

NON-DESTRUCTIVE TEST TERHADAP SEMI DESTRUCTIVE TEST PADA SHEAR WALL BETON BERTULANG

oleh:

Heri Khoeri

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : hkhoeri@hesa.co.id

ABSTRAK: Estimasi sifat mekanik beton dapat dilakukan dengan beberapa metode; *Non-destructive Test (NDT)*, *Semi Destructive Test (SDT)* maupun *Destructive Test (DT)*. Uji tekan beton merupakan hal yang umum untuk menentukan kekuatan beton, dalam hal ini dikategorikan sebagai *SDT*. Sementara itu uji *Rebound concrete Hammer (CH)* dan perangkat *ultrasonic pulse velocity (UPV)* yang digunakan dalam menguji kekuatan beton dalam hal ini dikategorikan *NDT*. Dalam tulisan ini, diambil 20 sample beton dengan menggunakan *core drill* dari *shear wall* Apartemen Kaya Mas, Kota Tangerang Selatan. Pada lokasi pengambilan sample tersebut, sebelum dilakukan *core drill*, dilakukan *NDT* menggunakan *CH* dan *UPV*. Dimana *UPV* yang dilakukan menggunakan *direct methods* dan juga *indirect methods*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil *hammer test* dan *UPV indirect method* memiliki korelasi linier yang lebih besar dengan $r^2=0.535$, hal ini karena pada *UPV indirect method* seperti halnya *CH* hanya mengindikasikan mutu beton pada lapisan permukaan, dimana pada *UPV indirect method* kedua transducer terletak di permukaan beton yang sama, sehingga rambatan gelombang akan bergerak dari transducer transmitter ke receiver melalui jarak terpendek yaitu permukaan beton. Hasil *UPV direct* lebih memiliki akurasi yang lebih tinggi dan korelasi yang lebih kuat terhadap hasil uji tekan, dibandingkan hasil *UPV indirect* dan *CH*. Hubungan cepat rambat gelombang dengan mutu beton pada *shear wall* apartemen Kayamas adalah $f_{ck} = 0.000009 \times v^{2.120906}$ dengan $r^2=0.77$.

KATA KUNCI : NDT, SDT, concrete, hammer test, ultrasonic pulse velocity, core drill

Pendahuluan

Pengujian kekuatan beton yang paling akurat adalah dengan menggunakan uji tekan beton, namun untuk mengetahui mutu beton pada bangunan yang sudah berdiri dengan jumlah lokasi yang banyak dengan mengambil sample beton menggunakan *core drill*, tentunya akan merusak beton, dimana struktur beton dilubangi dengan kisaran diameter antara 2" sampai dengan 8" dengan kedalaman sample ideal adalah 2 kali diameternya. Sehingga uji ini pengambilan beton inti (*core drill*) dikategorikan *semi destructive test (SDT)*. Tentunya dengan *SDT* sample yang diambil tidak seleluasa *Non Destructive Test (NDT)*. Namun seberapa besar akurasi dan korelasi nilai mutu beton dari hasil *NDT* terhadap *SDT* harus diketahui, sehingga pendekatan

uji dengan *NDT* yang dilakukan akan lebih mendekati nilai kuat tekan beton yang sebenarnya. Selanjutnya hubungan yang diperoleh dapat dijadikan acuan untuk penilaian mutu beton dengan *NDT* pada bangunan yang ditinjau.

Dalam kajian studi ini ingin diketahui seberapa besar perbedaan mutu beton yang diperoleh dengan beberapa metode *NDT* antara lain dengan menggunakan *UPV direct methods*, *UPV indirect methods* dan *CH* serta bagaimana tingkat akurasinya, sehingga dapat menjadi salah satu rujukan dalam pemilihan metode *NDT* yang tepat sesuai dengan kasus yang dihadapi.

SDT dengan Core Drill & Uji Tekan

Metoda *core drill* adalah suatu metoda pengambilan sampel beton pada suatu struktur bangunan. Sampel yang diambil (bentuk silinder) selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian seperti Kuat tekan. Pengambilan contoh dilakukan dengan alat bor yang mata bornya berupa “pipa” dari intan, sehingga diperoleh contoh beton berupa silinder. Silinder beton yang diperoleh tergantung ukuran diameter mata-bornya, umumnya antara 2” sampai 8”. Dan disarankan diameter silinder tidak kurang dari 3 kali ukuran maksimum agregat betonnya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan sample beton dengan *CD* adalah sebagai berikut

1. Umur beton minimal 14 hari.
2. Pengambilan contoh silinder beton dilakukan di daerah yang kuat tekannya diragukan, biasanya berdasarkan data hasil uji contoh beton dari masing-masing bagian struktur, atau dari hasil NDT (Non Destructive Testing) dengan concrete hammer ataupun UPVT (Ultrasonic Pulse Velocity Test). Dari satu daerah beton diambil satu titik pengambilan contoh. Pengambilan contoh pada bangunan sudah lama berdiri, maka biasanya *core drill* dilakukan pada bagian-bagian elemen struktur beton yang ingin diketahui kuat tekannya
3. Dari satu pengambilan contoh diambil 3 titik pengeboran. Pengeboran harus ditempat yang tidak membahayakan struktur, misalnya jangan dekat sambungan tulangan, momen maksimum, dan tulangan utama.
4. Benda uji yang cacat karena terlalu banyak terdapat rongga, adanya serpihan/agregat kasar yang lepas, tulangan besi yang lepas dan

ketidakteraturan dimensi, tidak boleh digunakan untuk Diameter benda uji untuk uji kuat tekan tidak boleh kurang dari 90 mm;

