

TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN
PENGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT HALUS DENGAN PENAMBAHAN *SILICA
FUME* DAN *SUPERPLASTICIZER*
(*CHARACTERISTICS OF HIGH STRENGTH
CONCRETE USING IRON SAND AS A REPLACEMENT
OF FINE AGGREGATE ADDED WITH SILICA FUME
AND SUPERPLASTICIZER*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**BANGKIT ARYOPUTRO FIRJATULLAH
16511079**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN
PENGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT HALUS DENGAN PENAMBAHAN *SILICA
FUME* DAN *SUPERPLASTICIZER*
(*CHARACTERISTICS OF HIGH STRENGTH
CONCRETE USING IRON SAND AS A REPLACEMENT
OF FINE AGGREGATE ADDED WITH SILICA FUME
AND SUPERPLASTICIZER*)**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil



**BANGKIT ARYOPUTRO FIRJATULLAH
16511079**

Disetujui:

Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mochamad Teguh', is written over a horizontal line.

Prof. Ir. Mochamad Teguh., MSCE., Ph.D.
Tanggal:

TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN PENGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS DENGAN PENAMBAHAN *SILICA FUME* DAN *SUPERPLASTICIZER* (*CHARACTERISTICS OF HIGH STRENGTH CONCRETE USING IRON SAND AS A REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE ADDED WITH SILICA FUME AND SUPERPLASTICIZER*)

Disusun oleh

**Bangkit Aryoputro Firjatullah
16511079**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada tanggal 03 Novemeber 2021

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



Prof. Ir. M. Teguh, MSCE., Ph.D.
NIP: 785110201

Penguji I



Ir. Suharyatma, M.T.
NIP: 865110201

Penguji II



Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIP: 205111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 3 November 2021

Penulis,



Bangkit Aryoputro Firjatullah

(16511079)

KATA PENGANTAR

Puji syukur disampaikan kepada Allah SWT, sehingga dapat diselesaikan tugas akhir yang berjudul *Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Penggunaan Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus dengan Penambahan Silica Fume dan Superplasticizer*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusunan tugas akhir ini memiliki banyak hambatan dan pelajaran yang ditemui, namun berkat kritik dan saran dari berbagai pihak, alhamdulillah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, ucapan terima kasih sedalam-dalamnya disampaikan kepada:

1. Prof. Ir. Mochamad Teguh., MSCE., Ph.D. selaku dosen pembimbing,
2. Ir. Suharyatma., M.T. dan Elvis Saputra., S.T., M.T. selaku dosen penguji,
3. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku ketua program studi jurusan Teknik Sipil FTSP UII,
4. Bapak H. Saryono, Ibu Hj. Endah Dwi Leksani dan segenap keluarga besar yang telah mengorbankan begitu banyak hal baik berupa materil maupun non-materiil sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
5. Bapak-Ibu dosen pengajar di Program Studi Teknik Sipil UII yang telah memberikan ilmu yang manfaat serta barokah kepada semua mahasiswa/i.

Pada akhirnya, diharapkan tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak yang membacanya dan dapat dikembangkan juga oleh pembaca agar ilmu pengetahuan mengenai judul ini bisa semakin berkembang.

Yogyakarta, Oktober 2021

Penulis,

Bangkit Aryoputro Firjatullah

(16511079)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Beton	10
3.2 Material Penyusun Beton	10
3.2.1 Agregat Kasar	10
3.2.2 Agregat Halus	13
3.2.3 Semen <i>Portland</i>	17
3.2.4 <i>Silica Fume</i>	18
3.2.5 <i>Superplasticizer</i>	19
3.2.6 Air	21
3.3 Desain Campuran Beton Mutu Tinggi	21
3.4 Pengujian <i>Slump</i>	24

3.5 Perawatan Benda Uji	25
3.6 Kuat Tekan Beton	26
3.7 Kuat Tarik Beton	27
3.8 Modulus Elastisitas Beton	28
BAB IV METODE PENELITIAN	31
4.1 Umum	31
4.2 Data Penelitian	32
4.2.1 Komponen Penyusun Beton	32
4.2.2 Peralatan yang Digunakan	33
4.3 Tahapan Penelitian	33
4.3.1 Pengujian Agregat Kasar	34
4.3.2 Pengujian Agregat Halus	35
4.3.3 Pembuatan Benda Uji	35
4.3.4 Pengujian Karakteristik Beton	37
4.4 Lokasi Penelitian	39
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	42
5.1 Pengujian Agregat	42
5.1.1 Agregat Kasar	42
5.1.2 Agregat Halus	45
5.2 Perencanaan Campuran Beton	49
5.2.1 Menentukan Data Awal <i>Mix-Design</i>	49
5.2.2 Menghitung Komposisi Campuran	50
5.2.3 Variasi campuran dengan <i>silica fume</i> dan pasir besi	52
5.3 Pengujian Nilai <i>Slump</i> dan Data Beton	54
5.4 Pengujian Kuat Tekan Beton	56
5.4.1 Hasil pengujian kuat tekan	56
5.4.2 Pembahasan kuat tekan	58
5.4.3 Validasi hasil kuat tekan	61
5.5 Pengujian Kuat Tarik Beton	65
5.5.1 Hasil pengujian kuat tarik	65
5.5.2 Pembahasan kuat tarik	67
5.5.3 Validasi hasil kuat tarik	70

5.6 Pengujian Modulus Elastisitas Beton	74
5.6.1 Hasil pengujian modulus elastisitas	74
5.6.2 Pembahasan modulus elastisitas	77
5.6.3 Validasi hasil modulus elastisitas	80
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	85
6.1 Kesimpulan	85
6.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	xiv
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerucut Abrams	25
Gambar 3.2 Kurva Tegangan-Regangan Beton	28
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	40
Gambar 5.1 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat kasar	44
Gambar 5.2 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat halus	48
Gambar 5.3 <i>Slump</i> beton	55
Gambar 5.4 Grafik komparasi kuat tekan beton N-00 dengan beton V-01	58
Gambar 5.5 Grafik komparasi kuat tekan beton N-00 dengan beton V-02	59
Gambar 5.6 Grafik komparasi kuat tekan beton N-00 dengan beton V-03	59
Gambar 5.7 Grafik hubungan kuat tekan beton normal dan pasir besi	60
Gambar 5.8 Grafik komparasi kuat tarik beton N-00 dengan beton V-01	67
Gambar 5.9 Grafik komparasi kuat tarik beton N-00 dengan beton V-02	68
Gambar 5.10 Grafik komparasi kuat tarik beton N-00 dengan beton V-03	68
Gambar 5.11 Kondisi benda uji setelah rusak	69
Gambar 5.12 Grafik hubungan kuat tarik beton pada variasi benda uji beton normal dan pasir besi	70
Gambar 5.13 Grafik hubungan tegangan-regangan beton	77
Gambar 5.14 Hasil perhitungan modulus elastisitas	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilaksanakan	8
Tabel 3.1 Manfaat penggunaan <i>silica fume</i> pada campuran beton	19
Tabel 3.2 Karakteristik Sika <i>Viscocrete</i> 1003	20
Tabel 3.3 Fraksi volume agregat kasar yang disarankan	22
Tabel 3.4 Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara beton segar berdasarkan pasir dengan 35% rongga udara	23
Tabel 3.5 Rasio W(c+p) maksimum disarankan dengan <i>Superplasticizer</i>	24
Tabel 3.6 <i>Workability</i> nilai <i>slump</i> pada beton tanpa zat tambah	25
Tabel 4.1 Material penyusun campuran beton	32
Tabel 4.2 Alat untuk pengujian penelitian	33
Tabel 4.3 Rincian benda uji	34
Tabel 4.4 Estimasi rencana campuran	36
Tabel 5.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pasir merapi	42
Tabel 5.2 Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar	43
Tabel 5.3 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar	45
Tabel 5.4 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pasir merapi	46
Tabel 5.5 Hasil pengujian analisis saringan agregat halus	46
Tabel 5.6 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus	48
Tabel 5.7 Data awal <i>mix-design</i>	49
Tabel 5.8 <i>Mix-design</i> per-M ³	52
Tabel 5.9 Hasil <i>mix-design</i> kebutuhan total material per-m ³	54
Tabel 5.10 Hasil pengujian <i>slump</i>	55
Tabel 5.11 Data benda uji	55
Tabel 5.12 Hasil pengujian kuat tekan	57
Tabel 5.13 Rangkuman perbandingan nilai rata-rata kuat tekan benda uji	60
Tabel 5.14 Validasi pengujian kuat tekan dengan penelitian terdahulu	62

Tabel 5.15 Hasil pengujian kuat tarik	66
Tabel 5.16 Perkembangan kuat tarik beton pasir besi terhadap beton normal	70
Tabel 5.17 Validasi pengujian kuat tarik dengan penelitian terdahulu	71
Tabel 5.18 Analisis tegangan-regangan benda uji	75
Tabel 5.19 Interpretasi nilai koefisien korelasi	78
Tabel 5.20 Hasil perhitungan modulus elastisitas	79
Tabel 5.21 Validasi pengujian modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu	81



ABSTRAK

Kemajuan infrastruktur Indonesia perlu didukung dengan perkembangan penelitian tentang teknologi bahan konstruksi salah satunya yakni teknologi beton. Beton merupakan komponen struktur yang berperan dalam menopang beban-beban yang bekerja di atasnya. Keunggulan beton dalam memiliki kuat tekan yang tinggi menyebabkan beton terus-menerus digunakan sebagai solusi permasalahan infrastruktur. Hal tersebut juga berdampak pada eksploitasi material berskala besar dan berpeluang menghabiskan sumber daya alam jika tidak ditanggulangi dengan baik. Salah satu material yang bisa dijadikan alternatif adalah pasir besi. Pasir besi merupakan sumber daya mineral di Indonesia dengan kandungan *Magnesium* (Mg) dan memiliki karakteristik sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton, kandungan ini mampu memperbaiki ikatan antara semen dengan agregat kasar dan mampu meningkatkan kualitas beton seperti kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas nya.

Atas dasar uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik beton bermutu tinggi yang banyak digunakan pada pelaksanaan konstruksi bangunan tahan gempa. Penelitian ini menggunakan material baku untuk mencapai beton bermutu tinggi seperti air, semen, agregat kasar, agregat halus, *silica fume* dan *superplasticizer* untuk sampel beton N-00, selain itu dalam penelitian ini dibuat 3 komposisi lain dengan memanfaatkan pasir besi sebagai pengganti agregat halus untuk menentukan sejauh mana peran pasir besi dalam meningkatkan karakteristik beton mutu tinggi. Komposisi pasir besi yang digunakan dalam penelitian ini adalah V-01 (60%), V-02 (70%), V-03 (80%). Untuk mendapatkan campuran yang sesuai dengan mutu beton yang diharapkan, maka digunakan *mix-design* yang mengacu pada SNI 6468:2000.

Dari penelitian ini, didapatkan hasil kuat tekan beton optimum terletak pada benda uji V-02 dengan hasil 51,71 MPa dari nilai kuat tekan rencana (f_{cr}) = 45 MPa. Pengujian kuat tarik optimum terletak pada benda uji V-02 dengan nilai 4,13 MPa dan pengujian modulus elastisitas optimum terletak pada benda uji V-02 dengan nilai e_c sebesar 28684,37 MPa.

Kata kunci: pasir besi, *silica fume*, *superplasticizer*, beton mutu tinggi, karakteristik beton.

ABSTRACT

Indonesia's infrastructure progress needs to be supported by research on construction material technology, one of which is concrete technology. Concrete is a structural component that plays a role in supporting the loads around it. The pivotal role of concrete in having such high compressive strength causes concrete to be used as a solution for infrastructure development constantly. However, it also impacts large-scale exploitation and might have been the opportunity to run through our natural resources. One of the alternative materials that can be used is iron sand. Iron sand is a mineral resource in Indonesia with magnesium (M_g) content and has characteristics as a substitute for fine aggregate in concrete mixtures. This content could improve the bond between mortar/cement and coarse aggregate and improve concrete quality such as compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity.

Based on the description above, this research was conducted to obtain the characteristics of high-strength concrete, which is widely used in the implementation of earthquake-resistant building construction. This study uses raw materials to achieve the quality of high-strength concrete, such as water, cement, coarse aggregate, fine aggregate, silica fume, and superplasticizer for N-00 concrete samples. The composition of iron sand used in this study was V-01 (60%), V-02 (70%), V-03 (80%). A mixing method referring to SNI 6468:2000 was adopted in this research to achieve the expected concrete quality.

This research found that the optimum concrete compressive strength is in the V-02 test object with a result of 51.71 MPa from the design compressive strength (f_{cr}) = 45 MPa. Furthermore, the optimum tensile strength test is located on the V-02 test object with a value of 4.13 MPa. Finally, the optimum elasticity modulus test is located on the V-02 test object with the E_c value of 28684.37 MPa.

Keywords: *iron sand, silica fume, superplasticizer, high-strength concrete, concrete characteristic.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki tren positif dalam berkembangnya pertumbuhan ekonomi didukung oleh sumber daya alam yang melimpah dan sumber daya manusia yang semakin berkembang. Tren tersebut mengundang banyak investor untuk ikut berinvestasi di Indonesia dan menciptakan peluang hadirnya teknologi baru dari luar, serta menggerakkan usaha dan aktivitas ekonomi. Di tengah perkembangan positif tersebut, perekonomian Indonesia dihadapkan pada tantangan infrastruktur. Menurut Maryaningsih, dkk. (2014). Tingkat daya saing Indonesia masih tertinggal pada pilar infrastruktur, pilar kesiapan teknologi, dan pilar inovasi. Hasil survei Schwab (2014) menunjukkan secara spesifik kendala pilar infrastruktur bersumber dari rendahnya kualitas jalan, pelabuhan, bandara, hingga stasiun kereta api. Hasil survei yang diadakan pada tahun 2014 tersebut menempatkan Indonesia pada peringkat 37 dari 59 negara dengan titik lemah tingkat daya saing Indonesia terletak pada infrastruktur dasar, infrastruktur teknis, infrastruktur sains, infrastruktur kesehatan, lingkungan hidup, serta pendidikan.

Kemajuan infrastruktur perlu didukung dengan perkembangan penelitian tentang bahan konstruksi. Inovasi dalam mengembangkan teknologi bahan konstruksi diperlukan agar tidak terjadi eksploitasi sumber daya alam secara spesifik demi mengembangkan pilar infrastruktur saja. Teknologi beton merupakan salah satu studi konstruksi yang perlu dikembangkan melalui penelitian demi mengembangkan pilar infrastruktur.

Penelitian mengenai beton banyak dilakukan oleh peneliti di masa lampau seperti Rafii dan Hakim (2000), Gunawan dan Setiono (2010), Prahara, dkk. (2015), Haqqi (2016), Pratama (2018), Rochmawati dan Widiati (2019), dan lain-lain. Penelitian yang dilakukan membahas tentang upaya meningkatkan mutu beton melalui kombinasi campuran dengan material yang memiliki karakteristik untuk

mendukung dan memperkuat mutu beton. Salah satu material yang telah diteliti adalah pasir besi dan diantara sekian banyak penelitian tersebut masih sedikit yang menyinggung bagaimana karakteristik pasir besi jika direncanakan dalam campuran beton mutu tinggi. Topik yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pasir besi sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton mutu tinggi.

Pasir besi terdiri dari mineral *opak* yang bercampur dengan butiran-butiran non-logam seperti *kuarsa*, *kalsit*, *feldspar*, *amphibole*, *piroksen*, *biotit*, dan *tourmaline*. Kandungan besi yang terdapat pada endapan pasir utama adalah mineral tetanomagnetik dan terdiri dari butir-butir pasir dengan diameter antara 0,074 - 0,075 mm (butiran halus), dan 3-5 mm (butiran kasar). Pasir ini mempunyai kandungan Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO yang mempunyai karakteristik untuk digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam memproduksi beton bermutu tinggi. Menurut Pratama (2018) karakteristik beton dapat ditingkatkan secara optimal dengan melakukan substitusi pasir besi sebagai agregat halus dengan komposisi material 80%. Kuat tekan yang dihasilkan mampu mencapai 32,942 MPa dari kuat tekan rencana 25 MPa.

Dalam penelitian kali ini, diterapkan 3 jenis variasi campuran pasir besi yakni 60%, 70%, dan 80%, serta 1 variasi kontrol (0%). Variasi tersebut menggambarkan seberapa banyak substitusi pasir besi terhadap agregat halus dalam suatu *mix-design*. Nilai kuat tekan yang direncanakan (f_{cr}) = 45 MPa pada tiap *mix-design* dengan penambahan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer*. Penggunaan *silica fume* dalam campuran bermaksud untuk menutupi partikel kulit agregat kasar dan meningkatkan mutu beton, sedangkan *superplasticizer* berfungsi memberikan efek *high water reducing*, karena tingginya nilai f_{cr} beton berbanding lurus dengan pengurangan faktor air semen (FAS). *Superplasticizer* juga memberi dampak positif pada campuran dengan FAS yang kecil agar meningkatkan kelecakan dan *workability* dari campuran beton tersebut sehingga tidak menimbulkan permasalahan pada proses pemadatan seperti hasil beton yang keropos dan tidak *homogen*. Pembahasan mengenai pasir besi, *silica fume*, dan *superplasticizer* akan dibahas lebih jauh pada Bab III.

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan *mix-design* optimum dalam menghasilkan beton berkualitas yang dapat diimplementasikan pada infrastruktur dengan kategori risiko tinggi terhadap jiwa manusia. Selain itu, penelitian ini juga dapat berkembang kedepannya karena pasir besi diproduksi secara massal sebagai bahan dasar industri besi dan baja, sehingga penelitian tentang pasir besi dapat terus berkelanjutan, dan turut memajukan perkembangan infrastruktur Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapa persen komposisi pasir besi sebagai pengganti agregat halus yang paling optimum pada campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dalam pengujian kuat tekan?
2. Berapa persen komposisi pasir besi sebagai pengganti agregat halus yang paling optimum pada campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dalam pengujian kuat tarik?
3. Berapa persen komposisi pasir besi sebagai pengganti agregat halus yang paling optimum pada campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dalam pengujian modulus elastisitas?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yakni sebagai berikut.

1. Menentukan persen komposisi pasir besi sebagai pengganti agregat halus yang paling optimum pada campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dalam pengujian kuat tekan.
2. Menentukan persen komposisi pasir besi sebagai pengganti agregat halus yang paling optimum pada campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dalam pengujian kuat tarik.

3. Menentukan persen komposisi pasir besi sebagai pengganti agregat halus yang paling optimum pada campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dalam pengujian modulus elastisitas.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menentukan komposisi optimum material pasir besi pada beton mutu tinggi dengan penambahan *silica fume* dan *superplasticizer*,
2. Memberikan referensi mengenai pasir besi sebagai pengganti agregat halus dengan penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* dalam campuran beton mutu tinggi,
3. Menambah referensi dan masukan untuk pembaca tentang campuran beton mutu tinggi dengan acuan SNI 6468:2000.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan-batasan yang dipengaruhi oleh metode dan perlengkapan. Batasan-batasan yang dipakai yakni sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana adalah beton mutu tinggi dengan nilai $f'_c = 45$ MPa,
2. Semen yang digunakan adalah semen *portland* Merk Tiga Roda,
3. Agregat kasar diambil dari batuan Merapi dengan ukuran maksimal 20 mm,
4. Agregat halus pasir biasa diambil dari pasir Merapi dengan ukuran lebih kecil dari 4,75 mm,
5. Agregat halus pasir besi menggunakan pasir yang sudah disaring dengan kualitas *mesh* 80,
6. Variabel tetap sebagai berikut: semen, persentase penggunaan *silica fume*, *superplasticizer*, agregat kasar, dan air dengan FAS maksimal senilai 0.35,
7. Variabel bebas sebagai berikut: agregat halus, persentase penggunaan pasir besi (sebesar 0%, 60%, 70%, dan 80%, dari total berat agregat halus),
8. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter (d) 15 cm dan tinggi (t) 30 cm,

9. Metode perencanaan campuran beton menggunakan standar SNI 6468:2000 (proporsi campuran dasar dengan semen portland saja),
10. Bahan tambah yang dipakai menggunakan produk dari PT. Sika Indonesia yaitu Sikafume (*silica fume*) sebanyak 10% dari berat semen, dan Sika Viscocrete 1003 (*superplasticizer*) sebanyak 0,9% dari berat semen,
11. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII,
12. Pengujian dilakukan pada benda uji berumur 28 hari,
13. Alat pengujian menggunakan *Compressing Testing Machine (CTM)* dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII,
14. Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam benda uji ke dalam air,
15. Tidak melakukan analisis biaya,
16. Tidak melakukan pembahasan mengenai kandungan pasir besi,
17. Metode pemadatan yang digunakan adalah pemadatan manual dengan menggunakan tongkat pematat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Seperti yang dijelaskan di SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air (dengan atau tanpa bahan tambah/*admixture*). Kelebihan yang dimiliki beton antara lain seperti harga yang relatif murah, lebih awet terhadap kondisi lingkungan, biaya perawatan murah, *workability* jauh lebih mudah, memiliki kuat tekan yang tinggi dan jika dikombinasikan dengan baja tulangan bisa menghasilkan kuat tarik yang tinggi (Tjokromuljo, 2007).

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pasir besi dan substitusi agregat material lain pada beton sudah pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut dapat dijadikan referensi dalam menyempurnakan penelitian ini. Berikut dijelaskan penelitian pasir besi yang pernah dilakukan dan perbedaannya terhadap penelitian ini pada Tabel 2.1.

1. Pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada beton normal terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas.

Penelitian ini dilakukan oleh Soelarso, dkk 2016 dengan merencanakan beton normal. Kuat tekan yang ditargetkan adalah 25 MPa, menggunakan slump 30-60 mm serta menggunakan semen tipe PCC. Penggunaan komposisi material agregat limbah dalam penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100 % dari berat total agregat alami dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Jumlah benda uji 48 buah (3 benda uji untuk setiap umur pengujian dan komposisi material). Lalu hasil kuat tekan dan modulus elastisitas akan dibandingkan dengan nilai teoritis.

2. Permeabilitas beton dengan penggantian pasir biasa menggunakan pasir besi dan pasir silika.

Dalam penelitian eksperimental ini, dilakukan pengujian benda uji permeabilitas sebanyak 24 buah dengan sampel silinder ukuran \varnothing 150 mm dan tinggi 200 mm. Komposisi material yang diuji oleh Haqqi (2016) berupa pasir silika dan pasir besi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Masing-masing variasi terdiri dari 2 benda uji. Permeabilitas beton diuji pada umur 28 hari.

3. Pengaruh pasir besi sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton.

Standar acuan yang digunakan Pratama (2018) untuk perencanaan campuran beton di penelitian ini menggunakan standar SNI 2834:2000. Kuat tekan yang direncanakan sebesar 25 MPa dengan komposisi material pasir besi sebesar 0%, 60%, 70%, 80% dan 90%. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik beton dari pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan penyerapan air beton dengan benda uji silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm).

4. Pengaruh gradasi seragam polietilen tereftalate sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik beton normal.

Penelitian yang dilakukan Wicaksono (2019) bertujuan untuk menguji penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada bahan penyusun beton normal dengan kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Komposisi material PET yang digunakan sebesar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus menggunakan standar SNI 2834:2000 menggunakan beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik beton berupa berat volume, penyerapan air, kuat tarik belah beton, kuat tekan beton, modulus elastisitas beton dengan benda uji silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm).

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilaksanakan

No	Peneliti	Substansi isi	
		Penelitian terdahulu	Penelitian sekarang
1	Soelarso, dkk. (2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian dilakukan dengan membandingkan material limbah beton sebagai pengganti agregat kasar 2. Komposisi material limbah beton sebagai pengganti agregat kasar sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% 3. Mutu beton yang direncanakan sebesar 20 MPa (beton normal) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan material pasir besi sebagai pengganti agregat halus 2. Komposisi material pasir besi yang digunakan sebesar 0%, 60%, 70%, dan 80% dari total berat agregat halus di adukan <i>mix-design</i> per/m³ 3. Mutu beton yang direncanakan sebesar 45 MPa (beton mutu tinggi)
2	Haqqi (2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pasir besi dan pasir silika 2. Jenis benda uji yang digunakan ada 2 yakni diameter 150 mm dan 200 mm 3. Pasir besi dan pasir silika digunakan dalam permeabilitas beton 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pasir besi 2. Jenis benda uji yang digunakan berdiameter 150 mm 3. Pasir besi digunakan dalam pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas

Lanjutan Tabel 2.1 Lanjutan perbedaan Penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilaksanakan

No	Peneliti	Substansi isi	
		Penelitian terdahulu	Penelitian sekarang
3	Pratama (2018)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pasir besi dalam penelitian ini digunakan untuk pengujian kuat tarik dan kuat tekan 2. Pasir besi hanya disubstitusi dengan agregat halus tanpa bahan tambah lain 3. Mutu beton yang direncanakan sebesar 25 MPa (beton normal) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pasir besi dalam penelitian ini digunakan untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas 2. Pasir besi disubstitusi dengan agregat halus dengan penambahan <i>silica fume</i> dan <i>superplasticizer</i> dalam <i>mix-design</i> 3. Mutu beton yang direncanakan sebesar 45 MPa (beton mutu tinggi)
4	Wicaksono (2019)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material yang digunakan sebagai pengganti agregat halus adalah PET 2. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kadar optimal dan hasil keseluruhan karakteristik beton 3. Standar yang digunakan berasal dari SNI 2834:2000 tentang campuran beton normal 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material yang digunakan sebagai pengganti agregat halus adalah pasir besi 2. Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan kadar optimal dari penelitian terdahulu dan diimplementasikan dalam beton mutu tinggi 3. Standar yang digunakan berasal dari SNI 6468:2000 tentang perencanaan campuran tinggi semen <i>portland</i> dengan abu terbang

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton Mutu Tinggi

Menurut SNI 2834:2000, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah yang membentuk massa padat. Satuan beton dinyatakan dalam *megapascal* (MPa). Ketika campuran beton akan direncanakan, perlu adanya penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) dan pemilihan agregat. Penetapan tersebut dijadikan sebagai pembeda mutu beton masuk dalam kategori beton normal, beton ringan, atau beton mutu tinggi.

Beton mutu tinggi seperti yang disebutkan dalam SNI 6468:2000, merupakan beton dengan kuat tekan sebesar $f'c > 41,4$ MPa. Dalam merencanakan beton mutu tinggi dengan proporsi campuran yang optimum, perlu dipertimbangkan karakteristik semen *portland*, kualitas agregat, proporsi pasta, interaksi agregat-pasta, macam dan jumlah bahan tambah, dan pengadukan di lapangan.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, dan selebihnya agregat halus dan agregat kasar berupa pasir dan kerikil. Kuat tekan beton akan dicapai seiring dengan umur rencana yang mencapai 28 hari atau lebih. Sifat yang akan dimiliki campuran tersebut berbeda-beda setelah mengeras tergantung pada cara pembuatannya seperti kadar campuran, cetakan, metode, dan lain sebagainya. Bahan campuran beton dalam penelitian ini dijelaskan lebih rinci pada sub-bab berikutnya.

3.2.1 Agregat Kasar

Menurut SNI 1969:2008, agregat kasar adalah kerikil hasil disintegrasi alami batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan

mempunyai ukuran butir antara 20 mm hingga 4,75 mm. Agregat kasar difungsikan sebagai bahan pengisi sebagian besar volume beton dan berperan dalam meningkatkan stabilitas volume, keawetan, serta kekuatan beton.

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F (1989), persyaratan umum agregat kasar untuk dapat digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar berasal dari batuan alami/ batu pecah hasil industri pemecah batu,
2. Agregat kasar merupakan butir kerikil keras yang tidak memiliki pori, serta tidak pecah/hancur oleh pengaruh cuaca,
3. Tidak mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti alkali, dan sebagainya,
4. Ukuran butir maksimum tidak melebihi 1/5 jarak terkecil antara bidang samping cetakan, 1/3 plat beton, dan 3/4 jarak bersih tulangan.

Ketentuan tersebut perlu dipenuhi agar agregat kasar yang dihasilkan dapat memenuhi standar perencanaan campuran beton mutu tinggi. Dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, perlu diperhitungkan nilai berat jenis curah jenuh kering permukaan, berat jenis curah kering oven, berat jenis semu, dan penyerapan air.

Berat jenis curah merupakan suatu parameter untuk dapat menghitung volume yang diisi oleh agregat dalam campuran beton maupun campuran lainnya berdasarkan volume absolut. Berikut ini dijelaskan proses perhitungan dalam pengujian yang akan dilakukan pada penelitian.

1. Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)

Kondisi ini digunakan apabila kerikil dalam keadaan basah, yaitu keadaan dimana agregat dalam kondisi penyerapannya sudah terpenuhi. Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat terhadap berat air suling bebas gelembung pada volume yang sama. Perhitungan yang dilakukan pada berat jenis curah jenuh kering permukaan dilakukan pada suhu air 23 °C dengan persamaan berikut.

$$\text{Berat jenis curah jenuh kering permukaan} = \frac{B}{(B-C)} \quad (3.1)$$

Keterangan:

B= berat benda uji kondisi SSD di udara (gr),

C= berat benda uji dalam air (gr).

2. Berat jenis curah kering oven (S_d)

Kondisi ini digunakan ketika kerikil dalam keadaan kering atau diasumsikan kering. Berat jenis curah kering oven merupakan perbandingan antara berat satuan volume agregat terhadap berat dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suhu tertentu. Perhitungan berat jenis curah kering oven dilakukan pada suhu air dan agregat $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan persamaan berikut.

$$\text{Berat jenis curah kering oven} = \frac{A}{(B-C)} \quad (3.2)$$

Keterangan:

A= berat benda uji kering oven (gr).

B= berat benda uji kondisi SSD di udara (gr),

C= berat benda uji dalam air (gr).

3. Berat jenis semu

Berat jenis semu (*apparent*) adalah kepadatan relatif bahan yang membuat partikel pokok dapat dimasuki air. Perbandingan antara berat satuan volume bagian kerikil yang impermiabel terhadap air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis semu diperhitungkan pada suhu air dan agregat sebesar $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \quad (3.3)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gr),

C = berat benda uji dalam air (gr).

4. Penyerapan air

Penyerapan air dalam pengujian agregat kasar merupakan penambahan berat kerikil dikarenakan proses air yang meresap ke dalam pori dan proses tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering. Suatu agregat dapat dinyatakan kering ketika telah dipanaskan dalam suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ dalam rentang waktu

yang cukup untuk menghilangkan kandungan air yang ada. Persentase penyerapan air diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{(B-A)}{A} \right] \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gr),

B = berat benda uji kondisi SSD di udara (gr).

5. Analisis saringan

Analisis saringan merupakan pengelompokan ukuran butir agregat kasar ditinjau berdasarkan nomor saringan bertujuan untuk mendapatkan gradasi agregat sehingga dapat menghasilkan beton dengan perencanaan ukuran yang sesuai dengan perencanaan. Berikut persamaan yang digunakan.

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.5)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\Sigma (\% \text{ kumulatif}) - 100}{100} \quad (3.6)$$

Keterangan:

a = berat agregat kasar SSD sebelum diayak (gram),

b = berat agregat kasar SSD setelah diayak (gram),

$\Sigma (\% \text{ kumulatif})$ = berat tertinggal kumulatif (%).

6. Pengujian berat volume padat

Berat volume padat adalah nilai indeks dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi padat. Berikut persamaan yang digunakan.

$$\text{Berat isi} = \frac{W}{\text{volume}} \quad (3.7)$$

Keterangan:

W = berat agregat (gram),

volume = volume silinder yang digunakan (cm^3).

3.2.2 Agregat Halus

Berdasarkan SNI 1970:2008, agregat halus merupakan pasir hasil disintegrasi batuan dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (saringan No. 4). Agregat halus difungsikan untuk membantu semen dalam merekatkan agregat kasar,

mendukung *workability*, dan mencegah terjadinya segregasi antara pasta semen dengan agregat kasar. Agregat halus memiliki persyaratan umum untuk digunakan dalam campuran beton yakni sebagai berikut:

1. Agregat terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat kering.
3. Butir-butir halus memiliki sifat yang tidak mudah pecah/hancur oleh pengaruh cuaca.

Agregat halus dalam penelitian ini adalah pasir Gunung Merapi dan pasir besi. Sama seperti agregat kasar, nilai berat jenis curah jenuh permukaan, berat jenis curah kering oven, berat jenis semu, penyerapan air dalam pengujian agregat halus juga perlu diperhitungkan, selain itu persamaan yang dipakai untuk mencari nilai-nilai tersebut berbeda karena agregat halus memiliki ukuran butir yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan agregat kasar. Berikut ini dijelaskan proses perhitungan dalam pengujian yang akan dilakukan pada penelitian.

1. Berat jenuh kering permukaan

Kondisi ini digunakan apabila pasir dalam keadaan basah, yaitu keadaan apabila agregat dalam kondisi penyerapannya sudah terpenuhi. Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat terhadap berat air suling bebas gelembung pada volume yang sama. Perhitungan yang dilakukan pada berat jenis curah jenuh kering permukaan dilakukan pada suhu air 23°C dengan persamaan berikut.

$$\text{Berat jenuh kering permukaan} = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (3.8)$$

keterangan:

B = berat piknometer yang berisi air (gr),

C = berat piknometer dengan pasir dan air sampai batas pembacaan (gr),

S = berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (gr).

2. Berat jenis curah kering oven

Kondisi ini digunakan ketika pasir dalam keadaan kering atau diasumsikan kering. Berat jenis curah kering oven merupakan perbandingan antara berat

satuan volume agregat terhadap berat dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suhu tertentu. Perhitungan berat jenis curah kering oven dilakukan pada suhu air dan agregat 23°C dengan persamaan berikut.

$$\text{Berat jenis curah kering oven} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.9)$$

keterangan:

A = berat pasir kering oven (gr),

B = berat piknometer yang berisi air (gr),

C = berat piknometer dengan pasir dan air sampai batas pembacaan (gr),

S = berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (gr),

3. Berat jenis semu

Berat jenis semu (*apparent*) adalah kepadatan relatif bahan yang membuat partikel pokok dapat dimasuki air. Perbandingan antara berat satuan volume bagian pasir yang impermiabel terhadap air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis semu diperhitungkan pada suhu air dan agregat sebesar 23°C menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (3.10)$$

keterangan:

A = berat pasir kering oven (gr),

B = berat piknometer yang berisi air (gr),

C = berat piknometer dengan pasir dan air sampai batas pembacaan (gr),

4. Penyerapan air

Penyerapan air dalam pengujian agregat kasar merupakan penambahan berat pasir dikarenakan proses air yang meresap ke dalam pori-pori dan proses tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering. Suatu agregat dapat dinyatakan kering ketika telah dipanaskan dalam suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan kandungan air yang ada. Persentase penyerapan air diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.11)$$

keterangan:

A = berat pasir kering oven (gr),

S = berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (gr),

5. Analisis saringan

Analisis saringan merupakan pengelompokan ukuran butir agregat halus ditinjau berdasarkan nomor saringan bertujuan untuk mendapatkan gradasi agregat sehingga dapat menghasilkan beton dengan perencanaan ukuran yang sesuai dengan perencanaan. Berikut persamaan yang digunakan.

