

TUGAS AKHIR

OPTIMALISASI PENGGUNAAN PASIR BESI DAN TERAK NIKEL DALAM CAMPURAN BETON MUTU TINGGI (*OPTIMIZATION OF THE USE OF IRON SAND AND NICKEL SLAG IN HIGH QUALITY CONCRETE MIXES*)

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



**Arie Putra Irviani
19511215**

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

2024

TUGAS AKHIR

OPTIMALISASI PENGGUNAAN PASIR BESI DAN TERAK NIKEL DALAM CAMPURAN BETON MUTU TINGGI (*OPTIMIZATION OF THE USE OF IRON SAND AND NICKEL SLAG IN HIGH QUALITY CONCRETE MIXES*)

Disusun oleh



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

Diuji pada tanggal _____

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

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

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., JP-U.
NIK: 845110101

Astria Hardawati S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph.D-Eng., IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Bagian-bagian tertentu dalam laporan Tugas Akhir yang dikutip dari karya orang lain telah saya cantumkan sumbernya dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan bahwa seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau terdapat plagiasi pada bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 24 September 2024

Yang membuat pernyataan,

(Materai 10000)

Arie Putra Irvandi

(19511215)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur atas kehadiran Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya yang berjudul "Optimalisasi Penggunaan Pasir Besi dan Terak Nikel Dalam Campuran Beton Mutu Tinggi". Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikutnya yang telah membawa dari zaman kegelapan hingga ke zaman yang terang benderang saat ini.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat dan terus memberikan dukungan kepada saya selama proses penyusunan hingga selesainya Tugas Akhir ini.

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph.D-Eng., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M. T. selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, nasihat, serta motivasi kepada saya selama pengerjaan Proposal Tugas Akhir ini berlangsung.
3. Dosen Penguji I
4. Dosen Penguji II
5. Bapak Ir. Irwan Andi Syarifuddin dan Ibu Jevi Yusnita selaku orang tua saya yang tanpa henti memberikan doa, nasihat, dan semangat kepada saya selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. Teman-teman Grup “Bismillah PTA Semester Ini” yang telah membantu saya selama proses pembuatan beton dan selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
7. Marwa Alamirah Rizqy, B.Arch. yang telah membantu saya serta memberikan motivasi selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya memohon maaf dan berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya secara pribadi serta bagi pembaca secara umum.

Yogyakarta, 24 September 2024

Penulis,

Arie Putra Irviandi

19511215

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| ABSTRAK | xiii |
| <i>ABSTRACT</i> | xiv |
| 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 Penelitian Terdahulu | 6 |
| 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana | 9 |
| BAB III LANDASAN TEORI | 15 |
| 3.1 Beton | 15 |
| 3.2 Bahan Penyusun Beton | 16 |
| 3.2.1 Agregat | 16 |
| 3.2.2 Semen <i>Portland</i> | 19 |
| 3.2.3 Air | 20 |
| 3.2.4 Bahan Tambah (<i>Admixture</i>) | 21 |
| 3.3 Pasir Besi | 25 |
| 3.4 Terak Nikel | 25 |

| | | |
|-------------------------------|--|----|
| 3.5 | Perencanaan Campuran Beton | 26 |
| 3.6 | Kuat Tekan Beton | 30 |
| 3.7 | Kuat Tarik Belah Beton | 31 |
| 3.8 | Modulus Elastisitas | 32 |
| BAB IV METODE PENELITIAN | | 34 |
| 4.1 | Umum | 34 |
| 4.2 | Bahan | 34 |
| 4.3 | Alat | 35 |
| 4.4 | Benda Uji | 37 |
| 4.5 | Pelaksanaan Penelitian | 38 |
| 4.6.1 | Persiapan | 38 |
| 4.6.2 | Pengujian Agregat | 39 |
| 4.6.3 | Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) | 39 |
| 4.6.4 | Pembuatan dan Perawatan Benda Uji | 39 |
| 4.6.5 | Pengujian Benda Uji | 40 |
| 4.6 | Bagan Alir Pengujian | 43 |
| BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN | | 45 |
| 5.1 | Pengujian Agregat | 45 |
| 5.1.1 | Agregat Kasar | 45 |
| 5.1.2 | Agregat Halus | 51 |
| 5.2 | Perencanaan Campuran Beton | 59 |
| 5.2.1 | Menentukan Data Awal <i>Mix-Design</i> | 59 |
| 5.2.2 | Menghitung Komposisi <i>Mix-Design</i> | 59 |
| 5.2.3 | <i>Mix-Design</i> Menggunakan <i>Silica Fume</i> , Pasir Besi, dan Terak Nikel | 63 |
| 5.3 | Pengujian <i>Slump</i> dan Data Beton | 65 |
| 5.4 | Pengujian Kuat Tekan Beton | 67 |
| 5.4.1 | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton | 67 |
| 5.4.2 | Pembahasan Kuat Tekan Beton | 72 |
| 5.5 | Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 75 |
| 5.5.1 | Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 75 |
| 5.5.2 | Pembahasan Kuat Tarik Belah Beton | 79 |
| 5.6 | Pengujian Modulus Elastisitas Beton | 82 |
| 5.6.1 | Hasil Pengujian Modulus Elastisitas | 82 |

| | | |
|-----------------------------|--------------------------------|----|
| 5.6.2 | Pembahasan Modulus Elastisitas | 92 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | | 94 |
| 6.1 | Kesimpulan | 94 |
| 6.2 | Saran | 94 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 95 |
| LAMPIRAN | | 98 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton | 31 |
| Gambar 3. 2 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 32 |
| Gambar 3. 3 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton | 33 |
| Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Modulus Elastisitas | 33 |
| Gambar 4. 1 Ilustrasi Pengujian Slump | 40 |
| Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian | 44 |
| Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm | 49 |
| Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah IV | 56 |
| Gambar 5. 3 Pengujian Slump | 65 |
| Gambar 5. 4 Grafik Pengujian Slump | 66 |
| Gambar 5. 5 Grafik Hasil Kuat Tekan Seluruh Sampel Beton | 72 |
| Gambar 5. 6 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Variasi Pasir Besi | 72 |
| Gambar 5. 7 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Variasi Terak Nikel | 73 |
| Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi Terak Nikel | 73 |
| Gambar 5. 9 Grafik Regresi Kuat Tekan Variasi Pasir Besi 15% dan Terak Nikel 10% Hingga 40% | 74 |
| Gambar 5. 10 Grafik Hasil Kuat Tarik Belah Seluruh Sampel Beton | 79 |
| Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton Normal dengan Variasi Pasir Besi | 79 |
| Gambar 5. 12 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton Normal dengan Variasi Terak Nikel | 80 |
| Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Variasi Terak Nikel | 80 |
| Gambar 5. 14 Grafik Regresi Kuat Tarik Belah Variasi Pasir Besi 15% dan Terak Nikel 10% Hingga 40% | 81 |
| Gambar 5. 15 Kurva Tegangan Regangan | 86 |

Gambar 5. 16 Grafik Hasil Modulus Elastisitas Seluruh Sampel Beton 92

Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Variasi Terak Nikel 92

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana | 10 |
| Tabel 3. 1 Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar untuk Beton | 18 |
| Tabel 3. 2 Fraksi Volume Agregat Kasar yang Disarankan | 27 |
| Tabel 3. 3 Estimasi Pertama Kebutuhan Air dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir dengan 35% Rongga Udara | 28 |
| Tabel 3. 4 Rasio $w/(c+p)$ Maksimum yang Disarankan dengan Superplasticizer | 29 |
| Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji Kuat Tekan | 37 |
| Tabel 4. 2 Rincian Benda Uji Kuat Tarik Belah | 38 |
| Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air | 46 |
| Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar | 46 |
| Tabel 5. 3 Gradasi Agregat Kasar | 49 |
| Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar | 50 |
| Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar | 51 |
| Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus | 52 |
| Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus | 53 |
| Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Halus | 55 |
| Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus | 57 |
| Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus | 58 |
| Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 | 58 |
| Tabel 5. 12 Data Awal Mix-Design | 59 |
| Tabel 5. 13 Mix-Design per- m^3 | 63 |
| Tabel 5. 14 Hasil Mix-Design Kebutuhan Total Material per- m^3 | 64 |
| Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Slump | 66 |
| Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan | 69 |
| Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 76 |
| Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton N0-1 | 83 |
| Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton | 89 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1 Gambar Alat yang Digunakan | 99 |
| Lampiran 2 Material | 100 |
| Lampiran 3 Proses dan Hasil | 103 |
| Lampiran 4 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi N-00 | 110 |
| Lampiran 5 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-01 | 126 |
| Lampiran 6 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-02 | 146 |
| Lampiran 7 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-03 | 166 |
| Lampiran 8 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-04 | 186 |
| Lampiran 9 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-05 | 206 |
| Lampiran 10 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-06 | 226 |

ABSTRAK

Beton terdiri dari Semen Portland (PC), air, agregat kasar dan halus, dengan atau tanpa *admixture*. Peningkatan konstruksi meningkatkan permintaan agregat halus dan kasar, menyebabkan pasokan terbatas. Industri konstruksi perlu berinovasi menggunakan pasir besi kaya magnetit (Fe_3O_4) dan bahan limbah seperti terak nikel untuk mengurangi limbah slag dan menghasilkan beton yang lebih murah dan ramah lingkungan. Penggunaan beton mutu tinggi dapat meningkatkan efisiensi elemen struktural dan mengurangi berat total bangunan.

Penelitian ini menggunakan substitusi pasir besi sebanyak 15% dari agregat halus dan terak nikel 10% hingga 40% dari agregat kasar, serta *silica fume* dan *superplasticizer* untuk menentukan kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi setelah 28 hari. Perhitungan campuran beton mengikuti metode SNI 03-6468-2000 dengan target kuat tekan 45 MPa.

Penelitian ini menunjukkan bahwa beton dengan variasi pasir besi 15% dan terak nikel 0% (V-01) memiliki nilai kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan variasi terak nikel 10% dan pasir besi 0% (V-02). Beton dengan variasi pasir besi dan terak nikel menunjukkan nilai maksimum pada variasi pasir besi 15% dan terak nikel 20% (V-04), dengan kuat tekan rata-rata 42,08 MPa, dan kuat tarik belah 3,41 MPa. Modulus elastisitas tertinggi berdasarkan kuat tekan, berat volume dan pengujian ditemukan pada variasi pasir besi 0% dan terak nikel 0% (N-00) dengan nilai 32.515,03 MPa, 35.813,79 MPa, dan 37.603,43 MPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi pada beton variasi pasir besi dan terak nikel berdasarkan kuat tekan, berat volume dan pengujian ditemukan pada variasi pasir besi 15% dan terak nikel 20% (V-04) dengan nilai 30.487,09 MPa, 34.868,58 MPa, dan 33.485,70 MPa. Penggunaan terak nikel yang berlebihan dapat menurunkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Mutu rencana yang tidak tercapai dikarenakan adanya kandungan garam dalam pasir besi yang dapat menurunkan kekuatan tekan beton dan terak nikel dapat mengganggu proses pengerasan semen.

Kata Kunci: Beton, Pasir besi, Terak nikel, Beton mutu tinggi

ABSTRACT

Concrete is made from Portland Cement (PC), water, coarse and fine aggregates, with or without admixtures. Increased construction activity raises the demand for both fine and coarse aggregates, leading to supply shortages. The construction industry needs to innovate by using magnetite-rich iron sand (Fe_3O_4) and waste materials such as nickel slag to reduce slag waste and produce cheaper, eco-friendly concrete. The use of high-strength concrete can improve the efficiency of structural elements and reduce the overall weight of the building.

This study uses 15% iron sand as a substitute for fine aggregates and 10% to 40% nickel slag as a substitute for coarse aggregates, along with silica fume and superplasticizer, to determine the compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of high-strength concrete after 28 days. The concrete mix calculation follows the SNI 03-6468-2000 method with a target compressive strength of 45 MPa.

This study shows that concrete with 15% iron sand and 0% nickel slag (V-01) has higher compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity compared to concrete with 10% nickel slag and 0% iron sand (V-02). Concrete with a combination of iron sand and nickel slag exhibited its maximum values at 15% iron sand and 20% nickel slag (V-04), with an average compressive strength of 42.08 MPa and a splitting tensile strength of 3.41 MPa. The highest modulus of elasticity based on compressive strength, bulk density, and testing was found in the 0% iron sand and 0% nickel slag mix (N-00), with values of 32,515.03 MPa, 35,813.79 MPa, and 37,603.43 MPa. Meanwhile, the highest modulus of elasticity in concrete with iron sand and nickel slag was found in the 15% iron sand and 20% nickel slag mix (V-04), with values of 30,487.09 MPa, 34,868.58 MPa, and 33,485.70 MPa. Excessive use of nickel slag can reduce the compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity of the concrete. The failure to achieve the desired quality is attributed to the presence of salt in the iron sand, which can decrease the concrete's compressive strength, and nickel slag can interfere with the cement hardening process.

Keywords: Concrete, Iron sand, Nickel slag, High-strength concrete

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton terbuat dari campuran Semen Portland (PC), air, agregat kasar, dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*) dalam perbandingan tertentu. Dalam campurannya terdapat material granular yaitu berupa agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar yang berupa kerikil atau batu pecah yang diperoleh dari hasil pemecahan manual atau mesin. Agregat halus yang merupakan pasir yang didapatkan dengan cara menggali atau langsung didapatkan dari permukaan, tetapi biasanya agregat halus terkontaminasi dengan kotoran tanah atau lumpur sehingga dalam prosesnya harus dicuci terlebih dahulu.

Beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*) merupakan beton dengan kekuatan tekan minimal sebesar 41,4 MPa sesuai dengan SNI 03-6468-2000. Beton mutu tinggi biasanya digunakan pada struktur bangunan yang diperkirakan akan menanggung beban berat, seperti struktur jembatan, pondasi beton, serta bagian-bagian bangunan yang diprediksi menerima beban tinggi. Ashad H. & Gunawan A. B. (2022) menyatakan bahwa penggunaan beton mutu tinggi pada suatu struktur bangunan dapat meningkatkan efisiensi dimensi elemen struktural, yang pada akhirnya dapat mengurangi berat keseluruhan bangunan.

Agregat dalam campuran beton berperan sebagai bahan pengisi, volume agregat pada campuran beton kurang lebih 70% (Prayuda H. & Pujiyanto A, 2018). Maka dari itu, agregat sangat mempengaruhi sifat-sifat campuran beton dan memberikan kekuatan. Oleh karena itu, kualitas agregat memiliki dampak signifikan terhadap mutu beton.

Pembangunan yang pesat menyebabkan permintaan akan agregat halus (pasir) semakin tinggi, sehingga pasokan menjadi terbatas (Irzal Agus dan Marlina M, 2017). Oleh karena itu, dalam industri konstruksi perlu terus melakukan inovasi dalam pembuatan beton, salah satunya menggunakan pasir besi. Pasir besi

merupakan pasir yang mengandung konsentrasi besi yang cukup tinggi. Biasanya, pasir ini memiliki warna abu-abu gelap atau kehitaman dan komposisinya terdiri dari magnetit (Fe_3O_4), serta mengandung sedikit titanium, silika, mangan, kalsium, dan vanadium.

Di Indonesia pasir besi merupakan material yang penggunaannya masih belum optimal, sampai saat ini penggunaan pasir besi masih terbatas karena hanya digunakan sebagai bahan tambahan pada pabrik semen. Menurut Bangkit Firjatullah (2022) 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 Irzal Agus (2017) substitusi pasir besi sebanyak 15% memiliki peningkatan yang paling signifikan, maka dari itu pada penelitian kali ini akan digunakan pasir besi sebanyak 15% dari berat agregat halus.

Demikian pula, permintaan akan pemakaian agregat kasar pada campuran beton sangat tinggi, sementara ketersediaan material semakin sulit diperoleh. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan pemanfaatan sumber alternatif dari bahan terbuang, salah satunya terak nikel, untuk digabungkan dengan agregat alami. Hal ini dapat menjadi solusi dalam penyelesaian masalah lingkungan dengan mereduksi keberadaan limbah slag nikel serta menghasilkan kontruksi beton yang lebih murah (Wahyudi, D 2018).

Menurut Hanafi A. (2022) terak nikel (*nickel slag*) adalah limbah industri pengolahan nikel yang awalnya berupa likuid panas dan membentuk batuan alam akibat mengalami pendinginan yang di dalamnya terdapat *slag* padat dan *slag* dengan pori. Dalam hasil penelitiannya dihasilkan persentase optimum terak nikel pada beton mutu tinggi sebesar 23,93% dengan kuat tekan maksimum sebesar 46,96 MPa. Hasil tersebut dinilai menghasilkan kuat tekan beton bermutu tinggi karena nilai kuat tekannya melebihi 41,4 Mpa. Selain itu pada penelitian ini tiap campuran beton akan ditambahkan bahan tambah berupa *silica fume* dan *superplasticizer*.

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan mutu tinggi, sedangkan *superplasticizer* berfungsi memberikan efek *high water reducing*, karena beton mutu tinggi berbanding lurus dengan pengurangan faktor air semen (FAS) (Fitriani dan Pungky, 2018).

Penggunaan *superplasticizer* memiliki efek positif dalam campuran dengan faktor air semen (FAS) yang rendah, karena dapat meningkatkan kelecakan dan kemudahan dalam pengolahan campuran beton. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya masalah selama proses pemadatan, seperti beton yang keropos dan tidak merata. Dalam penelitian ini agregat halus disubstitusikan dengan pasir besi pada variasi tertentu dan agregat kasar disubstitusikan dengan terak nikel pada beberapa variasi. Dalam setiap campuran beton yang akan ditambahkan dengan *silica fume* sebesar 10% dan *superplasticizer* sebesar 0,9%, direncanakan memiliki nilai kuat tekan (f_{cr}) yang melebihi 45 MPa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh substitusi pasir besi dan terak nikel terhadap campuran beton mutu tinggi?
2. Berapa kadar optimum substitusi terak nikel dan pasir besi untuk mencapai nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton maksimum?
3. Berapa kadar optimum substitusi terak nikel dan pasir besi untuk mencapai nilai kuat tarik belah beton maksimum?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui pengaruh substitusi pasir besi dan terak nikel terhadap campuran beton mutu tinggi
2. Mengetahui kadar optimum substitusi terak nikel dan pasir besi untuk mencapai nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton maksimum
3. Mengetahui kadar optimum substitusi terak nikel dan pasir besi untuk mencapai nilai kuat tarik belah beton maksimum

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini.

1. Memberikan informasi dalam mengoptimalkan penggunaan bahan lokal seperti pasir besi dan limbah industri seperti terak nikel sebagai pengganti sebagian agregat.
2. Hasil dari penelitian ini akan memperkaya literatur dan pengetahuan di bidang teknologi beton, khususnya terkait dengan penggunaan material substitusi dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terarah dan tidak keluar dari tujuan serta mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan penelitian sebagai berikut

1. Penelitian dibatasi pada pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton
2. Metode *Mix Design* menggunakan SNI 6468-2000
3. Semen yang digunakan adalah semen portland tipe I merk tiga roda
4. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm
5. Agregat halus yang digunakan berukuran diameter maksimum 4,8 mm
6. Terak nikel yang digunakan berasal dari Cilegon
7. Pasir besi yang digunakan sudah disaring dengan kualitas *mesh* 80
8. *silica fume* menggunakan produk dari PT. Sika Indonesia yaitu Sikafume (*silica fume*) sebesar 10% dari berat semen
9. *superplasticizer* yang digunakan yaitu Sika *Viscocrete* 1003 sebesar 0,9% dari berat semen
10. Tidak meneliti kandungan kimia pada pasir besi dan terak nikel
11. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
12. Benda uji yang digunakan adalah silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan.
13. Perawatan beton selama 28 hari
14. Pengujian beton keras dilakukan pada umur 28 hari

15. Substitusi terak nikel dengan agregat kasar sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat total agregat kasar.
16. Substitusi pasir besi dengan agregat halus sebesar 15% dari berat total agregat halus, karena dari jurnal-jurnal yang telah penulis tinjau variasi 15% memiliki kenaikan nilai kuat tekan yang signifikan
17. Jumlah benda uji tiap variasi adalah 5 buah untuk setiap pengujian dengan 7 variasi, 35 benda uji pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dan 35 benda uji pada pengujian kuat tarik belah beton, sehingga total benda uji sebanyak 70 buah
18. Pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut
 - a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 03-1970-1990
 - b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan SNI 03-1969-1990
 - c. Pengujian analisis saringan agregat halus menggunakan SNI 03-1968-1990
 - d. Pengujian analisis saringan agregat kasar menggunakan SNI 03-1968-1990.
 - e. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan SNI 03-4804-1998.
 - f. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar menggunakan SNI 03-4804-1998.
 - g. Pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur agregat halus) menggunakan SNI 03-4142-1996.
 - h. Pengujian slump beton menggunakan SNI 1972-2008.
 - i. Pengujian kuat tekan beton menggunakan SNI 1974-2011.
 - j. Pengujian modulus elastisitas menggunakan ASTM C469-94 dan SNI 2847-2019
 - k. Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan SNI 2491-2014.
19. Kuat tekan rencana dalam campuran beton ini melebihi 45 Mpa

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan eksplorasi mengenai pengaruh penggantian pasir besi dan terak nikel, dan peneliti akan memanfaatkan temuan-temuan tersebut sebagai dasar referensi dalam penelitian ini. Peneliti merujuk pada jurnal-jurnal terdahulu untuk mendukung penelitian ini, di antaranya adalah jurnal yang akan diacu sebagai berikut.

1. Henrianto Masiku (2013) melakukan penelitian dengan mengaplikasikan limbah terak nikel sebagai substansi untuk membandingkan kuat tekan beton dengan penggunaan batu pecah sebagai agregat kasar, dengan tujuan mendapatkan informasi tentang pemanfaatan terak nikel sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton normal serta sebagai langkah dalam mengatasi permasalahan limbah dari pabrik pengolahan nikel. Metode perancangan campuran yang digunakan adalah metode SNI dengan target kuat tekan sekitar 20 Mpa, ukuran agregat kasar maksimal 40 mm, dan beton yang diuji berbentuk kubus. Proporsi campuran dalam penelitian ini mengacu pada proporsi yang didapatkan dari perencanaan campuran beton yang menggunakan batu pecah sebagai agregat kasar dengan proporsi yang sama untuk pembuatan sampel beton yang menggunakan agregat kasar terak nikel. Pengujian kuat tekan dilakukan pada usia beton 3, 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan penggunaan terak nikel sebagai agregat kasar lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang menggunakan batu pecah. Pada usia 28 hari, beton yang menggunakan terak nikel memiliki kuat tekan sebesar 25,7 Mpa, sementara beton dengan batu pecah memiliki kuat tekan sebesar 20,5 Mpa. Hal ini disebabkan oleh nilai abrasi terak nikel yang lebih rendah, yaitu sekitar 12%, dibandingkan dengan nilai abrasi batu pecah sekitar 33,7%

2. Irzal Agus, Marlina Midu (2017) melakukan penelitian yang dilaksanakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton dengan inklusi 0%, 5%, 10%, dan 15% pasir besi sebagai komponen campuran dalam proses pembuatan beton. Dalam penelitian ini, campuran beton diatur dengan empat komposisi, masing-masing mencakup penambahan 0%, 5%, 10%, dan 15% pasir besi. Pengujian dilakukan pada periode perawatan 3, 7, dan 28 hari, dengan dimensi benda uji sekitar 15 cm x 30 cm. Setiap komposisi menghasilkan 9 benda uji, sehingga total ada 36 benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan peningkatan proporsi pasir besi yang ditambahkan pada campuran beton. Kuat tekan beton normal (0%) pada usia 3 hari mencapai 97,2 kg/cm², 7 hari mencapai 126,4 kg/cm², dan 28 hari mencapai 145,3 kg/cm². Kuat tekan beton dengan penambahan pasir besi (5%) pada usia 3 hari mencapai 100 kg/cm², 7 hari mencapai 134,9 kg/cm², dan 28 hari mencapai 158,5 kg/cm². Untuk kuat tekan beton dengan penambahan pasir besi (10%), pada usia 3 hari mencapai 104,7 kg/cm², 7 hari mencapai 144,4 kg/cm², dan 28 hari mencapai 166,1 kg/cm². Sementara itu, kuat tekan beton dengan penambahan pasir besi (15%) pada usia 3 hari mencapai 124,6 kg/cm², 7 hari mencapai 164,2 kg/cm², dan 28 hari mencapai 205,7 kg/cm².
3. Muhammad Muhsar, Abdul Kadir, Sulaiman (2021) melakukan penelitian dengan tujuan untuk menganalisis karakteristik dari agregat yang digunakan dalam campuran beton serta menganalisis seberapa besar peningkatan kuat tekan beton dengan variasi substitusi terak nikel 0%, 5%, 15%, dan 25% dibandingkan dengan beton normal. Karakteristik bahan yang diuji meliputi kadar air, kadar lumpur, massa jenis, absorpsi, berat volume, keausan dengan mesin los angeles, dan analisis penyaringan. Peningkatan besar kuat tekan beton dapat diuji pada usia 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 35 hari. Hasil analisis karakteristik limbah terak nikel dalam campuran beton memenuhi standar uji dalam campuran beton, dengan kadar air sebesar 0,86%, kadar lumpur 0,44%, massa jenis 2,94 gr/cm³, berat volume 1,76 gr/cm³, keausan 36,07%. Dan

peningkatan besar kuat tekan beton dengan variasi substitusi terak nikel 0%, 5%, 15%, 25% dibandingkan dengan beton normal mengalami peningkatan. Persentase peningkatan tertinggi dalam kuat tekan beton terdapat pada perbandingan antara variasi 15% dengan variasi 25% pada usia beton 14 hari, dengan persentase peningkatan sebesar 13,13%.

4. Hanafi Ashad, Andi Baso Gunawan (2022) melakukan penelitian tentang penggunaan terak nikel sebagai agregat dalam produksi beton diinginkan tidak hanya untuk meningkatkan kekuatan tekan beton, tetapi juga sebagai alternatif solusi untuk mengatasi masalah lingkungan. Dengan cara melakukan penggantian terak nikel secara sebagian terhadap agregat kasar (batu pecah) dengan variasi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%, diperoleh pola kontribusi yang mengikuti persamaan polinomial berderajat dua. Berdasarkan analisis tersebut, ditemukan bahwa persentase optimum penggunaan terak nikel adalah sekitar 23,93%, yang menghasilkan kuat tekan maksimum beton sebesar 46,96 MPa.
5. Bangkit Aryoputro Firjatullah, Mochamad Teguh, Elvis Saputra (2022) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menilai pengaruh substitusi pasir besi sebagai ganti agregat halus dalam campuran beton bermutu tinggi. Metode penelitian ini dilakukan melalui eksperimen laboratorium dengan menguji karakteristik beton bermutu tinggi, termasuk kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton optimum terjadi pada sampel V-02 dengan nilai 51,71 MPa dari desain kekuatan tekan (f_{cr}) = 45 MPa. Kekuatan tarik optimum diuji pada sampel V-02 dengan hasil sebesar 4,13 MPa, dan uji modulus elastisitas optimum terjadi pada sampel V-02 dengan hasil 28684,37 MPa.
6. Muhamad Setya Budi, Dyah Widi Astin (2023) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan pasir besi sebagai pengganti sebagian campuran dalam produksi beton dengan variasi percepatan penggantian 0%, 10%, 15%, dan 19% dari berat agregat halus. Bahan yang digunakan diambil dari pesisir pantai selatan Kebumen dan sungai Luk Ulo Kebumen. Eksperimen dilakukan mengacu pada standar SNI 03-2834-2000

yang menetapkan batas minimal untuk pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton. Sampel beton berbentuk silinder dan kubus digunakan untuk menguji karakteristik beton dengan sebagian agregat halus digantikan oleh pasir besi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan penggantian sebagian pasir besi sebesar 10% pada usia 7 hari memiliki kekuatan maksimum sekitar 30,90 MPa, yang memenuhi standar SNI. Selain itu, kekuatan lentur beton yang dihasilkan melampaui batas yang diinginkan, yaitu F_s 45. Oleh karena itu, komposisi material beton dari pesisir pantai selatan Kebumen dan sungai Luk Ulo Kebumen selatan dapat dianggap sebagai beton dengan kualitas menengah. Pemanfaatan material alternatif seperti pasir besi membantu dalam menjaga ketersediaan sumber daya alam dan mengurangi dampak negatif dari beton, sehingga meningkatkan nilai dari beton tersebut.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Berdasarkan analisis penelitian sebelumnya yang telah diuraikan, penulis dapat menyimpulkan adanya perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan. Perbedaan tersebut akan dijabarkan lebih lanjut pada Tabel 2.1 yang akan disajikan di halaman berikutnya.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana

| | Penelitian Terdahulu | | | | | | Rencana Penelitian |
|------------------|---|---|--|---|--|---|--|
| Penelitian | Henrianto Masiku (2013) | Irzal Agus, dkk (2017) | Muhammad Muhsar, dkk (2021) | Hanafi Ashad, dkk (2022) | Bangkit Aryopuro Firjatullah, dkk (2022) | Muhamad Setya Budi, dkk (2023) | Arie Putra I, (2024) |
| Judul Penelitian | Studi perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan terak nikel dengan beton yang menggunakan batu pecah sebagai agregat kasar | Studi eksperimental substitusi pasir besi terhadap nilai kuat tekan beton | Penggunaan limbah nikel sebagai material substitusi agregat kasar pada beton K.250 | Penggunaan terak nikel sebagai bahan alternatif pengganti agregat kasar beton mutu tinggi | Optimalisasi penggunaan pasir besi sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton mutu tinggi | Beton percepatan menggunakan sebagian agregat halus pasir besi pesisir pantai selatan kebumen | Optimalisasi penggunaan pasir besi dan terak nikel dalam campuran beton mutu tinggi |
| Tujuan | 1. Untuk mengetahui perbedaan kuat tekan beton yang dihasilkan oleh beton yang menggunakan terak nikel dengan beton yang menggunakan kerikil sungai sebagai agregat kasar | Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton | 1. Untuk mengetahui karakteristik agregat yang digunakan dalam campuran beton | 1. Untuk mengetahui karakteristik fisik agregat kasar dari terak nikel untuk digunakan dalam campuran beton berkualitas tinggi. | Untuk mengetahui pengaruh pasir besi sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton mutu tinggi. | Untuk menganalisis pemanfaatan pasir besi sebagai pengganti sebagian campuran dalam pembuatan beton | 1. Mengetahui pengaruh substitusi pasir besi dan terak nikel terhadap campuran beton mutu tinggi |

