

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

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**I NENGAH GANDI WIROTAMA
NIM. 145060100111019**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

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

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

I NENGAH GANDI WIROTAMA

NIM. 145060100111019

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 15 Februari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Siti Nurlina, MT.
NIP.19650423 199002 2 001

Ananda Insan Firdausy, ST, MT, M.Sc.
NIK. 201607 900504 1 001

Mengetahui
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac).
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan *Non-Destructive Test* Dan *Destructive Test*

Nama Mahasiswa : I Nengah Gandi Wirotama

NIM : 145060100111019

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ir. Siti Nurlina., MT.

Dosen Penguji 2 : Ananda Insan Firdausy., ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Desy Setyowulan., ST., MT., M.Sc

Tanggal Ujian : 15 Februari 2018

SK Penguji : 334/UN10.F07/SK/2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah hasil pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 15 Februari 2018

Mahasiswa,

I Nengah Gandi Wirotama

NIM. 145060100111019

*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:
Ayahanda, Ibunda dan Kakak Tercinta*

*“Live as if you die tomorrow. Learn as if you were to live forever.”
-Mahatma Gandhi*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikannya penyusunan skripsi ini yang berjudul “KORELASI NILAI KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN *NON-DESTRUCTIVE TEST* DAN *DESTRUCTIVE TEST*”.

Tugas akhir ini merupakan tugas akademik yang wajib ditempuh oleh mahasiswa untuk mendapatkan gelar sarjana S1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan lancar tanpa adanya bimbingan, bantuan serta doa dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini, tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, kakak dan keluarga besar saya yang selalu memberikan semangat, masukan, dukungan moral serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng(Prac)., selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT., selaku dosen pembimbing 1.
6. Bapak Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc., selaku dosen pembimbing 2.
7. Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., MT., M.Sc., selaku ketua majelis.
8. Bapak Ir. Agus Suharyanto, M.Eng, Ph.D., selaku dosen pembimbing akademik
9. Bapak Sugeng, Bapak Dino, Bapak Hadi selaku Laboran Lab. Struktur.
10. Rekan sesama penelitian dan tugas akhir SKRIPSWEET (Ime, Kamil, Wika, Agus, Teguh, dan Eky) yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan penelitian ini.
11. Kolega GAWAD (Wiwid, Agung, Ary, dan Danan) selaku teman seperjuangan yang selalu membantu dan memberi semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman – teman kumpul kontrakan TBI A3 (Surya, Dwik, Bayu, Irvian, Intan, Arik, Pungki, Sandra, Davia, dan Ayik) selaku teman seperjuangan kuliah yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Kolega UNIKAHIDHA (Unit Aktivitas Kerohanian Hindu Dharma Brawijaya) selaku teman seperjuangan kuliah yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.

14. Kolega SHILPAVEDA (Keluarga Besar Mahasiswa Hindu Teknik Brawijaya) selaku teman seperjuangan kuliah yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
15. Keluarga Besar Mahasiswa Hindu se-Malang Raya yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil FT-UB dan seluruh mahasiswa angkatan 2014 Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.

Besar harapan penulis agar nantinya hasil yang telah didapatkan ini dapat bermanfaat untuk pribadi dan para pembaca, baik sebagai bahan bacaan penunjang maupun sebagai referensi. Demi kesempurnaan tugas akhir ini, saran dan petunjuk serta kritik yang bersifat membangun sangatlah diharapkan guna memperoleh hasil yang lebih baik.

Malang, 15 Februari 2018

I Nengah Gandi Wirotama

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Gambaran Umum Beton	5
2.1.2 Kekuatan Pada Beton	5
2.1.3 Tegangan dan Regangan Beton	7
2.1.4 Modulus Elastisitas Beton	8
2.1.5 <i>Rasio Poisson</i>	9
2.2 Bahan Penyusun Beton	9
2.2.1 Agregat	9
2.2.2 Semen	11
2.2.3 Air	12
2.2.4 Bahan Tambahan (<i>Admixture</i>)	13
2.3 Metode <i>Non Destructive Test</i>	13
2.3.1 UPV Test (<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>)	13
2.3.1.1 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kuat Tekan Beton	17
2.3.2 <i>Hammer Test (Rebound Hammer)</i>	18
2.3.2.1 <i>Rebound Hammer Manual</i>	18

2.3.2.2	<i>Rebound Hammer Digital</i>	19
2.4	Metode <i>Destructive Test</i>	20
2.4.1	Uji Kuat Tekan (<i>Compression Test</i>).....	20
BAB III METODE PENELITIAN		25
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2	Bahan Penelitian	25
3.3	Peralatan Penelitian	25
3.4	Tahapan Penelitian	26
3.5	Rancangan Penelitian	27
3.6	Variabel Penelitian	27
3.7	Hipotesis Penelitian	27
3.8	Prosedur Penelitian	28
3.8.1	Pengujian Bahan Dasar.....	28
3.8.1.1	Pengujian Agregat Halus	28
3.8.1.2	Pengujian Agregat Kasar	28
3.8.2	Pembuatan Benda Uji	29
3.8.3	Perawatan Benda Uji	29
3.8.4	Pengujian UPV	30
3.8.5	Uji <i>Hammer Test Digital</i>	31
3.8.6	Pengujian Kuat Tekan	33
3.9	Metode Analisa.....	33
3.9.1	Pengumpulan Data.....	33
3.9.2	Pengolahan Data	34
3.9.2.1	Kesalahan Relatif.....	34
3.9.2.2	Analisa Regresi.....	34
3.9.2.3	Analisa korelasi berganda.....	36
3.9.2.4	Analisa dengan Software	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Analisa Bahan.....	39
4.1.1	Semen	39
4.1.2	Agregat	39
4.1.3	Air.....	39
4.2	Analisa Peralatan Penelitian	39
4.2.1	Saringan	39

4.2.2	Timbangan	40
4.2.3	Mesin Pengaduk Beton	40
4.2.4	Cetakan Benda Uji	40
4.2.5	Alat Uji Tekan.....	40
4.2.6	<i>UPV Test</i>	40
4.2.7	<i>Hammer Test</i>	40
4.2.8	Alat Bantu Lainnya	40
4.3	Hasil Pengujian Bahan Dasar.....	41
4.3.1	Pemeriksaan Agregat Halus.....	41
4.3.2	Pemeriksaan Agregat Kasar.....	43
4.3.3	Campuran Beton	45
4.4	Hasil Pengujian	45
4.4.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	45
4.4.2	Hasil Pengujian <i>Hammer Test Digital</i>	49
4.4.3	Hasil Pengujian <i>UPV Test</i>	52
4.5	Pembahasan.....	53
4.5.1	Kesalahan Relatif Pengukuran Kuat Tekan Beton.....	55
4.5.2	Analisa Regresi dan Korelasi Linier Sederhana antara <i>Compression Test</i> dan <i>Hammer Test</i>	59
4.5.3	Analisa Regresi Linier Berganda dan Korelasi Berganda	63
4.5.3.1	Analisa Regresi dan Korelasi Menggunakan <i>Software IBM SPSS</i> Pada Benda Uji Silinder.....	64
4.5.3.2	Analisa Regresi dan Korelasi Menggunakan <i>Software IBM SPSS</i> Pada Benda Uji Kubus.....	69
4.5.4	Grafik Hubungan Korelasi antara <i>Non-Destructive Test</i> dan <i>Destructive Test</i> dengan Menggunakan <i>Software MATLAB</i>	70
BAB V PENUTUP		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Gradasi saringan ideal agregat halus.....	10
Tabel 2.2	Gradasi saringan ideal agregat kasar.....	11
Tabel 2.3	Kualifikasi kualitas beton berdasarkan cepata rambat gelombang	17
Tabel 2.4	Hubungan kuat tekan beton dan UPV	18
Tabel 2.5	Daftar konversi kuat tekan beton dari bentuk kubus ke bentuk silinder.....	24
Tabel 3.1	Rancangan penelitian beton	27
Tabel 3.2	Pengaturan alat pada pengujian <i>hammer test</i>	32
Tabel 3.3	Form pengujian kuat tekan beton silinder dan kubus	33
Tabel 3.4	Form pengujian <i>UPV test</i> dan <i>Hammer test</i>	34
Tabel 4.1	Pemeriksaan gradasi agregat halus	41
Tabel 4.2	Berat jenis dan penyerapan agregat halus	42
Tabel 4.3	Berat jenis dan penyerapan agregat halus	42
Tabel 4.4	Kadar air agregat halus	43
Tabel 4.5	Pemeriksaan gradasi agregat kasar	43
Tabel 4.6	Berat jenis dan penyerapan agregat kasar	44
Tabel 4.7	Kadar air agregat kasar	45
Tabel 4.8	Hasil uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder	47
Tabel 4.9	Hasil uji kuat tekan beton dengan benda uji kubus.....	48
Tabel 4.10	Hasil pengujian <i>hammer test</i> benda uji silinder.....	50
Tabel 4.11	Hasil pengujian <i>hammer test</i> benda uji kubus	51
Tabel 4.12	Hasil pengujian <i>UPV test</i> benda uji kubus.....	52
Tabel 4.13	Hasil pengujian <i>UPV test</i> benda uji silinder	52
Tabel 4.14	Perbedaan nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder dan kubus.....	53
Tabel 4.15	Perhitungan kesalahan relatif nilai kuat tekan beton yang direncanakan dengan hasil pengujian.....	56
Tabel 4.16	Rekapitulasi Analisa regresi antara <i>compression test</i> dan <i>hammer test</i>	62
Tabel 4.17	<i>Model summary</i> untuk benda uji silinder 20 Mpa	64
Tabel 4.18	Koefisien alat uji untuk benda uji silinder 20 Mpa.....	64
Tabel 4.19	<i>Model summary</i> untuk benda uji silinder 25 Mpa	65
Tabel 4.20	Koefisien alat uji untuk benda uji silinder 25 Mpa.....	65
Tabel 4.21	<i>Model summary</i> untuk benda uji silinder 30 Mpa	66

Tabel 4.22	Koefisien alat uji untuk benda uji silinder 30 Mpa	66
Tabel 4.23	<i>Model summary</i> untuk benda uji silinder 35 Mpa	67
Tabel 4.24	Koefisien alat uji untuk benda uji silinder 35 Mpa	67
Tabel 4.25	<i>Model summary</i> untuk benda uji silinder gabungan	68
Tabel 4.26	Koefisien alat uji untuk benda uji silinder gabungan	68
Tabel 4.27	<i>Model summary</i> untuk benda uji kubus	69
Tabel 4.28	Koefisien alat uji untuk benda uji kubus	69
Tabel 4.29	Rekapitulasi Analisa regresi antara <i>compression test</i> , <i>hammer test</i> dan <i>UPV test</i> menggunakan IBM SPSS	70

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Sampel benda uji silinder beton (a); sampel benda uji kubus beton (b)	7
Gambar 2.2	Regangan yang terjadi pada suatu benda	8
Gambar 2.3	Diagram skematik dari instrumen UPV	14
Gambar 2.4	Konfigurasi pengujian UPV. (A) <i>Direct method</i> , (B) <i>semi-direct method</i> , dan (C) <i>indirect method</i>	15
Gambar 2.5	Perubahan cepat rambat pada beton <i>plain</i> dan beton dengan <i>admixture</i> terhadap umur beton.	17
Gambar 2.6	Skema ilustrasi <i>rebound hammer</i>	19
Gambar 2.7	Contoh alat <i>hammer manual</i> dan digital dari <i>proceq</i>	20
Gambar 2.8	Contoh benda uji yang telah melalui proses <i>capping</i>	22
Gambar 2.9	Contoh proses uji kuat tekan beton.....	23
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian	26
Gambar 3.2	Skema titik pengujian UPV pada benda uji: (a) silinder dan (b) kubus.....	30
Gambar 3.3	Proses kalibrasi awal alat uji UPV.....	31
Gambar 4.1	Grafik lengkung agregat halus zona 2	42
Gambar 4.2	Grafik lengkung agregat kasar max 40 mm.....	44
Gambar 4.3	Diagram kuat tekan beton berbentuk silinder dengan uji kuat	48
Gambar 4.4	Diagram kuat tekan beton berbentuk kubus dengan uji kuat tekan	49
Gambar 4.5	Diagram kuat tekan beton berbentuk silinder dengan uji <i>hammer test</i>	51
Gambar 4.6	Diagram kuat tekan beton berbentuk kubus dengan uji <i>hammer test</i>	51
Gambar 4.7	Diagram perbandingan persentase kesalahan relatif antara kuat tekan yang direncanakan dengan hasil dari pengujian benda uji silinder	58
Gambar 4.8	Diagram perbandingan persentase kesalahan relatif antara kuat tekan yang direncanakan dengan hasil dari pengujian benda uji kubus.....	58
Gambar 4.9	Diagram perbandingan kuat tekan beton rata-rata benda uji berbentuk silinder dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	59
Gambar 4.10	Diagram perbandingan kuat tekan beton rata-rata benda uji berbentuk kubus dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	59
Gambar 4.11	Regresi benda uji silinder 20 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	60

Gambar 4.12	Regresi benda uji silinder 25 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	60
Gambar 4.13	Regresi benda uji silinder 30 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	60
Gambar 4.14	Regresi benda uji silinder 35 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	61
Gambar 4.15	Perbedaan grafik regresi pada tiap-tiap mutu beton	61
Gambar 4.16	Regresi benda uji silinder gabungan dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	62
Gambar 4.17	Regresi benda uji kubus dengan uji kuat tekan dan uji <i>hammer test</i>	62
Gambar 4.18	Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 20 Mpa.....	70
Gambar 4.19	Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 25 Mpa.....	71
Gambar 4.20	Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 30 Mpa.....	71
Gambar 4.21	Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 35 Mpa.....	72
Gambar 4.22	Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder variasi mutu beton gabungan	72
Gambar 4.23	Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan variasi mutu beton gabungan	73

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil analisa agregat halus.....	79
Lampiran 2	Hasil analisa agregat kasar.....	84
Lampiran 3	Hasil perencanaan <i>mix design</i>	88
Lampiran 4	Data analisa <i>compressive test</i> , <i>hammer test</i> dan <i>UPV test</i>	120
Lampiran 5	Data <i>software</i> IBM SPSS dan MATLAB	131
Lampiran 6	Dokumentasi Pengujian dan Penelitian	138

Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

I Nengah Gandi Wirotama, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Februari 2018, *Korelasi Nilai Kuat Tekan Betondengan Menggunakan Non-Destructive Test dan Destructive Test*. Dosen Pembimbing: Ir. Siti Nurlina, MT. dan Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc.

Beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (krikil atau batu pecah) dengan perbandingan tertentu. Kadang-kadang ditambahkan pula campuran lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton. 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*), setengah merusak (*semi destructive test*) dan merusak keseluruhan komponen-komponen yang diuji (*destructive test*). Dari ketiga metode tersebut, metode *destructive test* merupakan pengujian yang paling mendekati nilai kuat tekan beton yang sebenarnya. Dalam perkembangannya, pengujian menggunakan *non-destructive test* ini dapat dilakukan secara langsung di lapangan. Pengujian NDT yang sering digunakan di Indonesia adalah *hammer test* dan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*), akan tetapi hasil dari *non-destructive test* ini belum dapat mewakili kekuatan suatu struktur, sehingga diperlukan hubungan/korelasi dengan beberapa pengujian kuat tekan yang lain.

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 $Y=a+bX_1+cX_2$, dimana 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 $Y=-132,711+0,408X_1+0,033X_2$. Dari persamaan regresi di atas, dapat diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu nilai dari *UPV test*. 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*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

I Nengah Gandi Wirotama, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, February 2018, Correlation of Strong Value of Concrete Pressure by Using Non-Destructive Test and Destructive Test. Supervisor: Ir. Siti Nurlina, MT. and Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc.

Concrete is formed by mixing of hardening material between cement, water, fine aggregate (sand), and coarse aggregates (pebble) by a certain ratio. Sometimes are added also another mixture to improve the quality of concrete. Test methods which is used of determine the compressive strength of concrete in general can be divided into three parts, namely; the method with non destructive test, semi destructive test and and destructive test components. From the three methods, the destructive test method is the closest test to the actual compressive strength value of the concrete. In its development, testing of using non-destructive test can be conducted directly in the field. The most commonly used NDT test in Indonesia is hammer test and UPV (Ultrasonic Pulse Velocity), but the result of this non-destructive test has not been able to represent the strength of a structure, so it is needed relation/correlation with some other compressive testing.

This research was conducted to determine correlation value of concrete compressive strength test in laboratotium 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 $Y = -132,711 + 0,408X_1 + 0,033X_2$. From the regressing equation above, it can be seen that there are variables which is not influencing so significant that is the value of UPV test. 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.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi semakin meningkat, terutama di bidang material konstruksi pada infrastruktur. Beton merupakan material yang paling banyak digunakan pada pembangunan dalam bidang teknik sipil, baik pada pembangunan jembatan, gedung, bendungan, maupun konstruksi yang lain. 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.

Seperti yang kita ketahui beton merupakan komponen utama struktural yang mampu menahan dan mendistribusikan seluruh beban-beban dalam suatu bangunan. Material beton dipilih karena kuat tekannya yang sangat tinggi dibanding material lainnya termasuk baja. 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*). Dari ketiga metode tersebut, metode yang menghasilkan nilai kuat tekan beton mendekati nilai kuat tekan beton yang sebenarnya adalah menggunakan metode *destructive test*. Hal ini dikarenakan pada pengujian ini benda uji akan menerima tekanan maksimum sampai benda uji tersebut dalam keadaan runtuh. Pengujian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat *compression testing machine*.

Dalam perkembangannya, ada beberapa kasus dimana tidak mungkin melakukan pengujian kuat tekan beton di laboratorium atau beberapa kasus dimana pembacaan nilai kuat tekan beton harus dilakukan secara langsung di lapangan. Pada kasus seperti ini pengujian yang dapat digunakan adalah pengujian dengan menggunakan metode *non-destructive test*. Pengujian NDT yang sering digunakan di Indonesia adalah *hammer test*

dan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*), akan tetapi hasil dari pengujian menggunakan metode *non-destructive test* ini belum dapat mewakili kekuatan suatu struktur, sehingga diperlukan hubungan/korelasi dengan beberapa pengujian kuat tekan yang lain (Mindess et al., 2003).

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai korelasi dari hasil pengujian kuat tekan beton di laboratorium dengan menggunakan alat *compression strength machine* dengan pengujian yang bersifat tidak merusak benda uji (*non-destructive test*) yang menggunakan alat yaitu *hammer test* dan *UPV test*. 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.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton yang didapatkan dari pengujian menggunakan metode *non-destructive test* yaitu *hammer test* dan *UPV test (Ultrasonic Pulse Velocity)* belum dapat mewakili nilai kuat tekan beton yang sebenarnya. Selain itu, diperlukan nilai korelasi yang tepat untuk mengetahui hubungan antara hasil pengujian dari metode *destructive test* dengan pengujian menggunakan metode *non-destructive test*.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas, maka dalam penelitian ini didapat rumusan masalahnya adalah:

1. Bagaimana hubungan (korelasi) antara pembacaan nilai kuat tekan beton dengan menggunakan *Hammer Test*, *UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) Test* dan *Compression Test* pada benda uji beton dengan variasi mutu beton ($f'c$)?
2. Bagaimana perbedaan hasil kuat tekan antara *non-destructive test* dengan *destructive test* pada benda uji beton dengan variasi mutu beton ($f'c$)?

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Analisa menggunakan sampel silinder dan kubus dengan variasi mutu beton ($f'c$).
2. Variasi yang digunakan adalah variasi mutu beton 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa, dan 35 Mpa.

3. Sampel silinder yang diuji berjumlah 36 buah dengan 9 buah untuk setiap variasi mutu beton dan sampel kubus yang diuji berjumlah 10 buah.
4. Pengujian yang dilakukan adalah *non-destructive test* (*hammer test* dan *UPV*) dan *destructive test* (*Compression Test*)

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui hubungan/korelasi antara pembacaan nilai kuat tekan beton dengan menggunakan *Hammer Test*, *UPV* (*Ultrasonic Pulse Velocity*) dan kuat tekan (*Compression Test*) pada benda uji beton dengan variasi mutu beton ($f'c$).
2. Memperoleh data mengenai koefisien kuat tekan karakteristik beton yang diuji baik dengan menggunakan *non-destructive test* maupun *destructive test*.
3. Mendapatkan hubungan antara gaya tekan ($f'c$) dengan koefisien kuat tekan karakteristik beton dengan pengujian menggunakan dua metode tersebut.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui perbedaan hasil pengujian kuat tekan beton antara *non-destructive test* (*hammer test* dan *UPV test*) dan *destructive test* (*Compression Test*), serta hubungan (korelasi) nilai kuat tekan dengan menggunakan dua metode tersebut. Penelitian ini juga bisa menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Gambaran Umum Beton

Beton merupakan suatu campuran yang terdiri dari berbagai bahan yaitu semen portland, agregat kasar (krikil), agregat halus (pasir) dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*additive*) yang membentuk massa padat (SNI-03-2847-2002). Semen portland dan air bereaksi secara kimia membentuk pasta yang akan mengisi rongga-rongga antara butir-butir pasir dan krikil, sedangkan agregat halus dan kasar tidak mengalami proses kimia karena hanya berfungsi sebagai bahan pengisi yang diikat oleh pasta. Kuat tekan beton akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) setelah beton mengalami proses pengerasan dan perawatan selama 28 hari.

