

KORELASI NILAI KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN *NON-DESTRUCTIVE TEST* DAN *DESTRUCTIVE TEST*

(Correlation of Compressive Strength of Concrete by Using Non-Destructive Test and Destructive Test)

I Nengah Gandi Wirotama, Siti Nurlina, Ananda Insan Firdausy.

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 -Telp (0341) 567886

Email : gandiwirota@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai korelasi dari hasil pengujian kuat tekan beton di laboratorium dengan menggunakan alat *compression strength machine (destructive test)* dan pengujian yang bersifat tidak merusak (*non-destructive test*) dengan menggunakan alat *hammer test* dan *UPV test*. Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder dan kubus dengan perbedaan variasi mutu beton yaitu 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa, dan 35 Mpa. Hasil penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi dan persamaan regresi yaitu $Y=a+bX_1+cX_2$, di mana a,b,c adalah konstanta, Y adalah nilai kuat tekan dari *compression test*, X_1 adalah nilai kuat tekan dari *hammer test* dan X_2 adalah nilai kuat tekan dari *UPV test*. Untuk benda uji silinder dengan mutu beton gabungan didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar 71,9% dengan persamaan regresi yaitu $Y=-80,142+0,340X_1+0,021X_2$. Sedangkan, untuk benda uji kubus dengan mutu beton gabungan didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar 63,2% dengan persamaan regresi yaitu $Y=-132,711+0,339X_1+0,033X_2$. Dari nilai korelasi ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton jika *destructive test* tidak dapat dilakukan sehingga mampu meningkatkan penerapan metode NDT (*non-destructive test*) di Indonesia.

Kata Kunci: Kuat tekan beton, *Non-Destructive Test*, *Destructive Test*, *Hammer Test*, *UPV Test*, *Compression Test*

ABSTRACT

This research was conducted to determine correlation value of concrete compressive strength test in laborototium by using compression strength machine (destructive test) and non-destructive test using hammer test and UPV test. The test was conducted on cylindrical and cube specimen with different variation of concrete quality namely; 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa, and 35 Mpa. The result of this study aims at obtaining the coefficient of determination and regression equation is $Y=a+bX_1+cX_2$, where a, b, c are constants, Y is the compressive strength value of the compression test, X_1 is the compressive strength value of the hammer test and X_2 is value of compressive strength of UPV test. For cylindrical test object with combining concrete quality got value of coefficient of determination equal to 71,9% with regressing equation that is $Y=-80,142+0,340X_1+0,021X_2$. Meanwhile, for cube test object with combined concrete quality, the determination coefficient value of 63.2% with regressing equation is $Y=-132,711+0,399+0,033X_2$. From this correlation value is expected can be used of determining the value of compressive strength of concrete, if destructive test can not be conducted so as to improve the application of NDT (non-destructive test) method in Indonesia.

Keywords: *Strong of Concrete Press, Non-Destructive Test, Destructive Test, Hammer Test, UPV Test, and Compression Test.*

1. PENDAHULUAN

Secara sederhana, beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat kasar (krikil atau batu pecah), dan agregat halus (pasir) dengan perbandingan tertentu. Kadang-kadang ditambahkan pula campuran lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton. Dalam pelaksanaan di lapangan, kualitas beton harus selalu dikontrol melalui pengawasan agar dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan dalam perencanaan. Kualitas pelaksanaan yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan kualitas beton yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang disyaratkan. Sehingga dalam proses pelaksanaan perlu dilakukan pengujian untuk mengontrol kualitas dari beton tersebut.

Metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tekan beton pada umumnya dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu metode dengan cara tidak merusak (*non destructive test*), metode dengan cara setengah merusak (*semi destructive test*) dan metode dengan cara merusak keseluruhan komponen-komponen yang diuji (*destructive test*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kekuatan Beton

Kuat tekan beton adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengontrol mutu dari sebuah beton. Kuat tekan beton tergantung pada beberapa faktor yaitu:

1. FAS (faktor air semen).
2. Umur beton.
3. Kepadatan (*density*)
4. Sifat agregat.
5. Jumlah semen dan jenis semen yang digunakan.
6. Bahan tambah (*additive*)

2.2 Metode Non-Destructive Test

2.2.1 Hammer Test

Pada tahun 1948, seorang insinyur Ernest Schmidt mengembangkan sebuah alat pengujian yang bernama *rebound hammer*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kekerasan pada beton dengan prinsip *rebound* (pantulan) atau memberikan beban tumbukan (*impact*) pada permukaan beton dengan besaran massa tertentu. Metode ini pada dasarnya merupakan pengujian kekerasan permukaan beton untuk mendapatkan angka *rebound* yang digunakan untuk mengetahui kuat tekan beton menggunakan rumus empiris.

Skema alat dan prinsip kerja dari pengujian *rebound hammer* ini sebagai berikut (ACI Committe Report).

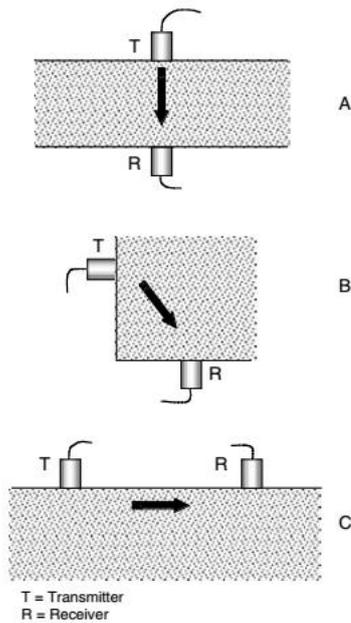
1. Posisi *plunger* diletakkan secara tegak lurus diatas bidang permukaan beton.
2. Saat dilakukannya pengujian, alat akan ditekan pada beton yang mengakibatkan pegas yang menghubungkan antara hammer (sistem massa) dengan badan alat menjadi memanjang.
3. Ketika alat hammer ditekan hingga keadaan maksimum, latch (palang penahan) secara otomatis terlepas, dan pegas tersebut akan menarik sistem massa menuju beton.
4. Setelah pegas menarik sistem massa ke arah beton, sistem massa tersebut akan menumbuk bahu *plunger* dan kemudian memantul.
5. Memantulnya sistem massa ini akan menggerakkan sebuah indikator geser, yang dimana indikator ini akan mencatat nilai rebound.

2.2.2 Ultra Pulse Velocity(UPV)

Ultrasonic pulse velocity adalah metode yang digunakan untuk mengukur kecepatan hantaran dari gelombang (*pulse velocity*) ultrasonik yang melewati suatu beton. Dalam pelaksanaan di lapangan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah metode/konfigurasi pengukuran. Ada pun metode-metode yang dapat dilakukan dengan menggunakan UPV seperti pada Gambar 1 antara lain:

- a. *Direct transmission*, yaitu *transmitter* dan *receiver* diletakkan saling berhadapan, sehingga lintasan gelombang tegak lurus dengan permukaan transduser. Panjang lintasan didapat dengan mengukur jarak antar transduser yakni jarak antara 2 sisi beton yang diuji. Metode ini memberikan hasil paling memuaskan karena transmisi energi gelombang yang diperoleh adalah yang paling besar dibanding metode lainnya.
- b. *Semi-direct transmission* (semi langsung), yaitu kedua transduser dipasang pada dua sisi yang berbeda dan tidak saling berhadapan. Panjang lintasan didapat dengan mengukur jarak miring dari kedua transduser. Metode ini cukup memberikan hasil yang memuaskan dengan ketentuan jarak antara *transmitter* dan *receiver* tidak terlalu jauh.

c. *Indirect* atau *surface transmission* (tidak langsung), yaitu pemasangan *transmitter* dan *receiver* pada sisi beton yang sama. Pada metode ini jarak antara kedua transduser perlu ditentukan terlebih dahulu seperti yang dikehendaki. Umumnya metode ini dipakai ketika hanya salah satu sisi beton yang dapat diakses. Namun hasil yang diperoleh kurang memuaskan karena amplitudo dari sinyal yang diterima lebih kecil daripada ketika pengujian menggunakan *direct method*.