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana

| | Penelitian Terdahulu | | | | | | Rencana Penelitian |
|------------|--|---------------------------|---|---|--|-----------------------------------|--|
| Penelitian | Henrianto Masiku (2013) | Irzal Agus, dkk (2017) | Muhammad Muhsar, dkk (2021) | Hanafi Ashad, dkk (2022) | Bangkit Aryopuro Firjatullah, dkk (2022) | Muhamad Setya Budi, dkk (2023) | Arie Putra I, (2024) |
| Tujuan | 2. Untuk mengetahui berapa besar perbedaan kekuatan beton yang dihasilkan oleh beton yang menggunakan bahan agregat kasar terak nikel dibandingkan dengan beton yang menggunakan batu pecah 3. Untuk mengetahui apakah terak nikel layak untuk digunakan sebagai agregat kasar pada beton | | 2. Untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kuat tekan beton | 2. Untuk mengetahui tingkat optimal penggunaan terak nikel sebagai agregat kasar dalam campuran beton berkualitas tinggi. | | | 2. Mengetahui kadar maksimum substitusi terak nikel dan pasir besi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton 3. Mengetahui kadar maksimum substitusi terak nikel dan pasir besi pada nilai kuat tarik belah beton |
| Umur Beton | 3, 7, 14, dan 28 hari | 3, 7, dan 28 hari | 7, 14, 28, dan 35 hari | 28 hari | 28 hari | 7 dan 28 hari | 28 hari |

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana

| Penelitian Terdahulu | | | | | | | Rencana Penelitian |
|----------------------|---|---|--|--|--|--|--|
| Penelitian | Henrianto Masiku (2013) | Irzal Agus, dkk (2017) | Muhammad Muhsar, dkk (2021) | Hanafi Ashad, dkk (2022) | Bangkit Aryopuro Firjatullah, dkk (2022) | Muhamad Setya Budi, dkk (2023) | Arie Putra I, (2024) |
| Ssubstitusi Agregat | Terak nikel pada agregat kasar | Pasir besi pada agregat halus | Terak nikel pada agregat kasar | Terak nikel pada agregat kasar | Pasir besi pada agregat halus | Pasir besi pada agregat halus | Terak nikel pada agregat kasar dan pasir besi pada agregat halus |
| Hasil Penelitian | Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton meningkat saat menggunakan terak nikel sebagai agregat kasar daripada beton yang menggunakan batu pecah. Pada umur 28 hari, kekuatan tekan beton dengan terak nikel mencapai 25,7 Mpa, sementara beton dengan batu pecah mencapai 20,5 Mpa. | Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya proporsi pasir besi dan umur beton dalam campuran. Dengan nilai kuat tekan beton maksimal sebesar 205,7 kg/cm ² pada penambahan pasir besi sebanyak 15% pada umur beton 28. | Sifat limbah slag nikel dalam campuran beton sesuai dengan standar beton, dengan kadar air sebesar 0,86%, kadar lumpur 0,44%, berat jenis 2,94 gr/cm ³ , berat volume 1,76 gr/cm ³ , dan tingkat abrasi 36,07%. Persentase kenaikan kuat tekan beton paling tinggi terdapat pada kuat tekan beton antara | Dengan menggantikan sebagian agregat kasar (batu pecah) dengan terak nikel dalam proporsi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%, sebuah model kontribusi terbentuk yang menunjukkan pola persamaan polinomial berderajat dua. Berdasarkan model | Penelitian ini mendapati bahwa kekuatan tekan beton terbaik terlihat pada sampel V-02 dengan mencapai 51,71 MPa, melebihi kuat tekan desain (fcr) sebesar 45 MPa. Hasil uji kekuatan tarik terbaik juga dicapai pada sampel V-02, mencapai 4,13 MPa, dan | Hasil uji mengungkap kan bahwa campuran beton dengan 10% substitusi pasir besi pada umur 7 hari mencapai kekuatan maksimal sekitar 30,90 Mpa, sesuai dengan persyaratan standar SNI. Kemudian kekuatan lentur beton yang dihasilkan melampaui batas yang diinginkan yaitu Fs 45. | |

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana

| Penelitian Terdahulu | | | | | | | Rencana Penelitian |
|----------------------|---|---------------------------|---|--|---|-----------------------------------|-------------------------|
| Penelitian | Henrianto Masiku (2013) | Irzal Agus, dkk (2017) | Muhammad Muhsar, dkk (2021) | Hanafi Ashad, dkk (2022) | Bangkit Aryopuro Firjatullah, dkk (2022) | Muhamad Setya Budi, dkk (2023) | Arie Putra I, (2024) |
| Hasil Penelitian | Perbedaan ini disebabkan oleh nilai abrasi terak nikel yang lebih rendah, yaitu 12%, dibandingkan dengan nilai abrasi batu pecah sebesar 33,7%. | | variasi substitusi slag nikel 15% (2050 gram) slag nikel dengan variasi 25% (3410 gram) slag nikel pada umur beton 7 hari, dengan nilai persentase kenaikan sebesar 13,22%. | ini, ditemukan bahwa persentase optimal terak nikel adalah sekitar 23,93% yang menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 46,96 MPa. | pengujian modulus elastisitas terbaik juga dilakukan pada sampel V-02 dengan hasil mencapai 28684,37 MPa. | | |

Berdasarkan uraian tabel di atas maka dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa perbedaan antara penelitian sebelumnya dan sekarang seperti pada beberapa variabel berikut:

1. Penelitian ini akan menggunakan dua agregat pengganti yaitu dengan terak nikel sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40% pada agregat kasar dan pasir besi sebesar 15% pada agregat halus.
2. Penelitian ini akan menggunakan *superplasticizer* dan *silica fume*.
3. Penelitian ini akan merencanakan beton bermutu tinggi dengan fcr 45 MPa.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah bahan konstruksi yang memiliki penggunaan yang luas, seperti dalam pembangunan bendungan, pipa saluran, fondasi, lantai bawah tanah, gedung pencakar langit, jembatan, dan perkerasan jalan. Beton terbentuk melalui pencampuran Semen *Portland* (PC), air, dan agregat, bisa dengan atau tanpa penambahan bahan lain (*admixture*) sesuai dengan perbandingan yang ditentukan. Adapun beberapa keunggulan beton diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Biaya yang lebih terjangkau karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah diperoleh.
2. Mudah dalam penggunaan, pengangkutan bahan mudah karena setiap bahan dapat diangkut secara terpisah, bisa digunakan untuk berbagai jenis struktur.
3. Kemampuan untuk beradaptasi, beton tidak memerlukan sambungan atau bersifat monolit, dapat dicetak dengan ukuran dan bentuk yang sesuai dengan kebutuhan, dan dapat diproduksi dengan berbagai metode sesuai dengan konteks sekitarnya.
4. Perawatan minimal, secara umum, beton memiliki tingkat daya tahan (*durability*) yang tinggi, lebih resisten terhadap korosi, dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap risiko kebakaran.
5. Mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi.

Disamping keunggulan-keunggulan tersebut, beton juga mempunyai beberapa kelemahan diantaranya adalah.

1. Bobot yang tinggi, kira-kira 2400 kg/m³, bisa diatasi dengan menciptakan beton berkualitas tinggi, sedangkan untuk proyek non-struktural, digunakan beton yang lebih ringan.

2. Kekuatan tarik yang rendah (sekitar 9-15% dari kekuatan tekan) pada beton yang memiliki kekuatan tekan tinggi dapat diatasi dengan penggunaan baja tulangan (beton bertulang) atau baja prategang (beton prategang).
3. Karena menggunakan semen hidraulis, beton memiliki kecenderungan untuk mengalami retak. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan perawatan (curing) yang baik atau menggunakan bahan tambahan yang dapat mengembang (expansive admixtures).
4. Mutunya sangat bergantung pada pelaksanaan di lapangan, dapat diatasi dengan memahami teknologi beton dan melakukan pengawasan serta pengendalian kualitas yang efektif.
5. Struktur atau elemen beton sulit untuk dipindahkan, hal ini dapat diatasi dengan membuat elemen struktur yang telah dicetak sebelumnya (pracetak), meskipun tidak semua elemen dapat dicetak sebelumnya.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton terdiri dari berbagai bahan termasuk air, semen *portland*, agregat kasar, agregat halus, dan bahan tambahan. Tiap komponen memiliki peran dan dampak yang berbeda-beda. Beberapa elemen yang memengaruhi kekuatan tekan beton mencakup kualitas bahan penyusun, nilai faktor airsemen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton (Tjokrodinuljo, 1995).

3.2.1 Agregat

Agregat memiliki peran sebagai materi pengisi dalam campuran mortar (agregat halus) atau beton (agregat halus dan kasar). Mengingat volume agregat dalam mortar/beton mencapai $\pm 70\%$, agregat memiliki dampak signifikan pada karakteristik-karakteristik mortar/beton dan memberikan kontribusi terhadap kekuatannya, menjadikan kualitas agregat sebagai faktor penting dalam menentukan kualitas beton.

Agregat yang digunakan untuk menciptakan beton berkualitas optimal minimal terdiri dari dua kategori ukuran, yakni agregat halus (ukuran butiran $\leq 4,50$

mm) dan agregat kasar (ukuran butiran $> 4,50$ mm), dengan ukuran maksimum umumnya sekitar 40 mm.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2843-2000 agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Adapun persyaratan agregat halus untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Agregat halus harus terbuat dari butir-butir yang tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
- b. Butiran agregat halus harus memiliki sifat yang tetap dan tidak dapat pecah atau hancur akibat paparan cuaca, seperti sinar matahari dan hujan.
- c. Kandungan lumpur pada agregat halus tidak boleh melebihi 5% (diukur dari berat kering). Lumpur di sini merujuk pada bagian yang lolos saringan 0,060 mm. Jika persentase lumpur melebihi 5%, maka agregat harus menjalani proses pencucian.
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
- e. Komposisi butiran pada agregat halus harus memiliki modulus kehalusan antara 1,50 hingga 3,80. Agregat ini harus terdiri dari butir-butir dengan ukuran yang bervariasi, dan juga harus memenuhi salah satu zona atau daerah gradasi yang ditentukan, yaitu zona/daerah gradasi 1, 2, 3, atau 4, dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.
 - 1) Sisa di atas ayakan 4,80 mm, maksimum 2% berat
 - 2) Sisa di atas ayakan 1,20 mm, minimum 10% berat
 - 3) Sisa di atas ayakan 0,30 mm, minimum 15% berat
- f. Pasir laut hanya dapat digunakan sebagai agregat halus dalam beton dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui, tergantung pada mutu beton yang digunakan.

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2843-2000 agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari

industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Adapun persyaratan agregat kasar untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Agregat kasar harus terbuat dari butiran yang keras dan tidak berpori. Kekerasan diuji menggunakan bejana *Rudeloff* dengan beban pengujian sebesar 20 ton atau mesin *Los Angeles*, dengan ketentuan sesuai tabel berikut.

Tabel 3. 1 Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar untuk Beton

| Kekuatan Beton | Bejana <i>Rudeloff</i> Maksimum Bagian yang Hancur, Menembus Ayakan 2 mm (%) | | Mesin <i>Los Angeles</i> Maksimum Bagian yang Hancur Menembus Ayakan 1,7 mm (%) |
|-----------------------|--|-------------|---|
| | Ukuran Butir | | |
| | 19 – 30 mm | 9,6 – 19 mm | |
| Kelas I ≤ 10 MPa | 30 | 32 | 50 |
| Kelas II 10 - 20 MPa | 22 | 24 | 40 |
| Kelas III > 20 MPa | 14 | 16 | 27 |

- b. Agregat kasar yang memiliki butiran pipih dan panjang hanya boleh digunakan jika proporsinya tidak melebihi 20% dari berat total.
- c. Agregat kasar harus memiliki butiran yang stabil, yang berarti tidak mengalami keretakan atau kerusakan akibat paparan cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang bisa merusak beton, seperti zat-zat yang memiliki reaksi alkali.
- e. Kadar lumpur pada agregat kasar tidak boleh melebihi 1% (dihitung terhadap berat kering). Jika kadar lumpur melebihi 1%, agregat kasar harus menjalani proses pencucian.

- f. Agregat kasar harus memiliki variasi ukuran butir yang signifikan, dan jika diayak dengan ayakan sesuai spesifikasi, distribusi ukuran butir besar seharusnya memiliki modulus kehalusan antara 6 hingga 7,10, dan harus memenuhi syarat-syarat berikut.
- 1) Sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0% berat.
 - 2) Sisa di atas ayakan 4,80 mm, harus berkisar antara 90 – 98% berat.
 - 3) Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- g. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh melebihi seperlima jarak terkecil antara bidang samping cetakan, sepertiga dari tebal pelat, atau tiga per empat dari jarak bersih minimum antara batang tulangan atau berkas-berkas tulangan.

3.2.2 Semen *Portland*

Semen *Portland*, juga dikenal sebagai *Portland Cement* (PC) atau semen hidraulis, adalah bahan pengikat yang umum digunakan dalam proyek konstruksi. Semen Portland termasuk dalam salah satu semen hidraulis karena dapat bereaksi dan mengeras saat terkena air. Selain itu, semen ini memiliki sifat tahan terhadap air (water resistance) dan tetap stabil setelah mengeras dalam air. Di samping itu, terdapat juga jenis semen non-hidraulis, yaitu semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak tetap stabil saat terendam air.

Fungsi semen *portland* adalah sebagai pengikat butiran agregat dan mengisi ruang antar agregat sehingga membentuk massa yang padat dan kompak, meskipun proporsi semen dalam volume beton hanya sekitar $\pm 10\%$. Menurut SNI 2049-2015 semen *portmand* terbagi menjadi 5 berdasarkan jenis dan penggunaannya diantaranya sebagai berikut.

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air adalah komponen dasar dalam produksi beton dan merupakan bahan yang ekonomis. Tanpa air, semen tidak akan berubah menjadi pasta semen. Air harus selalu terkandung dalam beton segar, tidak hanya untuk menginisiasi hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi pasta semen agar beton memiliki daya kerja yang baik. Penggunaan air tidak hanya sebagai reaktor (sekitar 25% dari berat semen) dan pelumas antar butiran agregat, tetapi juga diperlukan untuk perawatan beton. Adapun pengaruh dan jumlah air dipengaruhi oleh sejumlah faktor berikut ini.

1. Jumlah air memiliki dampak pada tingkat kemudahan dalam mengolah beton segar, kualitas beton segar, dan kekuatan beton.
2. Kuantitas air ditetapkan berdasarkan rasio berat air terhadap berat semen (fas) dan juga tingkat kemudahan pengerjaan. Ketika nilai fas kurang dari 0,35, beton segar menjadi sulit untuk diolah tanpa penambahan bahan tambah.
3. Air yang berlebihan (dalam kaitan dengan fas) yang melebihi kebutuhan reaksi kimia dengan semen digunakan sebagai pelumas. Penambahan air (lebih dari jumlah yang diperlukan berdasarkan fas) untuk meningkatkan kemudahan pengolahan akan menghasilkan penurunan kualitas beton dan porositas beton.

Adapun air yang diperlukan dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

1. Ukuran agregat maksimum
Semakin besar ukuran, maka kebutuhan air (dan jumlah mortar yang diperlukan) akan semakin berkurang.
2. Bentuk butir

Jika bentuknya bulat, maka kebutuhan air akan berkurang, sementara batu pecah membutuhkan air lebih banyak.

3. Gradasi agregat

Pada gradasi yang optimal, kebutuhan air akan berkurang untuk mencapai tingkat kelecakan yang setara.

4. Kotoran dalam agregat

Semakin tinggi kandungan silt, tanah liat, dan lumpur, maka kebutuhan air akan semakin tinggi.

5. Jumlah agregat halus (dibanding agregat kasar)

Dengan jumlah agregat halus yang lebih sedikit, kebutuhan air akan berkurang.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 persyaratan air untuk campuran pada beton adalah sebagai berikut.

1. Harus dalam kondisi bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, atau benda-benda terapung lain yang dapat terlihat secara visual.
2. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi melebihi 2 gram per liter.
3. Tidak boleh mengandung garam-garam yang dapat terlarut dan merusak beton (seperti asam, zat organik, dll.) melebihi 15 gram per liter.
4. Kandungan klorida (Cl) harus kurang dari 0,50 gram per liter, dan senyawa sulfat (SO₃) harus kurang dari 1 gram per liter.
5. Apabila dibandingkan dengan kekuatan tekan campuran beton yang menggunakan air suling, penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang telah diuji tidak boleh melebihi 10%.
6. Beton pratekan memiliki persyaratan tambahan, yaitu air yang digunakan tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram per liter, selain memenuhi syarat-syarat sebelumnya.

3.2.4 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah, yang juga dikenal sebagai *admixture*, merujuk pada bahan selain komponen utama beton (air, semen, dan agregat) yang dimasukkan ke dalam campuran beton sebelum, saat, atau setelah pengadukan. Tujuan penggunaan bahan tambah adalah untuk memodifikasi salah satu atau lebih karakteristik beton segar

dan/atau beton yang telah mengeras, sehingga mendapatkan sifat-sifat khusus seperti kemudahan dalam pengolahan (*workability*), perubahan waktu pengikatan (perlambatan/ percepatan), pengerasan, kekedapan, dan daya tahan. Bahan tambah umumnya ditambahkan dalam proporsi yang relatif kecil (dinyatakan dalam persentase berat terhadap semen) dan harus diawasi dengan cermat. Penambahan bahan tambah secara berlebihan dapat merusak kualitas beton dan berpotensi menyebabkan korosi pada baja tulangan. Adapun jenis-jenis bahan tambah (*admixture*) untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Bahan tambah kimia

Bahan tambah kimia baik berbentuk cairan maupun bubuk dicampurkan ke dalam campuran beton. Jenis-jenis bahan tambah kimia dapat digolongkan sesuai dengan standar SNI 03-2495-1991.

a. Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*)

Fungsinya adalah mengurangi volume air dalam campuran sehingga beton mencapai konsistensi yang diinginkan dengan menghasilkan fas yang lebih rendah. Hal ini menyebabkan peningkatan kuat tekan beton dengan tingkat kemudahan pengolahan (tingkat *slump*) yang sama. Atau dengan kata lain, dengan mempertahankan volume air yang sama (tanpa mengurangi air), beton dapat memiliki tingkat kemudahan pengolahan yang lebih baik/tinggi.

b. Tipe B (*Retarding Admixtures*)

Tujuan utama adalah memperlambat proses pengikatan beton (*setting time*). Penggunaannya bermanfaat antara lain untuk memperpanjang periode pematangan, sehingga menghindari terbentuknya *cold joint* (sambungan beton lama yang telah mulai mengeras dengan beton baru).

c. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)

Tujuannya adalah mempercepat proses pengikatan dan peningkatan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Berperan ganda, yaitu mengurangi volume air dalam campuran untuk mencapai konsistensi yang diinginkan pada beton, serta memperlambat proses pengikatan awal beton.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Berperan ganda, yaitu mengurangi jumlah air dalam campuran untuk mencapai konsistensi yang diinginkan pada beton, serta mempercepat proses pengikatan awal. Dengan mengurangi air, juga meningkatkan kekuatan beton.

f. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

Fungsinya adalah mengurangi volume air campuran sebanyak 12% atau lebih guna mencapai konsistensi beton yang diinginkan. Bahan tambah jenis ini adalah *Superplasticizer*, yang termasuk dalam kategori bahan tambah kimia inovatif yang dikenal sebagai bahan tambah pengurang air.

g. Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)

Tujuan utamanya adalah mengurangi volume air campuran sebesar minimal 12% untuk mencapai konsistensi beton yang diinginkan, sambil memperlambat proses pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan kombinasi antara *superplasticizer* untuk mengurangi air dan penghambat waktu pengikatan beton. Biasanya diterapkan dalam situasi pekerjaan dengan ruang terbatas karena keterbatasan penanganan beton akibat keterbatasan area kerja.

2. Bahan tambah lain

a. Pozolan

Pozolan adalah zat alami atau buatan yang dominan terdiri dari silikat dan/atau aluminat. Pozolan tidak memiliki karakteristik seperti semen, namun ketika berukuran kecil, akan berinteraksi dengan air dan kapur padam untuk membentuk massa padat yang tidak larut dalam air. Oleh karena itu, bahan tambah ini akan berikatan dengan kapur bebas dalam beton dan membentuk kalsium silikat hidrat, mirip dengan hasil hidrasi semen. Bahan-bahan yang masuk dalam kategori pozolan meliputi: tras alam, gilingan terak tanur/dapur tinggi, abu terbang (*fly ash*). Dalam

komposisi beton, pozolan dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen *portland* atau sebagai tambahan.

b. Abu terbang (*fly ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah partikel halus yang dihasilkan dari sisa pembakaran batubara atau debu batubara, diklasifikasikan berdasarkan tipe batubara, yakni.

- 1) Abu terbang kelas F berasal dari proses pembakaran batubara antrasit atau batubara bitumius pada suhu 1560°C.
- 2) Abu terbang kelas N adalah produk hasil kalsinasi pozolan alam seperti tanah *diatomice*, *shole*, *tuff*, dan batu apung.
- 3) Abu Terbang kelas C berasal dari pembakaran batubara tipe *lignite* atau *subbitumeus*, yang memiliki kandungan karbon sekitar 60%. Kelas abu terbang ini menunjukkan sifat mirip semen dengan kandungan kapur (*lime*) melebihi 10%.

c. Terak besi tanur tinggi

Terak besi tinggi adalah hasil non-logam yang utamanya terbentuk dari silika dan alumino silikat, yang bersamaan dengan besi terbentuk dalam keadaan cair pada suhu tinggi. Terak besi tinggi granular adalah struktur butiran yang berbentuk pecahan-pinggiran yang terbentuk saat terak besi tinggi mendingin secara tiba-tiba dengan cara dicelupkan ke dalam air.

d. *Silica Fume*

Silica fume merupakan bahan pozolan yang halus dengan kandungan silika yang lebih tinggi, dihasilkan dari proses tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau paduan besi-silikon. Penerapan *silica fume* dalam campuran beton bertujuan untuk mencapai kekuatan tekan yang tinggi (50 – 70 MPa) dengan mengurangi jumlah pori, sehingga mencapai tingkat kepadatan yang tinggi. Beton yang mengandung *silica fume* tidak akan mengalami segregasi yang signifikan karena butiran halus *silica fume* yang digunakan, juga dapat mengurangi *bleeding*. Penggunaan *silica fume* bervariasi antara 0 hingga 30% untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton dengan faktor air semen (fas) sekitar 0,28 – 0,34, baik

dengan atau tanpa *superplasticizer*, dan tingkat kecenderungan slump sekitar 50 mm. *Silica fume* dapat berperan sebagai pengganti sebagian semen atau sebagai tambahan dalam campuran beton.

3.3 Pasir Besi

Pasir besi ini digunakan secara luas di industri logam besi, dan juga telah banyak diaplikasikan di industri semen. Menurut Bangkit Aryoputro Firjatullah, dkk (2022) pasir besi adalah sumber daya mineral di Indonesia yang mengandung Magnesium (Mg) dan memiliki sifat yang memungkinkannya untuk menggantikan agregat halus dalam campuran beton. Kandungan tersebut memiliki kemampuan untuk meningkatkan ikatan antara semen dan agregat kasar, serta dapat meningkatkan kualitas beton, termasuk kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitasnya. Menurut Agusri E. & Rivai M. A. (2019) pasir besi memiliki potensi untuk meningkatkan *interface* antara mortar dan agregat kasar karena kandungannya yang rendah akan magnesium, yang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya pemekaran (*efflorence*) dalam struktur beton, terutama jika senyawa ini diikat oleh air.

3.4 Terak Nikel

Menurut Hanafi Ashad, dkk (2022) Terak nikel, atau *nickel slag*, adalah hasil sisa dari proses industri pengolahan nikel. Pada awalnya, terak ini berbentuk cairan panas dan mengeras menjadi batuan alami setelah mengalami pendinginan. Terdapat dalam bentuk padat dan berpori, terak ini terbentuk melalui proses penggumpalan potas, mineral silika, dan soda selama meleburkan logam atau proses lelehan pada mineral logam karena suhu tinggi dalam wadah pelebur. Terak nikel, atau *nickel slag*, adalah hasil sisa industri nikel yang berbentuk bongkahan mirip logam, terbentuk melalui proses pembakaran dan peleburan bijih nikel.

Terak nikel adalah hasil sisa industri yang menyerupai batuan alam, dan dapat dijadikan bahan agregat kasar dalam pencampuran beton berkualitas tinggi. Menggunakan terak nikel sebagai agregat dalam pembuatan beton diharapkan tidak

hanya meningkatkan kuat tekan beton, tetapi juga berfungsi sebagai solusi alternatif untuk mengatasi dampak lingkungan.

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Metode perencanaan campuran beton (*mix design*) yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 6468-2000 tentang tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen portland dengan abu terbang. Tahapan-tahapan perencanaan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Menentukan *slump* dan kekuatan rata-rata yang ditargetkan

Sebelum melakukan perhitungan, SNI 6468-2000 merekomendasikan untuk menentukan seberapa tinggi nilai *slump* yang diinginkan dalam campuran tersebut. Nilai *slump* yang dipilih akan mempengaruhi estimasi kebutuhan air dalam perhitungan desain campuran.

Dengan pilihan nilai *slump* sebagai berikut:

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

Slump awal untuk beton berkekuatan tinggi yang menggunakan *superplasticizer* ditetapkan pada kisaran 75 – 100 mm. Selanjutnya, nilai kuat tekan rata-rata target (f_{cr}) akan dihitung menggunakan persamaan 3.1.

$$f_{cr} = \frac{f'c + 9,66 \text{ MPa}}{0,9} \quad (3.1)$$

dengan:

f_{cr} = kuat tekan rata-rata target (MPa)

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

2. Menentukan ukuran agregat kasar

Untuk kuat tekan rata-rata < 62,1 MPa digunakan agregat dengan ukuran maksimum 20-25 mm. Sedangkan untuk kuat tekan rata-rata > 62,1 MPa agregat yang digunakan berukuran maksimum 10-15 mm.

3. Menentukan kadar agregat kasar optimum

Kadar optimum agregat kasar digunakan bersama dengan agregat halus yang memiliki modulus kehalusan antara 2,5-3,2. Berat agregat kasar kering oven per m³ beton dihitung dengan mengalikan fraksi volume kering oven padat dengan berat isi kering oven (kg/m³). Fraksi volume agregat kasar yang disarankan diambil berdasarkan ukuran agregat maksimum. Informasi lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 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 6468-2000)

Setelah mendapatkan fraksi volume agregat kasar yang optimum, kadar agregat kasar dapat dihitung menggunakan persamaan 3.2.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \text{fraksi volume agregat} \times \text{berat volume} \quad (3.2)$$

4. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara

Bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus mempengaruhi kadar rongga udara pada pasir. Oleh karena itu, kadar rongga udara aktual dan kadar air perlu dikoreksi menggunakan persamaan 3.3 dan 3.4.

$$\text{Kadar rongga udara (v)} = \left(1 - \frac{\text{berat isi padat kering oven}}{\text{berat jenis relatif}}\right) \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\text{Koreksi kadar air (l/m}^3\text{)} = (V - 35) \times 4,75 \quad (3.4)$$

dengan:

v = kadar rongga udara

Setelah perhitungan kadar air selesai, kebutuhan air total dapat ditentukan menggunakan persamaan 3.5.

$$\text{Kebutuhan air total} = \text{estimasi kebutuhan air} + \text{koreksi kadar air} \quad (3.5)$$

Estimasi awal kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar dapat ditemukan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Estimasi Pertama Kebutuhan Air dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir dengan 35% Rongga Udara

| Air pencampur (liter/m ³) | | | | | Keterangan |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|------------|
| Slump (mm) | Ukuran agregat kasar maksimum (mm) | | | | |
| | 10 | 15 | 20 | 25 | |
| 25-50 | 184 | 175 | 169 | 166 | |
| 50-75 | 190 | 184 | 175 | 172 | |
| 75-100 | 196 | 190 | 181 | 178 | |
| Kadar udara | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | Tanpa SP |
| (%) | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | Dengan SP |

(Sumber: SNI 6468-2000)

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

Rasio $w/(c+p)$ ditentukan terlebih dahulu dengan menghitung kekuatan lapangan menggunakan persamaan 3.6.

$$f_{cr \text{ lapangan}} = 0,9 \times f_{cr} \quad (3.5)$$

Setelah memperoleh $f_{cr \text{ lapangan}}$, langkah berikutnya adalah melakukan interpolasi pada Tabel 3.4 di bawah ini.

**Tabel 3. 4 Rasio w/(c+p) Maksimum yang Disarankan dengan
*Superplasticizer***

| Kekuatan lapangan fcr (MPa) | | w/(c+p) | | | |
|-----------------------------------|---------|------------------------------|------|------|------|
| | | Ukuran agregat maksimum (mm) | | | |
| | | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 48,3 | 28 hari | 0,50 | 0,48 | 0,45 | 0,43 |
| | 56 hari | 0,55 | 0,52 | 0,48 | 0,46 |
| 55,2 | 28 hari | 0,44 | 0,42 | 0,40 | 0,38 |
| | 56 hari | 0,48 | 0,45 | 0,42 | 0,40 |
| 62,1 | 28 hari | 0,38 | 0,36 | 0,35 | 0,34 |
| | 56 hari | 0,42 | 0,39 | 0,37 | 0,36 |
| 69,0 | 28 hari | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,30 |
| | 56 hari | 0,37 | 0,35 | 0,33 | 0,32 |
| 75,9 | 28 hari | 0,30 | 0,29 | 0,27 | 0,27 |
| | 56 hari | 0,33 | 0,31 | 0,29 | 0,29 |
| 82,8 | 28 hari | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,25 |
| | 56 hari | 0,30 | 0,28 | 0,27 | 0,26 |

(Sumber: SNI 6468-2000)

6. Menentukan kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan semen per m³ beton dapat dihitung dengan membagi kadar air dengan rasio w/(c+p), sesuai dengan persamaan 3.6.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{\text{kebutuhan air total}}{\text{rasio } w/(c+p)} \quad (3.6)$$

Jika kebutuhan kadar bahan semen melebihi 594 kg/m³, disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan bahan pengganti semen atau metode desain beton lainnya untuk proporsi campuran beton.

7. Proporsi campuran dasar dengan semen

Mix-design dianalisis dengan menggunakan nilai-nilai yang diperoleh dari tahap-tahap sebelumnya. Contoh perhitungan secara detail diuraikan dalam sub-bab 5.2.

3.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan atau resistensi beton untuk menahan tekanan atau gaya yang bekerja pada permukaannya. Ini adalah parameter penting yang menggambarkan daya tahan beton terhadap tekanan yang diterapkan kepadanya dan diukur dalam satuan tekanan seperti Megapascal (MPa) atau Newton per milimeter persegi (N/mm²). Kekuatan tekan beton adalah tekanan per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton akan pecah ketika diberi gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Menurut SNI 1974-2011, perhitungan kuat tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan 3.9 berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

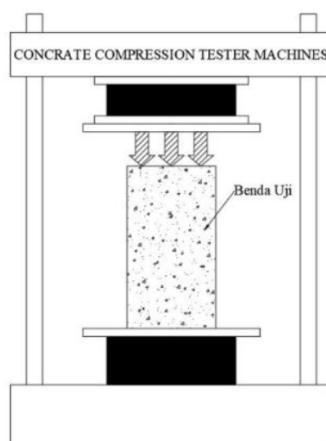
dengan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Berikut adalah ilustrasi pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini, yang menunjukkan proses uji beban hingga mencapai titik keruntuhan beton, serta alat dan prosedur yang digunakan untuk mengukur kekuatan tekan sampel beton secara akurat.