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.12)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\Sigma (\% \text{ kumulatif}) - 100}{100} \quad (3.13)$$

keterangan:

a = berat pasir SSD sebelum diayak (gram),

b = berat pasir SSD setelah diayak (gram),

$\Sigma (\% \text{ kumulatif})$ = berat tertinggal kumulatif (%).

6. Pengujian berat volume padat

Berat volume padat adalah nilai indeks dari massa agregat halus per satuan volume dalam kondisi padat. Sementara kebalikannya. Berikut persamaan yang digunakan.

$$\text{Berat isi} = \frac{W}{\text{volume}} \quad (3.14)$$

keterangan:

W = berat agregat (gram),

volume = volume silinder yang digunakan (cm^3).

7. Pengujian lolos saringan No. 200

Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/pasir dan sejenisnya yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dalam pencucian di air. Bertujuan menentukan persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi bangunan. Berikut persamaan yang digunakan.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{S-E}{S} \times 100\% \quad (3.15)$$

keterangan:

S = berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (gr),

E = berat pasir kering oven (gr).

Agregat halus dalam penelitian ini ada dua macam yakni sebagai berikut.

1. Pasir Biasa

Agregat halus ini merupakan bahan yang biasa dipakai dalam proyek konstruksi berupa produk pasir hasil disintegrasi alami maupun hasil dari pabrik pemecah agregat.

2. Pasir Besi

Menurut Hilman, dkk (2014) pasir besi merupakan endapan pasir dengan kandungan mineral yang terdapat di sepanjang pantai. Pasir ini dibentuk dari proses penghancuran oleh cuaca terhadap bebatuan mineral besi yang kemudian terakumulasi serta tercuci oleh gelombang air laut. Pasir besi umumnya tersebar di sepanjang pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa dan Bali, pantai Sulawesi, Nusa Tenggara Timur, Maluku dan pantai utara Papua.

Pasir Besi di Indonesia merupakan salah satu hasil sumber daya alam pokok industri besi, baja dan pabrik keramik. Selain itu pasir besi juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku campuran beton. Pasir ini mempunyai kandungan Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO yang memiliki karakteristik untuk digunakan sebagai pengganti agregat dalam memproduksi beton berkinerja tinggi.

Pasir besi memiliki potensi dalam campuran beton karena pasir ini berpengaruh dalam memperbaiki ikatan semen dengan agregat kasar. Kandungan *magnesium* yang kecil dapat menyebabkan pemekaran (*efflorance*) dimana gejala ini bisa muncul dalam beton bila senyawa tersebut terikat air pada masa pertumbuhan kekuatan beton seiring bertambahnya umur beton. Pasir yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari toko Satar Unggul Nusa Dua, Bekasi dengan kualitas *mesh* 80.

3.2.3 Semen *Portland*

Semen *Portland* ditemukan oleh Joseph Aspdin pada tahun 1824, merupakan bahan pengikat hidrolis dari hasil reaksi kimia yang mengikat sifat adhesi dan kohesi bila diberi air. Dinamakan *Portland* karena awalnya produk yang dihasilkan mempunyai warna yang mirip dengan tanah liat alam di Pulau *Portland*. Unsur *trikalsium silikat* (C3S) dan *dikalsium silikat* (C2S) merupakan bagian terbesar

(70% - 80%) dan paling dominan dalam memberi sifat semen. Proses pengerasan semen dipicu saat semen dicampur air dan menyebabkan C3S terhidrasi. Unsur C2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari sementara unsur C3A bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah *tetrakalsium aluminoforit* (C3AF), sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton (Tjokromuljo, 2007).

Semen *portland* merupakan semen yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen terutama di bagian yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain (SNI 2049:2015). Semen ini dibagi menjadi lima jenis berdasarkan penggunaannya yaitu:

1. Jenis I yaitu semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya.
2. Jenis II yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.4 *Silica Fume*

Silica fume adalah bahan dengan kandungan SiO_2 , yakni bahan berdiameter 1/100 dari diameter semen dan sangat halus. *Silica fume* mempunyai peranan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik beton. *Silica fume* dapat mengisi rongga-rongga diantara bahan semen, membuat diameter pori mengecil serta total volume pori juga berkurang. Penggunaan *silica fume* dapat memiliki keuntungan pada dua kondisi yang dijelaskan dalam Tabel 3.1:

Tabel 3.1 Manfaat penggunaan *silica fume* pada campuran beton

Proses pengikatan awal	Kondisi keras
a. Memudahkan <i>workability</i> ,	a. Meningkatkan kuat tarik,
b. Memperlama waktu pengikatan,	b. Meningkatkan kuat lentur,
c. Mengurangi <i>bleeding</i> .	c. Mengurangi permeabilitas,
	d. Meningkatkan ketahanan sulfat,
	e. Memperkecil susut dan rangkai.

Sumber: Rahady (2017)

Menurut Rahady (2019) pemanfaatan *silica fume* dalam jumlah di bawah 3% dari berat semen tidak dapat menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari kuat tekan awal beton tersebut karena jumlah *silica fume* dalam campuran tidak mencukupi untuk menutup permukaan seluruh partikel agregat kasar, sementara penggunaan *silica fume* yang menguntungkan tidak boleh lebih dari 10% dari berat semen yang digunakan, maka dalam penelitian ini persentase *silica fume* direncanakan sebesar 10% dari berat semen.

3.2.5 Superplasticizer

Produk *superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini yakni Sika *Viscocrete 1003* dari PT. Sika Indonesia. Produk *superplasticizer* ini cocok digunakan untuk campuran beton yang membutuhkan waktu transportasi dan kelecakan yang lama, dan kebutuhan pengurangan air (*high range water reducer*). Persentase penggunaan *superplasticizer* yang akan digunakan dalam penelitian ini yakni sebesar 0,9% mengikuti anjuran penggunaan yang disarankan PT. Sika Indonesia sebesar 0,9 – 1,5% dari berat total semen.

Superplasticizer buatan PT. Sika Indonesia ini memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Karakteristik Sika Viscocrete 1003

Karakteristik	Sifat
Komposisi	<i>Aqueous solution of modified polycarboxylate copolymers</i>
Warna	<i>Brownish liquid</i>
Kepadatan	1,065 ± 0,01 kg/L
<i>Storage Conditions</i>	<i>Store in dry conditions at temperature between 5°C and 30°C. Protect from direct sunlight and frost.</i>

Sumber: PT. Sika Indonesia (2018)

Berdasarkan *product datasheet* (PT. Sika Indonesia, 2018) Sika Viscocrete 1003 digunakan pada jenis-jenis beton sebagai berikut:

1. *High flow concrete*,
2. *Self-compacting concrete (SCC)*,
3. Beton dengan pengurangan air yang tinggi (30%),
4. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*),
5. *Ready-mix concrete*,
6. Beton produksi banyak (*mass concrete*),
7. Beton kedap air.

Sementara keunggulan Sika Viscocrete 1003 pada beton adalah sebagai berikut:

1. *Flowability* yang baik,
2. Kecenderungan untuk *self-compacting* yang baik,
3. Mengatasi penyusutan dan keretakan,
4. Mengatasi *bleeding* dan *segregasi*,
5. Efek pengurangan air dapat menghasilkan kelecakan yang baik dan akan memudahkan proses pemadatan,
6. Mengurangi karbonasi,
7. Meningkatkan sifat kedap air.

3.2.6 Air

Semen tidak akan mengalami proses pengikatan kimiawi tanpa air (Subakti, 1995), maka dari itu air halus selalu ada dalam campuran beton untuk memulai proses hidrasi serta melecakkan beton. Persyaratan air untuk dapat digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Air yang digunakan harus bersih dan tidak mengandung minyak, asam alkali, garam, serta zat organik lainnya yang dapat merusak beton/baja tulangan.
2. Tidak boleh mengandung klorida.
3. Air yang baik digunakan untuk campuran beton adalah air yang dapat diminum.

3.3 Desain Campuran Beton Mutu Tinggi

Desain campuran beton mutu tinggi ditujukan untuk menentukan komposisi material semen, *silica fume*, pasir, kerikil, air, *superplasticizer*, serta bahan tambah pasir besi agar campuran dapat menghasilkan mutu beton sesuai rencana. Perencanaan campuran yang dipakai mengacu pada metode SNI 6468:2000. Langkah-langkah perhitungannya dijelaskan di bawah ini.

1. Menentukan nilai *slump* dan kuat tekan rerata target

Sebelum memulai perhitungan, SNI 6468:2000 menganjurkan untuk memilih seberapa tinggi nilai *slump* yang ingin dihasilkan dalam campuran tersebut. Nilai *slump* yang dipilih akan mempengaruhi estimasi kebutuhan air dalam perhitungan *mix-design* kedepannya.

Pilihan nilai *slump*:

- a. Rendah (25-50 mm)
- b. Sedang (50-75 mm)
- c. Tinggi (75-100 mm)

Slump awal untuk beton kekuatan tinggi dengan *superplasticizer* diambil sebesar 75 – 100 mm. Selanjutnya dihitung nilai kuat tekan rerata target (f_{cr}) akan ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.16 ini.

$$f_{cr} = \frac{f'c + 9,66 \text{ MPa}}{0,9} \quad (3.16)$$

dengan:

f_{cr} = kuat tekan rerata target (MPa),

$f'c$ = kuat tekan syarat (MPa).

2. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum

Untuk kuat tekan rerata < 62,1 MPa digunakan ukuran agregat maksimum 20-25 mm. Sementara untuk kuat tekan rerata > 62,1 mm ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 10-15 mm.

3. Menentukan kadar agregat kasar optimum

Kadar agregat kasar optimum digunakan bersama-sama dengan agregat halus yang mempunyai modulus kehalusan antara 2,5-3,2. Berat agregat kasar padat kering oven per m³ beton merupakan besar fraksi volume padat kering oven dikalikan dengan berat isi padat kering oven (kg/m³). Besarnya fraksi volume agregat kasar yang disarankan diambil dari besarnya ukuran agregat maksimum. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Fraksi volume agregat kasar yang disarankan

No.	Ukuran agregat (mm)	Fraksi volume padat kering oven
1	10	0,65
2	15	0,68
3	20	0,72
4	25	0,75

Sumber: SNI (2000)

Setelah fraksi volume agregat kasar optimum didapat, kadar agregat kasar dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.17.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \text{fraksi volume agregat} \times \text{berat volume} \quad (3.17)$$

4. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara

Bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus berpengaruh pada kadar rongga udara pasir, karena itu kadar rongga udara yang aktual dan kadar air harus dikoreksi dengan persamaan 3.18 dan 3.19.

$$\text{Kadar rongga udara (v)} = \left(1 - \frac{\text{berat isi padat kering oven}}{\text{berat jenis relatif}}\right) \times 100\% \quad (3.18)$$

$$\text{Koreksi kadar air (liter/m}^3\text{)} = (v - 35) \times 4,75 \quad (3.19)$$

dengan:

v = kadar rongga udara

setelah dilakukan perhitungan kadar air, selanjutnya dapat ditentukan kebutuhan air total dengan menggunakan persamaan 3.20.

Kebutuhan air total = estimasi kebutuhan air + koreksi kadar air (3.20)

Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara beton segar berdasarkan pasir dengan 35% rongga udara

No.	Air pencampur (liter/m ³)					Keterangan
	slump (mm)	Ukuran agregat kasar maksimum (mm)				
		10	15	20	25	
1	25 - 50	184	175	169	166	-
2	50 - 75	190	184	175	172	-
3	75 - 100	196	190	181	178	-
4	Kadar	3,0	2,5	2,0	1,5	Tanpa <i>SP</i>
	udara (%)	2,5	2,0	1,5	1,0	Dengan <i>SP</i>

Sumber: SNI (2000)

5. Menentukan rasio $w/(c+p)$

Rasio $w/(c+p)$ ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu kekuatan lapangan menggunakan persamaan 3.21.

$$f_{cr} \text{ lapangan} = 0,9 \times f_{cr} \quad (3.21)$$

setelah f_{cr} lapangan didapat, selanjutnya lakukan interpolasi pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Rasio w/(c+p) maksimum yang disarankan dengan *superplasticizer*

No	f_{cr} lapangan (MPa)		w/(c+p)			
			Ukuran agregat kasar maksimum (mm)			
			10	15	20	25
1	48,3	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
		56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
2	55,2	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
		56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
3	62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
		56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
4	69,0	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
		56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
5	75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
		56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
6	82,8	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
		56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Sumber: SNI (2000)

6. Menghitung kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen per m^3 beton dapat ditentukan dengan membagi kadar air dengan rasio w/(c+p) seperti persamaan 3.22.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{\text{kebutuhan air total}}{\text{rasio } w/(c+p)} \quad (3.22)$$

Bila kadar bahan bersifat semen yang dibutuhkan lebih dari 594 kg/m^3 , maka proporsi campuran beton disarankan dibuat dengan menggunakan bahan bersifat semen alternatif atau metode perancangan beton yang lain.

7. Proporsi campuran dasar dengan semen

Analisis *mix-design* dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai yang telah didapat melalui tahap-tahap sebelumnya. Contoh perhitungan secara lengkap dijelaskan pada sub-bab 5.2.

3.4 Pengujian *Slump*

Slump beton adalah tingkat kekentalan/viskositas berupa sifat kohesi pada beton segar. Besaran nilai ini berpengaruh pada seberapa besar *workability* dari campuran beton yang dihasilkan karena tinggi nilai *slump* berbanding lurus dengan

tingginya *workability* campuran beton segar.

Pengujian *slump* untuk beton normal (non-SCC) pada umumnya dilakukan dengan menggunakan alat kerucut abrams seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerucut Abrams

Tingkat *workability* dapat dikategorikan berdasarkan cakupan nilai *slump* yang diperoleh (Murdock and Brook, 1991). Berikut ini kategori *slump* dijelaskan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Workability nilai slump pada beton tanpa zat tambah

No.	Tingkat <i>workability</i>	Nilai <i>slump</i> (mm)
1	Sangat rendah	0 – 25
2	Rendah sampai sedang	25 – 50
3	Sedang sampai tinggi	50 – 100
4	Tinggi	100 – 175

Sumber: Murdock (1991)

3.5 Perawatan Benda Uji

Menurut SNI 2491:2014, perawatan benda uji perlu memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

1. Benda uji ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif, dan dapat menjaga kelembaban sampai saat benda uji dilepas dari cetakan.

2. Setelah selesai pencetakan, benda uji disimpan dalam suhu antara 16° hingga 27° , dalam lingkungan lembab selama 48 jam, dan terlindung dari sinar matahari langsung (atau barang yang memancarkan panas).
3. Cetakan benda uji dilepas dalam waktu $24 \text{ jam} \pm 8$.
4. Setelah selesai pencetakan, benda uji diberi perawatan standar, antara lain sebagai berikut (untuk benda uji silinder):
 - a. Dalam waktu 30 menit sesudah dilepas dari cetakan, benda uji disimpan dalam keadaan lembab pada suhu $23^{\circ} \pm 1,7^{\circ}$.
 - b. Benda uji tidak boleh terkena tetesan atau aliran air.
 - c. Penyimpanan benda uji dilakukan dalam keadaan direndam dalam air atau ditutupi dengan kain basah.

3.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain (Wang, dkk. 1987). Menurut SNI 1974:2011, kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima selama pengujian dengan luas penampang benda uji. Nilai yang dihasilkan bergantung pada ukuran dan bentuk benda uji, penimbangan, prosedur pencampuran, metode pengambilan contoh, pencetakan dan umur, temperatur dan kondisi kelembaban selama perawatan.

Untuk memenuhi kuat tekan yang disyaratkan ($f'c$) pada proporsi campuran beton bermutu tinggi, dapat dipilih umur 28 hari atau 56 hari (SNI 6468:2000). Umur uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 28 hari. Campuran beton yang diproporsikan di lapangan harus lebih tinggi dari pada $f_{cr} = 41,4 \text{ MPa}$.

Kuat tekan diuji dengan membebani benda uji hingga hancur untuk menentukan beban maksimum yang dapat diterima benda uji tersebut, langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam pengujian ini dijelaskan lebih lanjut di bab berikutnya.

Menurut SNI 1974:2011 rumus kuat tekan beton untuk hasil pengujian di laboratorium dengan sampel beton adalah menggunakan persamaan berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.23)$$

dengan:

$f'c$ = kuat tekan (MPa),

P = beban tekan (N),

A = luas penampang benda uji (mm^2).

Dalam melakukan perhitungan kuat tekan, perlu dicatat pengukuran dimensi dari silinder beton yang diuji. Berikut persamaan untuk memperoleh luas alas.

$$\text{Luas Alas} = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (3.24)$$

Menghitung nilai rerata dari hasil analisis kuat tekan beton menggunakan persamaan 3.25.

$$X_{rt} = \frac{\sum(X_1+X_2+X_3\dots X_n)}{n} \quad (3.25)$$

dengan:

X_{rt} = data kuat tekan rerata dari semua benda uji,

X_i = data kuat tekan tiap-tiap benda uji ($X_1+X_2+X_3\dots X_n$),

N = banyak benda uji.

3.7 Kuat Tarik Beton

Menurut Nawy (1985) kuat tarik merupakan sifat penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Kuat tarik beton relatif rendah jika dibandingkan dengan kuat tekan. Pada umumnya kuat tarik yang dimiliki beton normal hanya berkisar antara 8-15% saja dari kuat tekannya.

Kemampuan beton dalam mengatasi retak dari awal sebelum pembebanan dipengaruhi oleh nilai kuat tarik. Dalam SNI 2491:2014 dijelaskan nilai kuat tarik beton menggunakan persamaan berikut.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (3.26)$$

dengan:

f_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa),

P = beban maksimum (N),

D = diameter benda uji (mm),

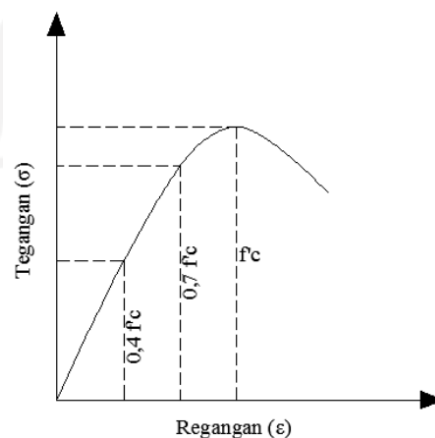
L = Panjang benda uji (mm).

Dalam pengujian ini, nilai kuat tarik akan diperoleh setelah mendapat nilai beban maksimum, langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam pengujian ini dijelaskan lebih lanjut di bab berikutnya.

3.8 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas (biasa disebut modulus *young*) adalah perbandingan antara tegangan dan regangan dalam deformasi elastis. Menurut SNI 2826:2008 modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga besarnya nilai modulus elastisitas bahan berbanding lurus dengan kecilnya perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya dan semakin kecil regangan elastis yang terjadi (semakin kaku).

Modulus elastisitas menunjukkan suatu sifat material untuk berubah bentuk dan kembali ke bentuk semula jika diberi pembebanan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. Menurut Nawy (1990) untuk menentukan turunan persamaan analisis, desain, serta prosedur pada struktur beton, harus diketahui hubungan antara tegangan dan regangan beton. Hubungan tersebut dapat dilihat melalui Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kurva tegangan-regangan pada beton

(Sumber: Nawy, 1990)

Kurva pada Gambar 3.2 menggambarkan kurva linier pada pembebanan awal dimana modulus elastisitasnya terletak pada garis singgung kurva tegangan regangan dari titik pusat. Garis singgung tersebut didefinisikan sebagai modulus tangen awal.

Analisis modulus elastisitas berdasarkan hubungan antara tegangan dan regangan beton dapat dihitung dengan menggunakan kedua persamaan-persamaan di bawah ini.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (3.27)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas (MPa)

S_2 = kuat tekan pada 40% tegangan runtuh (kg)

S_1 = kuat tekan pada saat regangan longitudinal ($\varepsilon_1 = 0,000005$)

ε_2 = regangan longitudinal yang dihasilkan saat S_2

$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$

ΔL = deformasi longitudinal (mm),

L_0 = tinggi efektif pengukuran (mm).

Nilai regangan dan regangan diperoleh menggunakan persamaan 3.28 dan 3.29 di bawah ini.

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (3.28)$$

dengan:

P = beban yang diberikan (kN),

A = luas permukaan (mm²) (3.29)

Regangan (ε) = $\frac{\Delta L}{L}$

dengan:

Δ = perubahan panjang akibat P ,

L = Panjang awal (mm).

Menurut SNI 2847:2013, perhitungan modulus elastisitas dapat dilakukan menggunakan persamaan di bawah ini apabila berat beton sudah diketahui.

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \quad (3.30)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas

W_c = $1440 \leq W_c \leq 2560 \text{ kg/m}^3$
= berat volume beton normal (kg/m^3)

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

Apabila dalam kondisi berat beton yang belum diketahui, maka persamaan 3.31 dapat digunakan.

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.31)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa),

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan suatu langkah untuk mengambil dan mengidentifikasi variabel berupa informasi atau data serta melakukan analisis atas informasi atau data yang telah didapatkan tersebut untuk mendapatkan jawaban dari pokok permasalahan penelitian.

Metode penelitian tugas akhir ini merupakan eksperimen laboratorium dengan memanipulasi variabel bebas untuk mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya ditentukan untuk dapat mencapai tujuan penelitian, sementara variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel bebas pada penelitian tugas akhir ini adalah pasir besi dan agregat halus, sedangkan variabel terikat adalah *silica fume*, semen, air, agregat kasar dan *superplasticizer*.

Tahapan yang dilakukan pada penelitian tugas akhir dengan metode eksperimen laboratorium ini adalah:

1. Persiapan

Pengadaan material dan pemeriksaan secara teoritis untuk memastikan bahwa material yang digunakan sesuai dengan standar yang berlaku,

2. Pembuatan benda uji silinder

Proses pembuatan *mix-design* dan pengecekan nilai *slump* untuk memastikan bahwa *mix-design* mencapai target rencana,

3. Perawatan

Proses perendaman benda uji selama 28 hari agar benda uji mencapai kuat tekan yang paling optimal,

4. Pengujian

Proses pengambilan data atas hasil kuat tekan, kuat tarik/belah, dan modulus elastisitas benda uji,

5. Pengolahan data

Proses analisis data hasil pengujian benda uji dan menarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

4.2 Data Penelitian

Data yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan data untuk komponen penyusun beton dan data peralatan untuk peralatan pengujian.

4.2.1 Komponen Penyusun Beton

Berikut ini dijelaskan material-material yang dibutuhkan dalam rencana campuran beton mutu tinggi pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Material penyusun campuran beton

Material	Keterangan
Semen <i>portland</i>	Semen dengan berat jenis 3.15 kg/m^3 Merk Tiga Roda.
Air	Cairan jernih yang berfungsi untuk mengaktifkan reaksi kimiawi dari semen <i>portland</i> .
Agregat kasar	Ukuran butir antara 4,75 mm (saringan No. 4) sampai 40 mm (saringan No. $1\frac{1}{2}$ inci).
Agregat halus	Ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (saringan No. 4).
<i>Silica fume</i>	Material pasir yang sangat halus dan berfungsi untuk mengisi rongga-rongga pada permukaan agregat kasar sehingga kuat tekan dapat meningkat.
Pasir besi	Material endapan pasir dengan kandungan partikel <i>magnetit</i> untuk meningkatkan kuat tekan.
<i>Superplasticizer</i>	Cairan kental berwarna kecoklatan yang berfungsi untuk meningkatkan <i>workability</i> dan mempermudah pemadatan terlepas dari kecilnya faktor air semen. Cocok untuk perencanaan <i>high strength concrete</i> .

4.2.2 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berbeda-beda disetiap pengujian. Berikut dijelaskan rincian peralatan penelitian ini pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Alat untuk pengujian penelitian

No.	Material	Kegunaan
1	Timbangan	Alat untuk mengukur berat agregat uji. Dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menggantung wadah agregat dalam air pada bagian tengah alat.
2	Ayakan <i>mesh</i>	Alat untuk menyaring agregat halus dalam pengujian modulus halus butir (MHB) agregat halus dan kasar. a. Saringan 19 mm: saringan yang berfungsi untuk memastikan agregat kasar yang terkandung didalam campuran tidak lebih dari 20 mm. b. Saringan 4,78 mm: saringan untuk yang berfungsi untuk memastikan agregat halus yang terkandung didalam campuran tidak lebih dari 4,8 mm.
3	Piknometer	Wadah berbentuk labu untuk pengujian kandungan lumpur agregat halus berkapasitas sebanyak $\pm 100 \text{ mm}^3$.
4	Cetakan silinder	Cetakan berbahan besi dengan diameter $\pm 15 \text{ cm}$ dan tinggi $\pm 30 \text{ cm}$.
5	Oven	Alat pemanas agregat uji yang dilengkapi pengatur suhu sampai 115°C . Untuk mencari nilai berat jenis agregat.
6	<i>Compressive testing machine</i>	Alat untuk membaca nilai kuat desak maksimal yang dapat diterima benda uji.
7	<i>Mixer</i> beton	Alat untuk membuat campuran beton.
8	Kerucut abram	Alat untuk melakukan pengujian <i>slump</i> .

4.3 Tahapan Penelitian

Standar yang dijadikan acuan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yakni SNI 1670:2008, untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air

agregat kasar yakni SNI 1696:2008, dan untuk merancang campuran beton yakni SNI 6468:2000.

Ukuran benda uji yang digunakan adalah silinder besi dengan dimensi 15 x 30 cm, berdasarkan SNI 6468:2000 benda uji minimal yang harus disiapkan berjumlah dua buah untuk setiap umur dan kondisi uji, sementara dalam penelitian ini benda uji yang digunakan berjumlah 5 buah untuk masing-masing variasi. Variasi yang diterapkan dalam penelitian ini yakni substitusi pasir besi terhadap agregat halus sebanyak 0%, 60%, 70%, dan 80%. Komposisi material untuk setiap variasi akan dijelaskan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rincian benda uji

No.	Kode	Komposisi kandungan pasir besi	Jumlah benda uji		
			Kuat tekan	Kuat tarik	Modulus elastisitas
1	N-00	0%	5	5	5
2	V-01	60%	5	5	5
3	V-02	70%	5	5	5
4	V-03	80%	5	5	5

Beton silinder yang diproduksi pada penelitian ini berjumlah total 60 buah dengan 15 buah silinder uji pada setiap variasi. Data untuk analisis kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas masing-masing diambil sebanyak 5 silinder.

Berdasarkan pengujian yang akan dilakukan, penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu pengujian agregat kasar, pengujian agregat halus, perencanaan campuran beton, dan pengujian karakteristik beton.

4.3.1 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dalam penelitian ini terdiri dari pengujian berat jenis agregat kasar, analisis saringan agregat kasar, dan pengujian berat volume padat isi agregat kasar.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air sebagai data awal analisis *mix-design*.

2. Analisis saringan agregat kasar.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai modulus halus butir agregat yang akan digunakan dalam menentukan kelayakan agregat kasar.

3. Pengujian berat volume padat agregat kasar.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai berat volume padat agregat kasar sebagai data awal analisis *mix-design*.

4.3.2 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dalam penelitian ini terdiri dari pengujian berat jenis agregat halus, Analisis saringan agregat halus, pengujian kandungan lumpur, dan pengujian berat volume padat isi agregat halus.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air sebagai data awal analisis *mix-design*.

2. Pengujian Analisis saringan agregat halus.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai modulus halus butir agregat sebagai parameter kelayakan agregat halus.

3. Pengujian berat volume padat agregat halus.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai berat volume padat agregat kasar sebagai data awal analisis *mix-design*.

4. Pengujian kandungan lumpur dalam pasir.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase nilai kandungan lumpur sebagai parameter kelayakan agregat halus.

4.3.3 Pembuatan Benda Uji

Pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton dimulai dengan

membuat campuran beton sesuai analisis *mix-design* menggunakan SNI 6468:2000. Hasil dari analisis *mix-design* tersebut akan menentukan seberapa banyak kebutuhan material penyusun beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air, *silica fume*, dan *superplasticizer* untuk setiap variasi pada penelitian ini.

Tabel 4.4 Estimasi rencana *mix-design*

No.	Tipe campuran	N-00	V-01	V-02	V-03
1	Air (lt)	20,208	20,208	20,208	20,208
2	Semen (kg)	47,374	47,374	47,374	47,374
3	<i>Silica fume</i> (kg)	5,264	5,264	5,264	5,264
4	Agg. Kasar (kg)	89,650	89,650	89,650	89,650
5	Agg. halus (kg)	46,761	18,704	14,028	9,352
6	Pasir besi (kg)	0,000	28,057	32,733	37,409
7	<i>Superplasticizer</i> (kg)	0,426	0,426	0,426	0,426

dengan:

N-00 = Air, semen (*portland* 90% dan *silica fume* 10%), agregat kasar, agregat halus (pasir biasa 100% dan pasir besi 0%), *superplasticizer* (0,9% semen).

V-01 = Air, semen (*portland* 90% dan *silica fume* 10%), agregat kasar, agregat halus (pasir biasa 40% dan pasir besi 60%), *superplasticizer* (0,9% semen).

V-02 = Air, semen (*portland* 90% dan *silica fume* 10%), agregat kasar, agregat halus (pasir biasa 30% dan pasir besi 70%), *superplasticizer* (0,9% semen).

V-03 = Air, semen (*portland* 90% dan *silica fume* 10%), agregat kasar, agregat halus (pasir biasa 20% dan pasir besi 80%), *superplasticizer* (0,9% semen).

Setelah benda uji direncanakan, adonan beton dicampur menggunakan *mixer* beton. Nilai *slump* akan menjadi parameter awal untuk menentukan apakah estimasi campuran beton yang direncanakan sesuai f_{cr} atau tidak. Berikut ini dijelaskan proses pengujian *slump*.

1. Memastikan campuran beton dalam *mixer* sudah merata,
2. Menyiapkan kerucut abram, sendok beton, dan penumbuk besi,
3. Mengisi kerucut abram dengan campuran beton yang sudah dituang ke dalam wadah,

4. Menumbuk campuran beton di dalam kerucut sebanyak 25 kali dengan penumbuk besi pada tiap 1/3 bagian kerucut terisi hingga penuh,
5. Mengangkat kerucut abrasif secara perlahan lalu dan mengamati penurunan tinggi yang terjadi pada campuran beton,
6. Mengukur dan catat tinggi penurunan yang terjadi pada campuran beton.
7. Jika nilai *slump* yang didapat tidak sesuai dengan rencana, maka diperlukan perencanaan ulang dengan mengkaji kembali SNI 6468:2000 atau mengkaji referensi berupa jurnal penelitian terdahulu.

4.3.4 Pengujian Karakteristik Beton

Pengujian kuat tekan dan kuat tarik/belah beton merujuk pada SNI 03-1974-2011 sementara pengujian modulus elastisitas beton merujuk pada rumus yang tercantum dalam SNI 03-2847-2002. Campuran beton akan dibuat sebanyak 5 sampel. Berikut dijelaskan tahapan-tahapan penelitian kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik secara lengkap.

1. Pengujian kuat tekan.

Pengujian kuat tekan adalah pengujian dengan menggunakan mesin CTM untuk menekan benda uji hingga hancur. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh substitusi agregat halus dengan pasir besi terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. Berdasarkan persamaan pada Bab III, tahapan pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian kuat tekan dimulai dengan menimbang dan mengukur benda uji setelah benda uji melewati masa perawatan (rendam) selama 28 hari,
- b. Setelah itu, benda uji dimasukkan ke dalam mesin uji tekan dan siapkan stopwatch,
- c. Mesin uji tekan dioperasikan dengan pembebanan konstan dan jalankan stopwatch saat angka pada layar mesin mulai bergerak,
- d. Beban maksimum dan waktu pengujian dicatat,
- e. Dilakukan analisis dan pembahasan untuk memberi gambaran terhadap objek yang diteliti serta mempermudah dalam menarik kesimpulan

penelitian. Data hasil pengujian dikelompokkan berdasarkan variabel bebas yang telah ditetapkan, kemudian data tersebut disusun untuk dianalisis.

2. Pengujian modulus elastisitas.

Modulus elastisitas adalah nilai dari tegangan dibagi regangan beton dalam kondisi elastis, dimana tegangan mencapai 40% dari kuat maksimum beton. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan dikarenakan keduanya saling berhubungan. Berdasarkan rumus yang telah disampaikan di Bab III, tahapan pengujian modulus elastisitas adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian kuat tekan dimulai dengan menimbang dan mengukur benda uji setelah benda uji melewati masa perawatan (rendam) selama 28 hari,
- b. Diameter benda uji ditandai pada 3 posisi ukur, yakni pada bagian tengah dan kedua ujung silinder dengan ketelitian 0,05 mm dari hasil pembacaan rata-rata,
- c. Benda uji dimasukkan ke dalam mesin uji dan pasang alat deformasi pada benda uji,
- d. Mesin uji dijalankan dengan pembebanan teratur (pembacaan kecepatan antara 207-275 KPa/detik), nyalakan stopwatch,
- e. Catat regangan dan deformasi yang terjadi di tiap peningkatan beban 10 kN,
- f. Lakukan pencatatan data di atas sampai pengujian selesai,
- g. Dilakukan analisis dan pembahasan untuk memberi gambaran terhadap objek yang diteliti serta mempermudah dalam menarik kesimpulan penelitian. Data hasil pengujian dikelompokkan berdasarkan variabel bebas yang telah ditetapkan, kemudian data tersebut disusun untuk dianalisis.

