

**ANALISIS KERAPATAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN CEPAT
RAMBAT DAN *TRANSMISSION TIME* PADA ALAT UPV (*ULTRASONIC
PULSE VELOCITY*)**

***(Concrete Density Analysis Using Pulse Velocity and Transmission Time on UPV
(Ultrasonic Pulse Velocity) Instrument)***

Albertus Eky Yulian, Indradi Wijatmiko, Christin Remayanti N.
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 -Telp (0341) 567886
Email : albert.eky@outlook.com

ABSTRAK

Kekuatan beton bergantung pada kualitas pengerjaannya, sehingga dalam pengawasan perlu dilakukan pengujian, salah satunya adalah pengujian UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara kerapatan dan kuat tekan beton terhadap bentuk gelombang yang dihasilkan oleh alat UPV. Dalam penelitian ini parameter yang dianalisis adalah waktu transmisi serta besarnya amplitudo pertama dari gelombang yang didapat dari pengujian UPV pada benda uji silinder dengan variasi komposisi campuran beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Hasil pengujian UPV pada penelitian ini menunjukkan adanya hubungan yang cukup kuat antara kuat tekan aktual dengan waktu transmisi (t_0), dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,5249 dan 0,4953 masing-masing untuk metode *transmission time* (TT) dan *pulse velocity* (PV). Hasil analisis membuktikan bahwa perambatan gelombang memiliki waktu transmisi lebih cepat pada beton yang memiliki kerapatan tinggi dilihat dari kuat tekan aktualnya. Sedangkan parameter amplitudo awal (A1) belum menunjukkan hubungan dengan kuat tekan aktual dilihat dari tidak adanya pola sebaran data yang konsisten. Hal tersebut dipengaruhi oleh ketidakteraturan komposisi dan susunan agregat yang menimbulkan pembacaan amplitudo yang berbeda dalam satu benda.

Kata Kunci: beton, cepat rambat, kerapatan, ultrasonic pulse, waktu transmisi.

ABSTRACT

Concrete strength depends on the quality of concrete processing, then it's necessary to perform concrete testing in order to evaluate the concrete work, for example, UPV test (Ultrasonic Pulse Velocity). The purpose of this study is to identify the relationship between density and compressive strength of the concrete and the output waveform generated by UPV instrument. In this study, the parameters that had been analyzed such as transmission time and the magnitude of initial amplitude detected from the waveform were taken from UPV test on cylinder concrete specimens, variations on the composition of the concrete mix design with expected compressive strength 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, and 35 MPa. The results of the UPV testing in this study indicate a fairly strong relationship between the actual compressive strength and transmission time (t_0), with the coefficient of determination are 0,5249 and 0,4953 respectively for transmission time (TT) and pulse velocity (PV) measurement method. Those results prove that the wave propagation has faster transmission time (t_0) on the concrete specimens that have a higher density due to its actual compressive strength. While the initial amplitude parameter (A1) does not show any relation with the actual compression strength due to the absence of consistent pattern of its data distribution. The results are influenced by the composition and the gradation of the aggregates that are not uniformly distributed, that will cause the difference of amplitude measurement although it was tested on the same specimen.

Keywords: concrete, pulse velocity, density, ultrasonic pulse, transmission time.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang sering digunakan di bidang konstruksi karena kuat tekannya yang sangat tinggi dibanding material lainnya. Dalam pelaksanaan di lapangan, kualitas beton yang juga dipengaruhi oleh kualitas pengerjaannya, harus selalu dikontrol yaitu dengan dilakukannya pengujian beton. Untuk mendapat hasil yang aktual sesuai di lapangan, perlu dilakukan pengujian langsung (*in situ*) dan yang paling mudah adalah *non-destructive test* (NDT), yang salah satunya adalah uji *ultrasonic pulse wave* (UPV). Dari pengujian tersebut didapatkan data berupa *waveform* yang berasal dari pancaran gelombang yang merambat melalui beton. Dari *waveform* tersebut perlu diinterpretasikan untuk menentukan kualitas dari beton tersebut. Sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai karakteristik gelombang dari alat uji UPV untuk dapat mengetahui kualitas beton secara praktis terutama ketika di lapangan.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton adalah bahan bangunan yang diperoleh dari hasil pencampuran antara semen, air, agregat halus, agregat kasar, dengan perbandingan tertentu dan kadang-kadang ditambah bahan tambahan campuran (Suseno, 2010). Campuran semen dengan air disebut pasta semen yang berfungsi sebagai perekat, agregat halus berupa pasir sedangkan agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang keduanya berfungsi sebagai pengisi. Beton merupakan bahan komposit, yaitu heterogen secara mikroskopis maupun makroskopis yang diperoleh dari bahan-bahan penyusunnya.

Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi kuat tariknya rendah dan bersifat getas. Kekuatan tekan (f_c) adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per-satuan luas. Kuat tekan beton adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengontrol mutu dari sebuah beton. Pengukuran kuat tekan beton dilakukan dengan uji tekan pada benda uji (sampel) berbentuk kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm atau silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Nilai kuat tekan beton

(f_c) dinyatakan dalam MPa, dan dari beberapa pengujian didapatkan bahwa karena pengaruh bentuk maka kuat tekan beton dengan benda uji silinder menghasilkan kuat tekan sekitar 83% daripada dengan benda uji kubus. Kekuatan beton dipengaruhi oleh umur beton, kerapatan, kualitas bahan penyusun, serta proporsi campuran. Kuat tekan beton akan semakin bertambah seiring dengan berkurangnya faktor air-semen atau nilai w/c (Mattacchione & Mattacchione, 1995). Variasi kuat tekan dapat disebabkan oleh metode pencampuran, pemindahan, dan pengecoran beton serta perbedaan dalam persiapan, curing, dan pengujian sampel benda uji.