2.1.2 Kekuatan Pada Beton

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. Kuat tekan beton tergantung pada beberapa faktor yaitu:

1. FAS (faktor air semen), merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen di dalam campuran beton (w/c rasio). Salah satu fungsi FAS yaitu untuk membantu terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan beton, serta memberikan kemudahan dalam proses pembuatan beton itu sendiri (*workability*). Dalam praktek, nilai FAS diambil antara 0,4 – 0,6 dimana hubungan antara FAS dengan kuat tekan ($f'c$) dapat ditulis menurut Duff Abrams (1991) sebagai berikut.

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5FAS}} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dengan: A, B = konstanta yang tergantung dari sifat semen, agregat dan lain-lain.

2. Umur beton, dengan bertambahnya umur maka kekuatan pada beton akan bertambah (peningkatan kekuatan beton mula-mula berjalan dengan cepat, kemudian melambat dan dianggap tidak bertambah lagi setelah beton berumur 28 hari terhitung sejak beton tersebut dibuat).
3. Kepadatan (*density*), semakin tinggi kepadatan yang didapatkan pada campuran beton maka semakin tinggi nilai kuat tekan yang dapat dihasilkan dan sebaliknya. Dalam proses pemadatan beton, diusahakan mendapatkan beton yang benar-benar padat yang dimana tidak terdapat pori-pori udara didalamnya. Pemadatan dapat dilakukan dengan cara manual (menggunakan batang tulangan dengan cara menusuk-nusuk campuran beton) atau dengan cara mekanik (menggunakan alat *vibrator*).
4. Sifat agregat, sifat agregat sangat mempengaruhi mutu pada beton. Adapun sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain: kadar air, serapan air, bentuk agregat, kekasaran agregat, kadar air agregat, gradasi agregat serta kekuatan agregat.
5. Jumlah semen dan jenis semen yang digunakan, komposisi semen pada campuran beton sangat mempengaruhi kuat tekan yang dibuat. Penentuan jumlah semen dan jenis semen yang digunakan ini mengacu pada tempat dimana struktur bangunan tersebut berdiri, serta penggunaan beton pada struktur bangunan tersebut yang sejak awal perencanaan membutuhkan kekuatan yang tinggi atau normal.
6. Bahan tambah (*additive*), yang dimaksudkan bahan tambahan untuk beton (*concrete admixture*) adalah bahan atau zat kimia yang ditambahkan di dalam adukan beton pada tahap awal sewaktu beton masih segar. Tujuan penggunaan bahan tambah secara umum adalah untuk memperoleh sifat-sifat beton yang diinginkan sesuai dengan tujuan atau keperluan rencana. Dari fungsinya, bahan tambah dapat dibagi menjadi (ASTM C 494/C494M – 05a):
 - a. Tipe A : *water reducing admixtures*, untuk mengurangi penggunaan air dalam menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
 - b. Tipe B : *retarding admixtures*, untuk memperlambat proses pengerasan adukan beton.
 - c. Tipe C : *accelerating admixtures*, untuk mempercepat proses pengikatan dan penguatan adukan beton.
 - d. Tipe D : *water reducing and retarding admixtures*, berfungsi ganda untuk mengurangi penggunaan air dan memperlambat proses pengikatan dan penguatan adukan beton.

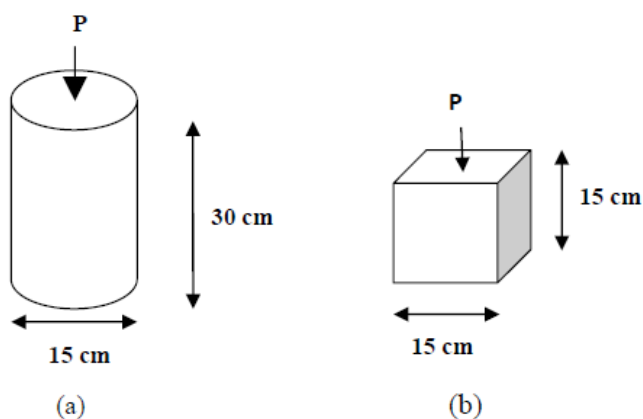
- e. Tipe E : *water reducing and accelerating admixtures*, berfungsi ganda untuk mengurangi penggunaan air dan mempercepat proses pengikatan dan pengerasan adukan beton.
- f. Tipe F : *water reducing and high range admixtures*, untuk mengurangi penggunaan air dan menghasilkan adukan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih.
- g. Tipe G : *water reducing, high range and retarding admixtures*, untuk mengurangi penggunaan air dan menghasilkan adukan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih, dan juga untuk memperlambat pengikatan beton.

2.1.3 Tegangan dan Regangan Beton

Tegangan (*stress*) “ σ ” adalah perbandingan antara gaya yang bekerja pada sebuah benda per satuan luas penampang benda tersebut. Tegangan menunjukkan kekuatan sebuah gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Apabila sebuah benda ditekan dengan gaya P, maka tegangan yang terjadi adalah tekanan tekan (*compressive stress*), sedangkan apabila benda menerima gaya tarik, maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*). Secara matematis tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut.

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

- Dengan: $A_{\text{silinder}} = 1/4 * \pi * d^2$; $A_{\text{kubus}} = r^2$
 Dimana: σ = Tegangan (MPa)
 P = Gaya yang bekerja maksimum (N)
 A = Luas penampang benda (mm^2)
 d = Diameter silinder (mm)
 r = Rusuk kubus (mm)

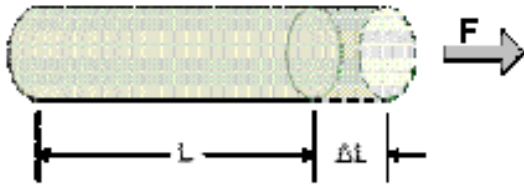


Gambar 2.1 Sampel benda uji silinder beton (a); sampel benda uji kubus beton (b)

Tegangan yang terjadi pada suatu benda mengakibatkan adanya ketegangan antara partikel-partikel yang ada pada material tersebut yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini dapat menyebabkan pergeseran struktur material regangan atau himpitan yang dapat mengakibatkan terjadinya deformasi bentuk material yaitu perubahan panjang. Perbandingan antara perubahan panjang yang terjadi dengan panjang awal pada suatu benda disebut dengan Regangan (*strain*) “ ε ”. Regangan menunjukkan seberapa jauh ukuran benda tersebut berubah bentuk. Regangan dapat dinyatakan dengan rumus yaitu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dengan : ε = Regangan
 ΔL = Perubahan panjang (m)
 L = Panjang awal (m)



Gambar 2.2 Regangan yang terjadi pada suatu benda

2.1.4 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas atau sering disebut dengan modulus young adalah hubungan linier antara tegangan dengan regangan pada suatu batang yang mengalami gaya tekan maupun tarik. Pada tingkat pembebanan tertentu, semakin besar nilai modulus ini maka nilai regangan elastis yang didapatkan semakin kecil atau dapat dikatakan material tersebut akan semakin kaku (*stiff*)

Nilai modulus elastisitas beton (E_c) tergantung dari modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil nilai E_c dengan menggunakan persamaan:

$$E_c = W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f_c'} \quad \text{untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \dots\dots\dots(2-4)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton normal} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dengan: E_c = modulus elastisitas beton (Mpa)
 W_c = berat jenis beton (kg/dm^3)
 f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

2.1.5 Rasio Poisson

Sebuah beton saat menerima beban tekan tidak hanya mengalami pengurangan tingginya saja, akan tetapi mengalami ekspansi pada arah lateral. Perbandingan antara ekspansi arah lateral dengan pendekatan longitudinal ini disebut dengan rasio poisson (*poisson's ratio*). Nilai rasio poisson ini bervariasi yaitu 0,11 untuk beton bermutu tinggi dan 0,21 untuk beton bermutu rendah dengan nilai rata-rata sebesar 0,16. Pada perkembangannya belum ditemukan adanya hubungan secara langsung antara nilai dari rasio poisson dengan nilai-nilai lain, seperti perbandingan air–semen, ukuran agregat, lama perawatan.

2.2 Bahan Penyusun Beton

Beton tersusun dari campuran air, semen, agregat kasar dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture* atau *additive*). Kualitas mutu beton tergantung pada bahan penyusunnya. Oleh sebab itu, dalam memahami dan mempelajari perilaku sebuah beton, diperlukan pengetahuan tentang karakteristik dari masing–masing komponen pembentuknya.

2.2.1 Agregat

Agregat merupakan kandungan paling tinggi dalam campuran beton dibandingkan dengan bahan penyusun lainnya. Volume agregat pada beton biasanya sekitar 70 % sampai 80% terhadap volume total campuran beton. Oleh karena itu, agregat mempunyai pengaruh dan peranan sangat penting terhadap properti sebuah beton (Mindess et al., 2003). Agregat yang digunakan pada campuran beton harus bergradasi sedemikian rupa agar seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat, dan variasi dalam perilaku (Nawy, 1998). Berdasarkan ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran kurang dari 4,75 mm (ASTM C 125–06). Agregat halus dapat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu–batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari mesin–mesin pemecah batu. Berdasarkan standar ASTM C 33, agregat halus memiliki batas bawah ukuran pasir = 0,075 mm (saringan no. 200) dan batas atas ukuran pasir = 4,76 mm (saringan no.4). Pada standar ASTM C 33/03 “*Standard Specification for Concrete Aggregates*”,

terdapat persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal. Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Gradasi Saringan Ideal Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,5 mm	100	100
4,75 mm	95 - 100	97,5
2,36 mm	80 - 100	90
1,18 mm	50 - 85	67,5
600 μm	25 - 60	42,5
300 μm	5 - 30	17,5
150 μm	0 - 10	5

Sumber: ASTM C 33/03

Menurut SK SNI 03 – 6861.1 – 2002, disebutkan mengenai persyaratan pasir atau agregat halus yang baik sebagai campuran beton adalah:

- a. Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam dan kekerasan dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
 - b. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pernah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
 - c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dan apabila pasir mengandung lumpur 5% maka pasir harus dicuci agar bebas dari lumpur.
 - d. Agregat tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan jenuh NaOH 3%.
 - e. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir alkali harus negatif.
2. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. Pada dasarnya agregat kasar atau kerikil terbentuk dari proses disintegrasi batuan alam sama halnya dengan pasir. Kerikil merupakan salah satu agregat kasar dengan jenis *natural sand*. Selain itu jenis lain dari agregat kasar adalah batu pecah atau batu kerikak yang merupakan hasil dari mesin pecah batu atau *coarse sand*.

Menurut PBI 1971 pasal 3.4, sebagai bahan untuk campuran beton, kerikil harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu:

- a. Terdiri dari butir keras dan tidak berpori.
- b. Tahan terhadap pengaruh cuaca.
- c. Tidak mudah pecah.

- d. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (diukur terhadap berat kering), bila melebihi maka agregat harus dicuci.
- e. Boleh mengandung butir pipih asal jumlah maksimumnya 20 % dari seluruh berat butir agregat.

Pada standar ASTM C 33/ 03 “*Standard Specification for Concrete Aggregates*”, terdapat persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal. Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25,00	100	100
19,00	90 -100	95
12,50	-	-
9,50	20 – 55	37,5
4,75	0 – 10	5
2,36	0 - 5	2,5

Sumber: ASTM C 33/03

2.2.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran beton yang mengeras dengan adanya air (semen hidrolis) yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat (Siti Nurlina, 2011). Semen yang biasa dipakai untuk beton dinamakan *Portland Cement* (PC), semen ini dibuat dengan cara menghaluskan silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan dicampurkan dengan bahan gips. Komponen utama penyusun semen yaitu:

1. Batuan kapur yang dimana mengandung kandungan CaO (kapur, lime).
2. Lempung yang dimana mengandung kandungan dengan komponen SiO₂ (silica), Al₂O₃ (oksida alumunia), serta Fe₂O₃ (oksida besi).

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas beton (kuat tekan beton) adalah jenis atau tipe semen yang digunakan pada campuran beton tersebut. Semen diusahakan disimpan ditempat yang kering agar mutu semen dapat dijaga dengan baik, semakin baik mutu semen maka semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Menurut ASTM C150, tipe semen dapat dibagi menjadi 5 bagian berdasarkan kebutuhan konstruksi yang diinginkan. Jenis atau tipe semen adalah:

1. Semen tipe I

Ordinary Portland Cement (OPC), merupakan semen portland jenis umum yang digunakan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus sebagaimana jenis lainnya.

2. Semen tipe II

Moderate Sulphate Cement, jenis semen untuk konstruksi biasa, dimana diinginkan perlawanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang. Jenis semen ini untuk konstruksi pada bangunan yang terletak di daerah dengan tanah berkadar sulfat rendah.

3. Semen tipe III

High Early Strength Cement, semen portland dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras). Jenis semen ini untuk struktur yang menuntut kekuatan yang tinggi dengan pengerasan beton yang cepat.

4. Semen tipe IV

Low Heat of Hydration Cement, semen portland dengan panas hidrasi rendah dengan kekuatan awal rendah. Jenis ini khusus untuk struktur dengan penggunaan panas hidrasi serendah-rendahnya.

5. Semen tipe V

High Sulphate Resistance Cement, semen portland yang memiliki daya tahan yang tinggi terhadap sulfat. Semen ini terutama ditujukan untuk memberikan perlindungan terhadap bahaya korosi akibat pengaruh air laut, air danau, air tambang, maupun pengarug garam sulfat yang terdapat dalam air tanah. Cocok untuk bangunan-bangunan yang terkena sulfat dengan kadar alkali yang tinggi.

2.2.3 Air

Air berperan penting pada proses pembuatan beton baik sebagai bahan pencampur ataupun pengaduk antara agregat dan semen. Air yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak beton dan tulangan. Dalam hal ini sebaiknya digunakan air tawar bersih yang dapat diminum (Siti Nurlina, 2011)

Sesuai dengan persyaratan SNI 03 – 6817 – 2002, air yang digunakan dalam proses pencampuran beton sebagai berikut.

1. Harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang merusak, yang mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton dan tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam alumunium, termasuk air bekas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi, yaitu:
 - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

2.2.4 Bahan Tambahan (*Admixture*)

Bahan tambahan adalah bahan atau zat kimia yang ditambahkan di dalam adukan beton pada tahap awal sewaktu beton masih segar. Tujuan penggunaan bahan tambah secara umum adalah untuk memperoleh sifat-sifat beton yang diinginkan sesuai dengan tujuan atau keperluan perencanaan (Siti Nurlina, 2011). Sifat-sifat yang dapat diperbaiki adalah:

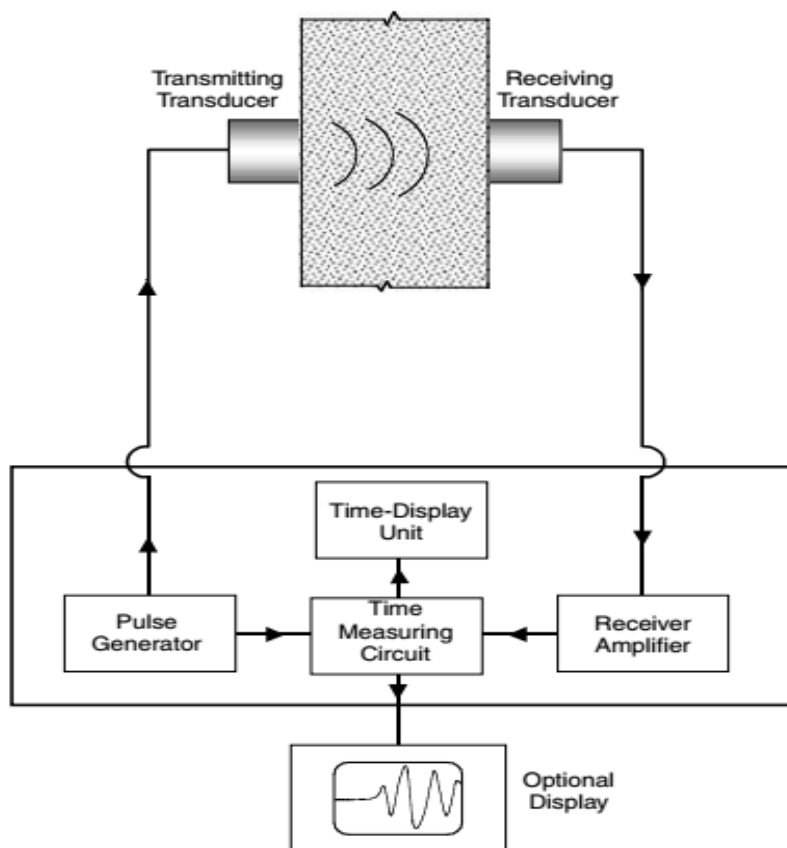
1. Memperbaiki kelacakan beton segar
2. Mengatur faktor air semen pada beton segar
3. Mengurangi penggunaan semen
4. Mencegah terjadinya *segresi* dan *bleeding*
5. Mengatur waktu pengikat awal adukan beton (*initial setting time*)
6. Meningkatkan kuat tekan beton keras
7. Meningkatkan sifat kedap air pada beton keras
8. Meningkatkan sifat tahan lama pada beton keras (lebih awet), terutama pada lingkungan agresif dan kebakaran

2.3 Metode *Non Destructive Test*

2.3.1 UPV Test (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Ultrasonic Pulse Velocity merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kecepatan hantaran dari gelombang (*pulse velocity*) ultrasonik yang melewati suatu beton. Seperti pada Gambar 2.3, alat pengujian UPV terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

1. Generator gelombang (*pulse generator*) yang berisi sirkuit untuk menghasilkan gelombang listrik yang akan dikirimkan oleh transmitter,
2. Sepasang transduser, yaitu transduser pengirim (*transmitting transducer*) yang mengubah gelombang listrik menjadi gelombang ultrasonik dan kemudian merambatkannya, serta transduser penerima (*receiving transducer*) yang menerima gelombang dari transmitter, dan
3. Pengukur waktu (*time measuring circuit*), yang berfungsi mencatat waktu transmisi gelombang yang melalui beton.
4. Osiloskop, yaitu berupa layar tambahan untuk memantau perilaku osilasi gelombang yang diterima oleh *receiver*.



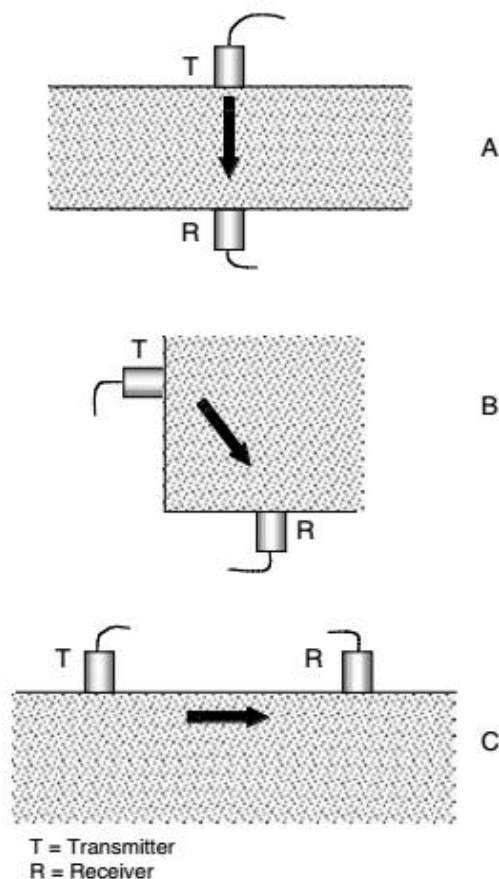
Gambar 2.3 Diagram skematik dari instrumen UPV
 Sumber: V.M Malhotra & N.J Carino (2004)

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 2.4 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 2.4 Konfigurasi pengujian UPV. (A) *Direct method*, (B) *semi-direct method*, dan (C) *indirect method*.