3. Pengujian kuat tarik.

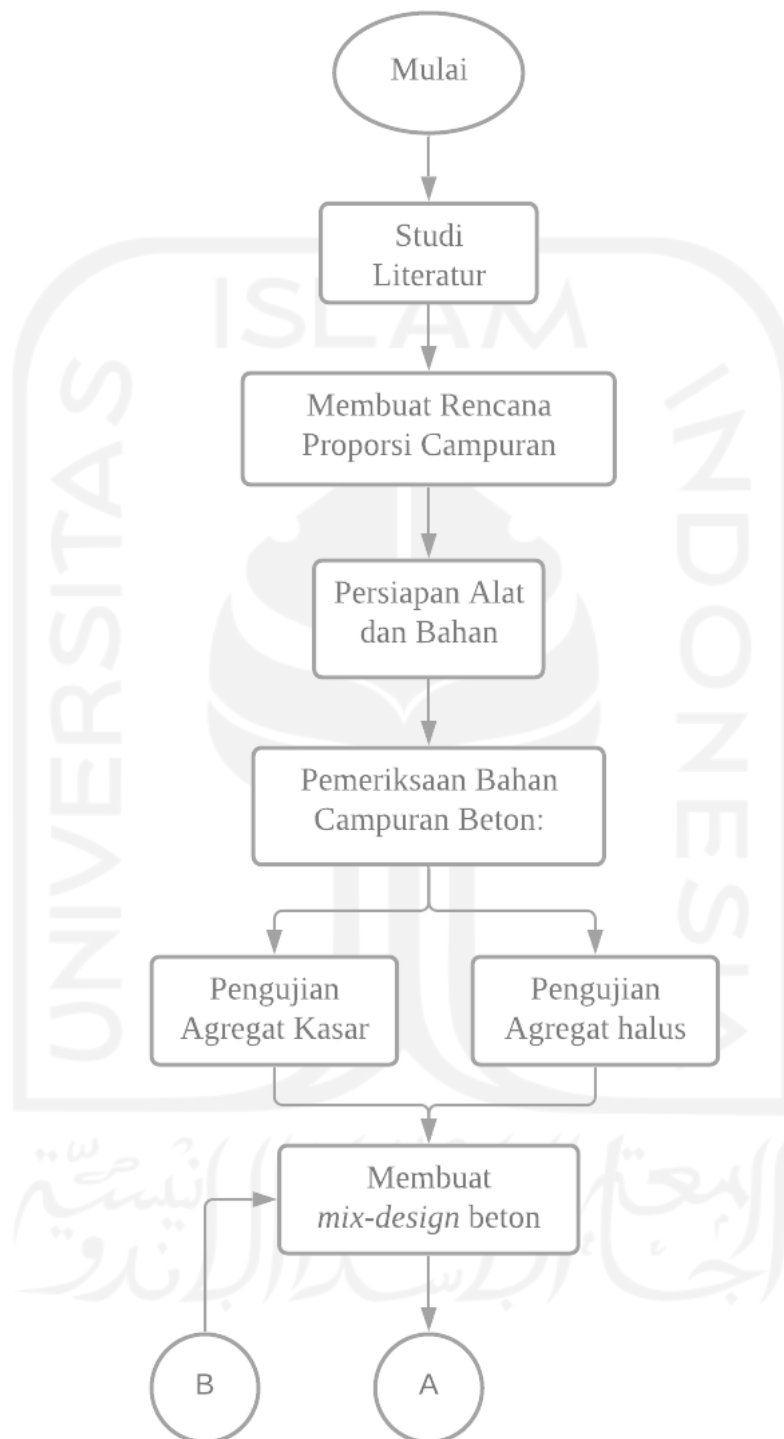
Pengujian kuat tarik bertujuan untuk memperoleh nilai kuat tarik maksimum yang dapat diterima dan seberapa besar pengaruh dari substitusi agregat halus dengan pasir besi terhadapnya. Berdasarkan rumus yang telah disampaikan di Bab III, tahapan pengujian kuat tarik adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian kuat tekan dimulai dengan menimbang dan mengukur benda uji setelah benda uji melewati masa perawatan (rendam) selama 28 hari,

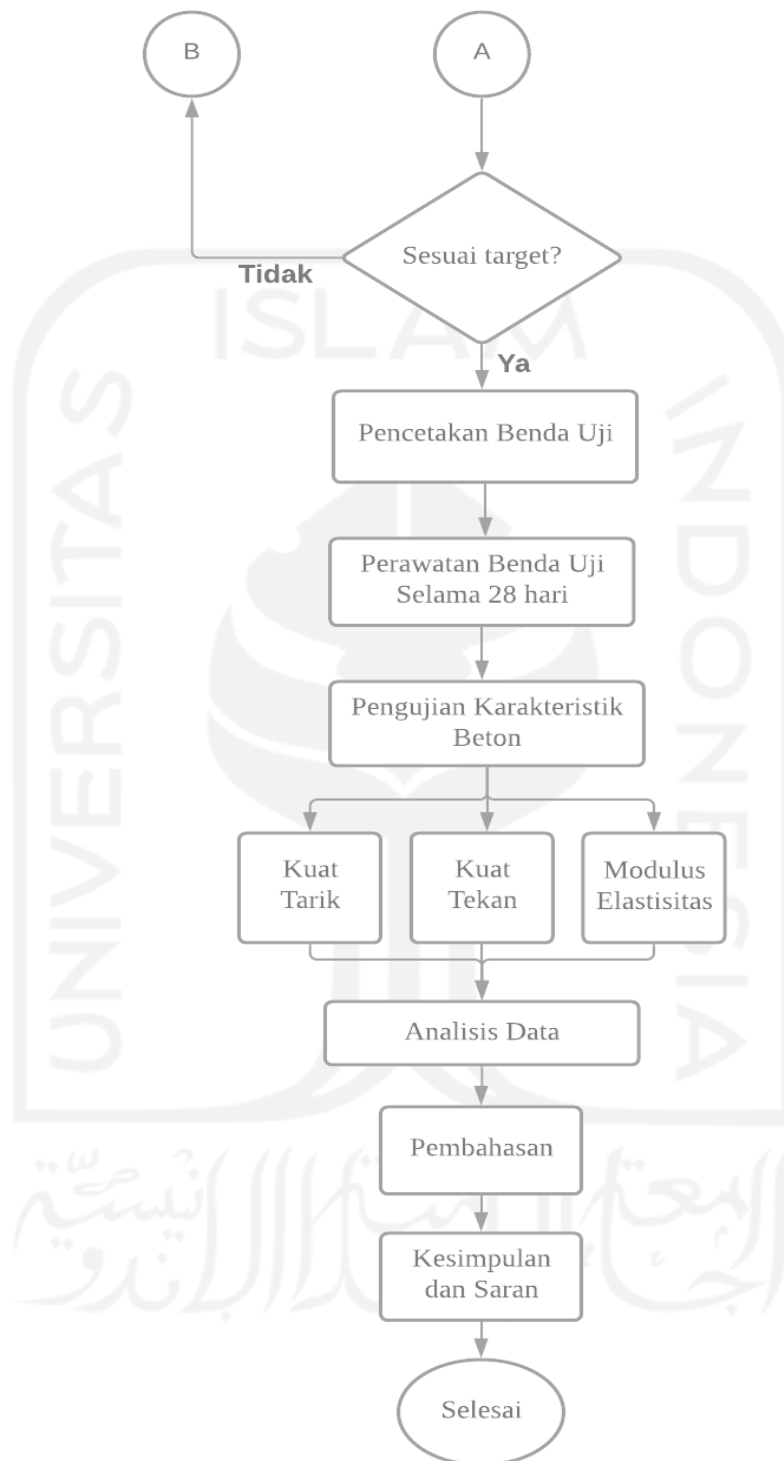
- b. Benda uji dimasukkan kedalam mesin tekan dengan posisi mendatar,
- c. Mesin dijalankan dengan pembebanan konstan, jalankan stopwatch dan catat nilai dari pembebanan konstan,
- d. Beban maksimum dan waktu pencapaiannya dicatat, lalu gambarkan sketsa benda uji dan keadaan benda uji setelah pengujian,
- e. Dilakukan analisis dan pembahasan untuk memberi gambaran terhadap objek yang diteliti serta mempermudah dalam menarik kesimpulan penelitian. Data hasil pengujian dikelompokan berdasarkan variabel bebas yang telah ditetapkan, kemudian data tersebut disusun untuk dianalisis.

4.4 Lokasi Penelitian

Penelitian Tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia mulai dari persiapan, pengujian bahan, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.



Gambar 4.1 *Flowchart* Penelitian



Lanjutan Gambar 4.1 Flowchart Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian tersebut dilakukan untuk memperoleh pemdata awal analisis *mix-design*, serta menentukan kelayakan agregat yang dipakai dalam penelitian ini.

5.1.1 Agregat Kasar Batu Merapi

Agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini yakni Batu Merapi yang diperoleh dari depo bangunan di sekitar Universitas Islam Indonesia. Pengujian terhadap agregat kasar terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisis saringan (modulus halus butir), serta pengujian berat volume padat.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

$$\text{Berat jenis kering permukaan} = \frac{4719}{(5000-2995)} = 2,354 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$\text{Berat jenis curah kering oven} = \frac{5000}{5000-2995} = 2,494 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.2})$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{4719}{4719-2995} = 2,737 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.3})$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(5000-4719)}{4719} \times 100\% = 5,95\% \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Tabel 5.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air kerikil Merapi

No.	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD)	5000	gram
2	Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4719	gram
3	Berat kerikil dalam air (Ba)	2995	gram
4	Berat jenis curah kering permukaan	2,354	gr/cm ³

**Lanjutan Tabel 5.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air kerikil
Merapi**

No.	Uraian	Hasil	Satuan
5	Berat jenis curah kering oven	2,494	gr/cm ³
6	Berat jenis semu	2,737	gr/cm ³
7	Penyerapan air	5,950	%

Menurut Tjokromuljo (2007) agregat dengan berat jenis antara 2,5-2,7 gr/cm³ merupakan jenis agregat normal yang dapat menghasilkan berat jenis beton sebesar 2,3 gr/cm³. Nilai berat jenis curah kering permukaan sebesar 2,354 gr/cm³, sehingga agregat kasar pada penelitian ini termasuk dalam kategori agregat ringan. Sementara menurut Supraktino dan Ratnanik (2019) agregat dengan berat jenis diatas 2 gr/cm³ belum dapat dikategorikan sebagai agregat ringan dan dapat digunakan sebagai data awal perhitungan *mix-design*.

2. Analisis saringan (modulus halus butir)

Hasil pengujian analisis saringan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.2 Hasil pengujian Analisis saringan agregat kasar

No.	Lubang ayakan	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)	Batas bawah (%)	Batas atas (%)
1	40	-	-	-	100	100	100
2	19	151	3,02	3,02	96,98	95	100
3	9,5	4402	88,04	91,06	8,94	30	60
4	4,75	395	7,9	98,96	1,04	0	10
5	Pan	52	1,04	00,00	00,00	-	-
6	Jumlah	5000	100%	687,84	-	-	-

berdasarkan data di atas, diperoleh perhitungan persentase berat hilang dan modulus halus butir dengan menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6.

Berat awal agregat kasar = 5000 gr,

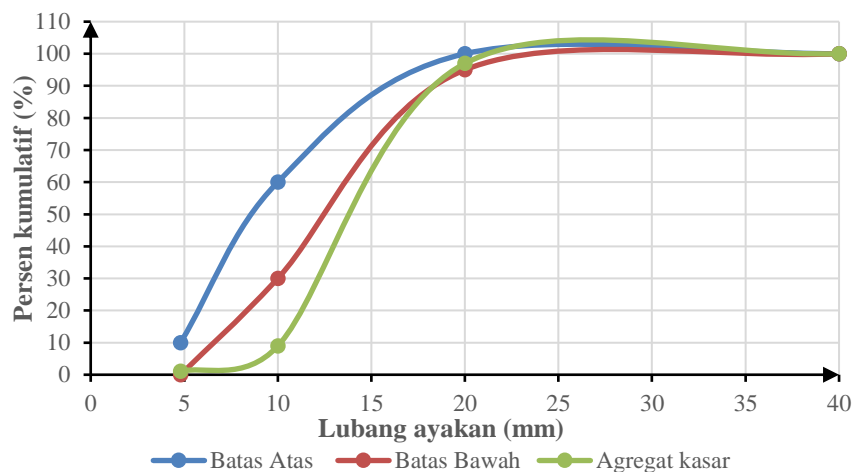
Berat setelah pengayakan = 5000 gr,

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{5000-5000}{5000} \times 100\% = 0\% \quad (\text{Eq. 3.5})$$

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{687,84}{100} = 6,878$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{687,84-100}{100} = 5,878 \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Dari perhitungan di atas, agregat kasar memenuhi persyaratan ASTM C.33 (1997) yang menunjukkan bahwa nilai persentase yang hilang sebesar $< 1\%$. Modulus kehalusan yang dicapai juga memenuhi persyaratan dalam SNI 2461:2002 yakni $5,878 < 7$. Grafik persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan kerikil dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat kasar

3. Pengujian berat volume padat

Pengujian berat volume padat dihitung menggunakan Persamaan 3.7.

$$\text{Berat volume padat} = \frac{7782}{5314,18} = 1,464 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Hasil perhitungan tersebut merupakan data awal berat volume padat agregat kasar yang akan digunakan untuk analisis *mix-design*.

Tabel 5.3 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar

No.	Uraian	Hasil	Unit satuan
1	Berat tabung (w1)	11030	gram
2	Berat tabung + agregat (w2)	18812	gram
3	Berat agregat (w3)	7782	gram
4	Diameter silinder (d)	15,01	cm
5	Tinggi silinder (t)	30,06	cm
6	Volume tabung (v)	5314,179	cm ³
7	Berat volume padat	1,464	gr/cm ³

Berdasarkan hasil *Eq. 3.7*, ditentukan nilai berat volume padat agregat kasar = 1,464 gr/cm³ dan sudah memenuhi standar spesifikasi berat volume yakni antara 1,4 - 1,9 gr/cm³. Agregat ini dapat digunakan sebagai material campuran beton karena hasil kepadatan agregat akan menyebabkan beton memiliki volume pori yang kecil.

5.1.2 Agregat Halus Pasir Merapi

Agregat halus yang dipakai dalam penelitian ini yakni Pasir Merapi yang diperoleh dari depo bangunan di sekitar Universitas Islam Indonesia. Pengujian terhadap agregat halus terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian Analisis saringan (modulus halus butir), pengujian berat volume padat, dan pengujian lolos saringan no. 200 (kandungan lumpur dalam agregat).

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan persamaan 3.8 hingga 3.11, hasil perhitungan yang didapat adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis kering permukaan} = \frac{494}{(862+500-1188)} = 2,839 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.8})$$

$$\text{Berat jenis curah kering oven} = \frac{500}{(862+499-1188)} = 2,976 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.9})$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{494}{(862+494-1188)} = 2,940 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.10})$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(500-497)}{494} \times 100\% = 1,2\% \quad (\text{Eq. 3.11})$$

Tabel 5.4 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pasir Merapi

No.	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD)	500	gram
2	Berat piknometer berisi air (B)	862	gram
3	Berat piknometer kosong	173	gram
4	Berat piknometer berisi air + pasir (Bt)	1188	gram
5	Berat pasir oven (Bk)	494	gram
6	Berat jenis curah kering permukaan	2,839	gr/cm ³
7	Berat jenis curah kering oven	2,976	gr/cm ³
8	Berat jenis semu	2,940	gr/cm ³
9	Penyerapan air	1,2	gr/cm ³

Menurut Tjokromuljo (2007) agregat dengan berat jenis antara 2,5-2,7 gr/cm³ merupakan jenis agregat normal yang dapat menghasilkan berat jenis beton sebesar 2,3 gr/cm³. Nilai berat jenis curah kering permukaan sebesar 2,839 gr/cm³ dapat menghasilkan beton dengan berat isi >2400 kg/m³ dan dapat digunakan sebagai material penyusun beton pada penelitian ini.

2. Analisis saringan (modulus halus butir)

Hasil pemisahan gradasi agregat berdasarkan ukuran lubang ayakan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil pengujian analisis saringan agregat halus

No.	Lubang ayakan	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)	Batas bawah (%)	Batas atas (%)
1	4,8	-	-	-	100	100	90
2	2,4	33	1,65	1,65	98,35	100	75
3	1,2	82	4,10	5,75	94,25	90	55
4	0,6	541	27,05	32,8	67,20	59	35
5	0,3	920	46,00	78,8	21,20	30	8
6	0,15	382	19,10	97,9	2,10	10	0
7	Pan	42	2,10	00,00	00,00	-	-
8	Jumlah	2000	100%	216,9	-	-	-

berdasarkan data di atas, diperoleh perhitungan persentase berat hilang dan modulus halus butir dengan menggunakan Persamaan 3.12 dan 3.13.

Berat awal agregat kasar = 2000 gr,

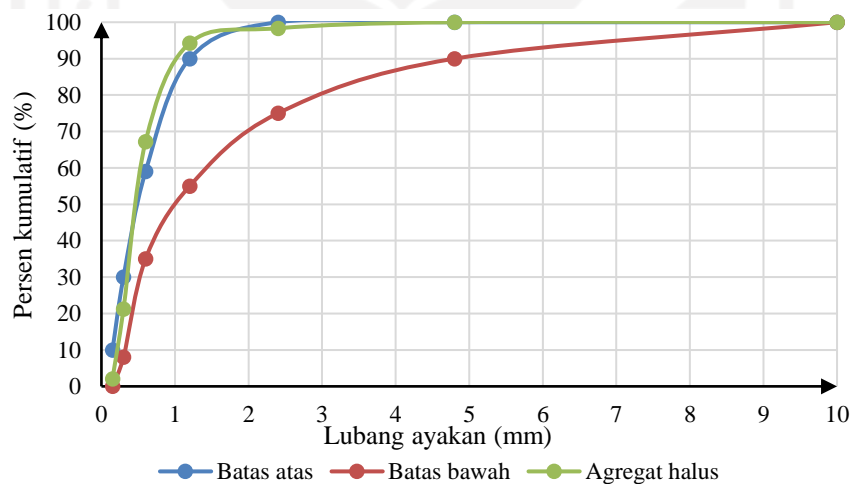
Berat setelah pengayakan = 2000 gr,

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{2000-2000}{2000} \times 100\% = 0\% \quad (\text{Eq. 3.12})$$

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{216,9}{100} = 2,169$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{216,9-100}{100} = 1,169 \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Dari perhitungan di atas, agregat kasar memenuhi persyaratan ASTM C.33 (1997) yang menunjukkan bahwa nilai persentase yang hilang sebesar $< 1\%$. Modulus kehalusan yang dicapai juga memenuhi persyaratan dalam SNI 2461:2002 yakni $1,169 < 7$. Grafik persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan kerikil dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat halus

3. Pengujian berat volume padat

Pengujian berat volume padat dihitung menggunakan Persamaan 3.14.

$$\text{Berat volume padat} = \frac{9207}{5314,18} = 1,733 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{Eq. 3.14})$$

Hasil perhitungan tersebut merupakan data awal berat volume padat agregat kasar yang akan digunakan untuk analisis *mix-design*. Data pengujian ini akan disajikan lebih lengkap pada Tabel 5.6 di bawah ini.

Tabel 5.6 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus

No.	Uraian	Hasil	Unit satuan
1	Berat tabung (w1)	11030	gram
2	Berat tabung + agregat (w2)	20237	gram
3	Berat agregat (w3)	9207	gram
4	Diameter silinder (d)	15,01	cm
5	Tinggi silinder (t)	30,06	cm
6	Volume tabung (v)	5314,179	cm ³
7	Berat volume padat	1,733	gr/cm ³

Berdasarkan hasil *Eq. 3.14*, ditentukan nilai berat volume padat agregat halus = 1,733 gr/cm³ dan sudah memenuhi standar spesifikasi berat volume yakni antara 1,4 - 1,9 gr/cm³. Agregat ini dapat digunakan sebagai material campuran beton karena hasil kepadatan agregat akan menyebabkan beton memiliki volume pori yang kecil.

4. Pengujian lolos saringan No. 200 (uji kandungan lumpur)

Hasil pengujian lolos saringan no. 200 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.15.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{500-495}{500} \times 100\% = 1\% \quad (\text{Eq. 3.15})$$

Dari perhitungan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa agregat halus dapat digunakan sebagai material dalam penelitian ini karena agregat tersebut memenuhi syarat kandungan lumpur > 5% (SNI 6821-2002).

5.2 Perencanaan Campuran Beton

Analisis perhitungan campuran beton adalah proses perhitungan untuk menentukan proporsi campuran optimal sesuai dengan kebutuhan dan mutu rencana. Metode campuran yang digunakan penelitian ini adalah SNI 6468-2000.

5.2.1 Menentukan data awal *mix-design*

Kuat tekan beton rencana yang direncanakan pada penelitian ini sebesar $f'c = 45$ MPa pada umur 28 hari. Menurut SNI 6468:2000 nilai kuat tekan yang direncanakan sudah masuk kategori beton mutu tinggi karena $< 41,4$ MPa, yang mana merupakan nilai kuat tekan minimal beton mutu tinggi. Data material yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Data awal *mix-design*

No.	Uraian	Hasil	Unit satuan
1	Kuat tekan ($f'c$)	45	MPa
2	Berat jenis Pasir	2,35	gr/cm ³
3	Kapasitas air Pasir	1,2	%
4	Berat volume padat pasir	1607	kg/m ³
5	Berat jenis semen	3,15	gr/cm ³
6	Berat jenis kerikil	2,84	gr/cm ³
7	Kapasitas air kerikil	5,95	%
8	Berat volume padat kerikil	1361	kg/m ³
9	Berat jenis <i>silica fume</i>	2,2	kg/m ³

5.2.2 Menghitung komposisi *mix-design*

Analisis perhitungan pada tahap ini masih menggunakan material yang umum dan belum mensubstitusikan pasir besi, belum menambahkan *silica fume*, dan *superplasticizer* di dalam campurannya. Hasil perhitungan yang didapat juga masih dalam satuan per m³ dan belum dianalisis sesuai dengan volume yang dibutuhkan.

1. Menentukan *slump* awal

Penentuan nilai *slump* awal bertujuan untuk pedoman awal komposisi campuran. Analisis kuat tekan rerata dilakukan setelah target *slump* ditentukan. Analisis perhitungan nilai kuat tekan rerata menggunakan Persamaan 3.16.

Target *slump* = 75 – 100 mm,

$$f_{cr} = \frac{45 + 9,66}{0,9} = 60,733 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 3.16})$$

2. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum

Kuat tekan rerata yang ditargetkan sebesar $60,733 \text{ MPa} < 62,1 \text{ MPa}$, maka ukuran agregat kasar diperbolehkan dalam rentang 20 – 25 mm (SNI 6468-2000). Ukuran yang dipilih yakni 20 mm.

3. Menentukan kadar agregat kasar optimum

Ukuran agregat kasar maksimum = 20 mm,

Fraksi volume agregat kasar optimum = 0,72 (Tabel 3.3)

Setelah itu digunakan Persamaan 3.17 untuk mendapatkan kadar agregat kasar padat kering oven.

$$\text{Kadar agregat kasar} = 0,72 \times 1361 = 979,92 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Eq. 3.17})$$

4. Estimasi kadar air pencampur dan kadar udara

Nilai estimasi pertama kebutuhan air = 181 liter/m³ (Tabel 3.4)

Kadar udara = 1,5% (Tabel 3.4)

Lalu perhitungan kadar rongga udara (v) dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.18.

$$V = \left(1 - \frac{1607}{2,84 \times 1000}\right) \times 100\% = 43,4\% \quad (\text{Eq. 3.18})$$

Setelah didapat nilai kadar rongga udara, selanjutnya mencari nilai koreksi kadar air dengan menggunakan persamaan 3.19.

$$\text{Koreksi kadar air} = (43,4 - 35) \times 4,75 = 39,89 \text{ liter/m}^3 \quad (\text{Eq. 3.19})$$

Berdasarkan hasil koreksi kadar air tersebut, selanjutnya dapat dihitung nilai kebutuhan air total menggunakan persamaan 3.20.

$$\text{Kebutuhan air total} = 181 + 39,89 = 220,89 \text{ liter/m}^3 \quad (\text{Eq. 3.20})$$

5. Menentukan rasio w/(c+p)

Kuat tekan rerata (f_{cr}) = 60,73 MPa,

$$f_{cr} \text{ lapangan} = 0,9 \times 60,73 = 54,66 \text{ MPa}, \quad (\text{Eq. 3.21})$$

Berdasarkan Tabel 3.5 dapat dilihat rasio w/(c+p) beton mutu tinggi dengan penggunaan *superplasticizer* untuk ukuran agregat kasar maksimum 20 mm. Setelah diperoleh nilai f_{cr} lapangan, maka nilai rasio w/(c+p) dapat dicari dengan menggunakan perhitungan interpolasi pada Tabel 3.5.

diketahui:

$$X = 54,66 \text{ MPa}$$

$$X1 = 48,3 \text{ MPa}$$

$$X2 = 55,2 \text{ MPa}$$

$$Y1 = 0,43$$

$$Y2 = 0,38$$

$$Y = Y1 + \frac{(X-X1)}{(X2-X1)} (Y2 - Y1)$$

$$Y = 0,43 + \frac{(54,66-48,3)}{(55,2-48,3)} (0,38 - 0,43) = 0,384$$

$$\text{Rasio } w/(c+p) = 0,384 \quad (\text{Tabel 3.5})$$

6. Menghitung kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen dalam satuan m^3 dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.22.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{220,89}{0,384} = 575,36 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Eq. 3.22})$$

Untuk mendapatkan jumlah semen, dilakukan pembagian antara kadar bahan bersifat semen dengan massa jenis semen = $3,15 \text{ kg/m}^3$.

$$\text{Semen portland} = \frac{575,36}{3,15} = 182,65 \text{ lt/m}^3$$

7. Proporsi campuran dasar dengan semen

Setelah perhitungan di atas selesai, diperoleh volume semua material *mix-design* kecuali pasir per- m^3 . Berikut campurannya dalam satuan liter.

$$\text{Semen portland} = 182,65 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} = 357,64 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Air} = 220,89 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Kadar udara} = 15 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Total} = 776,17 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Kebutuhan volume pasir} = 1000 - 776,17 = 223,83 \text{ lt/m}^3$$

Dikonversi menjadi berat pasir kering oven:

$$223,83 \times 2,84 = 635,46 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perencanaan komposisi *mix-design* beton mutu tinggi menggunakan SNI 6468:2000 per satuan m^3 akan dijabarkan melalui tabel di bawah ini.

Tabel 5.8 Mix-design per-m³

No.	Material	Nilai	Satuan
1	Semen portland	575,4	kg
2	Agregat halus	635,5	kg
3	Agregat kasar	979,9	kg
4	Air	220,9	kg

5.2.3 Varian *mix-design* dengan *silica fume* dan pasir besi

Komposisi campuran beton mutu tinggi pada sub-bab 5.2.2 dihitung untuk mencari kebutuhan setiap material yang digunakan dalam campuran beton pada penelitian ini. Hasil perhitungan tersebut akan dikalikan dengan persentase rencana *silica fume* dan pasir besi.

Persentase substitusi kadar semen = 10%

Berat semen = 575,4 kg

Berat *silica fume* = 57,54 kg

Berat semen yang tersisa sebesar = 517,82 kg

Volume bahan bersifat semen dan volume bahan bersifat *silica fume* perlu disesuaikan untuk mendapatkan berat pasir kering oven yang baru.

Volume bahan bersifat semen:

$$\frac{517,82}{3,15} = 164,39 \text{ kg}$$

Volume bahan bersifat *silica fume*:

$$\frac{57,54}{2,2} = 26,153 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = 164,39 + 26,153 = 190,54 \text{ kg}$$

Berikutnya ulangi kembali langkah pada sub-bab 5.2.2 nomor 7 dengan perbedaan yang terletak pada jumlah semen.

Semen portland = 190,54 lt/m³

Agregat kasar = 357,64 lt/m³

Air = 220,89 lt/m³

Kadar udara = 15 lt/m³

Total = 784,07 lt/m³

Kebutuhan volume pasir = 1000 – 784,07 = 215,94 lt/m³

Dikonversi menjadi berat pasir kering oven:

215,94 x 2,84 = 613,07 kg/m³.

maka hasil perencanaan komposisi *mix-design* beton mutu tinggi menggunakan SNI 6468:2000 per satuan m³ yakni sebagai berikut:

1. Semen portland = 518 kg
2. Agregat halus = 613 kg
3. Agregat kasar = 980 kg
4. Air = 221 kg
5. *Silica fume* = 58 kg
6. *Superplasticizer* = 5 kg

Penambahan *superplasticizer* sebanyak 5 kg merupakan bahan tambah 0,9% terhadap total berat semen. Secara keseluruhan, kebutuhan komposisi campuran mutu tinggi setelah persentase pasir besi dari ketiga variasi akan disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.9 Hasil *mix-design* kebutuhan total material per-m³

No.	Kode	Semen (kg)	<i>Silica fume</i> (10%) (kg)	Air (kg)	Kerikil (kg)	Pasir (kg)	<i>Superplasticizer</i> (0,9%) (kg)	Pasir besi	
								(kg)	(%)
1	N-00	518	58	221	980	613	5	0	0
2	V-01	518	58	221	980	245	5	368	60
3	V-02	518	58	221	980	184	5	429	70
4	V-03	518	58	221	980	123	5	490	80

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.9 merupakan campuran material yang digunakan pada penelitian ini meliputi semen, *silica fume*, air, kerikil, pasir, *superplasticizer*, serta pasir besi. Penggunaan *silica fume* berperan dalam mengurangi jumlah semen dan sering kali dipakai dalam perencanaan campuran

beton mutu tinggi, sementara *superplasticizer* digunakan untuk memudahkan *workability* yang mana akan berdampak pada pemadatan beton yang maksimal sehingga meminimalisir hasil benda uji yang keropos.

5.3 Pengujian Nilai *Slump* dan Data Beton

Ketepatan *mix-design* pada penelitian ini dikontrol melalui hasil pengujian *slump*. Pengambilan data nilai *slump* dilakukan pada saat campuran material sudah merata. Lebih jelasnya dapat dilihat melalui gambar berikut.



Gambar 5.3 *Slump* beton

Nilai *slump* digunakan untuk menentukan tingkat *workability* dari *mix-design* dan memudahkan proses pemadatan saat pasta beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Berdasarkan keterangan mengenai kategori *slump* dalam Tabel 3.6, hasil data lengkap pengujian *slump* seluruh benda uji penelitian ini dijelaskan melalui Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil pengujian *slump*

No.	Kode sampel	Nilai <i>slump</i> (mm)	<i>Workability</i>
1	N-00	150	tinggi
2	V-01	114	tinggi
3	V-02	107	tinggi
4	V-03	87	sedang-tinggi

Berdasarkan hasil Tabel 5.10 tersebut, dapat disimpulkan bahwa target *slump* awal yang direncanakan dalam *mix-design* sebelumnya sesuai dengan hasil di lapangan (memenuhi syarat). Pengadukan campuran beton pada penelitian ini menggunakan mesin pengaduk (*mixer*) berkapasitas 30 silinder dan menghasilkan 15 silinder setiap pengadukan. Data benda uji setelah dicetak ada di Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Data benda uji

No.	Kode	Berat (Kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)
1	N0-01	12,486	151,3	305,8
2	N0-02	12,584	150,0	303,5
3	N0-03	12,675	150,9	302,7
4	N0-04	12,451	152,0	302,5
5	N0-05	12,727	153,2	303,5
6	V1-01	13,231	150,5	303,3
7	V1-02	13,483	150,8	304,9
8	V1-03	13,451	152,0	305,4
9	V1-04	13,202	149,7	302,9
10	V1-05	13,401	151,5	305,6
11	V2-01	13,537	153,5	305,0
12	V2-02	13,569	149,6	305,0
13	V2-03	13,578	150,0	301,8
14	V2-04	13,666	151,9	299,6
15	V2-05	13,725	157,5	307,3
16	V3-01	13,383	150,0	304,5
17	V3-02	13,432	150,8	304,4
18	V3-03	13,725	150,5	304,6
19	V3-04	13,615	150,0	305,0
20	V3-05	13,476	150,2	304,7

5.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk menilai kemampuan benda uji dalam menerima beban yang bekerja di atasnya. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain yaitu kondisi agregat, peralatan, dan jenis semen.

5.4.1 Hasil pengujian kuat tekan

Pengujian ini dilakukan pada sampel benda uji silinder berumur 28 hari dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan menggunakan alat desak *Compression Testing Machine* (CTM), lalu dianalisis menggunakan Persamaan 3.23. Contoh perhitungan berikut ini akan diambil dari sampel beton normal dan beton pasir besi dengan kode N0-01 dan V2-01.

1. Perhitungan kuat tekan beton normal (N0-01).

$$P = 865000 \text{ N}$$

$$D = 152,0 \text{ mm}$$

$$A = 18153,14 \text{ mm}^2$$

$$f'c = \frac{865000}{18153,14} = 47,65 \text{ MPa,}$$

(Eq. 3.23)

$$47,65 \text{ MPa} > 45 \text{ MPa (rencana).}$$

2. Perhitungan kuat tekan beton pasir besi (V2-01).

$$P = 1035000 \text{ N}$$

$$D = 149,6 \text{ mm}$$

$$A = 17584,41 \text{ mm}^2$$

$$f'c = \frac{1035000}{17584,41} = 58,86 \text{ MPa,}$$

(Eq. 3.23)

$$58,86 \text{ MPa} > 45 \text{ MPa (rencana).}$$

Hasil selengkapnya dari semua benda uji pada pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.12 Hasil pengujian kuat tekan.

Tabel 5.12 Hasil pengujian kuat tekan

Kode benda uji	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan (MPa)		Keadaan beton
				Unit	Rerata	
N-00	N0-01	151,3	17986,328	845	46,980	baik
	N0-02	150,0	17678,571	810	45,818	
	N0-03	150,9	17891,351	795	44,435	
	N0-04	152,0	18153,143	865	47,650	
	N0-05	153,2	18440,903	870	47,178	
					46,41	

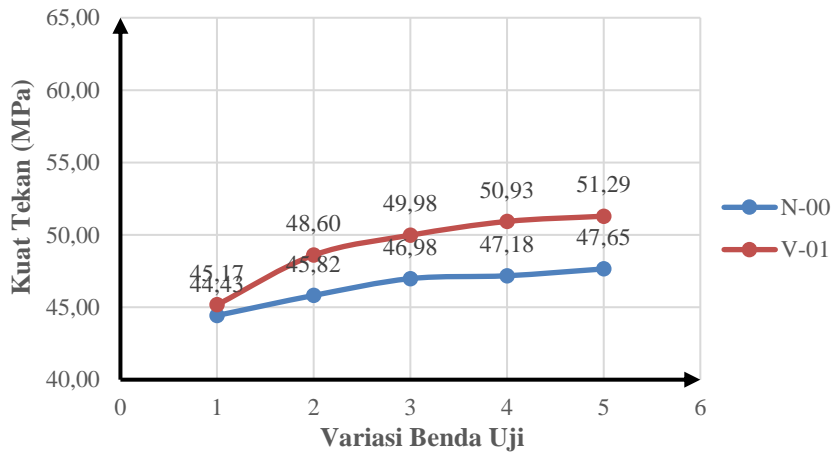
Lanjutan tabel 5.12 Hasil pengujian kuat tekan

Kode benda uji	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan (MPa)		Keadaan beton
				Unit	Rerata	
V-01	V1-01	150,5	17796,625	865	48,605	baik
	V1-02	150,8	17867,646	910	50,930	
	V1-03	152,0	18153,143	820	45,171	
	V1-04	149,7	17607,928	880	49,977	
	V1-05	151,5	18033,911	925	51,292	
V-02	V2-01	153,5	18513,196	935	50,505	baik
	V2-02	149,6	17584,411	1035	58,859	
	V2-03	150,0	17678,571	840	47,515	
	V2-04	151,9	18129,265	890	49,092	
	V2-05	157,5	19490,625	1025	52,589	
V-03	V3-01	150,0	17678,571	735	41,576	baik
	V3-02	150,8	17867,646	790	44,214	
	V3-03	150,5	17796,625	910	51,133	
	V3-04	150,0	17678,571	1075	60,808	
	V3-05	150,2	17725,746	1045	58,954	

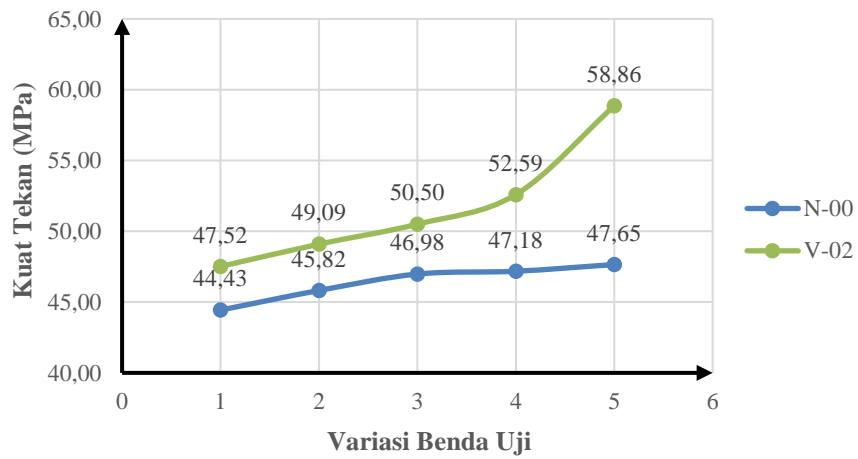
Berdasarkan Tabel 5.12 dapat disimpulkan bahwa beton variasi V-01, V-02, dan V-03 memiliki nilai kuat tekan rata-rata yang lebih tinggi daripada beton normal. Benda uji dengan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada beton V3-04 = 60,81 MPa, dan V3-05 = 58,95 MPa.