5. Rasio tinggi sample (L) dengan diameter (D) lebih besar atau sama dengan 0,95, dimana L = panjang dan D = diameter benda uji;
6. Pengeboran harus tegak lurus dengan permukaan beton.
7. Lubang bekas pengeboran harus segera diisi dengan beton yang mutunya minimal sama.
8. Apabila ada kandungan tulangan besi dalam benda uji beton inti, letaknya harus tegak lurus terhadap sumbu benda uji;
9. Jumlah kandungan tulangan besi dalam benda uji beton inti tidak boleh lebih dari 2 batang;
10. Apabila jumlah kandungan tulangan besi dalam benda uji beton inti lebih dari 2 batang, benda uji harus dikerjakan dengan gergaji beton dan gerinda, sehingga memenuhi ketentuan dan bila tidak terpenuhi, benda uji tersebut tidak boleh digunakan untuk uji kuat tekan
11. Benda uji beton inti sesudah kaping yaitu harus memenuhi ketentuan $2,00 \geq L/D \geq 1,00$ dimana tebal lapisan untuk kaping tidak boleh melebihi 10 mm.
12. Selanjutnya Kuat tekan beton dengan ketelitian 0.95 MPa dapat dihitung sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2} \dots\dots\dots(\text{pers. 1})$$

Dimana:
 f'_c = Kuat tekan dalam MPa
 P = Beban uji maksimum (hancur) yang ditunjukkan oleh mesin uji dalam N
 d = diameter benda uji rata-rata dalam mm

Sedangkan kuat tekan beton dengan ketelitian sampai dengan 0.5 MPa dapat dihitung dengan:

$$f'_{cc} = C_0 C_1 C_2 f'_c \dots\dots\dots (\text{pers. 2})$$

Dimana:

f'_{cc} = Kuat tekan beton inti yang dikoreksi dalam MPa

f'_c = Kuat tekan beton inti yang dihitung menurut rumus dalam MPa

C_0 = Faktor Pengali menurut Pasal 3.10 SNI 03-3403-1994

C_1 = Faktor Pengali menurut Pasal 3.11 SNI 03-3403-1994

C_2 = Faktor Pengali menurut Pasal 3.12 SNI 03-3403-1994

C_0 adalah faktor pengali yang berhubungan dengan arah pengambilan benda uji beton inti pada struktur beton, dimana C_0 adalah sebagai berikut:

- Horizontal (tegak lurus pada arah tinggi dari struktur beton) = 1
- Vertikal (sejajar dengan arah tinggi dari struktur beton) = 0.92

C_1 adalah faktor pengali yang berhubungan dengan rasio panjang sesudah diberi lapisan untuk kaping (L') dengan diameter D dari benda uji, seperti yang diberikan pada table berikut:

Tabel 1. Faktor Pengali C_1

L'/ϕ	C_1
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

C_1 adalah faktor pengali karena adanya kandungan tulangan besi dalam benda uji beton inti yang letaknya tegak lurus terhadap sumbu benda uji dapat dihitung dengan rumus:

$$C_2 = 1.0 + 1.5 \left(\frac{d}{\phi} \times \frac{h}{L} \right) \dots\dots\dots (\text{pers. 3})$$

Dimana:

d = diameter tulangan (mm)A

d = diameter rata-rata benda uji (mm)

h = jarak terpendek antara sumbu batang tulangan dengan ujung benda uji

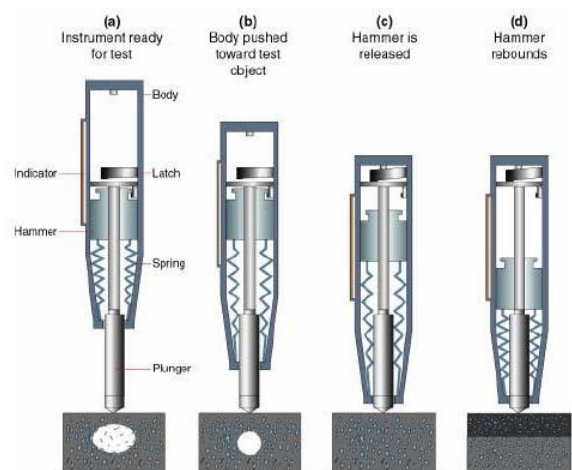
L = panjang benda uji sebelum diberi lapisan untuk kaping (mm)

NDT dengan Concrete Hammer (CH)

Concrete Hammer Test/ Schmidt Hammer Test merupakan suatu metode uji yang mudah dan praktis untuk memperkirakan mutu beton.

Prinsip kerja CH adalah dengan memberikan beban impact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energy yang besarnya tertentu. Karena timbul tumbukan antara massa tersebut dengan permukaan beton, massa tersebut akan dipantulkan kembali. Jarak pantulan massa yang terukur memberikan indikasi kekerasan permukaan beton. Kekerasan beton dapat memberikan indikasi kuat tekannya.

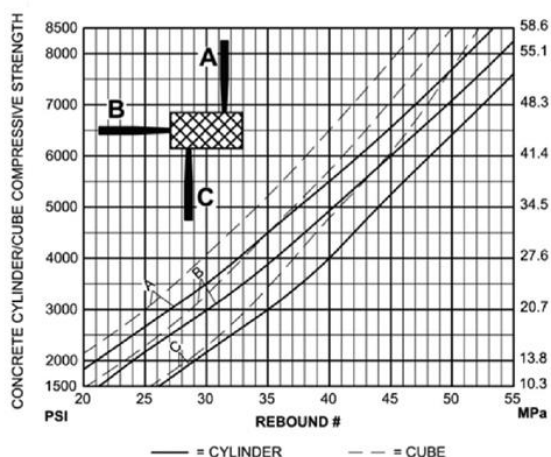
Gambar berikut mengilustrasikan prinsip kerja CH:



Gambar 1. Prinsip Kerja CH

Karena prinsip kerja dan cara penggunaan alat sangat mudah, maka secara luas alat ini banyak digunakan untuk memperkirakan

mutu beton, terutama pada struktur bangunan yang sudah jadi. Dan dengan proses uji yang cepat maka alat inipun secara praktis dapat menguji secara keseluruhan struktur bangunan ataupun bagian struktur secara luas untuk mengindikasikan keseragaman mutu beton. Sebagai catatan karena alat ini hanya membaca kekerasan beton pada lapisan permukaan (+4 cm), sehingga untuk elemen struktur dengan dimensi yang besar, uji dengan CH hanya menjadi indikasi awal bagi mutu dan keragaman mutu. Selain itu pada saat pengujian permukaan beton yang akan diuji harus dibersihkan dan diratakan karena alat ini peka terhadap variasi yang ada di permukaan beton. Hubungan Empirik dari Nilai Hammer Rebound dengan kuat tekan seperti ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 2. Hubungan Nilai Rebound dengan Kuat Tekan Beton

Pada grafik diatas terlihat beberapa hubungan korelasi antara Nilai Hammer Rebound, yang tergantung dari arah beban impact ke struktur beton, A, B atau C.

NDT Dengan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

UPV bekerja berdasarkan pengukuran waktu tempuh gelombang ultrasonik yang menjalar dalam struktur beton. Gelombang

ultrasonik disalurkan dari transmitter transducer yang ditempatkan dipermukaan beton melalui material beton menuju receiver transducer dan waktu tempuh gelombang tersebut diukur oleh Read-Out unit PUNDIT (*Portable Unit Non Destructive Indicator Tester*) dalam m detik. Kedua transducer tersebut dapat ditempatkan secara *direct*, *semi direct* atau *indirect*. Karena jarak antara kedua transducer ini telah diketahui, maka kecepatan gelombang ultrasonik dalam material beton dapat dihitung, yaitu tebal beton dibagi dengan waktu tempuh.

Karena kecepatan rambat gelombang adalah merupakan fungsi dari kepadatan material, maka dengan diketahuinya cepat rambat gelombang ultrasonik di dalam beton, kecepatan tersebut dapat dikorelasikan ke nilai kepadatan beton, yang selanjutnya dikorelasikan lagi ke mutu beton, berdasarkan grafik empiris hubungan kecepatan rambat gelombang dengan mutu beton.

Selain pengukuran mutu beton, UPV dapat juga digunakan untuk mengukur kedalaman retak dan keberadaan *honeycomb* pada beton.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini terdiri dari :

1. Satu buah Read-out Unit PUNDIT (*Portable Unit Non Destructive Indicator Tester*).
2. Dua buah Transducer 54 Hz (masing-masing sebagai transmitter dan receiver).
3. Satu buah Calibration Bar serta kabel-kabel dan connector

Alat untuk melakukan uji UPV seperti pada gambar berikut:



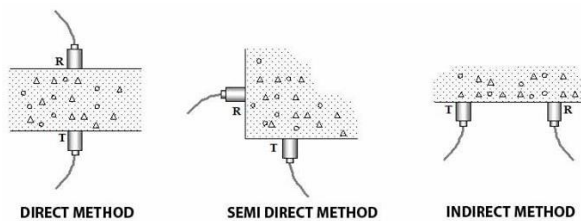
Gambar 3. Alat uji UPV, Proceq PUNDIT+

Pada metode ini, gelombang ultrasonik disalurkan dari *transmitter transducer* yang ditempatkan dipermukaan beton melalui material beton menuju *receiver transducer* dan waktu tempuh gelombang tersebut diukur oleh Read-Out unit PUNDIT (Portable Unit Non Destructive Indicator Tester) dalam micro detik (msec).

Ultrasonic Pulse Velocity Test dapat dilaksanakan berdasarkan beberapa metode berikut:

- Direct Method yaitu *transmitter* dan *receiver* berada pada dua permukaan yang paralel.
- Semi-direct Method, yaitu *transmitter* dan *receiver* berada pada dua permukaan yang saling tegak lurus.
- Indirect Method dimana kedua *transducer* berada pada permukaan yang sama.

Seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



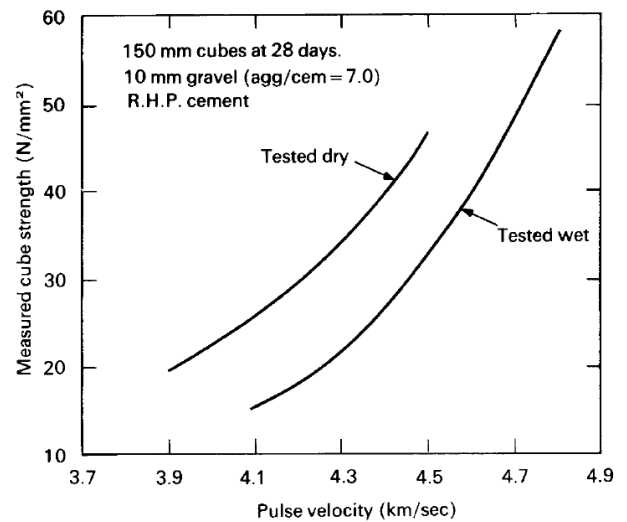
Gambar 4. Metode perambatan dan penerimaan gelombang ultrasonik

Pengujian identifikasi kuat tekan beton dengan Ultrasonic Pulse Velocity Test dilakukan dengan mengukur kecepatan