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

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 dan geser. 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. Waktu tempuh (T) yang dibutuhkan gelombang untuk merambat pada beton sepanjang lintasan (L) dapat diukur, sehingga cepat rambat gelombang dapat dicari dengan rumus:

$$V = L / T \dots\dots\dots(2-6)$$

Dengan:

V = Kecepatan gelombang longitudinal (m/detik)

L = Panjang lintasan beton yang dilewati (m)

T = Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik (detik)

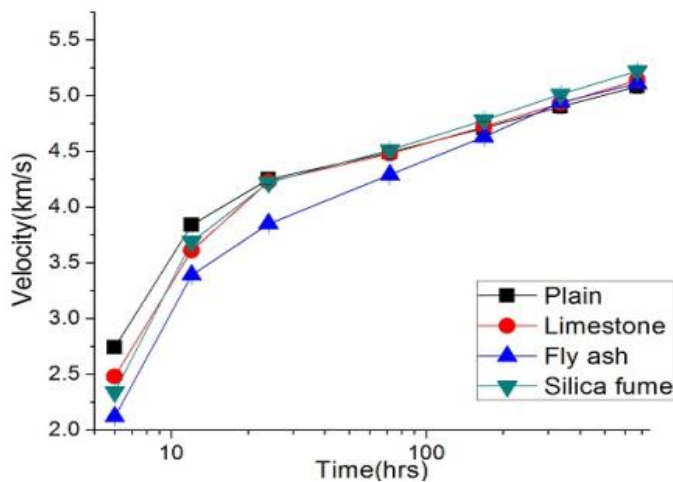
Dari hasil perhitungan kecepatan rambat, secara praktis dapat ditentukan kualitas dari beton tersebut seperti pada Tabel 2.3. Hasil perhitungan kecepatan gelombang longitudinal tersebut juga dapat digunakan untuk menginterpretasikan kualitas dari beton, antara lain:

1. Homogenitas beton
2. Mendeteksi keretakan
3. Menentukan modulus elastis dinamis dan rasio poisson dinamis
4. Mendeteksi rongga
5. Memperkirakan modulus elastisitas beton
6. Memperkirakan kuat tekan beton

Tabel 2.3
Kualifikasi Kualitas 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

Sumber: *International Atomic Energy Agency* (2002)



Gambar 2.5 Perubahan cepat rambat pada beton *plain* dan beton dengan *admixture* terhadap umur beton.

Sumber: B. Sanish & Santhanam (2012)

2.3.1.1 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kuat Tekan Beton

Fungsi utama dari uji UPV yaitu untuk mengetahui kualitas beton berdasarkan cepat rambat gelombang yang dipengaruhi oleh kerapatan beton. Hasil uji UPV tidak memiliki hubungan dengan kuat tekan dari beton secara langsung, tetapi karena kerapatan berbanding lurus dengan kuat tekan maka dapat dicari suatu korelasi antara cepat rambat gelombang dengan kuat tekan beton. B. Sanish & Santhanam (2012) telah meneliti cepat rambat gelombang pada sampel beton dengan umur berbeda-beda hingga umur 28 hari dengan hasil seperti pada Gambar 2.5. Dari penelitian tersebut dapat dibuktikan bahwa penambahan cepat rambat terhadap umur beton lebih tinggi pada umur awal beton, dan grafik akan semakin landai pada umur akhir beton, seperti grafik hubungan kuat tekan dengan umur beton.

Tabel 2.4
Hubungan Kuat Tekan Beton dan UPV

Persamaan	R ²	Sumber
$S = 1.146\exp(0.77V_p)$	0,8	Turgut (2004)
$S = 1.19\exp(0.715V_p)$	0,59	Nashn't et al. (2005)
$S = 8.4 * 10^{-9}(V_p * 10^3)^{2.5921}$	0,42	Kheder (1999)A
$S = 1.2 * 10^{-5}(V_p * 10^3)^{1.7447}$	0,41	Kheder (1999)B
$S = \exp[(-3.3 \pm 1.8) + (0.0014 \pm 0.0004) (V_p * 10^3)]$	0,48	Rio et al. (2004)

Sumber: Trtnik et al (2007)

Selain itu dalam studinya, Trtnik et al (2007) telah mengumpulkan beberapa rumus hubungan antara kuat tekan beton, S (MPa) dengan UPV, V_p (km/s) dari beberapa percobaan terdahulu seperti pada Tabel 2.4. Evaluasi dari kuat tekan beton biasanya didasarkan pada hubungan empiris terhadap uji *non-destructive* tersebut.

2.3.2 Hammer Test (Rebound Hammer)

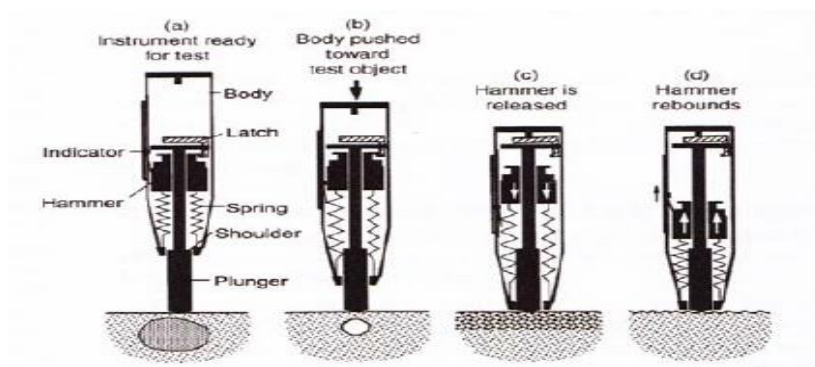
2.3.2.1 Rebound Hammer Manual

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*.

Skema alur ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema ilustrasi pengujian *rebound hammer*

Sumber: ACI Committee 228 Report

Nilai *rebound* yang didapatkan hanya dipengaruhi oleh kekerasan bidang beton yang ada di dekat *plunger*. Apabila *plunger* diletakkan di atas bidang permukaan beton yang keras maka pembacaan nilai *rebound* yang dihasilkan akan tinggi, sedangkan apabila *plunger* diletakkan di atas bidang permukaan beton yang lunak dan memiliki rongga udara yang besar maka pembacaan nilai *rebound* yang dihasilkan akan rendah. Dalam mengatasi hal tersebut, maka disyaratkan pengambilan nilai *rebound* tersebut dilakukan sebanyak 10 kali dengan jarak pengambilan nilai sejauh 2,5 cm untuk tiap tembakan. Secara umum alat ini berguna untuk memeriksa keseragaman kualitas beton dan mendapatkan perkiraan kuat tekan beton pada suatu struktur bangunan. Kelebihan dari alat *hammer test* ini adalah biaya pengujian yang lebih murah dari pada pengujian kuat tekan beton, pengukuran dapat dilakukan dengan cepat dan praktis (mudah digunakan) dan alat yang tidak merusak benda ujinya. Sedangkan untuk kekurangannya adalah hanya memberikan informasi tentang karakteristik beton pada permukaannya saja dan hasil dari pengujian ini sangat dipengaruhi oleh kerapatan permukaan, sifat dan jenis agregat yang digunakan, kelembaban beton, derajat karbonisasi dan umur beton, sehingga perlu diingat bahwa betn yang akan diuji haruslah dari jenis dan kondisi yang sama.

2.3.2.2 *Rebound Hammer Digital*

Dengan perkembangan teknologi saat ini, alat *rebound hammer manual* dikembangkan menjadi alat *rebound hammer digital*. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penguji dalam mengolah hasil pembacaan nilai *rebound* agar lebih praktis dan efisien. Secara garis besar sistem kerja dari alat *rebound hammer digital* ini hampir sama dengan alat *rebound hammer manual*, akan tetapi alat *rebound hammer digital* ini memiliki beberapa kelebihan yaitu:

1. Dalam menentukan hasil pembacaan, alat ini dapat mengkonversi nilai *rebound* secara langsung (otomatis) sesuai dengan satuan yang diinginkan contohnya kg/cm^2 , N/mm^2 ataupun psi.
2. *Hammer digital* tidak lagi menggunakan sistem massa, oleh sebab itu alat ini tidak memerlukan faktor koreksi terhadap arah tembakan.
3. Dapat memilih beberapa option menu yang dapat mempengaruhi hasil pengujian seperti faktor bentuk dan kedalaman karbonasi.
4. Alat dapat menyimpan dan merekam data penembakan dalam jumlah yang banyak (± 1000 pembacaan) dalam *memory hammer* serta data tersebut dapat dimasukkan ke dalam komputer agar dapat diolah kembali sesuai dengan keinginan penguji.
5. Penembakan dapat dilakukan secara *continue* tanpa jeda pada satu titik penembakan (misal: sepuluh pembacaan), setelah itu hasil yang akan didapatkan adalah nilai rata – rata (mean) atau nilai tengah (median) yang dapat dipilih salah satu sesuai dengan keinginan penguji.



Gambar 2.7 Contoh alat *hammer manual* dan *digital* dari proceq

2.4 Metode *Destructive Test*

2.4.1 Uji Kuat Tekan (*Compression Test*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton persatuan luas yang sering disebut dengan kuat tekan beton. Pengujian yang menggunakan alat uji tekan ini dilakukan di dalam laboratorium yang dimana benda uji akan dibebani dengan gaya tekan secara maksimum hingga benda uji tersebut dalam kondisi hancur atau rusak. Menurut SNI 03 – 1974 – 1990, dalam proses pengujian alat-alat yang digunakan antara lain:

1. Alat uji tekan beton (*compression testing machine*) dengan kapasitas mesin sesuai dengan kebutuhan
2. Cetakan benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan berbentuk kubus yang berukuran 15 x 15 x 15 cm

3. Alat pemadat beton baik berbentuk tongkat baja ataupun dengan alat *vibrator*
4. Alat timbangan
5. Alat pengaduk semen (mixer/molen)
6. Alat pelapis beton (*capping*)
7. Alat uji slump
8. Alat pemeriksa agregat beton
9. Peralatan tambahan seperti sekop, ember, talam, sendok

Dalam proses perencanaan *mix design*, volume campuran beton yang dipersiapkan harus 10% lebih banyak dari volume kebutuhan yang direncanakan. Hal ini dilakukan untuk menutupi kekurangan akan campuran beton yang dapat terjadi dalam proses pembuatan benda uji. Setelah itu dilakukan proses pengadukan campuran beton yang dilakukan dengan menggunakan alat mesin pengaduk semen (*mixer/molen*) ataupun dengan cara manual.

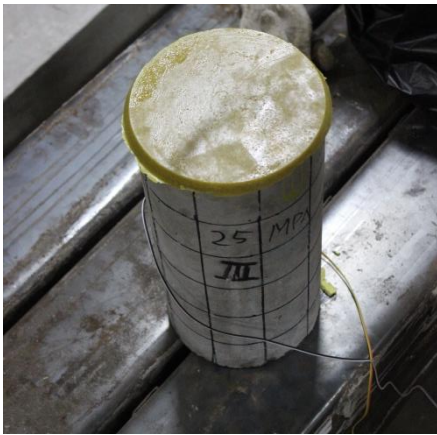
Proses pembuatan, pemerataan dan pematangan benda uji dilakukan dengan memperhatikan hal-hal di bawah ini yaitu:

1. Dalam proses pencetakan benda uji, adukan beton dituang dalam 3 lapis yang berbeda, dimana tiap lapis akan dipadatkan dengan cara menusuk adukan beton dengan menggunakan tongkat baja secara merata sebanyak 25 kali. Pada pemadatan lapisan pertama, hal yang harus diperhatikan adalah tongkat yang digunakan untuk proses pemadatan tidak boleh mengenai dasar cetakan. Setelah itu pada lapisan kedua dan ketiga hal yang harus diperhatikan adalah tongkat baja yang digunakan untuk pemadatan harus masuk $\pm 25,4$ mm kedalam lapisan dibawahnya.
2. Proses pemerataan benda uji dilakukan setelah proses pemadatan telah selesai. Hal yang dilakukan adalah mengetuk sisi cetakan menggunakan palu karet secara perlahan yang bertujuan untuk meratakan adukan beton dan menutup rongga-rongga bekas tusukan. Setelah itu permukaan beton ratakan dan ditutup dengan menggunakan bahan kedap air serta anti karat, kemudian benda uji beserta cetakannya diletakkan ditempat yang bebas dari getaran dan didiamkan selama 24 jam agar beton dapat mengeras dengan baik tanpa ada gangguan apapun.
3. Setelah beton mengeras selama 24 jam, cetakan pada beton dibuka dan benda uji dikeluarkan. Setelah itu hal yang dilakukan adalah proses pematangan benda uji dengan melakukan perendaman benda uji (*curing*), yang dimana benda uji akan direndam ke dalam bak berisi air dengan temperatur $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Cara lain yang dapat dilakukan untuk pematangan benda uji adalah dengan cara menyelimuti benda uji

menggunakan karung goni yang basah. Proses pematangan (*curing*) ini dilakukan dalam waktu yang ditentukan oleh perencana serta disesuaikan dengan persyaratan yang ada agar mutu beton dalam pelaksana dapat terkontrol dengan baik.

Setelah proses pematangan dilakukan proses persiapan benda uji yang dilakukan dengan hal-hal di bawah ini yaitu:

1. Benda uji dikeluarkan dari bak *curing*, kotoran-kotoran yang menempel pada benda uji di bersikan menggunakan kain lembab.
2. Benda uji ditimbang berat dan diukur dimensinya.
3. Setelah ditimbang dan diukur dimensinya, benda uji diberikan lapisan *capping* (mortar belerang) pada bagian atas dan bawah permukaan benda uji.
4. Setelah selesai proses *capping* benda uji siap untuk diuji.



Gambar 2.8 Contoh benda uji yang telah melalui proses *capping*

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.



Gambar 2.9 Contoh proses uji kuat tekan beton

Dalam menghitung kuat tekan beton, hal yang dilakukan adalah membagi beban maksimum yang tercatat dengan luas permukaan benda uji yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dengan: f_c = Kuat tekan beton (Mpa)
 P = Beban maksimum (N)
 A = Kuas penampang benda uji (mm^2)

Berdasarkan SNI 03 – 1974 - 1990, Untuk menentukan hasil kuat tekan beton menggunakan *compression test* terdapat beberapa hal khusus yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Dalam proses pencetakan benda uji yang berbentuk kubus berukuran sisi 20 x 20 x 20 cm, adukan beton dituang dalam 2 lapis yang berbeda, yang dimana tiap lapis dipadatkan dengan cara ditusuk sebanyak 29 kali menggunakan tongkat pemadat dengan ukuran diameter sebesar 16 mm dan panjangnya 600 mm.
2. Dalam proses pencetakan benda uji yang berbentuk kubus berukuran sisi 15 x 15 x 15 cm, adukan beton dituang dalam 2 lapis yang berbeda, yang dimana tiap lapis dipadatkan dengan cara ditusuk sebanyak 32 kali menggunakan tongkat pemadat dengan ukuran diameter sebesar 10 mm dan panjangnya 300 mm.
3. Benda uji yang berbentuk kubus tidak perlu melalui proses *capping* (pelapisan menggunakan mortar belerang).
4. Terdapat konversi kuat tekan beton terhadap bentuk benda uji (misalnya: dari bentuk kubus ke bentuk silinder). Berikut daftar konversi kuat tekan beton terhadap bentuk benda uji:

Tabel 2.5

Daftar Konversi Kuat Tekan Beton Dari Bentuk Kubus Ke Bentuk Silinder

Bentuk benda uji	Perbandingan
Kubus : 15 cm x 15 cm x 15 cm	1,0
: 20 cm x 20 cm x 20 cm *)	0,95
Silinder : 15 cm x 30 cm	0,83

(*) 15 cm = diameter silinder

20 cm = tinggi silinder

5. Kuat tekan beton biasanya diukur pada keadaan beton yang berumur 3 hari, 7 hari dan 28 hari.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dimulai pada bulan Februari 2017 sampai selesai.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan untuk mencapai tujuan penelitian, meliputi:

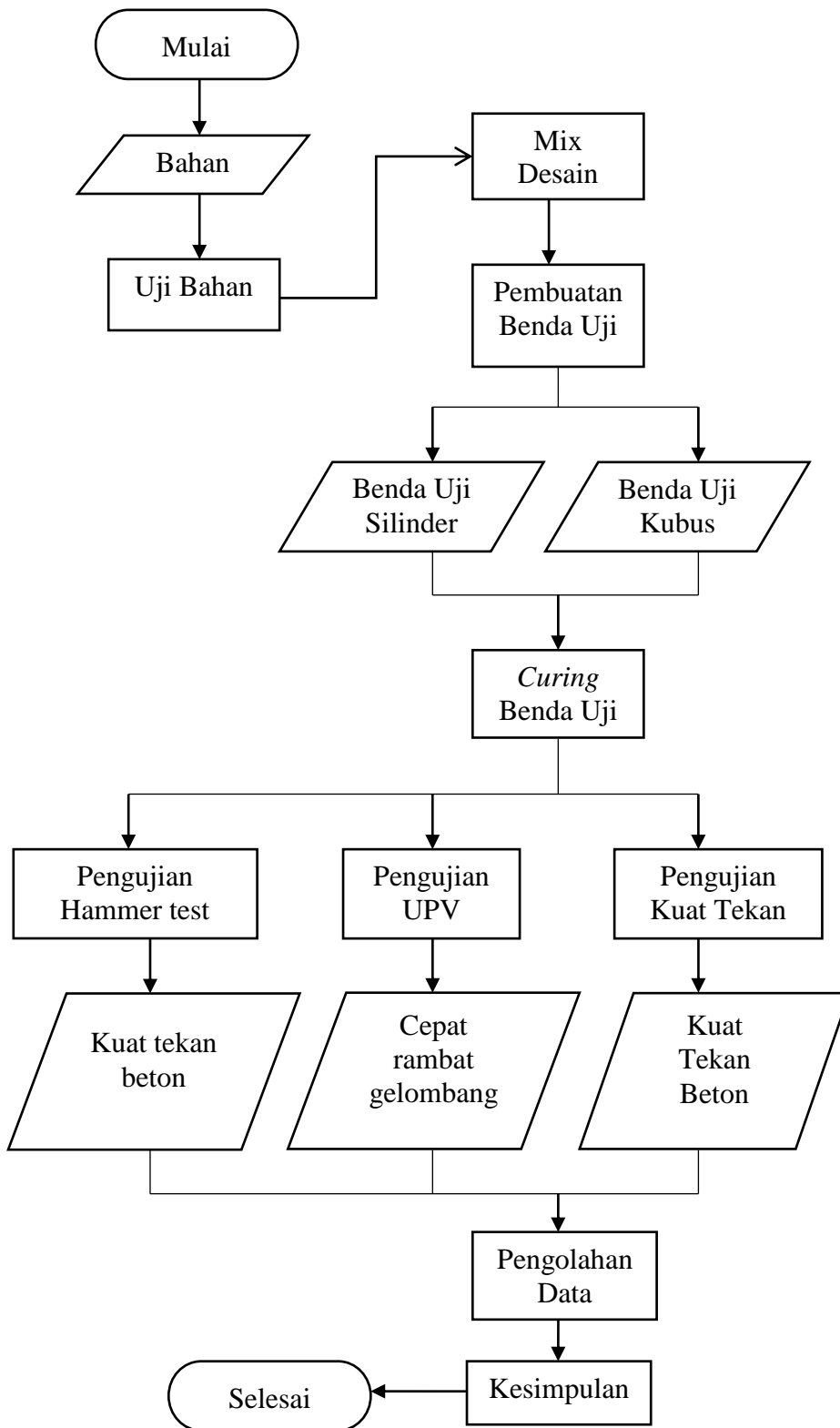
1. Pozzolan portland cement
2. Agregat kasar
3. Agregat halus
4. Air

3.3 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah:

1. Saringan
2. Timbangan
3. Mesin pengaduk beton
4. Cetakan benda uji
5. Alat *hammer test*
6. Alat *UPV test*
7. Alat uji tekan
8. Alat bantu lainnya

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu benda uji silinder dan benda uji kubus. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm. Masing masing benda jenis benda uji diberikan variasi pada mutu kuat tekan betonnya. Benda uji ini digunakan untuk pengujian kuat tekan, pengujian UPV dan pengujian dengan *Hammer test*. Jumlah benda uji silinder adalah 36 buah dengan jumlah tiap variasi adalah 9 buah, serta benda uji kubus sejumlah 10 buah. Rincian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1
Rancangan Penelitian Beton

Benda Uji	Variasi Kuat Tekan Beton			
	20 Mpa	25 Mpa	30 Mpa	35 Mpa
Silinder	9	9	9	9
Kubus	1	3	3	3

3.6 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang diukur antara lain sebagai berikut.