5.4.2 Pembahasan kuat tekan

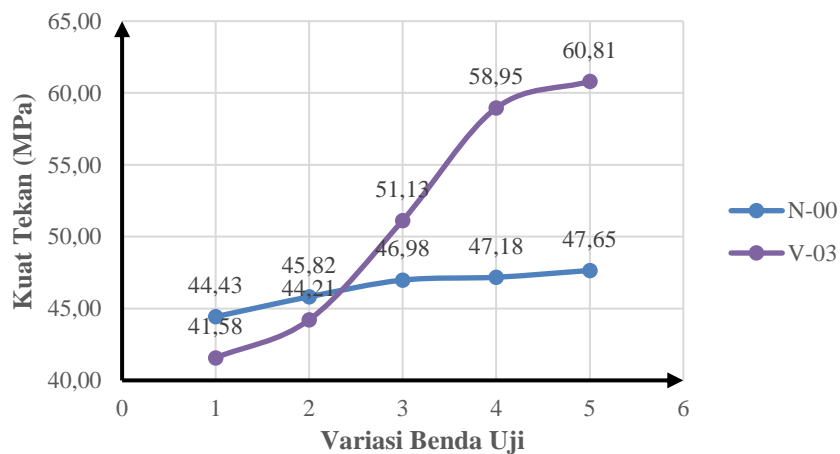
Grafik komparasi kuat tekan beton normal dengan variasi pasir besi akan digambarkan melalui gambar-gambar berikut ini.



Gambar 5.4 Grafik komparasi kuat tekan beton normal dengan beton V-01



Gambar 5.5 Grafik komparasi kuat tekan beton normal dengan beton V-02

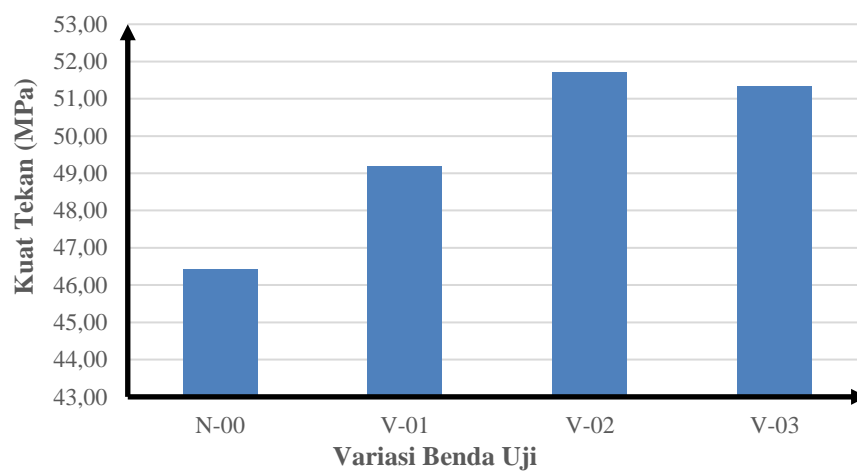


Gambar 5.6 Grafik komparasi kuat tekan beton normal dengan beton V-03

Berdasarkan Gambar 5.4 – 5.6, dapat ditarik kesimpulan bahwa benda uji pasir besi selain beton V3-01 dan V3-02 memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji pasir biasa. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pasir besi yang dapat menutup *void* di dalam campuran beton sehingga beton memiliki ikatan yang lebih homogen. Pasir besi juga memiliki kandungan *magnesium* yang mampu memperbaiki proses pengikatan semen saat terhidrasi oleh air.

Beton V3-01 = 41,58 MPa dan V3-02 = 44,21 MPa memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dari beton normal meskipun hasil yang diperoleh kedua benda uji tersebut tergolong mutu tinggi (>41,4 MPa). Hal ini disebabkan oleh kurang meratanya adonan beton saat proses pencampuran.

Grafik perbandingan nilai rata-rata beton normal dengan beton V-01, V-02, dan V-03 dijelaskan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik hubungan kuat tekan beton normal dan pasir besi

Nilai kuat tekan rata-rata yang dimiliki benda uji pada penelitian ini mengalami kenaikan konstan hingga menemui nilai optimum pada variasi V-02 (70%), sementara menurut Pratama (2018) pasir besi sebagai pengganti agregat halus menghasilkan nilai kuat tekan paling optimum pada variasi 80%.

Hasil pengujian yang dimiliki Pratama (2018) berbeda dengan hasil pengujian pada penelitian ini. Perbedaan tersebut disebabkan oleh mutu beton yang direncanakan. Beton mutu tinggi yang direncanakan pada penelitian ini memerlukan pengaruh bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* untuk

mencapai nilai kuat tekan $>41,4$ MPa, sehingga, substitusi pasir besi $>70\%$ akan menyebabkan penurunan nilai kuat tekan benda uji.

Berdasarkan Gambar 5.7, dapat ditentukan kenaikan nilai kuat tekan pada setiap variasi benda uji terhadap $f_c = 45$ MPa. Kenaikan nilai tersebut dirangkum pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rangkuman perbandingan nilai rata-rata kuat tekan benda uji

No.	Kode	Kuat tekan (MPa)	Kenaikan (%)
1	N-00	46,41	103,13
2	V-01	49,20	109,33
3	V-02	51,71	114,91
4	V-03	51,34	114,09

5.4.3 Validasi hasil kuat tekan

Validasi hasil kuat tekan adalah pembahasan khusus untuk membandingkan hasil pengujian kuat tekan penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang melibatkan pasir besi, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Hasil pengujian kuat tekan yang akan dibahas dalam sub-bab ini berasal dari penelitian Rahady (2017), Pratama (2018), dan Yulianto (2021) pada umur rencana 28 hari.

Nilai kuat tekan optimum yang telah dibahas pada sub-bab penelitian ini terdapat pada variasi V-02 dengan f_c rata-rata = 51,71 MPa dan persentase kenaikan = 114,91%, sementara penelitian Rahady (2017) mendapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi SCC-3 dengan $f_c = 43,06$ MPa dan persentase kenaikan = 104,02%. Pratama (2018) mendapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi 80% dengan $f_c = 32,94$ MPa dan persentase kenaikan = 131,77%, sementara Yulianto (2021) mendapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi 70% dengan $f_c = 48,2$ MPa dan persentase kenaikan = 107,1%.

Validasi kuat tekan 4 penelitian tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.14 Validasi pengujian kuat tekan dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		Kuat tekan (MPa)			Persentase kenaikan (%)	
				Kasar	Halus		kg	%	kg	%	kg	%	F _{cr}	Unit	Rerata		
Rahady (2017)	SNI 6468: 2000	BN	532	865	592	208	-	-	0	0	0	0	41,4	43,913	42,1	101,7	
														41,334			
														41,089			
		SCC-1	478,8	865	592	202,7	-	-	4,3	0,8	53,2	10	41,4	42,850	42,3	102,1	
														44,322			
														39,586			
		SCC-2	478,8	865	592	201,6	-	-	5,3	1	53,2	10	41,4	44,167	41,8	100,9	
														43,205			
														37,987			
		SCC-3	478,8	865	592	200,6	-	-	6,4	1,2	53,2	10	41,4	41,531	43,1	104,0	
														44,295			
														43,362			
		SCC-4	478,8	865	592	199,5	-	-	7,5	1,4	53,2	10	41,4	41,816	39,8	96,1	
														37,756			
														39,788			
SCC-5	478,8	865	592	198,4	-	-	8,5	1,6	53,2	10	41,4	29,439	33,2	80,3			
												36,868					
												33,390					
Pratama (2018)	SNI 2834: 2000	R0	410	1015	720	205	0	0	-	-	-	-	25	22,322	25,2	100,7	
														27,801			
														23,531			
														25,212			
														26,982			
		R60	410	1015	288	205	432	60	-	-	-	-	-	25	23,811	29,8	119,2
															28,408		
															26,561		
															35,786		

Lanjutan tabel 5.14 Validasi pengujian kuat tekan dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		Kuat tekan (MPa)			Persentase kenaikan (%)	
				Kasar	Halus		%	kg	%	kg	%	kg	F _{cr}	Unit	Rerata		
Pratama (2018)	SNI 2834: 2000	R70	410	1015	216	205	504	70	-	-	-	-	25	34,358	30,3	121,2	
														33,550			
														32,127			
														25,456			
														25,858			
		R80	410	1015	144	205	576	80	-	-	-	-	-	25	30,886	32,9	131,2
															34,748		
															29,038		
															34,633		
		R90	410	1015	72	205	648	90	-	-	-	-	-	25	35,568	29,5	118,0
															28,980		
															28,827		
Yulianto (2021)	SNI 6468: 2000	B0	577,8	1317,6	857,1	181,4	0	0	1	5,8	-	-	45	43,441	45,3	100,7	
														43,869			
														40,727			
														48,052			
														50,481			
		B6	577,8	1317,6	342,8	181,4	514,3	60	1	5,8	-	-	-	45	43,536	47,2	104,9
															49,306		
															43,251		
															48,518		
		B7	577,8	1317,6	257,1	181,4	600	70	1	5,8	-	-	-	45	43,138	48,2	107,1
															52,421		
															46,414		

Lanjutan tabel 5.14 Validasi pengujian kuat tekan dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		Kuat tekan (MPa)			Persentase kenaikan (%)
				Kasar	Kasar		%	kg	%	kg	%	kg	F _{cr}	Unit	Rerata	
Yulianto (2021)	SNI 6468: 2000	B7	577,8	1317,6	257,1	181,4	600	70	1	5,8	-	-	45	48,881 50,124	48,2	107,1
		B8	577,8	1317,6	85,7	181,4	771,4	80	1	5,8	-	-	45	41,277	45,1	100,2
														37,826		
														47,654		
														46,637		
52,061																
Firjatullah (2021)	SNI 6468: 2000	N-00	518	980	221	980	0	0	0,9	5	10	58	45	46,980	46,4	103,1
													45,818			
													44,435			
													47,650			
													47,178			
		V-01	518	980	221	980	368	60	0,9	5	10	58	45	48,605	49,2	109,3
														50,930		
														45,171		
														49,977		
		51,292														
		V-02	518	980	221	980	429	70	0,9	5	10	58	45	50,505	51,7	114,9
														58,859		
														47,515		
														49,092		
		52,589														
V-03	518	980	221	980	490	80	0,9	5	10	58	45	41,576	51,3	114,0		
												44,214				
												51,133				
												60,808				
58,954																

Berdasarkan Tabel 5.14, dapat disimpulkan *mix-design* beton dengan kuat tekan yang paling *reliable* untuk diterapkan di lapangan, terdapat pada penelitian Pratama (2018) dengan persentase peningkatan nilai kuat tekan terbesar dibanding penelitian lainnya yakni sebesar 131,8%, sementara *mix-design* beton mutu tinggi yang paling *reliable* untuk diterapkan di lapangan terdapat pada penelitian ini. Persentase peningkatan nilai kuat tekan pada penelitian ini sebesar 114,9% dimana persentase peningkatan tersebut lebih besar dibanding penelitian Rahady (2017) dan Yulianto (2021).

5.5 Pengujian Kuat Tarik Beton

Pengujian kuat tarik beton dilakukan untuk menentukan seberapa besar kekuatan tarik optimum yang dapat dihasilkan benda uji menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Masa perawatan beton yang diterapkan untuk pengujian ini adalah 28 hari.

5.5.1 Hasil pengujian kuat tarik

Persamaan yang dipakai untuk menghitung kuat tarik terdapat pada persamaan 3.26, dan akan diimplementasikan pada contoh perhitungan benda uji N0-11 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{diameter} &= 155,2 \text{ mm} \\
 \text{tinggi} &= 302,8 \text{ mm} \\
 P &= 268 \text{ kN} \\
 f_{ct} &= \frac{2 \times 268000}{147637,7645} = 3,63 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 3.26})
 \end{aligned}$$

Persamaan tersebut juga digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari benda uji lainnya. Hasil dari pengujian kuat tarik lebih lengkap dijelaskan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil pengujian kuat tarik

Kode benda uji	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum (kN)	Kuat tarik (MPa)		Keadaan beton
				Unit	Rerata	
N-00	N0-11	155,2	147637,764	268	3,63	Baik
	N0-12	153,0	144535,567	314	4,34	Baik
	N0-13	148,5	142010,669	294	4,14	Baik
	N0-14	152,7	146027,133	254	3,48	Keropos
	N0-15	149,9	143584,953	227	3,16	Keropos
V-01	V1-11	152,0	143829,652	203	2,82	baik
	V1-12	151,6	143975,044	195	2,71	keropos
	V1-13	150,6	142362,968	277	3,89	baik
	V1-14	153,7	145438,273	349	4,80	baik
	V1-15	154,9	147449,709	384	5,21	baik
V-02	V2-11	152,0	144057,731	329	4,57	baik
	V2-12	151,6	147314,086	315	4,28	baik
	V2-13	150,6	139312,544	145	2,08	keropos
	V2-14	153,7	144640,497	348	4,81	baik
	V2-15	154,9	146061,753	359	4,92	baik
V-03	V3-11	149,8	141794,968	249	3,51	keropos
	V3-12	151,6	144927,575	361	4,98	baik
	V3-13	151,3	143262,343	334	4,66	baik
	V3-14	151,3	144498,811	183	2,53	keropos
	V3-15	150,3	143118,175	349	4,88	baik

Berdasarkan Tabel 5.15 dapat disimpulkan bahwa sebagian besar benda uji memiliki kuat tarik beton sebesar 8% dari total kuat tekan. Analisis lebih lanjut akan dijelaskan di bawah ini.

1. Beton N-00

$$f_{ct} \text{ rata-rata} = 3,75 \text{ MPa}$$

$$f_c \text{ rata-rata} = 46,41 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,75}{46,41} \times 100\% = 8,1\%$$

2. Beton V-01

$$f_{ct} \text{ rata-rata} = 3,89 \text{ MPa}$$

$$f_c \text{ rata-rata} = 49,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,89}{49,2} \times 100\% = 7,9\%$$

3. Beton V-02

$$f_{ct} \text{ rata-rata} = 4,13 \text{ MPa}$$

$$f_c \text{ rata-rata} = 51,71 \text{ MPa}$$

$$\frac{4,13}{51,71} \times 100\% = 8\%$$

4. Beton V-03

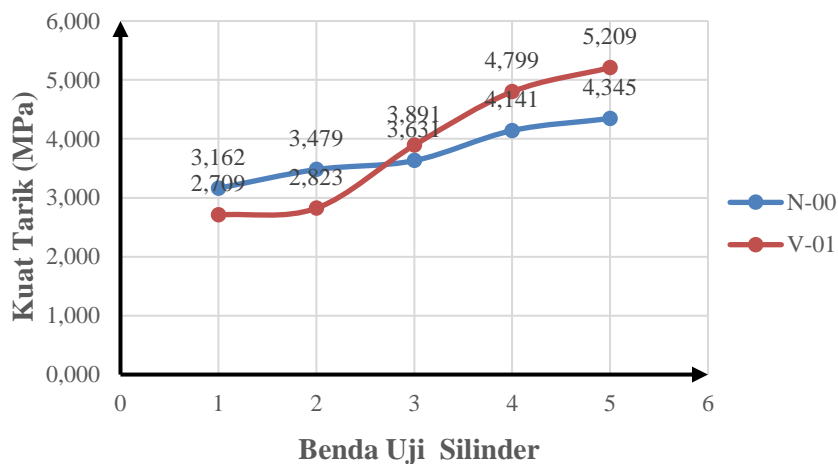
$$f_{ct} \text{ rata-rata} = 4,11 \text{ MPa}$$

$$f_c \text{ rata-rata} = 51,34 \text{ MPa}$$

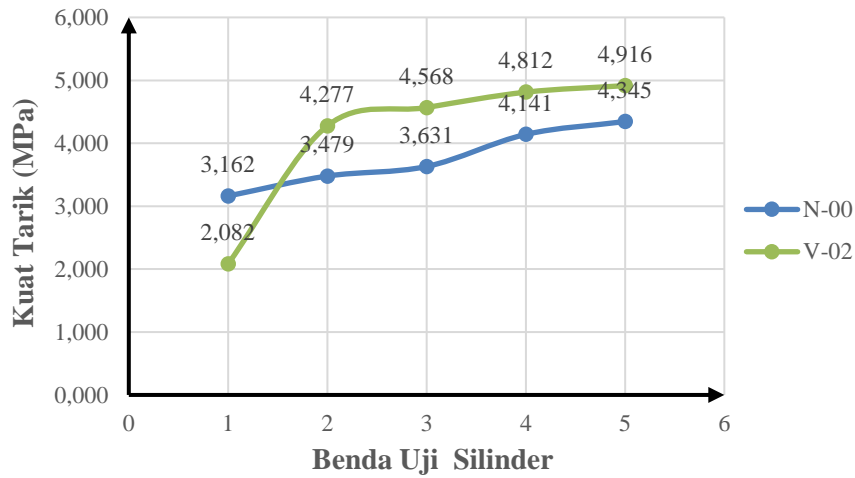
$$\frac{4,11}{51,34} \times 100\% = 8\%$$

5.5.2 Pembahasan kuat tarik

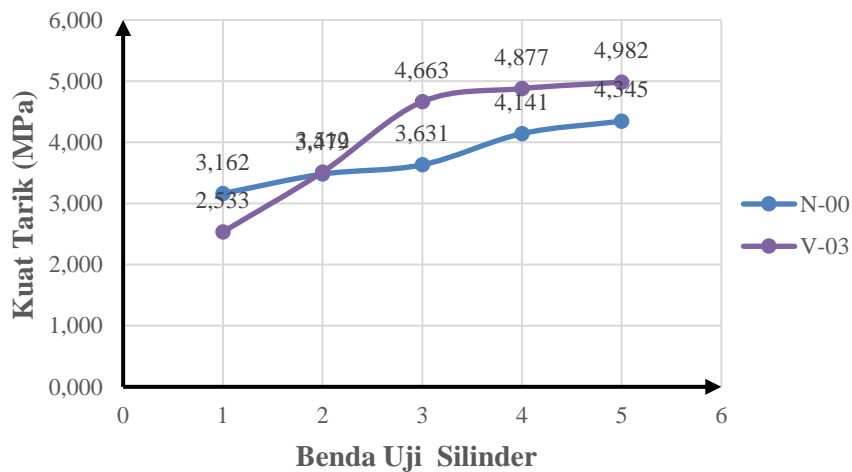
Hasil pengujian kuat tarik benda uji beton pasir besi akan dibandingkan dengan beton normal. Perbandingan tersebut dilakukan untuk menganalisis selisih nilai kuat tarik antara beton normal dengan beton pasir besi. Selisih tersebut akan digambarkan melalui grafik komparasi hasil kuat tarik beton normal dengan beton pasir besi di bawah ini.



Gambar 5.8 Grafik komparasi kuat tarik beton normal dengan beton V-01

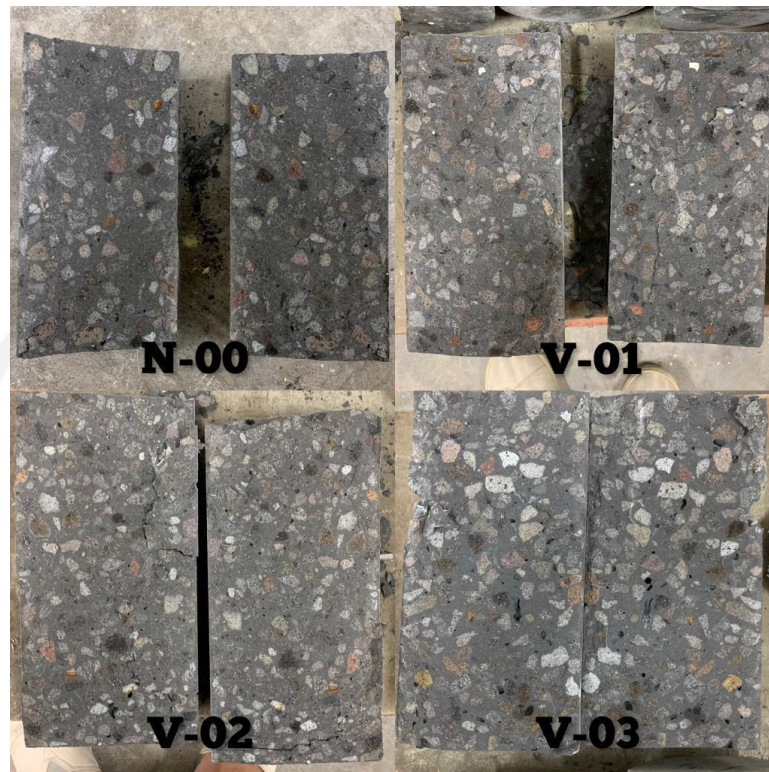


Gambar 5.9 Grafik komparasi kuat tarik beton normal dengan beton V-02



Gambar 5.10 Grafik komparasi kuat tarik beton normal dengan beton V-03

Berdasarkan gambar-gambar di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagian besar benda uji silinder pasir besi memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji silinder pasir biasa. Hal ini disebabkan oleh pengaruh *magnesium* yang terkandung di dalam pasir besi dapat memperbaiki ikatan semen dengan agregat kasar. Hasil grafik di atas juga dipengaruhi oleh diameter butir pasir besi yang sangat halus, karakteristik material tersebut dapat mengurangi *void* yang terdapat di dalam benda uji. Hal ini dibuktikan dengan kondisi beton setelah rusak yang akan ditampilkan pada Gambar 5.11.

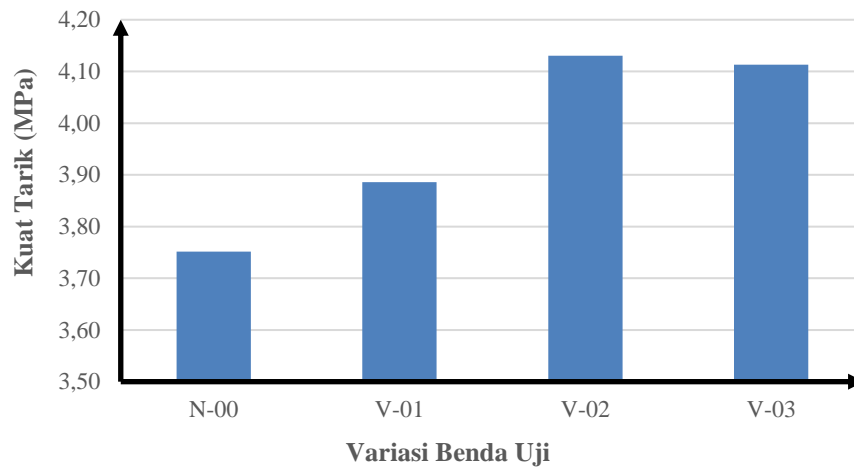


Gambar 5.11 Kondisi benda uji setelah rusak

Berdasarkan Gambar 5.11, dapat ditarik kesimpulan bahwa beton N-00 memiliki lebih banyak *void* di dalam campurannya, dibuktikan dengan dokumentasi beton N-00 terlihat lebih basah dibanding beton pasir besi lainnya. Hal tersebut menandakan bahwa beton N-00 lebih mudah dimasuki air. *Void* yang terdapat di dalam suatu campuran beton dapat mengurangi kekuatan beton itu sendiri ketika menerima beban yang bekerja di sekitarnya.

Berkurangnya *void* juga disebabkan oleh penambahan *silica fume* yang berperan dalam mengisi celah di antara agregat dalam campuran beton, karena *silica fume* dan pasir besi memiliki ukuran butir di bawah 0,15 mm.

Hasil pada tabel dan grafik yang telah disebutkan di atas secara statistik menyimpulkan bahwa beton pasir besi variasi V-02 memiliki nilai kuat tarik yang paling optimum dibanding dengan beton normal dan variasi pasir besi lainnya dengan angka kenaikan = 110,133% diikuti oleh variasi V-03 = 109,6%, dan variasi V-01 = 103,799% seperti yang akan digambarkan melalui grafik pada Gambar 5.12 dan Tabel 5.16.



Gambar 5.12 Grafik hubungan kuat tarik beton pada variasi benda uji beton normal dan pasir besi

Tabel 5.16 Perkembangan kuat tarik beton pasir besi terhadap beton normal

No.	Kode	Kuat tarik (MPa)	Kenaikan (%)
1	V-01	3,89	103,733
2	V-02	4,13	110,133
3	V-03	4,11	109,600

5.5.3 Validasi hasil kuat tarik

Validasi hasil kuat tarik adalah pembahasan khusus untuk membandingkan hasil pengujian kuat tarik penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang melibatkan pasir besi, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Hasil pengujian kuat tarik yang akan dibahas dalam sub-bab ini berasal dari penelitian Rahady (2017), Pratama (2018), dan Yulianto (2021) pada umur rencana 28 hari.

Nilai kuat tarik optimum yang telah dibahas pada sub-bab penelitian ini terdapat pada variasi V-02 dengan f_{ct} rata-rata = 4,13 MPa dan persentase kenaikan = 103,73%, sementara penelitian Rahady (2017) mendapatkan nilai kuat tarik optimum pada variasi SCC-3 dengan f_{ct} = 11,17 MPa. Pratama (2018) mendapatkan nilai kuat tarik optimum pada variasi 60% dengan f_{ct} = 2,85 MPa, dan Yulianto (2021) mendapatkan nilai kuat tarik optimum pada variasi 70% dengan f_{ct} = 3,92 MPa. Validasi kuat tekan 4 penelitian tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.17 Validasi pengujian kuat tarik dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		Kuat tarik (MPa)	
				Kasar	Halus		kg	%	kg	%	kg	%	Unit	Rerata
Rahady (2017)	SNI 6468: 2000	BN	532	865	592	208	-	-	0	0	0	0	8,39	9,52
													9,83	
													10,35	
		SCC-1	478,8	865	592	202,7	-	-	4,3	0,8	53,2	10	9,25	10,8
													12,34	
													-	
		SCC-2	478,8	865	592	201,6	-	-	5,3	1	53,2	10	11,23	10,15
													7,52	
													11,7	
		SCC-3	478,8	865	592	200,6	-	-	6,4	1,2	53,2	10	9,57	11,17
													11,87	
													12,08	
		SCC-4	478,8	865	592	199,5	-	-	7,5	1,4	53,2	10	10,16	9,04
													10,34	
													6,61	
SCC-5	478,8	865	592	198,4	-	-	8,5	1,6	53,2	10	9,14	8,14		
											8,12			
											7,17			
Pratama (2018)	SNI 2834: 2000	R0	410	1015	720	205	0	0	-	-	-	-	1,78	2,77
													1,71	
													3,06	
													2,18	
													3,08	
		R60	410	1015	288	205	432	60	-	-	-	-	3,09	2,85
													2,75	
													2,21	
													2,72	
													3,16	

Lanjutan tabel 5.17 Validasi pengujian kuat tarik dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		Kuat tarik (MPa)	
				Kasar	Halus		%	kg	%	kg	%	kg	Unit	Rerata
Pratama (2018)	SNI 2834: 2000	R70	410	1015	216	205	504	70	-	-	-	-	2,01	2,13
													1,94	
													2,42	
													1,74	
													2,75	
		R80	410	1015	144	205	576	80	-	-	-	-	2,23	2,31
													2,75	
													2,06	
													2,23	
		R90	410	1015	72	205	648	90	-	-	-	-	2,01	2,39
													2,34	
													2,92	
													2,6	
													2,22	
													Yulianto (2021)	
4,01														
3,48														
3,59														
4,67														
B6	577,8	1317,6	342,8	181,4	514,3	60	1	5,8	-	-	3,45	3,8		
											4,02			
											4,33			
											3,04			
											4,18			
B7	577,8	1317,6	257,1	181,4	600	70	1	5,8	-	-	4,39	3,92		
											2,64			
											3,45			
											3,45			

Lanjutan tabel 5.17 Validasi pengujian kuat tarik dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		Kuat tarik (MPa)	
				Kasar	Kasar		%	kg	%	kg	%	kg	Unit	Rerata
Yulianto (2021)	SNI 6468: 2000	B7	577,8	1317,6	257,1	181,4	600	70	1	5,8	-	-	4,21	3,92
													4,91	
		B8	577,8	1317,6	85,7	181,4	771,4	80	1	5,8	-	-	3,63	3,65
													2,96	
													3,85	
													3,68	
													4,12	
Firjatullah (2021)	SNI 6468: 2000	N-00	518	980	221	980	0	0	0,9	5	10	58	3,63	3,75
													4,34	
													4,14	
													3,48	
													3,16	
		V-01	518	980	221	980	368	60	0,9	5	10	58	2,82	3,89
													2,71	
													3,89	
													4,80	
		V-02	518	980	221	980	429	70	0,9	5	10	58	5,21	4,13
													4,57	
													4,28	
													2,08	
		V-03	518	980	221	980	490	80	0,9	5	10	58	4,81	4,11
													4,92	
3,51														
4,98														
													4,66	
													2,53	
													4,88	

5.6 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Analisis modulus elastisitas dilakukan untuk meninjau peningkatan daktilitas beton dan perubahan bentuk benda uji akibat proses pembebanan. Sifat getas (*ductile*) merupakan kemampuan struktur dalam berdeformasi tanpa kehilangan kekuatan untuk menahan beban lainnya. Analisis peningkatan daktilitas beton dilakukan dengan menganalisis kenaikan beban aksial tiap 10 kN pada pengujian tegangan-regangan.

5.6.1 Hasil pengujian modulus elastisitas

Pengujian ini dilakukan pada sampel benda uji silinder berumur 28 hari dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan menggunakan alat desak *Compression Testing Machine* (CTM) dan dial yang digunakan untuk membaca perubahan panjang setiap 10 kN.

Data hasil pengujian modulus elastisitas dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan dengan menggunakan Persamaan 3.28 dan 3.29. Contoh perhitungan berikut ini diambil dari sampel beton normal dan beton pasir besi dengan kode N0-01 dan V2-01. Proses analisis dilakukan dengan menggunakan aplikasi *microsoft excel* untuk menciptakan grafik, dan menambah *trendline*.

1. Tegangan (δ)

$$P = 10000 \text{ N}$$

$$A = 18057,73 \text{ mm}^2$$

$$\delta = \frac{18057,73}{10000} = 0,554 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 3.28})$$

2. Regangan (ϵ)

$$\Delta L = 0,0115 \text{ mm}$$

$$L_0 = 200 \text{ mm}$$

$$\epsilon = \frac{0,0115}{200} = 0,00006 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 3.29})$$

3. Mencari nilai modulus elastisitas beton

Analisis lebih lengkap dijelaskan pada Tabel 5.18 ini.