Seperti telah diuraikan sebelumnya bahwa selain berdasarkan komposisi campurannya kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh kerapatan dari campuran material penyusunnya. Apabila gradasi dari agregat baik dan merata, rongga agregat akan terisi oleh agregat yang ukurannya lebih kecil, maka rongga atau void akan semakin kecil dan kerapatan semakin tinggi. Demikian pula dengan adanya pasta semen hasil reaksi dengan air yang dapat menjadi pengisi serta perekat dalam rongga antar butiran agregat.

Pengujian UPV

Metode pengujian UPV sering 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 (V.M Malhotra & N.J Carino, 2004). Dengan menggunakan metode kecepatan pulsa juga dapat memperkirakan kekuatan dari benda uji beton maupun beton di lapangan. Metode ini menggunakan gelombang mekanik yang tidak menimbulkan kerusakan pada elemen beton yang diuji.

Kecepatan rambat gelombang bergantung pada sifat elastis dan kerapatan dari mediumnya. 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.

Cara kerja alat UPV adalah dengan memberi getaran gelombang longitudinal lewat transduser elektro-akustik, melalui cairan perantara (couplant) yang berwujud gel atau sejenis pasta, yang dioleskan pada permukaan beton sebelum tes dimulai. Cairan tersebut berfungsi agar antara permukaan beton dengan transduser tidak terdapat rongga, sehingga gelombang dapat merambat dengan sempurna. Saat gelombang merambat melalui media yang berbeda, yaitu couplant dan beton, pada batas couplant dan beton akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang longitudinal (P-wave) dan geser (S-wave). Gelombang geser merambat tegak lurus lintasan, dan gelombang longitudinal merambat sejajar lintasan. Yang pertama kali mencapai transduser penerima adalah gelombang longitudinal, kemudian gelombang ini diubah menjadi sinyal gelombang elektronik yang dapat dideteksi oleh transduser penerima, sehingga waktu tempuh gelombang dapat diukur. Dari hasil perhitungan kecepatan rambat, secara praktis dapat ditentukan kualitas dari beton tersebut seperti pada tabel 1.

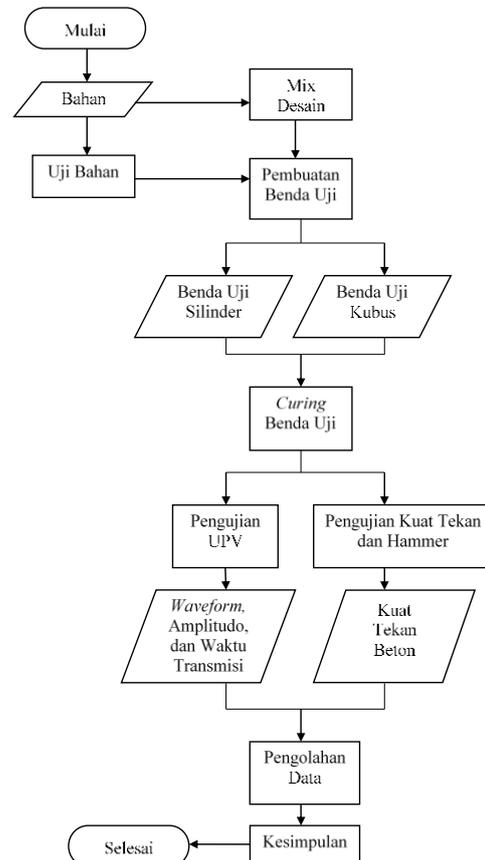
Tabel 1. Kualifikasi beton berdasarkan cepat rambat gelombang

Cepat Rambat gelombang longitudinal		Kualitas
km/(detik.10 ³)	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

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang dimulai pada bulan Februari 2017 sampai selesai. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan variasi kuat tekan rencana beton 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Masing-masing variasi terdapat 9 buah sampel silinder dan 3 buah sampel kubus sebagai kontrol

kuat tekan (kecuali untuk variasi 20 MPa hanya 1 buah kubus). Sedangkan variabel penelitian yang diukur adalah kuat tekan beton aktual dan *waveform* dari hasil pengujian UPV, meliputi waktu transmisi serta amplitudo gelombang, yang kemudian akan dianalisis hubungan keduanya. Diagram alir penelitian tampak pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL PENELITIAN

Pengujian Bahan dan Mix Design

Pengujian bahan dilakukan pada agregat kasar dan halus, sedangkan air dan semen tidak perlu diuji karena dianggap telah memenuhi syarat bahan campuran beton. Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus antara lain adalah pemeriksaan gradasi agregat, kadar air, berat isi, berat jenis (SSD) dan penyerapan. Hasil pemeriksaan agregat tampak pada tabel 2 dan 3. Hasil pemeriksaan tersebut digunakan sebagai parameter untuk merencanakan campuran beton (*mix design*) dengan proporsi kebutuhan material untuk masing-masing kuat tekan tampak pada tabel 4.

Tabel 2. Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	Satuan
Gradasi Agregat	Zona 3 (40 mm)	-
Kadar Air	5,7	%
Berat Isi	1575	gr/cc
Berat Jenis (SSD)	2,713	-
Penyerapan	1,01	%

Tabel 3. Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	Satuan
Gradasi Agregat	Zona 2	-
Kadar Air	0,47	%
Berat Isi	1640,625	gr/cc
Berat Jenis (SSD)	2,647	-
Penyerapan	2,27	%

Tabel 4. Komposisi Bahan untuk Campuran Benda Uji

Benda Uji	Kuat Tekan Rencana (MPa)	Kebutuhan			
		Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
A	20	26,53	11,62	47,92	79,91
B	25	28,65	11,47	44,09	81,78
C	30	31,15	11,45	42,01	81,38
D	35	34,11	11,44	39,82	80,61
Jumlah		120,45	45,98	173,85	323,68

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat umur beton 28 hari menggunakan uji tekan (*compression test*) dan uji hammer. Hasil pengujian kuat tekan untuk benda uji silinder terdapat pada tabel 5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan beton aktual sebagian besar lebih kecil dari kuat tekan rencana, dapat disebabkan oleh proses pengerjaan beton yang kurang sempurna baik pada saat pengadukan hingga proses vibrasi. Selain itu didapatkan bahwa kuat tekan rata-rata untuk campuran benda uji D lebih kecil dari benda uji C. Hal ini disebabkan karena material kerikil yang digunakan pada campuran D tercampur dengan kerikil yang lebih ringan (berat isi lebih kecil dari seharusnya). Sehingga dalam proporsi berat yang sama, volume kerikil dalam campuran menjadi lebih besar dari yang direncanakan dan dapat mengurangi kekuatan dari beton.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.

