelombang senada dengan [8][12]-[15] sehingga keandalan uji ini masih dapat dipertanggungjawabkan.

**2.2. Pengujian semi-direct**

Pengujian *semi-direct* jarang digunakan dalam aplikasi di lapangan. Pada umumnya pengujian NDT menggunakan UPV cenderung dititikberatkan kepada uji *direct* dan *indirect*. Hal ini karena hasilnya lebih akurat [14] terutama pada pengujian *direct* [14]-[17]. Dalam pengujian ini, pembacaan kecepatan perambatan gelombang sebagaimana pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 12 dengan hasil disajikan pengujian pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 6.

Titik pengujian dilaksanakan secara merata pada bidang permukaan silinder beton yang di notasikan dengan *Transducer* (R) dan *Receiver* (R) yang menempati sepuluh titik berbeda untuk bagian atas dan bawah. Data yang didapatkan harus dianalisis ulang menggunakan metode Chauvenet's Criterion untuk dapat menemukan bahwa data berdistribusi normal pasca analisis ANOVA. Sehingga data yang berada di luar layer tersebut dapat dihapus dari kumpulan data yang sudah terekam. Dalam hal ini, fokus utama analisis tersebut didasarkan kepada posisi *transducer* dan *receiver* yang saling berhadapan.

$$D_{max} \geq \frac{|x - \bar{x}|}{S_x} \tag{2}$$

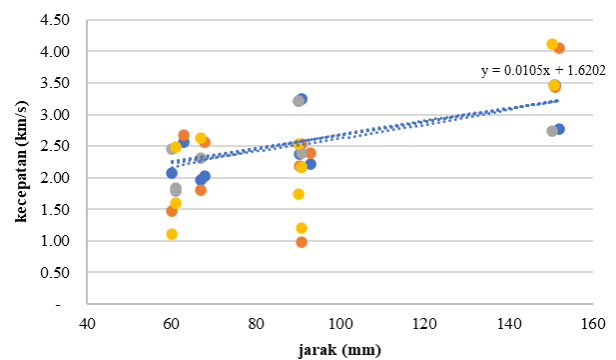
keterangan: (a)  $D_{max}$ : deviasi maksimum yang diijinkan; (b)  $x$ : nilai outlier data; (c)  $\bar{x}$ : nilai rerata; (d)  $S_x$ : standar deviasi; (5)  $| \cdot |$  nilai absolut.

Langkah ini diambil karena konsep utama *semi-direct* menitikberatkan kepada proses pengujian yang mana kedua variabel tidak saling berhadapan. Di sisi yang lain, pengukuran dengan titik T dan R yang berbeda dilakukan untuk memprediksi jarak optimum antara *transducer* dan *receiver* pada bidang muka lingkaran. Sehingga akibat pengaruh tersebut akan didapatkan hubungan antara

kecepatan (V) dan jarak (mm) sebagaimana pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 11.

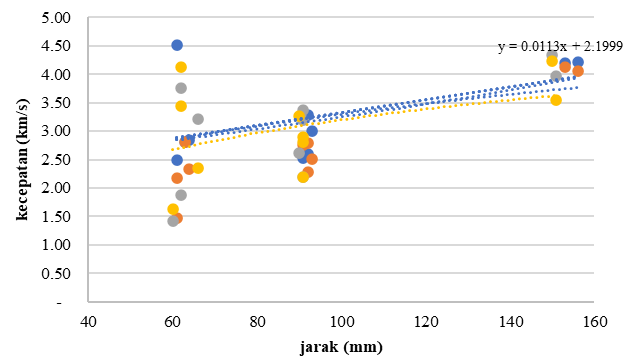
Sebuah temuan dalam penelitian ini untuk masing-masing kategori kuat tekan ditemukan bahwa jarak terbaik untuk uji langsung adalah pada nilai 100 mm, yang mengindikasikan nilai stabil pada semua pengujian yang telah dilaksanakan.

Representasi dari Tabel 4 sampai dengan Tabel 6 diilustrasikan ke dalam Gambar 10 sampai dengan Gambar 12 untuk setiap variasi mutu pengujian dengan jarak masing-masing dari L<sub>1</sub> sampai dengan L<sub>5</sub>. Gambar 10 sampai dengan Gambar 12 juga merupakan sebaran data pengujian UPV silinder beton pada dua bidang muka (bagian atas dan bawah), dengan variasi jarak yang berbeda.