Tabel 5.18 Analisis tegangan-regangan benda uji

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (MPa)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,0000	0,00000	0,000
10	10000	23	0,0115	0,00006	0,554
20	20000	31	0,0155	0,00008	1,108
30	30000	39	0,0195	0,00010	1,661
40	40000	49	0,0245	0,00012	2,215
50	50000	58	0,0290	0,00015	2,769
60	60000	63	0,0315	0,00016	3,323
70	70000	72	0,0360	0,00018	3,876
80	80000	80	0,0400	0,00020	4,430
90	90000	85	0,0425	0,00021	4,984
100	100000	97	0,0485	0,00024	5,538
110	110000	101	0,0505	0,00025	6,092
120	120000	110	0,0550	0,00028	6,645
130	130000	114	0,0570	0,00029	7,199
140	140000	119	0,0595	0,00030	7,753
150	150000	122	0,0610	0,00031	8,307
160	160000	127	0,0635	0,00032	8,860
170	170000	132	0,0660	0,00033	9,414
180	180000	140	0,0700	0,00035	9,968
190	190000	149	0,0745	0,00037	10,522
200	200000	159	0,0795	0,00040	11,076
210	210000	167	0,0835	0,00042	11,629
220	220000	172	0,0860	0,00043	12,183
230	230000	178	0,0890	0,00045	12,737
240	240000	182	0,0910	0,00046	13,291
250	250000	191	0,0955	0,00048	13,844
260	260000	201	0,1005	0,00050	14,398
270	270000	206	0,1030	0,00052	14,952
280	280000	212	0,1060	0,00053	15,506
290	290000	220	0,1100	0,00055	16,060
300	300000	230	0,1150	0,00058	16,613
310	310000	237	0,1185	0,00059	17,167
320	320000	244	0,1220	0,00061	17,721
330	330000	262	0,1310	0,00066	18,275
340	340000	277	0,1385	0,00069	18,829
350	350000	293	0,1465	0,00073	19,382
360	360000	301	0,1505	0,00075	19,936

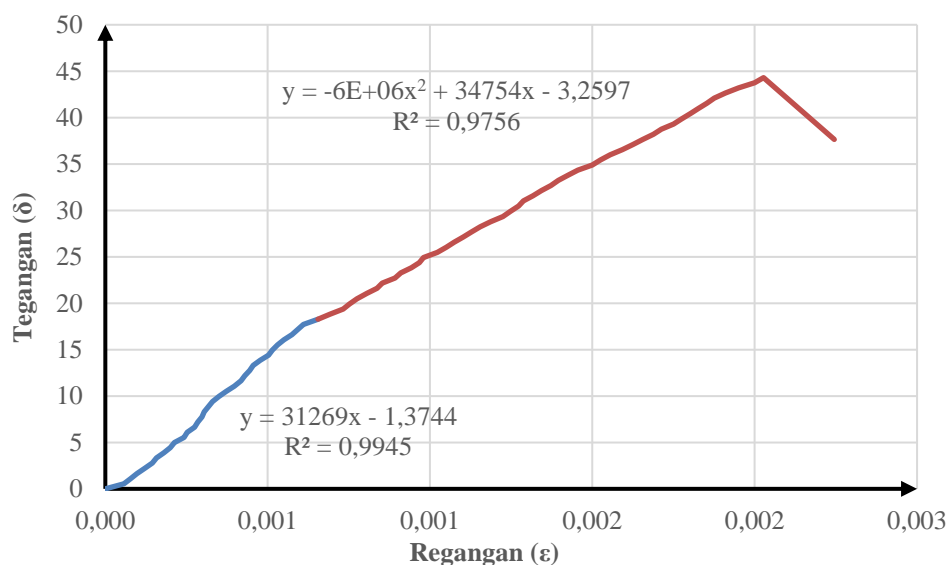
Lanjutan Tabel 5.18 analisis tegangan-regangan benda uji

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (MPa)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	310	0,1550	0,00078	20,490
380	380000	322	0,1610	0,00081	21,044
390	390000	335	0,1675	0,00084	21,597
400	400000	341	0,1705	0,00085	22,151
410	410000	357	0,1785	0,00089	22,705
420	420000	364	0,1820	0,00091	23,259
430	430000	377	0,1885	0,00094	23,813
440	440000	387	0,1935	0,00097	24,366
450	450000	392	0,1960	0,00098	24,920
460	460000	409	0,2045	0,00102	25,474
470	470000	420	0,2100	0,00105	26,028
480	480000	430	0,2150	0,00108	26,581
490	490000	441	0,2205	0,00110	27,135
500	500000	451	0,2255	0,00113	27,689
510	510000	462	0,2310	0,00116	28,243
520	520000	475	0,2375	0,00119	28,797
530	530000	490	0,2450	0,00123	29,350
540	540000	499	0,2495	0,00125	29,904
550	550000	509	0,2545	0,00127	30,458
560	560000	515	0,2575	0,00129	31,012
570	570000	527	0,2635	0,00132	31,565
580	580000	537	0,2685	0,00134	32,119
590	590000	549	0,2745	0,00137	32,673
600	600000	558	0,2790	0,00140	33,227
610	610000	570	0,2850	0,00143	33,781
620	620000	582	0,2910	0,00146	34,334
630	630000	600	0,3000	0,00150	34,888
640	640000	610	0,3050	0,00153	35,442
650	650000	622	0,3110	0,00156	35,996
660	660000	637	0,3185	0,00159	36,549
670	670000	650	0,3250	0,00163	37,103
680	680000	662	0,3310	0,00166	37,657
690	690000	675	0,3375	0,00169	38,211
700	700000	685	0,3425	0,00171	38,765
710	710000	700	0,3500	0,00175	39,318
720	720000	710	0,3550	0,00178	39,872
730	730000	721	0,3605	0,00180	40,426

Lanjutan Tabel 5.18 analisis tegangan-regangan benda uji

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (MPa)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	731	0,3655	0,00183	40,980
750	750000	741	0,3705	0,00185	41,533
760	760000	750	0,3750	0,00188	42,087
770	770000	764	0,3820	0,00191	42,641
780	780000	780	0,3900	0,00195	43,195
790	790000	800	0,4000	0,00200	43,749
800	800000	811	0,4055	0,00203	44,302
680	680000	898	0,4490	0,00225	37,657

Hasil analisis Tabel 5.18 digambarkan melalui grafik untuk mengamati hubungan tegangan-regangan saat beton dalam kondisi plastis dan elastis. Keterkaitan tegangan-regangan juga dapat ditentukan dengan menggunakan fitur *trendline* pada aplikasi *microsoft excel*.



Gambar 5.13 Grafik hubungan tegangan-regangan beton

5.6.2 Pembahasan modulus elastisitas

Gambar 5.13 merupakan grafik yang diperoleh dari fitur *trendline* garis linear dan polinomial aplikasi *microsoft excel*. Daerah elastis saat beton > 40% dari beban maksimumnya digambarkan dengan garis linear, sementara daerah plastis saat

beton <40% dari beban maksimumnya ditandai dengan garis polinomial.

Berdasarkan Gambar 5.13 ditentukan nilai koefisien korelasi (R) untuk mengetahui hubungan tegangan-regangan pada beton dengan nilai $R_{\text{elastis}} = 0,9945$ dan $R_{\text{plastis}} = 0,9756$. Berikut ini ditentukan kuatnya keterkaitan tegangan-regangan dengan menggunakan Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Interpretasi nilai koefisien korelasi

Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

Sumber: Sugiyono (2006)

Berdasarkan tabel interpretasi nilai koefisien korelasi, ditentukan tingkat hubungan garis linear dan polinomial pada beton V1-10 masuk dalam kategori sangat kuat dan keterkaitan antara tegangan-regangan pada daerah plastis dan elastis beton V1-10 ini sangat kuat.

Setelah berhasil diperoleh suatu persamaan regresi linear daerah plastis dan persamaan polinomial orde 2 untuk daerah elastis, dilakukan interpolasi menggunakan aplikasi *Microsoft excel* untuk mendapatkan nilai-nilai berikut:

$$S_2 = 24,323 \text{ MPa}$$

$$S_1 = 0,4040 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_2 = 0,001263$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

maka didapat nilai modulus elastisitas

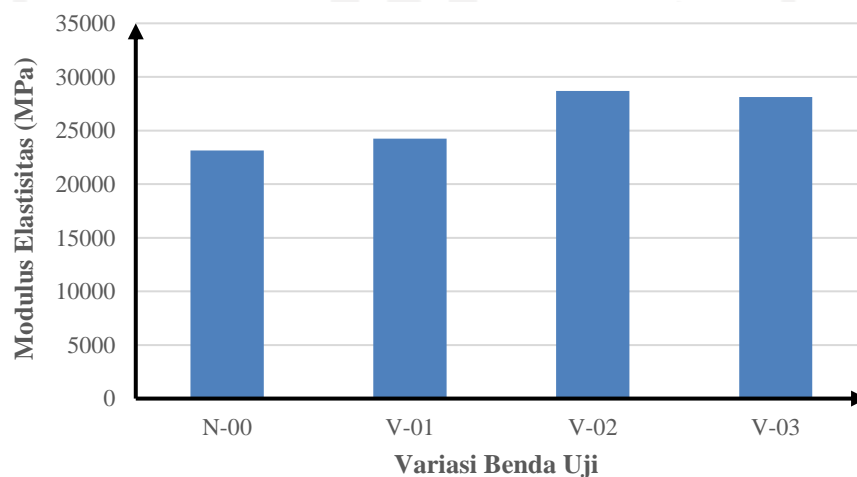
$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{24,323 - 0,4040}{0,001263 - 0,00005}$$

$$E_c = 19727,1702 \text{ MPa}$$

Hasil perhitungan modulus elastisitas benda uji lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Hasil perhitungan modulus elastisitas

No.	Kode	Modulus Elastisitas (MPa)	
		Unit	Rerata
1	N0-06	22541,166	23144,284
2	N0-07	29001,512	
3	N0-08	25309,698	
4	N0-09	22745,517	
5	N0-10	16123,527	
6	V1-06	29800,433	24231,041
7	V1-07	15867,981	
8	V1-08	21615,727	
9	V1-09	23086,422	
10	V1-10	30784,642	
11	V2-06	19586,399	28684,371
12	V2-07	30690,882	
13	V2-08	30639,094	
14	V2-09	34507,173	
15	V2-10	27998,305	
16	V3-06	36241,200	28133,440
17	V3-07	35977,392	
18	V3-08	27788,278	
19	V3-09	20812,951	
20	V3-10	19847,379	

**Gambar 5.14 Hasil perhitungan modulus elastisitas**

Kemampuan benda uji menerima beban besar dengan nilai regangan kecil ditunjukkan oleh nilai modulus elastisitas yang kaitannya sangat erat dengan

kekakuan suatu bahan. Kecilnya nilai modulus elastisitas beton berbanding lurus dengan menurunnya kekakuan diakibatkan oleh deformasi besar saat menerima gaya maksimum. Berdasarkan data yang telah disajikan di atas, ditarik kesimpulan bahwa nilai modulus elastisitas memiliki nilai optimum pada beton variasi V-02 diikuti oleh beton V-03, V-01, dan terakhir N-00.

Nilai modulus elastisitas yang tinggi menandakan bahwa beton mampu melakukan deformasi inelastis berulang-ulang, sebaliknya beton dengan nilai modulus elastisitas yang kecil menandakan bahwa beton mudah getas.

Penurunan nilai modulus elastisitas yang terjadi pada beton variasi V-03 disebabkan oleh penggunaan pasir besi yang terlalu banyak, hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan fungsi semen sebagai bahan ikat. Penurunan fungsi semen tersebut disebabkan oleh karakteristik material pasir besi dan *silica fume* yang sangat halus mampu merusak proses hidrasi antara air dengan semen.

5.6.3 Validasi hasil modulus elastisitas

Validasi hasil modulus elastisitas adalah pembahasan khusus untuk membandingkan hasil pengujian modulus elastisitas penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang melibatkan pasir besi, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Hasil pengujian modulus elastisitas yang akan dibahas dalam sub-bab ini berasal dari penelitian yang telah disebutkan dalam sub-bab validasi hasil kuat tekan dan kuat tarik.

Nilai modulus elastisitas optimum yang telah dibahas pada sub-bab penelitian ini terdapat pada variasi V-02 dengan nilai e_c rata-rata = 28684,37 MPa dan persentase kenaikan terhadap beton normal = 123,94%, penelitian Rahady (2017) mendapatkan nilai modulus elastisitas optimum pada variasi SCC-3 dengan e_c = 292675,28 MPa dengan persentase kenaikan terhadap beton normal = 113,55%, Pratama (2018) mendapatkan nilai modulus elastisitas optimum pada variasi 80% dengan e_c = 21729,96 MPa dan persentase kenaikan = 122,65%, Yulianto (2021) mendapatkan nilai kuat tarik optimum pada variasi 70% dengan e_c = 32202,08 MPa dan persentase kenaikan = 106,16%. Validasi kuat tekan 4 penelitian tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.21 Validasi pengujian modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		E _c (MPa)		Persentase kenaikan (%)
				Kasar	Halus		kg	%	kg	%	kg	%	Unit	Rerata	
Rahady (2017)	SNI 6468: 2000	BN	532	865	592	208	-	-	0	0	0	0	27494,32	26134,16	-
													24552,02		
													26356,14		
		SCC-1	478,8	865	592	202,7	-	-	4,3	0,8	53,2	10	25276,35	26482,49	101,33
													26975,95		
													27195,18		
		SCC-2	478,8	865	592	201,6	-	-	5,3	1	53,2	10	27632,67	27083,85	103,63
													26535,03		
													-		
		SCC-3	478,8	865	592	200,6	-	-	6,4	1,2	53,2	10	30358,82	29675,28	113,55
28991,74															
-															
SCC-4	478,8	865	592	199,5	-	-	7,5	1,4	53,2	10	21491,08	25472,30	97,47		
											29453,53				
											-				
SCC-5	478,8	865	592	198,4	-	-	8,5	1,6	53,2	10	-	24827,97	95,00		
											-				
											24827,97				
Pratama (2018)	SNI 2834: 2000	R0	410	1015	720	205	0	0	-	-	-	-	18284,24	17717,81	-
													20781,23		
													17156,08		
													15178,10		
													17189,40		
		R60	410	1015	288	205	432	60	-	-	-	-	17600,77	20499,73	115,70
													18830,28		
													21154,43		
													23862,94		
													21048,15		

Lanjutan tabel 5.21 Validasi pengujian modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Kode	Semen (kg)	Agregat (kg)		Air (kg)	Pasir Besi		Superplasticizer		Silica fume		E _c (MPa)		Persentase kenaikan (%)
				Kasar	Halus		%	kg	%	kg	%	kg	Unit	Rerata	
Pratama (2018)	SNI 2834: 2000	R70	410	1015	216	205	504	70	-	-	-	-	18053,03	20549,73	115,70
													18559,58		
													19716,43		
													26543,84		
													19875,69		
		R80	410	1015	144	205	576	80	-	-	-	-	21402,77	21729,96	122,65
													19321,40		
													20433,11		
													27773,39		
		R90	410	1015	72	205	648	90	-	-	-	-	20395,50	21703,48	122,50
													21983,89		
													18224,32		
Yulianto (2021)	SNI 6468: 2000	B0	577,8	1317,6	857,1	181,4	0	0	1	5,8	-	-	28304,34	27175,05	-
													26020,67		
													29961,74		
													28270,32		
													23318,17		
		B6	577,8	1317,6	342,8	181,4	514,3	60	1	5,8	-	-	27960,28	28475,35	104,78
													29390,13		
													31270,83		
													25681,48		
		B7	577,8	1317,6	257,1	181,4	600	70	1	5,8	-	-	28074,01	29068,12	107,00
													28151,89		
													30583,34		

Berdasarkan Tabel 5.21, dapat disimpulkan *mix-design* beton dengan modulus elastisitas yang paling *reliable* untuk diterapkan di lapangan, terdapat pada penelitian Pratama (2018) dengan persentase peningkatan nilai e_c terbesar dibanding penelitian lainnya yakni sebesar 122,65%, sementara *mix-design* beton mutu tinggi yang paling *reliable* untuk diterapkan di lapangan terdapat pada penelitian ini. Persentase peningkatan nilai e_c pada penelitian ini sebesar 123,94% dimana persentase peningkatan tersebut lebih besar dibanding penelitian Rahady (2017) dan Yulianto (2021).



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan yang mana sebagai berikut.

1. Nilai rerata kuat tekan beton pasir besi yang dihasilkan mengalami kenaikan dibanding beton normal. Kenaikan tersebut mencapai optimum pada variasi V-02, dan mengalami penurunan pada variasi V-03.
2. Nilai kuat tekan rerata untuk variasi N-00, V-01, V-02, dan V-03 secara berurutan yakni 46,41 MPa, 49,20 MPa, 51,71 MPa, dan 51,34 MPa.
3. Nilai kuat tarik rerata untuk variasi N-00, V-01, V-02, dan V-03 secara berurutan yakni 3,75 MPa, 3,89 MPa, 4,13 MPa, dan 4,11 MPa.
4. Nilai modulus elastisitas yang paling optimum terletak pada beton variasi V-02, dan terjadi penurunan nilai modulus elastisitas seiring bertambahnya kadar pasir besi pada variasi V-03. Menandakan jika terlalu banyak pasir besi yang terlibat di dalam *mix-design*, akan menghasilkan beton yang lebih getas.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dirangkum dari penelitian tugas akhir ini, diperlukan beberapa saran yang dapat digunakan untuk keberlangsungan (*continuity*) penelitian di masa yang akan datang. Diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Mencoba substitusi pasir besi terhadap agregat halus dalam *interval* 60-70% untuk mendapatkan nilai optimum dengan konsentrasi yang lebih spesifik.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan teknologi *self-compacting concrete* (SCC).

3. Menggunakan *vibrator* beton untuk menganalisis kemampuan beton dalam kondisi pemadatan yang optimum dan lebih baik.
4. Mengamati pengaruh durasi pengerjaan saat mencampur material dengan *superplasticizer*.



DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing Materials. 1997. C 33-97: *Standard specification for concrete aggregates*. Annual Book of ASTM Standards, 4. Philadelphia. PA.
- Badan Standarisasi Nasional Bandung. 2013. *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. BSN. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 1989. *SK SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2000. *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. BSN. pp. 7–18. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2008. *SNI 2826 Cara Uji Modulus Elastisitas Batu dengan Tekanan Sumbu Tunggal*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2011. *SNI 1974-2011 Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. BSN. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2014. *SNI 03-2491-2014 Tentang Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2015. *SNI 15-2049-2002 Tentang Semen Portland*. BSN. Jakarta.
- Gunawan, P. dan Setiono. 2010. *Program Mix Design Untuk Beton Mutu Tinggi*. Media Teknik Sipil. X(1), pp. 42–48.
- Haqqi, H. H. 2016. Permeabilitas Beton Dengan Penggantian Pasir Biasa Menggunakan Pasir Besi dan Pasir Silika. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hilman, P. M. 2014. PASIR BESI DI INDONESIA Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya. *Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, pp. 1–141.

- Maryaningsih, N., Hermansyah, O. and Savitri, M. 2014. Pengaruh Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Indonesia', *Buletin Ekonomi Moneter dan Perbankan*, 17(1), pp. 62–98.
- Murdock, L. J. and Brook, K. M. 1991. Bahan dan Praktek Beton (terjemahan Stephanus Hendarko). *Penerbit Erlangga*. Jakarta.
- Nawy, E. G. 1985. Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar, Terjemahan Bambang Suryoatmono. *Pt. Refika Aditama*. Bandung.
- Prahara, E., Liong, G. T. and Rachmansyah, R. 2015. Analisis Pengaruh Penggunaan Serat Serabut Kelapa dalam Persentase Tertentu pada Beton Mutu Tinggi. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, Vol. 6, No. 2. p. 208. Bina Nusantara University.
- Pratama, R. 2018. Pengaruh Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Kuat tarik. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.
- Rafii, M. and Hakim, M. L. 2000. Pengaruh Pemakaian Agregat Pasir Besi Terhadap Kuat Desak Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.
- Rahady, M. A. 2019. Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada Self-Compacting Concrete (SCC). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.
- Rochmawati, R. and Widiati, I. R. 2019. Pembuatan Beton Mutu Tinggi K-450 Menggunakan Agregat Kasar Dari Kampung Harapan Dan Agregat Halus Dari Doyo Kabupaten Sentani. *Journal of Portal Civil Engineering*, 2(1 SE-Articles), pp. 35–39.
- Schwab, K. 2014. The global competitiveness report 2014-2015, *World Economic Forum*. Columbia.
- Soelarso, Baehaki and Sidik, N. F. 2016. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Beton Normal terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Pondasi*, Vol. 5, No. 2.
- Subakti, A. 1995. Teknologi beton dalam praktek. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.
- Tjokromuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Wang, C.-K., Hariandja, B. and Salmon, C. G. 1987. *Desain beton bertulang*. Erlangga, Jakarta.

Wicaksono, A. S. 2019. Pengaruh Gradasi Seragam Polietilen Tereftalat Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Karakteristik Beton Normal. *Tugas Akhir*. Yogyakarta.

Yulianto, B. P. D. 2021. Pengaruh Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.





LAMPIRAN

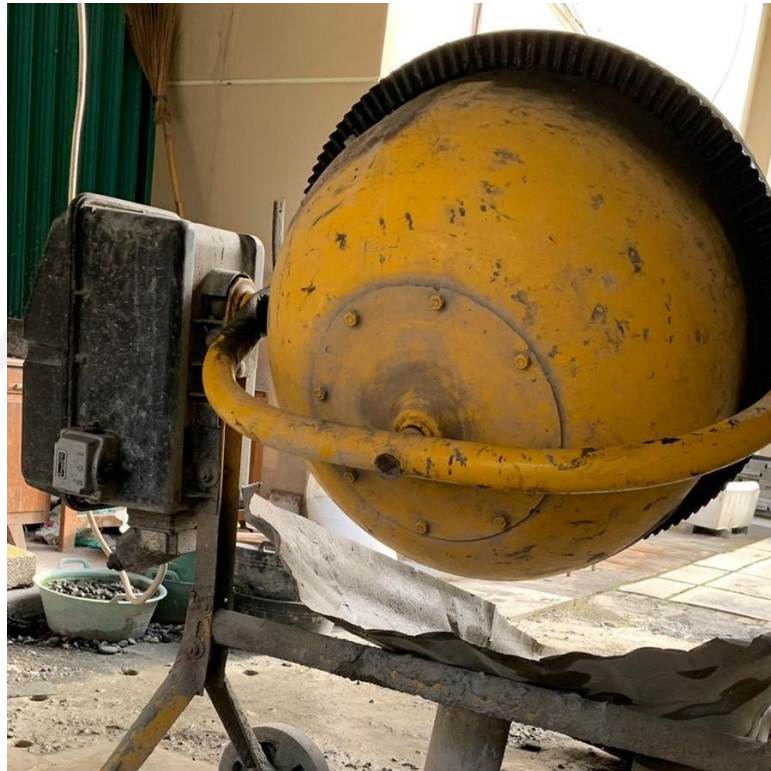
Lampiran 1. Gambar alat



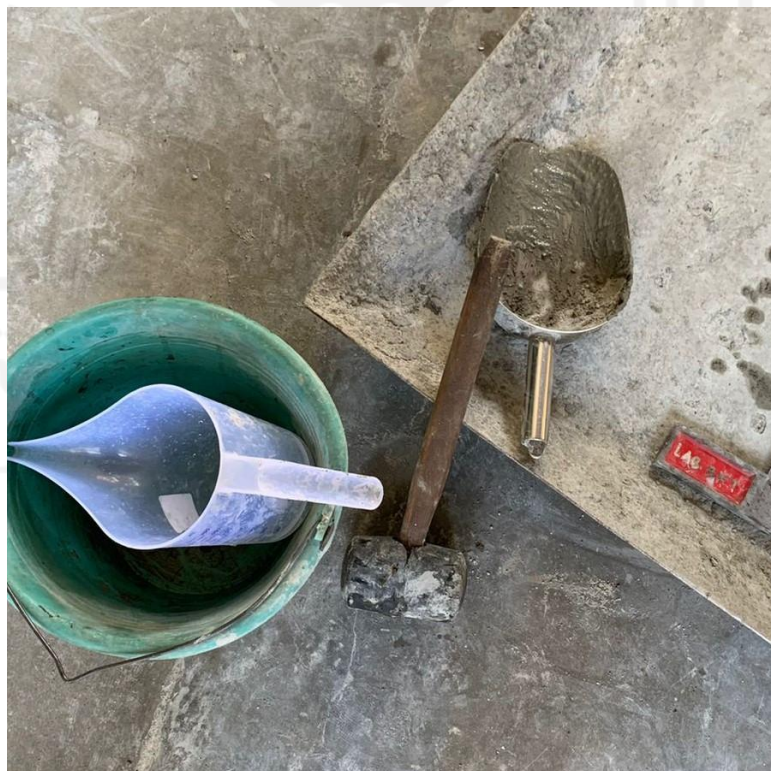
Gambar L.1.1 Mesin ayakan



Gambar L.1.2 *Compressive Testing Machine (CTM)*



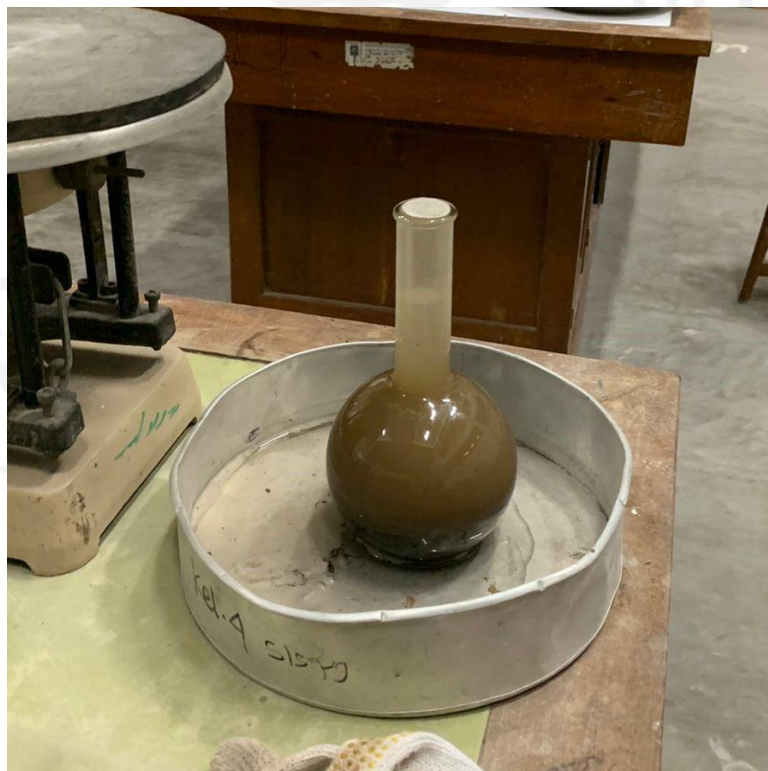
Gambar L.1.3 Mixer beton



Gambar L.1.4 Peralatan *mixing* beton



Gambar L.1.5 Ember dan wajan



Gambar L.1.6 Piknometer



Gambar L.1.7 Penggaris pengukur slump



Gambar L.1.8 Wajan untuk memasak belerang *caping*

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

Lampiran 2. Material



Gambar L.2.1 Agregat Halus



Gambar L.2.2 Agregat Kasar



Gambar L.2.3 Pasir Besi dan Material lain



Gambar L.2.4 Superplasticizer



Gambar L.2.5 SikaFume

UNIVERSITY OF
ESIA
الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

Lampiran 3. Proses dan Hasil



Gambar L.3.1 Benda Uji



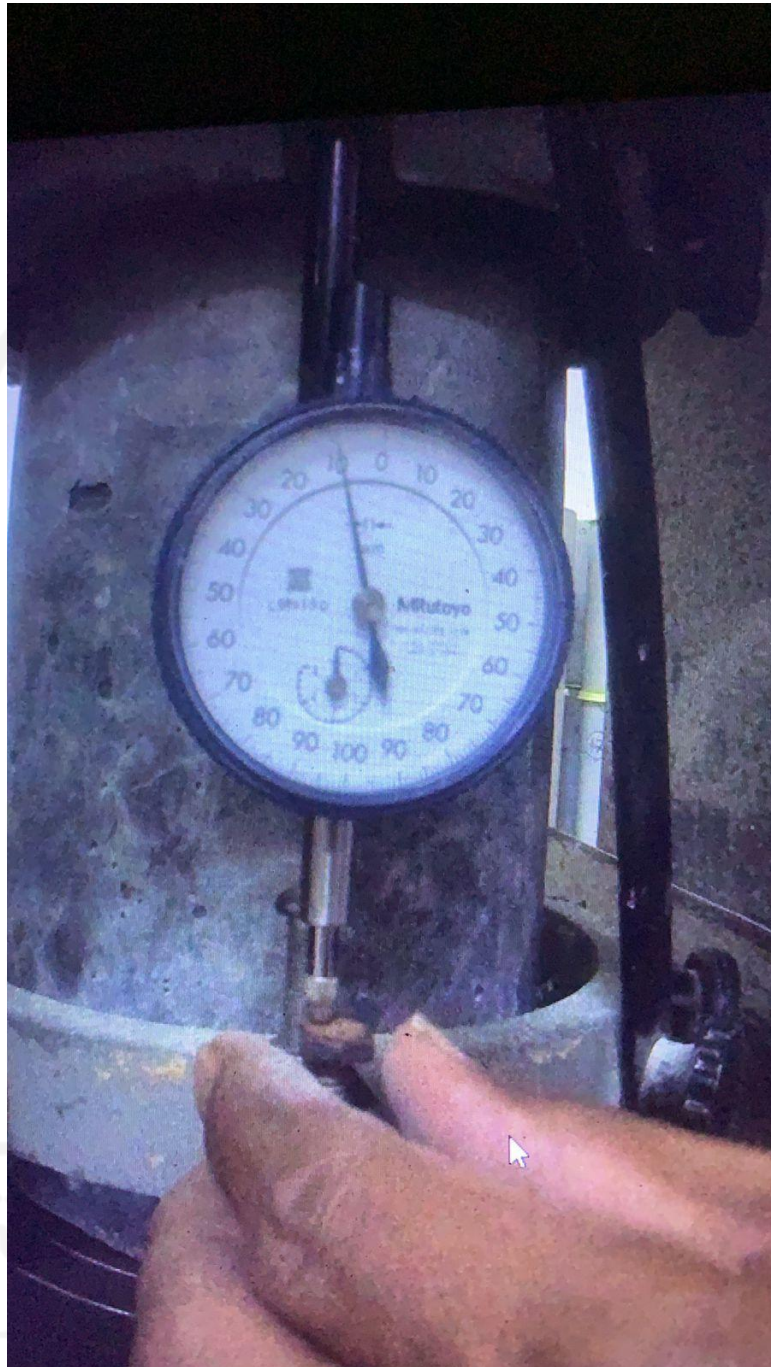
Gambar L.3.2 Benda Uji (2)



Gambar L.3.3 Proses Uji Tarik



Gambar L.3.4 Proses Uji Tekan



Gambar L.3.5 Proses Uji Modulus Elastisitas

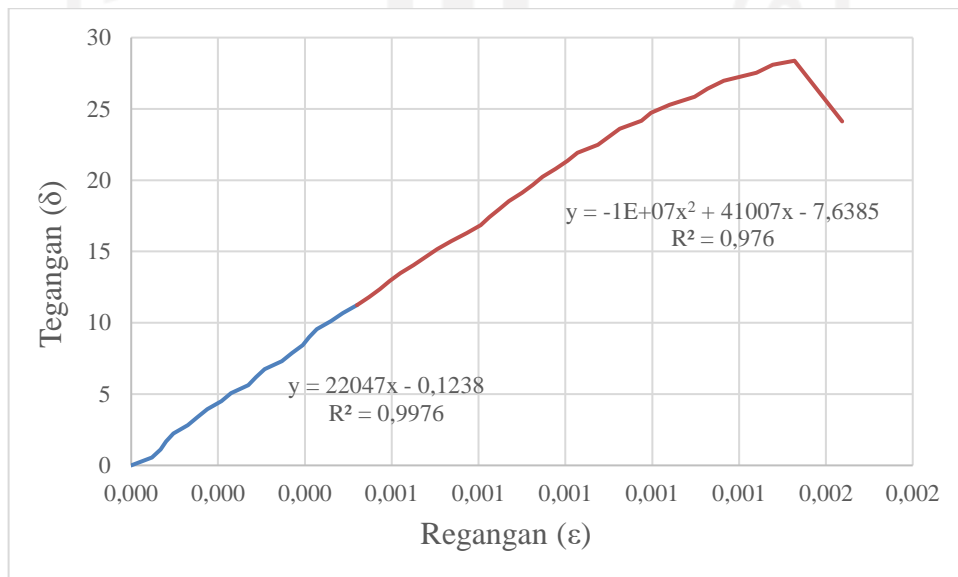
Lampiran 4. Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi N-00

Tabel L.4.1 Analisis Beton Variasi N0-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	19	0,010	0,00005	0,56190
20	20000	27	0,014	0,00007	1,12381
30	30000	32	0,016	0,00008	1,68571
40	40000	39	0,020	0,00010	2,24762
50	50000	52	0,026	0,00013	2,80952
60	60000	61	0,031	0,00015	3,37143
70	70000	70	0,035	0,00018	3,93333
80	80000	83	0,042	0,00021	4,49523
90	90000	92	0,046	0,00023	5,05714
100	100000	108	0,054	0,00027	5,61904
110	110000	115	0,058	0,00029	6,18095
120	120000	123	0,062	0,00031	6,74285
130	130000	139	0,070	0,00035	7,30476
140	140000	148	0,074	0,00037	7,86666
150	150000	158	0,079	0,00040	8,42856
160	160000	164	0,082	0,00041	8,99047
170	170000	171	0,086	0,00043	9,55237
180	180000	184	0,092	0,00046	10,11428
190	190000	195	0,098	0,00049	10,67618
200	200000	208	0,104	0,00052	11,23809
210	210000	219	0,110	0,00055	11,79999
220	220000	229	0,115	0,00057	12,36189
230	230000	238	0,119	0,00060	12,92380
240	240000	248	0,124	0,00062	13,48570
250	250000	260	0,130	0,00065	14,04761
260	260000	271	0,136	0,00068	14,60951
270	270000	282	0,141	0,00071	15,17142
280	280000	295	0,148	0,00074	15,73332
290	290000	309	0,155	0,00077	16,29522
300	300000	322	0,161	0,00081	16,85713
310	310000	330	0,165	0,00083	17,41903
320	320000	339	0,170	0,00085	17,98094
330	330000	348	0,174	0,00087	18,54284
340	340000	360	0,180	0,00090	19,10475

Lanjutan Tabel L.4.1 Analisis Beton Variasi N0-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
350	350000	370	0,185	0,00093	19,66665
360	360000	379	0,190	0,00095	20,22855
370	370000	391	0,196	0,00098	20,79046
380	380000	402	0,201	0,00101	21,35236
390	390000	411	0,206	0,00103	21,91427
400	400000	430	0,215	0,00108	22,47617
410	410000	440	0,220	0,00110	23,03808
420	420000	450	0,225	0,00113	23,59998
430	430000	470	0,235	0,00118	24,16188
440	440000	479	0,240	0,00120	24,72379
450	450000	496	0,248	0,00124	25,28569
460	460000	519	0,260	0,00130	25,84760
470	470000	531	0,266	0,00133	26,40950
480	480000	546	0,273	0,00137	26,97141
490	490000	576	0,288	0,00144	27,53331
500	500000	591	0,296	0,00148	28,09521
505.0	505000	611	0,306	0,00153	28,37617
429.25	429250	655	0,328	0,00164	24,11974



Gambar L.4.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N0-06

Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N0-07

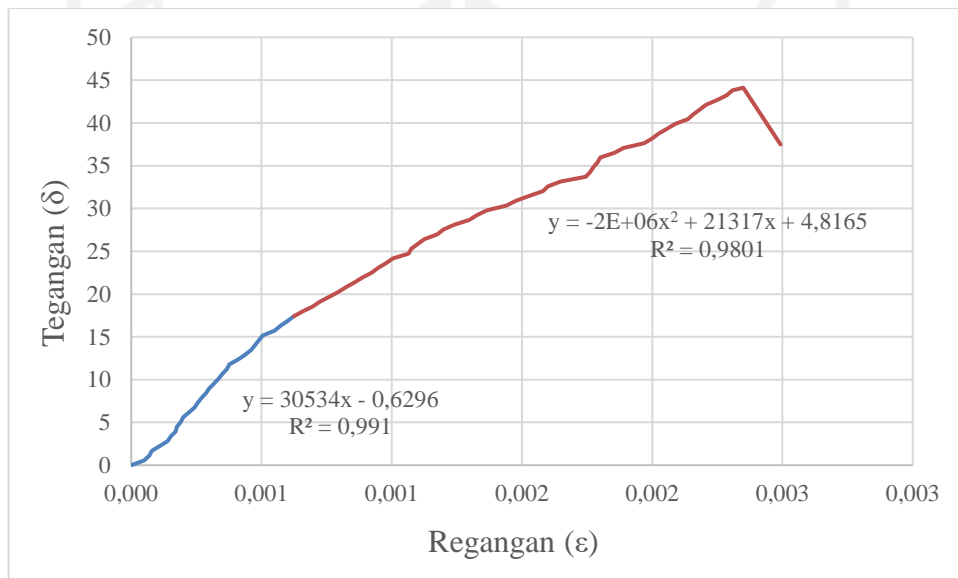
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	20	0,010	0,00005	0,56190
20	20000	28	0,014	0,00007	1,12381
30	30000	32	0,016	0,00008	1,68571
40	40000	44	0,022	0,00011	2,24762
50	50000	56	0,028	0,00014	2,80952
60	60000	61	0,031	0,00015	3,37143
70	70000	68	0,034	0,00017	3,93333
80	80000	70	0,035	0,00018	4,49523
90	90000	76	0,038	0,00019	5,05714
100	100000	80	0,040	0,00020	5,61904
110	110000	89	0,045	0,00022	6,18095
120	120000	97	0,049	0,00024	6,74285
130	130000	102	0,051	0,00026	7,30476
140	140000	108	0,054	0,00027	7,86666
150	150000	115	0,058	0,00029	8,42856
160	160000	120	0,060	0,00030	8,99047
170	170000	127	0,064	0,00032	9,55237
180	180000	134	0,067	0,00034	10,11428
190	190000	140	0,070	0,00035	10,67618
200	200000	147	0,074	0,00037	11,23809
210	210000	151	0,076	0,00038	11,79999
220	220000	164	0,082	0,00041	12,36189
230	230000	175	0,088	0,00044	12,92380
240	240000	184	0,092	0,00046	13,48570
250	250000	190	0,095	0,00048	14,04761
260	260000	196	0,098	0,00049	14,60951
270	270000	202	0,101	0,00051	15,17142
280	280000	220	0,110	0,00055	15,73332
290	290000	229	0,115	0,00057	16,29522
300	300000	240	0,120	0,00060	16,85713
310	310000	250	0,125	0,00063	17,41903
320	320000	264	0,132	0,00066	17,98094
330	330000	279	0,140	0,00070	18,54284
340	340000	290	0,145	0,00073	19,10475
350	350000	304	0,152	0,00076	19,66665
360	360000	318	0,159	0,00080	20,22855