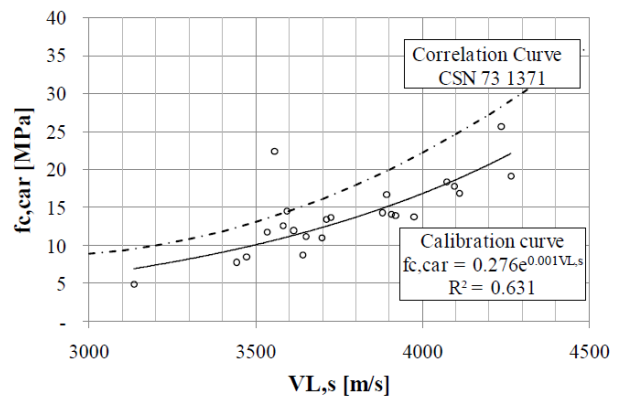
gelombang ultrasonik di dalam beton yang dihitung dengan rumus:

$$V=L/T$$

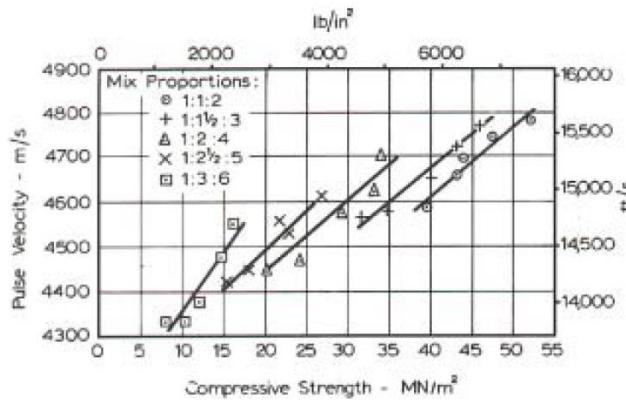
dimana L adalah jarak antara transmitter dan receiver dan T adalah waktu yang ditempuh oleh gelombang di dalam beton. Karena kedua parameter ini telah diukur maka kecepatan gelombang dapat diketahui. Beberapa grafik hubungan Kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang antara lain sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik hubungan pulse velocity dengan kuat tekan beton pada kondisi pengujian kering dan basah



Gambar 6. Grafik hubungan pulse velocity dengan kuat tekan beton dibandingkan dengan CSN 73 1371



Gambar 7. Grafik hubungan pulse velocity dengan kuat tekan beton dengan beberapa variasi campuran beton.

Metode dan Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan acuan awal korelasi yang digunakan dalam penentuan kuat tekan beton, dalam penelitian ini digunakan:
 - a. Untuk CH menggunakan grafik standard seperti pada gambar 2.
 - b. Untuk UPV mengacu pada British Standard, BS1881: Testing concrete, **Part 203: Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete**, untuk membuat korelasi UPV dan kuat tekan beton diambil minimal 20 buah sample CD yang diambil nilai UPVnya dengan menggunakan *direct methods* sebelum diuji tekan. Yang selanjutnya dari hasil uji tekan dikorelasikan dengan velositas yang diperoleh dari hasil UPV, diperoleh graphic hubungan cepat rambat gelombang ultrasonic, V dan kuat tekan beton *cube*, f_{ck} (GVK)
2. Pengujian pada shear wall dilakukan dengan NDT menggunakan *UPV indirect methods* dan CH pada 20 lokasi yang sama. UPV dilakukan dengan 5 kali pembacaan data velositas, sedangkan CH dilakukan dengan 12 kali pembacaan nilai *Rebound*, yang masing-masing

diambil nilai rata-ratanya. Pengujian pada *shear wall* dilakukan sebelum pelaksanaan CD.

3. Nilai Rebound dikonversi menjadi kuat tekan dengan persamaan dari gambar 2, sedangkan Nilai *UPV indirect methods* dikonversi menjadi kuat tekan dengan persamaan yang didapat dari GVK.
4. Dilakukan analisis atas nilai kuat tekan yang diperoleh dari uji tekan sample CD, pengujian UPV dan CH.

Pelaksanaan Uji dan Hasil Pengujian

Pengujian CH dan *UPV indirect methods* dilakukan pada 20 lokasi shear wall. Dimana pengujian CH dan *UPV indirect methods* Pengujian dilakukan pada lokasi yang sama.



Gambar 8. Dokumentasi pengujian CH (kiri) dan UPV indirect methods (kanan)

Hasil pengujian CH pada 20 lokasi shear wall seperti pada table berikut:

Tabel 2. Hasil uji CH

NO.	Lokasi Uji	Arah	Pukulan Paku Beton												f _{ck} (kg/cm ²)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Rata-rata
1	SW-1	⇒	43	41	41	41	41	43	42	40	39	41	43	43	41.5	429.01
2	SW-2	⇒	39	40	39	40	39	41	39	41	39	42	41	39	39.9	398.42
3	SW-3	⇒	38	36	36	36	36	36	38	35	35	37	36	38	36.4	334.61
4	SW-4	⇒	39	34	39	37	37	34	36	35	36	35	39	34	36.3	331.71
5	SW-5	⇒	39	35	40	39	40	35	39	35	38	40	39	40	38.3	367.38
6	SW-6	⇒	40	40	37	40	40	40	36	36	36	40	40	40	38.8	376.56
7	SW-7	⇒	35	32	30	30	35	33	35	35	33	30	33	35	33.0	277.44
8	SW-8	⇒	35	35	35	35	39	35	39	39	40	35	39	39	37.1	346.36
9	SW-9	⇒	35	38	36	35	35	37	35	34	35	37	38	36	35.9	325.93
10	SW-10	⇒	30	32	32	31	33	33	31	33	31	32	30	30	31.5	253.95
11	SW-11	⇒	41	41	37	42	42	43	41	39	43	40	41	40	40.8	416.00
12	SW-12	⇒	34	32	32	32	32	31	33	33	31	31	33	32	32.2	264.27
13	SW-13	⇒	32	30	32	35	32	32	30	30	30	32	35	30	31.7	256.51
14	SW-14	⇒	40	40	40	40	40	40	37	35	40	40	37	37	38.8	378.11
15	SW-15	⇒	40	40	42	40	42	42	42	40	42	40	40	40	41.0	419.24
16	SW-16	⇒	35	35	38	35	38	37	38	35	38	35	38	39	36.8	340.46
17	SW-17	⇒	35	37	35	35	35	37	40	40	37	37	35	37	36.7	338.99
18	SW-18	⇒	39	39	39	39	37	37	42	42	42	39	39	42	39.7	393.69
19	SW-19	⇒	33	34	35	33	34	35	34	35	37	34	33	34.3	297.77	
20	SW-20	⇒	37	37	37	40	40	40	37	37	35	35	40	40	37.9	361.31

Hasil pengujian *UPV indirect Methods* pada 20 lokasi shear wall seperti pada table berikut:

Setelah dilakukan pengujian *CH* dan *UPV indirect Methods*, dilakukan pengambilan sample *CD*.