Benda Uji	Sampel	Kuat Tekan (Uji Tekan)	Kuat Tekan (Uji Hammer)	KR
		(MPa)	(MPa)	
A	1	15,838	14,110	10,913
	2	14,707	16,185	10,049
	3	14,707	14,857	1,019
	4	13,010	18,260	40,352
	5	13,576	19,920	46,732
	6	12,218	19,505	59,639
	7	15,838	14,110	10,913
	8	16,970	13,695	19,297
	9	14,707	14,110	4,060
B	1	12,444	17,015	36,728
	2	20,929	19,090	8,788
	3	21,495	21,580	0,396
	4	20,873	19,090	8,541
	5	20,760	21,165	1,953
	6	20,760	21,580	3,952
	7	21,495	22,825	6,188
	8	20,137	21,995	9,225
	9	21,042	21,165	0,583
C	1	36,202	29,050	19,756
	2	21,495	33,200	54,455
	3	37,333	27,805	25,522
	4	33,374	33,615	0,723
	5	21,042	35,275	67,638
	6	28,283	33,615	18,853
	7	34,958	35,690	2,095
	8	31,111	36,520	17,386
	9	28,905	34,445	19,166
D	1	22,626	31,955	41,230
	2	26,190	33,615	28,351
	3	23,135	32,785	41,710
	4	28,679	29,880	4,189
	5	20,251	31,540	55,749
	6	25,568	27,390	7,127
	7	25,285	33,615	32,945
	8	19,006	36,935	94,333
	9	27,095	31,540	16,405

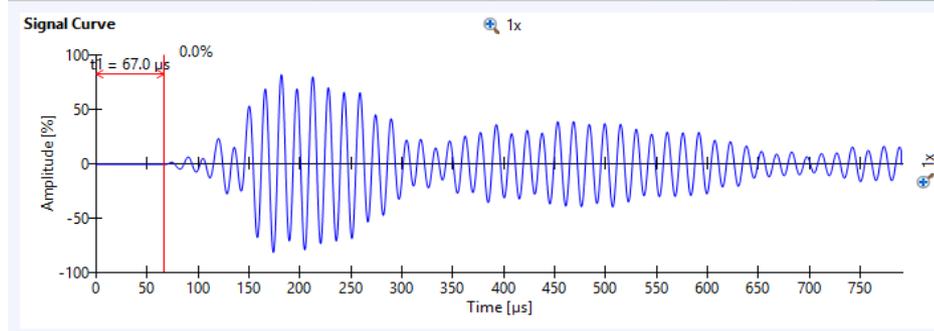
Pengambilan Sampel Acuan

Pada penelitian ini kemudian diambil sampel beton yang akan dijadikan sebagai beton acuan dalam menentukan kualitas beton berdasarkan karakteristik gelombangnya. Sampel yang dijadikan acuan yaitu sampel silinder yang kuat tekan hasil uji tekan dengan uji hammer relatif sama karena menunjukkan kerapatan yang seragam pada sampel tersebut. Diperoleh sampel acuan yaitu sampel B.3 dengan kesalahan relatif (KR) sebesar 0,396%.

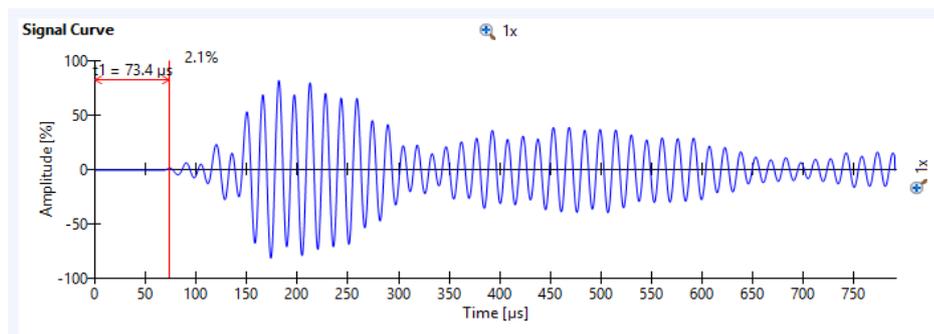
Pengujian UPV

Pengujian UPV hanya dilakukan pada benda uji silinder dengan menggunakan alat PUNDIT PL-200 dari PROCEQ dengan menggunakan 2 (dua) mode pengukuran yaitu mode *transmission time* (TT) dan *pulse velocity* (PV) pada sampel yang sama. *Waveform* yang dihasilkan kedua metode tersebut dianalisis menggunakan aplikasi PL-Link untuk mengambil parameter-parameter gelombang seperti waktu transmisi dan amplitudo pada gambar 2.a-2.d.