Lanjutan Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N0-07

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	330	0.1650	0,165	0,00083
380	380000	343	0.1715	0,172	0,00086
390	390000	355	0.1775	0,178	0,00089
400	400000	369	0.1845	0,185	0,00092
410	410000	379	0.1895	0,190	0,00095
420	420000	391	0.1955	0,196	0,00098
430	430000	402	0.2010	0,201	0,00101
440	440000	426	0.2130	0,213	0,00107
450	450000	430	0.2150	0,215	0,00108
460	460000	440	0.2200	0,220	0,00110
470	470000	450	0.2250	0,225	0,00113
480	480000	470	0.2350	0,235	0,00118
490	490000	479	0.2395	0,240	0,00120
500	500000	496	0.2480	0,248	0,00124
510	510000	519	0.2595	0,260	0,00130
520	520000	531	0.2655	0,266	0,00133
530	530000	546	0.2730	0,273	0,00137
540	540000	576	0.2880	0,288	0,00144
550	550000	591	0.2955	0,296	0,00148
560	560000	611	0.3055	0,306	0,00153
570	570000	632	0.3160	0,316	0,00158
580	580000	640	0.3200	0,320	0,00160
590	590000	659	0.3295	0,330	0,00165
600	600000	698	0.3490	0,349	0,00175
610	610000	705	0.3525	0,353	0,00176
620	620000	710	0.3550	0,355	0,00178
630	630000	716	0.3580	0,358	0,00179
640	640000	720	0.3600	0,360	0,00180
650	650000	742	0.3710	0,371	0,00186
660	660000	756	0.3780	0,378	0,00189
670	670000	788	0.3940	0,394	0,00197
680	680000	800	0.4000	0,400	0,00200
690	690000	810	0.4050	0,405	0,00203
700	700000	823	0.4115	0,412	0,00206
710	710000	835	0.4175	0,418	0,00209
720	720000	855	0.4275	0,428	0,00214
730	730000	863	0.4315	0,432	0,00216

Lanjutan Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N0-07

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	873	0,437	0,00218	41,58092
750	750000	883	0,442	0,00221	42,14282
760	760000	900	0,450	0,00225	42,70473
770	770000	915	0,458	0,00229	43,26663
780	780000	923	0,462	0,00231	43,82853
785	785000	940	0,470	0,00235	44,10949
667.25	667250	997	0,499	0,00249	37,49306



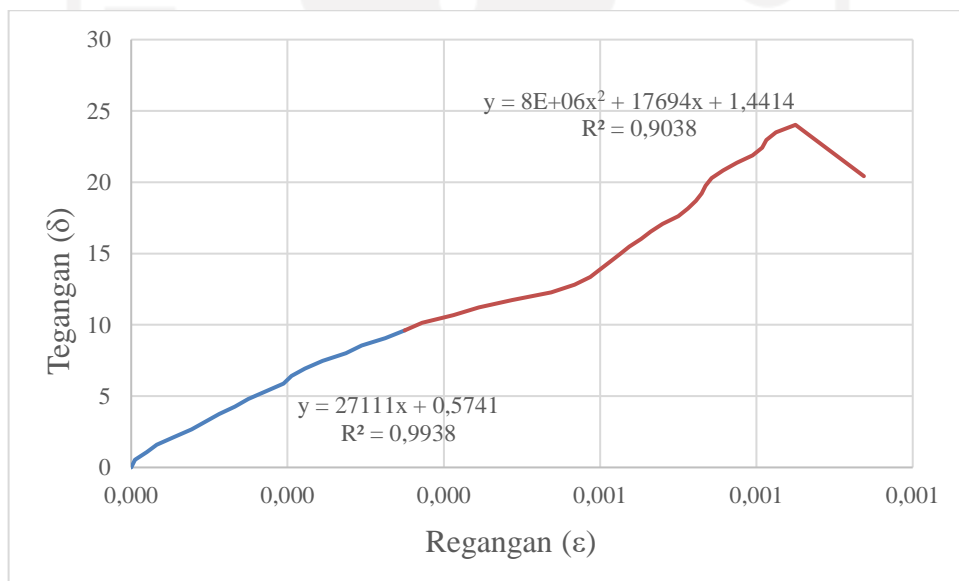
Gambar L.4.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N0-07

Tabel L.4.3 Analisis Beton Variasi N0-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	2	0,001	0,00001	0,53388
20	20000	8	0,004	0,00002	1,06775
30	30000	13	0,007	0,00003	1,60163
40	40000	22	0,011	0,00006	2,13551
50	50000	31	0,016	0,00008	2,66938
60	60000	38	0,019	0,00010	3,20326
70	70000	45	0,023	0,00011	3,73714
80	80000	53	0,027	0,00013	4,27101
90	90000	60	0,030	0,00015	4,80489
100	100000	69	0,035	0,00017	5,33876
110	110000	78	0,039	0,00020	5,87264
120	120000	82	0,041	0,00021	6,40652
130	130000	89	0,045	0,00022	6,94039
140	140000	98	0,049	0,00025	7,47427
150	150000	110	0,055	0,00028	8,00815
160	160000	118	0,059	0,00030	8,54202
170	170000	130	0,065	0,00033	9,07590
180	180000	140	0,070	0,00035	9,60978
190	190000	149	0,075	0,00037	10,14365
200	200000	165	0,083	0,00041	10,67753
210	210000	178	0,089	0,00045	11,21141
220	220000	195	0,098	0,00049	11,74528
230	230000	215	0,108	0,00054	12,27916
240	240000	227	0,114	0,00057	12,81303
250	250000	235	0,118	0,00059	13,34691
260	260000	240	0,120	0,00060	13,88079
270	270000	245	0,123	0,00061	14,41466
280	280000	250	0,125	0,00063	14,94854
290	290000	255	0,128	0,00064	15,48242
300	300000	261	0,131	0,00065	16,01629
310	310000	266	0,133	0,00067	16,55017
320	320000	272	0,136	0,00068	17,08405
330	330000	280	0,140	0,00070	17,61792
340	340000	285	0,143	0,00071	18,15180
350	350000	289	0,145	0,00072	18,68568
360	360000	292	0,146	0,00073	19,21955

Lanjutan Tabel L.4.3 Analisis Beton Variasi N0-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa) kN
kN	N				
370	370000	294	0,147	0,00074	19,75343
380	380000	297	0,149	0,00074	20,28730
390	390000	303	0,152	0,00076	20,82118
400	400000	310	0,155	0,00078	21,35506
410	410000	318	0,159	0,00080	21,88893
420	420000	323	0,162	0,00081	22,42281
430	430000	325	0,163	0,00081	22,95669
440	440000	330	0,165	0,00083	23,49056
450	450000	340	0,170	0,00085	24,02444
382.5	382500	375	0,188	0,00094	20,42077



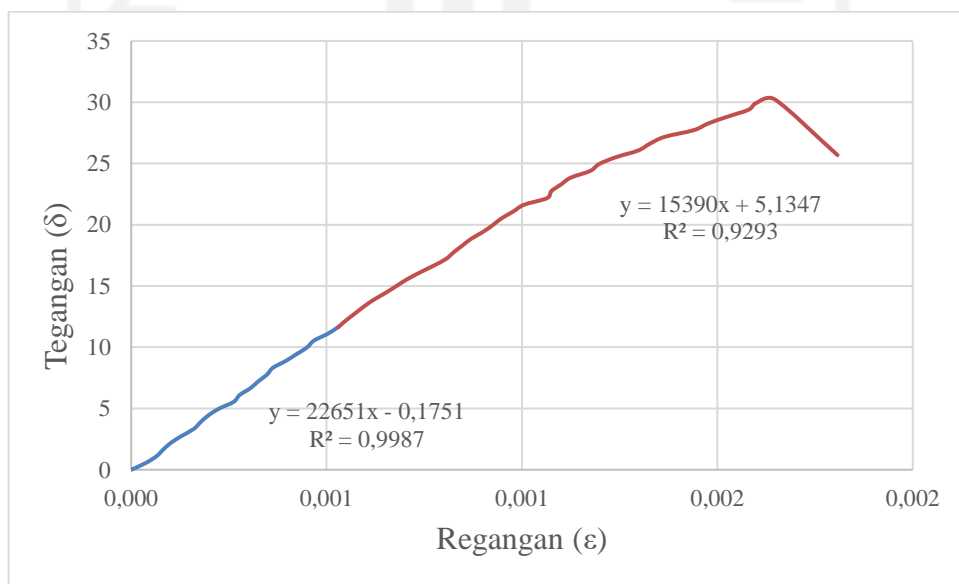
Gambar L.4.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N0-08

Tabel L.4.4 Analisis Beton Variasi N0-09

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	15	0,008	0,00004	0,55451
20	20000	26	0,013	0,00007	1,10902
30	30000	33	0,017	0,00008	1,66353
40	40000	41	0,021	0,00010	2,21804
50	50000	52	0,026	0,00013	2,77255
60	60000	64	0,032	0,00016	3,32707
70	70000	71	0,036	0,00018	3,88158
80	80000	79	0,040	0,00020	4,43609
90	90000	90	0,045	0,00023	4,99060
100	100000	105	0,053	0,00026	5,54511
110	110000	111	0,056	0,00028	6,09962
120	120000	122	0,061	0,00031	6,65413
130	130000	130	0,065	0,00033	7,20864
140	140000	139	0,070	0,00035	7,76315
150	150000	145	0,073	0,00036	8,31766
160	160000	158	0,079	0,00040	8,87217
170	170000	169	0,085	0,00042	9,42669
180	180000	180	0,090	0,00045	9,98120
190	190000	187	0,094	0,00047	10,53571
200	200000	201	0,101	0,00050	11,09022
210	210000	212	0,106	0,00053	11,64473
220	220000	220	0,110	0,00055	12,19924
230	230000	229	0,115	0,00057	12,75375
240	240000	238	0,119	0,00060	13,30826
250	250000	248	0,124	0,00062	13,86277
260	260000	260	0,130	0,00065	14,41728
270	270000	271	0,136	0,00068	14,97179
280	280000	282	0,141	0,00071	15,52631
290	290000	295	0,148	0,00074	16,08082
300	300000	309	0,155	0,00077	16,63533
310	310000	322	0,161	0,00081	17,18984
320	320000	330	0,165	0,00083	17,74435
330	330000	339	0,170	0,00085	18,29886
340	340000	348	0,174	0,00087	18,85337
350	350000	360	0,180	0,00090	19,40788
360	360000	370	0,185	0,00093	19,96239

Lanjutan Tabel L.4.4 Analisis Beton Variasi N0-09

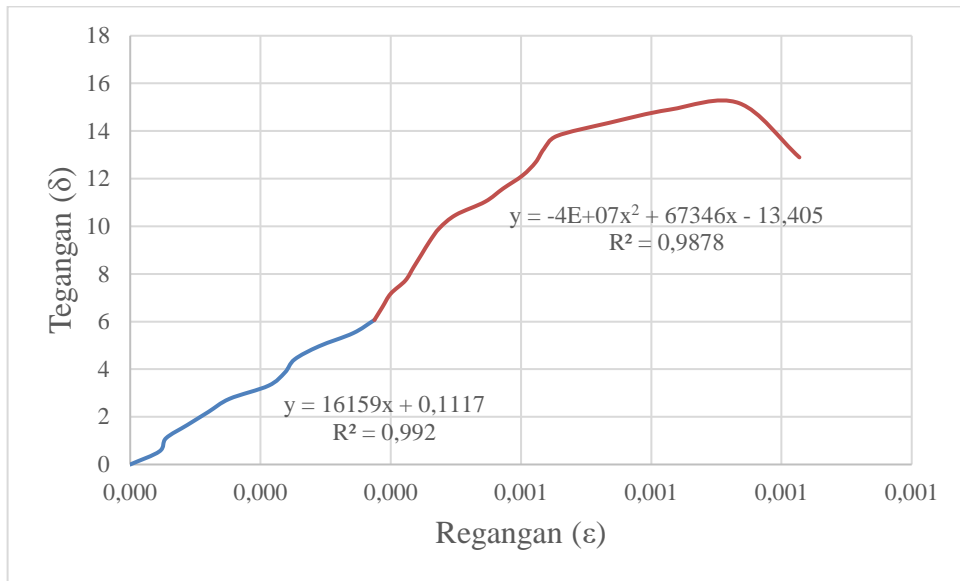
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	379	0,190	0,00095	20,51690
380	380000	391	0,196	0,00098	21,07141
390	390000	402	0,201	0,00101	21,62592
400	400000	426	0,213	0,00107	22,18044
410	410000	430	0,215	0,00108	22,73495
420	420000	440	0,220	0,00110	23,28946
430	430000	450	0,225	0,00113	23,84397
440	440000	470	0,235	0,00118	24,39848
450	450000	479	0,240	0,00120	24,95299
460	460000	496	0,248	0,00124	25,50750
470	470000	519	0,260	0,00130	26,06201
480	480000	531	0,266	0,00133	26,61652
490	490000	546	0,273	0,00137	27,17103
500	500000	576	0,288	0,00144	27,72554
510	510000	591	0,296	0,00148	28,28006
520	520000	611	0,306	0,00153	28,83457
530	530000	632	0,316	0,00158	29,38908
540	540000	640	0,320	0,00160	29,94359
545	545000	659	0,330	0,00165	30,22084
463.25	463250	723	0,362	0,00181	25,68772



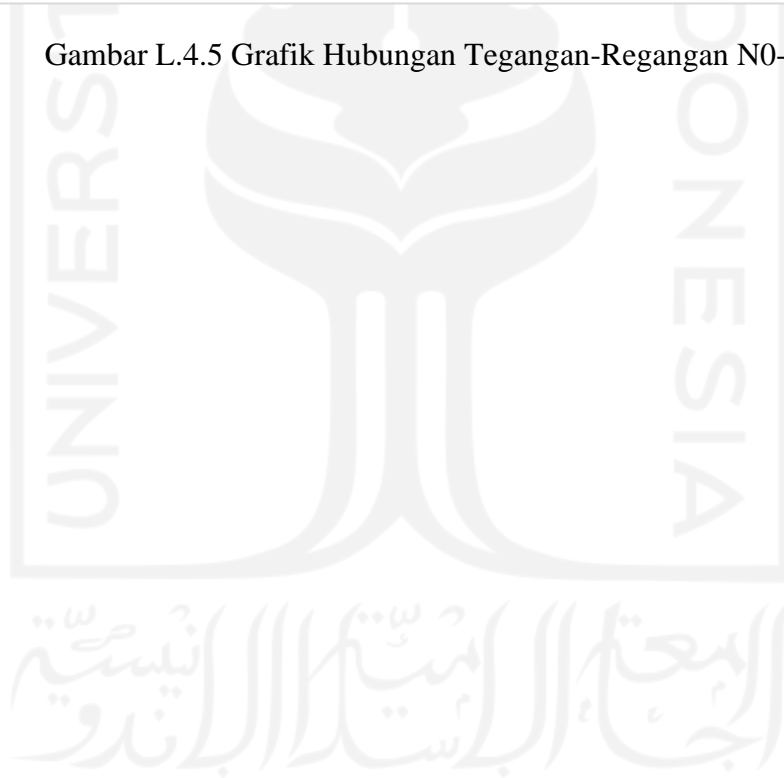
Gambar L.4.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N0-09

Tabel L.4.5 Analisis Beton Variasi N0-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	18	0,009	0,00005	0,55159
20	20000	22	0,011	0,00006	1,10319
30	30000	35	0,018	0,00009	1,65478
40	40000	48	0,024	0,00012	2,20638
50	50000	61	0,031	0,00015	2,75797
60	60000	85	0,043	0,00021	3,30957
70	70000	95	0,048	0,00024	3,86116
80	80000	101	0,051	0,00025	4,41275
90	90000	116	0,058	0,00029	4,96435
100	100000	137	0,069	0,00034	5,51594
110	110000	150	0,075	0,00038	6,06754
120	120000	155	0,078	0,00039	6,61913
130	130000	160	0,080	0,00040	7,17073
140	140000	169	0,085	0,00042	7,72232
150	150000	174	0,087	0,00044	8,27392
160	160000	179	0,090	0,00045	8,82551
170	170000	184	0,092	0,00046	9,37710
180	180000	190	0,095	0,00048	9,92870
190	190000	200	0,100	0,00050	10,48029
200	200000	218	0,109	0,00055	11,03189
210	210000	229	0,115	0,00057	11,58348
220	220000	241	0,121	0,00060	12,13508
230	230000	249	0,125	0,00062	12,68667
240	240000	254	0,127	0,00064	13,23826
250	250000	262	0,131	0,00066	13,78986
260	260000	294	0,147	0,00074	14,34145
270	270000	331	0,166	0,00083	14,89305
275	275000	374	0,187	0,00094	15,16884
233.75	233750	411	0,206	0,00103	12,89352



Gambar L.4.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N0-10



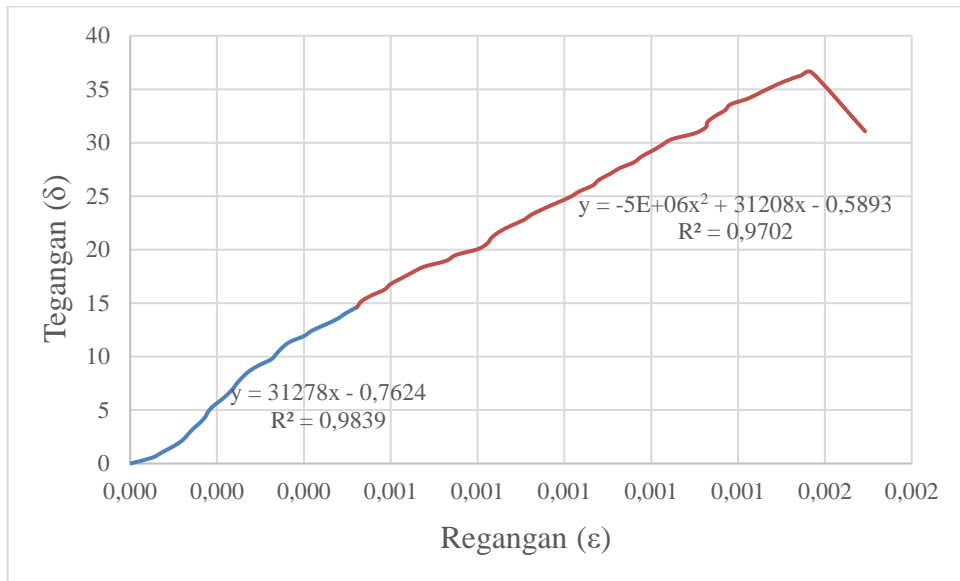
Lampiran 5. Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-01

Tabel L.5.1 Analisis Beton Variasi V1-06

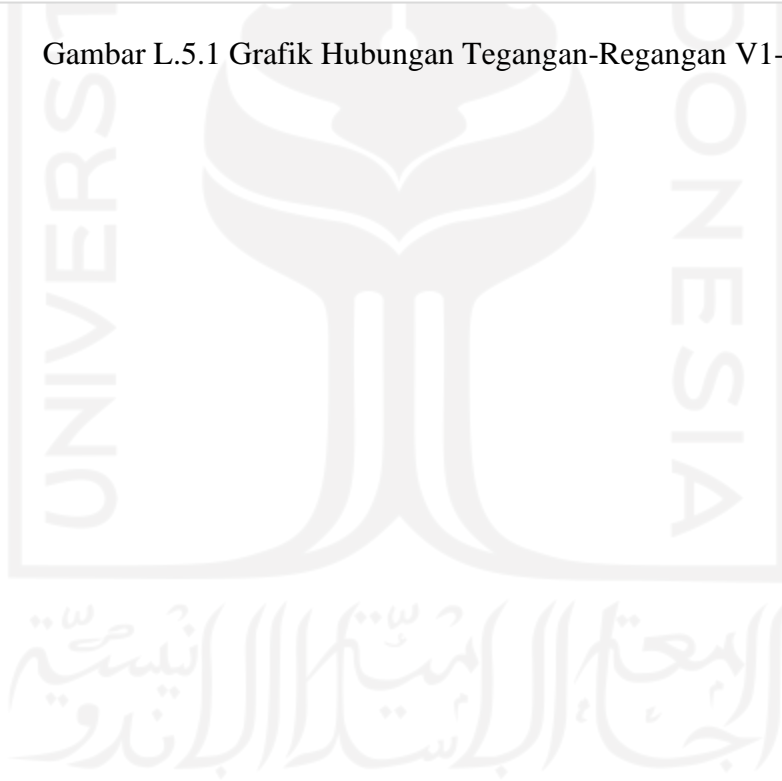
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	20	0,010	0,00005	0,54157
20	20000	30	0,015	0,00008	1,08313
30	30000	40	0,020	0,00010	1,62470
40	40000	48	0,024	0,00012	2,16626
50	50000	53	0,027	0,00013	2,70783
60	60000	58	0,029	0,00015	3,24939
70	70000	64	0,032	0,00016	3,79096
80	80000	69	0,035	0,00017	4,33252
90	90000	72	0,036	0,00018	4,87409
100	100000	77	0,039	0,00019	5,41566
110	110000	84	0,042	0,00021	5,95722
120	120000	90	0,045	0,00023	6,49879
130	130000	95	0,048	0,00024	7,04035
140	140000	99	0,050	0,00025	7,58192
150	150000	104	0,052	0,00026	8,12348
160	160000	110	0,055	0,00028	8,66505
170	170000	119	0,060	0,00030	9,20661
180	180000	130	0,065	0,00033	9,74818
190	190000	135	0,068	0,00034	10,28975
200	200000	140	0,070	0,00035	10,83131
210	210000	147	0,074	0,00037	11,37288
220	220000	160	0,080	0,00040	11,91444
230	230000	168	0,084	0,00042	12,45601
240	240000	180	0,090	0,00045	12,99757
250	250000	191	0,096	0,00048	13,53914
260	260000	199	0,100	0,00050	14,08070
270	270000	209	0,105	0,00052	14,62227
280	280000	213	0,107	0,00053	15,16384
290	290000	222	0,111	0,00056	15,70540
300	300000	234	0,117	0,00059	16,24697
310	310000	240	0,120	0,00060	16,78853
320	320000	250	0,125	0,00063	17,33010
330	330000	260	0,130	0,00065	17,87166
340	340000	271	0,136	0,00068	18,41323

Lanjutan Tabel L.5.1 Analisis Beton Variasi V1-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
350	350000	291	0,146	0,00073	18,95479
360	360000	300	0,150	0,00075	19,49636
370	370000	320	0,160	0,00080	20,03793
380	380000	329	0,165	0,00082	20,57949
390	390000	333	0,167	0,00083	21,12106
400	400000	340	0,170	0,00085	21,66262
410	410000	350	0,175	0,00088	22,20419
420	420000	362	0,181	0,00091	22,74575
430	430000	370	0,185	0,00093	23,28732
440	440000	381	0,191	0,00095	23,82888
450	450000	393	0,197	0,00098	24,37045
460	460000	405	0,203	0,00101	24,91202
470	470000	414	0,207	0,00104	25,45358
480	480000	426	0,213	0,00107	25,99515
490	490000	432	0,216	0,00108	26,53671
500	500000	442	0,221	0,00111	27,07828
510	510000	451	0,226	0,00113	27,61984
520	520000	464	0,232	0,00116	28,16141
530	530000	471	0,236	0,00118	28,70297
540	540000	481	0,241	0,00120	29,24454
550	550000	490	0,245	0,00123	29,78611
560	560000	499	0,250	0,00125	30,32767
570	570000	520	0,260	0,00130	30,86924
580	580000	530	0,265	0,00133	31,41080
590	590000	532	0,266	0,00133	31,95237
600	600000	539	0,270	0,00135	32,49393
610	610000	548	0,274	0,00137	33,03550
620	620000	553	0,277	0,00138	33,57706
630	630000	569	0,285	0,00142	34,11863
640	640000	580	0,290	0,00145	34,66020
650	650000	591	0,296	0,00148	35,20176
660	660000	603	0,302	0,00151	35,74333
670	670000	618	0,309	0,00155	36,28489
675	675000	628	0,314	0,00157	36,55568
573.75	573750	677	0,339	0,00169	31,07232

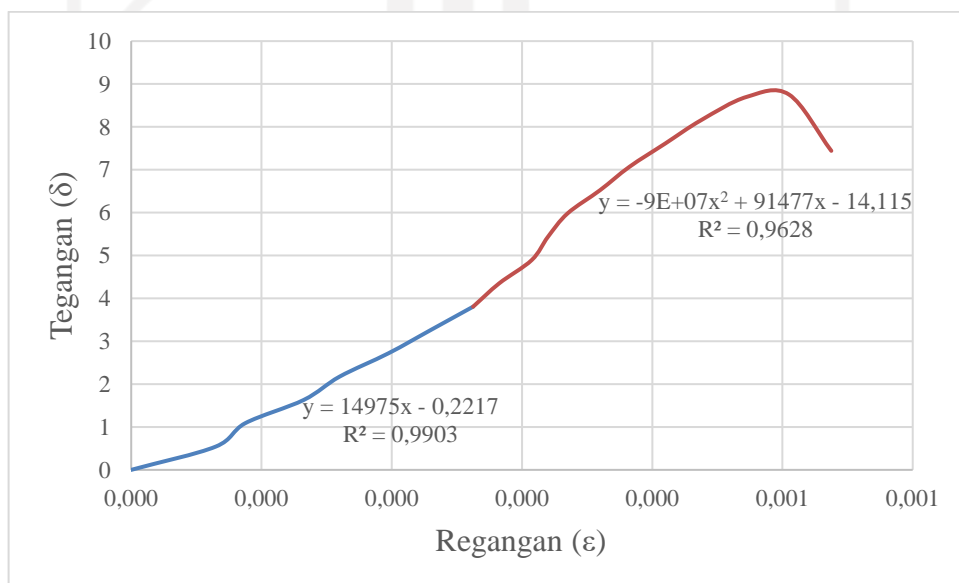


Gambar L.5.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V1-06



Tabel L.5.2 Analisis Beton Variasi V1-07

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	26	0,013	0,00007	0,54369
20	20000	35	0,018	0,00009	1,08738
30	30000	53	0,027	0,00013	1,63107
40	40000	64	0,032	0,00016	2,17477
50	50000	79	0,040	0,00020	2,71846
60	60000	92	0,046	0,00023	3,26215
70	70000	105	0,053	0,00026	3,80584
80	80000	113	0,057	0,00028	4,34953
90	90000	123	0,062	0,00031	4,89322
100	100000	128	0,064	0,00032	5,43691
110	110000	134	0,067	0,00034	5,98061
120	120000	144	0,072	0,00036	6,52430
130	130000	153	0,077	0,00038	7,06799
140	140000	164	0,082	0,00041	7,61168
150	150000	175	0,088	0,00044	8,15537
160	160000	189	0,095	0,00047	8,69906
161.0	161000	202	0,101	0,00051	8,75343
136.85	136850	215	0,108	0,00054	7,44042



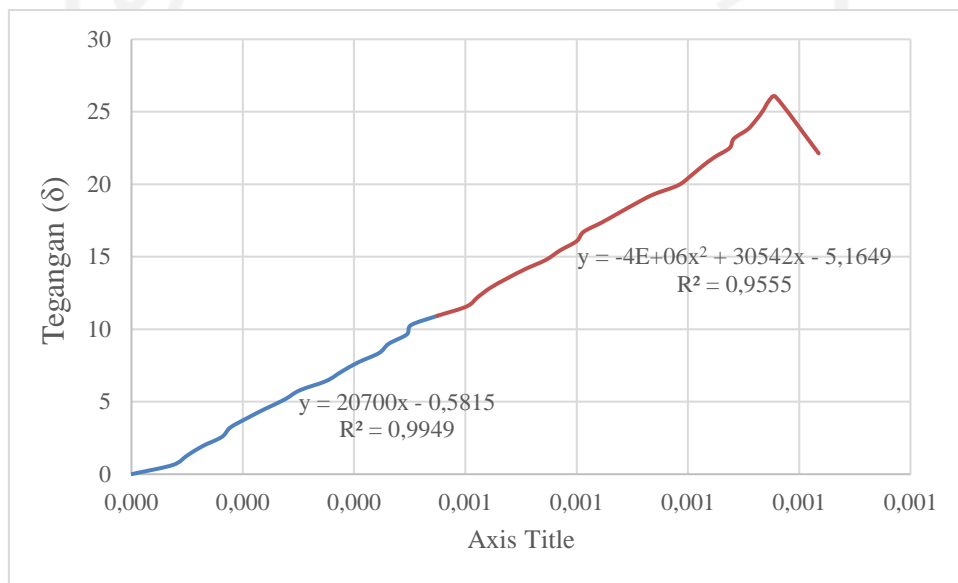
Gambar L.5.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V1-7

Tabel L.5.3 Analisis Beton Variasi V1-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	30	0,015	0,00008	0,64291
20	20000	40	0,020	0,00010	1,28581
30	30000	51	0,026	0,00013	1,92872
40	40000	65	0,033	0,00016	2,57162
50	50000	71	0,036	0,00018	3,21453
60	60000	83	0,042	0,00021	3,85743
70	70000	96	0,048	0,00024	4,50034
80	80000	110	0,055	0,00028	5,14324
90	90000	121	0,061	0,00030	5,78615
100	100000	140	0,070	0,00035	6,42906
110	110000	151	0,076	0,00038	7,07196
120	120000	163	0,082	0,00041	7,71487
130	130000	178	0,089	0,00045	8,35777
140	140000	185	0,093	0,00046	9,00068
150	150000	198	0,099	0,00050	9,64358
160	160000	201	0,101	0,00050	10,28649
170	170000	220	0,110	0,00055	10,92939
180	180000	241	0,121	0,00060	11,57230
190	190000	249	0,125	0,00062	12,21520
200	200000	258	0,129	0,00065	12,85811
210	210000	270	0,135	0,00068	13,50102
220	220000	283	0,142	0,00071	14,14392
230	230000	298	0,149	0,00075	14,78683
240	240000	308	0,154	0,00077	15,42973
250	250000	320	0,160	0,00080	16,07264
260	260000	325	0,163	0,00081	16,71554
270	270000	338	0,169	0,00085	17,35845
280	280000	350	0,175	0,00088	18,00135
290	290000	362	0,181	0,00091	18,64426
300	300000	375	0,188	0,00094	19,28717
310	310000	393	0,197	0,00098	19,93007
320	320000	402	0,201	0,00101	20,57298
330	330000	410	0,205	0,00103	21,21588
340	340000	419	0,210	0,00105	21,85879
350	350000	430	0,215	0,00108	22,50169
360	360000	433	0,217	0,00108	23,14460

Lanjutan Tabel L.5.3 Analisis Beton Variasi V1-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	443	0,222	0,00111	23,78750
380	380000	449	0,225	0,00112	24,43041
390	390000	454	0,227	0,00114	25,07332
400	400000	458	0,229	0,00115	25,71622
405	405000	463	0,232	0,00116	26,03767
344.25	344250	494	0,247	0,00124	22,13202

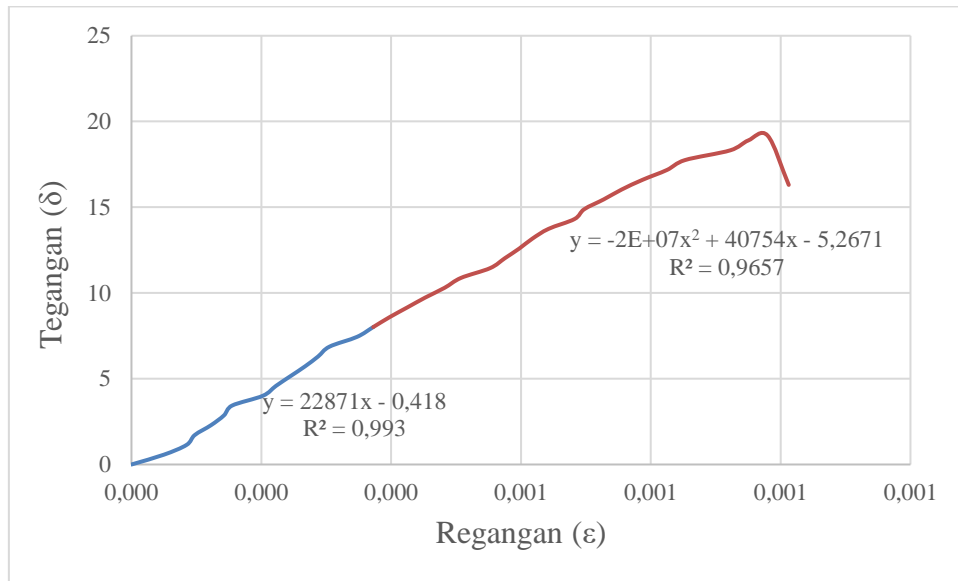


Gambar L.5.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V1-08

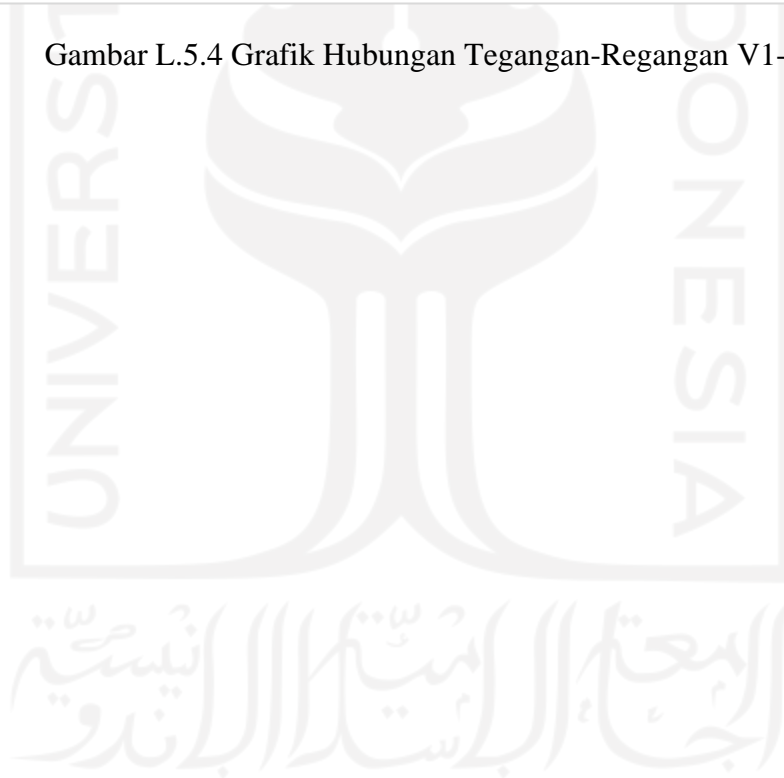
الجامعة الإسلامية
الاستدائات

Tabel L.5.4 Analisis Beton Variasi V1-09

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	20	0,010	0,00005	0,57251
20	20000	34	0,017	0,00009	1,14501
30	30000	39	0,020	0,00010	1,71752
40	40000	49	0,025	0,00012	2,29002
50	50000	57	0,029	0,00014	2,86253
60	60000	62	0,031	0,00016	3,43504
70	70000	81	0,041	0,00020	4,00754
80	80000	89	0,045	0,00022	4,58005
90	90000	98	0,049	0,00025	5,15255
100	100000	107	0,054	0,00027	5,72506
110	110000	115	0,058	0,00029	6,29757
120	120000	122	0,061	0,00031	6,87007
130	130000	139	0,070	0,00035	7,44258
140	140000	149	0,075	0,00037	8,01508
150	150000	159	0,080	0,00040	8,58759
160	160000	170	0,085	0,00043	9,16010
170	170000	181	0,091	0,00045	9,73260
180	180000	193	0,097	0,00048	10,30511
190	190000	203	0,102	0,00051	10,87761
200	200000	221	0,111	0,00055	11,45012
210	210000	230	0,115	0,00058	12,02263
220	220000	239	0,120	0,00060	12,59513
230	230000	247	0,124	0,00062	13,16764
240	240000	257	0,129	0,00064	13,74014
250	250000	273	0,137	0,00068	14,31265
260	260000	279	0,140	0,00070	14,88516
270	270000	291	0,146	0,00073	15,45766
280	280000	302	0,151	0,00076	16,03017
290	290000	315	0,158	0,00079	16,60267
300	300000	330	0,165	0,00083	17,17518
310	310000	341	0,171	0,00085	17,74769
320	320000	369	0,185	0,00092	18,32019
330	330000	380	0,190	0,00095	18,89270
335.0	335000	392	0,196	0,00098	19,17895
284.75	284750	405	0,203	0,00101	16,30211