Gambar 1 Konfigurasi pengujian UPV. (A) *Direct method*, (B) *semi-direct method*, dan (C) *indirect method*.

Sumber: V.M Malhotra & N.J Carino, (2004)

Tabel 1. Kualifikasi beton berdasarkan cepat rambat gelombang

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

2.3 Metode Destructive Test

2.3.1 Uji Kuat Tekan (*Compression Test*)

Prosedur pengujian uji kuat tekan beton dilakukan dengan mengikuti langkah – langkah di bawah ini:

1. Benda uji diletakkan secara sentris pada alat uji tekan beton (mesin tekan).

2. Alat uji tekan beton dijalankan dengan penambahan beban sesuai dengan keinginan penguji.
3. Proses pembebanan dilakukan sampai benda uji rusak atau hancur.
4. Setelah benda uji hancur, catat beban yang tertera pada mesin, beban ini menjadi beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton
5. Sebagai bukti penelitian, bentuk kerusakan dan proses pengujian pada benda uji dapat didokumentasikan.
6. Kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara beban persatuan luas.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2-1)$$

Di mana;

f_c = kuat tekan beton (Mpa)

P = beban maksimum (N)

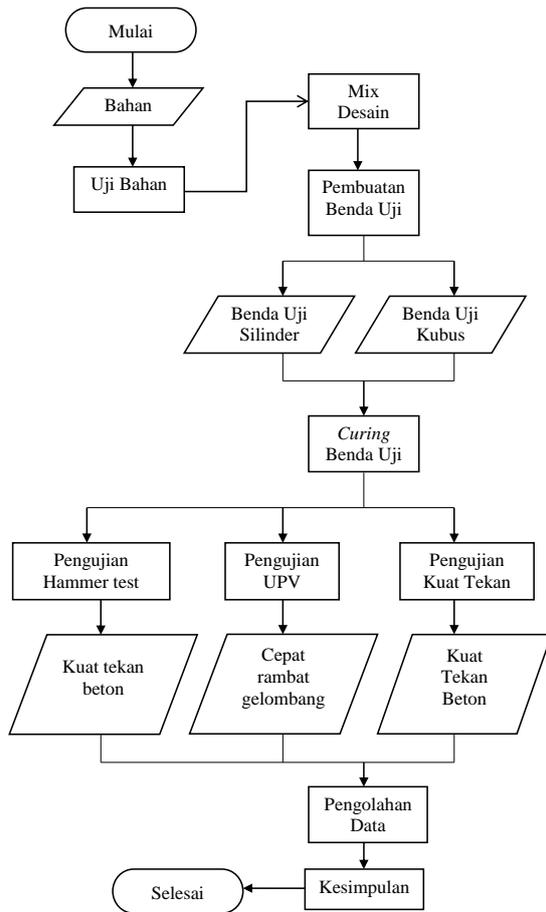
A = luas penampang benda uji (mm²)

3. 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 dan kubus 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 kecepatan rambat gelombang dari hasil pengujian UPV, serta kuat tekan beton dari hasil pengujian *hammer test*. Kemudian akan dianalisis hubungan korelasi antar ketiga pengujian tersebut. Diagram alir penelitian tampak pada Gambar 2.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat pengujian berupa:

1. *Compression test*
2. *Hammer test* (alat *SilverSchmidt Hammer* dari PROCEQ)
3. *UPV test* (PL-200 dari PROCEQ)



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.1 Metode Analisa

3.1.1 Pengumpulan Data

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tekan menghasilkan data-data beban maksimum yang kemudian dikonversikan menjadi kuat tekan dari setiap benda uji beton, pengujian UPV menghasilkan data-data berupa cepat rambat gelombang yang melalui setiap benda uji beton dan pengujian *hammer test* menghasilkan data-data berupa nilai mutu beton.