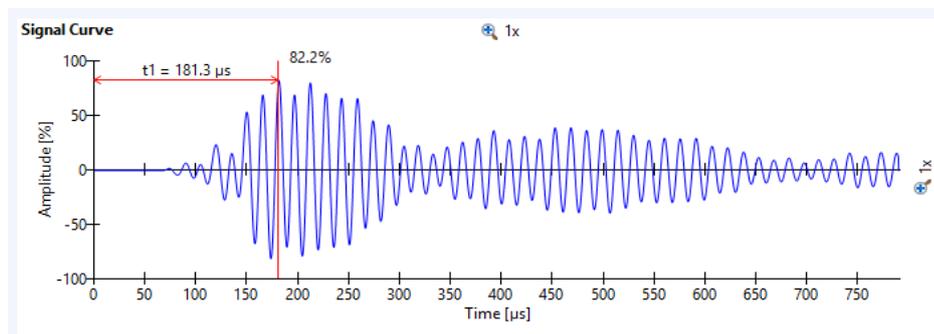
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1
Penelitian 20.1PW-UPV-001	03/29/2017 1:29 PM	Pulse Velocity	4478 m/s	0.300 m	4478 m/s	67.0 μ s



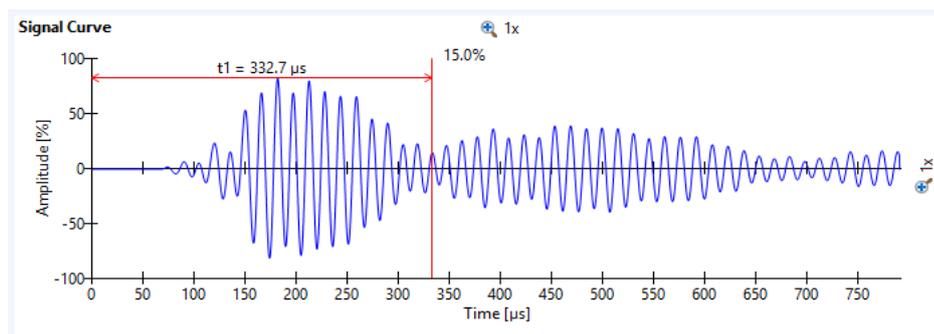
(a)



(b)



(c)



(d)

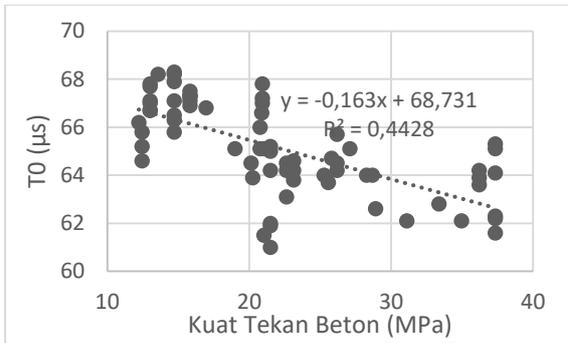
Gambar 2. Parameter *waveform*: (a) t_0 , (b) t_1 dan A_1 , (c) t_{maks} dan A_{maks} , dan (d) t_2 dan A_2 .

Beberapa parameter yang diambil antara lain (a) t_0 yaitu waktu gelombang pertama terdeteksi, (b) t_1 dan A_1 yaitu waktu dan amplitudo gelombang pertama, (c) t_{maks} dan A_{maks} yaitu waktu dan amplitudo gelombang ketika

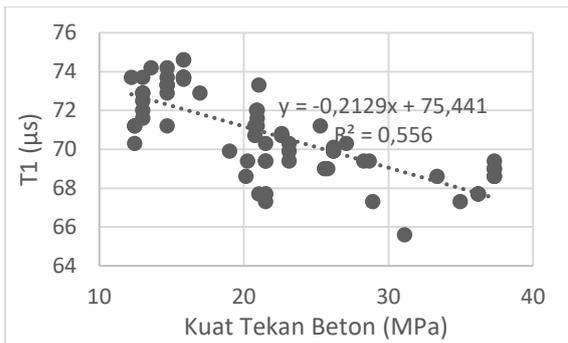
maksimum, serta (d) t_2 dan A_2 yaitu waktu dan amplitudo ketika terjadi pergantian fase gelombang pertama. Sebagai contoh pada gambar 2, untuk sampel A1-01 (PV) didapatkan t_0 sebesar 67 μ s; t_1 sebesar 73,4 μ s; A_1 sebesar

2,1%; t_{maks} sebesar 181,3 μs ; A_{maks} sebesar 82,2%; t_2 sebesar 332,7 μs ; serta A_2 sebesar 15%.

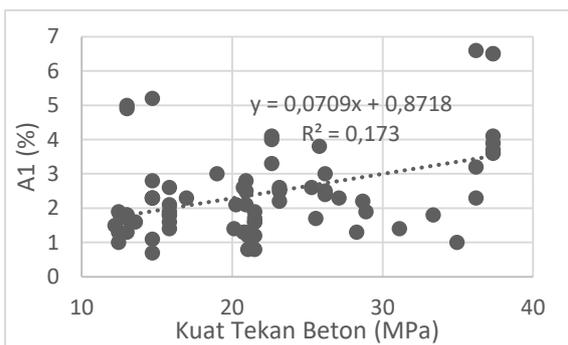
Pengujian dilakukan pada setiap benda uji silinder, di mana 3 sampelnya dari setiap variasi diuji sebanyak lebih dari 1 (satu) kali. Hasil pengujian dan analisis *waveform* untuk moda TT maupun PV terdapat pada gambar 3 – 9 berikut.



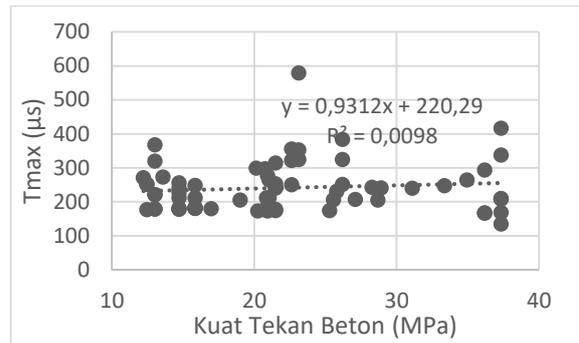
Gambar 3 Hubungan Kuat Tekan dan T0 (TT)