Gambar L.5.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V1-09



Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V1-10

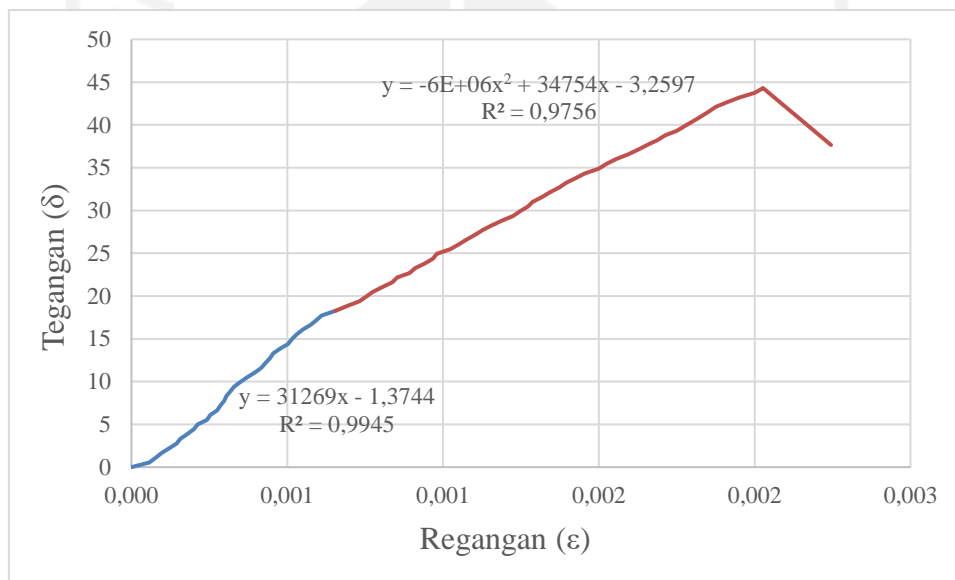
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	23	0,012	0,00006	0,55378
20	20000	31	0,016	0,00008	1,10756
30	30000	39	0,020	0,00010	1,66134
40	40000	49	0,025	0,00012	2,21512
50	50000	58	0,029	0,00015	2,76890
60	60000	63	0,032	0,00016	3,32268
70	70000	72	0,036	0,00018	3,87646
80	80000	80	0,040	0,00020	4,43024
90	90000	85	0,043	0,00021	4,98402
100	100000	97	0,049	0,00024	5,53780
110	110000	101	0,051	0,00025	6,09158
120	120000	110	0,055	0,00028	6,64536
130	130000	114	0,057	0,00029	7,19913
140	140000	119	0,060	0,00030	7,75291
150	150000	122	0,061	0,00031	8,30669
160	160000	127	0,064	0,00032	8,86047
170	170000	132	0,066	0,00033	9,41425
180	180000	140	0,070	0,00035	9,96803
190	190000	149	0,075	0,00037	10,52181
200	200000	159	0,080	0,00040	11,07559
210	210000	167	0,084	0,00042	11,62937
220	220000	172	0,086	0,00043	12,18315
230	230000	178	0,089	0,00045	12,73693
240	240000	182	0,091	0,00046	13,29071
250	250000	191	0,096	0,00048	13,84449
260	260000	201	0,101	0,00050	14,39827
270	270000	206	0,103	0,00052	14,95205
280	280000	212	0,106	0,00053	15,50583
290	290000	220	0,110	0,00055	16,05961
300	300000	230	0,115	0,00058	16,61339
310	310000	237	0,119	0,00059	17,16717
320	320000	244	0,122	0,00061	17,72095
330	330000	262	0,131	0,00066	18,27473
340	340000	277	0,139	0,00069	18,82851
350	350000	293	0,147	0,00073	19,38229
360	360000	301	0,151	0,00075	19,93607

Lanjutan Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V1-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	310	0,155	0,00078	20,48984
380	380000	322	0,161	0,00081	21,04362
390	390000	335	0,168	0,00084	21,59740
400	400000	341	0,171	0,00085	22,15118
410	410000	357	0,179	0,00089	22,70496
420	420000	364	0,182	0,00091	23,25874
430	430000	377	0,189	0,00094	23,81252
440	440000	387	0,194	0,00097	24,36630
450	450000	392	0,196	0,00098	24,92008
460	460000	409	0,205	0,00102	25,47386
470	470000	420	0,210	0,00105	26,02764
480	480000	430	0,215	0,00108	26,58142
490	490000	441	0,221	0,00110	27,13520
500	500000	451	0,226	0,00113	27,68898
510	510000	462	0,231	0,00116	28,24276
520	520000	475	0,238	0,00119	28,79654
530	530000	490	0,245	0,00123	29,35032
540	540000	499	0,250	0,00125	29,90410
550	550000	509	0,255	0,00127	30,45788
560	560000	515	0,258	0,00129	31,01166
570	570000	527	0,264	0,00132	31,56544
580	580000	537	0,269	0,00134	32,11922
590	590000	549	0,275	0,00137	32,67300
600	600000	558	0,279	0,00140	33,22678
610	610000	570	0,285	0,00143	33,78056
620	620000	582	0,291	0,00146	34,33433
630	630000	600	0,300	0,00150	34,88811
640	640000	610	0,305	0,00153	35,44189
650	650000	622	0,311	0,00156	35,99567
660	660000	637	0,319	0,00159	36,54945
670	670000	650	0,325	0,00163	37,10323
680	680000	662	0,331	0,00166	37,65701
690	690000	675	0,338	0,00169	38,21079
700	700000	685	0,343	0,00171	38,76457
710	710000	700	0,350	0,00175	39,31835
720	720000	710	0,355	0,00178	39,87213
730	730000	721	0,361	0,00180	40,42591

Lanjutan Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V1-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	731	0,366	0,00183	40,97969
750	750000	741	0,371	0,00185	41,53347
760	760000	750	0,375	0,00188	42,08725
770	770000	764	0,382	0,00191	42,64103
780	780000	780	0,390	0,00195	43,19481
790	790000	800	0,400	0,00200	43,74859
800	800000	811	0,406	0,00203	44,30237
680	680000	898	0,449	0,00225	37,65701



Gambar L.5.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V1-10

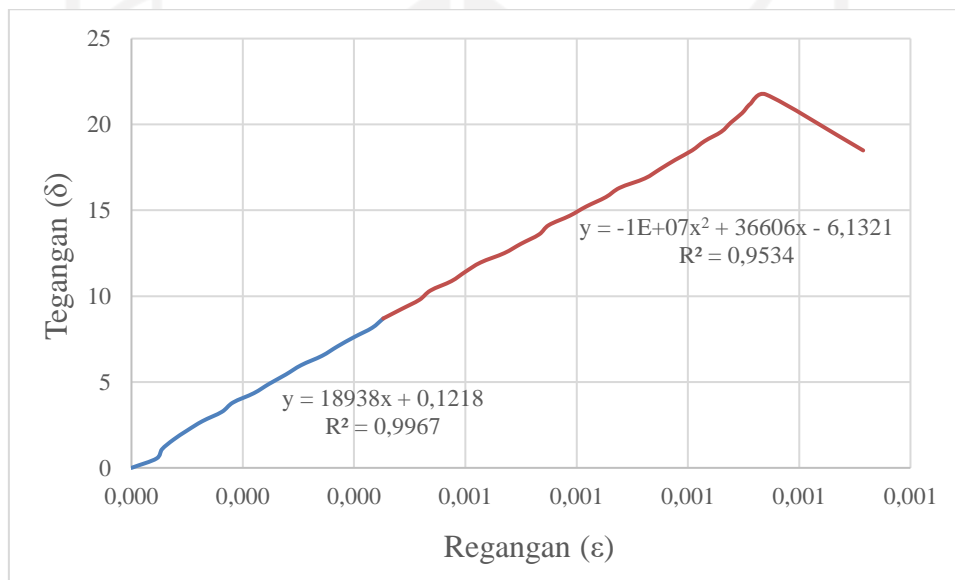
Lampiran 6. Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-02

Tabel L.6.1 Analisis Beton Variasi V2-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	18	0,009	0,00005	0,54369
20	20000	22	0,011	0,00006	1,08738
30	30000	30	0,015	0,00008	1,63107
40	40000	40	0,020	0,00010	2,17477
50	50000	51	0,026	0,00013	2,71846
60	60000	65	0,033	0,00016	3,26215
70	70000	73	0,037	0,00018	3,80584
80	80000	88	0,044	0,00022	4,34953
90	90000	99	0,050	0,00025	4,89322
100	100000	111	0,056	0,00028	5,43691
110	110000	122	0,061	0,00031	5,98061
120	120000	137	0,069	0,00034	6,52430
130	130000	148	0,074	0,00037	7,06799
140	140000	160	0,080	0,00040	7,61168
150	150000	173	0,087	0,00043	8,15537
160	160000	181	0,091	0,00045	8,69906
170	170000	194	0,097	0,00049	9,24275
180	180000	207	0,104	0,00052	9,78645
190	190000	215	0,108	0,00054	10,33014
200	200000	230	0,115	0,00058	10,87383
210	210000	240	0,120	0,00060	11,41752
220	220000	251	0,126	0,00063	11,96121
230	230000	268	0,134	0,00067	12,50490
240	240000	280	0,140	0,00070	13,04859
250	250000	293	0,147	0,00073	13,59229
260	260000	300	0,150	0,00075	14,13598
270	270000	315	0,158	0,00079	14,67967
280	280000	327	0,164	0,00082	15,22336
290	290000	341	0,171	0,00085	15,76705
300	300000	351	0,176	0,00088	16,31074
310	310000	369	0,185	0,00092	16,85443
320	320000	380	0,190	0,00095	17,39813
330	330000	391	0,196	0,00098	17,94182
340	340000	403	0,202	0,00101	18,48551

Lanjutan Tabel L.6.1 Analisis Beton Variasi V2-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
350	350000	412	0,206	0,00103	19,02920
360	360000	424	0,212	0,00106	19,57289
370	370000	431	0,216	0,00108	20,11658
380	380000	439	0,220	0,00110	20,66027
390	390000	445	0,223	0,00111	21,20397
400	400000	456	0,228	0,00114	21,74766
340	340000	526	0,263	0,00132	18,48551



Gambar L.6.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V2-06

Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V2-07

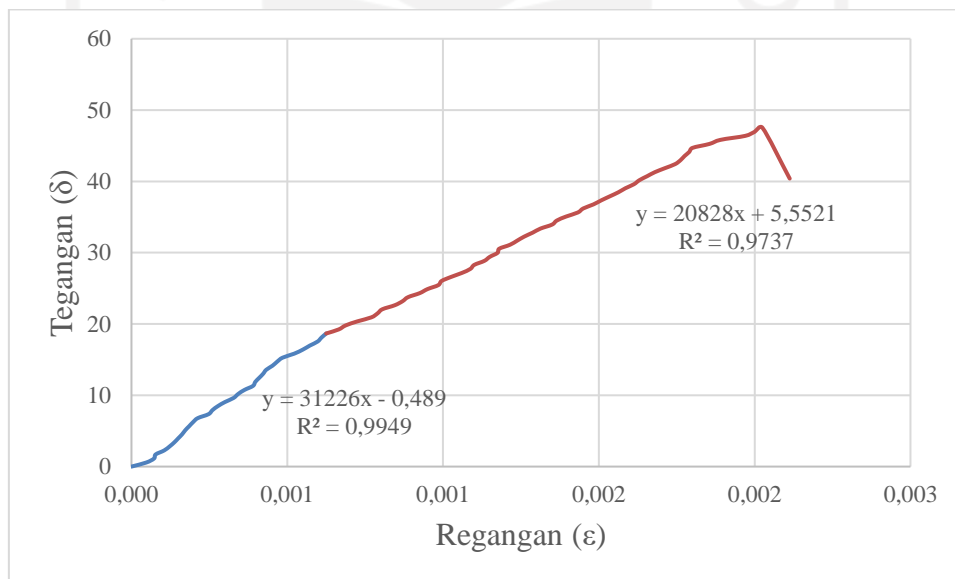
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	19	0,010	0,00005	0,56566
20	20000	29	0,015	0,00007	1,13131
30	30000	31	0,016	0,00008	1,69697
40	40000	42	0,021	0,00011	2,26263
50	50000	49	0,025	0,00012	2,82828
60	60000	55	0,028	0,00014	3,39394
70	70000	60	0,030	0,00015	3,95960
80	80000	65	0,033	0,00016	4,52525
90	90000	69	0,035	0,00017	5,09091
100	100000	74	0,037	0,00019	5,65657
110	110000	79	0,040	0,00020	6,22222
120	120000	85	0,043	0,00021	6,78788
130	130000	99	0,050	0,00025	7,35354
140	140000	104	0,052	0,00026	7,91919
150	150000	111	0,056	0,00028	8,48485
160	160000	120	0,060	0,00030	9,05051
170	170000	131	0,066	0,00033	9,61616
180	180000	137	0,069	0,00034	10,18182
190	190000	145	0,073	0,00036	10,74747
200	200000	156	0,078	0,00039	11,31313
210	210000	159	0,080	0,00040	11,87879
220	220000	164	0,082	0,00041	12,44444
230	230000	169	0,085	0,00042	13,01010
240	240000	173	0,087	0,00043	13,57576
250	250000	181	0,091	0,00045	14,14141
260	260000	187	0,094	0,00047	14,70707
270	270000	194	0,097	0,00049	15,27273
280	280000	209	0,105	0,00052	15,83838
290	290000	220	0,110	0,00055	16,40404
300	300000	229	0,115	0,00057	16,96970
310	310000	239	0,120	0,00060	17,53535
320	320000	244	0,122	0,00061	18,10101
330	330000	250	0,125	0,00063	18,66667
340	340000	266	0,133	0,00067	19,23232
350	350000	275	0,138	0,00069	19,79798
360	360000	290	0,145	0,00073	20,36364

Lanjutan Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V2-07

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	308	0,154	0,00077	20,92929
380	380000	316	0,158	0,00079	21,49495
390	390000	322	0,161	0,00081	22,06061
400	400000	338	0,169	0,00085	22,62626
410	410000	348	0,174	0,00087	23,19192
420	420000	355	0,178	0,00089	23,75758
430	430000	370	0,185	0,00093	24,32323
440	440000	380	0,190	0,00095	24,88889
450	450000	394	0,197	0,00099	25,45455
460	460000	398	0,199	0,00100	26,02020
470	470000	410	0,205	0,00103	26,58586
480	480000	424	0,212	0,00106	27,15152
490	490000	435	0,218	0,00109	27,71717
500	500000	440	0,220	0,00110	28,28283
510	510000	453	0,227	0,00113	28,84848
520	520000	460	0,230	0,00115	29,41414
530	530000	470	0,235	0,00118	29,97980
540	540000	472	0,236	0,00118	30,54545
550	550000	486	0,243	0,00122	31,11111
560	560000	495	0,248	0,00124	31,67677
570	570000	504	0,252	0,00126	32,24242
580	580000	515	0,258	0,00129	32,80808
590	590000	525	0,263	0,00131	33,37374
600	600000	540	0,270	0,00135	33,93939
610	610000	546	0,273	0,00137	34,50505
620	620000	558	0,279	0,00140	35,07071
630	630000	573	0,287	0,00143	35,63636
640	640000	580	0,290	0,00145	36,20202
650	650000	593	0,297	0,00148	36,76768
660	660000	603	0,302	0,00151	37,33333
670	670000	614	0,307	0,00154	37,89899
680	680000	625	0,313	0,00156	38,46465
690	690000	634	0,317	0,00159	39,03030
700	700000	645	0,323	0,00161	39,59596
710	710000	652	0,326	0,00163	40,16162
720	720000	662	0,331	0,00166	40,72727
730	730000	672	0,336	0,00168	41,29293

Lanjutan Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V2-07

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	685	0,343	0,00171	41,85859
750	750000	698	0,349	0,00175	42,42424
760	760000	705	0,353	0,00176	42,98990
770	770000	710	0,355	0,00178	43,55556
780	780000	716	0,358	0,00179	44,12121
790	790000	720	0,360	0,00180	44,68687
800	800000	742	0,371	0,00186	45,25253
810	810000	756	0,378	0,00189	45,81818
820	820000	788	0,394	0,00197	46,38384
830	830000	800	0,400	0,00200	46,94949
840	840000	810	0,405	0,00203	47,51515
714	714000	845	0,423	0,00211	40,38788



Gambar L.6.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V2-07

Tabel L.6.3 Analisis Beton Variasi V2-08

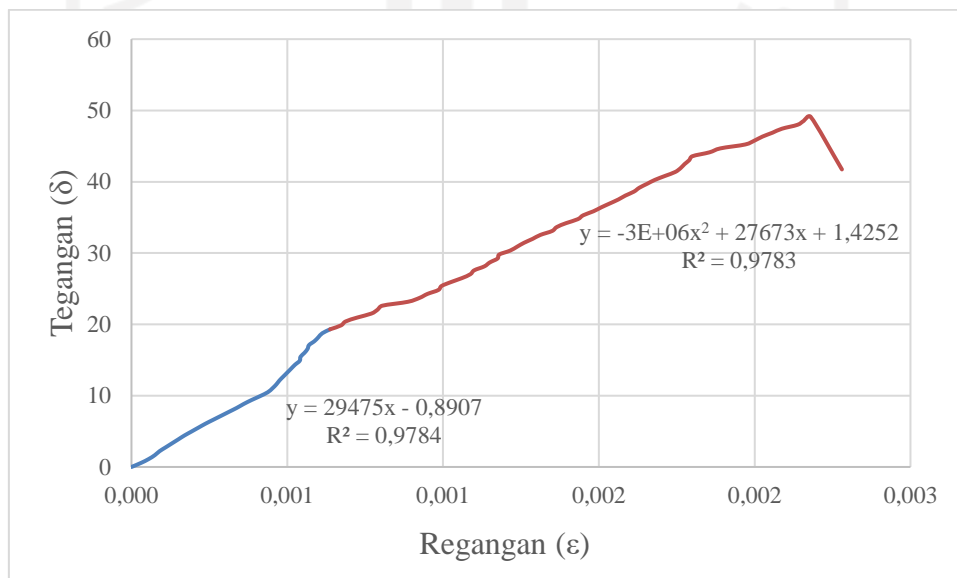
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	12	0,006	0,00003	0,55159
20	20000	22	0,011	0,00006	1,10319
30	30000	30	0,015	0,00008	1,65478
40	40000	36	0,018	0,00009	2,20638
50	50000	44	0,022	0,00011	2,75797
60	60000	52	0,026	0,00013	3,30957
70	70000	60	0,030	0,00015	3,86116
80	80000	68	0,034	0,00017	4,41275
90	90000	77	0,039	0,00019	4,96435
100	100000	86	0,043	0,00022	5,51594
110	110000	95	0,048	0,00024	6,06754
120	120000	105	0,053	0,00026	6,61913
130	130000	115	0,058	0,00029	7,17073
140	140000	125	0,063	0,00031	7,72232
150	150000	135	0,068	0,00034	8,27392
160	160000	144	0,072	0,00036	8,82551
170	170000	154	0,077	0,00039	9,37710
180	180000	165	0,083	0,00041	9,92870
190	190000	175	0,088	0,00044	10,48029
200	200000	181	0,091	0,00045	11,03189
210	210000	186	0,093	0,00047	11,58348
220	220000	190	0,095	0,00048	12,13508
230	230000	195	0,098	0,00049	12,68667
240	240000	200	0,100	0,00050	13,23826
250	250000	205	0,103	0,00051	13,78986
260	260000	210	0,105	0,00053	14,34145
270	270000	216	0,108	0,00054	14,89305
280	280000	217	0,109	0,00054	15,44464
290	290000	222	0,111	0,00056	15,99624
300	300000	226	0,113	0,00057	16,54783
310	310000	228	0,114	0,00057	17,09942
320	320000	235	0,118	0,00059	17,65102
330	330000	240	0,120	0,00060	18,20261
340	340000	245	0,123	0,00061	18,75421
350	350000	255	0,128	0,00064	19,30580
360	360000	269	0,135	0,00067	19,85740

Lanjutan Tabel L.6.3 Analisis Beton Variasi V2-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	275	0,138	0,00069	20,40899
380	380000	290	0,145	0,00073	20,96058
390	390000	308	0,154	0,00077	21,51218
400	400000	316	0,158	0,00079	22,06377
410	410000	322	0,161	0,00081	22,61537
420	420000	355	0,178	0,00089	23,16696
430	430000	370	0,185	0,00093	23,71856
440	440000	380	0,190	0,00095	24,27015
450	450000	394	0,197	0,00099	24,82175
460	460000	398	0,199	0,00100	25,37334
470	470000	410	0,205	0,00103	25,92493
480	480000	424	0,212	0,00106	26,47653
490	490000	435	0,218	0,00109	27,02812
500	500000	440	0,220	0,00110	27,57972
510	510000	453	0,227	0,00113	28,13131
520	520000	460	0,230	0,00115	28,68291
530	530000	470	0,235	0,00118	29,23450
540	540000	472	0,236	0,00118	29,78609
550	550000	486	0,243	0,00122	30,33769
560	560000	495	0,248	0,00124	30,88928
570	570000	504	0,252	0,00126	31,44088
580	580000	515	0,258	0,00129	31,99247
590	590000	525	0,263	0,00131	32,54407
600	600000	540	0,270	0,00135	33,09566
610	610000	546	0,273	0,00137	33,64725
620	620000	558	0,279	0,00140	34,19885
630	630000	573	0,287	0,00143	34,75044
640	640000	580	0,290	0,00145	35,30204
650	650000	593	0,297	0,00148	35,85363
660	660000	603	0,302	0,00151	36,40523
670	670000	614	0,307	0,00154	36,95682
680	680000	625	0,313	0,00156	37,50842
690	690000	634	0,317	0,00159	38,06001
700	700000	645	0,323	0,00161	38,61160
710	710000	652	0,326	0,00163	39,16320
720	720000	662	0,331	0,00166	39,71479
730	730000	672	0,336	0,00168	40,26639

Lanjutan Tabel L.6.3 Analisis Beton Variasi V2-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	685	0,343	0,00171	40,81798
750	750000	698	0,349	0,00175	41,36958
760	760000	705	0,353	0,00176	41,92117
770	770000	710	0,355	0,00178	42,47276
780	780000	716	0,358	0,00179	43,02436
790	790000	720	0,360	0,00180	43,57595
800	800000	742	0,371	0,00186	44,12755
810	810000	756	0,378	0,00189	44,67914
820	820000	788	0,394	0,00197	45,23074
830	830000	800	0,400	0,00200	45,78233
840	840000	810	0,405	0,00203	46,33392
850	850000	823	0,412	0,00206	46,88552
860	860000	835	0,418	0,00209	47,43711
870	870000	855	0,428	0,00214	47,98871
880	880000	863	0,432	0,00216	48,54030
890	890000	872	0,436	0,00218	49,09190
756.5	756500	912	0,456	0,00228	41,72811



Gambar L.6.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V2-08

Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V2-09

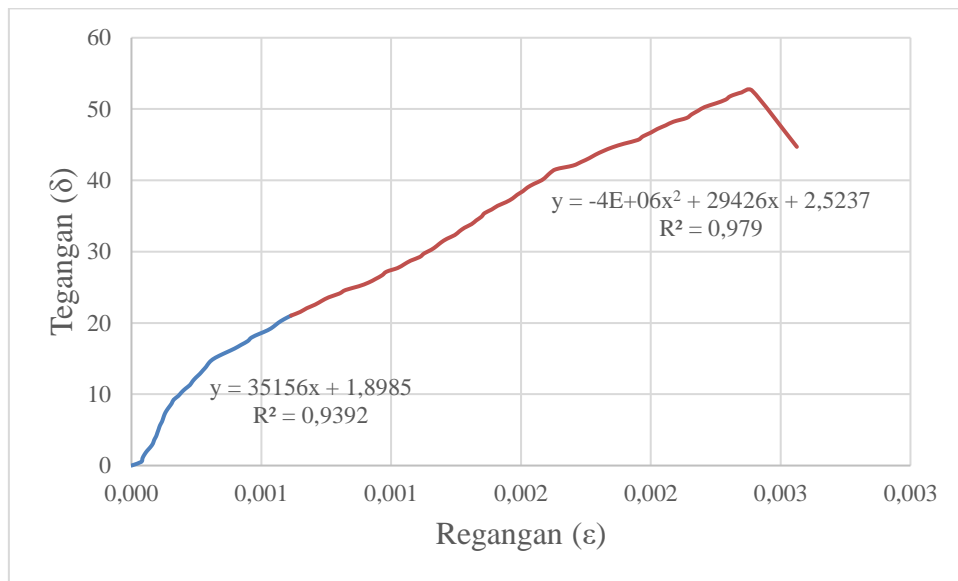
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	15	0,008	0,00004	0,51307
20	20000	17	0,009	0,00004	1,02613
30	30000	20	0,010	0,00005	1,53920
40	40000	24	0,012	0,00006	2,05227
50	50000	29	0,015	0,00007	2,56534
60	60000	33	0,017	0,00008	3,07840
70	70000	35	0,018	0,00009	3,59147
80	80000	38	0,019	0,00010	4,10454
90	90000	40	0,020	0,00010	4,61760
100	100000	42	0,021	0,00011	5,13067
110	110000	44	0,022	0,00011	5,64374
120	120000	47	0,024	0,00012	6,15681
130	130000	49	0,025	0,00012	6,66987
140	140000	51	0,026	0,00013	7,18294
150	150000	54	0,027	0,00014	7,69601
160	160000	58	0,029	0,00015	8,20907
170	170000	62	0,031	0,00016	8,72214
180	180000	65	0,033	0,00016	9,23521
190	190000	72	0,036	0,00018	9,74828
200	200000	77	0,039	0,00019	10,26134
210	210000	83	0,042	0,00021	10,77441
220	220000	90	0,045	0,00023	11,28748
230	230000	94	0,047	0,00024	11,80055
240	240000	99	0,050	0,00025	12,31361
250	250000	105	0,053	0,00026	12,82668
260	260000	110	0,055	0,00028	13,33975
270	270000	115	0,058	0,00029	13,85281
280	280000	119	0,060	0,00030	14,36588
290	290000	125	0,063	0,00031	14,87895
300	300000	135	0,068	0,00034	15,39202
310	310000	147	0,074	0,00037	15,90508
320	320000	159	0,080	0,00040	16,41815
330	330000	169	0,085	0,00042	16,93122
340	340000	179	0,090	0,00045	17,44428
350	350000	185	0,093	0,00046	17,95735
360	360000	197	0,099	0,00049	18,47042

Lanjutan Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V2-09

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	210	0,105	0,00053	18,98349
380	380000	219	0,110	0,00055	19,49655
390	390000	226	0,113	0,00057	20,00962
400	400000	235	0,118	0,00059	20,52269
410	410000	246	0,123	0,00062	21,03575
420	420000	260	0,130	0,00065	21,54882
430	430000	270	0,135	0,00068	22,06189
440	440000	283	0,142	0,00071	22,57496
450	450000	293	0,147	0,00073	23,08802
460	460000	304	0,152	0,00076	23,60109
470	470000	320	0,160	0,00080	24,11416
480	480000	330	0,165	0,00083	24,62722
490	490000	350	0,175	0,00088	25,14029
500	500000	365	0,183	0,00091	25,65336
510	510000	376	0,188	0,00094	26,16643
520	520000	386	0,193	0,00097	26,67949
530	530000	393	0,197	0,00098	27,19256
540	540000	410	0,205	0,00103	27,70563
550	550000	420	0,210	0,00105	28,21869
560	560000	430	0,215	0,00108	28,73176
570	570000	444	0,222	0,00111	29,24483
580	580000	451	0,226	0,00113	29,75790
590	590000	462	0,231	0,00116	30,27096
600	600000	470	0,235	0,00118	30,78403
610	610000	477	0,239	0,00119	31,29710
620	620000	486	0,243	0,00122	31,81017
630	630000	498	0,249	0,00125	32,32323
640	640000	505	0,253	0,00126	32,83630
650	650000	513	0,257	0,00128	33,34937
660	660000	524	0,262	0,00131	33,86243
670	670000	531	0,266	0,00133	34,37550
680	680000	539	0,270	0,00135	34,88857
690	690000	544	0,272	0,00136	35,40164
700	700000	555	0,278	0,00139	35,91470
710	710000	564	0,282	0,00141	36,42777
720	720000	577	0,289	0,00144	36,94084
730	730000	587	0,294	0,00147	37,45390

Lanjutan Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V2-09

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	594	0,297	0,00149	37,96697
750	750000	603	0,302	0,00151	38,48004
760	760000	610	0,305	0,00153	38,99311
770	770000	620	0,310	0,00155	39,50617
780	780000	632	0,316	0,00158	40,01924
790	790000	639	0,320	0,00160	40,53231
800	800000	645	0,323	0,00161	41,04537
810	810000	654	0,327	0,00164	41,55844
820	820000	680	0,340	0,00170	42,07151
830	830000	693	0,347	0,00173	42,58458
840	840000	705	0,353	0,00176	43,09764
850	850000	715	0,358	0,00179	43,61071
860	860000	727	0,364	0,00182	44,12378
870	870000	741	0,371	0,00185	44,63684
880	880000	759	0,380	0,00190	45,14991
890	890000	780	0,390	0,00195	45,66298
900	900000	788	0,394	0,00197	46,17605
910	910000	800	0,400	0,00200	46,68911
920	920000	810	0,405	0,00203	47,20218
930	930000	823	0,412	0,00206	47,71525
940	940000	835	0,418	0,00209	48,22831
950	950000	855	0,428	0,00214	48,74138
960	960000	863	0,432	0,00216	49,25445
970	970000	873	0,437	0,00218	49,76752
980	980000	883	0,442	0,00221	50,28058
990	990000	900	0,450	0,00225	50,79365
1000	1000000	915	0,458	0,00229	51,30672
1010	1010000	923	0,462	0,00231	51,81979
1020	1020000	940	0,470	0,00235	52,33285
1025	1025000	956	0,478	0,00239	52,58939
871.25	871250	1025	0,513	0,00256	44,70098



Gambar L.6.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V2-09

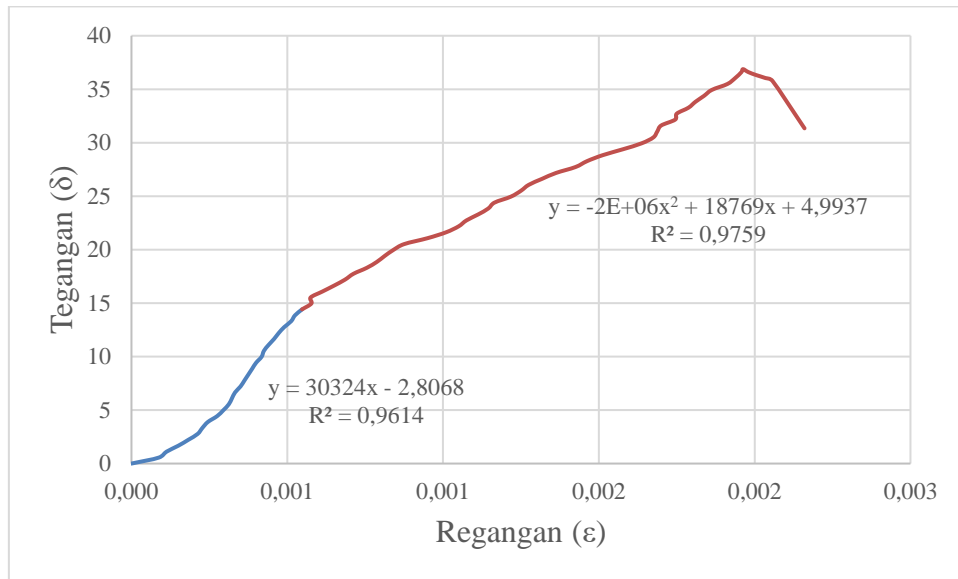


Tabel L.6.5 Analisis Beton Variasi V2-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	35	0,018	0,00009	0,55451
20	20000	45	0,023	0,00011	1,10902
30	30000	60	0,030	0,00015	1,66353
40	40000	73	0,037	0,00018	2,21804
50	50000	85	0,043	0,00021	2,77255
60	60000	91	0,046	0,00023	3,32707
70	70000	98	0,049	0,00025	3,88158
80	80000	110	0,055	0,00028	4,43609
90	90000	118	0,059	0,00030	4,99060
100	100000	125	0,063	0,00031	5,54511
110	110000	129	0,065	0,00032	6,09962
120	120000	133	0,067	0,00033	6,65413
130	130000	140	0,070	0,00035	7,20864
140	140000	145	0,073	0,00036	7,76315
150	150000	150	0,075	0,00038	8,31766
160	160000	155	0,078	0,00039	8,87217
170	170000	160	0,080	0,00040	9,42669
180	180000	167	0,084	0,00042	9,98120
190	190000	170	0,085	0,00043	10,53571
200	200000	176	0,088	0,00044	11,09022
210	210000	183	0,092	0,00046	11,64473
220	220000	189	0,095	0,00047	12,19924
230	230000	196	0,098	0,00049	12,75375
240	240000	205	0,103	0,00051	13,30826
250	250000	210	0,105	0,00053	13,86277
260	260000	219	0,110	0,00055	14,41728
270	270000	231	0,116	0,00058	14,97179
280	280000	230	0,115	0,00058	15,52631
290	290000	245	0,123	0,00061	16,08082
300	300000	260	0,130	0,00065	16,63533
310	310000	274	0,137	0,00069	17,18984
320	320000	285	0,143	0,00071	17,74435
330	330000	302	0,151	0,00076	18,29886
340	340000	315	0,158	0,00079	18,85337
350	350000	325	0,163	0,00081	19,40788
360	360000	336	0,168	0,00084	19,96239