1. Variabel bebas atau *independent variable*, merupakan variabel yang ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah variasi mutu beton dari benda uji.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah cepat rambat gelombang dari hasil pengujian UPV dan kuat tekan beton dari hasil pengujian *hammer test*

3.7 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari kajian pustaka, maka dapat ditarik beberapa hipotesis penelitian, yaitu:

1. Adanya perbedaan hasil pengukuran uji hammer dan UPV dibandingkan dengan uji kuat tekan beton.
2. Adanya nilai koefisien kuat tekan karakteristik beton yang akan diuji baik dengan menggunakan *non-destructive test* maupun *destructive test*.
3. Adanya hubungan (korelasi) antara gaya tekan ($f'c$) dengan koefisien kuat tekan karakteristik beton dengan pengujian menggunakan dua metode tersebut.

3.8 Prosedur Penelitian

3.8.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: Analisa butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

3.8.1.1 Pengujian Agregat Halus

1. Pengujian gradasi

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a. Timbangan dan neraca yang memiliki ketelitian alat sebesar 0,2% terhadap benda uji.
- b. Satu set saringan: 4,75 mm (No.4); 2,36 mm (No.8); 1,18 mm (No.16); 0,6 mm (No.30); 0,3 mm (No.50); 0,15 mm (No.100); 0,075 mm (No. 200); pan.
- c. Talam besi untuk wadah bahan.

2. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a. Timbangan berkapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian alat sebesar 0,1 gram.
- b. Piknometer berkapasitas 500 gram.
- c. Kerucut terpancung dengan diameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm, dan tinggi (25 ± 3) mm.
- d. Saringan no. 200 (0,075 mm).
- e. Oven Pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.

3. Pengujian kadar air

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a. Talam besi untuk wadah bahan.
- b. Oven Pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- c. Timbangan berkapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian alat 0,1 gram.

3.8.1.2 Pengujian Agregat Kasar

1. Pengujian gradasi

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a. Timbangan serta neraca dengan memiliki ketelitian 0,2% terhadap benda uji.

- b. Satu set saringan: 25,4 mm (1"); 19,10 mm (3/4"); 12,70 mm (1/2"); 9,52 mm (3/8"); 4,75 mm (4"); pan.
 - c. Talam besi untuk wadah bahan.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan
- Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:
- a. Keranjang kawat berkapasitas ± 5 kg, yang berukuran 3,35 mm (No.6) atau 2,36 mm (No.8).
 - b. Tempat pemeriksaan air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan.
 - c. Timbangan dengan ketelitian 1% terhadap benda uji dan berkapasitas ± 5 kg yang dilengkapi alat penggantung keranjang.
 - d. Oven pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - e. Saringan no. 4 (4,75 mm).
3. Pengujian kadar air
- Alat yang digunakan adalah sebagai berikut:
- a. Talam besi untuk wadah bahan.
 - b. Oven Pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - c. Timbangan berkapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian alat sebesar 0,1 gram.

3.8.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai mix desain.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kubus.

3.8.3 Perawatan Benda Uji

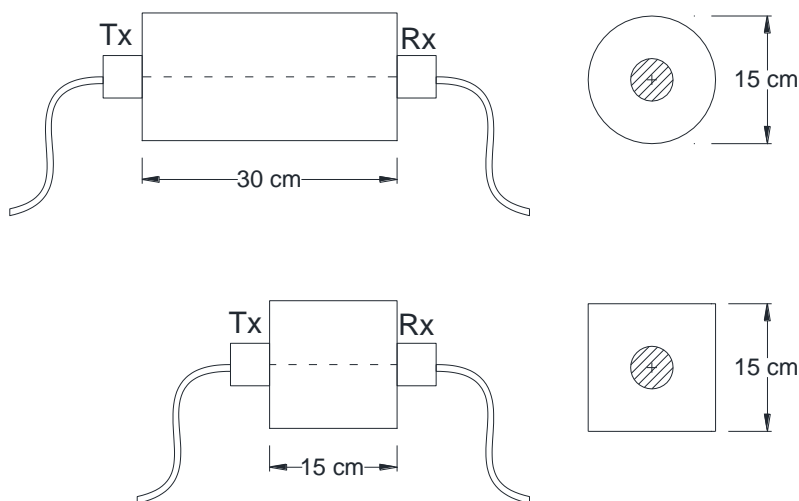
Setelah 24 jam cetakan benda uji silinder dan kubus dibuka dan dilakukan perawatan yang bertujuan agar semen terhidrasi dengan baik dan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji akan direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Waktu perawatan benda uji disamakan setiap variasi benda uji sesuai dengan waktu pengecorannya. Pada penelitian ini perawatan beton dihentikan 4 minggu (28 hari) setelah tanggal pengecoran.

3.8.4 Pengujian UPV

Pada penelitian ini pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan alat Pundit PL-200. Pengujian dilakukan pada benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Pengambilan data dilakukan dengan metode *direct* yaitu dengan menempatkan *transducer* pada titik tengah permukaan atas dan bawah dari benda uji silinder dan kubus seperti terlihat pada Gambar 3.2. Pada penelitian menggunakan *transducer* standar dengan frekuensi 54 kHz. Hasil yang didapatkan dari pengujian UPV berupa cepat rambat gelombang.



Gambar 3.2 Skema titik pengujian UPV pada benda uji: (a) silinder dan (b) kubus

Beberapa hal yang dilakukan dalam prosedur pengujian UPV antara lain:

1. Meratakan dan membersihkan permukaan beton.
2. Pada penelitian ini digunakan transduser standar dengan frekuensi 54 kHz.
3. Mengkalibrasi alat uji UPV dengan tujuan agar pembacaan waktu tempuh pada *transmitter* dan *receiver* sama, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Kedua transduser ditempatkan pada kedua sisi *calibration rod* yang telah disediakan dengan metode *direct*.



Gambar 3.3 Proses kalibrasi awal alat uji UPV

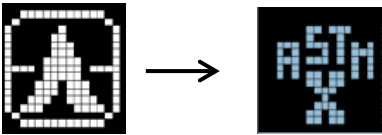
4. Menentukan jarak *transmitter* dan *receiver* pada layar Pundit PL-200.
5. Memberikan gel (*couplant*) pada permukaan kontak *transmitter* dan *receiver* setiap sebelum pengujian dimulai.
6. Pengujian dilakukan pada titik yang telah ditentukan sebelumnya di setiap benda uji seperti pada Gambar 3.3.
7. Pengujian UPV telah selesai dan didapatkan keluaran berupa bentuk gelombang ultrasonik beserta waktu transmisi dan cepat rambatnya.

3.8.5 Uji *Hammer Test Digital*

Setelah mendapat data-data dari pengujian UPV, kemudian dilakukan pengujian *hammer test*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan / mutu beton silinder dan kubus. Sebelum dilakukan pengujian, alat akan diatur sedemikian rupa agar mendapatkan nilai kuat tekan yang diinginkan. Berikut pengaturan alat yang digunakan pada pengujian *hammer test* pada penelitian ini:

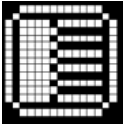
Tabel 3.2

Pengaturan Alat Pada Pengujian *Hammer Test*

No	<i>Silver Schmidt Display</i>	Penjelasan
1	 <p>Statistics → ASTM C805</p>	<p>Pada <i>display statistics</i> dipilih ASTM C805, hal ini dikarenakan pada penelitian ini mengacu pada <i>Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete</i> (ASTM C805) yaitu metode pengujian angka pantul beton. Metode ASTM memiliki suatu standar deviasi dimana penyimpangan data yang diambil maksimal 2 dari 10 kali pengambilan data.</p>

Sumber: *Operating Instructions SilverSchmidt & Hammerlink Proceq*

Tabel 3.2
Pengaturan Alat Pada Pengujian *Hammer Test*

No	<i>Silver Schmidt Display</i>	Penjelasan
2	 Review List	<i>Display review list</i> berguna untuk menampilkan hasil pengujian setelah dilakukannya 10 kali penembakan pada benda uji.
3	 Conversion curve → Low 10%	Pada <i>display conversion curve</i> dipilih ikon <i>low 10%</i> , konversi kurva ditujukan untuk memberikan batas keamanan untuk memperhitungkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi pengujian.
4	 Unit → K (Kg/cm ²)	Pada <i>display unit</i> dipilih ikon K, hal ini dikarenakan pada penelitian ini hasil yang ingin didapatkan berupa satuan K (kg/cm ²).
5	 Form Factor → Standard Cube	Pada <i>display form factor</i> dipilih ikon <i>Standard Cube</i> , hal ini dikarenakan pada penelitian ini akan menggunakan faktor bentuk berupa kubus..
6	 Carbonation correction → Digunakan 1	Pada <i>display carbonation correction</i> digunakan 1, karbonasi akan membentuk lapisan yang mengeras di permukaan dan seiring dengan peningkatan lapisan ini, dapat menyebabkan estimasi yang berlebihan (mungkin setinggi 50%) dari kekuatan tekan beton.

Sumber: *Operating Instructions SilverSchmidt & Hammerlink Proceq*

Teknis pengujiannya adalah:

1. Sentuhlah ujung peluncur pada permukaan titik uji dengan posisi tegak lurus bidang uji.
2. Secara perlahan tekankan palu beton dengan arah tegak lurus bidang uji sampai terjadi pukulan pada titik uji.
3. Lakukan 10 kali pukulan pada satu lokasi bidang uji dengan jarak terdekat antara titik-titik pukulan 25 mm.
4. Catat nilai kuat tekan yang terbaca pada alat.

3.8.6 Pengujian Kuat Tekan

Setelah mendapat data-data dari pengujian UPV dan *hammer test*, kemudian dilakukan pengujian menggunakan uji kuat tekan beton. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah:

1. Sebelum pengujian benda uji ditimbang terlebih dahulu yang bertujuan untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
3. Letakkan benda uji pada alat uji kuat tekan beton secara sentris.
4. Alat uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

3.9 Metode Analisa

3.9.1 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.

Tabel 3.3

Form Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder dan Kubus

Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Kode Benda uji	Dimensi benda uji silinder		Dimensi benda uji kubus	f'c (MPa)
		d (mm)	H (mm)	B (mm)	

Tabel 3.4
Form Pengujian *UPV Test* dan *Hammer Test*

Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Kode Benda Uji	Hasil Pengujian		
		UPV	Hammer test	
		(m/s)	K	Mpa

3.9.2 Pengolahan Data

3.9.2.1 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

3.9.2.2 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. Analisa 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.

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

Dimana: Y = Variabel tak bebas (*dependent*)

X = Variabel bebas tunggal (*independent*)

a = Konstanta regresi

b = Koefisien regresi

Pada persamaan regresi linier sederhana, nilai dari variabel bebas (*independent*) dan variabel tak bebas (*dependent*) saling mempengaruhi satu sama lain. Semakin besar nilai variabel bebas (*independent*) dan nilai koefisien regresi (nilai b) maka semakin besar nilai yang didapatkan dari variabel tak bebas (*dependent*) dengan acuan konstanta regresi (nilai a) tetap dan sebaliknya. Nilai positif ataupun negatif dari konstanta dan koefisien regresi juga dapat mempengaruhi nilai dari variabel tak bebas (*dependent*).

2. Analisa regresi linier berganda

Analisa regresi linier berganda digunakan untuk memperkirakan perubahan nilai variabel tertentu apabila variabel lain berubah. Dikatakan regresi berganda, karena jumlah variabel bebas (*independent*) sebagai prediktor lebih dari satu, maka digunakan persamaan regresi linier berganda dengan rumus, sebagai berikut :

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

Dimana:

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

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

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

Perhitungan nilai dari koefisien $\alpha_0, \dots, \alpha_k$ ini didapatkan dengan persamaan:

$$\sum y_i = \alpha_0 n + \alpha_1 \sum x_{1i} + \alpha_2 \sum x_{2i} + \dots + \alpha_k \sum x_{ki} \dots\dots\dots (3-4)$$

$$\sum x_{1i} y_i = \alpha_0 \sum x_{1i} + \alpha_1 (\sum x_{1i})^2 + \alpha_2 \sum x_{1i} x_{2i} + \dots + \alpha_k \sum x_{1i} x_{ki} \dots\dots\dots (3-5)$$

$$\sum x_{2i} y_i = \alpha_0 \sum x_{2i} + \alpha_1 \sum x_{1i} x_{2i} + \alpha_2 (\sum x_{2i})^2 + \dots + \alpha_k \sum x_{2i} x_{ki} \dots\dots\dots (3-6)$$

$$\sum x_{ki} y_i = \alpha_0 \sum x_{ki} + \alpha_1 \sum x_{1i} x_{ki} + \alpha_2 \sum x_{2i} x_{ki} + \dots + \alpha_k \sum (x_{ki})^2 \dots\dots\dots (3-7)$$

Beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam regresi ganda adalah (Sufren, 2014):

- Tidak mengalami multikolinearitas, Multikolinearitas adalah kondisi terdapatnya hubungan linier atau korelasi yang tinggi antara masing-masing variabel independen.
- Tidak mengalami autokorelasi, autokorelasi yaitu korelasi yang terjadi antara residual pada satu pengamatan dengan pengamatan lain pada model regresi.
- Tidak mengalami heteroskedastisitas, heteroskedastisitas adalah adanya ketidaksamaan varian dari residual untuk semua pengamatan pada model regresi
- Antara variabel bebas dengan variabel terikat mempunyai hubungan secara teoritis, dan melalui perhitungan korelasi sederhana dapat diuji signifikansi hubungan tertentu. Jika ternyata antara variabel bebas dengan variabel terikat

tidak mempunyai hubungan sederhana yang signifikan maka korelasi ganda pun tidak akan signifikan.

- e. Persamaan regresi harus linier. Mengingat pengujian linieritas untuk regresi ganda sukar dilakukan maka sejauh ini linieritas untuk regresi ganda hanya diasumsikan. Oleh karena itu, perlu tindakan hati-hati dalam melakukan deskripsi atas hasil analisisnya karena semua perhitungan didasarkan pada asumsi, dan tidak dilakukan pengujian tentang linieritas.

3.9.2.3 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. Nilai korelasi dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$R^2 = \frac{JK_{(reg)}}{\sum Y^2} \dots\dots\dots (3-8)$$

Dimana:

R^2 = Koefisien korelasi ganda

$JK_{(reg)}$ = Jumlah kuadrat regresi dalam bentuk deviasi

$\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat total korelasi dalam bentuk deviasi

Koefisien korelasi (R) yang dihasilkan dari persamaan di atas akan memiliki nilai diantara $-1 \leq R \leq 1$ dengan maksud sebagai berikut.

1. Bila $R = 1$ maka hubungan antar variabel dikatakan positif sempurna.
2. Bila $R = -1$ maka hubungan antar variabel dikatakan negatif sempurna.
3. Bila $R = 0$ maka tidak ada hubungan antar variabel.
4. Bila R bernilai diantara -1 dan 1 , maka tanda negatif (-) untuk korelasi negatif (tak langsung) dan tanda positif (+) untuk korelasi positif (langsung).

3.9.2.4 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.

Kedua aplikasi ini dipilih mengingat program ini sangat populer dan paling banyak digunakan dalam menganalisa data statistik maupun numerik untuk berbagai bidang seperti riset pasar, pengendalian dan perbaikan mutu, riset ilmu-ilmu sosial, riset ilmu-ilmu sains dan lain sebagainya.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Bahan

4.1.1 Semen

Pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen portland tipe I yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik kemasan 40 kg. Semen ini dianggap telah memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai bahan pengikat pada campuran beton sehingga tidak perlu dilakukan analisa. Sebelum penelitian, kemasan dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel, serta tidak terjadi penggumpalan pada semen di dalamnya.

4.1.2 Agregat

Pada penelitian ini agregat yang digunakan adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Agregat diperoleh dari daerah Malang dengan melalui tahap pengujian sebelum digunakan sebagai benda uji. Tahap pengujian meliputi gradasi, kadar air, dan berat jenis.

4.1.3 Air

Pada penelitian ini air yang digunakan adalah air bersih dari PDAM Kota Malang yang diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Air ini dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton sehingga tidak dilakukan analisa sebelumnya.

4.2 Analisa Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji pada akhirnya. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

4.2.1 Saringan

Penelitian ini menggunakan saringan No. 1,5” hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

4.2.2 Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton serta benda uji silinder dan kubus. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

4.2.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton hingga menjadi campuran yang homogen.

4.2.4 Cetakan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan cetakan/bekisting untuk benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm. Cetakan terbuat dari baja yang dapat dibongkar pasang.

4.2.5 Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

4.2.6 UPV Test

Penelitian ini menggunakan alat UPV dengan merk *Proceq tipe PL-200PE*. Alat UPV ini berfungsi untuk mengetahui waktu transmisi dan cepat rambat gelombang ultrasonik melalui benda uji beton.

4.2.7 Hammer Test

Penelitian ini menggunakan alat UPV dengan merk *Proceq*, ini berfungsi untuk menentukan nilai *rebound* yang dapat menunjukkan kuat tekan beton setelah di konversi melalui grafik atau tabel yang ada pada hammer beton sesuai sudut penembakan.

4.2.8 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain ember, alat pengaduk, karung goni, pelumas, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

4.3 Hasil Pengujian Bahan Dasar

4.3.1 Pemeriksaan Agregat Halus

1. Analisa gradasi agregat halus

Tabel 4.1

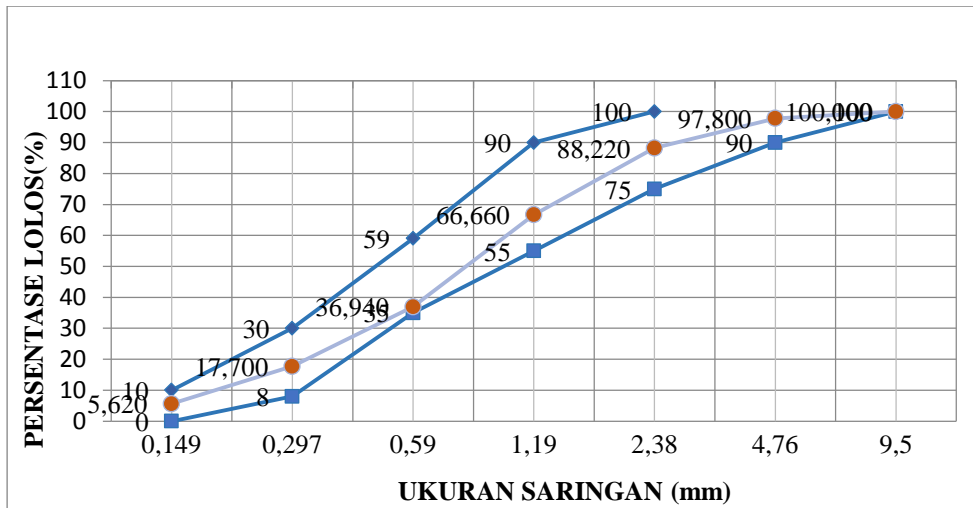
Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100
4	4,76	22	2,200	2,200	97,800
8	2,38	95,80	9,580	11,780	88,220
16	1,19	215,6	21,560	33,340	66,660
20	0,59	297,2	29,720	63,060	36,940
50	0,297	192,4	19,240	82,300	17,700
100	0,149	120,8	12,080	94,380	5,620
200	0,075	43,2	4,320	98,700	1,300
Pan		13	1,300	-	-
Σ =		1000	100	385,760	

Sumber: Hasil penelitian

$$\begin{aligned} \text{Modulus halus pasir} &= \frac{\sum \% \text{ yang tertahanayakan } 3/8" \text{ sampai } 100}{100} \\ &= \frac{287,06}{100} \\ &= 2,8706 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2834-1993 tentang pembagian daerah pasir berdasarkan ukuran lolos saringan dari ASTM C 33-90 tentang penentuan modulus kehalusan. Dari gambar dan Tabel 4.1, didapatkan bahwa pasir yang digunakan termasuk ke dalam Zona 2 (pasir agak kasar) dan memiliki modulus kehalusan sebesar 2,8706.



Gambar 4.1 Grafik lengkung agregat halus zona 2

Sumber: Hasil Penelitian

2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Tabel 4.2

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Nomor Contoh		A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500 (gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk (gr)	488,9
Berat piknometer + air (pada suhu kamar)	B (gr)	666,3
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt (gr)	977,4

Sumber: Hasil penelitian

Tabel 4.3

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Nomor Contoh		B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(B+500-Bt)$	2,588
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$	2,647
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2,750
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2,270

Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus, maka didapatkan berat jenis kering permukaan jenuh pasir sebesar $2,647 \text{ kg/m}^3$ dan penyerapan sebesar 2,270 %.

3. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Tabel 4.4

Kadar Air Agregat Halus

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	122,3	113,3
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	121,3	113,2
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	1	0,1
4	Berat Talam	(gr)	4	4,1
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	117,3	109,1
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,85	0,09
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,47	

Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan pemeriksaan kadar air rata-rata pasir sebesar 0,47%. Untuk lebih lengkapnya mengenai analisa bahan agregat halus dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

1. Analisa gradasi agregat kasar

Tabel 4.5

Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar

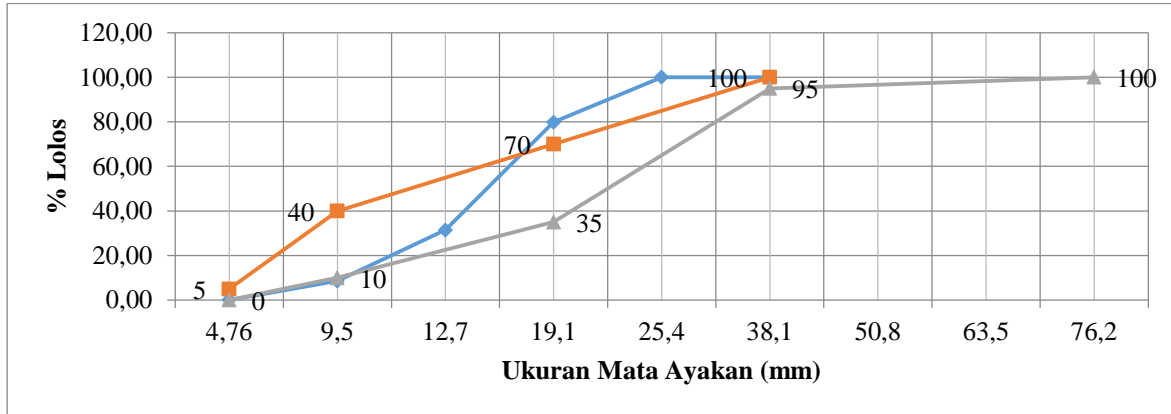
Lubang Saringan		Pasir			
No	mm	Tertinggal		%Kumulatif	
		gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	100
2.5"	63,5	-	-	-	100
2"	50,8	-	-	-	100
1.5"	38,1	-	-	-	100
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00
0.75"	19,1	2020	20,20	20,20	79,80
0.5"	12,7	4840	48,40	68,60	31,40
0.375"	9,5	2280	22,80	91,40	8,60
4	4,76	860	8,60	100,00	0,00
8	2,38	0	0,00	100,00	-
16	1,19	-	-	100,00	-
20	0,85	-	-	100,00	-
50	0,297	-	-	100,00	-
100	0,149	-	-	100,00	-
200	0,075	-	-	100,00	-
Pan		-	-	100,00	-
Σ =		10000	100,0	980,20	

Sumber: Hasil penelitian

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4'' \text{ sampai no } 100}{100}$$

$$= \frac{780}{100} = 7,80$$

Menurut SNI 03-2834-1993 tentang pembagian daerah pasir berdasarkan ukuran lolos saringan dari ASTM C 33-90 tentang penentuan modulus kehalusan. Dari Gambar 4.2 dan Tabel 4.5, didapatkan bahwa pasir yang digunakan termasuk ke dalam Zona 3 (butiran maksimum 40 mm) dan memiliki modulus kehalusan sebesar 7,80.



Gambar 4.2 Grafik lengkung agregat kasar max 40 mm

Sumber: Hasil Penelitian

2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Tabel 4.6

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

A		
Nomor Contoh		
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)
B		
Nomor Contoh		
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)	2,686
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2,713
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2,761
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%	1,010

Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus, maka didapatkan berat jenis kering permukaan jenuh pasir sebesar $2,713 \text{ kg/m}^3$ dan penyerapan sebesar 1,010%.

3. Pemeriksaan kadar air agregat kasar

Tabel 4.7

Kadar Air Agregat Kasar

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	96,2	99,2
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	91,3	94
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	4,9	5,2
4	Berat Talam	(gr)	4,1	4,2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	87,2	89,8
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	5,62	5,8
7	Kadar Air rata-rata	(%)	5,70	

Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan pemeriksaan kadar air rata-rata pasir sebesar 5,70%. Untuk lebih lengkapnya mengenai analisa bahan agregat kasar dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.3.3 Campuran Beton

Perhitungan campuran beton bertujuan untuk mendapatkan proporsi perbandingan tiap campuran beton agar mencapai kuat tekan yang direncanakan. Perhitungan ini mengacu pada buku pedoman tata cara campuran beton laboratorium struktur dan konstruksi Universitas Brawijaya yang berpedoman pada SNI 03-2834-2000. Pada penelitian ini kuat tekan beton yang direncanakan adalah 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa dan 35 Mpa. Untuk lebih lengkapnya mengenai perhitungan *mix desain* dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.4 Hasil Pengujian

4.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian dilakukan pada seluruh benda uji, baik benda uji berbentuk silinder maupun kubus. Pengujian tekan menggunakan *Compression Test Machine* bertujuan untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji, sehingga dapat dihitung kuat tekan dari beton tersebut. Pengujian ini dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah sampel yang berbentuk silinder dan kubus. Dimensi untuk benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji berbentuk kubus berukuran 15 x 15 cm. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Struktur dan konstruksi Universitas Brawijaya Malang.

Berdasarkan pengujian kuat tekan beton, didapatkan beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji. Beban tersebut selanjutnya akan dikonversi menjadi kuat tekan dengan rumus (4-1) sebagai berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4-1)$$

Dengan:

f'_c = Kuat Tekan (Mpa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Bidang Tekan (mm^2)

Beton diuji pada umur 28 hari sehingga tidak dibutuhkan faktor koreksi umur beton. Hasil pengujian kuat tekan beton dibedakan berdasarkan bentuk benda uji dan mutu beton yang disajikan dalam data dibawah ini.

1. Hasil uji kuat tekan beton dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder

Benda uji berbentuk silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) terdiri dari 36 buah dengan perbedaan variasi mutu beton. Digunakan 4 variasi mutu beton yaitu 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa dan 35 Mpa dengan masing-masing variasi terdiri dari 9 buah benda uji. Hasil pengujian uji kuat tekan beton (*compression test*) disajikan dalam Tabel 4.8.

Contoh perhitungan:

Benda uji : C.I

Diameter : 15 cm

Beban maks. : 380 kN = 380000 N

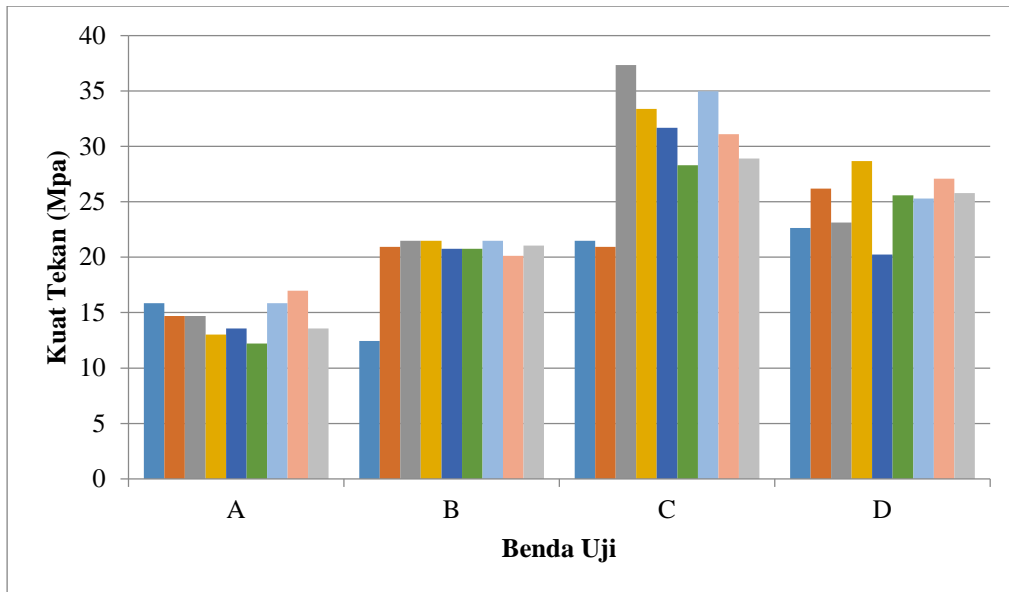
Luas : $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 = 176,786 \text{ cm}^2 = 17678,6 \text{ mm}^2$

Maka kuat tekan benda uji: $f'_c = \frac{380000}{17678,6} = 21,49 \text{ MPa}$

Tabel 4.8
Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder

Variasi	Kode	Berat (kg)	Berat isi (kg/m ³)	Luas Alas Silinder (mm ²)	Beban (N)	f'c (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)
20 Mpa (A)	I	13	2451,18	17678,57	280000	15,84	14,49
	II	13,15	2479,46		260000	14,71	
	III	12,8	2413,47		260000	14,71	
	IV	12,8	2413,47		230000	13,01	
	V	12,9	2432,32		240000	13,58	
	VI	13	2451,18		216000	12,22	
	VII	12,9	2432,32		280000	15,84	
	VIII	12,85	2422,90		300000	16,97	
	IX	12,55	2366,33		240000	13,58	
25 Mpa (B)	I	13	2451,18	17678,57	220000	12,44	20,06
	II	13	2451,18		370000	20,93	
	III	13,15	2479,46		380000	21,49	
	IV	13,05	2460,61		380000	21,49	
	V	13	2451,18		367000	20,76	
	VI	13,05	2460,61		367000	20,76	
	VII	12,95	2441,75		380000	21,49	
	VIII	12,9	2432,32		356000	20,14	
	IX	12,95	2441,75		372000	21,04	
30 Mpa (C)	I	13,2	2488,89	17678,57	380000	21,49	29,78
	II	13,3	2507,74		370000	20,93	
	III	13,25	2498,32		660000	37,33	
	IV	13,2	2488,89		590000	33,37	
	V	13,25	2498,32		560000	31,68	
	VI	13,35	2517,17		500000	28,28	
	VII	13,35	2517,17		618000	34,96	
	VIII	13,1	2470,03		550000	31,11	
	IX	13,1	2470,03		511000	28,91	
35 Mpa (D)	I	13,1	2470,03	17678,57	400000	22,63	24,96
	II	13,2	2488,89		463000	26,19	
	III	13,05	2460,61		409000	23,14	
	IV	13,15	2479,46		507000	28,68	
	V	13,1	2470,03		358000	20,25	
	VI	13,05	2460,61		452000	25,57	
	VII	13,1	2470,03		447000	25,28	
	VIII	13,15	2479,46		479000	27,09	
	IX	13,05	2460,61		456000	25,79	

Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.3 Diagram kuat tekan beton berbentuk silinder dengan uji kuat tekan
Sumber: Hasil penelitian

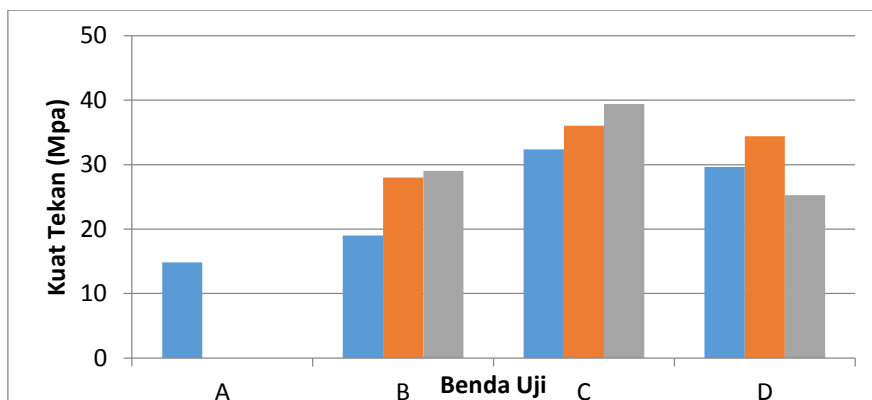
2. Hasil uji kuat tekan beton dengan benda uji kubus.

Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm, terdiri dari 10 buah dengan perbedaan variasi mutu beton. Digunakan 4 variasi mutu beton yaitu 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa dan 35 Mpa. Hasil uji kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9
Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus

Variasi	Kode	Berat (kg)	Berat isi (kg/m ³)	Luas Alas Kubus (mm ²)	Beban (N)	f'c (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
20 Mpa (A)	I	8,2	2429,63	22500	402000	14,83	14,83
25 Mpa (B)	I	8,1	2400,00	22500	515000	19,00	25,34
	II	8,8	2607,41		759000	28,00	
	III	8,25	2444,44		787000	29,03	
30 Mpa (C)	I	8,3	2459,26	22500	878000	32,39	35,95
	II	8,95	2651,85		977000	36,04	
	III	8,4	2488,89		1069000	39,43	
35 Mpa (D)	I	8,25	2444,44	22500	804000	29,66	29,78
	II	9,1	2696,30		933000	34,42	
	III	8,3	2459,26		685000	25,27	

Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.4 Diagram kuat tekan beton berbentuk kubus dengan uji kuat tekan
Sumber: Hasil penelitian

Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 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), terlihat pada data tersebut berat isi sampel D relatif lebih kecil dari sampel C yang menunjukkan bahwa kerapatannya juga lebih kecil. Sehingga dalam proporsi berat yang sama, volume kerikil dalam campuran menjadi lebih besar dari yang direncanakan dan dapat mengurangi kekuatan dari beton.

4.4.2 Hasil Pengujian *Hammer Test Digital*

Pada pengujian *hammer test* dilakukan menggunakan alat *Silver Schmidt Hammer* dari PROCEQ yang bertujuan untuk mendapatkan kuat tekan beton. Hasil output dari pengujian *hammer test* ini berupa nilai *rebound*, nilai *rebound* ini dipengaruhi oleh sifat beton yang berada didekat *plunger*. Apabila *plunger* diletakkan di atas bidang permukaan beton yang keras maka pembacaan nilai *rebound* yang dihasilkan akan tinggi, sedangkan apabila *plunger* diletakkan di atas bidang permukaan beton yang lunak dan memiliki rongga udara yang besar maka pembacaan nilai *rebound* yang dihasilkan akan rendah. Dalam mengatasi hal tersebut, maka disyaratkan pengambilan nilai *rebound* tersebut dilakukan sebanyak 10 kali dengan jarak pengambilan nilai sejauh 2,5 cm untuk tiap tembakan. Secara umum alat ini berguna untuk memeriksa keseragaman kualitas beton dan mendapatkan perkiraan kuat tekan beton pada suatu struktur bangunan.

Berdasarkan pengujian *hammer*, didapatkan nilai *rebound (R-value)* yang secara otomatis dikonversi oleh alat itu sendiri menjadi satuan pengukuran yang diinginkan. Pada

penelitian ini didapatkan nilai mutu beton (K) dengan satuan (kg/cm^2) untuk setiap pembacaan. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan ($f'c$), nilai mutu beton ini (K) harus dikalikan 0,083 sebagai faktor pengalinya. Hasil pengujian *hammer* disajikan dalam 2 tabel, tabel 4.10 untuk benda uji berbentuk kubus dan tabel 4.11 untuk benda uji berbentuk silinder.

Contoh perhitungan:

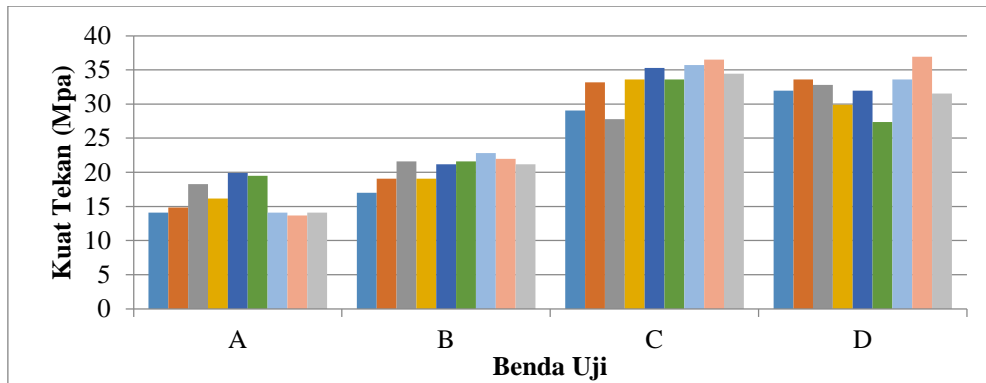
Benda Uji : A.I (Mutu Beton (K) = 170 kg/cm^2)

Mutu Beton ($f'c$) : $K \times 0,083 = 170 \times 0,083 = 14,11 \text{ Mpa}$

Tabel 4.10
Hasil Pengujian *Hammer Test* Benda Uji Silinder

Variasi	Sampel	Kode pada alat	K (kg/cm^2)	$f'c$ (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)
20 Mpa (A)	I	9461	170	14,11	16,08
	II	9481	179	14,86	
	III	9471	220	18,26	
	IV	4349	195	16,19	
	V	4139	240	19,92	
	VI	4171	235	19,51	
	VII	4201	170	14,11	
	VIII	4249	165	13,70	
	IX	4191	170	14,11	
25 Mpa (B)	I	9491	205	17,02	20,61
	II	9501	230	19,09	
	III	9511	260	21,58	
	IV	4309	230	19,09	
	V	4259	255	21,17	
	VI	4279	260	21,58	
	VII	4329	275	22,83	
	VIII	4299	265	22,00	
	IX	4289	255	21,17	
30 Mpa (C)	I	4049	350	29,05	33,25
	II	4009	400	33,20	
	III	4059	335	27,81	
	IV	4409	405	33,62	
	V	4369	425	35,28	
	VI	4439	405	33,62	
	VII	4399	430	35,69	
	VIII	4419	440	36,52	
	IX	4459	415	34,45	
35 Mpa (D)	I	4099	385	31,96	32,19
	II	4119	405	33,62	
	III	4069	395	32,79	
	IV	4509	360	29,88	
	V	4479	385	31,96	
	VI	4519	330	27,39	
	VII	4489	405	33,62	
	VIII	4569	445	36,94	
	IX	4539	380	31,54	

Sumber: Hasil Penelitian

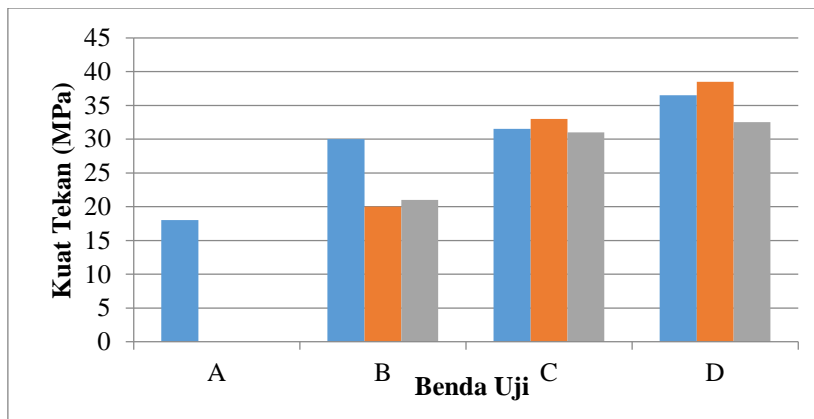


Gambar 4.5 Diagram kuat tekan beton berbentuk silinder dengan uji *hammer test*
Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.11
Hasil Pengujian *Hammer Test* Benda Uji Kubus

Variasi	Kode	Kode pada alat	K (kg/cm ²)	f'c (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)
20 Mpa (A)	I	4609	180	18,00	18,00
25 Mpa (B)	I	4619	300	30,00	23,67
	II	4629	200	20,00	
	III	4651	210	21,00	
30 Mpa (C)	I	4691	315	31,50	31,83
	II	4681	330	33,00	
	III	4721	310	31,00	
35 Mpa (D)	I	4772	365	36,50	35,83
	II	4762	385	38,50	
	III	4793	325	32,50	

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.6 Diagram kuat tekan beton berbentuk kubus dengan uji *hammer test*
Sumber: Hasil Penelitian

4.4.3 Hasil Pengujian *UPV Test*

Pengujian UPV dilakukan pada benda uji yang berbentuk silinder dan kubus, yang terdiri dari 4 variasi kuat tekan dengan jumlah benda uji yaitu 36 untuk benda uji silinder dan 10 untuk benda uji kubus. Pengukuran UPV dilakukan dengan meletakkan transducer UPV pada jarak tertentu. Pengambilan data dilakukan pada area lokasi yang sudah ditetapkan sesuai dengan metode penelitian. Hasil pengukuran UPV berupa kecepatan rambat gelombang. Hasil pengukuran UPV dapat disajikan dalam 2 tabel, tabel 4.12 untuk benda uji berbentuk silinder dan tabel 4.13 untuk benda uji berbentuk kubus.