3.1.2 Pengolahan Data

3.1.2.1 Kesalahan Relatif

Kesalahan relatif diperlukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan nilai kuat tekan beton yang terjadi antara pengujian menggunakan pengujian *compression test* dan *hammer test* terhadap kuat tekan beton yang direncanakan. Kesalahan relatif (KR) nilai kuat tekan beton dapat dinyatakan dengan persamaan (3-1)

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(3-1)$$

Dengan:

X_1 = nilai kuat tekan beton yang direncanakan

X_2 = nilai kuat tekan beton yang dari pengujian

3.1.2.2 Analisa Regresi

Analisa regresi merupakan analisa yang digunakan untuk mengetahui hubungan fungsional antar variabel-variabel yang dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik. Analisa regresi dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu:

1. Analisis regresi linier sederhana

Analisa yang digunakan untuk mengetahui hubungan fungsional antar 2 variabel yaitu variabel bebas tunggal (*independent*) dan tak bebas (*dependent*) yang dinyatakan dengan suatu persamaan matematik. Bentuk persamaan matematik yang akan didapatkan dengan menggunakan analisa regresi linier sederhana dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = a + bx \dots\dots\dots(3-2)$$

Di mana :

Y = Variabel tak bebas

X = Variabel bebas tunggal

a = Konstanta regresi

b = Koefisien regresi

2. Analisis regresi linier berganda

Analisa ini bertujuan untuk memperkirakan perubahan nilai variabel tertentu apabila variabel yang lain berubah. Analisa regresi berganda memiliki jumlah variabel *independent* (bebas) sebagai prediktor lebih dari satu. Analisa ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\hat{y} = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_k x_k \dots\dots\dots(3-3)$$

Di mana :

\hat{y} = variabel tidak bebas (*dependent*)

$\alpha_0, \dots, \alpha_k$ = koefisien regresi

x_1, \dots, x_k = variabel bebas (*independent*)

3.1.2.3 Analisa Korelasi Berganda

Pada penelitian ini digunakan analisa korelasi berganda, hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat hubungan atau keterkaitan antara variabel X (*hammer test* dan *UPV test*) dengan variabel Y (uji kuat tekan) yang dinyatakan dalam bentuk persentase.

3.1.3 Analisa dengan Software

Pada penelitian kali ini digunakan 2 macam *software* yaitu aplikasi IBM SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) dan aplikasi MATLAB (*Matrix Laboratory*). IBM SPSS adalah aplikasi yang berguna untuk menganalisa nilai regresi, hal ini digunakan untuk mencari persamaan korelasi antara *hammer test*, *UPV test* dan *compressive test*. Sedangkan aplikasi MATLAB adalah program untuk menganalisa dan mengkomputasi data numerik, dengan memasukan data hasil pengujian pada aplikasi ini untuk menghasilkan grafik korelasi antara ketiga metode pengujian di atas.

4. HASIL PENELITIAN

4.1 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

4.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada seluruh benda uji, baik silinder maupun kubus. Pengujian tekan menggunakan *Compression Test Machine*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Universitas Brawijaya Malang.



Gambar 3. Pengujian menggunakan uji kuat tekan beton (*compression test*)

4.3 Pengujian Hammer Test

Pada pengujian *hammer test* dilakukan menggunakan alat *SilverSchmidt Hammer* dari PROCEQ yang bertujuan untuk mendapatkan kuat tekan beton. Pengujian hammer test dilakukan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.