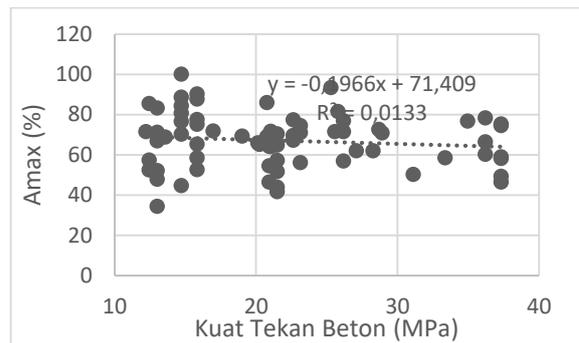
Gambar 4 Hubungan Kuat Tekan dan T1 (TT)



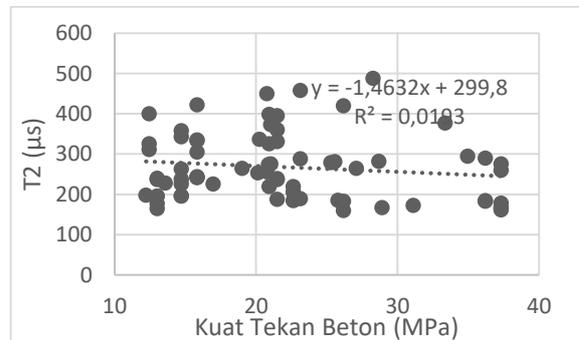
Gambar 5 Hubungan Kuat Tekan dan A1 (TT)



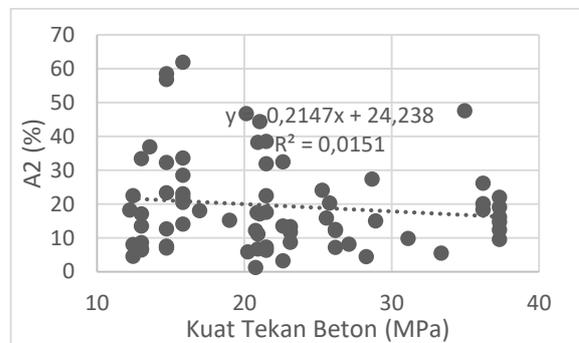
Gambar 6 Hubungan Kuat Tekan dan Tmaks (TT)



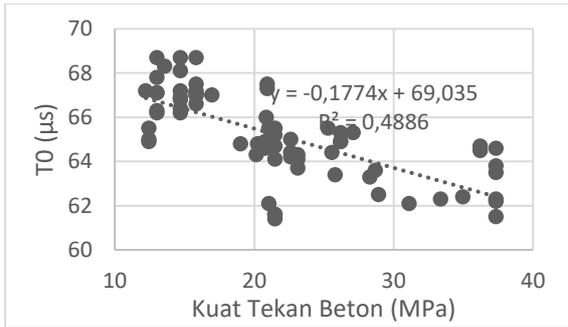
Gambar 7 Hubungan Kuat Tekan dan Amaks (TT)



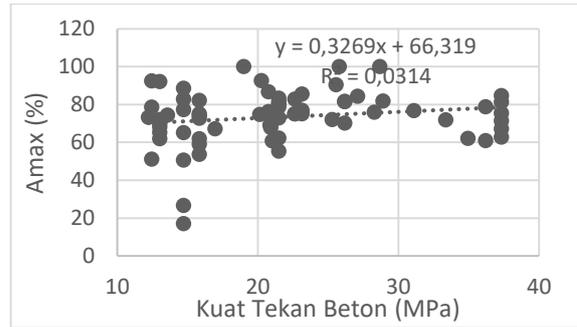
Gambar 8 Hubungan Kuat Tekan dan T2 (TT)



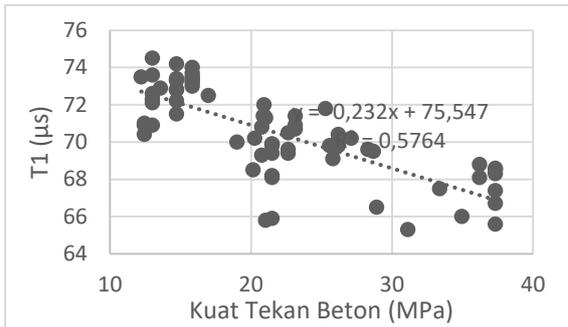
Gambar 9 Hubungan Kuat Tekan dan A2 (TT)



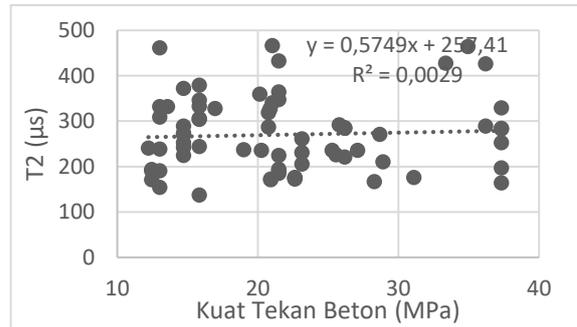
Gambar 10 Hubungan Kuat Tekan dan T0 (PV)



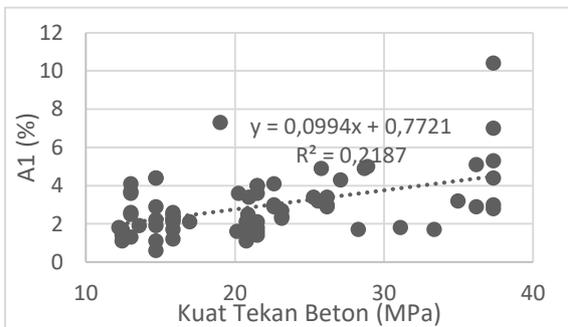
Gambar 14 Hubungan Kuat Tekan dan Amaks (PV)



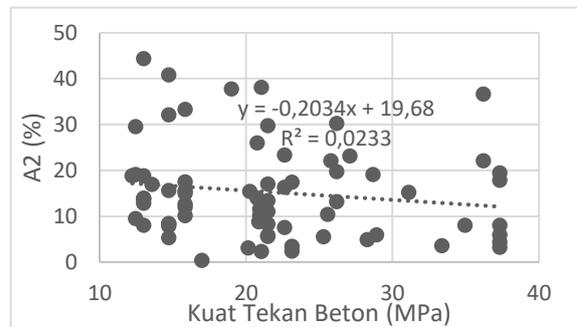
Gambar 11 Hubungan Kuat Tekan dan T1 (PV)