Gambar 9. Pengambilan sampel *CD*

Tabel 3. Hasil uji *UPV indirect methods*

Lokasi Uji	Distance [m]	Time 1 [µs]	Time 2 [µs]	Velocity [m/s]	Average Velocity
SW-1	0.20	45.4	110.9	305.3	3799.0
	0.20	56.9	108.6	386.8	
	0.20	49.7	92.6	466.2	
	0.20	45.6	103.9	343.1	
	0.20	42.9	93.1	398.1	
SW-2	0.20	42.6	100.4	346.0	3736.0
	0.20	40.1	95.7	359.7	
	0.20	41.2	93.2	384.6	
	0.20	43.9	90.9	385.5	
	0.20	40.2	91.2	392.2	
SW-3	0.20	42.6	96.4	351.7	3550.4
	0.20	54.9	105.1	358.4	
	0.20	41.2	93.2	354.6	
	0.20	45.1	97.9	358.8	
	0.20	42.6	96.4	351.7	
SW-4	0.20	55.6	127.7	327.4	3398.4
	0.20	61.1	108.4	322.8	
	0.20	49.4	100.9	388.3	
	0.20	59.4	104.9	339.6	
	0.20	55.6	103.1	321.1	
SW-5	0.20	44.9	101.4	354.0	3738.8
	0.20	41.4	102.1	329.5	
	0.20	45.1	91.1	434.8	
	0.20	44.4	92.4	416.7	
	0.20	44.6	104.4	334.4	
SW-6	0.20	81.9	160.6	254.1	3621.8
	0.20	44.4	101.6	349.7	
	0.20	52.9	108.9	357.1	
	0.20	64.9	106.9	476.2	
	0.20	85.1	138.6	373.8	
SW-7	0.20	46.4	111.4	307.7	3335.2
	0.20	49.7	115.4	304.4	
	0.20	104.7	344.8		
	0.20	50.1	112.9	318.5	
	0.20	47.6	98.6	392.2	
SW-8	0.20	45.9	101.7	358.4	3515.0
	0.20	47.1	105.7	341.3	
	0.20	46.4	110.7	354.0	
	0.20	45.1	97.9	348.8	
	0.20	42.1	105.6	355.0	
SW-9	0.20	54.2	128.7	368.5	3541.0
	0.20	50.9	110.9	333.3	
	0.20	55.2	132.4	359.1	
	0.20	49.4	105.4	357.1	
	0.20	75.7	119.9	352.5	
SW-10	0.20	69.4	113.9	344.9	3460.2
	0.20	63.4	110.9	341.1	
	0.20	59.2	106.9	349.3	
	0.20	56.4	114.2	346.0	
	0.20	63.4	116.2	348.8	
SW-11	0.20	47.9	98.4	396.0	4103.4
	0.20	53.9	100.6	428.3	
	0.20	57.4	113.7	355.2	
	0.20	55.9	100.4	449.4	
	0.20	44.1	91.4	422.8	
SW-12	0.20	51.2	100.7	334.0	3351.2
	0.20	48.1	100.1	334.6	
	0.20	45.1	101.6	334.0	
	0.20	47.2	91.7	339.4	
	0.20	48.9	103.9	333.6	
SW-13	0.20	46.1	111.9	344.0	3403.2
	0.20	54.9	96.4	341.9	
	0.20	58.4	117.2	340.1	
	0.20	54.9	105.1	348.4	
	0.20	50.4	109.1	340.7	
SW-14	0.20	46.9	108.9	352.6	3506.6
	0.20	48.7	107.9	357.8	
	0.20	44.9	102.4	357.8	
	0.20	47.6	106.1	351.9	
	0.20	48.1	101.4	355.2	
SW-15	0.20	42.2	94.4	383.1	3898.0
	0.20	47.9	100.6	379.5	
	0.20	46.1	97.2	391.4	
	0.20	41.9	90.9	408.2	
	0.20	43.7	95.4	386.8	
SW-16	0.20	47.1	104.9	346.0	3777.8
	0.20	45.4	96.2	393.7	
	0.20	42.9	92.4	404.0	
	0.20	43.2	90.7	421.1	
	0.20	47.4	109.1	324.1	
SW-17	0.20	43.6	92.4	379.8	3771.6
	0.20	50.1	102.7	380.2	
	0.20	47.9	101.4	373.8	
	0.20	52.4	104.9	381.0	
	0.20	48.2	94.7	371.0	
SW-18	0.20	44.7	94.6	360.8	3640.2
	0.20	42.6	93.4	363.7	
	0.20	43.2	93.4	368.4	
	0.20	41.4	90.1	360.7	
	0.20	42.2	91.4	366.5	
SW-19	0.20	47.4	101.9	367.0	3483.8
	0.20	49.6	114.9	306.3	
	0.20	49.4	102.1	379.5	
	0.20	54.4	109.2	365.0	
	0.20	47.2	108.9	324.1	
SW-20	0.20	82.6	131.4	409.3	4040.0
	0.20	63.6	118.4	405.0	
	0.20	55.4	96.1	401.4	
	0.20	54.6	95.1	403.8	
	0.20	58.7	103.1	400.5	

Sebelum dilakukan uji tekan dilakukan uji *UPV direct methods* pada Sample *CD*.