Gambar 3. 1 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

3.7 Kuat Tarik Belah Beton

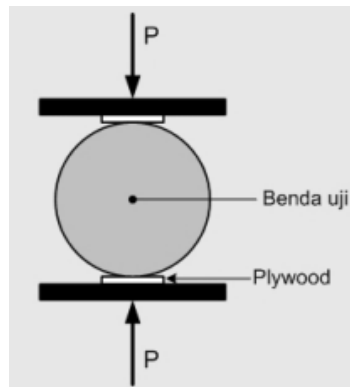
Pengujian kuat tarik belah dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menghadapi gaya geser pada struktur komponen yang menggunakan agregat. Nilai ini didapatkan dari hasil benda uji yang dilakukan pembenanan secara mendatar sejajar dengan mesin uji tekan sesuai dengan standar yang diatur dalam SNI 2491-2014. Dalam penelitian ini, pengujian kuat tarik beton menggunakan metode yang telah dijelaskan dalam SNI-2491-2014. Perhitungan kuat tarik beton pada area tertentu didasarkan pada luas penutup silinder beton, dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$T = \frac{2 \times P \times 1000}{\pi \times d \times h} \quad (3.10)$$

dengan:

- T = Kuat tarik beton (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- d = Diameter benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

Berikut adalah ilustrasi pengujian kuat tarik beton yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

3.8 Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas adalah nilai bagi antara tegangan dan regangan pada sampel ketika mengalami deformasi elastis, dan biasanya diukur dalam satuan MPa. Modulus elastisitas mengukur tingkat kekakuan suatu material. Semakin tinggi nilainya, semakin sedikit perubahan bentuk yang akan terjadi pada material saat dikenai gaya, dan semakin kaku material tersebut. Dengan modulus elastisitas yang tinggi, beton dapat menahan tegangan besar yang disebabkan oleh beban, tetapi dengan regangan yang kecil, yang artinya retakan lebih sedikit terjadi (SNI 2826-2008). Modulus elastisitas dihitung dengan menggunakan dua metode, yaitu metode ASTM C469-94 dengan Persamaan 3.11, dan metode SNI 2847-2019 dengan Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13 seperti yang tertera di bawah ini.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (3.11)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Tegangan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa)

S_1 = Tegangan pada regangan 0,00005 (MPa)

ϵ_2 = Regangan yang terjadi pada S_2

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.12)$$

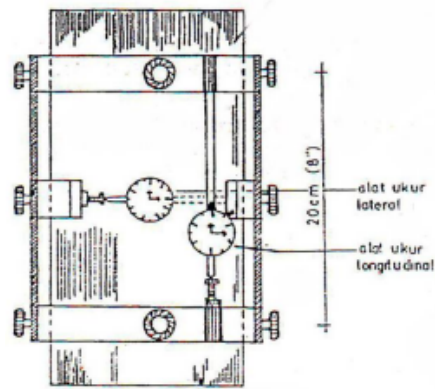
$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.13)$$

dengan:

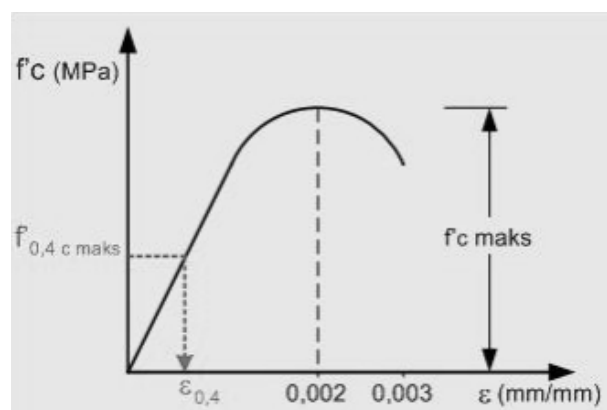
f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

$W_c^{1,5}$ = Berat volume beton (kg/m^3)

Berikut adalah ilustrasi dari pengujian modulus elastisitas dan grafik hubungan antara tegangan dan regangan.



Gambar 3. 3 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton



Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Modulus Elastisitas

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan mensubstitusikan pasir besi dengan agregat halus pada variasi 15% dan terak nikel dengan agregat kasar pada beberapa variasi 10% hingga 40%, dan menambahkan bahan tambah *silicafume* dan *superplasticizer* pada campuran beton.

4.2 Bahan

Berikut adalah bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

1. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Air ini memiliki peranan penting dalam pembuatan campuran beton, proses pencucian agregat kasar dan halus, serta perawatan benda uji beton. Air yang dimanfaatkan adalah air yang bersih, transparan, tidak berbau, dan tidak berwarna.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan sebelum digunakan, agregat halus harus sudah dilakukan penyaringan untuk menentukan gradasi agregat.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan memiliki diameter maksimal 20 mm dan diperoleh dari daerah Clereng, Daerah Istimewa Yogyakarta. Agregat kasar tersebut sebelum digunakan harus sudah dicuci dan disaring. Sebelum penggunaannya juga akan dilakukan penelitian untuk menentukan berat jenis dan volume dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD).

4. Semen *Portland* (PC)

Dalam pembuatan beton silinder ini digunakan Semen *Portland* tipe 1 dengan merek Tiga Roda.

5. Pasir Besi

Pada penelitian ini pasir besi yang akan digunakan sebesar 15% dari berat total agregat halus.

6. Terak Nikel

Pada penelitian ini terak nikel yang akan digunakan berasal dari Cilegon dengan kadar variasi 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat total agregat kasar.

7. Bahan Tambah

Bahan tambah yang akan digunakan pada penelitian ini berupa *superplasticizer* dengan kadar 0,9% dari berat semen dan *silica fume* dengan kadar 10% dari berat semen.

4.3 Alat

Berikut adalah alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini.

1. Timbangan

Alat yang digunakan untuk mengukur berat bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan beton dan benda uji sebelum pengujian adalah timbangan. Dalam penelitian ini, timbangan yang digunakan termasuk timbangan *Ohaus* dan timbangan jarum.

2. Gelas Ukur

Gelas ukur adalah perangkat yang berguna untuk mengukur dan mengambil jumlah bahan berwujud cair, seperti air, *superplasticizer*, dan *silica fume*, yang dibutuhkan dalam proses pencampuran beton.

3. Set Saringan Agregat

Set saringan agregat berfungsi untuk menyaring dan memisahkan agregat berdasarkan ukuran butirnya. Alat ini digunakan dalam pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar.

4. Cetakan Silinder

Cetakan silinder adalah alat yang digunakan untuk membentuk adukan beton menjadi silinder sebagai benda uji. Dalam penelitian ini, cetakan silinder yang digunakan memiliki ukuran dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

5. Alat Ukur

Terdapat beberapa alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya yaitu mistar dan kaliper. Kedua alat ukur tersebut berfungsi untuk mengukur dimensi dari suatu benda uji yang akan diuji. Mistar juga dapat digunakan untuk mengukur tinggi nilai *slump*.

6. Oven

Oven berfungsi untuk melakukan proses pengeringan pada agregat halus dan agregat kasar. Oven digunakan dalam pengujian berat jenis dan daya serap air agregat.

7. Ember

Ember adalah alat yang berperan dalam menampung berbagai jenis material seperti air, agregat, semen, dan material lainnya. Selain itu, ember juga digunakan untuk memudahkan proses pengisian material ke dalam *mixer*.

8. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan (*slump*) dari beton dalam kondisi segar setelah proses pencampuran.

9. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk adalah alat yang digunakan untuk meratakan dan memadatkan campuran beton dalam Kerucut Abrams.

10. *Mixer* Beton

Mixer beton berfungsi untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton, termasuk agregat, air, semen, dan bahan tambah, dengan proporsi yang telah dihitung sesuai dengan *mix design*.

11. Sekop

Sekop digunakan untuk menuangkan beton segar ke dalam cetakan.

12. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan dalam pengujian kuat tekan beton untuk menentukan beban yang menyebabkan kerusakan pada benda uji (beban maksimum).

4.4 Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini berupa beton berbentuk silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan menambahkan terak nikel pada agregat kasar dengan kadar variasi sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%, serta penambahan pasir besi pada agregat halus dengan variasi sebesar 15% dan diberi bahan tambah berupa *superplasticizer* sebesar 0,9% dan *silica fume* sebesar 10%. Untuk setiap sampel akan diuji pada umur beton 28 hari. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji Kuat Tekan

| Kode Benda Uji | Kadar Terak Nikel | Kadar Pasir Besi | Kadar Bahan Tambah | | Jumlah Benda Uji |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------------|--------------------|------------------|
| | | | <i>Superplasticizer</i> | <i>Silica Fume</i> | |
| N-00 | 0% | 0% | 0,9% | 10% | 5 |
| V-01 | 0% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| V-02 | 10% | 0% | 0,9% | 10% | 5 |
| V-03 | 10% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| V-04 | 20% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| V-05 | 30% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| V-06 | 40% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| Total Benda Uji | | | | | 35 |

Tabel 4. 2 Rincian Benda Uji Kuat Tarik Belah

| Kode Benda Uji | Kadar Terak Nikel | Kadar Pasir Besi | Kadar Bahan Tambah | | Jumlah Benda Uji |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------------|--------------------|------------------|
| | | | <i>Superplasticizer</i> | <i>Silica Fume</i> | |
| NT-00 | 0% | 0% | 0,9% | 10% | 5 |
| VT-01 | 0% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| VT-02 | 10% | 0% | 0,9% | 10% | 5 |
| VT-03 | 10% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| VT-04 | 20% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| VT-05 | 30% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| VT-06 | 40% | 15% | 0,9% | 10% | 5 |
| Total Benda Uji | | | | | 35 |

Dari tabel di atas total benda uji kuat tekan dan kuat tarik adalah 70 buah. Modulus elastisitas didapatkan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton.

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yang meliputi tahapan persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji.

4.6.1 Persiapan

Dalam tahap persiapan kegiatan yang dilaksanakan mencakup studi literatur, kesiapan bahan dan material, serta kesiapan peralatan yang akan digunakan selama penelitian.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat yang mencakup pengujian agregat halus dan agregat kasar, dilaksanakan untuk memahami sifat dan karakteristik dari agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian agregat ini digunakan sebagai acuan dalam proses perencanaan campuran beton (*mix design*). Berikut adalah pengujian yang akan dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-1990.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998.
7. Pengujian lolos saringan no. 200 (uji kadar lumpur dalam pasir) mengacu pada SNI 4142-1996.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran (*mix design*) merupakan tahap di mana rencana pencampuran berbagai komponen beton, termasuk semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dibuat. Proses perencanaan campuran ini mengacu pedoman yang tercantum dalam SNI 6468-2000. Hasil dari perencanaan campuran ini adalah perbandingan antara komponen-komponen beton yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji.

4.6.4 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Dalam tahap ini, komposisi bahan-bahan penyusun beton yang telah ditentukan melalui *mix design* dicampur menggunakan alat *concrete mixer*. Selanjutnya, beton segar diuji untuk menentukan nilai *slump* dan setelah itu beton dicor ke dalam cetakan. Setelah beton mengeras atau mencapai *setting time*, benda uji beton dilepas dari cetakan dan diberi perawatan. Proses perawatan beton ini

melibatkan perendaman benda uji dalam air hingga mencapai umur yang direncanakan.

4.6.5 Pengujian Benda Uji

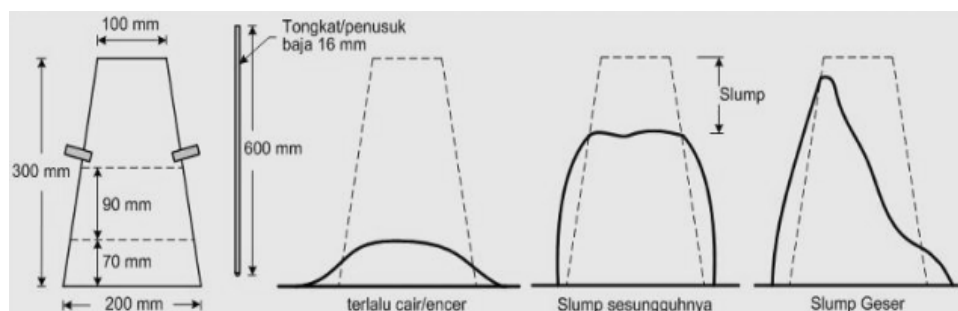
Pada tahap ini benda uji yang telah mencapai umur yang direncanakan akan diuji *slump* dan kuat tekannya. Proses pelaksanaan uji *slump* dan kuat tekan ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengujian *Slump*

Uji *slump* dilakukan setelah beton segar dari *concrete mixer* dituangkan. Berikut adalah langkah-langkah dalam melaksanakan uji *slump*.

- a. Isilah kerucut Abrams dengan adukan beton segar secara bertahap setiap 1/3 bagian, dan lakukan penumbukan merata dengan sebuah batang besi berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali pada setiap bagian.
- b. Teruskan penumbukan hingga kerucut Abrams terisi penuh dengan beton segar.
- c. Biarkan campuran beton segar tersebut selama 30 detik, lalu angkat kerucut Abrams secara vertikal untuk mencegah beton segar tumpah. Setelah itu, letakkan kerucut Abrams di dekat campuran beton yang telah dicetak, dan ukurlah tinggi slump menggunakan penggaris.

Berikut adalah ilustrasi dari uji *slump* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 1 Ilustrasi Pengujian *Slump*

2. Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 1974-2011, pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Mengangkat benda uji dari perendaman dan membiarkannya selama sekitar 24 jam.

- b. Mengukur dimensi dan bobot benda uji.
 - c. Meletakkan benda uji di atas landasan tekan bagian bawah dan memastikan bahwa penunjuk beban menunjukkan nol.
 - d. Menjalankan mesin uji tekan dengan kecepatan peningkatan beban sekitar 0,15 hingga 0,35 MPa per detik.
 - e. Terus membebani benda uji hingga benda tersebut hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima.
3. Pengujian Kuat Tarik Belah
- Tahapan-tahapan pengujian ini dapat dijelaskan sebagai berikut.
- a. Persiapkan alat-alat yang diperlukan untuk pengujian.
 - b. Ukur dimensi dan berat benda uji.
 - c. Gunakan alat yang sesuai untuk menandai garis tengah pada kedua ujung benda uji, memastikan bahwa kedua garis tengah tersebut berada pada bidang aksial yang sama.
 - d. Pasang bantalan bantu pembebanan pada mesin uji dengan menempatkannya di tengah-tengah meja tekan bagian bawah.
 - e. Letakkan benda uji di atas bantalan kayu sehingga garis tengah yang telah ditandai pada benda uji tegak lurus dengan titik pusat bantalan bantu pembebanan.
 - f. Tempatkan bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari dua lapisan kayu atau *plywood* di atas benda uji, sehingga titik tengahnya bersilangan dengan garis tengah yang ada pada ujung silinder benda uji.
 - g. Atur posisinya hingga mencapai kondisi di mana proyeksi dari bidang yang ditandai dengan garis tengah di kedua ujung benda uji bertemu dengan titik tengah bagian atas meja penekan mesin uji.
 - h. Operasikan mesin uji tekan dengan memberikan beban secara terus menerus tanpa berhenti, dengan kecepatan yang tetap antara 0,7 hingga 1,4 MPa per detik, hingga benda uji pecah menjadi dua.
 - i. Catat nilai beban maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian.

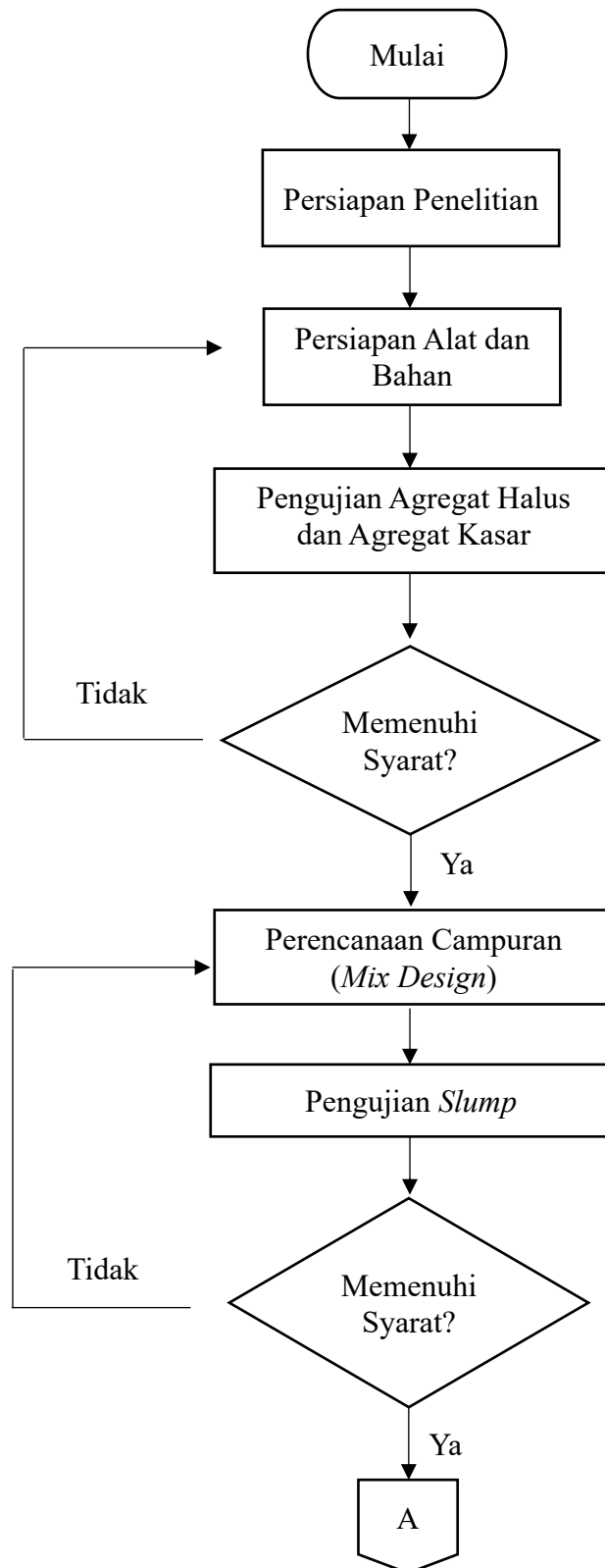
4. Modulus Elastisitas

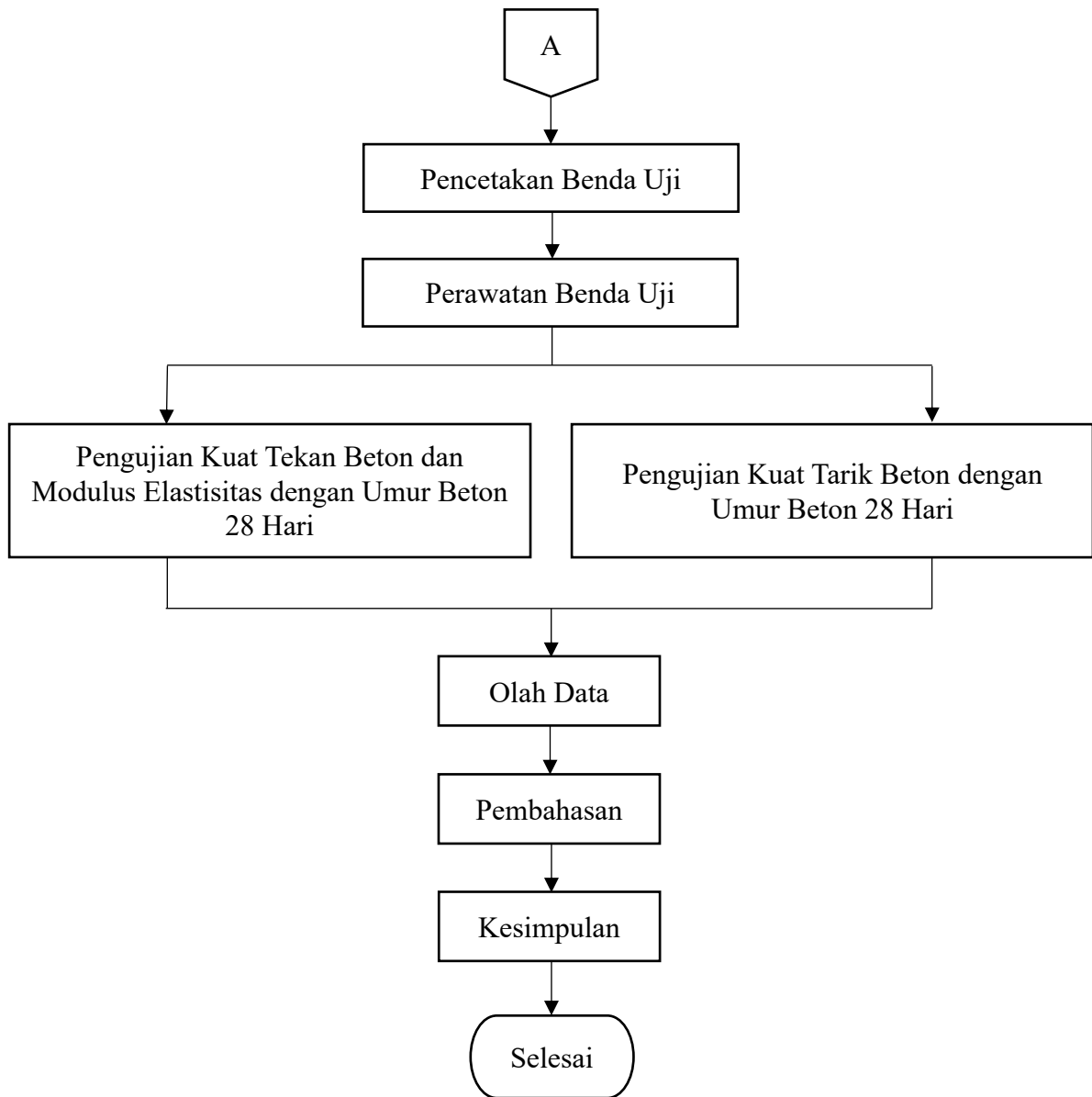
Pengujian modulus elastisitas dilakukan serupa dengan pengujian kuat tekan namun dalam pengujian ini pada benda uji diberikan dial. Berikut adalah tahapan-tahapan pengujian ini.

- a. Menggunakan jangka sorong, lakukan pengukuran diameter benda uji pada tiga posisi, yaitu di tengah dan di kedua ujungnya, dengan ketelitian mencapai 0,05 mm dari pembacaan rata-rata.
- b. Ukur dimensi benda uji dengan menambahkan kaping hingga mencapai pembacaan 1 mm.
- c. Timbang benda uji dengan ketelitian timbangan sekitar 0,3%. Pasang alat kompressometer-ekstensometer pada benda uji secara akurat dan kuat, lalu tambahkan alat pengukur deformasi atau dial gauge yang sesuai.
- d. Letakkan benda uji pada mesin uji tekan dalam posisi simetris setelah pemasangan alat pengukur deformasi atau *dial gauge*.
- e. Aktifkan mesin uji tekan dan terapkan beban secara teratur dengan kecepatan pembebanan berkisar antara 207 hingga 275 kPa/detik hingga benda uji mengalami kegagalan dan mesin tidak lagi memberikan beban.
- f. Selama pengujian, catat setiap kenaikan beban sebesar 10 kN, mencapai beban saat regangan/deformasi mencapai $50 \cdot 10^{-6}$ dan mencapai pembebanan sekitar 40% dari beban maksimum.

4.6 Bagan Alir Pengujian

Adapun bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada berikut.





Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Agregat

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup agregat kasar dan halus. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan data awal analisis *mix-design* serta menilai kelayakan agregat yang digunakan dalam penelitian ini.

5.1.1 Agregat Kasar

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

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(Bj-B)} \\ &= \frac{4886}{(5000-3107)} \\ &= 2,581 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis kering muka} &= \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{5000}{(5000-3107)} \\ &= 2,641 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk-B)} \\ &= \frac{4886}{(4886-3107)} \\ &= 2,746 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \\ &= \frac{(5000-4886)}{4886} \times 100\% \\ &= 2,333\end{aligned}$$

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

| No. | Uraian | Hasil | Satuan |
|-----|---|-------|--------|
| 1 | Berat kerikil kering mutlak (Bk) | 4886 | gram |
| 2 | Berat kerikil jenuh kering mutlak (Bj) | 5000 | gram |
| 3 | Berat piknometer berisi kerikil dan air (Ba) | 3107 | gram |
| 4 | Berat jenis curah BK/(BJ-Ba) | 2,581 | gram |
| 5 | Berat jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba) | 2,641 | gram |
| 6 | Berat jenis semu Bk/(Bk-Ba) | 2,746 | gram |
| 7 | Penyerapan air | 2,333 | % |

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis kering muka sebesar 2,64 gram/cm³ dan penyerapan air sebesar 2,33 %.

2. Analisis Saringan

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

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 40 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 20 | 20 | 0,4 | 0,4 | 99,6 |
| 10 | 3645 | 72,9 | 73,3 | 26,7 |
| 4,8 | 1201 | 24,02 | 97,32 | 2,68 |
| 2,4 | 39 | 0,78 | 98,1 | 1,9 |
| 1,2 | 2 | 0,04 | 98,14 | 1,86 |
| 0,6 | 0 | 0 | 98,14 | 1,86 |
| 0,3 | 0 | 0 | 98,14 | 1,86 |
| 0,15 | 0 | 0 | 98,14 | 1,86 |
| Pan | 93 | 1,86 | 100 | 0 |
| Jumlah | 5000 | 100 | 661,68 | |

Berdasarkan data tersebut, perhitungan persentase berat tertinggal dan Modulus Halus Butir (MHB) dilakukan menggunakan perhitungan berikut.

a. Persentase berat tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{20}{5000} \times 100\% \\ &= 0,4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3645}{5000} \times 100\% \\ &= 72,9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1201}{5000} \times 100\% \\ &= 24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{39}{5000} \times 100\% \\ &= 0,78\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{2}{5000} \times 100\% \\ &= 0,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{93}{5000} \times 100\% \\ &= 1,86\% \end{aligned}$$

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 0,4\% \\ &= 0,4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 0,4\% + 72,9\% \\ &= 73,3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 73,3\% + 24,02\% \\ &= 97,32\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 97,32\% + 0,78\% \\ &= 98,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 98,1\% + 0,04\% \\
 &= 98,14\% \\
 \text{Pan} &= 98,14\% + 1,86\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

c. Persentase lolos kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% \\
 \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,4\% \\
 &= 99,6\% \\
 \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 73,3\% \\
 &= 26,7\% \\
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 97,32\% \\
 &= 2,68\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 100\% - 98,1\% \\
 &= 1,9\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 100\% - 98,14\% \\
 &= 1,86\% \\
 \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

d. Modulus Halus Butir (MHB)

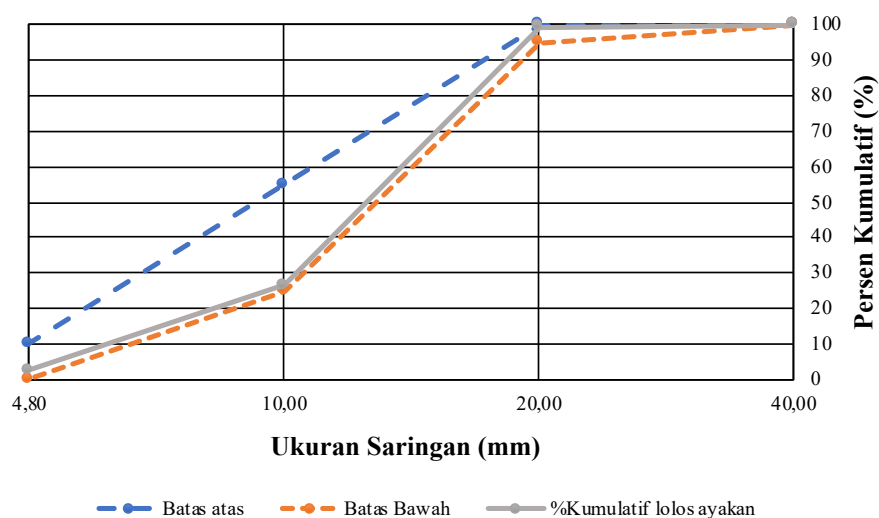
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{661,68}{100} \\
 &= 6,61
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai MHB agregat kasar sebesar 6,61, yang memenuhi persyaratan SNI S-04-1989-F, dimana nilai MHB agregat kasar harus berkisar antara 5 hingga 8. Selain itu, hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat sesuai dengan tabel gradasi agregat kasar yang tercantum dalam tabel 5.3. Berdasarkan tabel tersebut, kurva gradasi agregat kasar dibuat dan ditampilkan pada gambar 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 3 Gradasi Agregat Kasar

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butiran Agregat yang Lolos dari Ayakan | |
|-----------------------|---|----------|
| | 40 mm | 20 mm |
| 40 | 95 – 100 | 100 |
| 20 | 30 – 70 | 95 – 100 |
| 10 | 10 – 35 | 25 – 55 |
| 4,8 | 0 – 5 | 0 – 10 |

(Sumber: SNI 2834-2000)



Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm

Berdasarkan gambar di atas, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter maksimum 20 mm.

3. Pengujian Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat kasar dalam penelitian ini menggunakan standar SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18294 - 10958 \\
 &= 7336 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5303,571 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7336}{5303,571} \\
 &= 1,383 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

| Keterangan | Hasil | Satuan |
|---|----------|----------------------|
| Berat tabung (W1) | 10958 | gram |
| Berat tabung + agregat kering tungku (W2) | 18294 | gram |
| Berat agregat (W3) | 7336 | gram |
| Diameter tabung (d) | 15 | cm |
| Tinggi tabung (t) | 30 | cm |
| Volume tabung (V) | 5303,571 | cm ³ |
| Berat volume gembur | 1,383 | gram/cm ³ |

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh angka berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,383 gram/cm³.

4. Pengujian Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat kasar dalam penelitian ini menggunakan standar SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume padat agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19214 - 10218 \\
 &= 8996 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5303,571 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8995}{5303,571} \\
 &= 1,696 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

| Keterangan | Hasil | Satuan |
|---|----------|----------------------|
| Berat tabung (W1) | 10218 | gram |
| Berat tabung + agregat kering tungku (W2) | 19214 | gram |
| Berat agregat (W3) | 8996 | gram |
| Diameter tabung (d) | 15 | cm |
| Tinggi tabung (t) | 30 | cm |
| Volume tabung (V) | 5303,571 | cm ³ |
| Berat volume padat | 1,696 | gram/cm ³ |

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh angka berat volume padat agregat kasar sebesar 1,696 gram/cm³.