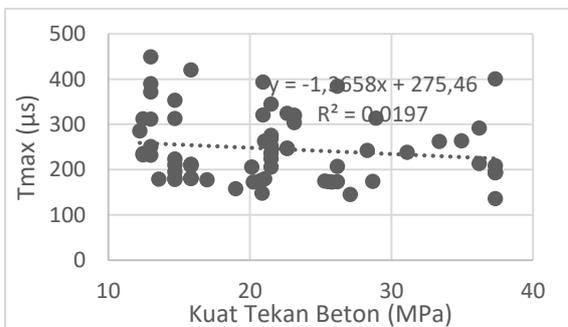
Gambar 15 Hubungan Kuat Tekan dan T2 (PV)



Gambar 12 Hubungan Kuat Tekan dan A1 (PV)



Gambar 16 Hubungan Kuat Tekan dan A2 (PV)



Gambar 13 Hubungan Kuat Tekan dan Tmax (PV)

Grafik hubungan kuat tekan beton dengan parameter-parameter gelombang pada gambar 3 – 16 menunjukkan bahwa parameter yang memiliki hubungan yang cukup kuat yaitu t0, t1 dan A1. Dikarenakan parameter lain yaitu tmax, Amaks, t2, dan A2 memberikan nilai koefisien determinasi R2 kurang dari 0,1. Sehingga, parameter yang dipakai dalam analisis adalah t0 (mewakili parameter t0 dan t1 untuk waktu transmisi) dan A1 (amplitudo awal). Kemudian dilakukan seleksi data untuk membuang data-data yang menyimpang, yaitu data-data yang

memiliki selisih dengan rata-rata yang melebihi standar deviasi (S).

Hubungan Kuat Tekan dengan Parameter Gelombang

Setelah data-data terkoreksi, kemudian setiap benda uji dirata-rata untuk dapat dicari hubungan antara kuat tekan beton dengan parameter-parameter gelombang. Kuat tekan yang digunakan adalah kuat tekan aktual masing-masing benda uji dikarenakan kuat tekan yang didapat variasinya tinggi. Perbandingan antara kuat tekan dan parameter gelombang t_0 dan A1 disajikan pada tabel 4.6 dan 4.7.

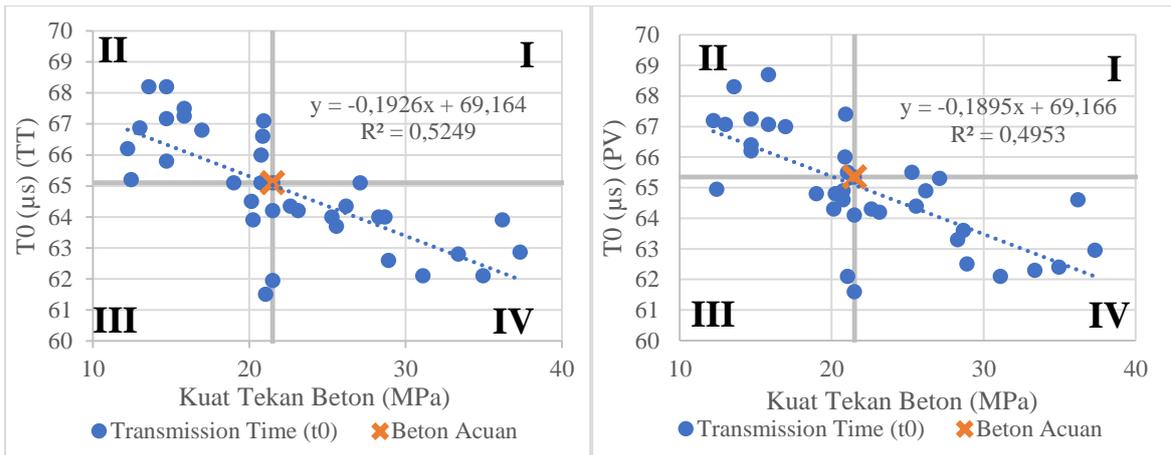
Tabel 6. Rekapitulasi Kuat Tekan serta Parameter t_0 dan A1 untuk Waveform TT.

Benda Uji	Sampel	Kuat Tekan (Uji Tekan) (MPa)	Waktu Transmisi (t_0) (μ s)	Amplitudo (A1) (%)
A	1	15,84	67,25	1,77
	2	14,71	65,8	1,1
	3	14,71	67,17	2,47
	4	13,01	66,88	1,65
	5	13,58	68,2	1,6
	6	12,22	66,2	1,5
	7	15,84	67,5	2,6
	8	16,97	66,8	2,3
	9	14,71	68,2	2,3
B	1	12,44	65,2	1,15
	2	20,93	67,1	2,65
	3	21,49	65,1	1,2
	4	20,87	66,6	1,3
	5	20,76	65,1	2,6
	6	20,76	66	1,3
	7	21,49	64,2	1,6
	8	20,14	64,5	1,4
	9	21,04	65,1	0,8
C	1	36,2	63,9	2,75
	2	21,49	61,95	1,8
	3	37,33	62,87	3,825
	4	33,37	62,8	1,8
	5	21,04	61,5	1,2
	6	28,28	64	1,3
	7	34,96	62,1	1
	8	31,11	62,1	1,4
	9	28,91	62,6	1,9
D	1	22,63	64,35	4,05
	2	26,19	64,35	2,45
	3	23,14	64,2	2,55
	4	28,68	64	2,2
	5	20,25	63,9	2,1
	6	25,57	63,7	1,7
	7	25,28	64	2,6
	8	19,01	65,1	3
	9	27,09	65,1	2,3