Tabel 4.12
Hasil Pengujian *UPV Test* Benda Uji Silinder

Variasi	Sampel	UPV (m/s)	Rata-rata (m/s)	Variasi	Sampel	UPV (m/s)	Rata-Rata (m/s)
20 Mpa (A)	I	4260	4240	30 Mpa (C)	I	4518	4625
	II	4084			II	4700	
	III	4270			III	4659	
	IV	4304			IV	4587	
	V	4231			V	4622	
	VI	4225			VI	4552	
	VII	4184			VII	4666	
	VIII	4261			VIII	4673	
	IX	4342			IX	4651	
25 Mpa (B)	I	4340	4373	35 Mpa (D)	I	4493	4457
	II	4298			II	4425	
	III	4401			III	4445	
	IV	4348			IV	4505	
	V	4373			V	4464	
	VI	4354			VI	4478	
	VII	4471			VII	4380	
	VIII	4471			VIII	4471	
	IX	4304			IX	4451	

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.13
Hasil Pengujian *UPV Test* Benda Uji Kubus

Variasi	Sampel	UPV (m/s)	Rata-rata (m/s)
20 Mpa (A)	I	4545	4545
25 Mpa (B)	I	4249	4474
	II	4559	
	III	4615	
30 Mpa (C)	I	4717	4707
	II	4717	
	III	4688	
35 Mpa (D)	I	4717	4659
	II	4702	
	III	4559	

Sumber: Hasil Penelitian

Dari tabel 4.12 dan tabel 4.13 dapat diketahui bahwa nilai cepat rambat gelombang yang didapatkan dari pengujian *UPV test* secara keseluruhan dapat dikatakan baik yang di mana mengacu pada tabel kualifikasi kualitas beton berdasarkan cepat rambat gelombang (tabel 2.3) menyebutkan bahwa apabila nilai cepat rambat gelombang berkisar 3,5 – 4,5 km/s maka kualitas beton yang diuji dapat dikatakan baik. Sedangkan nilai cepat rambat gelombang bernilai lebih dari 4,5 km/s maka kualitas beton yang diuji dapat dikatakan sangat baik.

4.5 Pembahasan

Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat dilihat perbedaan pembacaan nilai kuat tekan beton dengan menggunakan pengujian hammer test, UPV test dan uji kuat tekan beton. Perbedaan nilai kuat tekan beton ini disajikan dalam tabel 4.14

Tabel 4.14

Perbedaan Nilai Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Silinder Dan Kubus

Pembacaan Nilai Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder						
Variasi	Sampel	Berat (kg)	Berat isi (kg/m ³)	<i>Compressive Test</i> (Mpa)	<i>Hammer Test</i> (Mpa)	<i>UPV Test</i> (m/s)
20 Mpa (A)	I	13	2451,18	15,84	14,11	4260
	II	13,15	2479,46	14,71	14,86	4084
	III	12,8	2413,47	14,71	18,26	4270
	IV	12,8	2413,47	13,01	16,19	4304
	V	12,9	2432,32	13,58	19,92	4231
	VI	13	2451,18	12,22	19,51	4225
	VII	12,9	2432,32	15,84	14,11	4184
	VIII	12,85	2422,90	16,97	13,70	4261
	IX	12,55	2366,33	13,58	14,11	4342
25 Mpa (B)	I	13	2451,18	12,44	17,02	4340
	II	13	2451,18	20,93	19,09	4298
	III	13,15	2479,46	21,49	21,58	4401
	IV	13,05	2460,61	21,49	19,09	4348
	V	13	2451,18	20,76	21,17	4373
	VI	13,05	2460,61	20,76	21,58	4354
	VII	12,95	2441,75	21,49	22,83	4471
	VIII	12,9	2432,32	20,14	22,00	4471
	IX	12,95	2441,75	21,04	21,17	4304
30 Mpa(C)	I	13,2	2488,89	21,49	29,05	4518
	II	13,3	2507,74	20,93	33,20	4700
	III	13,25	2498,32	37,33	27,81	4659
	IV	13,2	2488,89	33,37	33,62	4587
	V	13,25	2498,32	31,68	35,28	4622
	VI	13,35	2517,17	28,28	33,62	4552
	VII	13,35	2517,17	34,96	35,69	4666
	VIII	13,1	2470,03	31,11	36,52	4673
	IX	13,1	2470,03	28,91	34,45	4651

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.14
Perbedaan Nilai Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Silinder Dan Kubus

Pembacaan Nilai Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder						
Variasi	Sampel	Berat (kg)	Berat isi (kg/m ³)	Compressive Test (Mpa)	Hammer Test (Mpa)	UPV Test (m/s)
35 Mpa (D)	I	13,1	2470,03	22,63	31,96	4493
	II	13,2	2488,89	26,19	33,62	4425
	III	13,05	2460,61	23,14	32,79	4445
	IV	13,15	2479,46	28,68	29,88	4505
	V	13,1	2470,03	20,25	31,96	4464
	VI	13,05	2460,61	25,57	27,39	4478
	VII	13,1	2470,03	25,28	33,62	4380
	VIII	13,15	2479,46	27,09	36,94	4471
	IX	13,05	2460,61	25,79	31,54	4451
Pembacaan Nilai Kuat Tekan Beton Benda Uji Kubus						
Variasi	Sampel	Berat (kg)	Berat isi (kg/m ³)	Compressive Test (Mpa)	Hammer Test (Mpa)	UPV Test (m/s)
20 Mpa (A)	I	8,2	2429,63	14,83	18,00	4545
25 Mpa (B)	I	8,1	2400	19,00	30,00	4249
	II	8,8	2607,41	28,00	20,00	4559
	III	8,25	2444,44	29,03	21,00	4615
30 Mpa (C)	I	8,3	2459,26	32,39	31,50	4717
	II	8,95	2651,85	36,04	33,00	4717
	III	8,4	2488,89	39,43	31,00	4688
35 Mpa (D)	I	8,25	2444,44	29,66	36,50	4717
	II	9,1	2696,3	34,42	38,50	4702
	III	8,3	2459,26	25,27	32,50	4559

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.14 di atas dapat diketahui bahwa beton dengan satu campuran (*mix design*) yang sama dapat menghasilkan kuat tekan yang berbeda, dan sebagian besar kurang dari kuat tekan beton yang direncanakan. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya perbedaan kualitas/mutu dari suatu benda uji yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan dari masing-masing benda uji yang dipengaruhi oleh komposisi dan susunan dari bahan-bahan penyusun beton. Kualitas dari beton tersebut sangat bergantung pada kualitas pengerjaan, mulai dari pencampuran bahan hingga pembuatan benda uji. Oleh karena itu yang dipakai dalam analisa pada penelitian ini adalah kuat tekan aktual dari masing-masing benda uji.

Selain itu diketahui pula bahwa terdapat perbedaan pembacaan nilai kuat tekan beton menggunakan pengujian *non-destructive test* dan *destructive test*. Perbedaan tersebut adalah perbedaan output nilai kuat tekan beton yang dihasilkan oleh masing-masing pengujian (perbedaan satuan kuat tekan beton). Untuk pengujian *compression test* dan *hammer test* nilai kuat tekan memiliki satuan berupa satuan tekanan yaitu megapascal

(Mpa atau N/mm²), sedangkan untuk pengujian UPV test nilai kuat tekan beton memiliki satuan berupa satuan kecepatan (m/s) yang di mana semakin besar kuat tekan beton yang diperoleh, maka semakin cepat gelombang yang dapat merambat pada beton tersebut. Hal ini disebabkan perbedaan kerapatan dari masing-masing benda uji yang dipengaruhi oleh komposisi dan susunan dari bahan-bahan penyusun beton itu sendiri.

Dengan adanya perbedaan nilai kuat tekan beton dari pengujian *non-destructive test* dan *destructive test*, maka analisa hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan analisa regresi. Hal ini dilakukan untuk mencari persamaan korelasi antara *hammer test*, *UPV test* dan uji kuat tekan beton dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

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. Persentase kesalahan relatif didapatkan dengan menggunakan persamaan (3-1) serta hasil persentase ditunjukkan pada tabel 4.15.

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\%$$

Dengan: X_1 = nilai kuat tekan beton yang direncanakan

X_2 = nilai kuat tekan beton yang dari pengujian (*compression test* dan *hammer test*)

Contoh perhitungan:

Benda Uji : A.I

Mutu Beton direncanakan : 20 Mpa

Pembacaan *compression test* : 15,84 Mpa

$$KR = \left| \frac{20 - 15,84}{20} \right| \times 100\% = 20,8 \%$$

Tabel 4.15
Perhitungan Kesalahan Relatif Nilai Kuat Tekan Beton Yang Direncanakan Dengan Hasil Pengujian

Pembacaan Nilai Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder							
Variasi	Sampel	<i>Compressive Test</i> (Mpa)	<i>Hammer Test</i> (Mpa)	Kesalahan Relatif (KR)		KR rata-rata	
				CT (%)	HT (%)	CT (%)	HT (%)
20 Mpa (A)	I	15,84	14,11	20,81	29,45	28,37	18,35
	II	14,71	14,86	26,46	25,72		
	III	14,71	18,26	26,46	8,70		
	IV	13,01	16,19	34,95	19,08		
	V	13,58	19,92	32,12	0,40		
	VI	12,22	19,51	38,91	2,47		
	VII	15,84	14,11	20,81	29,45		
	VIII	16,97	13,70	15,15	31,53		
	IX	13,58	14,11	32,12	29,45		
25 Mpa (B)	I	12,44	17,02	50,22	31,94	15,94	15,76
	II	20,93	19,09	16,28	23,64		
	III	21,49	21,58	14,02	13,68		
	IV	21,49	19,09	14,02	23,64		
	V	20,76	21,17	16,96	15,34		
	VI	20,76	21,58	16,96	13,68		
	VII	21,49	22,83	14,02	8,70		
	VIII	20,14	22,00	19,45	12,02		
	IX	21,04	21,17	15,83	15,34		
30 Mpa (C)	I	21,49	29,05	28,35	3,17	12,64	14,40
	II	20,93	33,20	30,24	10,67		
	III	37,33	27,81	24,44	7,32		
	IV	33,37	33,62	11,25	12,05		
	V	31,68	35,28	5,59	17,58		
	VI	28,28	33,62	5,72	12,05		
	VII	34,96	35,69	16,53	18,97		
	VIII	31,11	36,52	3,70	21,73		
	IX	28,91	34,45	3,65	14,82		

CT = *Compression test* ; HT = *Hammer Test*

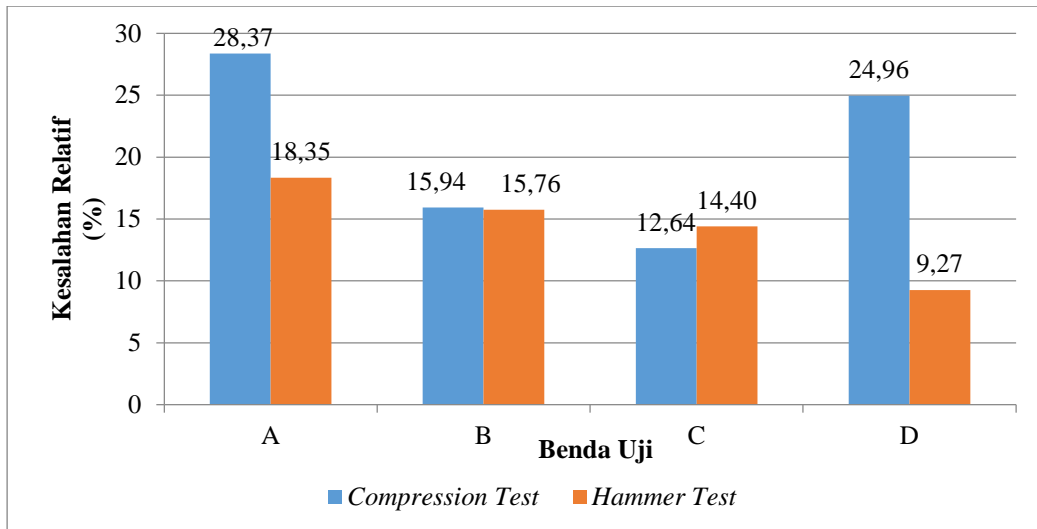
Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4.15
Perhitungan Kesalahan Relatif Nilai Kuat Tekan Beton Yang Direncanakan Dengan Hasil Pengujian

Pembacaan Nilai Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder							
Variasi	Sampel	Compressive Test (Mpa)	Hammer Test (Mpa)	Kesalahan Relatif (KR)		KR rata-rata	
				CT (%)	HT (%)	CT (%)	HT (%)
35 Mpa (D)	I	22,63	31,96	35,35	8,70	28,69	9,27
	II	26,19	33,62	25,17	3,96		
	III	23,14	32,79	33,90	6,33		
	IV	28,68	29,88	18,06	14,63		
	V	20,25	31,96	42,14	8,70		
	VI	25,57	27,39	26,95	21,74		
	VII	25,28	33,62	27,76	3,96		
	VIII	27,09	36,94	22,59	5,53		
	IX	25,79	31,54	26,30	9,89		
Pembacaan Nilai Kuat Tekan Beton Benda Uji Kubus							
Variasi	Sampel	Compressive Test (Mpa)	Hammer Test (Mpa)	Kesalahan Relatif (KR)		KR rata-rata	
				CT (%)	HT (%)	CT (%)	HT (%)
20 Mpa (A)	I	14,83	18,00	25,85	10	25,85	10
25 Mpa (B)	I	19,00	30,00	24,01	20	17,38	18,67
	II	28,00	20,00	11,99	20		
	III	29,03	21,00	16,13	16		
30 Mpa (C)	I	32,39	31,50	7,96	5	19,85	6,11
	II	36,04	33,00	20,13	10		
	III	39,43	31,00	31,45	3,33		
35 Mpa (D)	I	29,66	36,50	15,26	4,29	14,91	7,14
	II	34,42	38,50	1,66	10		
	III	25,27	32,50	27,80	7,14		

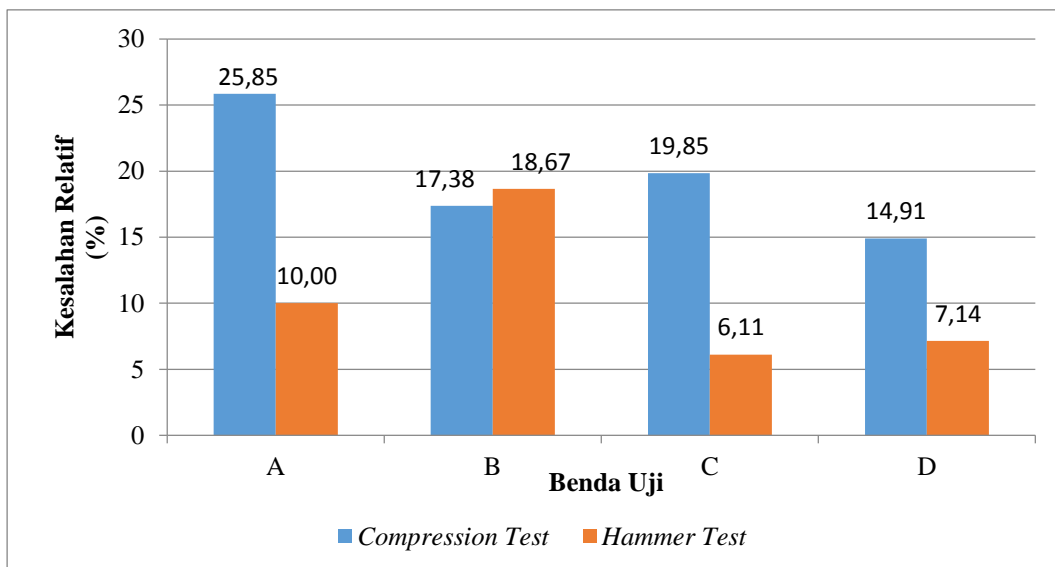
CT = Compression test ; HT = Hammer Test

Sumber : Hasil penelitian



Gambar 4.7 Diagram perbandingan persentase kesalahan relatif antara kuat tekan yang direncanakan dengan hasil dari pengujian benda uji silinder

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.8 Diagram perbandingan persentase kesalahan relatif antara kuat tekan yang direncanakan dengan hasil dari pengujian benda uji kubus

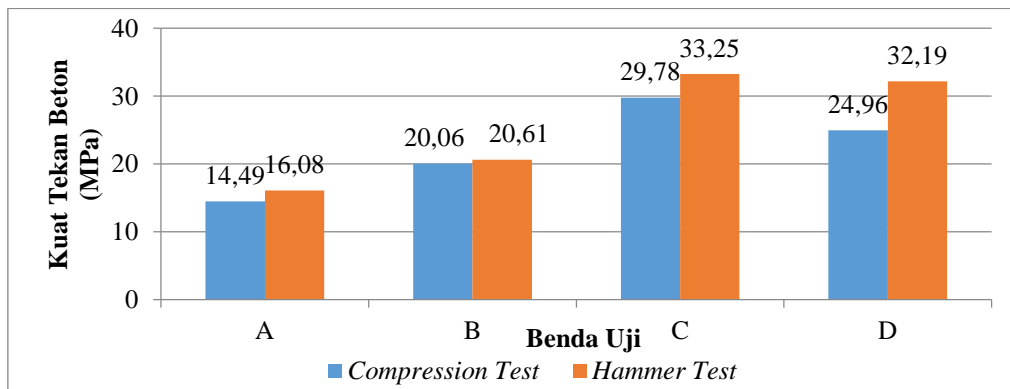
Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.15 dapat diketahui bahwa nilai persentase kesalahan relatif antara nilai kuat tekan beton yang direncanakan dengan nilai kuat tekan beton dari hasil pengujian *compression test* dan *hammer test* berkisar antara 9,27% - 28,37% untuk benda uji silinder dan 6,11%-25,85% untuk benda uji kubus. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan yang didapatkan dari hasil pengujian memiliki selisih yang cukup jauh dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Perbedaan hasil nilai kuat tekan beton ini dipengaruhi oleh kerapatan antar material penyusun beton yang di mana semakin rapat material penyusun beton maka semakin tinggi nilai kuat tekan beton yang didapatkan, sedangkan apabila

kerapatan antar material penyusun beton rendah (berongga) maka nilai kuat tekan beton semakin rendah.