Gambar 4. Pengujian menggunakan uji *hammer test*

4.4 Pengujian UPV Test

Pengujian UPV dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang pada hari ke 28 setelah percetakan benda uji. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *direct transmission*. Hasil pengukuran UPV berupa kecepatan rambat gelombang.

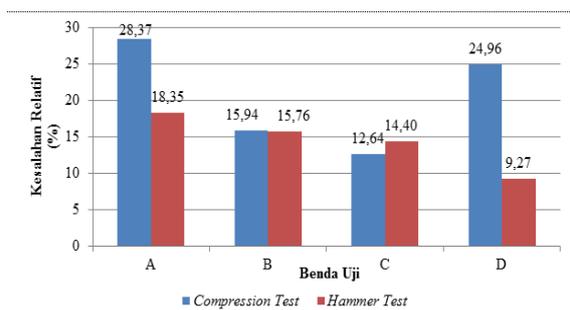


Gambar 5. Pengujian menggunakan uji UPV test

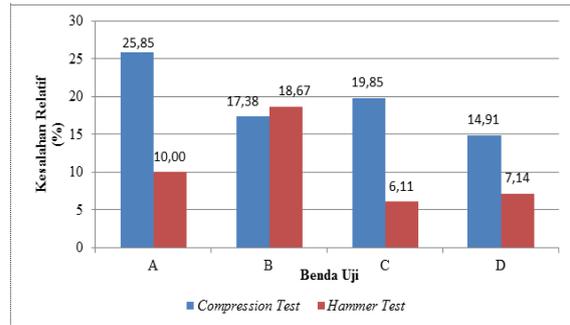
4.5 Pembahasan

4.5.1 Kesalahan Relatif Pengukuran Kuat Tekan Beton

Adanya perbedaan hasil kuat tekan beton yang dihasilkan oleh uji *compression test* dan *hammer test* terhadap kuat tekan yang direncanakan dapat ditunjukkan dengan adanya persentase kesalahan relatif. Hasil dari analisa kesalahan relatif untuk benda uji silinder dan kubus dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Diagram perbandingan persentase kesalahan relatif antara kuat tekan yang direncanakan dengan hasil dari pengujian benda uji silinder



Gambar 7. Diagram perbandingan persentase kesalahan relatif antara kuat tekan yang direncanakan dengan hasil dari pengujian benda uji silinder

4.5.2 Analisa Hasil Pengujian

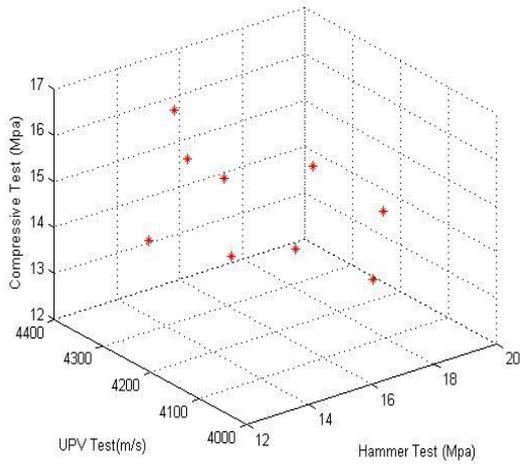
Analisa hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan analisa regresi, hal ini dilakukan untuk mencari persamaan korelasi antara *hammer test*, *UPV test* dan *compression test* dari hasil pengujian yang sudah dilakukan. Pada penelitian ini analisa regresi menggunakan software IBM SPSS. Berikut hasil analisa regresi dengan menggunakan software IBM SPSS:

Tabel 5. Rekapitulasi Analisa Regresi Antara *Compression Test*, *Hammer Test* dan *UPV Test* Menggunakan IBM SPSS

