

# STUDI EVALUASI PENGARUH VARIASI MUTU BETON TERHADAP KEKUATAN STRUKTUR BETON NORMAL MENGGUNAKAN METODE *NON-DESTRUCTIVE TEST* DAN *DESTRUCTIVE TEST*

Bagas Bhanu Aribawa<sup>1</sup>, Indradi Wijatmiko<sup>2</sup>, R. Martin Simatupang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Sarjana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

\*Korespondensi: bagasba9@gmail.com

## ABSTRACT

*To make the examination of the strength of existing building structures easier, can be done by using the NDT methods. It is therefore a study related to the combination of NDT and DT methods to obtain better accuracy of the results. The research uses PUNDIT PL-200, Silver Schmidt Hammer, Compression Testing Machine with 3 concrete quality types of 12,5 MPa, 18,75 MPa, and 25 MPa. Overall results, UPV and the actual compressive strength have a close and mutually affecting relationship between the variables evidenced by the  $R^2$  value of 0,7458. In addition, with the presence of combinations of several variables testing methods of DT and NDT, it can produce a level of accuracy from a compressive strength estimate value.*

**Keywords** : formula, hammer test, compressive test, quality, SONREB, UPV

## 1. PENDAHULUAN

Pada saat proses konstruksi, terdapat berbagai macam faktor yang menyebabkan hasil akhir dari proses pembangunan tersebut kurang baik atau diragukan, oleh karena itu diperlukan adanya pemeriksaan terhadap kekuatan struktur dari bangunan tersebut, dan dilakukan penyelidikan apakah bangunan tersebut kuat untuk menahan beban guna atau diperlukan adanya perkuatan terhadap struktur bangunan tersebut.

Pada era globalisasi seperti saat ini, kemajuan ilmu teknologi sudah sangat berkembang pesat dalam berbagai bidang, termasuk dalam bidang Teknik Sipil. Untuk mempermudah pemeriksaan terhadap kekuatan struktur bangunan eksisting, dapat dilakukan metode *Non-Destructive Test (NDT)* menggunakan *Hammer Test* ataupun *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*.

Kuat tekan beton perkiraan dapat diprediksi menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dengan menghitung kecepatan rambat gelombang ultrasonik yang

berhubungan dengan kerapatan beton, yang kemudian dikorelasikan terhadap mutu beton. Selama ini teori yang ada mengatakan apabila kecepatan gelombang ultrasonik yang dibaca oleh alat *PUNDIT (Portable Unit Non Destructive Indicating Tester)* menghasilkan nilai yang tinggi, maka kerapatan material beton tersebut cukup baik dan dapat dikatakan beton tersebut memiliki kualitas yang baik [1][2].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan ingin mengetahui pengaruh variasi mutu beton 12,5 MPa, 18,75 MPa, dan 25 MPa terhadap kecepatan rambat gelombang ultrasonik menggunakan metode *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*, *rebound number* beton hasil *Hammer Test* dan kuat tekan aktual hasil *Compressive Test*, yang kemudian akan diperoleh permodelan formula hasil dari kombinasi ketiga pengujian tersebut.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton

Beton merupakan bahan dari campuran

antara semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Sutikno, 2003:1). Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari.

Menurut SNI 03-2834-1993, apabila ditinjau dari berat isinya, beton normal merupakan beton yang memiliki berat isi 2200 hingga 2500 kg/m<sup>3</sup> yang menggunakan agregat batuan alam yang dipecah atau tidak dipecah dan tanpa menggunakan zat aditif atau bahan tambahan. Sedangkan untuk  $f'_c$  atau kuat tekan beton rencana, dapat ditentukan oleh perencana struktur.

## 2.2. *Non-Destructive Test (NDT)*

Pada era globalisasi, perkembangan ilmu teknologi khususnya bidang teknik sipil sudah sangat berkembang pesat, salah satunya adalah metode pengujian beton non destruktif yang sudah banyak digunakan di negara-negara maju seperti Amerika, Jepang dll. Metode non destruktif merupakan metode pengujian kuat tekan beton tanpa merusak benda uji. Metode non destruktif yang saat ini umum digunakan adalah *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dan *Hammer Test*.

Metode non destruktif dinilai lebih efisien, sebab ada suatu kondisi dimana pengujian destruktif tidak mungkin dilakukan karena akan merusak struktur yang ada dan dapat mengurangi kekuatan dari struktur itu sendiri.

## 2.3. *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

*Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* adalah cara untuk memperkirakan kekerasan beton yang didasarkan pada hubungan kecepatan gelombang *UPV* [3] melalui media beton dengan kekuatan tekan beton itu. Tes *UPV* dapat digunakan untuk mengetahui keseragaman kualitas beton, mengetahui kualitas struktur beton setelah umur beberapa tahun, mengetahui kekuatan tekan beton, dan menghitung modulus elastisitas dan koefisien Poisson beton.