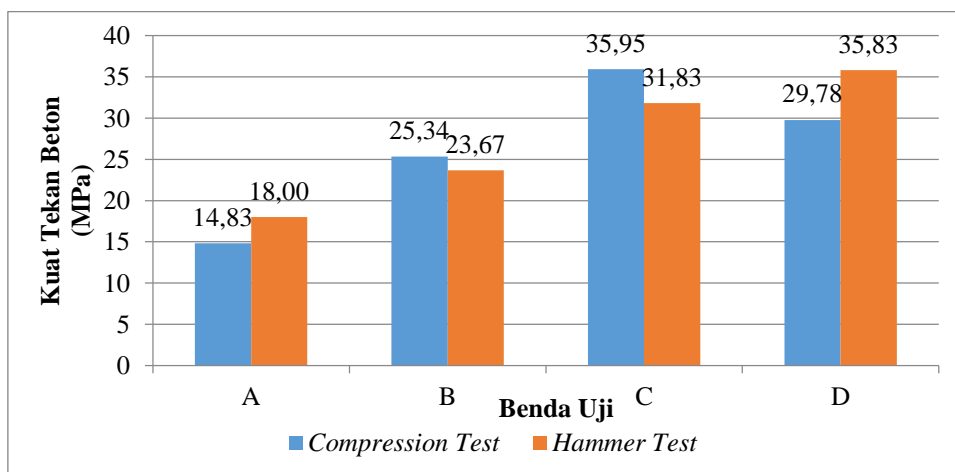
4.5.2 Analisa Regresi dan Korelasi Linier Sederhana antara *Compression Test* dan *Hammer Test*

Pada penelitian ini dilakukan analisa regresi dan korelasi linier sederhana antara nilai kuat tekan pada *compression test* dan *hammer test*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa eratny hubungan antara hasil pengujian yang ditunjukkan oleh kedua metode tersebut. analisa ini menggunakan program *microsoft excel* yang di mana variabel X merupakan nilai pengujian *hammer test* dan variabel Y merupakan nilai pengujian *compression test*. Berikut hasil analisa:



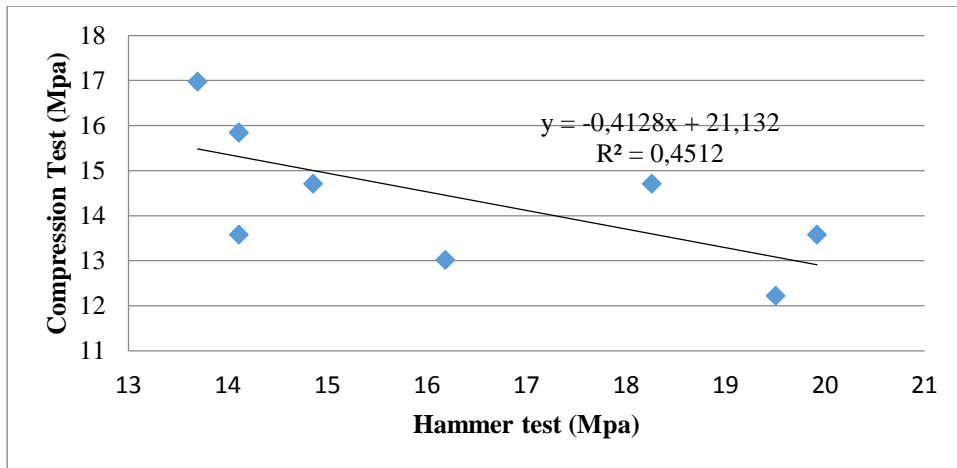
Gambar 4.9 Diagram perbandingan kuat tekan beton rata-rata benda uji berbentuk silinder dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*

Sumber: Hasil penelitian

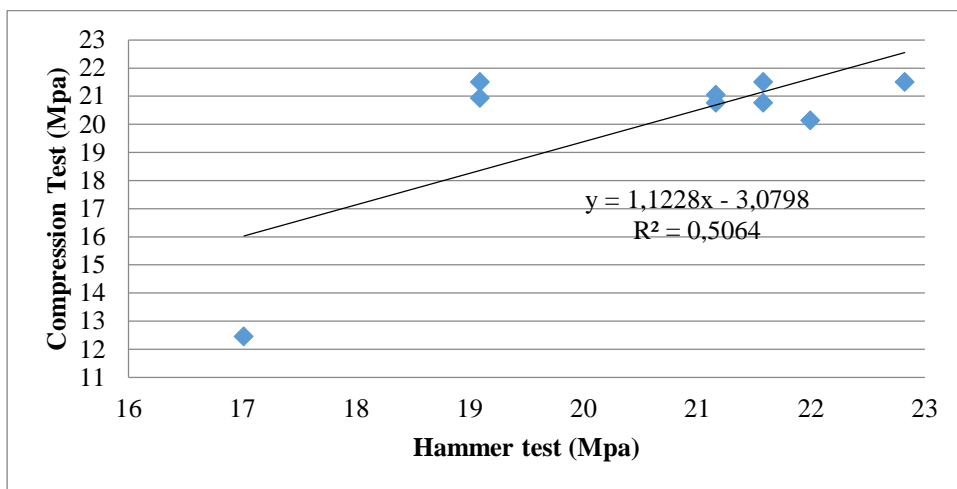


Gambar 4.10 Diagram perbandingan kuat tekan beton rata-rata benda uji berbentuk kubus dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*

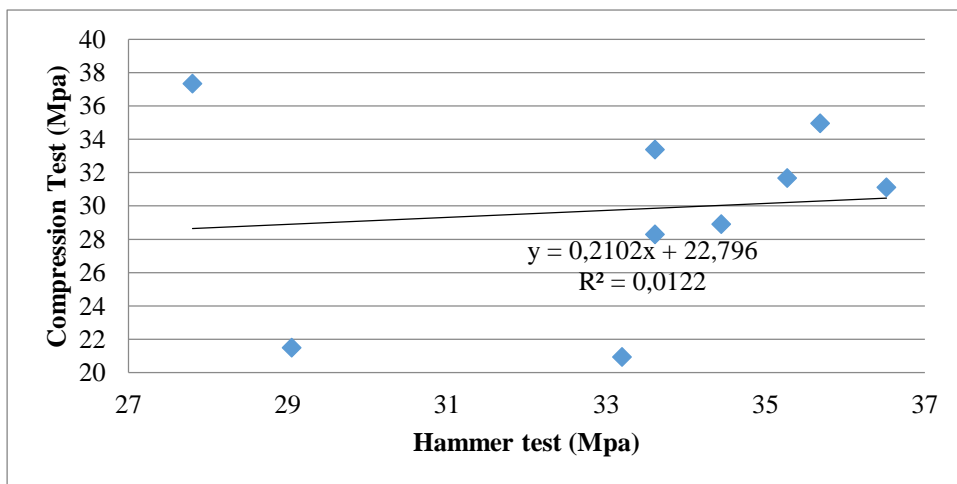
Sumber: Hasil penelitian



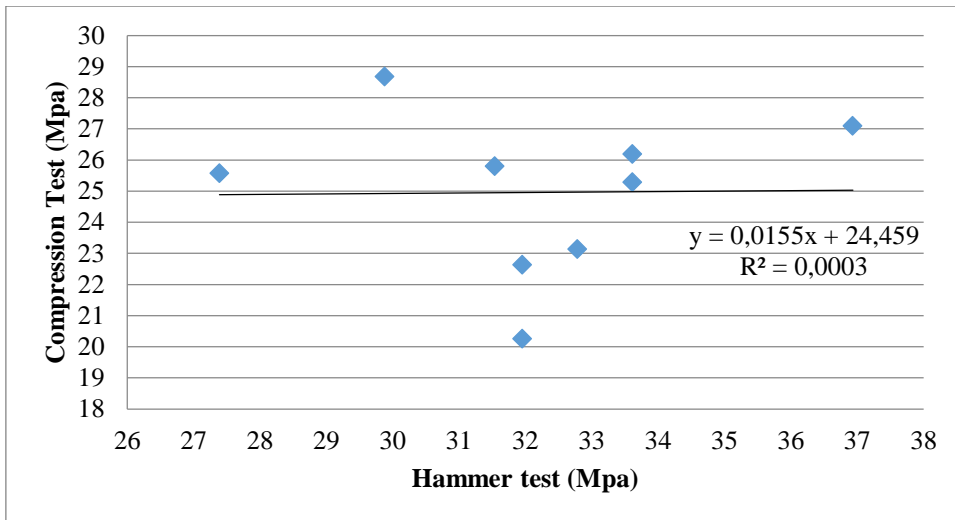
Gambar 4.11 Regresi benda uji silinder 20 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*
 Sumber: Hasil penelitian



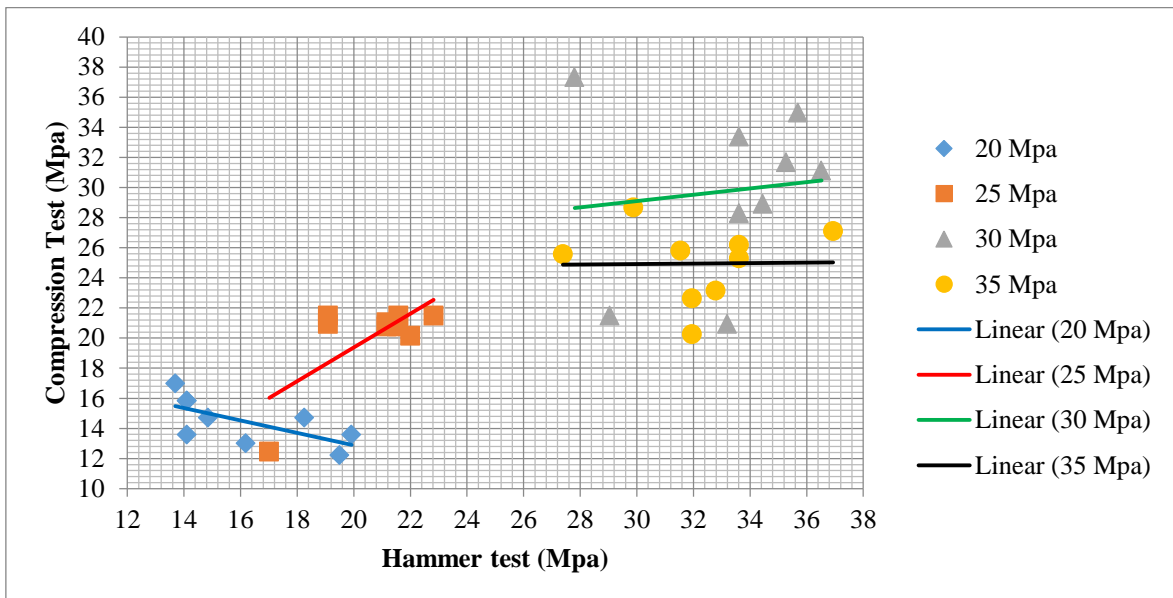
Gambar 4.12 Regresi benda uji silinder 25 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*
 Sumber: Hasil penelitian



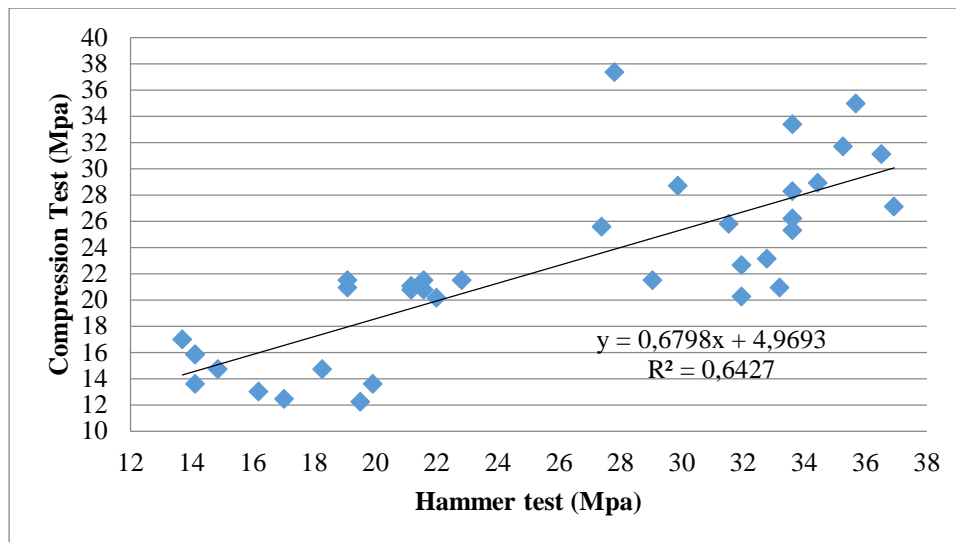
Gambar 4.13 Regresi benda uji silinder 30 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*
 Sumber: Hasil penelitian



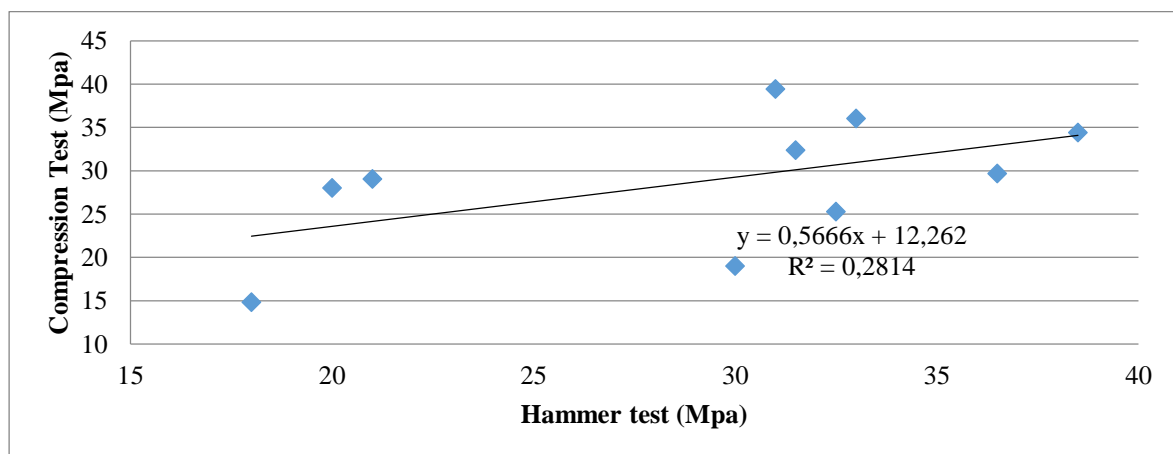
Gambar 4.14 Regresi benda uji silinder 35 Mpa dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*
Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.15 Perbedaan grafik regresi pada tiap-tiap mutu beton
Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.16 Regresi benda uji silinder gabungan dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*
Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.17 Regresi benda uji kubus dengan uji kuat tekan dan uji *hammer test*
Sumber: Hasil penelitian

Tabel 4.16

Rekapitulasi Analisa Regresi Antara *Compression Test* Dan *Hammer Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi	Koefisien Korelasi	
		R^2	R	
Silinder	20 Mpa	$Y = 21,132 - 0,4128X$	0,4512	0,6717
	25 Mpa	$Y = - 3,0798 + 1,1228X$	0,5064	0,7116
	30 Mpa	$Y = 22,796 + 0,2102X$	0,0122	0,1105
	35 Mpa	$Y = 24,459 + 0,0155X$	0,0003	0,0173
	Gabungan	$Y = 4,9693 + 0,6798X$	0,6427	0,8017
Kubus	$Y = 12,262 + 0,5666X$	0,2814	0,5305	

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.15 dapat diketahui bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) merupakan ukuran proporsi keragaman (variansi) total nilai variabel tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan oleh nilai variabel bebas (X) melalui hubungan linier. Contoh untuk benda uji 20 Mpa memiliki koefisien determinasi sebesar 0,4512 menunjukkan bahwa proporsi

varabel Y (*compression test*) dapat dijelaskan oleh variabel X (*hammer test*) sebesar 45,12% dan sisanya, yaitu 54,88% persen dijelaskan oleh hal-hal lain. Secara keseluruhan dari grafik hubungan regresi dan korelasi di atas diketahui bahwa hubungan antara nilai uji *compression test* dan *hammer test* memiliki hubungan yang berbanding lurus (gradien X bernilai positif) yaitu semakin besar nilai kuat tekan beton (K) yang didapatkan dari pengujian *hammer test*, maka semakin besar nilai aktual yang didapatkan dari pengujian *compression test*.

Akan tetapi pada benda uji 20 Mpa didapatkan hasil regresi yang memiliki hubungan yang berbanding terbalik (gradien X bernilai negatif) yaitu semakin besar nilai kuat tekan beton (K) yang didapatkan dari pengujian *hammer test*, tetapi nilai aktual yang didapatkan dari pengujian *compression test* semakin rendah. Prinsip kerja dari pengujian *hammer test* adalah menghitung kuat tekan beton berdasarkan kekerasan pada permukaan beton yang di uji sehingga *hammer test* tidak dapat memperhitungkan kuat tekan beton secara keseluruhan (kuat tekan aktual) tetapi hanya memperhitungkan kuat tekan pada permukaan beton saja. Sedangkan prinsip kerja dari pengujian *compression test* adalah menghitung kuat tekan beton dengan keseluruhan dilakukan pembebanan secara aksial pada benda uji sampai keadaan benda uji tersebut menjadi hancur. Pada proses pembuatan benda uji 20 Mpa tidak dilakukannya proses vibrasi menggunakan alat vibrator, tidak seperti pembuatan benda uji 25 Mpa, 30 Mpa, dan 35 Mpa. Hal ini menyebabkan kerapatan antar material penyusun beton pada benda uji 20 Mpa menjadi tidak seragam. Terdapatnya rongga-rongga pada bagian tengah benda uji membuktikan bahwa tidak seragamnya kerapatan yang terjadi benda uji tersebut. Sehingga pada proses pengujian *hammer test* dan *compression test*, nilai yang didapatkan dari kedua metode ini memiliki perbedaan nilai yang cukup besar .

4.5.3 Analisa Regresi Linier Berganda dan Korelasi Berganda

Analisa regresi linier berganda digunakan untuk memperkirakan perubahan nilai variabel tertentu apabila variabel lain berubah. Dikatakan regresi berganda, karena jumlah variabel bebas (*independent*) sebagai prediktor lebih dari satu. Sedangkan, analisa korelasi berganda digunakan untuk mengetahui derajat atau kekuatan hubungan antara variabel X (*hammer test dan UPV test*), dan Y (uji kuat tekan).

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 akan menghasilkan grafik korelasi antara ketiga metode pengujian di atas.

4.5.3.1 Analisa Regresi dan Korelasi Menggunakan Software IBM SPSS Pada Benda Uji Silinder

Analisa data pada benda uji berbentuk silinder dengan menggunakan software IBM SPSS akan dikelompokkan menjadi 5 bagian, yaitu : 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa, 35 Mpa, dan gabungan variasi mutu beton. Diasumsikan bahwa pembacaan pada uji kuat tekan beton merupakan variabel terikat (*dependent variable*), sedangkan pembacaan dari *hammer test* dan *UPV test* merupakan variabel bebas (*independent variable*).

1) Analisa software IBM SPSS terhadap benda uji silinder dengan mutu beton 20 Mpa

Tabel 4.17

Model Summary Untuk Benda Uji Silinder 20 Mpa

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,697 ^a	,486	,315	1,27237	,486	2,838	2	6	,136

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.17 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,486 artinya sebesar 48,6%. variasi variabel *dependent* Y (*Compressive test*) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 , sedangkan sisanya sebesar 51,4% dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 4.18

Koefisien Alat Uji Untuk Benda Uji Silinder 20 Mpa

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	37,517	25,846		1,452	,197
<i>hammer test</i>	-,413	,180	-,672	-2,296	,061
<i>UPV test</i>	-,004	,006	-,187	-,638	,547

Sumber : Hasil penelitian

Dari Tabel 4.18 diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu UPV. Nilai masing-masing koefisien penduga β sehingga model regresi linier berganda terbentuk adalah : $Y=37,517-0,413X_1-0,004X_2$.

Interpretasi:

1. $\beta_1 = - 0,413$; Jika hasil uji *hammer test* naik 1 Mpa maka akan menurunkan nilai *Compressive Test* sebesar 0,413 MPa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *UPV* dianggap konstan.
2. $\beta_2 = - 0,004$; Jika hasil uji *UPV test* naik 1 m/s maka akan menurunkan nilai *Compressive Test* sebesar 0.004 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *Hammer* dianggap konstan.

2) Analisa software IBM SPSS terhadap benda uji silinder dengan mutu beton 25 Mpa

Tabel 4.19

Model Summary Untuk Benda Uji Silinder 25 Mpa

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,797 ^a	,635	,514	2,01590215091	,635	5,229	2	6	,048

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.19 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,635 artinya sebesar 63,5%. variasi variabel *dependent* Y (*Compressive test*) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 , sedangkan sisanya sebesar 36,5% dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 4.20

Koefisien Alat Uji Untuk Benda Uji Silinder 25 Mpa

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	79,749	57,410		1,389	,214
<i>hammer test</i>	1,591	,505	1,008	3,154	,020
<i>UPV test</i>	-,021	,015	-,466	-1,457	,195

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.20 diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu *UPV*. Nilai masing-masing koefisien penduga β sehingga model regresi linier berganda terbentuk adalah : $Y=79,749+1,591X_1-0,021X_2$.

Interpretasi:

1. $\beta_1 = 1,591$; Jika hasil uji *hammer test* naik 1 Mpa maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 1,591 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *UPV* dianggap konstan.
2. $\beta_2 = - 0,021$; Jika hasil uji *UPV test* naik 1 m/s maka akan menurunkan nilai *Compressive Test* sebesar 0.021 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *Hammer* dianggap konstan.

3) Analisa software IBM SPSS terhadap benda uji silinder dengan mutu beton 30 Mpa

Tabel 4.21

Model Summary Untuk Benda Uji Silinder 30 Mpa

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,257 ^a	,066	-,245	6,265239680	,066	,212	2	6	,815

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.21 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,066 artinya sebesar 6,6 %. variasi variabel *dependent* Y (*Compressive test*) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 , sedangkan sisanya sebesar 93,4 % dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 4.22

Koefisien Alat Uji Untuk Benda Uji Silinder 30 Mpa

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-77,420	172,537		-,449	,669
hammer test	,046	,801	,024	,057	,956
UPV test	,023	,039	,247	,587	,579

Sumber : Hasil penelitian

Dari Tabel 4.22 diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu UPV. Nilai masing-masing koefisien penduga β sehingga model regresi linier berganda terbentuk adalah : $Y = -77,420 + 0,046X_1 + 0,023X_2$.