**Gambar 10.** Hubungan antara kecepatan dan jarak untuk kualitas beton 20 MPa

Hasil pengujian menunjukkan konsistensi data kecepatan pada saat kisaran jarak 100 mm-150 mm untuk masing-masing kualitas beton 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa dengan nilai berturut-turut sebesar 4.79 km/s, 4.09 km/s, dan 3.44 km/s yang mengandung arti bahwa beton memiliki kualitas yang baik sebagaimana yang dihasilkan oleh [18-20].



**Gambar 11.** Hubungan antara kecepatan dan jarak untuk kualitas beton 25 MPa

**3.3. Pengujian kuat tekan beton**

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji silinder dengan dimensi 150 mm x 300 mm yang berumur 28 hari,

perawatan dengan cara perendaman. kecepatan Pembebanan benda uji pada rentang nilai 0.15 MPa/detik sampai dengan 0.35 MPa/detik [11].

**Tabel 4.** Hasil pengujian *semi-direct* mutu 20 MPa

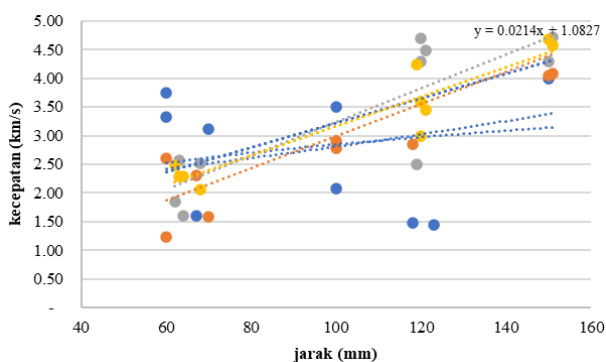
Mutu 20MPa	Titik pengujian	Jarak, pembacaan travel time, dan kecepatan											
		Jarak (mm)	S20 <sub>A</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S20 <sub>B</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S20 <sub>C</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S20 <sub>D</sub>	V (km/s)
Atas	R1	60	18.00	3.33	60	23.00	2.61	68	27.00	2.52	68	33.00	2.06
	R2	100	48.00	2.08	100	34.50	2.90	119	47.50	2.51	119	28.00	4.25
	R3	150	37.50	4.00	150	37.00	4.05	151	32.00	4.72	151	33.00	4.58
	R4	100	28.50	3.51	100	36.00	2.78	120	25.50	4.71	120	33.50	3.58
	R5	60	16.00	3.75	60	48.50	1.24	64	40.00	1.60	64	28.00	2.29
Bawah	R1	67	42.00	1.60	67	29.00	2.31	63	24.50	2.57	63	27.50	2.29
	R2	123	85.50	1.44	123	22.50	5.47	121	27.00	4.48	121	35.00	3.46
	R3	151	19.00	7.95	151	37.00	4.08	150	35.00	4.29	150	32.00	4.69
	R4	118	80.00	1.48	118	41.50	2.84	120	28.00	4.29	120	40.00	3.00
	R5	70	22.50	3.11	70	44.00	1.59	62	33.50	1.85	62	25.00	2.48

**Tabel 5.** Hasil pengujian *semi-direct* mutu 25 MPa

Mutu 25MPa	Titik pengujian	Jarak (mm)	S25 <sub>A</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S25 <sub>B</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S25 <sub>C</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S25 <sub>D</sub>	V (km/s)
	R2	93	31.00	3.00	93	37.00	2.51	90	34.50	2.61	90	27.50	3.127
	R3	153	36.50	4.19	153	37.00	4.14	151	38.00	3.97	151	42.50	3.55
	R4	92	35.50	2.59	92	33.00	2.79	91	41.50	2.19	91	41.50	2.19
	R5	61	24.50	2.49	61	41.50	1.47	60	42.50	1.41	60	37.00	1.62
Bawah	R1	61	13.50	4.52	61	28.00	2.18	62	16.50	3.76	62	15.00	4.13
	R2	92	28.00	3.29	92	40.50	2.27	91	27.00	3.37	91	31.50	2.89
	R3	156	37.00	4.22	156	38.50	4.05	150	34.50	4.35	150	35.50	4.23
	R4	91	36.00	2.53	91	33.00	2.76	91	28.50	3.19	91	32.50	2.80
	R5	63	22.50	2.80	63	22.50	2.80	62	33.00	1.88	62	18.00	3.44