## 2.4. *Metode Hammer Test*

Metode *Hammer Test* dapat digunakan untuk menilai keseragaman beton di lapangan, menggambarkan bagian dari struktur yang mempunyai kualitas buruk atau beton yang mengalami kerusakan, serta memperkirakan kekuatan beton di lapangan.

*Rebound number* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kelembapan pada permukaan bidang uji, metode yang digunakan untuk memperoleh permukaan bidang uji (tipe bahan cetakan dan tipe penyelesaian akhir/finishing), dan kedalaman karbonasi.

## 2.5. *Metode Kuat Tekan Beton (Compressive Test)*

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air.

Beton merupakan struktur yang sangat kuat untuk menerima gaya tekan, sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan dari sebuah struktur beton ( $f'_c$ ), dapat diperoleh melalui pengujian *Compressive Test* dengan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

dimana (P) adalah beban tekan yang diberikan alat *CTM* dan (A) adalah luas penampang beton. Benda uji untuk *Compressive Test* dapat berupa beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm atau kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.

## 2.6. *Persamaan Model Matematik Hubungan Hasil Pengujian secara Destruktif dan Non Destruktif*

Diperlukannya suatu korelasi antara pengujian beton menggunakan metode destruktif dan non destruktif untuk meningkatkan akurasi dari nilai kuat tekan beton. Adapun beberapa formula penelitian sebelumnya yaitu :

**Tabel 1.** Model Matematik Persamaan Regresi Hubungan metode *DT* dan *NDT* [4]

Kode Peneliti	Persamaan Formula Matematik	Peneliti, Tahun
(Bt)	$f_c = 8,397 \times UPV + 0,000635 \times RN^2 - 25,568$	Bellander, 1979
(T)	$f_c = 0,745 \times RN + 0,951 \times UPV - 0,544$	Tanigawa dkk., 1984
(G)	$f_c = 0,0286 \times RN^{2,246} \times UPV^{0,81}$	Gasparik, 1984
(L&P)	$f_c = 1,2 \times 10^{-9} \times RN^{1,009} \times UPV^{2,440}$	Di Leo & Pascale, 1994
(At)	$f_c = 0,00153 \times (UPV^3 \times RN^3)^{0,811}$	Arioglu dkk., 1996
(R)	$f_c = 1,532 \times RN + 5,0614 \times UPV - 39,57$	Ramyar dkk., 1996
(K)	$f_c = 0,0158 \times UPV^{0,4234} \times RN^{1,171}$	Kheder, 1999
(M)	$f_c = 1,88 \times 10^{-12} \times RN^{0,276} \times UPV^{2,757}$	Masi dkk., 2007
(E)	$f_c = 0,42 \times RN + 13,166 \times UPV - 40,255$	Erdal, 2009
(C)	$f_c = 10^{-4,251} \times RN^{0,886} \times UPV^{2,291}$	Cristofaro dkk., 2009
(Bz)	$f_c = 4 \times 10^{-6} \times RN^{0,88141} \times UPV^{0,884}$	Bufrini dkk., 2011
(Mz)	$f_c = 1,427 \times RN + 0,0294 \times UPV^2 - 24,668$	Meynink dkk., 1979
(Az)	$f_c = 18,6 \times e^{0,019 \times RN - 0,515 \times UPV}$	Arioglu dkk., 1991
(As)	$f_c = 10^{2,119 \times \log(RN^2 \times UPV^4) - 2,80}$	Arioglu dkk., 1994

### 2.7. Metode Sonic Rebound (SONREB)

Metode *SONREB* merupakan formula yang dihasilkan oleh *PROCEQ* dari kombinasi dua metode non destruktif yaitu *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dengan kuat tekan aktual untuk melakukan evaluasi kekuatan beton secara lebih akurat [5].

Keuntungan utama yang didapatkan dari metode *SONREB* yaitu dapat memperoleh gambaran yang mendalam dari bahan diuji. Kombinasi dari kekerasan permukaan menggunakan metode *Hammer Test* yang memberikan nilai-nilai kekuatan untuk sisi luar dari beton, dengan metode *UPV Test* yang mencirikan bagian dalam elemen struktur, dapat meningkatkan akurasi dalam menilai kekuatan aktual dari suatu elemen beton.