Interpretasi:

1. $\beta_1 = 0,046$; Jika hasil uji *hammer test* naik 1 Mpa maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0,046 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *UPV* dianggap konstan.
2. $\beta_2 = 0,023$; Jika hasil uji *UPV test* naik 1 m/s maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0.023 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *Hammer* dianggap konstan.

4) Analisa *software* IBM SPSS terhadap benda uji silinder dengan mutu beton 35 Mpa

Tabel 4.23

Model Summary Untuk Benda Uji Silinder 35 Mpa

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,087 ^a	,008	-,323	2,93337999	,008	,023	2	6	,977

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.23 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,008 artinya sebesar 0,8%. variasi variabel *dependent* Y (*Compressive test*) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 , sedangkan sisanya sebesar 99,2% dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 4.24

Koefisien Alat Uji Untuk Benda Uji Silinder 35 Mpa

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-4,708	138,731		-,034	,974
<i>hammer test</i>	,051	,427	,053	,119	,909
<i>UPV test</i>	,006	,030	,093	,211	,840

Sumber : Hasil Penelitian

Dari tabel 4.24 diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu UPV. Nilai masing-masing koefisien penduga β sehingga model regresi linier berganda terbentuk adalah : $Y = -4,708 + 0,051X_1 + 0,006X_2$

Interpretasi :

1. $\beta_1 = 0,051$; Jika hasil uji *hammer test* naik 1 Mpa maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0,051 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *UPV* dianggap konstan.
2. $\beta_2 = 0,006$; Jika hasil uji *UPV test* naik 1 m/s maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0.006 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *Hammer* dianggap konstan.

5) Analisa software IBM SPSS terhadap benda uji silinder dengan gabungan mutu beton

Tabel 4.25

Model Summary Untuk Benda Uji Silinder Gabungan

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,848 ^a	,719	,702	3,63201080	,719	42,299	2	33	,000

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.25 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,719 artinya sebesar 71,9 %. variasi variabel *dependent* Y (*Compressive test*) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 , sedangkan sisanya sebesar 28,1 % dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 4.26

Koefisien Alat Uji Untuk Benda Uji Silinder Gabungan

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-80,142	28,425		-2,819	,008
hammer test	,340	,138	,401	2,468	,019
UPV test	,021	,007	,487	3,002	,005

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.26 diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu UPV. Nilai masing-masing koefisien penduga β sehingga model regresi linier berganda terbentuk adalah : $Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$.

Interpretasi:

- $\beta_1 = 0,340$; Jika hasil uji *hammer test* naik 1 Mpa maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0,340 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *UPV* dianggap konstan.
- $\beta_2 = 0,021$; Jika hasil uji *UPV test* naik 1 m/s maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0.021 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *Hammer* dianggap konstan.

4.5.3.2 Analisa Regresi dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS Pada Benda Uji Kubus

Analisa data pada benda uji berbentuk kubus menggunakan *software* IBM SPSS kali ini akan menggunakan data gabungan, yang di mana mencakup semua variasi mutu beton. Diasumsikan bahwa pembacaan pada uji kuat tekan beton merupakan variabel terikat (*dependent variable*), sedangkan pembacaan dari *hammer test* dan *UPV test* merupakan variabel bebas (*independent variable*). Berikut hasil Analisa menggunakan *software* IBM SPSS.

Tabel 4.27

Model Summary Untuk Benda Uji Kubus

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,795 ^a	,632	,527	5,200715010260410	,632	6,022	2	7	,030

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.27 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,632 artinya sebesar 63,2%. variasi variabel *dependent* Y (*Compressive test*) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 , sedangkan sisanya sebesar 36,8% dipengaruhi variabel lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 4.28

Koefisien Alat Uji Untuk Benda Uji Kubus

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-132,711	56,550		-2,347	,051
<i>hammer test</i>	,339	,260	,317	1,301	,234
<i>UPV test</i>	,033	,013	,630	2,585	,036

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.28 diketahui bahwa terdapat variabel yang pengaruhnya tidak begitu signifikan yaitu UPV. Nilai masing-masing koefisien penduga β sehingga model regresi linier berganda terbentuk adalah : $Y = -132,711 + 0,339X_1 + 0,033X_2$.

Interpretasi:

1. $\beta_1 = 0,339$; Jika hasil uji *hammer test* naik 1 Mpa maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0,339 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *UPV* dianggap konstan.

2. $\beta_2 = 0,033$; Jika hasil uji *UPV test* naik 1 m/s maka akan menaikkan nilai *Compressive Test* sebesar 0.033 Mpa dengan asumsi variabel lain yaitu hasil uji *Hammer* dianggap konstan.

Tabel 4.29

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

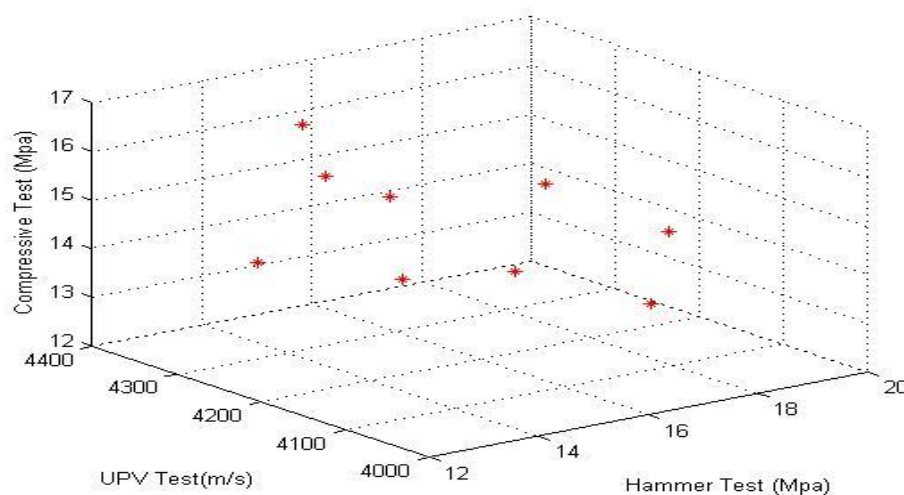
Benda Uji		Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi	Koefisien Korelasi
			R^2	R
Silinder	20 Mpa	$Y = 37,517 - 0,413X_1 - 0,004X_2$	0,486	0,679
	25 Mpa	$Y = 79,749 + 1,591X_1 - 0,021X_2$	0,635	0,797
	30 Mpa	$Y = -77,420 + 0,046X_1 + 0,023X_2$	0,066	0,257
	35 Mpa	$Y = -4,708 + 0,051X_1 + 0,006X_2$	0,008	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*

Sumber: Hasil penelitian

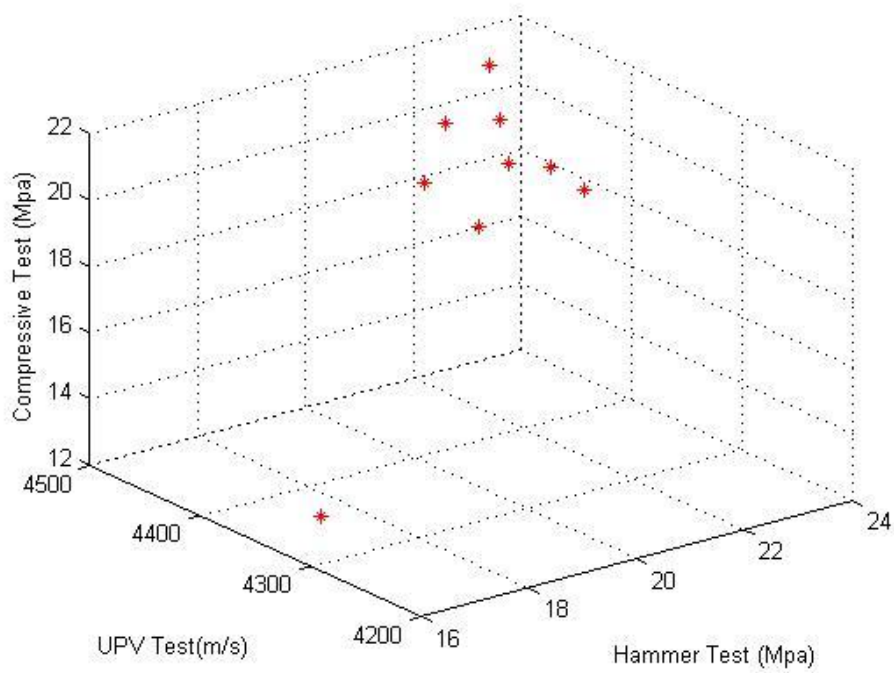
4.5.4 Grafik Hubungan Korelasi antara *Non-Destructive Test* dan *Destructive Test* dengan Menggunakan *Software* MATLAB

Pada penelitian kali ini, penggunaan software MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah untuk menganalisa dan mengkomputasi data numerik dengan memasukan data hasil penelitian pada aplikasi ini untuk menghasilkan grafik hubungan korelasi antara ketiga metode pengujian. Grafik hubungan korelasi ini akan dibedakan menjadi 5 grafik hubungan korelasi untuk benda uji berbentuk silinder dan 1 grafik hubungan korelasi untuk benda uji berbentuk kubus. Berikut grafik hubungan korelasi antara *non-destructive test* dan *destructive test* dengan menggunakan *software* MATLAB:

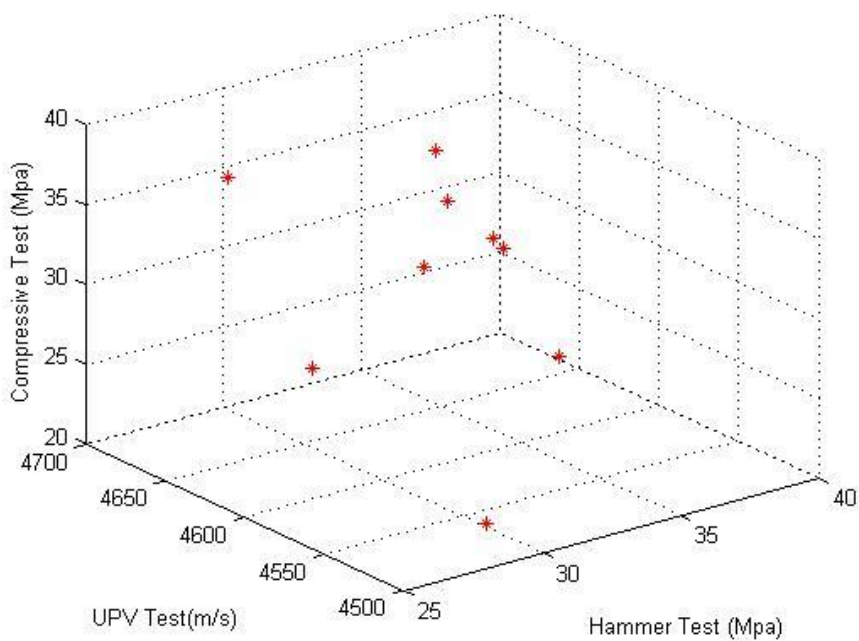


Gambar 4.18 Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 20 Mpa

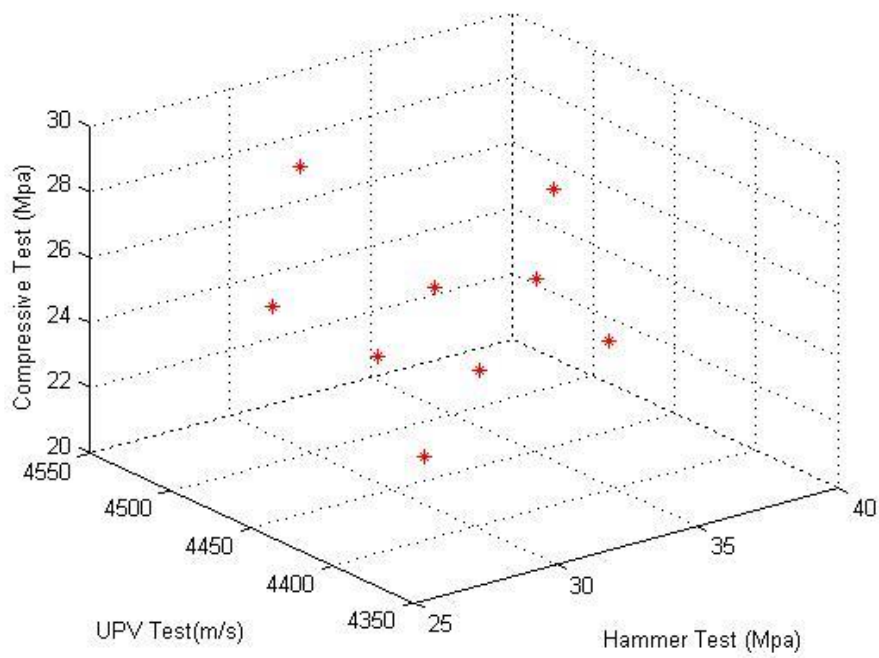
Sumber: Hasil Penelitian



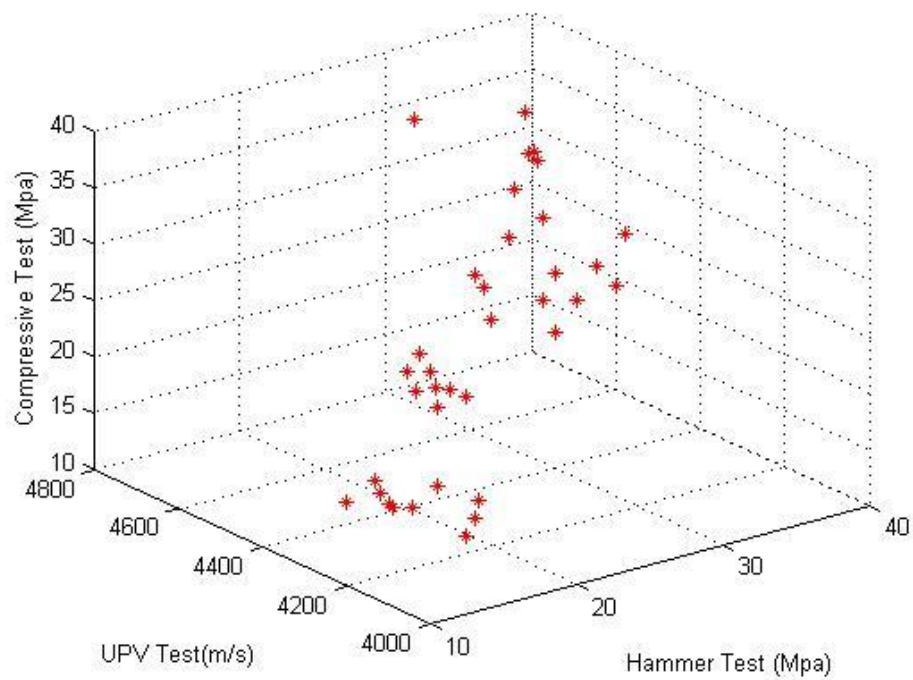
Gambar 4.19 Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 25 Mpa
Sumber: Hasil penelitian



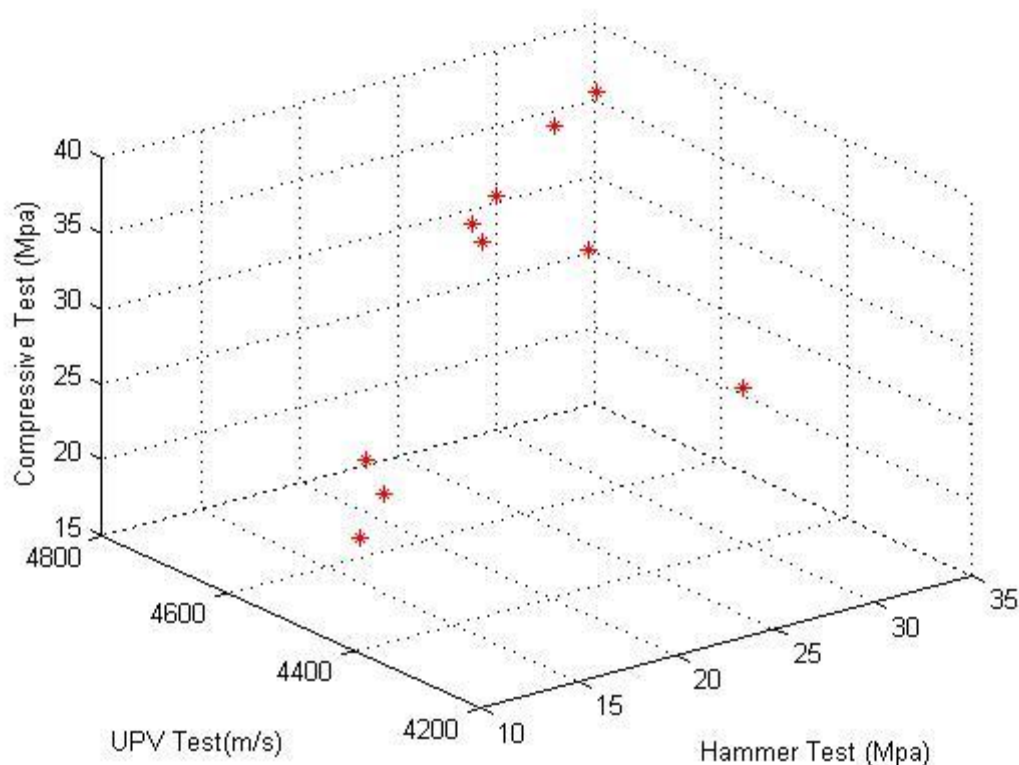
Gambar 4.20 Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 30 Mpa
Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.21 Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder 35 Mpa
Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.22 Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji silinder variasi mutu beton gabungan
Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.23 Grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan variasi mutu beton gabungan

Sumber: Hasil penelitian

Secara keseluruhan grafik hubungan korelasi nilai kuat tekan beton yang diperoleh menunjukkan bahwa pendekatan dari nilai kuat tekan beton dengan pengujian *non-destructive test* dan pengujian *destructive test* ini tidak memiliki pendekatan yang signifikan. Hal ini ditunjukkan juga pada tabel 4.29 di mana nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang diperoleh dari analisa korelasi dan regresi menggunakan software IBM SPSS sebagian besar berkisar antara 40% sampai 70% yang artinya variasi variabel *dependent Y* (*Compressive test*) dengan 2 variabel *independent X₁* (*Hammer test*) dan *X₂* (*UPV Test*) ini memiliki hubungan yang cukup erat akan tetapi tidak terlalu kuat untuk dikatakan signifikan. Hal ini dikarenakan besarnya *range* yang terlalu jauh antara pembacaan nilai kuat tekan beton menggunakan pengujian *destructive test* (*compression test*) dengan pengujian *non-destructive test* (*hammer test* dan *UPV test*), serta terdapatnya perbedaan satuan dari data yang digunakan dalam analisa. Besarnya *range* nilai kuat tekan beton ini dapat disebabkan oleh ketidak seragamnya kerapatan yang terjadi pada material penyusun beton.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V 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

Penelitian yang dilakukan terhadap penentuan korelasi terhadap *hammer test*, *UPV test* dan *compressive test* ini masih banyak kekurangan, sehingga masih banyak hal yang perlu diteliti dan dikembangkan. Dari kesimpulan di atas maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan penelitian dan pengolahan data agar menghasilkan suatu persamaan korelasi dan metode yang sempurna pada penelitian selanjutnya. 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 lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 214.4R-03, 2003, “*Guide for Obtaining and Interpreting Compressive Strength Results*”, ACI 214 Committee Report.
- ASTM C 33/03, 2003, “*Standard Specification for Concrete Aggregates*”, Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 494/C 494M-05a, 2005, “*Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*”, Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 597, 2006, “*Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*”, Annual Books of ASTM Standard, USA.
- ASTM C 805-02, 2002, “*Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*”. Annual Books of ASTM Standard, USA.
- ASTM C 873, 2006, “*Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds*”, Annual Books of ASTM Standard, USA.
- Malhotra, V. M. and Carrette, G., 1980, “*Comparison of Pullout Strength of Concrete with Compressive Strength of Cylinders and Cores, Pulse Velocity, and Re-bound Number*”, ACI Journal Proceedings, Vol. 77, no. 3, pp. 161-170.
- Malhotra, V. M., 1977, “*Contract Strength Requirements – Cores Versus In Situ Evaluation*”, ACI Journal Proceedings, Vol. 73, no. 11, pp. 163-172.
- Malhotra, V.M. & Carino, N.J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. Boca Raton: CRC Press.
- 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 Tes-ters 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.