5.1.2 Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristiknya. Dalam penelitian ini, agregat halus berasal dari Kali Progo. Pengujian meliputi berat jenis, analisis saringan, berat volume gembur dan padat, kadar air, serta lolos saringan no. 200.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis agregat dilakukan untuk menentukan nilai berat jenis dan penyerapan air dari agregat halus. Standar yang digunakan adalah SNI 1970-1990. Berikut adalah perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$$

$$= \frac{490}{(657+500-951)}$$

$$= 2,37 \text{ gram}$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering muka} = \frac{500}{(B+500-Bt)}$$

$$= \frac{500}{(657+500-951)}$$

$$= 2,42 \text{ gram}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$= \frac{490}{(657+500-951)}$$

$$= 2,5 \text{ gram}$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{(500 - 490)}{490} \times 100\%$$

$$= 2,04\%$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

| No. | Uraian | Hasil | Satuan |
|-----|---|-------|--------|
| 1 | Berat pasir kering mutlak (Bk) | 490 | gram |
| 2 | Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) | 500 | gram |
| 3 | Berat piknomter berisi pasir dan air (Bt) | 951 | gram |
| 4 | Berat piknometer air (B) | 657 | gram |
| 5 | Berat jenis curah | 2,37 | gram |
| 6 | Berat jenis jenuh kering muka | 2,42 | gram |
| 7 | Berat jenis semu | 2,5 | gram |
| 8 | Penyerapan air | 2,040 | % |

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai berat jenis kering muka sebesar 2,42 gram dan penyerapan air sebesar 2,04%.

2. Analisa Saringan

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

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persentase Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 4,8 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2,4 | 2 | 0,1 | 0,1 | 99,9 |
| 1,2 | 6 | 0,3 | 0,4 | 99,6 |
| 0,6 | 187 | 9,35 | 9,75 | 90,25 |
| 0,3 | 1025 | 51,25 | 61 | 39 |
| 0,15 | 712 | 35,6 | 96,6 | 3,4 |
| Pan | 68 | 3,4 | 100 | 0 |
| Jumlah | 2000 | 100 | 267,85 | |

Berdasarkan data tersebut, dilakukan perhitungan persentase berat tertinggal dan modulus halus butir menggunakan perhitungan di bawah ini.

a. Persentase berat tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{0}{2000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{2}{5000} \times 100\% \\ &= 0,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{6}{5000} \times 100\% \\ &= 0,3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{187}{5000} \times 100\% \\ &= 9,35\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{1025}{5000} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 51,25 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{712}{5000} \times 100\%$$

$$= 35,6 \%$$

$$\text{Pan} = \frac{68}{5000} \times 100\%$$

$$= 3,4 \%$$

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 0 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 0\% + 0,1\%$$

$$= 0,1\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 0,1\% + 0,3\%$$

$$= 0,4\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 0,4\% + 9,35\%$$

$$= 9,75\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 9,75\% + 51,25\%$$

$$= 61\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 61\% + 35,6\%$$

$$= 96,6\%$$

$$\text{Pan} = 96,6\% + 3,4\%$$

$$= 100\%$$

c. Persentase lolos kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 100\% - 0,1\%$$

$$= 99,9\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 100\% - 0,4\%$$

$$= 99,6\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 100\% - 9,75\%$$

$$= 90,25\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 100\% - 61\%$$

$$= 39\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 100\% - 96,6\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,4\% \\
 \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

d. Modulus Halus Butir (MHB)

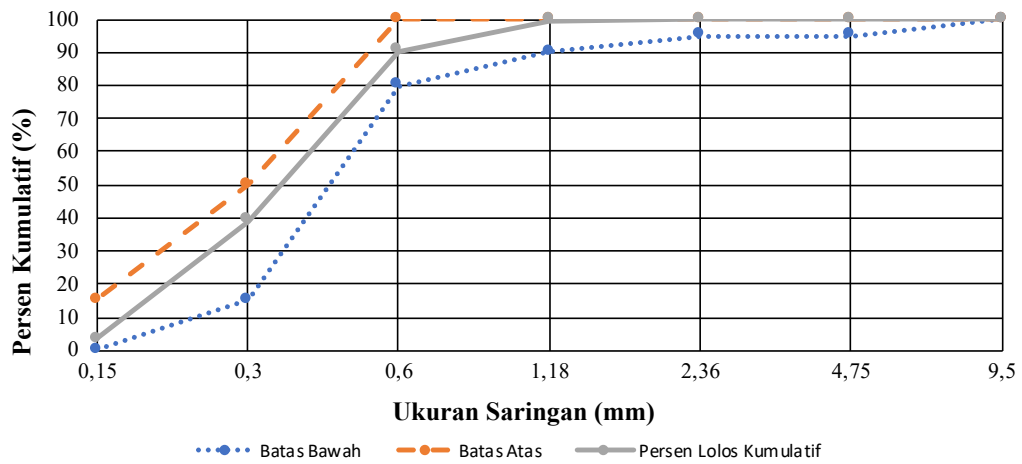
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{267,85}{100} \\
 &= 2,67
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai MHB sebesar 2,67, sehingga nilai tersebut memenuhi persyaratan nilai MHB untuk agregat halus menurut SNI S-04-1989-F, yang berkisar antara 1,5 hingga 3,8. Selain itu, hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang terdapat pada Tabel 5.8. Berdasarkan tabel tersebut, dibuat kurva gradasi agregat halus yang ditampilkan pada Gambar 5.2 berikut ini.

Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Halus

| Lubang Ayakan (mm) | Persentase Butir Agregat yang Lolos Saringan | | | |
|-----------------------|--|-----------|------------|-----------|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 100 – 90 | 90 – 100 | 90 – 100 | 95 – 100 |
| 2,4 | 60 – 95 | 75 – 100 | 85 – 100 | 95 – 100 |
| 1,2 | 30 – 70 | 55 – 90 | 75 – 100 | 90 – 100 |
| 0,6 | 15 – 34 | 35 – 59 | 60 – 79 | 80 – 100 |
| 0,3 | 5 – 20 | 8 – 30 | 12 – 40 | 15 – 50 |
| 0,15 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 – 15 |

(Sumber: SNI 2834-2000)



Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah IV

Berdasarkan gambar tersebut, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam zona gradasi IV.

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat halus dalam penelitian ini mengikuti standar SNI 4804-1998. Berikut adalah perhitungan berat volume gembur agregat halus.

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19015 - 10959 \\ &= 8056 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\ &= 5303,571 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8056}{5303,571} \\ &= 1,518 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

| Keterangan | Hasil | Satuan |
|---|--------------|----------------------|
| Berat tabung (W1) | 10959 | gram |
| Berat tabung + agregat kering tungku (W2) | 19015 | gram |
| Berat agregat (W3) | 8056 | gram |
| Diamter tabung (d) | 15 | cm |
| Tinggi tabung (t) | 30 | cm |
| Volume tabung (V) | 5303,571 | cm ³ |
| Berat volume gembur | 1,518 | gram/cm ³ |

Dari hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai berat volume gembur agregat halus sebesar 1,518 gram/cm³.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus dalam penelitian ini mengacu pada standar SNI 4804-1998. Berikut adalah perhitungan berat volume padat agregat halus.

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 20316 - 10959 \\ &= 9357 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\ &= 5303,571 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{9357}{5303,571} \\ &= 1,764 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

| Keterangan | Hasil | Satuan |
|---|--------------|----------------------|
| Berat tabung (W1) | 10959 | gram |
| Berat tabung + agregat kering tungku (W2) | 20316 | gram |
| Berat agregat (W3) | 9357 | gram |
| Diameter tabung (d) | 15 | cm |
| Tinggi tabung (t) | 30 | cm |
| Volume tabung (V) | 5303,571 | cm ³ |
| Berat Volume Padat | 1,764 | gram/cm ³ |

Dari hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,764 gram/cm³.

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan no. 200 pada agregat halus dalam penelitian ini mengikuti standar SNI 4142-1996. Berikut adalah perhitungan hasil lolos saringan no. 200 agregat halus.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 488}{500} \times 100\% \\
 &= 2,4\%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

| Keterangan | Hasil | Satuan |
|---|--------------|---------------|
| Berat agregat kering oven (W1) | 500 | gram |
| Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2) | 488 | gram |
| Berat yang lolos ayakan no. 200 | 2,4 | % |

Dari hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 2,4%.

5.2 Perencanaan Campuran Beton

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

5.2.1 Menentukan Data Awal *Mix-Design*

Kuat tekan beton yang direncanakan dalam penelitian ini adalah $f'c = 45$ MPa pada umur 28 hari. Menurut SNI 6468:2000, nilai kuat tekan yang direncanakan sudah masuk dalam kategori beton mutu tinggi karena lebih dari 41,4 MPa, yang merupakan nilai kuat tekan minimal untuk beton mutu tinggi. Data material yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada tabel berikut ini.

Tabel 5. 12 Data Awal *Mix-Design*

| Uraian | Hasil | Satuan |
|--------------------------------|-------|----------------------|
| Kuat tekan ($f'c$) | 45 | MPa |
| Berat jenis pasir | 2,42 | gram/cm ³ |
| Penyerapan air pasir | 2,04 | % |
| Berat volume padat pasir | 1764 | kg/m ³ |
| Berat jenis semen | 3,15 | gram/cm ³ |
| Berat jenis kerikil | 2,64 | gram/cm ³ |
| Penyerapan air kerikil | 2,33 | % |
| Berat volume padat kerikil | 1696 | kg/m ³ |
| Berat jenis <i>silica fume</i> | 2,2 | kg/m ³ |

5.2.2 Menghitung Komposisi *Mix-Design*

Pada tahap ini, analisis perhitungan masih menggunakan material umum tanpa substitusi pasir besi, serta belum menambahkan *silica fume* dan *superplasticizer* dalam campurannya. Hasil perhitungan yang diperoleh masih dalam satuan per m³ dan belum dianalisis sesuai dengan volume yang dibutuhkan.

1. Menentukan *Slump* Awal

Penentuan nilai *slump* awal bertujuan sebagai pedoman awal untuk komposisi campuran. Analisis kuat tekan rata-rata dilakukan setelah target *slump* ditentukan. Berikut adalah perhitungan nilai kuat tekan rata-rata.

Slump yang ditargetkan = 75 – 100 mm

$$\begin{aligned} f_{cr}' &= \frac{f'c + 9,66}{0,90} \\ &= \frac{45 + 9,66}{0,90} \\ &= 60,733 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Menentukan Ukuran Maksimum Agregat Kasar

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan adalah 60,733 MPa, yang kurang dari 62,1 MPa, sehingga ukuran agregat kasar yang diperbolehkan berada dalam rentang 20 – 25 mm (SNI 6468-2000). Ukuran yang dipilih adalah 20 mm.

3. Menentukan Kadar Agregat Kasar Optimum

Ukuran agregat kasar maksimum = 20 mm

Fraksi volume agregat kasar optimum = 0,72 (Tabel 3.2)

Selanjutnya untuk menentukan kadar agregat kasar dalam kondisi kering oven menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{fraksi volume agregat} \times \text{berat volume} \\ &= 0,72 \times 1696 \\ &= 1221,264 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

4. Estimasi Kadar Air Pencampur dan Kadar Udara

Nilai estimasi pertama kebutuhan air = 181 liter/m³ (Tabel 3.3)

Kadar udara = 1,5% (Tabel 3.3)

Kemudian perhitungan kadar rongga udara (*v*) dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar rongga udara (v)} &= \left(1 - \frac{\text{berat isi padat kering oven}}{\text{berat jenis relatif}}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{1696}{2,64 \times 1000}\right) \times 100\% \\ &= 35,75\% \end{aligned}$$

Setelah memperoleh nilai kadar rongga udara langkah berikutnya adalah mencari nilai koreksi kadar air dengan menggunakan perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}\text{Koreksi kadar air} &= (V - 35) \times 4,75 \\ &= (35,75 - 35) \times 4,75 \\ &= 3,562 \text{ liter/m}^3\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil koreksi kadar air tersebut nilai kebutuhan air total dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air total} &= 181 + 3,562 \\ &= 184,562 \text{ liter/m}^3\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan rata-rata} &= 60,733 \text{ MPa} \\ \text{fcr lapangan} &= 0,9 \times \text{fcr} \\ &= 0,9 \times 60,733 \\ &= 54,66 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 3.4 rasio $w/(c+p)$ untuk beton mutu tinggi dengan penggunaan *superplasticizer* dan ukuran agregat kasar maksimum 20 mm dapat dilihat. Setelah memperoleh nilai fcr lapangan, rasio $w/(c+p)$ dapat ditemukan menggunakan perhitungan interpolasi pada Tabel 3.4.

diketahui:

$$\begin{aligned}X &= 54,66 \text{ MPa} \\ X1 &= 48,3 \text{ MPa} \\ X2 &= 55,2 \text{ MPa} \\ Y1 &= 0,45 \\ Y2 &= 0,40 \\ Y &= Y1 + \frac{(X-X1)}{(X2-X1)} \times (Y2 - Y1) \\ &= 0,45 + \frac{(54,66-48,3)}{(55,2-48,3)} \times (0,40 - 0,45) \\ &= 0,403\end{aligned}$$

maka nilai rasio $w/(c+p)$ adalah 0,403

6. Menghitung Kadar Bahan Bersifat Semen

Perhitungan kadar bahan bersifat semen dalam satuan m³ dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar bahan bersifat semen} &= \frac{\text{kebutuhan air total}}{\text{rasio } w/(c+p)} \\ &= \frac{184,562}{0,403} \\ &= 456,936 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah semen, dilakukan pembagian antara kadar bahan bersifat semen dengan berat jenis semen = 3,15 kg/m³.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah semen} &= \frac{456,936}{3,15} \\ &= 145,059 \text{ liter/m}^3 \end{aligned}$$

7. Proporsi Campuran Dasar dengan Semen Portland

Setelah menyelesaikan perhitungan di atas, maka diperoleh volume semua material *mix-design* kecuali pasir per m³. Berikut adalah campurannya dalam satuan liter.

$$\text{Semen portland} = \frac{456,936}{3,15} = 145,059 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} = \frac{1221,264}{2,64} = 462,6 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Air} = 184,562 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Kadar udara} = 1,5\% \times 1000 = 15 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Total} = 807,221 \text{ liter/m}^3$$

Maka kebutuhan volume pasir per m³ beton:

$$1000 - 807,221 = 192,778 \text{ liter/m}^3$$

Dikonversi menjadi berat pasir kering oven:

$$192,778 \times 2,42 = 466,523 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perencanaan komposisi *mix-design* beton mutu tinggi menggunakan SNI 6468:2000 per m³ akan dijelaskan melalui tabel berikut.

Tabel 5. 13 *Mix-Design* per-m³

| Material | Nilai | Satuan |
|----------------|---------|--------|
| Semen portland | 456,93 | kg |
| Agregat halus | 466,52 | kg |
| Agregat kasar | 1221,26 | kg |
| Air | 184,56 | kg |

5.2.3 *Mix-Design* Menggunakan *Silica Fume*, Pasir Besi, dan Terak Nikel

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

Persentase substitusi kadar semen = 10%

Berat semen = 456,93 kg

Berat *silica fume* = 45,693 kg

Berat semen yang tersisa = 411,242 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:

$$\frac{411,242}{3,15} = 130,553 \text{ kg}$$

Volume bahan bersifat *silica fume*:

$$\frac{45,493}{2,2} = 20,769 \text{ kg}$$

Total = 130,553 + 20,769

$$= 151,323 \text{ kg}$$

Selanjutnya langkah pada sub-bab 5.2.2 nomor 7 diulang dengan memperhatikan perbedaan dalam jumlah semen.

Semen portland = 151,323 liter/m³

Agregat kasar = $\frac{1221,264}{2,64}$ = 462,6 liter/m³

Air = 184,562 liter/m³

Kadar udara = 1,5% x 1000 = 15 liter/m³

Total = 813,485 liter/m³

Kebutuhan volume pasir:

1000 – 813,485 = 186,514 liter/m³

Dikonversi menjadi berat pasir kering oven:

186,514 x 2,42 = 451,365 liter/m³

Hasil perencanaan komposisi *mix-design* beton mutu tinggi menggunakan SNI 6468:2000 per m³ adalah sebagai berikut:

Semen portland = 411,242 kg

Agregat halus = 451,365 kg

Agregat kasar = 1221,26 kg

Air = 184,56 kg

Silica fume = 45,693 kg

Superplasticizer = 4,112 kg

Penambahan *superplasticizer* sebanyak 4,112 kg merupakan tambahan bahan sebesar 0,9% terhadap total berat semen. Secara keseluruhan, kebutuhan komposisi campuran mutu tinggi setelah menghitung persentase pasir besi dari ketiga variasi akan ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 5. 14 Hasil Mix-Design Kebutuhan Total Material per-m³

| Kode | Semen (kg) | SF (10%) (kg) | Air (kg) | Kerikil (kg) | Pasir (kg) | SP (0,9%) (kg) | Pasir Besi | | Terak Nikel | |
|------|---------------|---------------------|-------------|-----------------|---------------|----------------------|---------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | | | (kg) | (%) | (kg) | (%) |
| N-00 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 1221,2 | 451,3 | 4,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V-01 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 1221,2 | 383,6 | 4,1 | 67,7 | 15 | 0 | 0 |
| V-02 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 1099,1 | 451,3 | 4,1 | 0 | 0 | 122,1 | 10 |
| V-03 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 1099,1 | 383,6 | 4,1 | 67,7 | 15 | 122,1 | 10 |
| V-04 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 977,01 | 383,6 | 4,1 | 67,7 | 15 | 244,2 | 20 |
| V-05 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 854,8 | 383,6 | 4,1 | 67,7 | 15 | 366,3 | 30 |
| V-06 | 411,2 | 45,6 | 184,5 | 732,7 | 383,6 | 4,1 | 67,7 | 15 | 488,5 | 40 |

Keterangan:

SF: *Silica fume*

SP: *Superplasticizer*

Hasil yang ditunjukkan pada tabel di atas adalah campuran material yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk semen, *silica fume*, air, kerikil, pasir, *superplasticizer*, pasir besi, dan terak nikel. Penggunaan *silica fume* membantu mengurangi jumlah semen dan sering digunakan dalam perencanaan campuran beton mutu tinggi, sedangkan *superplasticizer* digunakan untuk meningkatkan *workability*, yang berpengaruh pada pemadatan beton secara maksimal sehingga mengurangi risiko hasil benda uji yang keropos.

5.3 Pengujian *Slump* dan Data Beton

Ketepatan *mix-design* dalam penelitian ini dikontrol melalui hasil pengujian *slump*. Pengambilan nilai *slump* dilakukan setelah campuran material tercampur merata. Berikut adalah dokumentasi penulis dalam pengambilan nilai *slump*.



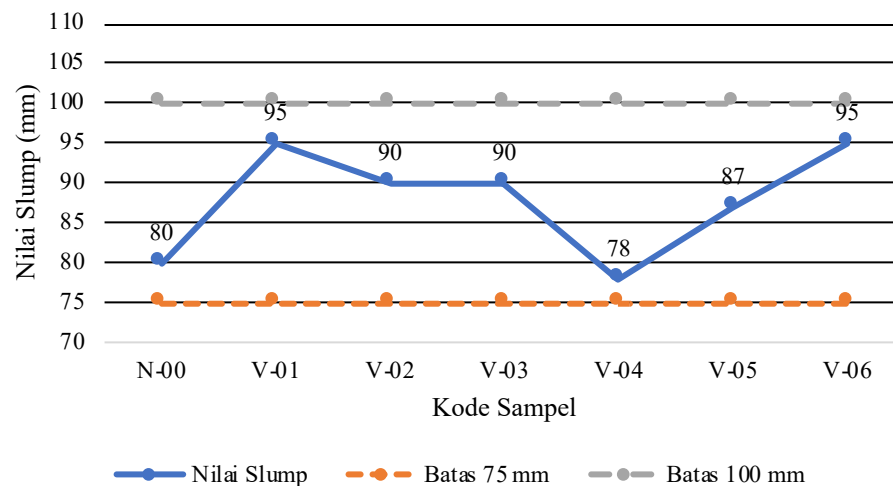
Gambar 5. 3 Pengujian *Slump*
(Sumber: Dokumentas Pribadi)

Nilai *slump* digunakan untuk menentukan tingkat *workability* dari *mix-design* dan memudahkan proses pemadatan saat pasta beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Nilai *slump* yang digunakan pada penelitian ini adalah 75-100 mm. Berikut adalah hasil data lengkap pengujian *slump* untuk seluruh benda uji dalam penelitian ini dijelaskan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian *Slump*

| Kode | Nilai <i>Slump</i> (mm) |
|------|-------------------------|
| N-00 | 80 |
| V-01 | 95 |
| V-02 | 90 |
| V-03 | 90 |
| V-04 | 78 |
| V-05 | 87 |
| V-06 | 95 |

Berdasarkan hasil tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa target slump awal yang direncanakan dalam *mix-design* sesuai dengan hasil di lapangan (memenuhi syarat). Pengadukan campuran beton pada penelitian ini menggunakan mesin pengaduk (*mixer*) berkapasitas 30 silinder dan menghasilkan 10 silinder setiap pengadukan. Berikut adalah grafik pengujian *slump*.



Gambar 5. 4 Grafik Pengujian *Slump*

5.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk menilai kemampuan benda uji dalam menahan beban yang diberikan. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi agregat, peralatan, dan jenis semen.

5.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan pada sampel benda uji silinder berumur 28 hari dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM) dan hasilnya dianalisis menggunakan perhitungan di bawah ini dan akan diambil dari sampel beton normal dan beton variasi pasir besi dan terak nikel dengan kode N00-1 dan V1-3.

1. Perhitungan kuat tekan beton normal (N00-1)

$$P = 824400 \text{ N}$$

$$D = 15,1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,1^2 \\ &= 179,3159 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A = 17931,590 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} && \text{(Persamaan 3.9)} \\ &= \frac{824400}{17931,590} \\ &= 45,97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan pasir besi dan terak nikel (V1-3)

$$P = 844200 \text{ N}$$

$$D = 15,03 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,03^2 \\ &= 177,42215 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A = 17742,215 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} && \text{(Persamaan 3.9)} \\ &= \frac{844200}{17742,215} \end{aligned}$$

$$= 47,58 \text{ MPa}$$

dengan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm^2)

P = Beban maksimum (N)

D = Diameter benda uji (mm)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Hasil lengkap dari semua benda uji pada pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan

| Kode | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Variasi campuran (%) | | Luas (mm ²) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) | | |
|------|------------------|----------------|----------------------|-------------|----------------------------|-----------------------|------------------|--------|-------|
| | | | Pasir Besi | Terak Nikel | | | Unit | Rerata | |
| N-00 | N00-1 | 151,1 | 302,2 | 0 | 0 | 17931,590 | 824,4 | 45,97 | 47,87 |
| | N00-2 | 150 | 300,3 | | | 17671,459 | 854,3 | 48,34 | |
| | N00-3 | 148,9 | 298,8 | | | 17413,228 | 842,5 | 48,38 | |
| | N00-4 | 151,2 | 302,4 | | | 17955,333 | 878,8 | 48,94 | |
| | N00-5 | 151,3 | 299,6 | | | 17979,091 | 857,3 | 47,68 | |
| V-01 | V01-1 | 148,5 | 302,2 | 15 | 0 | 17319,797 | 722,4 | 42,02 | 43,67 |
| | V01-2 | 150,9 | 300,5 | | | 17884,152 | 739,5 | 41,35 | |
| | V01-3 | 150,3 | 303,2 | | | 17742,215 | 844,2 | 47,58 | |
| | V01-4 | 149,8 | 305,1 | | | 17624,366 | 811,2 | 46,03 | |
| | V01-5 | 149,1 | 302,5 | | | 17460,037 | 722,4 | 41,37 | |
| V-02 | V02-1 | 146,1 | 304,1 | 0 | 10 | 16764,489 | 689,3 | 41,12 | 40,61 |
| | V02-2 | 150,3 | 309,2 | | | 17742,215 | 714,2 | 40,25 | |
| | V02-3 | 149,2 | 303,4 | | | 17483,466 | 722,2 | 41,31 | |
| | V02-4 | 150,1 | 308,2 | | | 17695,028 | 735,1 | 41,54 | |
| | V02-5 | 152,1 | 305,1 | | | 18169,723 | 705,1 | 38,81 | |

Lanjutan Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan

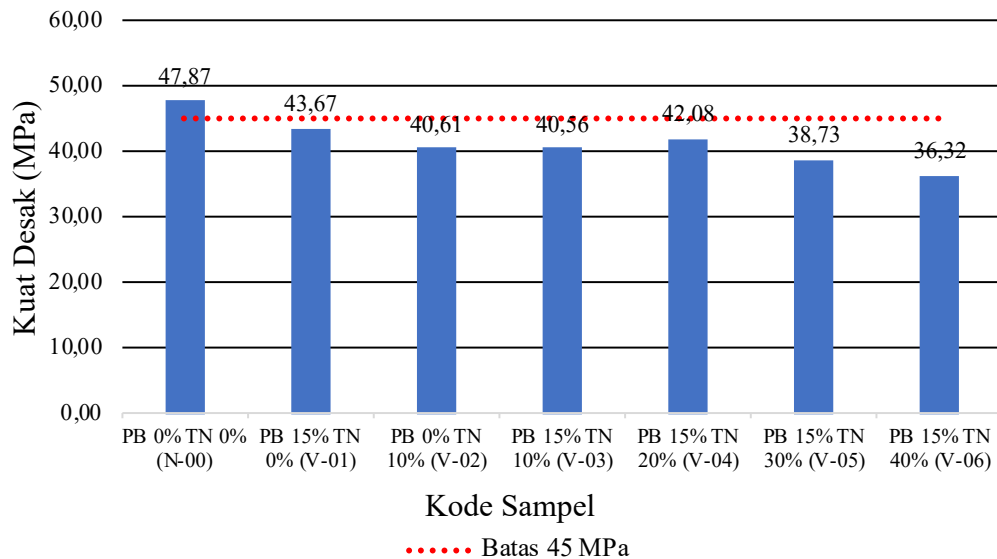
| Kode | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Variasi campuran (%) | | Luas (mm ²) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) | | |
|------|------------------|----------------|----------------------|-------------|----------------------------|-----------------------|------------------|--------|-------|
| | | | Pasir Besi | Terak Nikel | | | Unit | Rerata | |
| V-03 | V03-1 | 151,2 | 309,1 | 15 | 10 | 17955,333 | 712,4 | 39,68 | 40,56 |
| | V03-2 | 150,1 | 308,9 | | | 17695,028 | 736,7 | 41,63 | |
| | V03-3 | 150,1 | 303,5 | | | 17695,028 | 733,1 | 41,43 | |
| | V03-4 | 153,4 | 302,5 | | | 18481,644 | 720,6 | 38,99 | |
| | V03-5 | 149,2 | 302,9 | | | 17483,466 | 718,3 | 41,08 | |
| V-04 | V04-1 | 150,2 | 304,1 | 15 | 20 | 17718,614 | 741,2 | 41,83 | 42,08 |
| | V04-2 | 151,2 | 304,2 | | | 17955,333 | 739,5 | 41,19 | |
| | V04-3 | 150,1 | 304,8 | | | 17695,028 | 745,2 | 42,11 | |
| | V04-4 | 149,1 | 303,8 | | | 17460,037 | 748 | 42,84 | |
| | V04-5 | 150,2 | 301,4 | | | 17718,614 | 751,6 | 42,42 | |
| V-05 | V05-1 | 150,1 | 305,8 | 15 | 30 | 17695,028 | 682,6 | 38,58 | 38,73 |
| | V05-2 | 150,2 | 307,1 | | | 17718,614 | 694,5 | 39,20 | |
| | V05-3 | 150,4 | 303,4 | | | 17765,832 | 684,8 | 38,55 | |
| | V05-4 | 148,9 | 305,2 | | | 17413,228 | 677,7 | 38,92 | |
| | V05-5 | 151,1 | 302,2 | | | 17931,590 | 689 | 38,42 | |
| V-06 | V06-1 | 148,2 | 305,1 | 15 | 40 | 17249,888 | 636,7 | 36,91 | 36,32 |
| | V06-2 | 149,3 | 298,3 | | | 17506,910 | 629,9 | 35,98 | |
| | V06-3 | 150,3 | 304,9 | | | 17742,215 | 633,4 | 35,70 | |

Lanjutan Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan

| Kode | | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Variasi campuran (%) | | Luas (mm ²) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) | |
|------|-------|------------------|----------------|----------------------|-------------|----------------------------|-----------------------|------------------|--------|
| | | | | Pasir Besi | Terak Nikel | | | Unit | Rerata |
| V-06 | V06-4 | 149,6 | 304,8 | 15 | 40 | 17577,337 | 594,5 | 33,82 | 36,32 |
| | V06-5 | 149,5 | 301,7 | | | 17553,845 | 687,6 | 39,17 | |

5.4.2 Pembahasan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan pengujian dan perhitungan kuat tekan beton yang telah dilakukan di atas maka dilakukan pembahasan sebagaimana berikut ini.