Hasil yang diperoleh dari perhitungan kombinasi antara destruktif tes dengan non destruktif tes menggunakan metode *SONREB* dapat berupa:

- Nilai  $R^2$
- Koefisien a, b, dan c
- $f^c = a \times UPV^b \times RN^c$

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

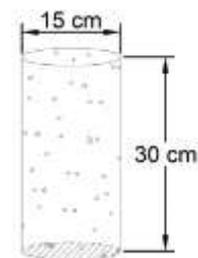
### 3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan benda uji beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Digunakan 9 benda uji yang dibagi menjadi 3 mutu yang berbeda, masing masing mutu berjumlah sebanyak 3 benda uji. Sketsa benda uji terdapat pada gambar 1. Untuk komposisi mix design benda uji masing masing

mutu terdapat pada **Tabel 2.**

**Tabel 2.** Komposisi Rasio *Mix Design* Beton

Mutu Beton (MPa)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Jumlah
12,5	1	0,482	2,52	4,11	3
18,75	1	0,446	2,24	3,90	3
25	1	0,384	1,83	3,32	3



**Gambar 1.** Dimensi Benda Uji Beton Silinder

### 3.2. Pengujian Hammer

Pengujian *Hammer* dilakukan menggunakan alat *silver schmidt hammer type N* pada seluruh benda uji pada umur 28 hari. Pada tiap benda uji dilakukan sepuluh kali penembakan untuk mendapatkan *output* berupa *rebound number*. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, diperlukannya kestabilan kedudukan benda uji.

### 3.3. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity

Pengujian *UPV* dilakukan setelah pengujian *hammer*. Pada penelitian ini, pengujian *pulse velocity* menggunakan alat *PUNDIT PL-200* dengan *output* berupa *pulse velocity*. Metode yang digunakan untuk pengambilan data yaitu menggunakan metode langsung atau *direct*.



**Gambar 2.** Pengujian *UPV* Metode *Direct*

### 3.4. Pengujian *Compressive*

Setelah proses pengujian *UPV* selesai, maka beton silinder akan diuji kuat tekan menggunakan *Compression Test machine* pada Laboratorium. Diperlukannya proses *capping* pada permukaan beton yang kurang rata agar beban yang diberikan dapat disalurkan secara merata kepada seluruh luasan permukaan beton. Pengujian ini dilakukan hingga benda uji mengalami keretakan dan dicatat berapa beban maksimum yang dapat ditahan beton tersebut sehingga dapat diketahui output berupa tegangan normal/ aksial.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pembuatan Benda Uji

Untuk menentukan komposisi *mix design* beton, pada penelitian ini menggunakan acuan SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Adapun data yang diperoleh dari perencanaan campuran beton normal pada penelitian ini yaitu :

**Tabel 3.** *Mix Design* Pembuatan Benda Uji

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rencana (MPa)	Jumlah Benda Uji	Kebutuhan Material			
			Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
A	12,5	3	4,75	2,29	11,95	19,51
B	18,75	3	5,07	2,26	11,37	19,78
C	25	3	5,88	2,26	10,78	19,56
Jumlah			15,7	6,81	34,1	58,85

### 4.2. Hasil Pengujian *Hammer*

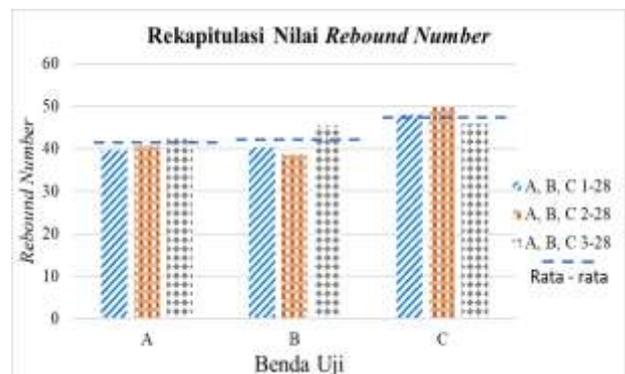
*Rebound number* dihasilkan dari proses benturan antara ujung plunger dengan permukaan beton sehingga menghasilkan pantulan yang kemudian nilainya dapat dibaca oleh *rebound hammer* untuk memperkirakan kekuatan struktur beton dari sisi luar. Pengujian ini menggunakan alat *Silver Schmidt Hammer* dari *PROCEQ*. Berikut merupakan data dari *Hammer Test* yang diolah menggunakan aplikasi *Hammer Link*.

Dari grafik pada **Gambar 5** didapatkan hasil bahwa terjadi peningkatan nilai *rebound number* seiring dengan peningkatan mutu beton. Tetapi pada beton b tidak terjadi peningkatan yang cukup signifikan dikarenakan adanya penurunan *rebound number* pada sampel 2 yang dapat dikarenakan proses pengerjaan beton yang kurang baik sehingga mempengaruhi nilai rata rata dari *rebound number* beton b. Standar Deviasi menggambarkan besaran sebaran data *rebound*

*number* dari total sepuluh kali penembakan *hammer test* terhadap nilai rata-ratanya per satu sampel.