**Tabel 6.** Hasil pengujian *semi-direct* mutu 30 MPa

Mutu 30MPa	Titik pengujian	Jarak (mm)	S25 <sub>A</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S25 <sub>B</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S25 <sub>C</sub>	V (km/s)	Jarak (mm)	S25 <sub>D</sub>	V (km/s)
	R2	91	28.00	3.25	91	92.50	0.98	90.1	28.00	3.22	90.1	51.50	1.75
	R3	152	55.00	2.76	152	37.50	4.05	150.5	55.00	2.74	150.5	36.50	4.12
	R4	93	42.00	2.21	93	39.00	2.38	91	42.00	2.17	91	42.00	2.17
	R5	67	34.00	1.97	67	37.00	1.81	61	34.00	1.79	61	38.00	1.61
bawah	R1	60.2	29.00	2.08	60.2	41.00	1.47	67	29.00	2.31	67	25.50	2.63
	R2	90.4	38.00	2.38	90.4	41.50	2.18	91	38.00	2.39	91	75.50	1.21
	R3	151.1	43.50	3.47	151.1	44.00	3.43	150.9	43.50	3.47	150.9	43.50	3.47
	R4	91	28.00	3.25	91	36.00	2.53	90.2	28.00	3.22	90.2	35.50	2.54
	R5	63	24.50	2.57	63	23.50	2.68	60.2	24.50	2.46	60.2	54.50	1.10



**Gambar 12.** Hubungan antara kecepatan dan jarak untuk kualitas beton 30 MPa

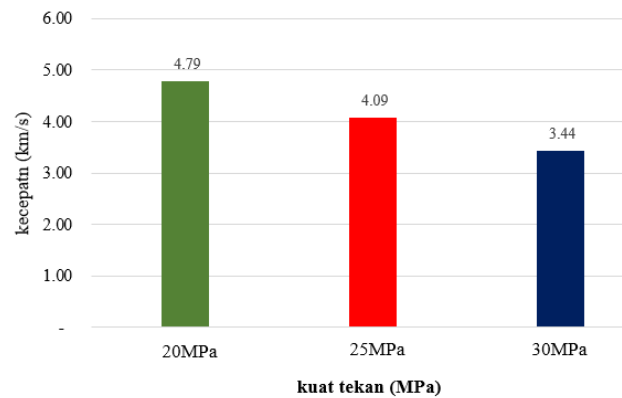
Tabel 7 menunjukkan bahwa kuat tekan rerata untuk benda uji S20, S25, dan S30 berturut-turut sebesar 22.65 MPa, 28.32 MPa, dan 26.24 MPa. hasil pengujian ini sesuai target rencana untuk masing-masing spesimen sebesar 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa.

**Tabel 7.** Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Benda uji	Tinggi	Diameter (mm)	P(kN)	fc'
1	S20 <sub>A</sub>	306.00	150.00	390	22.08
2	S20 <sub>B</sub>	305.00	150.00	410	23.21
3	S25 <sub>A</sub>	303.70	148.00	500	29.08
4	S25 <sub>B</sub>	30.340	158.00	540	27.56
5	S30 <sub>A</sub>	301.80	149.90	570	32.31
6	S30 <sub>B</sub>	299.40	148.70	350	20.16

Pada saat pelaksanaan, kontrol ketat dilakukan sejak proses pembuatan benda uji yang termasuk dalam hal ini adalah pemilihan butir agregat, pemadatan, hingga perawatan beton dalam kurun waktu usia 28 hari.

Selanjutnya, besarnya nilai kecepatan untuk masing-masing kualitas beton berturut-turut sebesar 4.79 km/s; 4.09 km/s dan 3.44 km/s termasuk dalam kategori sangat baik [16]-[17]. Apabila ditinjau dari akurasi pengujian antara *direct* dan *semi-direct* untuk penempatan titik uji horizontal didapatkan nilai pada Tabel 8. Dalam proses pengambilan data dilaksanakan pada sisi silinder. Hasil yang diperoleh merupakan rerata dari setiap 4 (empat) benda uji silinder yang masing-masing nilai kecepatannya terdiri dari bagian atas dan bawah.



Gambar 13. Hubungan antara kecepatan dan kuat tekan beton.