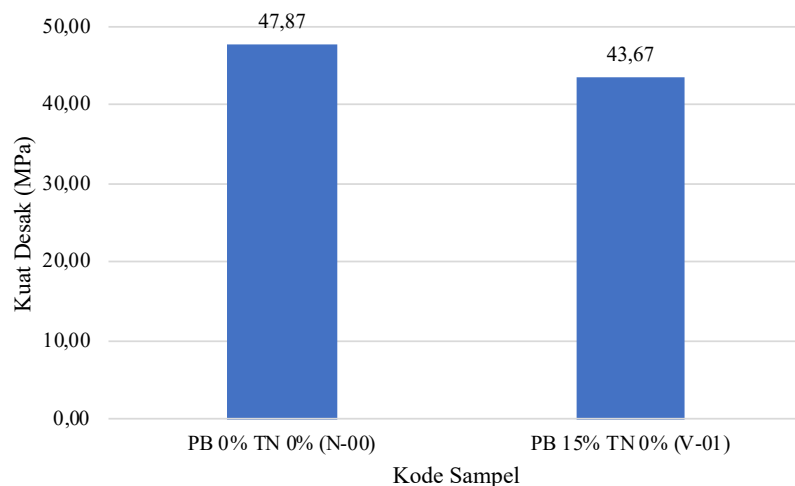


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 5 Grafik Hasil Kuat Tekan Seluruh Sampel Beton

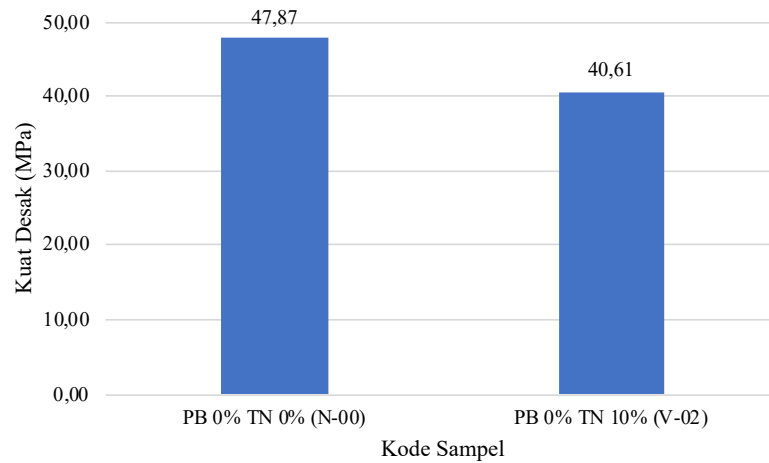


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 6 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Variasi Pasir Besi

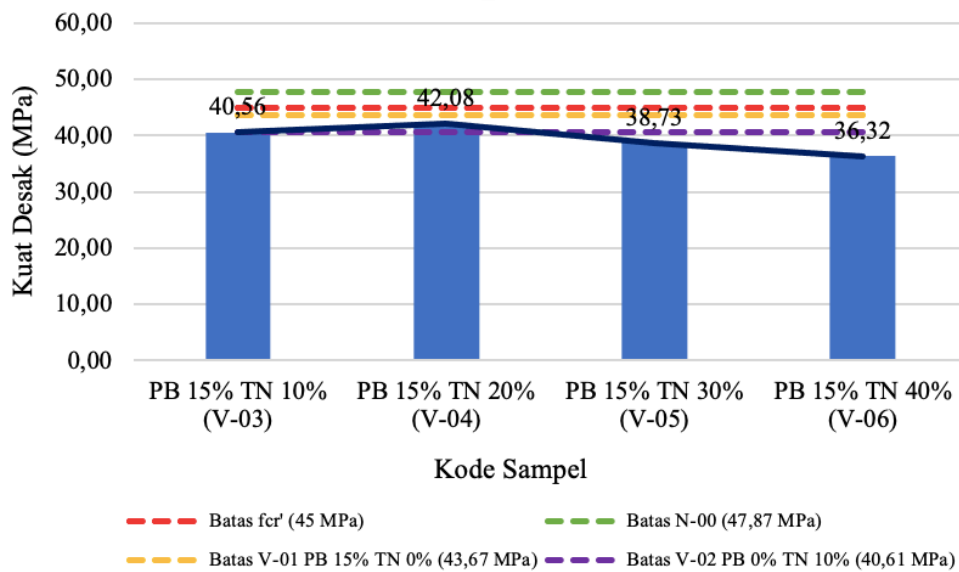


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 7 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Variasi Terak Nikel

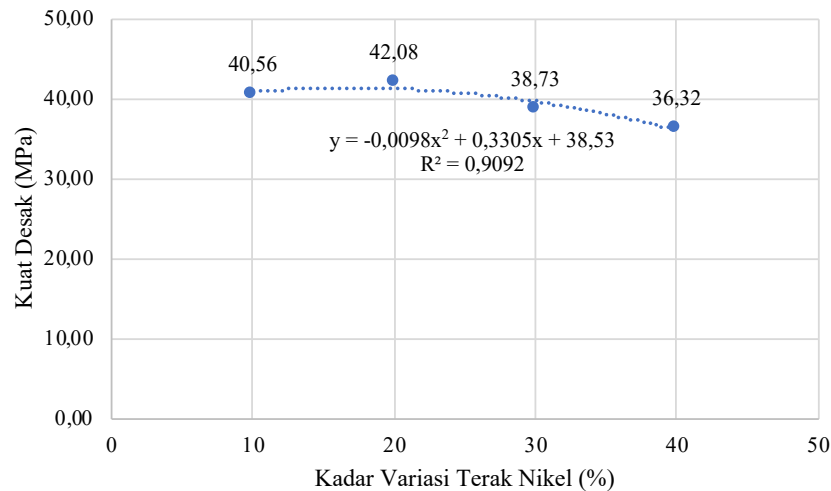


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi Terak Nikel



Gambar 5. 9 Grafik Regresi Kuat Tekan Variasi Pasir Besi 15% dan Terak Nikel 10% Hingga 40%

Pada Gambar di atas dapat diketahui bahwa beton sampel N-00 dengan pasir besi 0% dan terak nikel 0% menunjukkan kuat tekan rata-rata 47,87 MPa, melebihi mutu rencana 45 MPa. Beton V-01 (pasir besi 15%, terak nikel 0%) menghasilkan kuat tekan 43,67 MPa, sementara V-02 (pasir besi 0%, terak nikel 10%) hanya 40,61 MPa. Substitusi pasir besi terbukti menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada terak nikel, karena pasir besi mengisi rongga beton lebih baik dan kandungan magnesiumnya memperbaiki proses pengikatan semen (Bangkit Firjatullah, 2022).

Gambar di atas menunjukkan peningkatan kuat tekan dari beton V-03 (pasir besi 15%, terak nikel 10%) hingga V-04 (pasir besi 15%, terak nikel 20%), namun menurun pada variasi terak nikel lebih tinggi hingga V-06. Kuat tekan maksimal tercapai pada variasi terak nikel 20% (V-04). Hanya beton V-04 yang mencapai batas V-02, namun tidak mencapai batas 45 MPa, N-00, dan V-01.

Tidak tercapainya mutu rencana pada beton variasi disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pada saat proses *curing*, suhu, kelembaban, dan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi proses hidrasi semen dan kekuatan beton. Agusri E. & Rivai M. A. (2019) menyatakan bahwa adanya kandungan titanium, silika, mangan, vanadium, dan sejumlah kecil garam dalam pasir besi dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik beton, khususnya kandungan garam dapat menurunkan kuat tekan beton. Nuroji dkk. (2022) menyatakan keberadaan terak nikel dalam

campuran menyebabkan reaksi kimia pada semen tidak dapat bereaksi sepenuhnya. Akibatnya, hasil akhir beton tidak memenuhi mutu rencana yang diharapkan. Menurut Wahyudi R. (2022) penggunaan terak nikel lebih cocok diterapkan pada beton mutu rendah (*Low Strength Concrete*) yaitu dengan $F'c < 20$ MPa.

5.5 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton terhadap gaya tarik, yang penting karena beton memiliki kekuatan tarik lebih rendah dari kekuatan tekannya. Uji ini dilakukan setelah beton dirawat selama 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM).

5.5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Menurut DPU Kulon Progo (2022), nilai kuat tarik belah beton rencana biasanya 8%-15% dari kuat tekan beton rencana. Dalam penelitian ini, digunakan 8% dari kuat tekan 45 MPa, yaitu 3,6 MPa, untuk memastikan nilai yang realistis dan sesuai standar. Berikut adalah contoh perhitungan kuat tarik belah beton menggunakan beton dengan kode sampel NT00-1

$$\begin{aligned}
 d &= 151,1 \text{ mm} \\
 h &= 302,2 \text{ mm} \\
 P &= 300 \text{ kN} \\
 T &= \frac{2 \times P \times 1000}{\pi \times d \times h} && \text{(Persamaan 3.10)} \\
 &= \frac{2 \times 300 \times 1000}{\pi \times 151,1 \times 302,2} \\
 &= 4,18 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

dengan:

T = Kuat tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

d = Diameter benda uji (mm)

h = Tinggi benda uji (mm)

Perhitungan tersebut juga diterapkan untuk menentukan nilai kuat tarik dari benda uji lainnya. Hasil pengujian kekuatan tarik dijelaskan secara lebih rinci pada tabel berikut.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

| Kode | | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Variasi campuran (%) | | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) | |
|-------|--------|------------------|----------------|----------------------|-------------|-----------------------|------------------|--------|
| | | | | Pasir Besi | Terak Nikel | | Unit | Rerata |
| NT-0 | NT0-1 | 151,1 | 302,2 | 0 | 0 | 300 | 4,18 | 3,86 |
| | NT0-2 | 152,2 | 302,4 | | | 261 | 3,61 | |
| | NT0-3 | 150,4 | 301,4 | | | 268 | 3,76 | |
| | NT0-4 | 149,6 | 300,6 | | | 316 | 4,47 | |
| | NT0-5 | 151,6 | 300,3 | | | 233 | 3,26 | |
| VT-01 | VT01-1 | 152,3 | 305,9 | 15 | 0 | 178 | 2,43 | 3,50 |
| | VT01-2 | 149,5 | 305,8 | | | 204 | 2,84 | |
| | VT01-3 | 151,8 | 302,4 | | | 322 | 4,47 | |
| | VT01-4 | 149,6 | 306,5 | | | 318 | 4,42 | |
| | VT01-5 | 149,4 | 302,1 | | | 239 | 3,37 | |
| VT-02 | VT02-1 | 152,1 | 303,2 | 0 | 10 | 260 | 3,63 | 3,43 |
| | VT02-2 | 148,5 | 304,4 | | | 194 | 2,73 | |
| | VT02-3 | 149,3 | 305,2 | | | 243 | 3,40 | |
| | VT02-4 | 150,2 | 300,1 | | | 210 | 2,92 | |
| | VT02-5 | 151,1 | 303,4 | | | 290 | 4,03 | |

Lanjutan Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

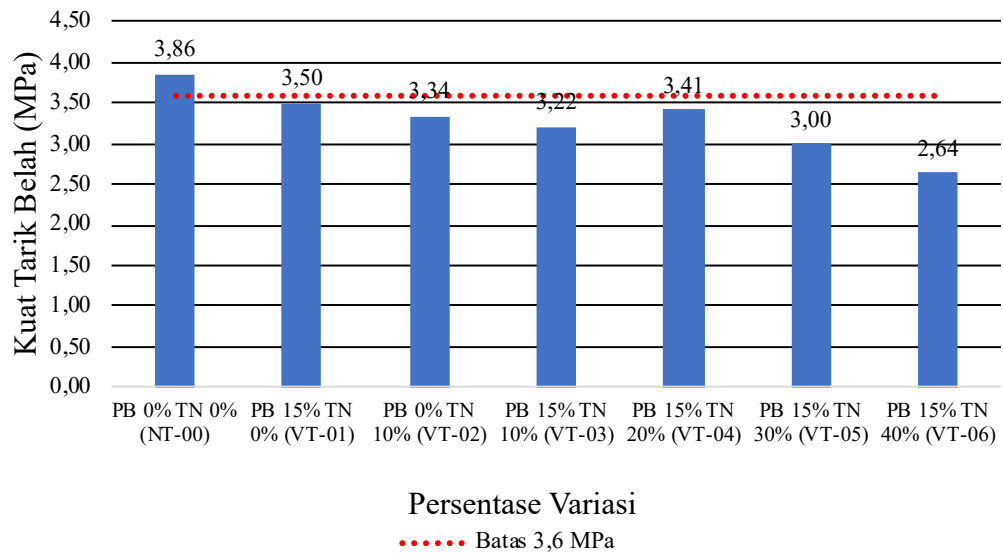
| Kode | | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Variasi campuran (%) | | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) | |
|-------|--------|------------------|----------------|----------------------|-------------|-----------------------|------------------|--------|
| | | | | Pasir Besi | Terak Nikel | | Unit | Rerata |
| VT-03 | VT03-1 | 148,5 | 302,1 | 15 | 10 | 208 | 2.95 | 3,22 |
| | VT03-2 | 150,8 | 306,1 | | | 196 | 2.70 | |
| | VT03-3 | 150,1 | 305,2 | | | 246 | 3.42 | |
| | VT03-4 | 153,1 | 306,4 | | | 255 | 3.46 | |
| | VT03-5 | 151,2 | 304,1 | | | 256 | 3.54 | |
| VT-04 | VT04-1 | 152,4 | 299,5 | 15 | 20 | 256 | 3.57 | 3,41 |
| | VT04-2 | 149,4 | 302,8 | | | 198 | 2.79 | |
| | VT04-3 | 148,3 | 301,3 | | | 278 | 3.96 | |
| | VT04-4 | 148,9 | 307,2 | | | 217 | 3.02 | |
| | VT04-5 | 150 | 303,2 | | | 266 | 3.72 | |
| VT-05 | VT05-1 | 152,1 | 305,1 | 15 | 30 | 204 | 2.80 | 3,00 |
| | VT05-2 | 148,9 | 301,1 | | | 210 | 2.96 | |
| | VT05-3 | 149,1 | 303,9 | | | 226 | 3.18 | |
| | VT05-4 | 150,1 | 304,1 | | | 236 | 3.29 | |
| | VT05-5 | 150,5 | 301,9 | | | 197 | 2.76 | |

Lanjutan Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

| Kode | | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Variasi campuran (%) | | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) | |
|-------|--------|------------------|----------------|----------------------|-------------|-----------------------|------------------|--------|
| | | | | Pasir Besi | Terak Nikel | | Unit | Rerata |
| VT-06 | VT06-1 | 150,3 | 302,5 | 15 | 40 | 168 | 2.35 | 2,64 |
| | VT06-2 | 149,2 | 301,8 | | | 175 | 2.47 | |
| | VT06-3 | 151,4 | 301,3 | | | 208 | 2.90 | |
| | VT06-4 | 148,6 | 303,8 | | | 185 | 2.61 | |
| | VT06-5 | 149,5 | 302,1 | | | 203 | 2.86 | |

5.5.2 Pembahasan Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan pengujian dan perhitungan kuat tarik belah beton yang telah dilakukan di atas maka dilakukan pembahasan sebagaimana berikut ini.

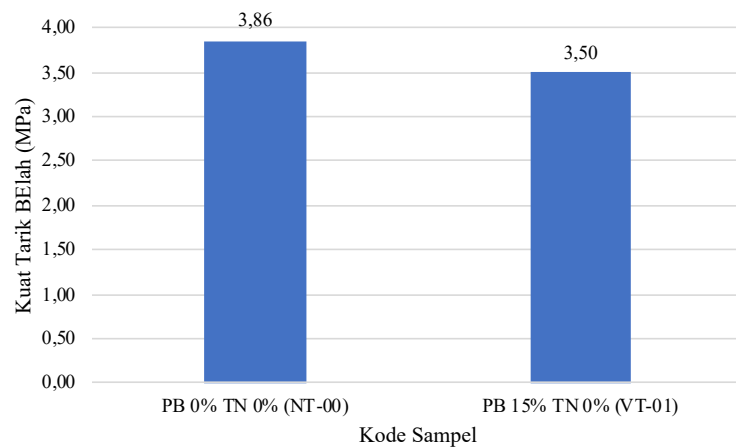


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 10 Grafik Hasil Kuat Tarik Belah Seluruh Sampel Beton

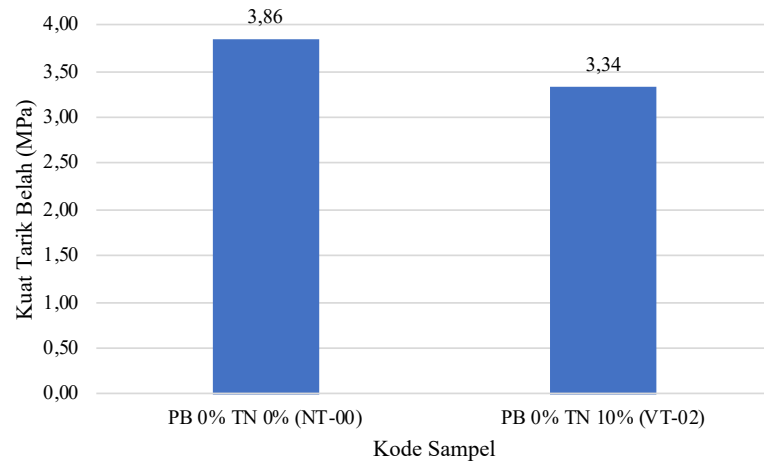


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton Normal dengan Variasi Pasir Besi

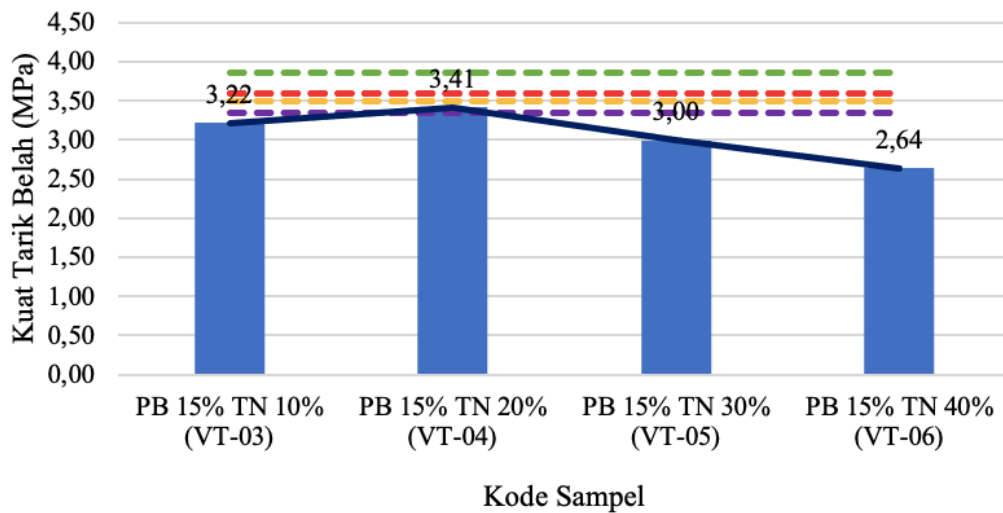


Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 12 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton Normal dengan Variasi Terak Nikel



--- Batas 3,6 MPa

--- Batas NT-00 PB 0% TN 0% (3,86)

--- Batas VT-01 PB 15% TN 0% (3,50 MPa)

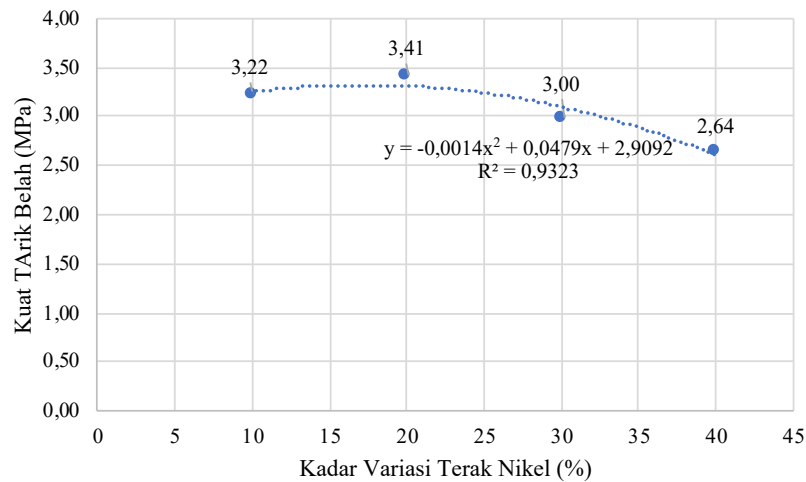
--- Batas VT-02 PB 0% TN 10% (3,34)

Keterangan:

PB: Pasir Besi

TN: Terak Nikel

Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Variasi Terak Nikel



Gambar 5. 14 Grafik Regresi Kuat Tarik Belah Variasi Pasir Besi 15% dan Terak Nikel 10% Hingga 40%

Berdasarkan gambar dan tabel, beton dengan kode NT-00 (pasir besi 0% dan terak nikel 0%) memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi sebesar 3,86 MPa. Beton VT-01 (pasir besi 15% dan terak nikel 0%) mencapai 3,50 MPa, sementara VT-02 (pasir besi 0% dan terak nikel 10%) menghasilkan 3,34 MPa.

Berdasarkan sampel VT-01 dan VT-02, substitusi pasir besi menghasilkan kuat tarik belah lebih tinggi dibandingkan substitusi terak nikel. Pada sampel VT-03 hingga VT-04, terjadi peningkatan kuat tarik belah dari 3,22 MPa hingga 3,41 MPa. Namun, setelah VT-04, kuat tarik belah menurun seiring peningkatan persentase variasi, menunjukkan batas maksimal pada VT-04.

Titik maksimum kuat tarik belah pada beton variasi pasir besi dan terak nikel ditemukan pada kode sampel VT-04, di mana nilai tertinggi sebesar 3,41 MPa dicapai dibandingkan dengan variasi lainnya. Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa hanya beton VT-04 yang mencapai batas VT-02, dan tidak mencapai batas lainnya yaitu batas 3,6 MPa, batas NT-00, dan batas VT-01. Wahyudi R. dkk. (2022) menyatakan peningkatan kuat tekan beton akan disertai dengan peningkatan kuat tarik beton, dan sebaliknya, penurunan kuat tekan akan diikuti oleh penurunan kuat tarik.

5.6 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Analisis modulus elastisitas dilakukan untuk mengevaluasi peningkatan daktilitas beton serta perubahan bentuk benda uji akibat pembebanan. Sifat daktilitas adalah kemampuan struktur untuk mengalami deformasi tanpa kehilangan kekuatan dalam menahan beban tambahan. Peningkatan daktilitas beton dianalisis dengan memeriksa kenaikan beban aksial setiap 10 kN selama pengujian tegangan-regangan.

5.6.1 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian ini dilakukan pada sampel benda uji berbentuk silinder yang telah mencapai umur 28 hari, dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Proses pengujian dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM), yang bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan dari beton tersebut. Selain itu, untuk memperoleh data yang akurat mengenai deformasi yang terjadi selama pengujian, digunakan juga dial yang berfungsi untuk mengukur perubahan panjang sampel setiap penambahan beban sebesar 10 kN. Hasil pengujian ini memberikan informasi penting mengenai karakteristik mekanis beton, khususnya dalam hal kemampuan beton dalam menahan beban tekan.

Proses analisis dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk membuat grafik dan menambahkan *trendline*, sehingga memudahkan dalam visualisasi dan interpretasi data. Selain itu, hasil rekapan dari perhitungan pengujian modulus elastisitas beton, yang meliputi berbagai variasi campuran dan pengujian pada berbagai tahap, dapat dilihat secara lebih rinci pada tabel berikut ini. Tabel ini menggunakan sampel beton normal dengan kode sampel N0-1.

Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton N0-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 5 | 0,0025 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 22 | 0,011 | 0,006% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 28 | 0,014 | 0,007% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 33 | 0,0165 | 0,008% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 53 | 0,0265 | 0,013% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 62 | 0,031 | 0,016% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 71 | 0,0355 | 0,018% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 76 | 0,038 | 0,019% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 82 | 0,041 | 0,021% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 102 | 0,051 | 0,026% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 119 | 0,0595 | 0,030% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 124 | 0,062 | 0,00031 | 12,27 |
| 230 | 230000 | 130 | 0,065 | 0,033% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 140 | 0,07 | 0,035% | 13,94 |
| 260 | 260000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 152 | 0,076 | 0,038% | 15,06 |

Lanjutan Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton N0-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 159 | 0,0795 | 0,040% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 165 | 0,0825 | 0,041% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 177 | 0,0885 | 0,044% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 183 | 0,0915 | 0,046% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 188 | 0,094 | 0,00047 | 18,40 |
| 340 | 340000 | 193 | 0,0965 | 0,048% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 209 | 0,1045 | 0,052% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 231 | 0,1155 | 0,058% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 237 | 0,1185 | 0,059% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 241 | 0,1205 | 0,060% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 280 | 0,14 | 0,070% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 284 | 0,142 | 0,071% | 29,00 |
| 530 | 530000 | 290 | 0,145 | 0,073% | 29,56 |
| 540 | 540000 | 296 | 0,148 | 0,074% | 30,11 |

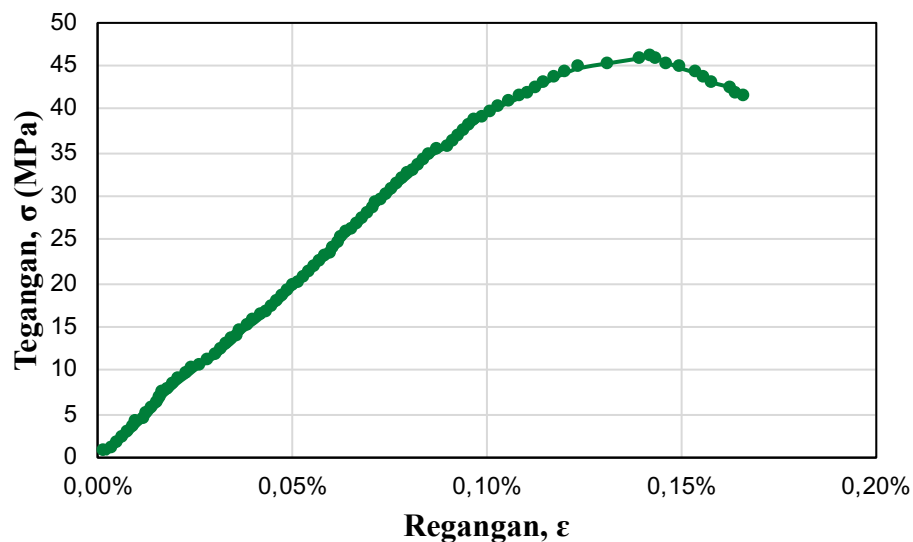
Lanjutan Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton N0-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 30,67 |
| 560 | 560000 | 306 | 0,153 | 0,077% | 31,23 |
| 570 | 570000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 31,79 |
| 580 | 580000 | 318 | 0,159 | 0,080% | 32,35 |
| 590 | 590000 | 323 | 0,1615 | 0,081% | 32,90 |
| 600 | 600000 | 328 | 0,164 | 0,082% | 33,46 |
| 610 | 610000 | 333 | 0,1665 | 0,083% | 34,02 |
| 620 | 620000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 34,58 |
| 630 | 630000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 35,13 |
| 640 | 640000 | 357 | 0,1785 | 0,089% | 35,69 |
| 650 | 650000 | 363 | 0,1815 | 0,091% | 36,25 |
| 660 | 660000 | 368 | 0,184 | 0,092% | 36,81 |
| 670 | 670000 | 374 | 0,187 | 0,094% | 37,36 |
| 680 | 680000 | 380 | 0,19 | 0,095% | 37,92 |
| 690 | 690000 | 386 | 0,193 | 0,097% | 38,48 |
| 700 | 700000 | 393 | 0,1965 | 0,098% | 39,04 |
| 710 | 710000 | 401 | 0,2005 | 0,100% | 39,59 |
| 720 | 720000 | 409 | 0,2045 | 0,102% | 40,15 |
| 730 | 730000 | 420 | 0,21 | 0,105% | 40,71 |
| 740 | 740000 | 431 | 0,2155 | 0,108% | 41,27 |
| 750 | 750000 | 439 | 0,2195 | 0,110% | 41,83 |
| 760 | 760000 | 449 | 0,2245 | 0,112% | 42,38 |
| 770 | 770000 | 458 | 0,229 | 0,115% | 42,94 |
| 780 | 780000 | 467 | 0,2335 | 0,117% | 43,50 |
| 790 | 790000 | 478 | 0,239 | 0,120% | 44,06 |
| 800 | 800000 | 492 | 0,246 | 0,123% | 44,61 |
| 810 | 810000 | 522 | 0,261 | 0,131% | 45,17 |

Lanjutan Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton N0-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 820 | 820000 | 554 | 0,277 | 0,139% | 45,73 |
| 824,4 | 824400 | 565 | 0,2825 | 0,141% | 45,97 |
| 820 | 820000 | 573 | 0,2865 | 0,143% | 45,73 |
| 810 | 810000 | 584 | 0,292 | 0,146% | 45,17 |
| 800 | 800000 | 596 | 0,298 | 0,149% | 44,61 |
| 790 | 790000 | 612 | 0,306 | 0,153% | 44,06 |
| 780 | 780000 | 620 | 0,31 | 0,155% | 43,50 |
| 770 | 770000 | 630 | 0,315 | 0,158% | 42,94 |
| 760 | 760000 | 648 | 0,324 | 0,162% | 42,38 |
| 750 | 750000 | 654 | 0,327 | 0,164% | 41,83 |
| 740 | 740000 | 662 | 0,331 | 0,166% | 41,27 |

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh hasil dari pembacaan dial selama pengujian modulus elastisitas, serta grafik yang menunjukkan hubungan antara regangan dan tegangan. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. 15 Kurva Tegangan Regangan

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan data yang tercantum dalam Tabel 5.18 dilakukan perhitungan modulus elastisitas dengan menggunakan Persamaan 3.11 (sesuai dengan ASTM C-469-94) sebagai berikut.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (\text{Persamaan 3.11})$$

dengan:

E = Modulus elastisitas beton

S_2 = Tegangan pada 40% dari beban maksimum

S_1 = Tegangan ketika regangan 0,0005 MPa

ε_2 = Regangan pada 40% dari beban maksimum

Nilai 0,00005 digunakan sebagai referensi awal dalam perhitungan modulus elastisitas beton menurut ASTM C-469-94 karena beton biasanya menunjukkan perilaku linear pada regangan ini. Nilai ini tidak harus tepat 0,00005 MPa, bisa lebih besar atau lebih kecil asal tetap dalam rentang elastis linear beton. Perhitungan dilakukan menggunakan pada beton sampel N0-1.

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{330000}{17931,590} \\ &= 18,40 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{220000}{17931,590} \\ &= 12,27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,094}{200} \\ &= 0,00047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,062}{200} \\ &= 0,00031 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\
 &= \frac{18,40 - 12,27}{0,00047 - 0,00031} \\
 &= 38340,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan Persamaan 3.11 atau metode perhitungan modulus elastisitas berdasarkan ASTM C-469-94, diperoleh nilai modulus elastisitas beton untuk sampel N0-1 sebesar 38.340,16 MPa. Selanjutnya, perhitungan modulus elastisitas juga dilakukan untuk benda uji lainnya.