**Tabel 4.** Rekapitulasi Hasil *Hammer Test* Seluruh Kuat Tekan Rencana

Kode Benda Uji	Sampel	Nama Sampel	Nilai Rebound Number (Q)	Standar Deviasi (Q)	Rata Rata RN (Q)	
A	1	A1-28a	38,2	2,8	39,633	
		A1-28b	39,0	2,8		
		A1-28c	41,7	3,2		
	2	A2-28a	40,5	1,5	40,65	
		A2-28b	40,8	3,4		
		A3-28a	42,9	3,4		
3	A3-28b	42,8	2,7	42,85		
B	1	B1-28a	40,6	4,1	40,3	
		B1-28b	40,0	2		
	2	B2-28a	38,1	3,7	38,6	
		B2-28b	39,1	3,3		
	3	B3-28a	46,4	3,3	45,467	
		B3-28b	45,3	3,2		
		B3-28c	44,7	3,5		
	C	1	C1-28a	48,7	3,3	48,05
			C1-28b	47,4	3,5	
2		C2-28a	49,7	3,4	49,75	
		C2-28b	49,8	2,2		
3		C3-28a	47,2	3,4	45,867	
		C3-28b	45,0	3,1		
		C3-28c	45,4	1,6		



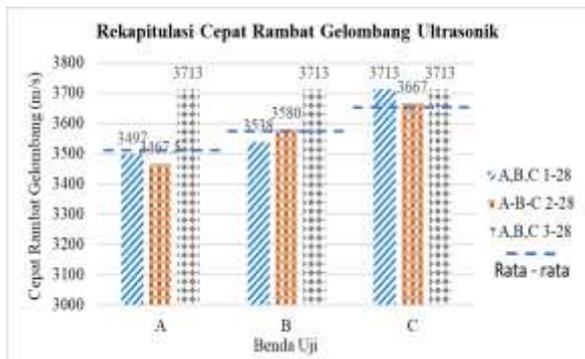
**Gambar 5.** Rekapitulasi Hasil *Hammer Test* Semua Mutu Rencana

### 4.3. Hasil Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity*

Hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (*UPV*) akan dijadikan rekapitulasi dalam **Tabel 5** dan data kecepatan rata rata yang dihasilkan gelombang ultrasonik dapat dikualifikasikan berdasarkan kecepatannya. Berikut merupakan hasil data pengujian *UPV* yang didapatkan menggunakan aplikasi *PL-Link*.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian *Pulse Velocity* Untuk Seluruh Mutu Rencana

Mutu Renacna (MPa)	Kode Benda Uji	Nama Sampel	V (m/s)	V rata-rata (m/s)	St Dev (m/s)	Kualifikasi Beton
12,5	A	A1-28	3497	3497	359,167	134,04
			3497			
			3497			
		A2-28	3456	3467,5		
			3479			
			3713			
A3-28	3713	3713				
	3713					
	3713					
18,75	B	B1-28	3538	3538	3610,333	91,358
			3538			
			3538			
		B2-28	3580	3580		
			3580			
			3713			
B3-28	3713	3713				
	3713					
	3713					
25	C	C1-28	3713	3713	3697,667	26,558
			3713			
			3713			
		C2-28	3667	3667		
			3667			
			3713			
C3	3713	3713				
	3713					
	3713					



**Gambar 6.** Rekapitulasi Hasil *UPV Test* Semua Mutu Rencana

Dari **Gambar 6**, hasil pengujian *UPV* pada beton A memperlihatkan kecepatan yang didapatkan pada sampel 1 yaitu 3497 m/s tidak terpaut cukup jauh dengan sampel 2 yaitu 3467,5 m/s. tetapi pada sampel ke 3 hasil *pulse velocity* berbeda jauh dengan sampel 1 dan 2 yaitu sebesar 3713 m/s. Sama seperti beton A, pada beton B sampel 1 dan 2 juga tidak terpaut nilai yang cukup jauh yaitu 3538 dan 3580 m/s, tetapi pada sampel 3 terlihat peningkatan *pulse velocity* yang cukup signifikan yaitu menjadi 3713 m/s. Pada beton C antara ketiga sampel tidak terlihat perbedaan kecepatan yang cukup jauh. Bila dilihat dari hasil rata-rata kecepataannya, peningkatan kecepatan berbanding lurus dengan peningkatan mutu sesuai dengan asumsi.