Gambar 10. uji *UPV direct methods* pada Sample *CD*

Hasil pengujian *UPV direct Methods* pada 20 sampel *CD* seperti pada table berikut:

Tabel 4. Hasil uji *UPV direct methods*

Lokasi Uji	Distance [m]	Time 1 [µs]	Time 2 [µs]	Velocity [m/s]	Average Velocity
SW-1	0.16	40.6	-	4310	4350.0
	0.16	39.9	-	4321	
	0.16	39.9	-	4335	
	0.16	39.9	-	4395	
	0.16	39.9	-	4389	
SW-2	0.16	39.4	-	4261	4249.2
	0.16	39.6	-	4240	
	0.16	38.9	-	4213	
	0.16	39.4	-	4261	
	0.16	39.3	-	4271	
SW-3	0.16	40.1	-	4221	4204.8
	0.16	39.9	-	4190	
	0.16	40.8	-	4205	
	0.16	40.6	-	4218	
	0.16	40.9	-	4190	
SW-4	0.15	33.9	-	4277	4237.2
	0.15	34.3	-	4277	
	0.15	34.4	-	4215	
	0.15	34.4	-	4215	
	0.15	34.1	-	4252	
SW-5	0.13	28.4	-	4401	4410.4
	0.13	28.4	-	4401	
	0.13	28.4	-	4401	
	0.13	28.1	-	4448	
	0.15	35.4	-	4337	
SW-6	0.15	35.1	-	4374	4371.4
	0.15	35.1	-	4374	
	0.15	34.9	-	4398	
	0.15	35.1	-	4374	
	0.16	39.4	-	4061	
SW-7	0.16	40.4	-	3960	3963.0
	0.16	40.9	-	3912	
	0.16	40.9	-	3912	
	0.16	40.3	-	3970	
	0.16	39.8	-	4020	
SW-8	0.16	40.9	-	3912	3949.0
	0.16	40.4	-	3960	
	0.16	40.9	-	3912	
	0.16	40.6	-	3941	
	0.16	39.6	-	3914	
SW-9	0.16	38.9	-	3985	3940.2
	0.16	39.4	-	3934	
	0.16	39.4	-	3934	
	0.16	39.4	-	3934	
	0.14	31.4	-	4259	
SW-10	0.14	30.9	-	4369	4343.8
	0.14	30.9	-	4369	
	0.14	30.9	-	4369	
	0.14	31.3	-	4313	
	0.17	39.1	-	4148	
SW-11	0.17	39.3	-	4126	4166.0
	0.17	39.1	-	4148	
	0.17	39.4	-	4115	
	0.17	39.6	-	4293	
	0.18	40.3	-	4342	
SW-12	0.18	40.4	-	4332	4331.6
	0.18	40.4	-	4342	
	0.18	40.6	-	4310	
	0.15	36.9	-	4065	
	0.15	37.3	-	4021	
SW-13	0.15	37.1	-	4043	4051.8
	0.15	36.9	-	4065	
	0.15	36.9	-	4065	
	0.16	38.4	-	4036	
	0.16	38.8	-	4113	
SW-14	0.16	38.8	-	4098	4072.8
	0.16	38.8	-	4101	
	0.16	38.6	-	4016	
	0.16	37.9	-	4090	
	0.16	37.4	-	4144	
SW-15	0.16	37.3	-	4155	4142.2
	0.16	37.4	-	4144	
	0.16	37.1	-	4178	
	0.17	38.4	-	4197	
	0.17	38.4	-	4119	
SW-16	0.17	38.6	-	4175	4126.0
	0.17	38.4	-	4097	
	0.17	38.9	-	4042	
	0.17	37.9	-	4153	
	0.17	37.3	-	4150	
SW-17	0.17	37.6	-	4115	4139.2
	0.17	37.4	-	4139	
	0.17	37.4	-	4139	
	0.17	37.8	-	4418	
	0.17	37.4	-	4465	
SW-18	0.17	37.4	-	4465	4446.2
	0.17	37.8	-	4418	
	0.17	37.4	-	4465	
	0.31	82.6	-	3816	
	0.31	82.8	-	3812	
SW-19	0.31	83.3	-	3821	3824.8
	0.31	83.6	-	3844	
	0.31	83.9	-	3831	
	0.12	24.9	-	4819	
	0.12	24.9	-	4819	
SW-20	0.12	24.9	-	4878	4830.8
	0.12	24.9	-	4819	
	0.12	24.9	-	4819	
	0.12	24.9	-	4819	
	0.12	24.9	-	4819	

Tabel 5. Hasil uji tekan pada sampel *CD*

ID	Lokasi Uji	Dimensi			Berat (gram)	Beban (kN)	Crushing Strength* (kg/cm ²)	Cylinder Strength* (kg/cm ²)	Cube Strength* (kg/cm ²)
		H (cm)	D (cm)	H/D ratio					
1	SW-1	13.6	6.8	2.00	1082	155	435.73	408.75	492.47
2	SW-2	13.6	6.8	2.00	1105	140	393.56	369.2	444.81
3	SW-3	13.6	6.8	2.00	1089	145	407.62	382.38	460.7
4	SW-4	13.6	6.8	2.00	1114	145	407.62	382.38	460.7
5	SW-5	10.2	6.8	1.50	824	155	435.73	392.4	472.77
6	SW-6	13.6	6.8	2.00	1188	155	435.73	408.75	492.47
7	SW-7	13.6	6.8	2.00	1061	115	323.28	303.27	365.38
8	SW-8	13.6	6.8	2.00	1068	120	337.34	316.45	381.27
9	SW-9	13.6	6.8	2.00	1044	110	309.23	290.08	349.5
10	SW-10	13.6	6.8	2.00	1093	150	421.67	395.57	476.59
11	SW-11	13.6	6.8	2.00	1106	125	351.4	329.64	397.16
12	SW-12	13.6	6.8	2.00	1110	125	351.4	329.64	397.16
13	SW-13	13.6	6.8	2.00	1002	120	337.34	316.45	381.27
14	SW-14	13.6	6.8	2.00	1090	120	337.34	316.45	381.27
15	SW-15	13.6	6.8	2.00	1095	130	365.45	342.83	413.04
16	SW-16	13.6	6.8	2.00	1135	145	407.62	382.38	460.7
17	SW-17	13.6	6.8	2.00	1139	125	351.4	329.64	397.16
18	SW-18	13.6	6.8	2.00	1121	155	435.73	408.75	492.47
19	SW-19	13.6	6.8	2.00	1060	120	337.34	316.45	381.27
20	SW-20	10.2	6.8	1.50	828	185	520.07	468.35	564.28