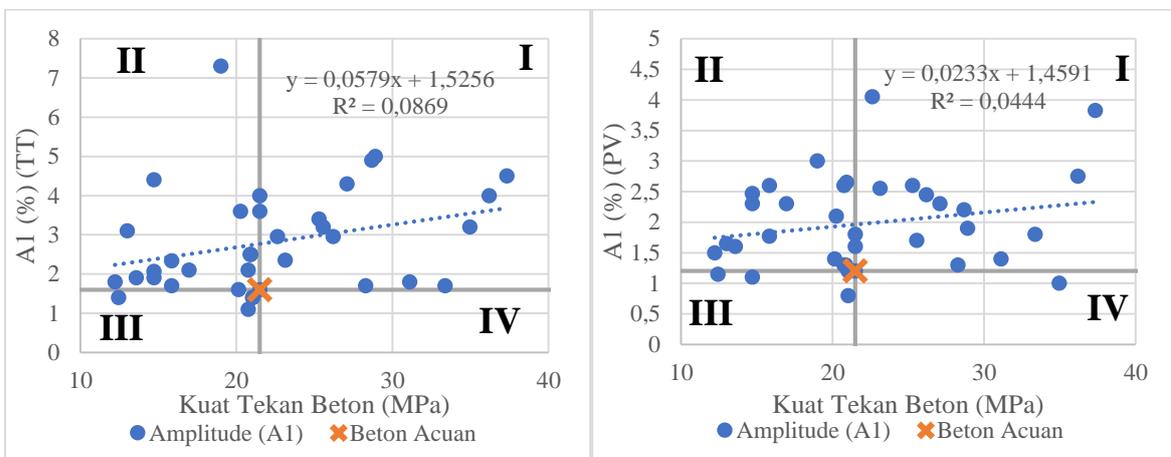
Tabel 7. Rekapitulasi Kuat Tekan serta Parameter t_0 dan A1 untuk Waveform PV.

Benda Uji	Sampel	Kuat Tekan (Uji Tekan) (MPa)	Waktu Transmisi (t_0) (μ s)	Amplitudo (A1) (%)
A	1	15,84	67,075	2,333
	2	14,71	66,4	1,9
	3	14,71	67,25	2,067
	4	13,01	67,075	3,1
	5	13,58	68,3	1,9
	6	12,22	67,2	1,8
	7	15,84	68,7	1,7
	8	16,97	67	2,1
	9	14,71	66,2	4,4
B	1	12,44	64,95	1,4
	2	20,93	67,4	2,5
	3	21,49	65,35	1,6
	4	20,87	66	2,5
	5	20,76	64,9	2,1
	6	20,76	64,6	1,1
	7	21,49	64,1	3,6
	8	20,14	64,3	1,6
	9	21,04	65,5	1,4
C	1	36,2	64,6	4
	2	21,49	61,6	4
	3	37,33	62,95	4,5
	4	33,37	62,3	1,7
	5	21,04	62,1	1,4
	6	28,28	63,3	1,7
	7	34,96	62,4	3,2
	8	31,11	62,1	1,8
	9	28,91	62,5	5
D	1	22,63	64,3	2,95
	2	26,19	64,9	2,95
	3	23,14	64,2	2,35
	4	28,68	63,6	4,9
	5	20,25	64,8	3,6
	6	25,57	64,4	3,2
	7	25,28	65,5	3,4
	8	19,01	64,8	7,3
	9	27,09	65,3	4,3

Hubungan kuat tekan beton dengan parameter gelombang (t_0 dan A1) yang telah diseleksi ditampilkan pada gambar 17 dan 18. Pada gambar 17 yaitu hubungan kuat tekan beton dengan waktu transmisi (t_0) ditunjukkan bahwa terdapat hubungan yang cukup signifikan baik dengan metode TT maupun PV. Meskipun tingkat sebaran data masih tergolong cukup ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi dari model regresi linear (R^2) masing-masing sebesar 0,5249 dan 0,4953. Sedangkan untuk hubungan antara kuat tekan dengan amplitudo (A1) pada gambar 18 sebaran data jauh lebih tinggi, ditunjukkan dengan nilai R^2 yang kurang dari 0,1 sehingga untuk data A1 belum dapat ditarik suatu korelasi.



Gambar 17 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan T0 (Metode TT dan PV).

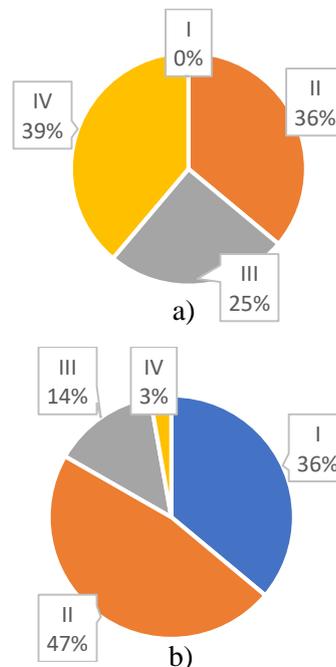


Gambar 18 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan A1 (Metode TT dan PV).

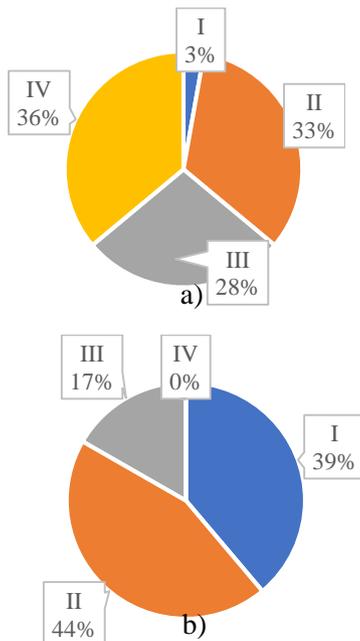
Area sebaran data kemudian dibagi menjadi 4 (empat) kuadran berdasarkan posisinya terhadap sampel beton acuan yang telah dipilih sebelumnya, untuk mendapatkan pola sebaran datanya. Sampel acuan tersebut membagi daerah sebaran data menjadi 4 kuadran dengan masing-masing kondisi yaitu sebagai berikut:

- Kuadran I: Kuat tekan > Kuat tekan acuan; $t_0 > t_0$ acuan atau $A_1 > A_1$ acuan
- Kuadran II: Kuat tekan < Kuat tekan acuan; $t_0 > t_0$ acuan atau $A_1 > A_1$ acuan
- Kuadran III: Kuat tekan < Kuat tekan acuan; $t_0 < t_0$ acuan atau $A_1 < A_1$ acuan
- Kuadran IV: Kuat tekan > Kuat tekan acuan; $t_0 < t_0$ acuan atau $A_1 < A_1$ acuan

Dari pembagian tersebut dapat dicari prosentase jumlah data yang berada pada masing-masing kuadran seperti pada grafik 19 – 20.