Tabel 8. Jarak T dan R minimum 60mm

No	Benda uji	V ( <i>direct</i> ) (km/s)	V ( <i>semi-direct</i> ) (km/s)	%	% Rerata dev
1	S20 <sub>A</sub>	4.34	2.63	38.02	41.84
2	S20 <sub>B</sub>	5.25	2.19	45.66	
3	S25 <sub>A</sub>	3.96	2.69	37.17	32.29
4	S25 <sub>B</sub>	4.21	3.65	27.40	
5	S30 <sub>A</sub>	3.42	2.23	44.84	46.01
6	S30 <sub>B</sub>	3.46	2.12	47.17	

Keterangan: (a) S20<sub>A</sub>: pengujian benda uji dengan kuat tekan 20 MPa bagian atas; (b) pengujian kecepatan pada kuat tekan benda uji 25 MPa bagian bawah; (c) S25<sub>A</sub>, S25<sub>B</sub>, S30<sub>A</sub>, S30<sub>B</sub> sebagaimana penjelasan pada S20<sub>A</sub>.

Besarnya tingkat akurasi antara pengujian *direct* dan *semi-direct* rerata untuk beton dengan kualitas 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa, sebagaimana pada Tabel 8 berturut-turut sebesar 41.84%, 32.29% dan 46.01%. Hal ini mengandung arti bahwa pada skema jarak pengujian L1 (60 mm) terdapat deviasi pembacaan data yang cukup besar. Apabila nilai tersebut ditingkatkan, maka level akurasi disajikan pada Tabel 9.

Sedangkan untuk mempermudah visualisasi, perubahan jarak L seperti pada Gambar 13. Sebagaimana pada Tabel 8, hasil data kecepatan tersebut berdasarkan rerata dari nilai hasil uji empat buah silinder, yang diambil pada bagian atas dan bawah, sehingga dengan banyaknya data yang diperoleh merupakan representasi dari homogenitas setelah lolos uji ANOVA.

Tabel 9. Jarak T dan R ditingkatkan menjadi 100mm

No	Benda uji	V ( <i>direct</i> ) (km/s)	V ( <i>semi-direct</i> ) (km/s)	%	% Rerata
1	S20 <sub>A</sub>	4.34	2.93	32.49	30.91
2	S20 <sub>B</sub>	5.25	3.71	29.33	
3	S25 <sub>A</sub>	3.96	2.85	28.03	29.98
4	S25 <sub>B</sub>	4.21	2.95	29.93	
5	S30 <sub>A</sub>	3.42	2.30	32.75	36.89
6	S30 <sub>B</sub>	3.46	2.04	41.04	

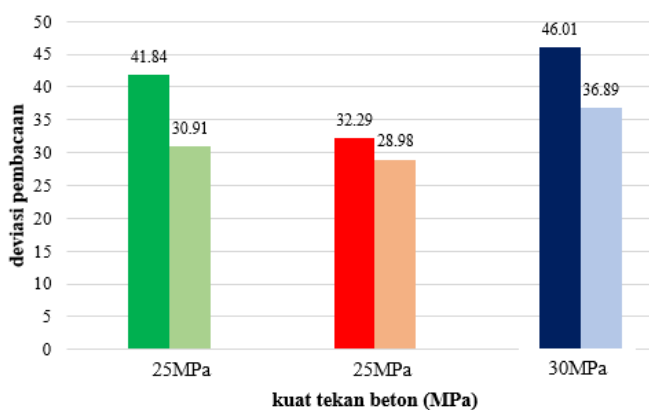
Merujuk pada Gambar 14 menyatakan bahwa tingkat akurasi pembacaan ditentukan oleh jarak L pada pengujian semi direct. Apabila dibandingkan dengan uji *direct* pada

peletakan titik yang sama pada masing-masing kualitas beton berturut-turut sebesar 26.12%; 10.25% dan 19.82%. Kondisi kerapatan juga mempengaruhi hasil pembacaan



kecepatan pada metode semi-direct yang ditunjukkan dengan penurunan deviasi dibandingkan dengan metode *direct* pada kualitas beton 25 MPa dan 30 MPa.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengujian serta pengamatan laboratorium dapat dilaporkan bahwa mempengaruhi pembacaan pada UPV test diantaranya adalah temperatur benda uji, Panjang lintasan gelombang 100 mm untuk ukuran agregat 20mm, serta Panjang 150 mm untuk ukuran agregat maksimum sebesar 40 mm, serta kondisi kelembaban benda uji. Kondisi permukaan harus dipastikan tidak lembab atau basah dan harus bersih sebelum dilaksanakannya pengujian. Sehingga peran operator terlatih dibutuhkan untuk mendapatkan hasil maksimal.