Selain menggunakan persamaan 3.11, nilai modulus elastisitas juga dapat dihitung dengan Persamaan 3.12 dan 3.13. Persamaan 3.12 dan 3.13 mengacu pada SNI-2847-2019, yang memperhitungkan modulus elastisitas berdasarkan berat volume dan kuat tekan maksimum. Perhitungan berdasarkan berat volume hanya dapat dilakukan jika benda uji memiliki berat volume antara 1400-2560 kg/m³. Berikut adalah contoh perhitungan modulus elastisitas menurut SNI-2847-2019 menggunakan benda uji N0-1.

$$\begin{aligned}
 W_c &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{13,01}{0,00538}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat volume (} W_c) = 2426,67 \text{ kg/m}^3$$

$$E_c = w_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (\text{Persamaan 3.12})$$

$$E_c = 2426,67^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{45,97}$$

$$E_c = 34.853,52 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan maksimum} = 45,97 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (\text{Persamaan 3.13})$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{45,97}$$

$$E_c = 31.868,19 \text{ MPa}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan keseluruhan untuk perhitungan modulus elastisitas menurut SNI-2847-2019 dan ASTM C-469-94 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

| Kode | Wc (kg/m ³) | f'c (MPa) | Ec = 4700 x $\sqrt{f'c}$ | | Ec = Wc ^{1,5} x 0,043 x $\sqrt{f'c}$ | | ASTM C-469-94 | | |
|------|----------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|---|-----------------|---------------|-----------------|----------|
| | | | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | |
| N-00 | N0-1 | 2426,67 | 45,97 | 31868,19 | 32515,03 | 34853,52 | 35813,79 | 38340,16 | 37603,43 |
| | N0-2 | 2454,04 | 48,34 | 32678,86 | | 36346,48 | | 39026,50 | |
| | N0-3 | 2449,89 | 48,38 | 32692,13 | | 36269,03 | | 35449,14 | |
| | N0-4 | 2444,33 | 48,94 | 32881,09 | | 36354,52 | | 39604,45 | |
| | N0-5 | 2415,28 | 47,68 | 32454,91 | | 35245,41 | | 35596,90 | |
| V-01 | V01-1 | 2466,73 | 42,02 | 30465,10 | 31045,24 | 34147,36 | 34704,23 | 34050,26 | 35642,93 |
| | V01-2 | 2442,04 | 41,35 | 30222,67 | | 33368,25 | | 35315,01 | |
| | V01-3 | 2458,43 | 47,58 | 32420,27 | | 36155,56 | | 37575,17 | |
| | V01-4 | 2476,38 | 46,03 | 31886,37 | | 35950,32 | | 36693,89 | |
| | V01-5 | 2467,40 | 41,37 | 30231,81 | | 33899,67 | | 34580,31 | |
| V-02 | V02-1 | 2509,37 | 41,12 | 30137,47 | 29947,26 | 34659,79087 | 32073,21 | 34606,05 | 34139,10 |
| | V02-2 | 2410,91 | 40,25 | 29819,74 | | 32295,81459 | | 33891,33 | |
| | V02-3 | 2374,78 | 41,31 | 30207,36 | | 31983,02015 | | 35056,16 | |
| | V02-4 | 2335,33 | 41,54 | 30293,22 | | 31278,05646 | | 35692,45 | |
| | V02-5 | 2331,16 | 38,81 | 29278,52 | | 30149,41564 | | 31449,49 | |

Lanjutan Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

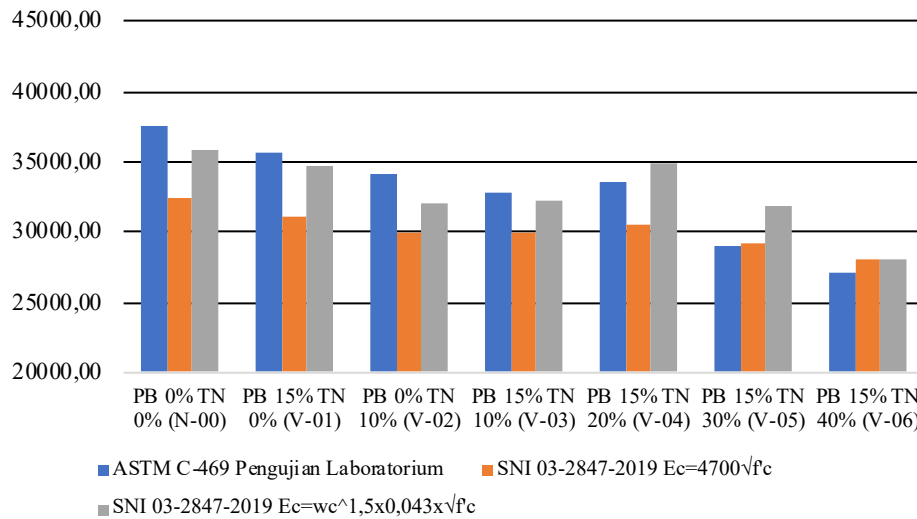
| Kode | Wc (kg/m ³) | f'c (MPa) | Ec = 4700 x $\sqrt{f'c}$ | | Ec = Wc ^{1,5} x 0,043 x $\sqrt{f'c}$ | | ASTM C-469-94 | | |
|------|----------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|---|-----------------|---------------|-----------------|----------|
| | | | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | |
| V-03 | V03-1 | 2363,78 | 39,68 | 29604,86 | 29931,29 | 31127,63 | 32160,29 | 32208,44 | 32794,52 |
| | V03-2 | 2408,89 | 41,63 | 30326,17 | | 32803,08 | | 33115,93 | |
| | V03-3 | 2392,72 | 41,43 | 30251,98 | | 32393,97 | | 33489,21 | |
| | V03-4 | 2352,12 | 38,99 | 29347,74 | | 30629,14 | | 30918,71 | |
| | V03-5 | 2470,66 | 41,08 | 30125,69 | | 33847,62 | | 34240,32 | |
| V-04 | V04-1 | 2486,71 | 41,83 | 30398,40 | 30487,09 | 34487,41 | 34868,58 | 31387,88 | 33485,70 |
| | V04-2 | 2479,67 | 41,19 | 30162,70 | | 34074,71 | | 31825,01 | |
| | V04-3 | 2493,95 | 42,11 | 30500,62 | | 34754,55 | | 34205,27 | |
| | V04-4 | 2536,40 | 42,84 | 30762,81 | | 35952,11 | | 35573,69 | |
| | V04-5 | 2503,18 | 42,42 | 30610,92 | | 35074,14 | | 34436,64 | |
| V-05 | V05-1 | 2425,18 | 38,58 | 29191,43 | 29250,29 | 31896,46 | 31788,85 | 29426,91 | 29055,77 |
| | V05-2 | 2411,88 | 39,20 | 29425,18 | | 31887,81 | | 29347,67 | |
| | V05-3 | 2426,27 | 38,55 | 29180,11 | | 31905,66 | | 29007,22 | |
| | V05-4 | 2420,16 | 38,92 | 29320,88 | | 31938,50 | | 28713,80 | |
| | V05-5 | 2398,81 | 38,42 | 29133,86 | | 31315,81 | | 28783,23 | |

Lanjutan Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

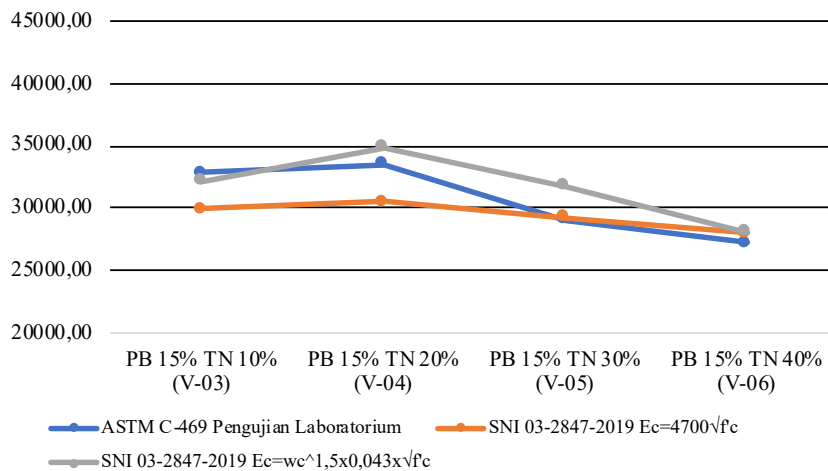
| Kode | Wc (kg/m ³) | f'c (MPa) | Ec = 4700 x $\sqrt{f'c}$ | | Ec = Wc ^{1,5} x 0,043 x $\sqrt{f'c}$ | | ASTM C-469-94 | | |
|------|----------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|---|-----------------|---------------|-----------------|----------|
| | | | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | Ec (MPa) | Rerata (MPa) | |
| V-06 | V06-1 | 2220,28 | 36,91 | 28006,31 | 27992,57 | 26806,40 | 28032,98 | 27636,99 | 27165,50 |
| | V06-2 | 2310,52 | 35,98 | 27856,35 | | 28304,90 | | 26922,24 | |
| | V06-3 | 2312,64 | 35,70 | 27933,64 | | 28422,38 | | 28598,72 | |
| | V06-4 | 2293,98 | 33,82 | 27062,28 | | 27203,25 | | 25113,84 | |
| | V06-5 | 2302,97 | 39,17 | 29104,25 | | 29427,98 | | 27555,71 | |

5.6.2 Pembahasan Modulus Elastisitas

Perhitungan modulus elastisitas dalam Tabel 5.19 menunjukkan perbedaan berdasarkan kuat tekan, berat volume, dan pengujian. Modulus elastisitas tertinggi ditemukan pada variasi N-00 dengan nilai 32.515,03 MPa, 35.813,79 MPa, dan 37.603,43 MPa, sementara nilai terendah ditemukan pada variasi V-06 dengan 27.992,57 MPa, 28.032,98 MPa, dan 27.165,50 MPa. Untuk variasi pasir besi dan terak nikel, nilai tertinggi terdapat pada variasi V-04 dengan 30.487,09 MPa, 34.868,58 MPa, dan 33.485,70 MPa.



Gambar 5. 16 Grafik Hasil Modulus Elastisitas Seluruh Sampel Beton



Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Variasi Terak Nikel

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 di atas perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan metode ASTM C-469-94 menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan metode SNI-03-2847-2019. Perbedaan ini disebabkan oleh metode ASTM C-469-94 yang menggunakan data langsung dari pengujian laboratorium. Sementara itu, metode SNI-03-2847-2019 memperoleh nilai modulus elastisitas dari pendekatan berdasarkan kuat tekan dan berat volume beton. Dengan metode SNI-03-2847-2019 yang menggunakan kuat tekan dan berat volume serta metode ASTM C-469-94, nilai modulus elastisitas tertinggi ditemukan pada variasi N-00.

Nilai modulus elastisitas juga dipengaruhi oleh kekuatan tekan dan bentuk beton. Semakin tinggi kekuatan tekan beton dan semakin kecil rongga dalam beton, maka nilai modulus elastisitas akan semakin besar. Dengan nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi, beton akan menjadi lebih daktail dan elastis.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan dalam penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Substitusi pasir besi 15% dan terak nikel 10-20% (V-03 hingga V-04) meningkatkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Namun, pada variasi terak nikel 20-40% (V-04 hingga V-06), terjadi penurunan pada ketiga nilai tersebut. Disimpulkan bahwa terak nikel meningkatkan kekuatan beton hingga kadar 20%, setelah itu kekuatan menurun seiring peningkatan kadar terak nikel.
2. Beton dengan variasi pasir besi 15% dan terak nikel 20% (V-04) menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 42,08 MPa dan juga modulus elastisitas maksimum. Namun, nilai ini tidak mencapai target 45 MPa karena kandungan garam pada pasir besi dan reaksi terak nikel yang tidak sempurna dengan semen. Meskipun demikian, nilai tersebut masih memenuhi kriteria beton mutu tinggi, yakni melebihi 41,4 MPa.
3. Nilai kuat tarik belah rata-rata maksimum terdapat pada beton dengan variasi pasir besi 15% dan terak nikel 20% (VT-04), yaitu sebesar 3,41 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian ini, beberapa saran diperlukan untuk mendukung penelitian selanjutnya. Berikut adalah saran-saran tersebut.

1. Mengoptimalkan proporsi pasir besi dan terak nikel melalui uji lebih lanjut.
2. Melakukan analisis mendalam terhadap sifat fisik dan kimia terak nikel
3. Maksimalkan kekuatan beton melalui curing yang tepat dan kontrol lingkungan.
4. Melakukan penelitian dengan menggunakan teknologi *self-compacting concrete* (SCC).

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, I., & Midu, M. (2017). Studi Eksperimental Subtitusi Pasir Besi Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 6(2).
- Agusri, E., & Rivai, M. A. (2019). Pengaruh Penambahan Pasir Besi Terhadap Kuat Tekan Beton K-300. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(1), 32-35.
- American Society for Testing and Materials. 1994. C-469-94. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. Annual Book of ASTM Standards.
- Aryoputro, F. B., Teguh, M., & Saputra, E. (2022). Optimalisasi Penggunaan Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus Dalam Campuran Beton Mutu Tinggi. *Teknisia*, 27(1), 24-33.
- Ashad, H. (2022). Penggunaan Terak Nikel Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Agregat Kasar Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil (Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil)*, 29(3), 257-262.
- Budi, M. S., & Astin, D. W. (2023). Beton Percepatan Menggunakan Sebagian Agregat Halus Pasir Besi Pesisir Pantai Selatan Kebumen. *Jurnal Education and Development*, 11(2), 355-360.
- Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Kulon Progo. 2022. *Kuat Tekan Beton*. <https://dpu.kulonprogokab.go.id/detil/671/kuat-tekan-beton#>. (diakses 6 Agustus 2024)
- Fitriani, M. D. (2018). Pengaruh Penggunaan Chemical Admixture Silica Fume dan Superplasticizer Terhadap Perkembangan Kuat Tekan Awal Beton Pada Umur 24 Jam. *Artikel Teknik Sipil*, 1(1), 43-53.
- Masiku, H. (2013). Studi Perbandingan Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Terak Nikel dengan Beton yang Menggunakan Batu Pecah Sebagai Agregat Kasar. *AgroSainT*, 4(1), 506-506.

- Muhsar, M., Kadir, A., & Sulaiman, S. (2021). Penggunaan Limbah Nikel Sebagai Material Substitusi Agregat Kasar Pada Beton K. 250. *Sultra Civil Engineering Journal*, 2(1), 29-36.
- Nuroji, N., Supriyadi, S., Lie, H.A. and Subagyo, S.A.P., 2022. Beton Dengan Substitusi Semen Berbasis Terak Nikel. *Rekayasa Sipil*, 16(1), pp.25-33.
- Prayuda, H., 2018. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Komparasi Agregat Gamalama, Agregat Merapi Dan Agregat Kali Progo. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 2(1), pp.1-10.
- SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2847-2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4169-1996. *Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton Dengan Kompresor Ekstensometer*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4804-1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6468-2000. *Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abuterbang*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6861.1-2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan bukan Logam)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969-1990. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970-1990. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1972-2008. *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 1974-2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2049-2015. *Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2491-2014. *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2495-1991. *Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847-2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 1995. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Wahyudi, R., Hamzah, M.A.Y., Ashad, H., Fadhil, A. and Mappiasse, M.A., 2022. Aplikasi Serbuk Limbah Nikel sebagai Bahan Substitusi Semen untuk Produksi Beton Struktural. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, pp.214-223.
- Wahyuni, D. E., Sriyani, R., & Kadir, A. 2018. Perbandingan Komposisi Slag Nikel Pomalaa Dan Batu Pecah Moramo Untuk Menentukan Kuat Tekan Optimum Beton. *Stabilita. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(3), 43-48.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Alat yang Digunakan



Gambar L.1.1 Peralatan *Mixing Beton*



Gambar L.1.2 *Mixer Beton*

Lampiran 2 Material**Gambar L.2.1 Agregat Kasar****Gambar L.2.2 Agregat Halus**



Gambar L.2.3 Terak Nikel



Gambar L.2.4 Pasir Besi



Gambar L.2.5 Silica Fume

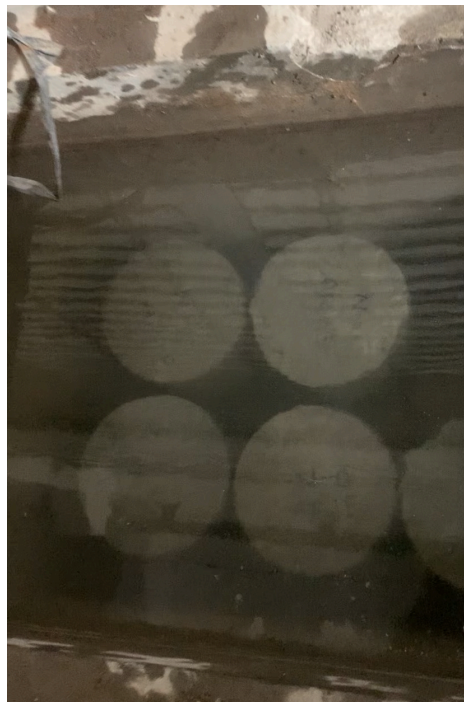


Gambar L.2.6 Superplasticizer

Lampiran 3 Proses dan Hasil



Gambar L.3.1 Benda Uji



Gambar L.3.2 Proses Perendaman Benda Uji



Gambar L.3.3 Proses *Caping* Benda Uji



Gambar L.3.4 Proses Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas



Gambar L.3.5 Proses Uji Kuat Tarik Belah



Gambar L.3.6 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan



Gambar L.3.7 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Belah

Tabel L.3.1 Data Benda Uji

| Kode | Berat (kg) | Diameter (mm) | Tinggi (mm) |
|-------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| N00-1 | 13,150 | 151,1 | 302,2 |
| N00-2 | 13,023 | 150 | 300,3 |
| N00-3 | 12,747 | 148,9 | 298,8 |
| N00-4 | 13,272 | 151,2 | 302,4 |
| N00-5 | 13,010 | 151,3 | 299,6 |
| NT00-1 | 13,117 | 149,2 | 302,2 |
| NT00-2 | 13,247 | 152,1 | 302,4 |
| NT00-3 | 13,097 | 151,3 | 301,6 |
| NT00-4 | 12,870 | 149,4 | 300,7 |
| NT00-5 | 12,846 | 151,4 | 300,5 |
| V01-1 | 12,911 | 148,5 | 302,2 |
| V01-2 | 13,124 | 150,9 | 300,5 |
| V01-3 | 13,255 | 150,3 | 303,2 |
| V01-4 | 13,316 | 149,8 | 305,1 |
| V01-5 | 13,032 | 149,1 | 302,5 |
| VT01-1 | 13,300 | 152,3 | 305,9 |
| VT01-2 | 13,259 | 149,5 | 305,8 |
| VT01-3 | 13,146 | 151,8 | 302,4 |
| VT01-4 | 13,368 | 149,6 | 306,5 |
| VT01-5 | 12,297 | 149,4 | 302,1 |
| V02-1 | 12,793 | 146,1 | 304,1 |
| V02-2 | 13,226 | 150,3 | 309,2 |
| V02-3 | 12,597 | 149,2 | 303,4 |
| V02-4 | 12,736 | 150,1 | 308,2 |
| V02-5 | 12,923 | 152,1 | 305,1 |
| VT02-1 | 12,942 | 152,1 | 303,2 |
| VT02-2 | 12,539 | 148,5 | 304,4 |
| VT02-3 | 13,067 | 149,3 | 305,2 |

Lanjutan Tabel L.3.1 Data Benda Uji

| Kode | Berat (kg) | Diameter (mm) | Tinggi (mm) |
|--------|------------|---------------|-------------|
| VT02-4 | 12,778 | 150,2 | 300,1 |
| VT02-5 | 12,974 | 151,1 | 303,4 |
| V03-1 | 13,119 | 151,2 | 309,1 |
| V03-2 | 13,167 | 150,1 | 308,9 |
| V03-3 | 12,850 | 150,1 | 303,5 |
| V03-4 | 13,150 | 153,4 | 302,5 |
| V03-5 | 13,084 | 149,2 | 302,9 |
| VT03-1 | 12,680 | 148,5 | 302,1 |
| VT03-2 | 12,999 | 150,8 | 306,1 |
| VT03-3 | 13,134 | 150,1 | 305,2 |
| VT03-4 | 13,187 | 153,1 | 306,4 |
| VT03-5 | 12,947 | 151,2 | 304,1 |
| VT04-1 | 13,343 | 152,4 | 299,5 |
| VT04-2 | 13,154 | 149,4 | 302,8 |
| VT04-3 | 12,928 | 148,3 | 301,3 |
| VT04-4 | 13,599 | 148,9 | 307,2 |
| VT04-5 | 13,348 | 150 | 303,2 |
| V05-1 | 13,123 | 150,1 | 305,8 |
| V05-2 | 13,124 | 150,2 | 307,1 |
| V05-3 | 13,078 | 150,4 | 303,4 |
| V05-4 | 12,862 | 148,9 | 305,2 |
| V05-5 | 12,999 | 151,1 | 302,2 |
| VT05-1 | 13,059 | 152,1 | 305,1 |
| VT05-2 | 12,816 | 148,9 | 301,1 |
| VT05-3 | 12,625 | 149,1 | 303,9 |
| VT05-4 | 12,993 | 150,1 | 304,1 |
| VT05-5 | 12,899 | 150,5 | 301,9 |
| V06-1 | 12,147 | 148,2 | 305,1 |

Lanjutan Tabel L.3.1 Data Benda Uji

| Kode | Berat (kg) | Diameter (mm) | Tinggi (mm) |
|-------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| V06-2 | 12,359 | 149,3 | 298,3 |
| V06-3 | 12,644 | 150,3 | 304,9 |
| V06-4 | 12,542 | 149,6 | 304,8 |
| V06-5 | 12,459 | 149,5 | 301,7 |
| VT06-1 | 12,633 | 150,3 | 302,5 |
| VT06-2 | 12,442 | 149,2 | 301,8 |
| VT06-3 | 12,620 | 151,4 | 301,3 |
| VT06-4 | 12,601 | 148,6 | 303,8 |
| VT06-5 | 12,369 | 149,5 | 302,1 |

Lampiran 4 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi N-00

Tabel L.4.1 Analisis Beton Variasi N00-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 14 | 0,007 | 0,004% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 20 | 0,01 | 0,005% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 26 | 0,013 | 0,007% | 2,83 |
| 60 | 60000 | 33 | 0,0165 | 0,008% | 3,40 |
| 70 | 70000 | 40 | 0,02 | 0,010% | 3,96 |
| 80 | 80000 | 47 | 0,0235 | 0,012% | 4,53 |
| 90 | 90000 | 54 | 0,027 | 0,014% | 5,09 |
| 100 | 100000 | 59 | 0,0295 | 0,015% | 5,66 |
| 110 | 110000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 6,22 |
| 120 | 120000 | 69 | 0,0345 | 0,017% | 6,79 |
| 130 | 130000 | 75 | 0,0375 | 0,019% | 7,36 |
| 140 | 140000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 7,92 |
| 150 | 150000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 8,49 |
| 160 | 160000 | 93 | 0,0465 | 0,023% | 9,05 |
| 170 | 170000 | 100 | 0,05 | 0,025% | 9,62 |
| 180 | 180000 | 107 | 0,0535 | 0,027% | 10,19 |
| 190 | 190000 | 114 | 0,057 | 0,029% | 10,75 |
| 200 | 200000 | 121 | 0,0605 | 0,030% | 11,32 |
| 210 | 210000 | 126 | 0,063 | 0,032% | 11,88 |
| 220 | 220000 | 131 | 0,0655 | 0,033% | 12,45 |
| 230 | 230000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 13,02 |
| 240 | 240000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 13,58 |
| 250 | 250000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 14,15 |

Lanjutan Tabel L.4.1 Analisis Beton Variasi N00-2

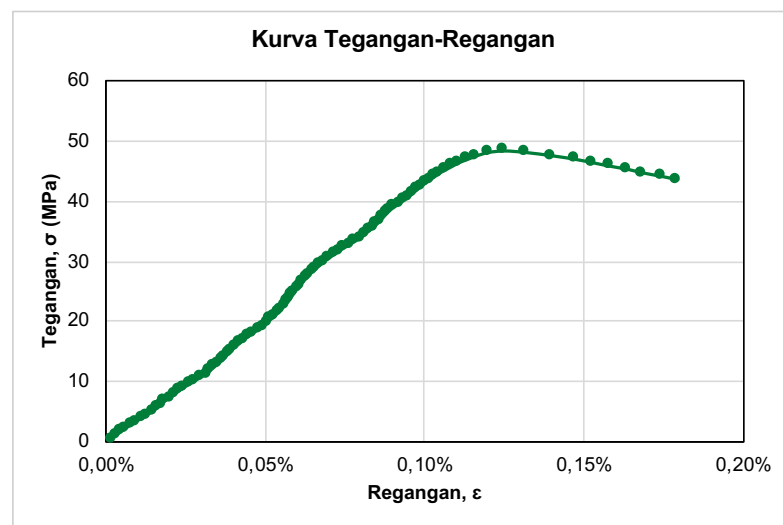
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 149 | 0,0745 | 0,037% | 14,71 |
| 270 | 270000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 15,28 |
| 280 | 280000 | 158 | 0,079 | 0,040% | 15,84 |
| 290 | 290000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 16,41 |
| 300 | 300000 | 168 | 0,084 | 0,042% | 16,98 |
| 310 | 310000 | 174 | 0,087 | 0,044% | 17,54 |
| 320 | 320000 | 180 | 0,09 | 0,045% | 18,11 |
| 330 | 330000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 18,67 |
| 340 | 340000 | 192 | 0,096 | 0,048% | 19,24 |
| 350 | 350000 | 197 | 0,0985 | 0,049% | 19,81 |
| 360 | 360000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 20,37 |
| 370 | 370000 | 207 | 0,1035 | 0,052% | 20,94 |
| 380 | 380000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 21,50 |
| 390 | 390000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 22,07 |
| 400 | 400000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 22,64 |
| 410 | 410000 | 223 | 0,1115 | 0,056% | 23,20 |
| 420 | 420000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 23,77 |
| 430 | 430000 | 229 | 0,1145 | 0,057% | 24,33 |
| 440 | 440000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 24,90 |
| 450 | 450000 | 235 | 0,1175 | 0,059% | 25,46 |
| 460 | 460000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 26,03 |
| 470 | 470000 | 242 | 0,121 | 0,061% | 26,60 |
| 480 | 480000 | 246 | 0,123 | 0,062% | 27,16 |
| 490 | 490000 | 250 | 0,125 | 0,063% | 27,73 |
| 500 | 500000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 28,29 |
| 510 | 510000 | 259 | 0,1295 | 0,065% | 28,86 |
| 520 | 520000 | 264 | 0,132 | 0,066% | 29,43 |

Lanjutan Tabel L.4.1 Analisis Beton Variasi N00-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 269 | 0,1345 | 0,067% | 29,99 |
| 540 | 540000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 30,56 |
| 550 | 550000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 31,12 |
| 560 | 560000 | 287 | 0,1435 | 0,072% | 31,69 |
| 570 | 570000 | 294 | 0,147 | 0,074% | 32,26 |
| 580 | 580000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 32,82 |
| 590 | 590000 | 308 | 0,154 | 0,077% | 33,39 |
| 600 | 600000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 33,95 |
| 610 | 610000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 34,52 |
| 620 | 620000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 35,08 |
| 630 | 630000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 35,65 |
| 640 | 640000 | 335 | 0,1675 | 0,084% | 36,22 |
| 650 | 650000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 36,78 |
| 660 | 660000 | 343 | 0,1715 | 0,086% | 37,35 |
| 670 | 670000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 37,91 |
| 680 | 680000 | 351 | 0,1755 | 0,088% | 38,48 |
| 690 | 690000 | 357 | 0,1785 | 0,089% | 39,05 |
| 700 | 700000 | 363 | 0,1815 | 0,091% | 39,61 |
| 710 | 710000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 40,18 |
| 720 | 720000 | 375 | 0,1875 | 0,094% | 40,74 |
| 730 | 730000 | 380 | 0,19 | 0,095% | 41,31 |
| 740 | 740000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 41,88 |
| 750 | 750000 | 390 | 0,195 | 0,098% | 42,44 |
| 760 | 760000 | 396 | 0,198 | 0,099% | 43,01 |
| 770 | 770000 | 402 | 0,201 | 0,101% | 43,57 |
| 780 | 780000 | 408 | 0,204 | 0,102% | 44,14 |
| 790 | 790000 | 414 | 0,207 | 0,104% | 44,70 |

Lanjutan Tabel L.4.1 Analisis Beton Variasi N00-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 800 | 800000 | 422 | 0,211 | 0,106% | 45,27 |
| 810 | 810000 | 430 | 0,215 | 0,108% | 45,84 |
| 820 | 820000 | 438 | 0,219 | 0,110% | 46,40 |
| 830 | 830000 | 449 | 0,2245 | 0,112% | 46,97 |
| 840 | 840000 | 460 | 0,23 | 0,115% | 47,53 |
| 850 | 850000 | 475 | 0,2375 | 0,119% | 48,10 |
| 854,3 | 854300 | 495 | 0,2475 | 0,124% | 48,34 |
| 850 | 850000 | 521 | 0,2605 | 0,130% | 48,10 |
| 840 | 840000 | 555 | 0,2775 | 0,139% | 47,53 |
| 830 | 830000 | 583 | 0,2915 | 0,146% | 46,97 |
| 820 | 820000 | 605 | 0,3025 | 0,151% | 46,40 |
| 810 | 810000 | 626 | 0,313 | 0,157% | 45,84 |
| 800 | 800000 | 650 | 0,325 | 0,163% | 45,27 |
| 790 | 790000 | 668 | 0,334 | 0,167% | 44,70 |
| 780 | 780000 | 691 | 0,3455 | 0,173% | 44,14 |
| 770 | 770000 | 712 | 0,356 | 0,178% | 43,57 |



Gambar L.4.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N00-2

Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N00-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 4 | 0,002 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,15 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,72 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,30 |
| 50 | 50000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,87 |
| 60 | 60000 | 29 | 0,0145 | 0,007% | 3,45 |
| 70 | 70000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 4,02 |
| 80 | 80000 | 42 | 0,021 | 0,011% | 4,59 |
| 90 | 90000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 5,17 |
| 100 | 100000 | 56 | 0,028 | 0,014% | 5,74 |
| 110 | 110000 | 61 | 0,0305 | 0,015% | 6,32 |
| 120 | 120000 | 67 | 0,0335 | 0,017% | 6,89 |
| 130 | 130000 | 73 | 0,0365 | 0,018% | 7,47 |
| 140 | 140000 | 79 | 0,0395 | 0,020% | 8,04 |
| 150 | 150000 | 86 | 0,043 | 0,022% | 8,61 |
| 160 | 160000 | 93 | 0,0465 | 0,023% | 9,19 |
| 170 | 170000 | 100 | 0,05 | 0,025% | 9,76 |
| 180 | 180000 | 108 | 0,054 | 0,027% | 10,34 |
| 190 | 190000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 10,91 |
| 200 | 200000 | 124 | 0,062 | 0,031% | 11,49 |
| 210 | 210000 | 131 | 0,0655 | 0,033% | 12,06 |
| 220 | 220000 | 138 | 0,069 | 0,035% | 12,63 |
| 230 | 230000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 13,21 |
| 240 | 240000 | 150 | 0,075 | 0,038% | 13,78 |
| 250 | 250000 | 156 | 0,078 | 0,039% | 14,36 |
| 260 | 260000 | 162 | 0,081 | 0,041% | 14,93 |
| 270 | 270000 | 168 | 0,084 | 0,042% | 15,51 |