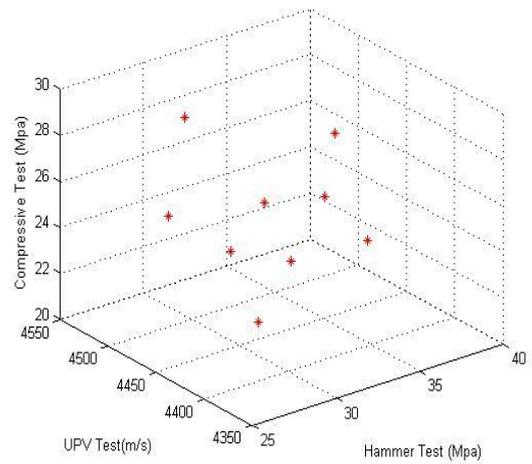
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi	Koefisien Korelasi	
		R ²	R	
Silinder	20 Mpa	$Y = 37,517 - 0,413X_1 - 0,004X_2$	0,486	0,679
	25 Mpa	$Y = 79,749 + 1,591X_1 - 0,021X_2$	0,635	0,797
	30 Mpa	$Y = -77,420 + 0,046X_1 + 0,023X_2$	0,066	0,257
	35 Mpa	$Y = -4,708 + 0,051X_1 + 0,006X_2$	0,008	0,087
Gabungan	$Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$	0,719	0,848	
Kubus	$Y = -132,711 + 0,339X_1 - 0,033X_2$	0,632	0,795	

Keterangan : $Y =$ *compression test* ; $X_1 =$ *hammer test* ; $X_2 =$ *UPV test*

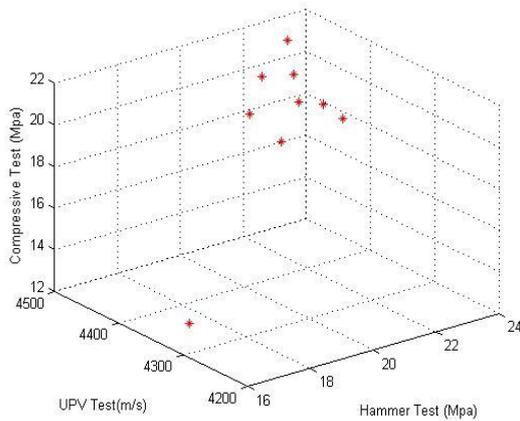
Setelah mendapatkan nilai persamaan regresi menggunakan software IBM SPSS, dilakukan penggambaran grafik hubungan korelasi antara ketiga metode pengujian di atas dengan menggunakan software MATLAB (*Matrix Laboratory*). Berikut grafik hubungan korelasi antara ketiga metode pengujian:



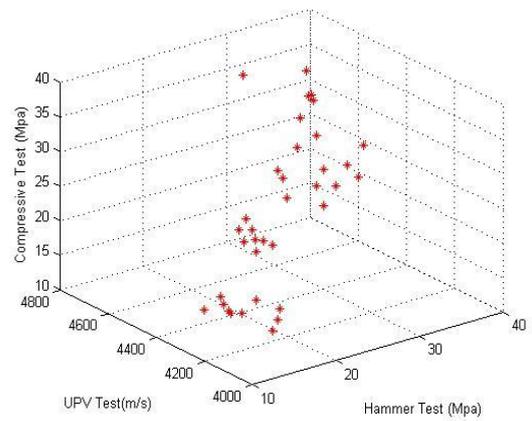
Gambar 8. Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 20 Mpa



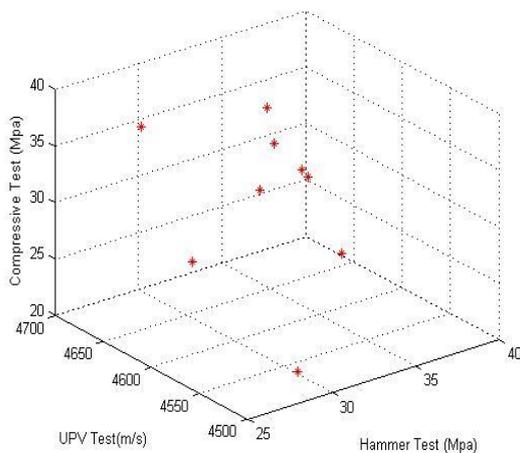
Gambar 11. Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 35 Mpa