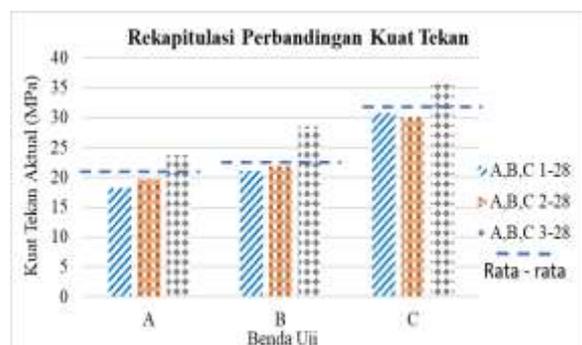
#### 4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Aktual Beton (*Compressive Test*)

Pengujian ini dilakukan sebagai *controlling* mutu beton yang direncanakan pada *mix design* dan mengetahui kekuatan beton untuk menahan beban maksimum. Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari agar beton mencapai 100% dari kuat tekan rencana sehingga mendapatkan hasil yang paling akurat. Adapun luas penampang dari beton silinder yaitu 17671,459 mm<sup>2</sup>

**Tabel 6.** Hasil *Compressive Test* Untuk Beton Seluruh Mutu Rencana

Kode Benda Uji	Mutu Rencana (MPa)	Nama Sampel	f <sub>c</sub> Aktual (MPa)	St Dev	Rata-rata f <sub>c</sub> (MPa)				
A	12,5	A1-28	18,165	2,841	20,485				
		A2-28	19,636						
		A3-28	23,653						
		B1-28	21,051						
		B2-28	21,899						
		B3-28	28,577						
B	18,75	C1-28	30,78	4,122	23,843				
		C2-28	30,1						
		C3-28	35,651						
		C	25			C1-28	30,78	3,025	32,177
						C2-28	30,1		
						C3-28	35,651		

Dari seluruh hasil pengujian *Compressive Test*, dapat dilihat bahwa hasil kuat tekan aktual beton lebih tinggi dari kuat tekan beton rencana. Untuk beton A dengan kuat tekan rencana 12,5 MPa memiliki kuat tekan aktual diatas rata rata yaitu sebesar 20,485 MPa dengan standar deviasi sebesar 2,841 MPa, beton B dengan kuat tekan rencana 18,75 MPa memiliki kuat tekan aktual yang lebih tinggi dari kuat tekan rencana sebesar 23,843 MPa dengan standar deviasi sebesar 4,122 MPa, dan juga untuk beton C dengan kuat tekan rencana 25 MPa memiliki kuat tekan aktual rata rata sebesar 32,177 MPa dengan standar deviasi sebesar 3,025 MPa.



**Gambar 7.** Hasil *Compressive Test* Beton Semua Mutu Rencana

#### 4.5. Hubungan Antara Kuat Tekan Beton Dengan Kecepatan Gelombang Ultrasonik

Untuk mengetahui hubungan antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang ultrasonik diperlukan suatu perbandingan dapat berupa tabel ataupun grafik. **Tabel 7** merupakan rekapitulasi data kecepatan gelombang ultrasonik dan kuat tekan beton.

**Tabel 7.** Data Kecepatan Gelombang Dan Kuat Tekan Beton Aktual

Kode Benda Uji	Mutu Beton (MPa)	Sampel	Nama Sampel	Rata-Rata Kecepatan (m/s)	f'c Aktual (MPa)
A	12,5	1	A1-28	3497	18,165
		2	A2-28	3467,5	19,636
		3	A3-28	3713	23,654
B	18,75	1	B1-28	3538	21,051
		2	B2-28	3580	21,9
		3	B3-28	3713	28,577
C	25	1	C1-28	3713	30,784
		2	C2-28	3667	30,105
		3	C3-28	3713	35,651



**Gambar 8.** Hubungan Kecepatan Gelombang dan Kuat Tekan Beton

Pada kasus ini sebagaimana hasil yang terlihat pada **Gambar 8** menunjukkan bahwa rata-rata hasil pengujian *compressive* antara mutu beton satu dengan yang lain terpaut cukup jauh tetapi peningkatan kecepatan gelombang pada hasil pengujian *UPV* dapat dikatakan sangat kecil antara mutu beton yang satu dengan lainnya. Adanya kemungkinan proses pemadatan permukaan beton dapat dikatakan baik sehingga saat dilakukan pengujian *compressive* menghasilkan nilai *P* yang besar, karena kepadatan yang baik menghasilkan luasan permukaan agregat yang lebih besar dan dapat menahan gaya aksial lebih baik. Sedangkan pada bagian tengah beton proses pemadatannya kurang. Pola kerapatan dan susunan agregat yang kurang baik akan menyebabkan pola difraksi dan refleksi yang

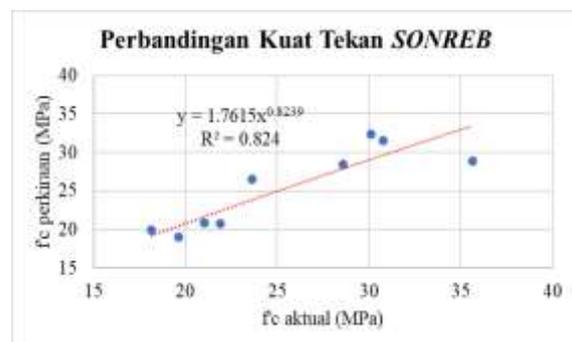
akan mempengaruhi besarnya energi yang terbaca pada *receiver*.