Lanjutan Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N00-3

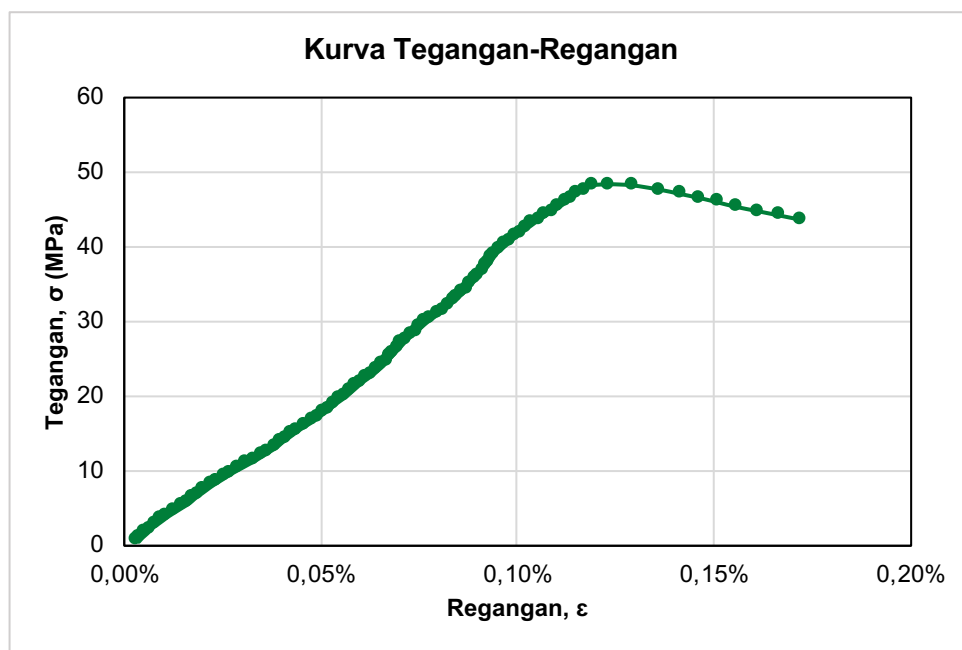
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 175 | 0,0875 | 0,044% | 16,08 |
| 290 | 290000 | 182 | 0,091 | 0,046% | 16,65 |
| 300 | 300000 | 188 | 0,094 | 0,047% | 17,23 |
| 310 | 310000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 17,80 |
| 320 | 320000 | 200 | 0,1 | 0,050% | 18,38 |
| 330 | 330000 | 205 | 0,1025 | 0,051% | 18,95 |
| 340 | 340000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 19,53 |
| 350 | 350000 | 217 | 0,1085 | 0,054% | 20,10 |
| 360 | 360000 | 222 | 0,111 | 0,056% | 20,67 |
| 370 | 370000 | 227 | 0,1135 | 0,057% | 21,25 |
| 380 | 380000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 21,82 |
| 390 | 390000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 22,40 |
| 400 | 400000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 22,97 |
| 410 | 410000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 23,55 |
| 420 | 420000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 24,12 |
| 430 | 430000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 24,69 |
| 440 | 440000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 25,27 |
| 450 | 450000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 25,84 |
| 460 | 460000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 26,42 |
| 470 | 470000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 26,99 |
| 480 | 480000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 27,57 |
| 490 | 490000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 28,14 |
| 500 | 500000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 28,71 |
| 510 | 510000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 29,29 |
| 520 | 520000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 29,86 |
| 530 | 530000 | 304 | 0,152 | 0,076% | 30,44 |
| 540 | 540000 | 310 | 0,155 | 0,078% | 31,01 |

Lanjutan Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N00-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 316 | 0,158 | 0,079% | 31,59 |
| 560 | 560000 | 321 | 0,1605 | 0,080% | 32,16 |
| 570 | 570000 | 326 | 0,163 | 0,082% | 32,73 |
| 580 | 580000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 33,31 |
| 590 | 590000 | 336 | 0,168 | 0,084% | 33,88 |
| 600 | 600000 | 340 | 0,17 | 0,085% | 34,46 |
| 610 | 610000 | 344 | 0,172 | 0,086% | 35,03 |
| 620 | 620000 | 348 | 0,174 | 0,087% | 35,61 |
| 630 | 630000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 36,18 |
| 640 | 640000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 36,75 |
| 650 | 650000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 37,33 |
| 660 | 660000 | 363 | 0,1815 | 0,091% | 37,90 |
| 670 | 670000 | 366 | 0,183 | 0,092% | 38,48 |
| 680 | 680000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 39,05 |
| 690 | 690000 | 374 | 0,187 | 0,094% | 39,63 |
| 700 | 700000 | 379 | 0,1895 | 0,095% | 40,20 |
| 710 | 710000 | 384 | 0,192 | 0,096% | 40,77 |
| 720 | 720000 | 389 | 0,1945 | 0,097% | 41,35 |
| 730 | 730000 | 395 | 0,1975 | 0,099% | 41,92 |
| 740 | 740000 | 401 | 0,2005 | 0,100% | 42,50 |
| 750 | 750000 | 407 | 0,2035 | 0,102% | 43,07 |
| 760 | 760000 | 413 | 0,2065 | 0,103% | 43,64 |
| 770 | 770000 | 420 | 0,21 | 0,105% | 44,22 |
| 780 | 780000 | 427 | 0,2135 | 0,107% | 44,79 |
| 790 | 790000 | 434 | 0,217 | 0,109% | 45,37 |
| 800 | 800000 | 440 | 0,22 | 0,110% | 45,94 |
| 810 | 810000 | 446 | 0,223 | 0,112% | 46,52 |

Lanjutan Tabel L.4.2 Analisis Beton Variasi N00-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 820 | 820000 | 452 | 0,226 | 0,113% | 47,09 |
| 830 | 830000 | 460 | 0,23 | 0,115% | 47,66 |
| 840 | 840000 | 468 | 0,234 | 0,117% | 48,24 |
| 842,5 | 842500 | 485 | 0,2425 | 0,121% | 48,38 |
| 840 | 840000 | 508 | 0,254 | 0,127% | 48,24 |
| 830 | 830000 | 536 | 0,268 | 0,134% | 47,66 |
| 820 | 820000 | 557 | 0,2785 | 0,139% | 47,09 |
| 810 | 810000 | 578 | 0,289 | 0,145% | 46,52 |
| 800 | 800000 | 596 | 0,298 | 0,149% | 45,94 |
| 790 | 790000 | 614 | 0,307 | 0,154% | 45,37 |
| 780 | 780000 | 636 | 0,318 | 0,159% | 44,79 |
| 770 | 770000 | 658 | 0,329 | 0,165% | 44,22 |
| 760 | 760000 | 680 | 0,34 | 0,170% | 43,64 |



Gambar L.4.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N00-3

Tabel L.4.3 Analisis Beton Variasi N00-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 4 | 0,002 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 9 | 0,0045 | 0,002% | 1,11 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 22 | 0,011 | 0,006% | 2,78 |
| 60 | 60000 | 27 | 0,0135 | 0,007% | 3,34 |
| 70 | 70000 | 32 | 0,016 | 0,008% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 5,01 |
| 100 | 100000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,57 |
| 110 | 110000 | 55 | 0,0275 | 0,014% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 60 | 0,03 | 0,015% | 6,68 |
| 130 | 130000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 7,24 |
| 140 | 140000 | 68 | 0,034 | 0,017% | 7,80 |
| 150 | 150000 | 72 | 0,036 | 0,018% | 8,35 |
| 160 | 160000 | 77 | 0,0385 | 0,019% | 8,91 |
| 170 | 170000 | 83 | 0,0415 | 0,021% | 9,47 |
| 180 | 180000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 10,02 |
| 190 | 190000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 10,58 |
| 200 | 200000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 11,14 |
| 210 | 210000 | 106 | 0,053 | 0,027% | 11,70 |
| 220 | 220000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 12,25 |
| 230 | 230000 | 120 | 0,06 | 0,030% | 12,81 |
| 240 | 240000 | 127 | 0,0635 | 0,032% | 13,37 |
| 250 | 250000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 13,92 |
| 260 | 260000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 14,48 |
| 270 | 270000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 15,04 |

Lanjutan Tabel L.4.3 Analisis Beton Variasi N00-4

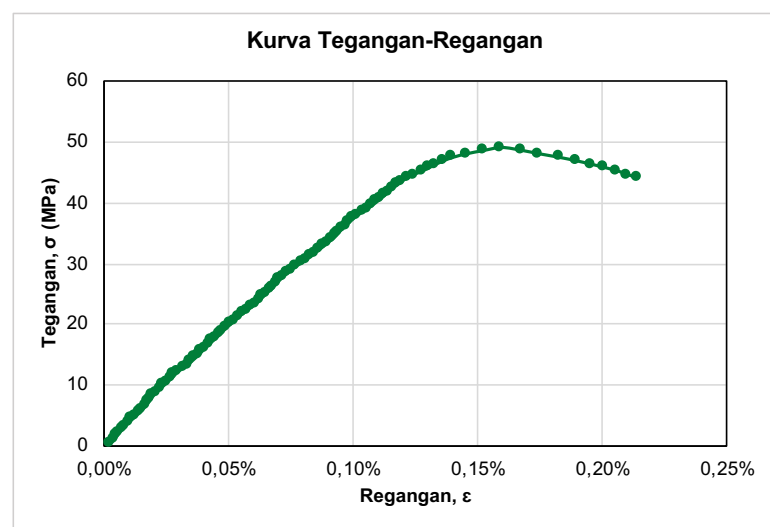
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 150 | 0,075 | 0,038% | 15,59 |
| 290 | 290000 | 155 | 0,0775 | 0,039% | 16,15 |
| 300 | 300000 | 161 | 0,0805 | 0,040% | 16,71 |
| 310 | 310000 | 167 | 0,0835 | 0,042% | 17,27 |
| 320 | 320000 | 173 | 0,0865 | 0,043% | 17,82 |
| 330 | 330000 | 179 | 0,0895 | 0,045% | 18,38 |
| 340 | 340000 | 184 | 0,092 | 0,046% | 18,94 |
| 350 | 350000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 19,49 |
| 360 | 360000 | 196 | 0,098 | 0,049% | 20,05 |
| 370 | 370000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 20,61 |
| 380 | 380000 | 208 | 0,104 | 0,052% | 21,16 |
| 390 | 390000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 21,72 |
| 400 | 400000 | 222 | 0,111 | 0,056% | 22,28 |
| 410 | 410000 | 229 | 0,1145 | 0,057% | 22,83 |
| 420 | 420000 | 237 | 0,1185 | 0,059% | 23,39 |
| 430 | 430000 | 242 | 0,121 | 0,061% | 23,95 |
| 440 | 440000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 24,51 |
| 450 | 450000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 25,06 |
| 460 | 460000 | 259 | 0,1295 | 0,065% | 25,62 |
| 470 | 470000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 26,18 |
| 480 | 480000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 26,73 |
| 490 | 490000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 27,29 |
| 500 | 500000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 27,85 |
| 510 | 510000 | 287 | 0,1435 | 0,072% | 28,40 |
| 520 | 520000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 28,96 |
| 530 | 530000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 29,52 |
| 540 | 540000 | 310 | 0,155 | 0,078% | 30,07 |

Lanjutan Tabel L.4.3 Analisis Beton Variasi N00-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 318 | 0,159 | 0,080% | 30,63 |
| 560 | 560000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 31,19 |
| 570 | 570000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 31,75 |
| 580 | 580000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 32,30 |
| 590 | 590000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 32,86 |
| 600 | 600000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 33,42 |
| 610 | 610000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 33,97 |
| 620 | 620000 | 365 | 0,1825 | 0,091% | 34,53 |
| 630 | 630000 | 370 | 0,185 | 0,093% | 35,09 |
| 640 | 640000 | 375 | 0,1875 | 0,094% | 35,64 |
| 650 | 650000 | 381 | 0,1905 | 0,095% | 36,20 |
| 660 | 660000 | 387 | 0,1935 | 0,097% | 36,76 |
| 670 | 670000 | 393 | 0,1965 | 0,098% | 37,31 |
| 680 | 680000 | 400 | 0,2 | 0,100% | 37,87 |
| 690 | 690000 | 408 | 0,204 | 0,102% | 38,43 |
| 700 | 700000 | 416 | 0,208 | 0,104% | 38,99 |
| 710 | 710000 | 424 | 0,212 | 0,106% | 39,54 |
| 720 | 720000 | 431 | 0,2155 | 0,108% | 40,10 |
| 730 | 730000 | 438 | 0,219 | 0,110% | 40,66 |
| 740 | 740000 | 444 | 0,222 | 0,111% | 41,21 |
| 750 | 750000 | 450 | 0,225 | 0,113% | 41,77 |
| 760 | 760000 | 457 | 0,2285 | 0,114% | 42,33 |
| 770 | 770000 | 464 | 0,232 | 0,116% | 42,88 |
| 780 | 780000 | 471 | 0,2355 | 0,118% | 43,44 |
| 790 | 790000 | 480 | 0,24 | 0,120% | 44,00 |
| 800 | 800000 | 491 | 0,2455 | 0,123% | 44,56 |
| 810 | 810000 | 504 | 0,252 | 0,126% | 45,11 |

Lanjutan Tabel L.4.3 Analisis Beton Variasi N00-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 820 | 820000 | 515 | 0,2575 | 0,129% | 45,67 |
| 830 | 830000 | 526 | 0,263 | 0,132% | 46,23 |
| 840 | 840000 | 538 | 0,269 | 0,135% | 46,78 |
| 850 | 850000 | 553 | 0,2765 | 0,138% | 47,34 |
| 860 | 860000 | 574 | 0,287 | 0,144% | 47,90 |
| 870 | 870000 | 602 | 0,301 | 0,151% | 48,45 |
| 878,8 | 878800 | 631 | 0,3155 | 0,158% | 48,94 |
| 870 | 870000 | 664 | 0,332 | 0,166% | 48,45 |
| 860 | 860000 | 692 | 0,346 | 0,173% | 47,90 |
| 850 | 850000 | 723 | 0,3615 | 0,181% | 47,34 |
| 840 | 840000 | 750 | 0,375 | 0,188% | 46,78 |
| 830 | 830000 | 774 | 0,387 | 0,194% | 46,23 |
| 820 | 820000 | 796 | 0,398 | 0,199% | 45,67 |
| 810 | 810000 | 817 | 0,4085 | 0,204% | 45,11 |
| 800 | 800000 | 832 | 0,416 | 0,208% | 44,56 |
| 790 | 790000 | 848 | 0,424 | 0,212% | 44,00 |



Gambar L.4.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N00-4

Tabel L.4.4 Analisis Beton Variasi N00-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 4 | 0,002 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,11 |
| 30 | 30000 | 12 | 0,006 | 0,003% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,22 |
| 50 | 50000 | 22 | 0,011 | 0,006% | 2,78 |
| 60 | 60000 | 27 | 0,0135 | 0,007% | 3,34 |
| 70 | 70000 | 32 | 0,016 | 0,008% | 3,89 |
| 80 | 80000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 4,45 |
| 90 | 90000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 5,01 |
| 100 | 100000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,56 |
| 110 | 110000 | 56 | 0,028 | 0,014% | 6,12 |
| 120 | 120000 | 61 | 0,0305 | 0,015% | 6,67 |
| 130 | 130000 | 66 | 0,033 | 0,017% | 7,23 |
| 140 | 140000 | 71 | 0,0355 | 0,018% | 7,79 |
| 150 | 150000 | 76 | 0,038 | 0,019% | 8,34 |
| 160 | 160000 | 82 | 0,041 | 0,021% | 8,90 |
| 170 | 170000 | 88 | 0,044 | 0,022% | 9,46 |
| 180 | 180000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 10,01 |
| 190 | 190000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 10,57 |
| 200 | 200000 | 108 | 0,054 | 0,027% | 11,12 |
| 210 | 210000 | 115 | 0,0575 | 0,029% | 11,68 |
| 220 | 220000 | 121 | 0,0605 | 0,030% | 12,24 |
| 230 | 230000 | 127 | 0,0635 | 0,032% | 12,79 |
| 240 | 240000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 13,35 |
| 250 | 250000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 13,91 |
| 260 | 260000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 14,46 |
| 270 | 270000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 15,02 |

Lanjutan Tabel L.4.4 Analisis Beton Variasi N00-5

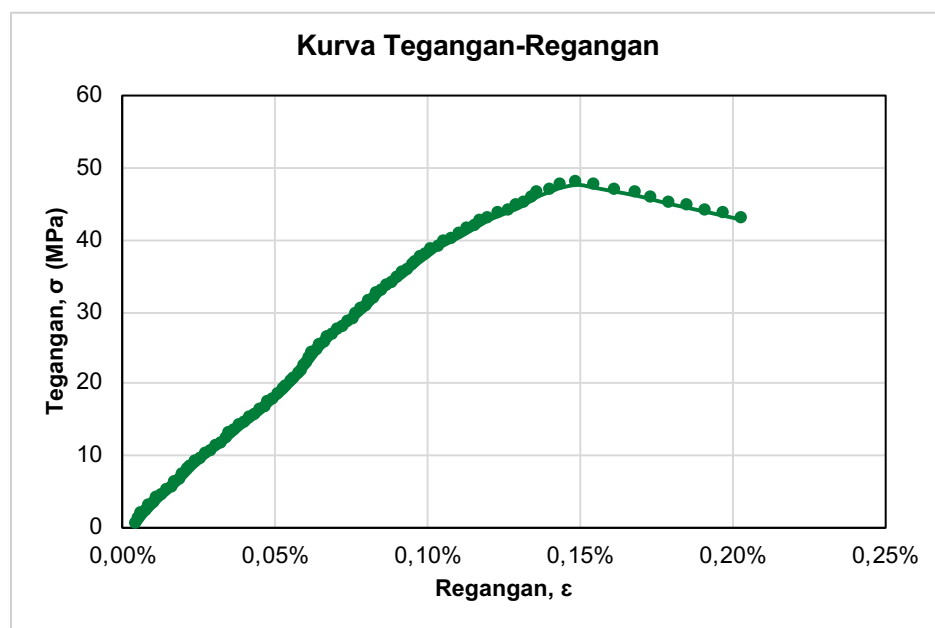
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 15,57 |
| 290 | 290000 | 166 | 0,083 | 0,042% | 16,13 |
| 300 | 300000 | 172 | 0,086 | 0,043% | 16,69 |
| 310 | 310000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 17,24 |
| 320 | 320000 | 184 | 0,092 | 0,046% | 17,80 |
| 330 | 330000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 18,35 |
| 340 | 340000 | 196 | 0,098 | 0,049% | 18,91 |
| 350 | 350000 | 201 | 0,1005 | 0,050% | 19,47 |
| 360 | 360000 | 206 | 0,103 | 0,052% | 20,02 |
| 370 | 370000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 20,58 |
| 380 | 380000 | 216 | 0,108 | 0,054% | 21,14 |
| 390 | 390000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 21,69 |
| 400 | 400000 | 224 | 0,112 | 0,056% | 22,25 |
| 410 | 410000 | 228 | 0,114 | 0,057% | 22,80 |
| 420 | 420000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 23,36 |
| 430 | 430000 | 236 | 0,118 | 0,059% | 23,92 |
| 440 | 440000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 24,47 |
| 450 | 450000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 25,03 |
| 460 | 460000 | 250 | 0,125 | 0,063% | 25,59 |
| 470 | 470000 | 255 | 0,1275 | 0,064% | 26,14 |
| 480 | 480000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 26,70 |
| 490 | 490000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 27,25 |
| 500 | 500000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 27,81 |
| 510 | 510000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 28,37 |
| 520 | 520000 | 287 | 0,1435 | 0,072% | 28,92 |
| 530 | 530000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 29,48 |
| 540 | 540000 | 299 | 0,1495 | 0,075% | 30,03 |

Lanjutan Tabel L.4.4 Analisis Beton Variasi N00-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 30,59 |
| 560 | 560000 | 310 | 0,155 | 0,078% | 31,15 |
| 570 | 570000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 31,70 |
| 580 | 580000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 32,26 |
| 590 | 590000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 32,82 |
| 600 | 600000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 33,37 |
| 610 | 610000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 33,93 |
| 620 | 620000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 34,48 |
| 630 | 630000 | 353 | 0,1765 | 0,088% | 35,04 |
| 640 | 640000 | 359 | 0,1795 | 0,090% | 35,60 |
| 650 | 650000 | 365 | 0,1825 | 0,091% | 36,15 |
| 660 | 660000 | 371 | 0,1855 | 0,093% | 36,71 |
| 670 | 670000 | 378 | 0,189 | 0,095% | 37,27 |
| 680 | 680000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 37,82 |
| 690 | 690000 | 392 | 0,196 | 0,098% | 38,38 |
| 700 | 700000 | 399 | 0,1995 | 0,100% | 38,93 |
| 710 | 710000 | 409 | 0,2045 | 0,102% | 39,49 |
| 720 | 720000 | 419 | 0,2095 | 0,105% | 40,05 |
| 730 | 730000 | 429 | 0,2145 | 0,107% | 40,60 |
| 740 | 740000 | 438 | 0,219 | 0,110% | 41,16 |
| 750 | 750000 | 447 | 0,2235 | 0,112% | 41,72 |
| 760 | 760000 | 456 | 0,228 | 0,114% | 42,27 |
| 770 | 770000 | 465 | 0,2325 | 0,116% | 42,83 |
| 780 | 780000 | 478 | 0,239 | 0,120% | 43,38 |
| 790 | 790000 | 491 | 0,2455 | 0,123% | 43,94 |
| 800 | 800000 | 504 | 0,252 | 0,126% | 44,50 |
| 810 | 810000 | 513 | 0,2565 | 0,128% | 45,05 |

Lanjutan Tabel L.4.4 Analisis Beton Variasi N00-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 820 | 820000 | 522 | 0,261 | 0,131% | 45,61 |
| 830 | 830000 | 531 | 0,2655 | 0,133% | 46,16 |
| 840 | 840000 | 545 | 0,2725 | 0,136% | 46,72 |
| 850 | 850000 | 559 | 0,2795 | 0,140% | 47,28 |
| 857,3 | 857300 | 581 | 0,2905 | 0,145% | 47,68 |
| 850 | 850000 | 603 | 0,3015 | 0,151% | 47,28 |
| 840 | 840000 | 631 | 0,3155 | 0,158% | 46,72 |
| 830 | 830000 | 659 | 0,3295 | 0,165% | 46,16 |
| 820 | 820000 | 680 | 0,34 | 0,170% | 45,61 |
| 810 | 810000 | 701 | 0,3505 | 0,175% | 45,05 |
| 800 | 800000 | 725 | 0,3625 | 0,181% | 44,50 |
| 790 | 790000 | 749 | 0,3745 | 0,187% | 43,94 |
| 780 | 780000 | 773 | 0,3865 | 0,193% | 43,38 |
| 770 | 770000 | 797 | 0,3985 | 0,199% | 42,83 |



Gambar L.4.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan N00-5

Lampiran 5 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-01

Tabel L.5.1 Analisis Beton Variasi V01-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,58 |
| 20 | 20000 | 5 | 0,0025 | 0,001% | 1,15 |
| 30 | 30000 | 10 | 0 | 0,003% | 1,73 |
| 40 | 40000 | 16 | 0,008 | 0,004% | 2,31 |
| 50 | 50000 | 22 | 0,011 | 0,006% | 2,89 |
| 60 | 60000 | 28 | 0,014 | 0,007% | 3,46 |
| 70 | 70000 | 34 | 0,017 | 0,009% | 4,04 |
| 80 | 80000 | 39 | 0,0195 | 0,010% | 4,62 |
| 90 | 90000 | 46 | 0,023 | 0,012% | 5,20 |
| 100 | 100000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 5,77 |
| 110 | 110000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 6,35 |
| 120 | 120000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 6,93 |
| 130 | 130000 | 70 | 0,035 | 0,018% | 7,51 |
| 140 | 140000 | 79 | 0,0395 | 0,020% | 8,08 |
| 150 | 150000 | 85 | 0,0425 | 0,021% | 8,66 |
| 160 | 160000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 9,24 |
| 170 | 170000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 9,82 |
| 180 | 180000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 10,39 |
| 190 | 190000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 10,97 |
| 200 | 200000 | 118 | 0,059 | 0,030% | 11,55 |
| 210 | 210000 | 125 | 0,0625 | 0,031% | 12,12 |
| 220 | 220000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 12,70 |
| 230 | 230000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 13,28 |
| 240 | 240000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 13,86 |
| 250 | 250000 | 155 | 0,0775 | 0,039% | 14,43 |

Lanjutan Tabel L.5.1 Analisis Beton Variasi V01-1

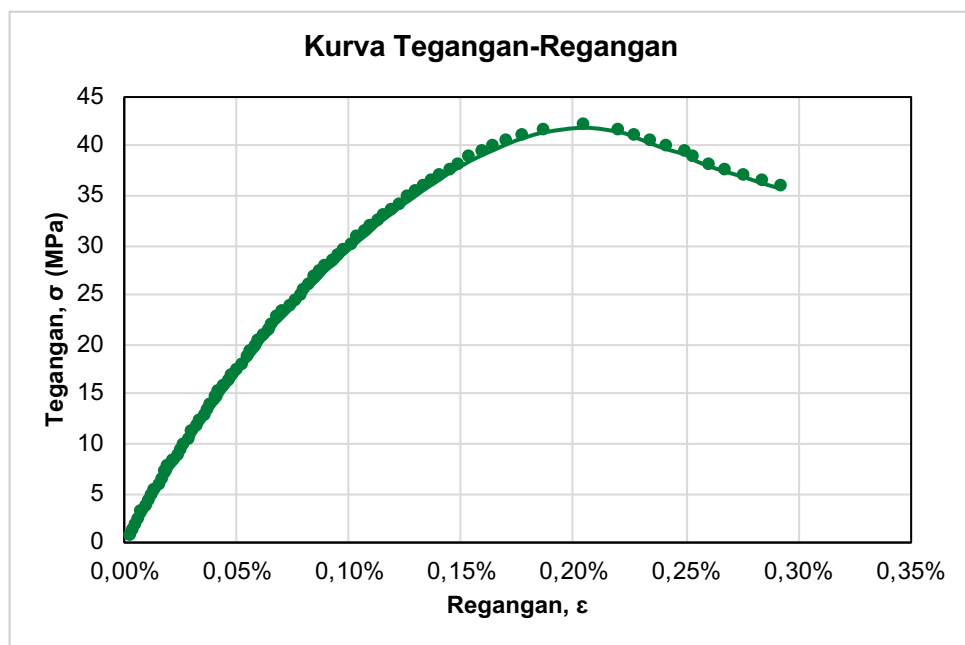
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 15,01 |
| 270 | 270000 | 168 | 0,084 | 0,042% | 15,59 |
| 280 | 280000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 16,17 |
| 290 | 290000 | 184 | 0,092 | 0,046% | 16,74 |
| 300 | 300000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 17,32 |
| 310 | 310000 | 199 | 0,0995 | 0,050% | 17,90 |
| 320 | 320000 | 208 | 0,104 | 0,052% | 18,48 |
| 330 | 330000 | 216 | 0,108 | 0,054% | 19,05 |
| 340 | 340000 | 224 | 0,112 | 0,056% | 19,63 |
| 350 | 350000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 20,21 |
| 360 | 360000 | 239 | 0,1195 | 0,060% | 20,79 |
| 370 | 370000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 21,36 |
| 380 | 380000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 21,94 |
| 390 | 390000 | 264 | 0,132 | 0,066% | 22,52 |
| 400 | 400000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 23,09 |
| 410 | 410000 | 284 | 0,142 | 0,071% | 23,67 |
| 420 | 420000 | 294 | 0,147 | 0,074% | 24,25 |
| 430 | 430000 | 303 | 0,1515 | 0,076% | 24,83 |
| 440 | 440000 | 310 | 0,155 | 0,078% | 25,40 |
| 450 | 450000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 25,98 |
| 460 | 460000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 26,56 |
| 470 | 470000 | 340 | 0,17 | 0,085% | 27,14 |
| 480 | 480000 | 350 | 0,175 | 0,088% | 27,71 |
| 490 | 490000 | 363 | 0,1815 | 0,091% | 28,29 |
| 500 | 500000 | 372 | 0,186 | 0,093% | 28,87 |
| 510 | 510000 | 383 | 0,1915 | 0,096% | 29,45 |
| 520 | 520000 | 395 | 0,1975 | 0,099% | 30,02 |

Lanjutan Tabel L.5.1 Analisis Beton Variasi V01-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 406 | 0,203 | 0,102% | 30,60 |
| 540 | 540000 | 419 | 0,2095 | 0,105% | 31,18 |
| 550 | 550000 | 430 | 0,215 | 0,108% | 31,76 |
| 560 | 560000 | 441 | 0,2205 | 0,110% | 32,33 |
| 570 | 570000 | 454 | 0,227 | 0,114% | 32,91 |
| 580 | 580000 | 468 | 0,234 | 0,117% | 33,49 |
| 590 | 590000 | 480 | 0,24 | 0,120% | 34,07 |
| 600 | 600000 | 495 | 0,2475 | 0,124% | 34,64 |
| 610 | 610000 | 509 | 0,2545 | 0,127% | 35,22 |
| 620 | 620000 | 523 | 0,2615 | 0,131% | 35,80 |
| 630 | 630000 | 539 | 0,2695 | 0,135% | 36,37 |
| 640 | 640000 | 554 | 0,277 | 0,139% | 36,95 |
| 650 | 650000 | 569 | 0,2845 | 0,142% | 37,53 |
| 660 | 660000 | 587 | 0,2935 | 0,147% | 38,11 |
| 670 | 670000 | 605 | 0,3025 | 0,151% | 38,68 |
| 680 | 680000 | 626 | 0,313 | 0,157% | 39,26 |
| 690 | 690000 | 649 | 0,3245 | 0,162% | 39,84 |
| 700 | 700000 | 672 | 0,336 | 0,168% | 40,42 |
| 710 | 710000 | 700 | 0,35 | 0,175% | 40,99 |
| 720 | 720000 | 738 | 0,369 | 0,185% | 41,57 |
| 727,7 | 727700 | 807 | 0,4035 | 0,202% | 42,02 |
| 720 | 720000 | 870 | 0,435 | 0,218% | 41,57 |
| 710 | 710000 | 900 | 0,45 | 0,225% | 40,99 |
| 700 | 700000 | 926 | 0,463 | 0,232% | 40,42 |
| 690 | 690000 | 954 | 0,477 | 0,239% | 39,84 |
| 680 | 680000 | 989 | 0,4945 | 0,247% | 39,26 |
| 670 | 670000 | 1005 | 0,5025 | 0,251% | 38,68 |

Lanjutan Tabel L.5.1 Analisis Beton Variasi V01-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 660 | 660000 | 1030 | 0,515 | 0,258% | 38,11 |
| 650 | 650000 | 1061 | 0,5305 | 0,265% | 37,53 |
| 640 | 640000 | 1095 | 0,5475 | 0,274% | 36,95 |
| 630 | 630000 | 1125 | 0,5625 | 0,281% | 36,37 |
| 620 | 620000 | 1160 | 0,58 | 0,290% | 35,80 |



Gambar L.5.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V01-1

Tabel L.5.2 Analisis Beton Variasi V01-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 6 | 0,003 | 0,002% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 10 | 0,005 | 0,003% | 1,68 |
| 40 | 40000 | 14 | 0,007 | 0,004% | 2,24 |
| 50 | 50000 | 18 | 0,009 | 0,005% | 2,80 |
| 60 | 60000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 28 | 0,014 | 0,007% | 3,91 |
| 80 | 80000 | 33 | 0,0165 | 0,008% | 4,47 |
| 90 | 90000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 5,03 |
| 100 | 100000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 5,59 |
| 110 | 110000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 6,15 |
| 120 | 120000 | 56 | 0,028 | 0,014% | 6,71 |
| 130 | 130000 | 63 | 0,0315 | 0,016% | 7,27 |
| 140 | 140000 | 70 | 0,035 | 0,018% | 7,83 |
| 150 | 150000 | 77 | 0,0385 | 0,019% | 8,39 |
| 160 | 160000 | 83 | 0,0415 | 0,021% | 8,95 |
| 170 | 170000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 9,51 |
| 180 | 180000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 10,06 |
| 190 | 190000 | 100 | 0,05 | 0,025% | 10,62 |
| 200 | 200000 | 106 | 0,053 | 0,027% | 11,18 |
| 210 | 210000 | 113 | 0,0565 | 0,028% | 11,74 |
| 220 | 220000 | 120 | 0,06 | 0,030% | 12,30 |
| 230 | 230000 | 128 | 0,064 | 0,032% | 12,86 |
| 240 | 240000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 13,42 |
| 250 | 250000 | 143 | 0,0715 | 0,036% | 13,98 |
| 260 | 260000 | 151 | 0,0755 | 0,038% | 14,54 |
| 270 | 270000 | 157 | 0,0785 | 0,039% | 15,10 |