Lanjutan Tabel L.6.5 Analisis Beton Variasi V2-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	350	0,175	0,00088	20,51690
380	380000	380	0,190	0,00095	21,07141
390	390000	404	0,202	0,00101	21,62592
400	400000	420	0,210	0,00105	22,18044
410	410000	430	0,215	0,00108	22,73495
420	420000	445	0,223	0,00111	23,28946
430	430000	458	0,229	0,00115	23,84397
440	440000	466	0,233	0,00117	24,39848
450	450000	487	0,244	0,00122	24,95299
460	460000	500	0,250	0,00125	25,50750
470	470000	510	0,255	0,00128	26,06201
480	480000	527	0,264	0,00132	26,61652
490	490000	545	0,273	0,00136	27,17103
500	500000	570	0,285	0,00143	27,72554
510	510000	585	0,293	0,00146	28,28006
520	520000	605	0,303	0,00151	28,83457
530	530000	631	0,316	0,00158	29,38908
540	540000	655	0,328	0,00164	29,94359
550	550000	670	0,335	0,00168	30,49810
560	560000	675	0,338	0,00169	31,05261
570	570000	680	0,340	0,00170	31,60712
580	580000	698	0,349	0,00175	32,16163
590	590000	700	0,350	0,00175	32,71614
600	600000	715	0,358	0,00179	33,27065
610	610000	724	0,362	0,00181	33,82516
620	620000	735	0,368	0,00184	34,37968
630	630000	745	0,373	0,00186	34,93419
640	640000	765	0,383	0,00191	35,48870
650	650000	775	0,388	0,00194	36,04321
660	660000	783	0,392	0,00196	36,59772
665	665000	785	0,393	0,00196	36,87497
660	660000	792	0,396	0,00198	36,59772
655	655000	802	0,401	0,00201	36,32046
650	650000	814	0,407	0,00204	36,04321
645	645000	823	0,412	0,00206	35,76595
565.25	565250	864	0,432	0,00216	31,34373



Gambar L.6.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V2-10



Lampiran 7. Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-03

Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V3-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	28	0,014	0,00007	0,56566
20	20000	40	0,020	0,00010	1,13131
30	30000	52	0,026	0,00013	1,69697
40	40000	60	0,030	0,00015	2,26263
50	50000	70	0,035	0,00018	2,82828
60	60000	75	0,038	0,00019	3,39394
70	70000	80	0,040	0,00020	3,95960
80	80000	85	0,043	0,00021	4,52525
90	90000	89	0,045	0,00022	5,09091
100	100000	95	0,048	0,00024	5,65657
110	110000	100	0,050	0,00025	6,22222
120	120000	108	0,054	0,00027	6,78788
130	130000	115	0,058	0,00029	7,35354
140	140000	121	0,061	0,00030	7,91919
150	150000	126	0,063	0,00032	8,48485
160	160000	130	0,065	0,00033	9,05051
170	170000	135	0,068	0,00034	9,61616
180	180000	139	0,070	0,00035	10,18182
190	190000	144	0,072	0,00036	10,74747
200	200000	149	0,075	0,00037	11,31313
210	210000	154	0,077	0,00039	11,87879
220	220000	161	0,081	0,00040	12,44444
230	230000	168	0,084	0,00042	13,01010
240	240000	175	0,088	0,00044	13,57576
250	250000	183	0,092	0,00046	14,14141
260	260000	188	0,094	0,00047	14,70707
270	270000	195	0,098	0,00049	15,27273
280	280000	200	0,100	0,00050	15,83838
290	290000	206	0,103	0,00052	16,40404
300	300000	213	0,107	0,00053	16,96970
310	310000	218	0,109	0,00055	17,53535
320	320000	229	0,115	0,00057	18,10101
330	330000	233	0,117	0,00058	18,66667
340	340000	237	0,119	0,00059	19,23232

Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V3-06

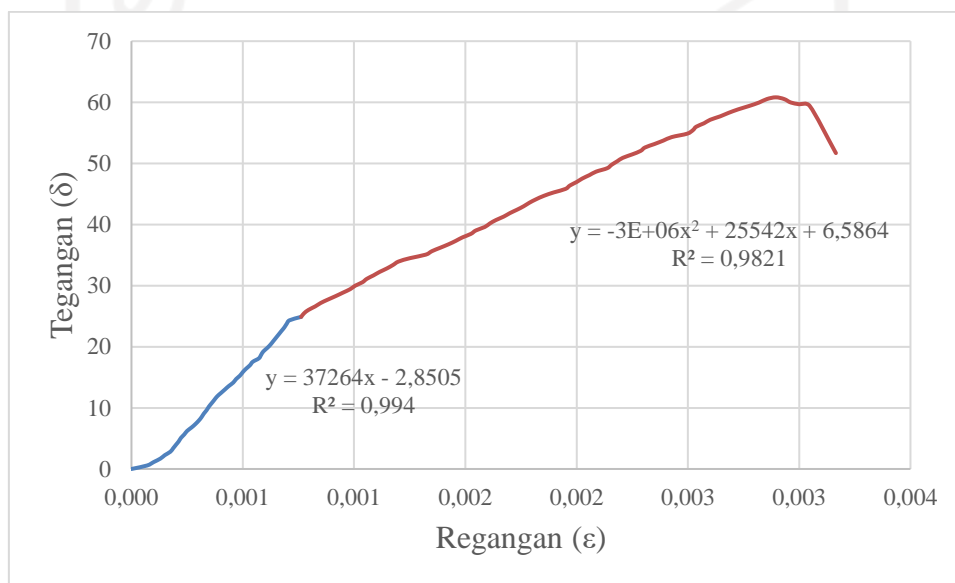
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
350	350000	244	0,122	0,00061	19,79798
360	360000	250	0,125	0,00063	20,36364
370	370000	255	0,128	0,00064	20,92929
380	380000	260	0,130	0,00065	21,49495
390	390000	265	0,133	0,00066	22,06061
400	400000	270	0,135	0,00068	22,62626
410	410000	275	0,138	0,00069	23,19192
420	420000	279	0,140	0,00070	23,75758
430	430000	284	0,142	0,00071	24,32323
440	440000	305	0,153	0,00076	24,88889
450	450000	310	0,155	0,00078	25,45455
460	460000	318	0,159	0,00080	26,02020
470	470000	330	0,165	0,00083	26,58586
480	480000	340	0,170	0,00085	27,15152
490	490000	353	0,177	0,00088	27,71717
500	500000	367	0,184	0,00092	28,28283
510	510000	380	0,190	0,00095	28,84848
520	520000	393	0,197	0,00098	29,41414
530	530000	402	0,201	0,00101	29,97980
540	540000	415	0,208	0,00104	30,54545
550	550000	423	0,212	0,00106	31,11111
560	560000	435	0,218	0,00109	31,67677
570	570000	446	0,223	0,00112	32,24242
580	580000	459	0,230	0,00115	32,80808
590	590000	470	0,235	0,00118	33,37374
600	600000	480	0,240	0,00120	33,93939
610	610000	501	0,251	0,00125	34,50505
620	620000	529	0,265	0,00132	35,07071
630	630000	540	0,270	0,00135	35,63636
640	640000	555	0,278	0,00139	36,20202
650	650000	570	0,285	0,00143	36,76768
660	660000	583	0,292	0,00146	37,33333
670	670000	595	0,298	0,00149	37,89899
680	680000	610	0,305	0,00153	38,46465
690	690000	619	0,310	0,00155	39,03030
700	700000	635	0,318	0,00159	39,59596
710	710000	644	0,322	0,00161	40,16162

Lanjutan Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V3-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
720	720000	655	0,328	0,00164	40,72727
730	730000	669	0,335	0,00167	41,29293
740	740000	680	0,340	0,00170	41,85859
750	750000	693	0,347	0,00173	42,42424
760	760000	705	0,353	0,00176	42,98990
770	770000	715	0,358	0,00179	43,55556
780	780000	727	0,364	0,00182	44,12121
790	790000	741	0,371	0,00185	44,68687
800	800000	759	0,380	0,00190	45,25253
810	810000	780	0,390	0,00195	45,81818
820	820000	788	0,394	0,00197	46,38384
830	830000	800	0,400	0,00200	46,94949
840	840000	810	0,405	0,00203	47,51515
850	850000	823	0,412	0,00206	48,08081
860	860000	835	0,418	0,00209	48,64646
870	870000	855	0,428	0,00214	49,21212
880	880000	863	0,432	0,00216	49,77778
890	890000	873	0,437	0,00218	50,34343
900	900000	883	0,442	0,00221	50,90909
910	910000	900	0,450	0,00225	51,47475
920	920000	915	0,458	0,00229	52,04040
930	930000	923	0,462	0,00231	52,60606
940	940000	940	0,470	0,00235	53,17172
950	950000	956	0,478	0,00239	53,73737
960	960000	971	0,486	0,00243	54,30303
970	970000	999	0,500	0,00250	54,86869
980	980000	1009	0,505	0,00252	55,43434
990	990000	1015	0,508	0,00254	56,00000
1000	1000000	1029	0,515	0,00257	56,56566
1010	1010000	1040	0,520	0,00260	57,13131
1020	1020000	1058	0,529	0,00265	57,69697
1030	1030000	1073	0,537	0,00268	58,26263
1040	1040000	1090	0,545	0,00273	58,82828
1050	1050000	1110	0,555	0,00278	59,39394
1060	1060000	1128	0,564	0,00282	59,95960
1070	1070000	1142	0,571	0,00286	60,52525
1075	1075000	1158	0,579	0,00290	60,80808

Lanjutan Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V3-06

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
1070	1070000	1173	0,587	0,00293	60,52525
1060	1060000	1185	0,593	0,00296	59,95960
1055	1055000	1200	0,600	0,00300	59,67677
1050	1050000	1219	0,610	0,00305	59,39394
913.75	913750	1266	0,633	0,00317	51,68687



Gambar L.7.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V3-06

الجامعة الإسلامية
الاستدائات

Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V3-07

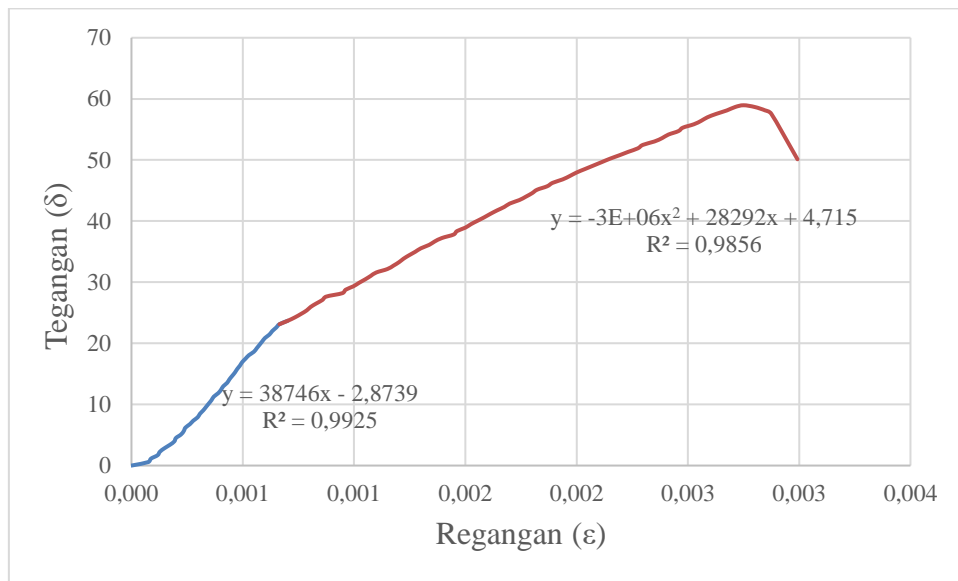
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	30	0,015	0,00008	0,56415
20	20000	35	0,018	0,00009	1,12830
30	30000	47	0,024	0,00012	1,69245
40	40000	51	0,026	0,00013	2,25660
50	50000	59	0,030	0,00015	2,82076
60	60000	69	0,035	0,00017	3,38491
70	70000	77	0,039	0,00019	3,94906
80	80000	80	0,040	0,00020	4,51321
90	90000	89	0,045	0,00022	5,07736
100	100000	94	0,047	0,00024	5,64151
110	110000	97	0,049	0,00024	6,20566
120	120000	105	0,053	0,00026	6,76981
130	130000	111	0,056	0,00028	7,33397
140	140000	119	0,060	0,00030	7,89812
150	150000	123	0,062	0,00031	8,46227
160	160000	129	0,065	0,00032	9,02642
170	170000	134	0,067	0,00034	9,59057
180	180000	139	0,070	0,00035	10,15472
190	190000	144	0,072	0,00036	10,71887
200	200000	148	0,074	0,00037	11,28302
210	210000	156	0,078	0,00039	11,84717
220	220000	161	0,081	0,00040	12,41133
230	230000	165	0,083	0,00041	12,97548
240	240000	172	0,086	0,00043	13,53963
250	250000	176	0,088	0,00044	14,10378
260	260000	181	0,091	0,00045	14,66793
270	270000	186	0,093	0,00047	15,23208
280	280000	190	0,095	0,00048	15,79623
290	290000	195	0,098	0,00049	16,36038
300	300000	199	0,100	0,00050	16,92453
310	310000	205	0,103	0,00051	17,48869
320	320000	211	0,106	0,00053	18,05284
330	330000	220	0,110	0,00055	18,61699
340	340000	225	0,113	0,00056	19,18114
350	350000	230	0,115	0,00058	19,74529
360	360000	235	0,118	0,00059	20,30944

Lanjutan Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V3-07

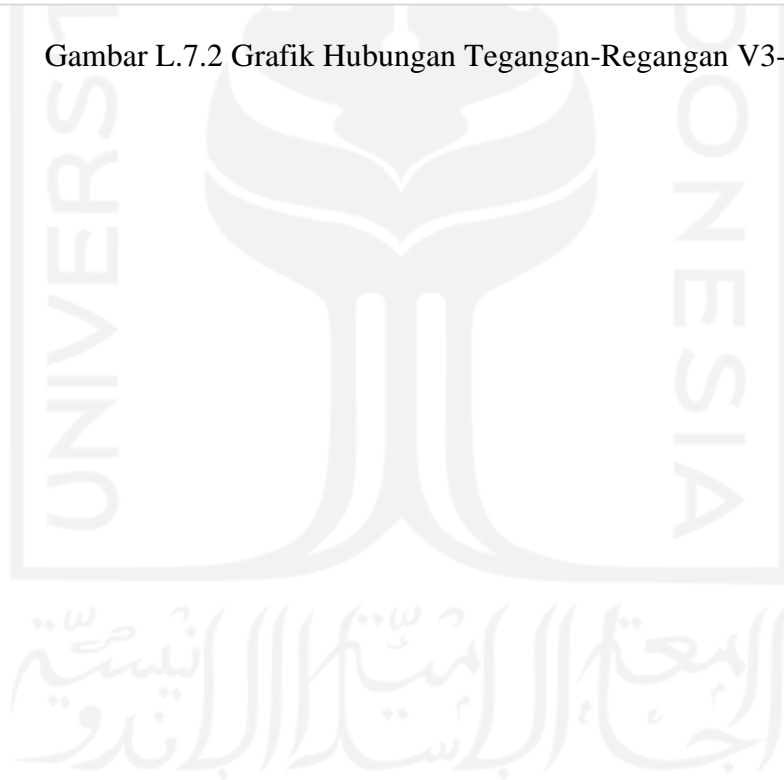
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	240	0,120	0,00060	20,87359
380	380000	248	0,124	0,00062	21,43774
390	390000	253	0,127	0,00063	22,00190
400	400000	260	0,130	0,00065	22,56605
410	410000	266	0,133	0,00067	23,13020
420	420000	281	0,141	0,00070	23,69435
430	430000	294	0,147	0,00074	24,25850
440	440000	305	0,153	0,00076	24,82265
450	450000	315	0,158	0,00079	25,38680
460	460000	322	0,161	0,00081	25,95095
470	470000	332	0,166	0,00083	26,51510
480	480000	343	0,172	0,00086	27,07926
490	490000	350	0,175	0,00088	27,64341
500	500000	379	0,190	0,00095	28,20756
510	510000	385	0,193	0,00096	28,77171
520	520000	399	0,200	0,00100	29,33586
530	530000	409	0,205	0,00102	29,90001
540	540000	420	0,210	0,00105	30,46416
550	550000	430	0,215	0,00108	31,02831
560	560000	440	0,220	0,00110	31,59246
570	570000	460	0,230	0,00115	32,15662
580	580000	471	0,236	0,00118	32,72077
590	590000	481	0,241	0,00120	33,28492
600	600000	489	0,245	0,00122	33,84907
610	610000	499	0,250	0,00125	34,41322
620	620000	510	0,255	0,00128	34,97737
630	630000	520	0,260	0,00130	35,54152
640	640000	535	0,268	0,00134	36,10567
650	650000	545	0,273	0,00136	36,66983
660	660000	558	0,279	0,00140	37,23398
670	670000	579	0,290	0,00145	37,79813
680	680000	585	0,293	0,00146	38,36228
690	690000	600	0,300	0,00150	38,92643
700	700000	610	0,305	0,00153	39,49058
710	710000	622	0,311	0,00156	40,05473
720	720000	634	0,317	0,00159	40,61888
730	730000	645	0,323	0,00161	41,18303

Lanjutan Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V3-07

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
740	740000	657	0,329	0,00164	41,74719
750	750000	670	0,335	0,00168	42,31134
760	760000	680	0,340	0,00170	42,87549
770	770000	697	0,349	0,00174	43,43964
780	780000	709	0,355	0,00177	44,00379
790	790000	720	0,360	0,00180	44,56794
800	800000	729	0,365	0,00182	45,13209
810	810000	747	0,374	0,00187	45,69624
820	820000	757	0,379	0,00189	46,26040
830	830000	775	0,388	0,00194	46,82455
840	840000	788	0,394	0,00197	47,38870
850	850000	800	0,400	0,00200	47,95285
860	860000	815	0,408	0,00204	48,51700
870	870000	830	0,415	0,00208	49,08115
880	880000	845	0,423	0,00211	49,64530
890	890000	860	0,430	0,00215	50,20945
900	900000	877	0,439	0,00219	50,77360
910	910000	893	0,447	0,00223	51,33776
920	920000	910	0,455	0,00228	51,90191
930	930000	919	0,460	0,00230	52,46606
940	940000	940	0,470	0,00235	53,03021
950	950000	954	0,477	0,00239	53,59436
960	960000	965	0,483	0,00241	54,15851
970	970000	983	0,492	0,00246	54,72266
980	980000	991	0,496	0,00248	55,28681
990	990000	1011	0,506	0,00253	55,85096
1000	1000000	1024	0,512	0,00256	56,41512
1010	1010000	1035	0,518	0,00259	56,97927
1020	1020000	1051	0,526	0,00263	57,54342
1030	1030000	1070	0,535	0,00268	58,10757
1040	1040000	1085	0,543	0,00271	58,67172
1045	1045000	1100	0,550	0,00275	58,95380
1040	1040000	1120	0,560	0,00280	58,67172
1030	1030000	1139	0,570	0,00285	58,10757
1020	1020000	1150	0,575	0,00288	57,54342
888.25	888250	1197	0,599	0,00299	50,11073



Gambar L.7.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V3-07



Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V3-08

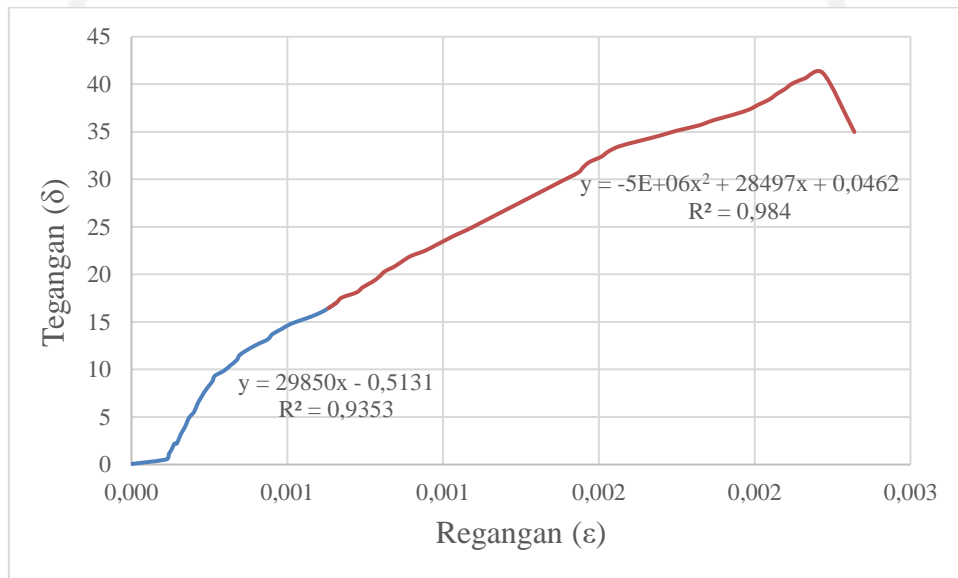
Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
1	1000	0	0,000	0,00000	0,05487
10	10000	45	0,023	0,00011	0,54870
20	20000	48	0,024	0,00012	1,09740
30	30000	52	0,026	0,00013	1,64610
40	40000	55	0,028	0,00014	2,19480
40	40000	58	0,029	0,00015	2,19480
50	50000	61	0,031	0,00015	2,74350
60	60000	64	0,032	0,00016	3,29220
70	70000	68	0,034	0,00017	3,84091
80	80000	71	0,036	0,00018	4,38961
90	90000	74	0,037	0,00019	4,93831
100	100000	80	0,040	0,00020	5,48701
110	110000	83	0,042	0,00021	6,03571
120	120000	86	0,043	0,00022	6,58441
130	130000	90	0,045	0,00023	7,13311
140	140000	94	0,047	0,00024	7,68181
150	150000	99	0,050	0,00025	8,23051
160	160000	104	0,052	0,00026	8,77921
170	170000	107	0,054	0,00027	9,32791
180	180000	119	0,060	0,00030	9,87661
190	190000	127	0,064	0,00032	10,42531
200	200000	135	0,068	0,00034	10,97401
210	210000	139	0,070	0,00035	11,52272
220	220000	149	0,075	0,00037	12,07142
230	230000	161	0,081	0,00040	12,62012
240	240000	175	0,088	0,00044	13,16882
250	250000	181	0,091	0,00045	13,71752
260	260000	193	0,097	0,00048	14,26622
270	270000	205	0,103	0,00051	14,81492
280	280000	224	0,112	0,00056	15,36362
290	290000	241	0,121	0,00060	15,91232
300	300000	253	0,127	0,00063	16,46102
310	310000	263	0,132	0,00066	17,00972
320	320000	270	0,135	0,00068	17,55842
330	330000	289	0,145	0,00072	18,10712
340	340000	297	0,149	0,00074	18,65583
350	350000	309	0,155	0,00077	19,20453

Lanjutan Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V3-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
360	360000	318	0,159	0,00080	19,75323
370	370000	325	0,163	0,00081	20,30193
380	380000	338	0,169	0,00085	20,85063
390	390000	348	0,174	0,00087	21,39933
400	400000	359	0,180	0,00090	21,94803
410	410000	377	0,189	0,00094	22,49673
420	420000	390	0,195	0,00098	23,04543
430	430000	403	0,202	0,00101	23,59413
440	440000	416	0,208	0,00104	24,14283
450	450000	431	0,216	0,00108	24,69153
460	460000	444	0,222	0,00111	25,24023
470	470000	457	0,229	0,00114	25,78893
480	480000	470	0,235	0,00118	26,33764
490	490000	483	0,242	0,00121	26,88634
500	500000	496	0,248	0,00124	27,43504
510	510000	509	0,255	0,00127	27,98374
520	520000	522	0,261	0,00131	28,53244
530	530000	535	0,268	0,00134	29,08114
540	540000	548	0,274	0,00137	29,62984
550	550000	561	0,281	0,00140	30,17854
560	560000	574	0,287	0,00144	30,72724
570	570000	580	0,290	0,00145	31,27594
580	580000	588	0,294	0,00147	31,82464
590	590000	603	0,302	0,00151	32,37334
600	600000	612	0,306	0,00153	32,92204
610	610000	626	0,313	0,00157	33,47074
620	620000	651	0,326	0,00163	34,01945
630	630000	677	0,339	0,00169	34,56815
640	640000	700	0,350	0,00175	35,11685
650	650000	728	0,364	0,00182	35,66555
660	660000	747	0,374	0,00187	36,21425
670	670000	771	0,386	0,00193	36,76295
680	680000	792	0,396	0,00198	37,31165
690	690000	805	0,403	0,00201	37,86035
700	700000	819	0,410	0,00205	38,40905
710	710000	828	0,414	0,00207	38,95775
720	720000	839	0,420	0,00210	39,50645

Lanjutan Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V3-08

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
730	730000	848	0,424	0,00212	40,05515
740	740000	864	0,432	0,00216	40,60385
750	750000	888	0,444	0,00222	41,15256
637.5	637500	928	0,464	0,00232	34,97967



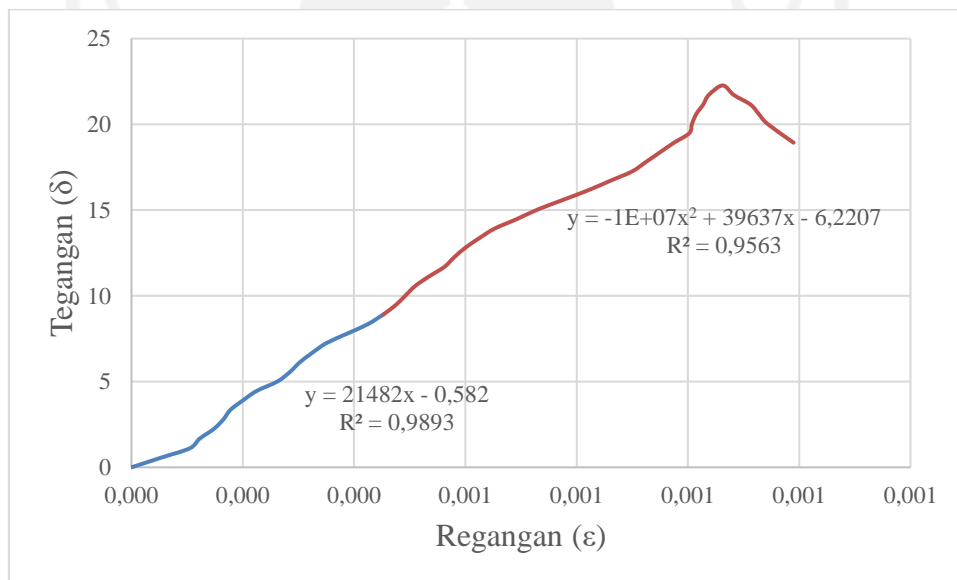
Gambar L.7.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V3-08

Tabel L.7.4 Analisis Beton Variasi V3-09

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	21	0,011	0,00005	0,55671
20	20000	42	0,021	0,00011	1,11343
30	30000	49	0,025	0,00012	1,67014
40	40000	59	0,030	0,00015	2,22685
50	50000	66	0,033	0,00017	2,78357
60	60000	71	0,036	0,00018	3,34028
70	70000	80	0,040	0,00020	3,89699
80	80000	90	0,045	0,00023	4,45371
90	90000	105	0,053	0,00026	5,01042
100	100000	114	0,057	0,00029	5,56714
110	110000	121	0,061	0,00030	6,12385
120	120000	130	0,065	0,00033	6,68056
130	130000	140	0,070	0,00035	7,23728
140	140000	155	0,078	0,00039	7,79399
150	150000	170	0,085	0,00043	8,35070
160	160000	181	0,091	0,00045	8,90742
170	170000	190	0,095	0,00048	9,46413
180	180000	197	0,099	0,00049	10,02084
190	190000	204	0,102	0,00051	10,57756
200	200000	214	0,107	0,00054	11,13427
210	210000	225	0,113	0,00056	11,69098
220	220000	232	0,116	0,00058	12,24770
230	230000	240	0,120	0,00060	12,80441
240	240000	250	0,125	0,00063	13,36112
250	250000	261	0,131	0,00065	13,91784
260	260000	277	0,139	0,00069	14,47455
270	270000	292	0,146	0,00073	15,03127
280	280000	310	0,155	0,00078	15,58798
290	290000	328	0,164	0,00082	16,14469
300	300000	344	0,172	0,00086	16,70141
310	310000	360	0,180	0,00090	17,25812
320	320000	370	0,185	0,00093	17,81483
330	330000	380	0,190	0,00095	18,37155
340	340000	390	0,195	0,00098	18,92826
350	350000	401	0,201	0,00100	19,48497
360	360000	403	0,202	0,00101	20,04169

Lanjutan Tabel L.7.4 Analisis Beton Variasi V3-09

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	406	0,203	0,00102	20,59840
380	380000	411	0,206	0,00103	21,15511
390	390000	415	0,208	0,00104	21,71183
400	400000	425	0,213	0,00106	22,26854
390	390000	433	0,217	0,00108	21,71183
380	380000	445	0,223	0,00111	21,15511
370	370000	451	0,226	0,00113	20,59840
360	360000	457	0,229	0,00114	20,04169
340	340000	476	0,238	0,00119	18,92826



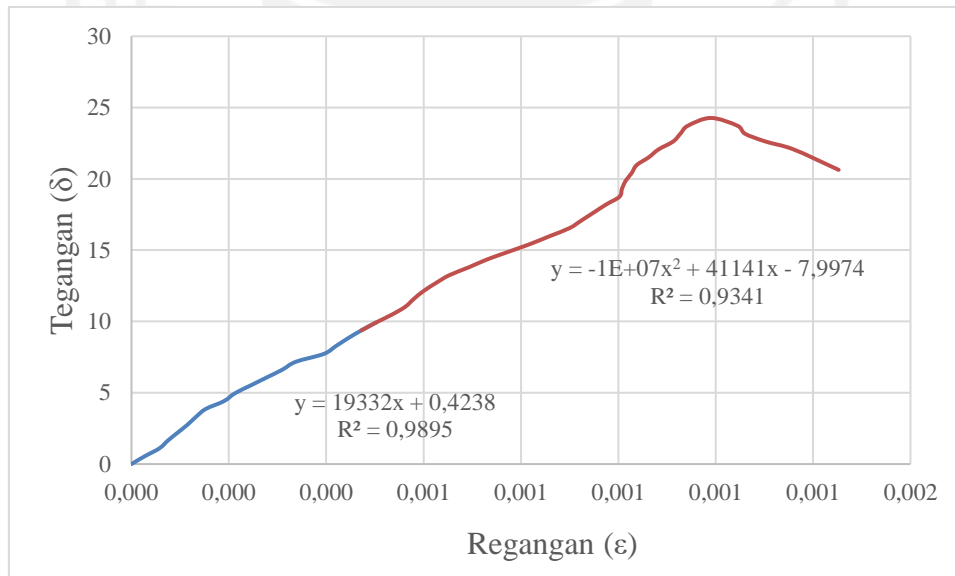
Gambar L.7.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V3-09

Tabel L.7.5 Analisis Beton Variasi V3-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
0	0	0	0,000	0,00000	0,00000
10	10000	11	0,006	0,00003	0,55159
20	20000	23	0,012	0,00006	1,10319
30	30000	30	0,015	0,00008	1,65478
40	40000	38	0,019	0,00010	2,20638
50	50000	46	0,023	0,00012	2,75797
60	60000	53	0,027	0,00013	3,30957
70	70000	61	0,031	0,00015	3,86116
80	80000	76	0,038	0,00019	4,41275
90	90000	85	0,043	0,00021	4,96435
100	100000	98	0,049	0,00025	5,51594
110	110000	111	0,056	0,00028	6,06754
120	120000	124	0,062	0,00031	6,61913
130	130000	135	0,068	0,00034	7,17073
140	140000	158	0,079	0,00040	7,72232
150	150000	168	0,084	0,00042	8,27392
160	160000	178	0,089	0,00045	8,82551
170	170000	189	0,095	0,00047	9,37710
180	180000	201	0,101	0,00050	9,92870
190	190000	214	0,107	0,00054	10,48029
200	200000	225	0,113	0,00056	11,03189
210	210000	232	0,116	0,00058	11,58348
220	220000	240	0,120	0,00060	12,13508
230	230000	250	0,125	0,00063	12,68667
240	240000	261	0,131	0,00065	13,23826
250	250000	277	0,139	0,00069	13,78986
260	260000	292	0,146	0,00073	14,34145
270	270000	310	0,155	0,00078	14,89305
280	280000	328	0,164	0,00082	15,44464
290	290000	344	0,172	0,00086	15,99624
300	300000	360	0,180	0,00090	16,54783
310	310000	370	0,185	0,00093	17,09942
320	320000	380	0,190	0,00095	17,65102
330	330000	390	0,195	0,00098	18,20261
340	340000	401	0,201	0,00100	18,75421
350	350000	403	0,202	0,00101	19,30580
360	360000	406	0,203	0,00102	19,85740

Lanjutan Tabel L.7.5 Analisis Beton Variasi V3-10

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)
kN	N				
370	370000	411	0,206	0,00103	20,40899
380	380000	415	0,208	0,00104	20,96058
390	390000	425	0,213	0,00106	21,51218
400	400000	433	0,217	0,00108	22,06377
410	410000	445	0,223	0,00111	22,61537
420	420000	451	0,226	0,00113	23,16696
430	430000	457	0,229	0,00114	23,71856
440	440000	476	0,238	0,00119	24,27015
430	430000	498	0,249	0,00125	23,71856
420	420000	504	0,252	0,00126	23,16696
410	410000	521	0,261	0,00130	22,61537
400	400000	544	0,272	0,00136	22,06377
374	374000	581	0,291	0,00145	20,62963



Gambar L.7.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V3-10