#### 4.6. Kuat Tekan Perkiraan Menggunakan Formula SONREB

Data yang dibutuhkan untuk pengolahan data menggunakan formula *SONREB* adalah kecepatan rambat gelombang ultrasonik, *rebound number* dan nilai kuat tekan aktual Adapun untuk hasil kuat tekan perkiraan menggunakan formula *SONREB* ditampilkan pada **Tabel 8** dan **Gambar 9**.

**Tabel 8.** Hasil Pengolahan Data Formula *SONREB*

Benda Uji	f'c Aktual (MPa)	Pundit Lab+ UPV (m/s)	Nilai Angka Pantul Schmidt (S)	f'c Perkiraan (MPa)
A1-28	18,165	3497	39,633	19,919
A2-28	19,636	3401	40,65	19,051
A3-28	23,654	3713	42,85	26,501
B1-28	21,051	3524,33	40,3	20,866
B2-28	21,900	3594,33	38,6	20,771
B3-28	28,577	3697,67	45,467	28,501
C1-28	30,784	3728,33	48,05	31,593
C2-28	30,105	3697,67	49,75	32,417
C3-28	35,651	3697,67	45,867	28,860



**Gambar 9.** Perbandingan Kuat Tekan menggunakan Formula *SONREB* Beton Usia 28 Hari

Hasil kuat tekan perkiraan menggunakan formula *SONREB* memiliki hubungan regresi yang baik dengan kuat tekan aktualnya bila dilihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang tinggi yaitu 0,824. Hal ini menunjukkan adanya suatu hubungan yang erat antara kedua variabel pengujian non-destruktif yaitu *hammer test* yang menunjukkan kekuatan beton dari sisi luar permukaan beton, dengan *UPV* yang mencirikan pada bagian inti beton.

#### 4.7. Perbandingan Formula SONREB Dengan Formula Penelitian Sebelumnya

Sama seperti perhitungan kuat tekan perkiraan menggunakan formula *SONREB*, data yang dibutuhkan untuk mendapatkan kuat tekan perkiraan menggunakan formula penelitian sebelumnya adalah cepat rambat gelombang ultrasonik, *rebound number*, dan nilai kuat tekan aktual. Hasil kuat tekan perkiraan yang didapatkan dari metode *Sonic Rebound (SONREB)* akan dibandingkan dengan kuat tekan perkiraan hasil *compressive test* pada laboratorium untuk mendapatkan parameter statistik.

Sebagaimana yang hasil yang didapatkan bahwa nilai kuat tekan perkiraan yang paling mendekati dengan nilai kuat tekan aktual ( $RMSE < 5\%$ ) adalah persamaan model matematik hasil penelitian Erdal, Cristofaro dkk, Arioglu dkk 1991 dan Arioglu dkk 1994 yang memiliki nilai *RMSE* masing-masing sebesar 3,457 MPa; 3,989 MPa; 3,806 MPa dan 4,053. *RMSE* menunjukkan besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model perkiraan. Hasil grafik menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari keempat formula tersebut baik yaitu masing-masing sebesar 0,807; 0,803; 0,803 dan 0,787.