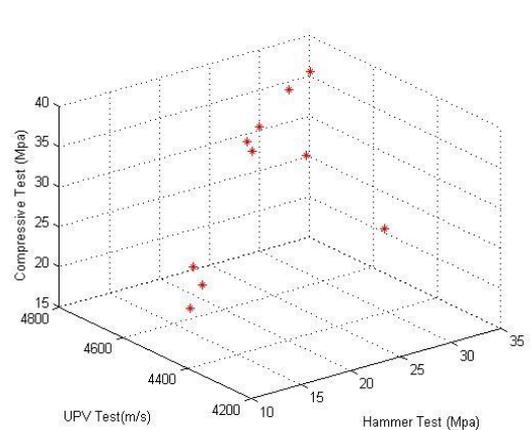
Gambar 9. Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 25 Mpa



Gambar 12. Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder variasi mutu beton gabungan



Gambar 10. Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 30 Mpa



Gambar 13. Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan variasi mutu beton gabungan

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Terjadi perbedaan nilai kuat tekan beton antara hasil pengujian *non-destructive test* dan *destructive test*, sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta.
2. Dari hasil analisa regresi, didapatkan persamaan nilai korelasi antara *hammer test*, *UPV test* dan *compressive test* dengan Y adalah nilai uji *compressive test* (Mpa), X_1 adalah nilai uji *hammer test* (Mpa) dan X_2 adalah nilai uji *UPV test* (m/s). Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu nilai dari *UPV test*. Didapatkan juga nilai persentase koefisien determinasi (R^2) yang diartikan bahwa persentase R^2 tersebut merupakan persentase variasi variabel *dependent Y (Compressive test)* dipengaruhi oleh 2 variabel *independent X_1 (Hammer test)* dan X_2 (*UPV test*), sedangkan sisanya dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

5.2 Saran

Beberapa saran dapat dilakukan untuk menyempurnakan tersebut, antara lain:

1. Perlu adanya pengawasan yang detail dalam setiap proses penelitian, mulai dari penelitian pendahuluan bahan-bahan penyusun, proses produksi benda uji dan proses pengujian benda uji. Semua harus dilakukan sesuai dengan prosedur agar diperoleh hasil yang maksimal.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi hasil kuat tekan beton dengan menggunakan *non-destructive test*.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dalam hal pembuatan benda uji dengan menggunakan beberapa macam dimensi beton yang berbeda, benda uji beton bertulang, variasi tebal selimut beton dan variasi jarak sengkang, sehingga dapat diketahui pengaruh dimensi beton, tulangan, tebal selimut beton dan jarak sengkang terhadap kuat korelasi *non-destructive test* dan *destructive test* yang sesuai dengan kondisi dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Mindess, S., Young, J. F., Darwin, D, 2003, *Concrete; Second Edition*, Upper Saddle River, Pearson Education Inc, New Jearsey.
- Mulyono, Tri, 2004, *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Nasser, K. W., and Al-Manaseer, A. A., 1987b, "Comparison of Nondestructive Testers of Hardened Concrete", *ACI Materials Journal*, V. 84, No. 5, Sept.-Oct., pp. 374-380.
- Nurlina, Siti. (2011). *Teknologi Bahan I*. Malang: Bargie Media.
- Pramoedyo, Henny. 2013. *Statistika Inferensia Terapan*. Malang: Danar Wijaya
- PROCEQ. (2014). *Operating Instructions SilverSchmidt & Hammerlink*. Switzerland : Proceq.
- PROCEQ. (2014). *Pundit PL-200 and PE Ultrasonic Training*. Switzerland : Proceq.
- SK SNI-03-2847-2002, 2002, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung", Badan Standardisasi Nasional