Analisis dan Pembahasan

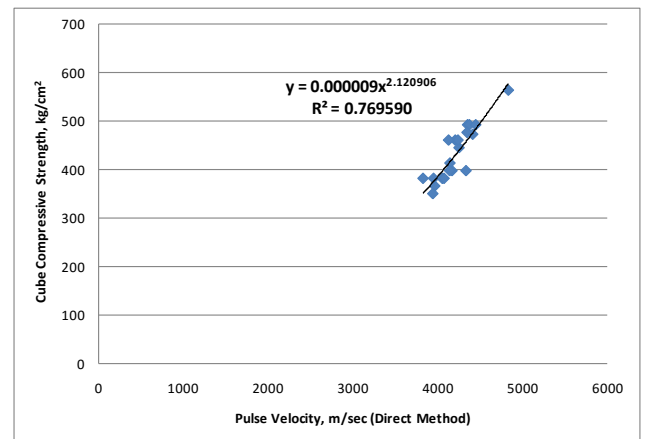
Berdasarkan hasil *UPV direct methods* pada sampel *CD* dan hasil uji kuat tekan sample *CD* didapatkan hubungan cepat rambat gelombang dan kuat tekan beton sebagai berikut:

Uji tekan beton pada 20 sampel *CD* dilakukan di laboratorium beton PT. Sofoco.



Gambar 11. Pengujian sampel *CD*

Dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik hubungan pulse *pulse velocity* dengan kuat tekan beton (*cube compressive strength*)

Dari grafik diatas diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$f_{ck} = 0.000009 \times v^{2.120906} \dots\dots\dots(\text{pers. 4})$$

Dimana:

f_{ck} = kuat tekan beton, *cube compressive strength* (kg/cm²)

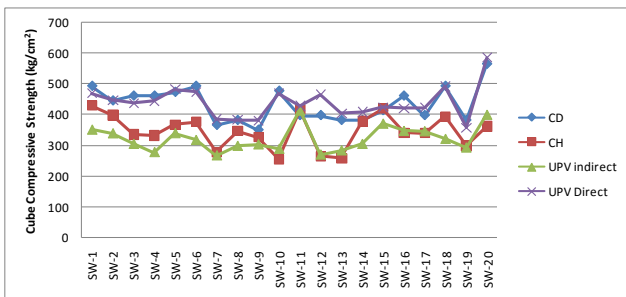
v = cepat rambat gelombang/ pulse velocity (m/detik)

Dengan menggunakan (pers. 4) diperoleh kuat tekan berdasarkan hasil uji *UPV indirect methods* (tabel 3), seperti pada table berikut:

Tabel 6. Kuat tekan beton berdasarkan *UPV indirect Methods*

Lokasi Uji	Cepat rambat gelombang, v (m/sec)	Cube compressive strength (kg/cm ²)
SW-1	3799.00	351.87
SW-2	3736.00	339.61
SW-3	3550.40	304.82
SW-4	3398.40	277.81
SW-5	3738.80	340.15
SW-6	3621.80	317.97
SW-7	3335.20	266.96
SW-8	3515.00	298.41
SW-9	3541.00	303.11
SW-10	3460.20	288.63
SW-11	4103.40	414.36
SW-12	3351.20	269.69
SW-13	3430.20	283.35
SW-14	3550.60	304.86
SW-15	3898.00	371.60
SW-16	3777.80	347.72
SW-17	3771.60	346.51
SW-18	3640.20	321.41
SW-19	3483.80	292.82
SW-20	4040.00	400.90

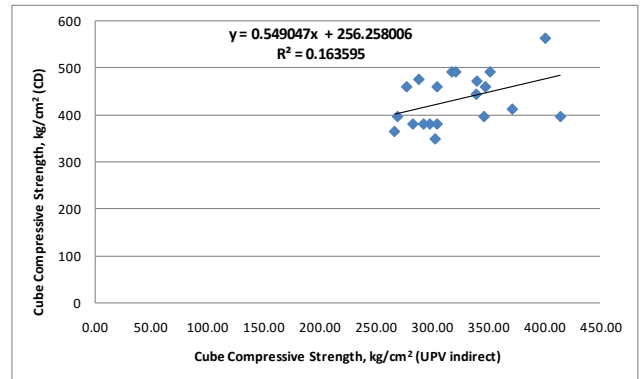
Perbandingan kuat tekan hasil CD, *UPV indirect Methods* dan *CH* seperti pada grafik berikut:



Gambar 13. Perbandingan kuat tekan hasil *CD*, *UPV indirect* *UPV direct* dan *CH*

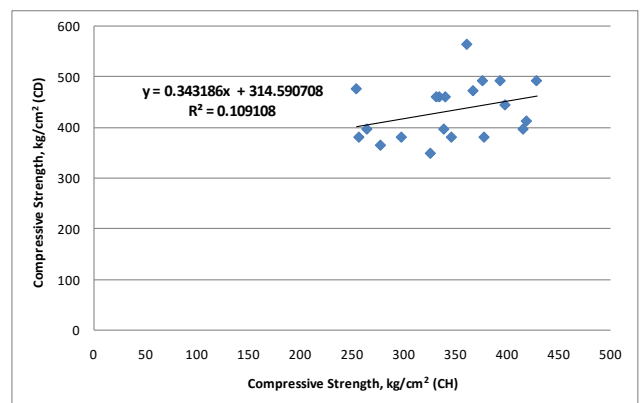
Dari grafik pada gambar 13 terlihat bahwa hasil *UPV direct* mendekati hasil *CD* sedangkan hasil *UPV indirect* mendekati hasil *CH*.