**Tabel 9.** Hasil Perbandingan Nilai Kuat Tekan Perkiraan Kedua Metode Formula

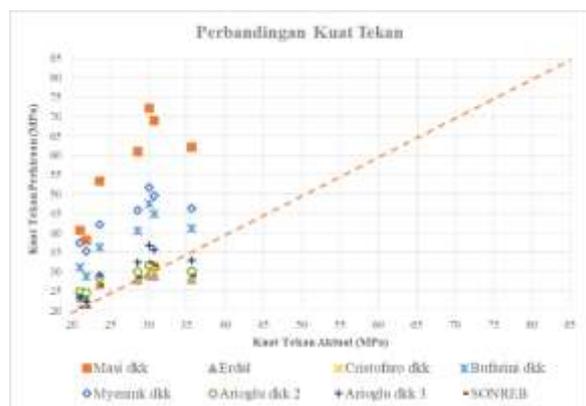
Hasil Data Pengujian				F <sub>c</sub> Perkiraan (MPa)														SONREB
No	R <sub>N</sub>	UPV (km/s)	F <sub>c</sub> Aktual (MPa)	B <sub>1</sub>	T	G	L&P	A <sub>1</sub>	R	K	M <sub>1</sub>	E	C	B <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
1	3,497	39,633	18,165	43,329	32,308	28,404	27,404	27,716	38,848	30,998	37,886	22,433	24,252	29,751	36,285	23,916	22,069	19,919
2	3,401	40,65	19,636	46,202	33,038	28,859	27,571	28,438	40,256	31,773	39,194	22,471	24,410	30,990	37,590	24,015	22,624	19,051
3	3,713	42,85	23,654	55,570	34,910	34,976	34,461	37,022	44,869	34,695	53,232	26,627	27,627	36,167	42,067	28,415	29,139	26,501
4	3,524	40,3	21,051	45,702	32,844	29,633	28,698	29,402	40,077	31,738	40,614	23,252	24,900	30,990	37,447	24,738	23,364	20,866
5	3,594	38,6	21,900	41,014	31,618	28,704	28,222	27,964	37,685	30,399	38,061	23,091	24,543	28,850	35,243	24,476	22,260	20,771
6	3,698	45,467	28,577	65,293	36,860	37,657	36,692	41,272	48,878	37,070	60,849	27,726	28,774	40,434	45,801	29,864	32,308	28,501
7	3,728	48,05	30,784	76,056	38,784	40,341	38,901	45,671	52,836	39,431	68,928	28,811	29,885	44,864	49,487	31,366	35,555	31,593
8	3,698	49,75	30,105	83,414	40,007	41,167	39,146	47,216	55,207	40,776	72,051	28,920	30,122	47,417	51,641	31,637	36,687	32,417
9	3,698	45,867	35,651	66,883	37,158	38,070	37,033	41,940	49,491	37,435	62,063	27,894	28,947	41,105	46,372	30,091	32,803	28,860

**Tabel 10.** Hasil Perbandingan Parameter Statistik Kedua Metode Formula

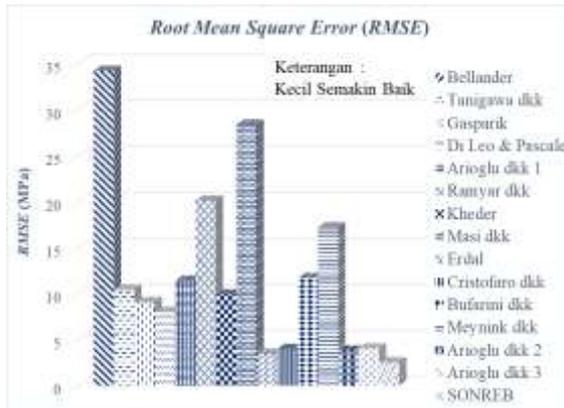
Parameter Statistik	Model Formula Matematik Yang Digunakan														SONREB
	B <sub>1</sub>	T	G	L&P	A <sub>1</sub>	R	K	M <sub>1</sub>	E	C	B <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
RMSE (MPa)	34,230	10,397	9,068	8,020	11,397	20,095	9,913	28,370	3,457	3,989	11,715	17,198	3,806	4,053	2,526
R <sup>2</sup>	0,711	0,725	0,794	0,807	0,786	0,740	0,746	0,779	0,807	0,803	0,742	0,743	0,803	0,787	0,824
MAPE (%)	128,151	42,910	36,599	32,314	43,171	81,766	40,775	105,578	11,275	14,160	45,943	70,054	14,494	14,549	6,259



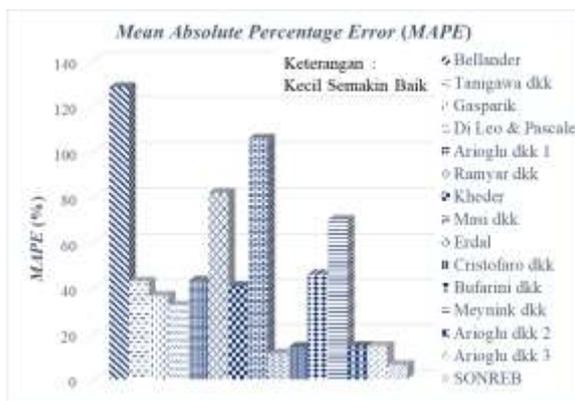
**Gambar 10.** Perbandingan Kuat Tekan Aktual Dengan Kuat Tekan Perkiraan Kedua Metode Formula (1)