**Gambar 14.** Deviasi pembacaan pada jarak L yang berbeda

### 3. Simpulan

Hasil pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa: (1) besarnya nilai kecepatan perambatan gelombang pada pengujian *direct* ditentukan oleh mutu beton, kerapatan, serta dimensi agregat disamping kelembaban pada benda uji; (2) pengujian semi-direct memiliki tingkat akurasi yang cukup baik pada Jarak L sebesar 100mm; (3) hasil pengujian kuat tekan beton untuk ketiga kategori beton normal menunjukkan bahwa pada uji coba nilai deviasi pengujian *semi-direct* dibandingkan uji *direct* pada jarak minimal 100 mm memiliki deviasi lebih baik dengan kisaran persentasi untuk masing-masing benda uji sebesar 26.12%; 10.25% dan 19.82% atau tidak lebih dari 20%.

### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami haturkan kepada laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Yogyakarta atas dukungan yang telah diberikan dalam pengujian *Non-Destructive Test* menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity*.

### Daftar Rujukan

[1] M. Kazemi, R. Madandoust, and J. de Brito,

“Compressive strength assessment of recycled aggregate concrete using Schmidt rebound hammer and core testing,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 224, no. July, pp. 630–638, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.110.

- [2] Breyse D., Balayssac J.P. Strength Assessment in Reinforced Concrete Structures: From Research to Improved Practices [J]. *Construction and Building Materials*, 2018, V182: 1-9.
- [3] Lee T., Lee J., Choi H. Assessment of Strength Development at Hardened Stage on High-Strength Concrete Using NDT. *Applied Science*, 2020, V10: 1-15.
- [4] Kaplan M F. The Relation Between Ultrasonic Pulse Velocity and the Compressive Strength of Concretes Having the Same Workability but Different Mix Proportions. *Magazine of Concrete Research*, 1960, V12(34):1-8.
- [5] Carcano R S, Moreno E.I. Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity. *Construction and Building Materials*, 2008, V22: 1225–1231.
- [6] Naffa S O., Goueygou M., Piwakowski B., Bodin F B. Detection of chemical damage in concrete using ultrasound. *Ultrasonics*, 2002, V40: 247–251.
- [7] Jain A., Kathuria A., Kumar A., et al. Combined Use of Non-Destructive Tests for Assessment of Strength of Concrete in Structure. *The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering. Procedia Engineering*, 2013, V54: 241 – 251.
- [8] F Ma'arif., Z Gao., F LI. Investigation of concrete quality using Discrete Element Method (DEM). *Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Technology and Vocational Teachers (ICTVT)*, IOP Publishing, 2021, V1883: 012053.
- [9] Qasrawi H Y., Concrete strength by Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted. *Cement and Concrete Research*, V30: 739-746
- [10] Carrillo J., Ramirez J., Marriaga J. L. Modulus of elasticity and Poisson's Ratio of Fiber-Reinforced Concrete in Colombia from Ultrasonic Pulse Velocities [J]. *Journal of Building Engineering*, 2019, V23: 18-26.
- [11] Ma'arif F., Gao Z., Li F. The Modelling of Compressive Strength of Concrete on Discrete Element Method. *Journal of Physics*, 2021, V1845: 012079

- [12] ASTM C597-16. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. American Society for Testing and Materials International, 2016, V04.02.
- [13] Chih-Hung Chiang, Po-Chih Chen, Semi-direct measurements of ultrasonic pulse velocity in proposed concrete reference specimens. <https://www.ndt.net/apcndt2001/papers/1207/1207.htm>
- [14] ASTM C469 / C469M-14e1. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression [B]. ASTM International, 2016, v04.02.
- [15] Faqih Ma'arif, Priyosulistyo Priyosulistyo, Ashar Saputra. The Effect of Variation Concrete Cube of Axial Load on Ultrasonic Pulse Velocity Transmitter
- [16] F Ma'Arif, Z Gao, F Li, HU Ghifarsyam. The New Analysis of Discrete Element Method Using ARM Processor.
- [17] F Ma'arif, Z Gao, F Li, HRC Priyosulistyo. Experiment Study of Ultrasonic Pulse Velocity Test of R/C Column Under Axial Load Variation
- [18] Al-Mufti R L., Fried A N. The Early Age Non-Destructive Testing of Concrete Made with Recycled Concrete Aggregate [J]. Construction and Building Materials, 2012, V37: 379-386.
- [19] Faqih Ma'arif Agus Santoso, Slamet Widodo. Prediction of Lighweight Concrete Panel Homogeneity by Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).
- [20] Faqih Ma'arif, Slamet Widodo, Agus Santoso. Analisis Homogenitas Self Compacting Mortar Menggunakan Serat Polypropylene Berdasarkan Kecepatan Perambatan Gelombang Ultrasonik (UPVM).