Tingkat korelasi masing-masing hasil uji diperlihatkan pada gambar-gambar berikut:

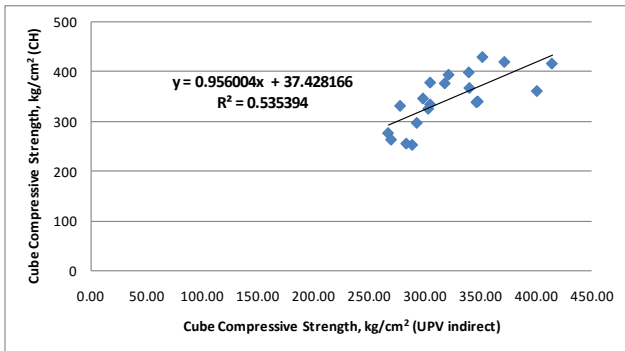


Gambar 14. Korelasi kuat tekan beton hasil *UPV indirect* dengan hasil *CD*

Walaupun terdapat hubungan positif antara hasil *UPV indirect* dengan hasil *CD*, namun korelasinya rendah r^2 hanya 0.164, begitupun dengan hasil *CH* dengan hasil *CD*, korelasinya rendah, dengan indikasi $r^2 = 0.109$, seperti pada gambar 15 berikut:



Gambar 15. Korelasi kuat tekan beton hasil *CH* dengan hasil *CD*



Gambar 16. Korelasi kuat tekan beton hasil *UPV indirect* dengan hasil *CH*

Kuat tekan hasil *UPV indirect* dengan hasil *CH* mempunyai $r^2 = 0.535$ yang lebih besar dari Korelasi kuat tekan beton hasil *UPV indirect* dengan hasil *CD* maupun Korelasi kuat tekan beton hasil *CH* dengan hasil *CD*.

Pengujian dengan *UPV indirect* dengan menggunakan (pers. 4), tidak merepresentasikan mutu beton pada *shear wall*, karena mutu beton yang dihasilkan memiliki korelasi yang rendah dengan hasil uji kuat dengan sample *core drill*.

Begitupun Pengujian dengan *CH*, tidak merepresentasikan mutu beton pada *shear wall*, karena mutu beton yang dihasilkan memiliki korelasi yang rendah dengan hasil uji kuat dengan sample *core drill*.

Uji menggunakan *CH* hanya mengindikasikan mutu beton pada lapisan permukaan. Begitupun dengan *UPV indirect* hanya mengindikasikan mutu beton pada lapis permukaan, hal ini dapat dilihat bahwa korelasi antara hasil *CH* dan *UPV indirect* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan jika dihubungkan dengan hasil *CD* ataupun dengan *UPV Direct*.

Sementara hasil *CD* dengan *UPV direct* memiliki korelasi yang paling besar 0.77. Hal ini karena dengan *UPV direct* rambatan gelombang merambat dari transducer transmitter melewati beton dari sisi yang satu ke sisi lainnya menuju transducer receiver. Berbeda dengan pada *UPV indirect* yang mana rambatan gelombang bergerak

dari transducer transmitter menuju transducer receiver melewati lapisan permukaan beton (jarak tercepat), sehingga hasilnya pun mendekati nilai *CH*.

Kesimpulan dan Saran

1. Hasil rata-rata dari masing-masing uji adalah sebagai berikut:
 - a. Uji Tekan sampel *CD* = 433.12 kg/cm²
 - b. *UPV direct Methods* = 438.41 kg/cm²
 - c. *UPV direct Methods* = 322.13 kg/cm²
 - d. Concrete Hammer = 345.38 kg/cm²
2. Hubungan cepat rambat gelombang dan kuat tekan beton (cube) pada *shear wall* apartemen Kayamas, seperti pada (pers. 4) sebagai berikut:

$$f_{ck} = 0.000009 \times v^{2.120906}$$
 Dengan $r^2 = 0.77$
3. Lapisan permukaan *shear wall* yang diuji memiliki mutu yang tidak seragam antara lapisan permukaan dan lapisan dalamnya, dimana lapisan permukaan hampir semuanya memiliki mutu yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan dalamnya.
4. Pengujian dengan *UPV indirect* memiliki hasil yang mendekati hasil *CH*, artinya pengujian dengan *UPV indirect* hanya mengindikasikan mutu beton pada lapisan permukaan.
5. Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan:
 - a. Studi untuk melihat keragaman mutu beton pada tiap layer-nya, dengan mengamati dan menganalisa amplitude gelombang pada media beton yang dilewatinya
 - b. Pada sample *CD* yang diambil perlu juga diperhatikan pengaruh

karbonasi dan ada tidaknya tulangan yang terbawa pada sampel.

Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2492-2002: Metode pengambilan dan pengujian beton inti.

Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-3403-1994: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran.

Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, Non-Destructive Methods. CE 165: Concrete Materials and Concrete Construction, 2015. H-2987 Concrete Rebound Hammer, Product Manual, 2016.

British Standard, BS1881: Testing concrete, Part 203: Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete, Amendment No. 2, published and effective from 30 August 1991.

J.H. Bungey, S.G. Millard, M.G. Grantham, Testing of Concrete in Structures, Fourth edition published 2006 by Taylor & Francis, 2006.

Francesco Nucera & Raffaele Pucinotti, Destructive And Non-Destructive Testing On Reinforced Concrete Structure: The Case Study Of The Museum Of Magna Graecia In Reggio Calabria, Department of Mechanics and Materials, Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy, 2010.