Gambar 19 Prosentase Sebaran Data di Setiap Kuadran a) t_0 , b) A_1 (Metode TT).



Gambar 20 Prosentase Sebaran Data di Setiap Kuadran a) t0, b) A1 (Metode PV).

Dari grafik 19a dan 20a didapatkan bahwa sebaran data t0 lebih dominan di kuadran II dan IV, yang menunjukkan bahwa kuat tekan berbanding terbalik dengan waktu transmisinya (t0). Hal ini membuktikan bahwa pada gelombang akan merambat lebih cepat pada sampel beton yang memiliki kerapatan yang tinggi, ditunjukkan dengan kuat tekannya yang tinggi pula. Pada beton yang memiliki rongga udara, maka akan terjadi difraksi gelombang sehingga menyebabkan waktu transmisi semakin besar karena jalur rambatannya lebih panjang.

Dari data t0 di kuadran III yang memiliki prosentase 25% (TT) dan 28% (PV), terdapat sampel yang sebarannya menyimpang cukup jauh, yakni sampel C2 dan C3 baik dari metode TT maupun PV. Terlihat bahwa kedua sampel tersebut memiliki kuat tekan masing-masing adalah 21,495 MPa dan 21,045 MPa, yang jauh lebih rendah dibanding kuat tekan aktual rata-rata benda uji dalam grup C (kuat tekan rencana 30 MPa) yaitu sebesar 30,3 MPa. Sedangkan dari hasil uji hammer serta parameter gelombangnya memiliki sebaran yang tidak terlalu jauh, yang menunjukkan bahwa seharusnya sampel tersebut memiliki kerapatan dan kuat tekan yang relatif seragam. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya kesalahan prosedur pengujian atau pada saat pembacaan dial uji tekan pada sampel tersebut. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi

hasil pengujian UPV antara lain ukuran, tipe, dan kandungan dari agregat dan semen, rasio air-semen, serta kelembaban dari benda uji.

Sedangkan dari grafik 19b dan 20b menunjukkan bahwa pada grafik tersebut belum menunjukkan adanya pola sebaran data yang konsisten untuk hubungan kuat tekan dan amplitudo. Besarnya amplitudo yang terbaca berkaitan dengan besarnya energi dari gelombang yang diterima oleh transduser. Hal tersebut berhubungan dengan karakteristik serta perilaku beton dalam merambatkan gelombang ultrasonik. Adanya rongga maupun perbedaan partikel yang dilewati gelombang dapat menyebabkan difraksi atau refleksi serta mampu meredam energi yang dirambatkan oleh gelombang ultrasonik, sehingga mempengaruhi intensitas gelombang yang diterima oleh transduser.

Ketidakteragaman hasil pengukuran amplitudo serta kuat tekan aktual yang lebih kecil dari kuat tekan rencana tersebut membuktikan bahwa sebagian besar benda uji beton pada penelitian ini memiliki homogenitas yang rendah. Kemungkinan penyebabnya antara lain adanya rongga serta susunan agregat yang tidak seragam, yang merupakan faktor penting penunjang kekuatan dari beton. Pola kerapatan dan susunan agregat yang berbeda menyebabkan pola difraksi dan refleksi yang berbeda pula, sehingga akan mempengaruhi besarnya energi yang terbaca pada transduser. Hal ini menjadi salah satu kendala dalam penelitian ini yaitu belum dapat memastikan keseragaman dari komposisi dan susunan agregat serta kerapatan aktual dari benda uji yang diteliti.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian kuat tekan dan UPV didapatkan hubungan yang cukup kuat antara kuat tekan aktual dengan waktu transmisi (t0) dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,5249 dan 0,4953 masing-masing untuk metode TT dan PV. Sedangkan dari perbandingan kuat tekan

- aktual dengan amplitudo awal (A1) tidak menunjukkan hubungan yang berarti, dengan nilai R^2 yang kurang dari 0,1.
2. Dibandingkan dengan sampel beton acuan, didapatkan pola sebaran data yang dominan pada kuadran II dan IV yang menunjukkan bahwa kuat tekan berbanding terbalik dengan waktu transmisi. Karena waktu transmisi gelombang lebih cepat pada beton dengan kerapatan yang tinggi. Sedangkan data amplitudo belum memberikan pola sebaran data yang konsisten karena ketidakseragaman komposisi dan susunan agregat yang menimbulkan pembacaan amplitudo yang berbeda-beda.
 3. Perlu diperhatikan kestabilan transduser serta jumlah cairan couplant saat melakukan pengujian UPV.
 4. Dalam pengambilan data amplitudo, dapat memanfaatkan fitur Amplitude marker dari alat PUNDIT PL-200 pada menu Amplitude Analysis.

DAFTAR PUSTAKA

Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlunya kontrol yang lebih baik terhadap komposisi material dan proses pencampuran beton.
2. Perlunya penambahan jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian.

- Mattacchione, Angelo & Mattacchione, Livia. (1995). Correlation Between 28-Day Strength and Density. *Concrete International*. XVII (3): 37-41.
- Malhotra, V.M. & Carino, N.J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. Boca Raton: CRC Press.
- Suseno, Hendro. (2010). *Bahan Bangunan untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.