**Gambar 11.** Perbandingan Kuat Tekan Aktual Dengan Kuat Tekan Perkiraan Kedua Metode Formula (2)



**Gambar 12.** Perbandingan *RMSE* Kedua Metode Formula



**Gambar 13.** Perbandingan  $R^2$  Kedua Metode Formula



**Gambar 14.** Perbandingan *MAPE* Kedua Metode Formula

Sebagaimana hasil yang didapatkan bahwa dari hasil perbandingan seluruh formula penelitian sebelumnya dengan formula *SONREB*, hasil formula *SONREB* menghasilkan data yang paling akurat dengan kuat tekan aktual. Hal ini dibuktikan dengan hasil yang terdapat pada tabel 9-10 dan gambar 4.16-4.18 bahwa nilai *RMSE* yang didapatkan pada formula *SONREB* yaitu 2,526 MPa lebih

kecil dibandingkan seluruh formula yang lain. Selain itu nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada formula *SONREB* berada pada angka 0,824 dimana hal ini menunjukkan bahwa formula *SONREB* memiliki hubungan yang sangat erat dan saling mempengaruhi antara variabel pengujian destruktif dan non destruktif.

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diambil beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Dari ketiga jenis mutu beton, beton A dan B memiliki hubungan regresi yang cukup baik antara variabel *UPV* dengan Kuat tekan, hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang tinggi yaitu masing masing sebesar 0,8474 dan 0,9873. Sedangkan untuk beton C menghasilkan nilai  $R^2$  yang kurang baik yaitu hanya 0,3617, hal ini bisa diakibatkan oleh proses pengerjaan beton yang kurang baik sehingga kurang eratnya hubungan yang dihasilkan antara variabel *UPV* dengan kuat tekan. Untuk hubungan regresi beton secara keseluruhan dapat dikatakan cukup baik karena menghasilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,7458 membuktikan bahwa *UPV* dengan kuat tekan aktual memiliki hubungan yang cukup erat dan saling mempengaruhi antar variabel.
2. Dari hasil pengolahan data menggunakan formula penelitian sebelumnya, didapatkan hasil bahwa ada empat dari empat belas formula yang menghasilkan kuat tekan perkiraan paling mendekati kuat tekan aktual ( $RMSE < 5\%$ ) yaitu formula Erdal, Cristofaro dkk, Arioglu dkk 1991 dan Arioglu dkk 1994. Selain itu nilai  $R^2$  yang dihasilkan dari keempat formula ini cukup tinggi yang menggambarkan adanya hubungan yang kuat antara variabel. Nilai kuat tekan beton dapat diprediksi menggunakan persamaan model matematik yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi jika dikombinasikan dengan beberapa variabel non destruktif.
3. Diketahui bahwa hasil kuat tekan perkiraan menggunakan formula *SONREB* paling

mendekati kuat tekan aktual dibandingkan dengan seluruh formula penelitian sebelumnya. Hasil ini dibuktikan dengan nilai *RMSE* yang sangat kecil yaitu hanya 2,526 MPa dan (*R*<sup>2</sup>) yang sangat baik yaitu sebesar 0,824 MPa membuktikan bahwa formula *SONREB* memiliki hubungan yang sangat erat antara variabel.

## 5.2. Saran

Menurut penelitian benda uji silinder yang diuji menggunakan metode destruktif dan non destruktif terdapat saran yang dapat digunakan untuk kelancaran pada penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Diperlukannya penambahan jumlah sampel pada tiap variasi mutu beton untuk memperluas variasi sebaran data agar regresi dan korelasi yang dihasilkan dapat digunakan secara umum.
2. Diperlukannya kestabilan posisi transducer dan jumlah *gel couplant* saat proses pengujian *UPV*, karena berpengaruh cukup signifikan terhadap hasil pengujian.
3. Diperlukannya penelitian lanjutan secara mendalam mengenai penggunaan formula *SONREB* dengan pengaruh usia (data penelitian sebelumnya disajikan pada lampiran)

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putri, Enggie Ayu Herma., Wijatmiko, Indradi. & Budio, Sugeng Prayitno, *Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton Dengan Menggunakan Pulse Velocity Pada Alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity)*. *Rekayasa Sipil Volume.13, No.1 - 2019* ISSN 1978-5658, 2019.
- [2] Simatupang, R. Martin., Nuralinah, Devi. & Remayanti, Christin, *Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) dan Compression Test*. *Rekayasa Sipil Volume 10, No.1 – 2016* ISSN 1978 – 5658, 2016.
- [3] Yulian, Albertus Eky., Wijatmiko, Indradi. & Remayanti, Christin, *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, 2017.
- [4] Erdal, Mürsel, *Prediction of The Compressive Strength of Vacuum Processed Concretes Using Artificial Neural Network and Regression Techniques*. *Scientific Research and Essay Vol.4 (10)*, pp. 1057-1065, October, 2009.
- [5] Chingălată, Costel & Budescu, Mihai & Lupășteanu, Radu. *Accuracy In Predicting The Compressive Strength Of Concrete Using Sonreb Method*. *Volume 63 (67), Number 3, 2017* Section Construction. Architecture, 2017.