Lanjutan Tabel L.5.2 Analisis Beton Variasi V01-2

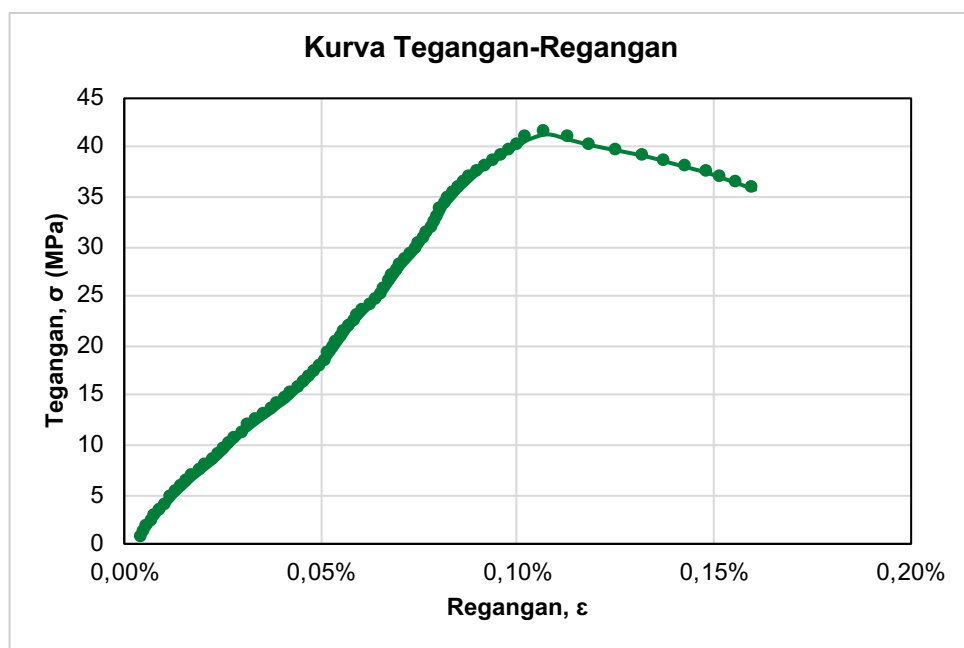
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 15,66 |
| 290 | 290000 | 169 | 0,0845 | 0,042% | 16,22 |
| 300 | 300000 | 175 | 0,0875 | 0,044% | 16,77 |
| 310 | 310000 | 180 | 0,09 | 0,045% | 17,33 |
| 320 | 320000 | 185 | 0,0925 | 0,046% | 17,89 |
| 330 | 330000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 18,45 |
| 340 | 340000 | 195 | 0,0975 | 0,049% | 19,01 |
| 350 | 350000 | 199 | 0,0995 | 0,050% | 19,57 |
| 360 | 360000 | 203 | 0,1015 | 0,051% | 20,13 |
| 370 | 370000 | 207 | 0,1035 | 0,052% | 20,69 |
| 380 | 380000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 21,25 |
| 390 | 390000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 21,81 |
| 400 | 400000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 22,37 |
| 410 | 410000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 22,93 |
| 420 | 420000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 23,48 |
| 430 | 430000 | 236 | 0,118 | 0,059% | 24,04 |
| 440 | 440000 | 242 | 0,121 | 0,061% | 24,60 |
| 450 | 450000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 25,16 |
| 460 | 460000 | 252 | 0,126 | 0,063% | 25,72 |
| 470 | 470000 | 256 | 0,128 | 0,064% | 26,28 |
| 480 | 480000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 26,84 |
| 490 | 490000 | 264 | 0,132 | 0,066% | 27,40 |
| 500 | 500000 | 268 | 0,134 | 0,067% | 27,96 |
| 510 | 510000 | 273 | 0,1365 | 0,068% | 28,52 |
| 520 | 520000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 29,08 |
| 530 | 530000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 29,64 |
| 540 | 540000 | 287 | 0,1435 | 0,072% | 30,19 |

Lanjutan Tabel L.5.2 Analisis Beton Variasi V01-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 291 | 0,1455 | 0,073% | 30,75 |
| 560 | 560000 | 295 | 0,1475 | 0,074% | 31,31 |
| 570 | 570000 | 299 | 0,1495 | 0,075% | 31,87 |
| 580 | 580000 | 303 | 0,1515 | 0,076% | 32,43 |
| 590 | 590000 | 306 | 0,153 | 0,077% | 32,99 |
| 600 | 600000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 33,55 |
| 610 | 610000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 34,11 |
| 620 | 620000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 34,67 |
| 630 | 630000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 35,23 |
| 640 | 640000 | 327 | 0,1635 | 0,082% | 35,79 |
| 650 | 650000 | 333 | 0,1665 | 0,083% | 36,35 |
| 660 | 660000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 36,90 |
| 670 | 670000 | 345 | 0,1725 | 0,086% | 37,46 |
| 680 | 680000 | 353 | 0,1765 | 0,088% | 38,02 |
| 690 | 690000 | 361 | 0,1805 | 0,090% | 38,58 |
| 700 | 700000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 39,14 |
| 710 | 710000 | 378 | 0,189 | 0,095% | 39,70 |
| 720 | 720000 | 387 | 0,1935 | 0,097% | 40,26 |
| 730 | 730000 | 396 | 0,198 | 0,099% | 40,82 |
| 739,5 | 739500 | 415 | 0,2075 | 0,104% | 41,35 |
| 730 | 730000 | 437 | 0,2185 | 0,109% | 40,82 |
| 720 | 720000 | 459 | 0,2295 | 0,115% | 40,26 |
| 710 | 710000 | 487 | 0,2435 | 0,122% | 39,70 |
| 700 | 700000 | 515 | 0,2575 | 0,129% | 39,14 |
| 690 | 690000 | 536 | 0,268 | 0,134% | 38,58 |
| 680 | 680000 | 557 | 0,2785 | 0,139% | 38,02 |
| 550 | 550000 | 291 | 0,1455 | 0,073% | 30,75 |

Lanjutan Tabel L.5.2 Analisis Beton Variasi V01-2

| Beban | | Ektensiometer $\times 10^3$ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 660 | 660000 | 594 | 0,297 | 0,149% | 36,90 |
| 650 | 650000 | 610 | 0,305 | 0,153% | 36,35 |
| 640 | 640000 | 626 | 0,313 | 0,157% | 35,79 |



Gambar L.5.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V01-2

Tabel L.5.3 Analisis Beton Variasi V01-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 1,69 |
| 40 | 40000 | 47 | 0,0235 | 0,012% | 2,25 |
| 50 | 50000 | 51 | 0,0255 | 0,013% | 2,82 |
| 60 | 60000 | 59 | 0,0295 | 0,015% | 3,38 |
| 70 | 70000 | 69 | 0,0345 | 0,017% | 3,95 |
| 80 | 80000 | 77 | 0,0385 | 0,019% | 4,51 |
| 90 | 90000 | 80 | 0,04 | 0,020% | 5,07 |
| 100 | 100000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 5,64 |
| 110 | 110000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 6,20 |
| 120 | 120000 | 97 | 0,0485 | 0,024% | 6,76 |
| 130 | 130000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 7,33 |
| 140 | 140000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 7,89 |
| 150 | 150000 | 119 | 0,0595 | 0,030% | 8,45 |
| 160 | 160000 | 123 | 0,0615 | 0,031% | 9,02 |
| 170 | 170000 | 129 | 0,0645 | 0,032% | 9,58 |
| 180 | 180000 | 134 | 0,067 | 0,034% | 10,15 |
| 190 | 190000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 10,71 |
| 200 | 200000 | 144 | 0,072 | 0,036% | 11,27 |
| 210 | 210000 | 148 | 0,074 | 0,037% | 11,84 |
| 220 | 220000 | 156 | 0,078 | 0,039% | 12,40 |
| 230 | 230000 | 161 | 0,0805 | 0,040% | 12,96 |
| 240 | 240000 | 165 | 0,0825 | 0,041% | 13,53 |
| 250 | 250000 | 172 | 0,086 | 0,043% | 14,09 |
| 260 | 260000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 14,65 |
| 270 | 270000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 15,22 |

Lanjutan Tabel L.5.3 Analisis Beton Variasi V01-3

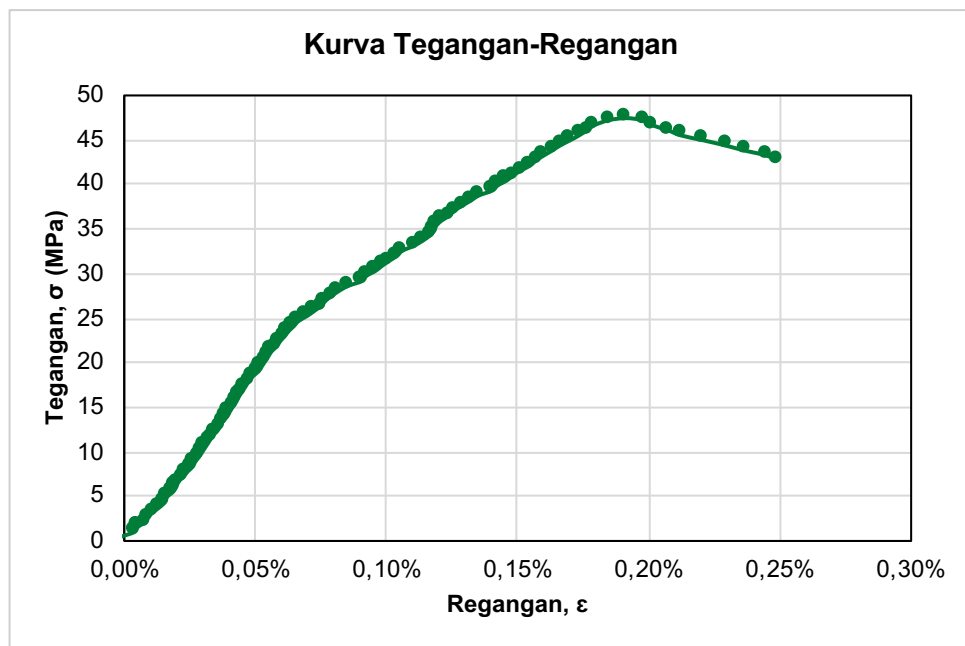
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 15,78 |
| 290 | 290000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 16,35 |
| 300 | 300000 | 195 | 0,0975 | 0,049% | 16,91 |
| 310 | 310000 | 200 | 0,1 | 0,050% | 17,47 |
| 320 | 320000 | 205 | 0,1025 | 0,051% | 18,04 |
| 330 | 330000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 18,60 |
| 340 | 340000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 19,16 |
| 350 | 350000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 19,73 |
| 360 | 360000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 20,29 |
| 370 | 370000 | 235 | 0,1175 | 0,059% | 20,85 |
| 380 | 380000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 21,42 |
| 390 | 390000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 21,98 |
| 400 | 400000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 22,55 |
| 410 | 410000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 23,11 |
| 420 | 420000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 23,67 |
| 430 | 430000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 24,24 |
| 440 | 440000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 24,80 |
| 450 | 450000 | 294 | 0,147 | 0,074% | 25,36 |
| 460 | 460000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 25,93 |
| 470 | 470000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 26,49 |
| 480 | 480000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 27,05 |
| 490 | 490000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 27,62 |
| 500 | 500000 | 343 | 0,1715 | 0,086% | 28,18 |
| 510 | 510000 | 357 | 0,1785 | 0,089% | 28,75 |
| 520 | 520000 | 379 | 0,1895 | 0,095% | 29,31 |
| 530 | 530000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 29,87 |
| 540 | 540000 | 399 | 0,1995 | 0,100% | 30,44 |

Lanjutan Tabel L.5.3 Analisis Beton Variasi V01-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 409 | 0,2045 | 0,102% | 31,00 |
| 560 | 560000 | 420 | 0,21 | 0,105% | 31,56 |
| 570 | 570000 | 432 | 0,216 | 0,108% | 32,13 |
| 580 | 580000 | 440 | 0,22 | 0,110% | 32,69 |
| 590 | 590000 | 458 | 0,229 | 0,115% | 33,25 |
| 600 | 600000 | 471 | 0,2355 | 0,118% | 33,82 |
| 610 | 610000 | 482 | 0,241 | 0,121% | 34,38 |
| 620 | 620000 | 489 | 0,2445 | 0,122% | 34,94 |
| 630 | 630000 | 492 | 0,246 | 0,123% | 35,51 |
| 640 | 640000 | 500 | 0,25 | 0,125% | 36,07 |
| 650 | 650000 | 512 | 0,256 | 0,128% | 36,64 |
| 660 | 660000 | 520 | 0,26 | 0,130% | 37,20 |
| 670 | 670000 | 532 | 0,266 | 0,133% | 37,76 |
| 680 | 680000 | 545 | 0,2725 | 0,136% | 38,33 |
| 690 | 690000 | 557 | 0,2785 | 0,139% | 38,89 |
| 700 | 700000 | 578 | 0,289 | 0,145% | 39,45 |
| 710 | 710000 | 586 | 0,293 | 0,147% | 40,02 |
| 720 | 720000 | 600 | 0,3 | 0,150% | 40,58 |
| 730 | 730000 | 610 | 0,305 | 0,153% | 41,14 |
| 740 | 740000 | 622 | 0,311 | 0,156% | 41,71 |
| 750 | 750000 | 636 | 0,318 | 0,159% | 42,27 |
| 760 | 760000 | 645 | 0,3225 | 0,161% | 42,84 |
| 770 | 770000 | 657 | 0,3285 | 0,164% | 43,40 |
| 780 | 780000 | 670 | 0,335 | 0,168% | 43,96 |
| 790 | 790000 | 682 | 0,341 | 0,171% | 44,53 |
| 800 | 800000 | 697 | 0,3485 | 0,174% | 45,09 |
| 810 | 810000 | 711 | 0,3555 | 0,178% | 45,65 |

Lanjutan Tabel L.5.3 Analisis Beton Variasi V01-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 820 | 820000 | 723 | 0,3615 | 0,181% | 46,22 |
| 830 | 830000 | 734 | 0,367 | 0,184% | 46,78 |
| 840 | 840000 | 756 | 0,378 | 0,189% | 47,34 |
| 844,2 | 844200 | 782 | 0,391 | 0,196% | 47,58 |
| 840 | 840000 | 809 | 0,4045 | 0,202% | 47,34 |
| 830 | 830000 | 823 | 0,4115 | 0,206% | 46,78 |
| 820 | 820000 | 847 | 0,4235 | 0,212% | 46,22 |
| 810 | 810000 | 866 | 0,433 | 0,217% | 45,65 |
| 800 | 800000 | 901 | 0,4505 | 0,225% | 45,09 |
| 790 | 790000 | 934 | 0,467 | 0,234% | 44,53 |
| 780 | 780000 | 963 | 0,4815 | 0,241% | 43,96 |
| 770 | 770000 | 997 | 0,4985 | 0,249% | 43,40 |
| 760 | 760000 | 1013 | 0,5065 | 0,253% | 42,84 |



Gambar L.5.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V01-3

Tabel L.5.4 Analisis Beton Variasi V01-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 5 | 0,0025 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 9 | 0,0045 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 19 | 0,0095 | 0,005% | 2,27 |
| 50 | 50000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,84 |
| 60 | 60000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 3,40 |
| 70 | 70000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 3,97 |
| 80 | 80000 | 41 | 0,0205 | 0,010% | 4,54 |
| 90 | 90000 | 46 | 0,023 | 0,012% | 5,11 |
| 100 | 100000 | 51 | 0,0255 | 0,013% | 5,67 |
| 110 | 110000 | 57 | 0,0285 | 0,014% | 6,24 |
| 120 | 120000 | 63 | 0,0315 | 0,016% | 6,81 |
| 130 | 130000 | 69 | 0,0345 | 0,017% | 7,38 |
| 140 | 140000 | 76 | 0,038 | 0,019% | 7,94 |
| 150 | 150000 | 83 | 0,0415 | 0,021% | 8,51 |
| 160 | 160000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 9,08 |
| 170 | 170000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 9,65 |
| 180 | 180000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 10,21 |
| 190 | 190000 | 106 | 0,053 | 0,027% | 10,78 |
| 200 | 200000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 11,35 |
| 210 | 210000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 11,92 |
| 220 | 220000 | 122 | 0,061 | 0,031% | 12,48 |
| 230 | 230000 | 128 | 0,064 | 0,032% | 13,05 |
| 240 | 240000 | 134 | 0,067 | 0,034% | 13,62 |
| 250 | 250000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 14,18 |
| 260 | 260000 | 148 | 0,074 | 0,037% | 14,75 |
| 270 | 270000 | 156 | 0,078 | 0,039% | 15,32 |

Lanjutan Tabel L.5.4 Analisis Beton Variasi V01-4

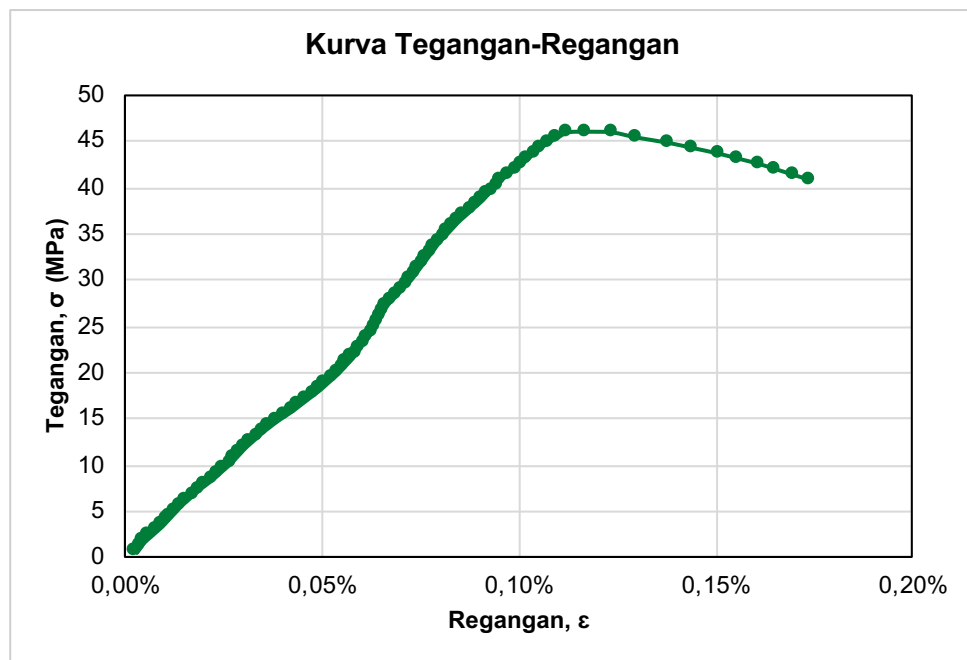
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 164 | 0,082 | 0,041% | 15,89 |
| 290 | 290000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 16,45 |
| 300 | 300000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 17,02 |
| 310 | 310000 | 185 | 0,0925 | 0,046% | 17,59 |
| 320 | 320000 | 192 | 0,096 | 0,048% | 18,16 |
| 330 | 330000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 18,72 |
| 340 | 340000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 19,29 |
| 350 | 350000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 19,86 |
| 360 | 360000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 20,43 |
| 370 | 370000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 20,99 |
| 380 | 380000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 21,56 |
| 390 | 390000 | 229 | 0,1145 | 0,057% | 22,13 |
| 400 | 400000 | 233 | 0,1165 | 0,058% | 22,70 |
| 410 | 410000 | 237 | 0,1185 | 0,059% | 23,26 |
| 420 | 420000 | 241 | 0,1205 | 0,060% | 23,83 |
| 430 | 430000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 24,40 |
| 440 | 440000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 24,97 |
| 450 | 450000 | 251 | 0,1255 | 0,063% | 25,53 |
| 460 | 460000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 26,10 |
| 470 | 470000 | 257 | 0,1285 | 0,064% | 26,67 |
| 480 | 480000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 27,24 |
| 490 | 490000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 27,80 |
| 500 | 500000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 28,37 |
| 510 | 510000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 28,94 |
| 520 | 520000 | 280 | 0,14 | 0,070% | 29,50 |
| 530 | 530000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 30,07 |
| 540 | 540000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 30,64 |

Lanjutan Tabel L.5.4 Analisis Beton Variasi V01-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 31,21 |
| 560 | 560000 | 297 | 0,1485 | 0,074% | 31,77 |
| 570 | 570000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 32,34 |
| 580 | 580000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 32,91 |
| 590 | 590000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 33,48 |
| 600 | 600000 | 313 | 0,1565 | 0,078% | 34,04 |
| 610 | 610000 | 318 | 0,159 | 0,080% | 34,61 |
| 620 | 620000 | 323 | 0,1615 | 0,081% | 35,18 |
| 630 | 630000 | 328 | 0,164 | 0,082% | 35,75 |
| 640 | 640000 | 333 | 0,1665 | 0,083% | 36,31 |
| 650 | 650000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 36,88 |
| 660 | 660000 | 345 | 0,1725 | 0,086% | 37,45 |
| 670 | 670000 | 351 | 0,1755 | 0,088% | 38,02 |
| 680 | 680000 | 357 | 0,1785 | 0,089% | 38,58 |
| 690 | 690000 | 362 | 0,181 | 0,091% | 39,15 |
| 700 | 700000 | 367 | 0,1835 | 0,092% | 39,72 |
| 710 | 710000 | 372 | 0,186 | 0,093% | 40,29 |
| 720 | 720000 | 377 | 0,1885 | 0,094% | 40,85 |
| 730 | 730000 | 384 | 0,192 | 0,096% | 41,42 |
| 740 | 740000 | 391 | 0,1955 | 0,098% | 41,99 |
| 750 | 750000 | 398 | 0,199 | 0,100% | 42,55 |
| 760 | 760000 | 404 | 0,202 | 0,101% | 43,12 |
| 770 | 770000 | 410 | 0,205 | 0,103% | 43,69 |
| 780 | 780000 | 417 | 0,2085 | 0,104% | 44,26 |
| 790 | 790000 | 424 | 0,212 | 0,106% | 44,82 |
| 800 | 800000 | 434 | 0,217 | 0,109% | 45,39 |
| 810 | 810000 | 444 | 0,222 | 0,111% | 45,96 |

Lanjutan Tabel L.5.4 Analisis Beton Variasi V01-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 811,2 | 811200 | 463 | 0,2315 | 0,116% | 46,03 |
| 810 | 810000 | 489 | 0,2445 | 0,122% | 45,96 |
| 800 | 800000 | 515 | 0,2575 | 0,129% | 45,39 |
| 790 | 790000 | 547 | 0,2735 | 0,137% | 44,82 |
| 780 | 780000 | 572 | 0,286 | 0,143% | 44,26 |
| 770 | 770000 | 597 | 0,2985 | 0,149% | 43,69 |
| 760 | 760000 | 618 | 0,309 | 0,155% | 43,12 |
| 750 | 750000 | 639 | 0,3195 | 0,160% | 42,55 |
| 740 | 740000 | 656 | 0,328 | 0,164% | 41,99 |
| 730 | 730000 | 673 | 0,3365 | 0,168% | 41,42 |
| 720 | 720000 | 690 | 0,345 | 0,173% | 40,85 |



Gambar L.5.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V01-4

Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V01-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 4 | 0,002 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,15 |
| 30 | 30000 | 12 | 0,006 | 0,003% | 1,72 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,29 |
| 50 | 50000 | 22 | 0,011 | 0,006% | 2,86 |
| 60 | 60000 | 27 | 0,0135 | 0,007% | 3,44 |
| 70 | 70000 | 33 | 0,0165 | 0,008% | 4,01 |
| 80 | 80000 | 39 | 0,0195 | 0,010% | 4,58 |
| 90 | 90000 | 45 | 0,0225 | 0,011% | 5,15 |
| 100 | 100000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,73 |
| 110 | 110000 | 55 | 0,0275 | 0,014% | 6,30 |
| 120 | 120000 | 60 | 0,03 | 0,015% | 6,87 |
| 130 | 130000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 7,45 |
| 140 | 140000 | 72 | 0,036 | 0,018% | 8,02 |
| 150 | 150000 | 79 | 0,0395 | 0,020% | 8,59 |
| 160 | 160000 | 85 | 0,0425 | 0,021% | 9,16 |
| 170 | 170000 | 91 | 0,0455 | 0,023% | 9,74 |
| 180 | 180000 | 97 | 0,0485 | 0,024% | 10,31 |
| 190 | 190000 | 104 | 0,052 | 0,026% | 10,88 |
| 200 | 200000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 11,45 |
| 210 | 210000 | 119 | 0,0595 | 0,030% | 12,03 |
| 220 | 220000 | 127 | 0,0635 | 0,032% | 12,60 |
| 230 | 230000 | 134 | 0,067 | 0,034% | 13,17 |
| 240 | 240000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 13,75 |
| 250 | 250000 | 149 | 0,0745 | 0,037% | 14,32 |
| 260 | 260000 | 157 | 0,0785 | 0,039% | 14,89 |
| 270 | 270000 | 165 | 0,0825 | 0,041% | 15,46 |

Lanjutan Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V01-5

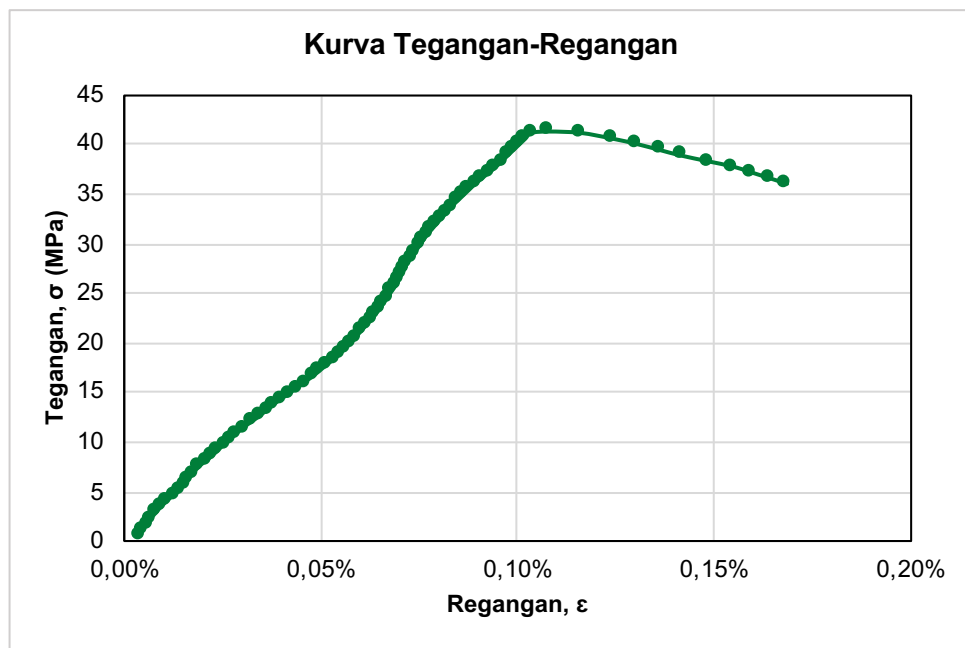
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 173 | 0,0865 | 0,043% | 16,04 |
| 290 | 290000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 16,61 |
| 300 | 300000 | 188 | 0,094 | 0,047% | 17,18 |
| 310 | 310000 | 195 | 0,0975 | 0,049% | 17,75 |
| 320 | 320000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 18,33 |
| 330 | 330000 | 208 | 0,104 | 0,052% | 18,90 |
| 340 | 340000 | 214 | 0,107 | 0,054% | 19,47 |
| 350 | 350000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 20,05 |
| 360 | 360000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 20,62 |
| 370 | 370000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 21,19 |
| 380 | 380000 | 235 | 0,1175 | 0,059% | 21,76 |
| 390 | 390000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 22,34 |
| 400 | 400000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 22,91 |
| 410 | 410000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 23,48 |
| 420 | 420000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 24,05 |
| 430 | 430000 | 257 | 0,1285 | 0,064% | 24,63 |
| 440 | 440000 | 261 | 0,1305 | 0,065% | 25,20 |
| 450 | 450000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 25,77 |
| 460 | 460000 | 268 | 0,134 | 0,067% | 26,35 |
| 470 | 470000 | 271 | 0,1355 | 0,068% | 26,92 |
| 480 | 480000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 27,49 |
| 490 | 490000 | 277 | 0,1385 | 0,069% | 28,06 |
| 500 | 500000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 28,64 |
| 510 | 510000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 29,21 |
| 520 | 520000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 29,78 |
| 530 | 530000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 30,36 |
| 540 | 540000 | 297 | 0,1485 | 0,074% | 30,93 |

Lanjutan Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V01-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 302 | 0,151 | 0,076% | 31,50 |
| 560 | 560000 | 307 | 0,1535 | 0,077% | 32,07 |
| 570 | 570000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 32,65 |
| 580 | 580000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 33,22 |
| 590 | 590000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 33,79 |
| 600 | 600000 | 328 | 0,164 | 0,082% | 34,36 |
| 610 | 610000 | 334 | 0,167 | 0,084% | 34,94 |
| 620 | 620000 | 340 | 0,17 | 0,085% | 35,51 |
| 630 | 630000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 36,08 |
| 640 | 640000 | 353 | 0,1765 | 0,088% | 36,66 |
| 650 | 650000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 37,23 |
| 660 | 660000 | 367 | 0,1835 | 0,092% | 37,80 |
| 670 | 670000 | 373 | 0,1865 | 0,093% | 38,37 |
| 680 | 680000 | 379 | 0,1895 | 0,095% | 38,95 |
| 690 | 690000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 39,52 |
| 700 | 700000 | 391 | 0,1955 | 0,098% | 40,09 |
| 710 | 710000 | 397 | 0,1985 | 0,099% | 40,66 |
| 720 | 720000 | 403 | 0,2015 | 0,101% | 41,24 |
| 722,4 | 722400 | 421 | 0,2105 | 0,105% | 41,37 |
| 720 | 720000 | 453 | 0,2265 | 0,113% | 41,24 |
| 710 | 710000 | 485 | 0,2425 | 0,121% | 40,66 |
| 700 | 700000 | 511 | 0,2555 | 0,128% | 40,09 |
| 690 | 690000 | 533 | 0,2665 | 0,133% | 39,52 |
| 680 | 680000 | 555 | 0,2775 | 0,139% | 38,95 |
| 670 | 670000 | 582 | 0,291 | 0,146% | 38,37 |
| 660 | 660000 | 609 | 0,3045 | 0,152% | 37,80 |
| 650 | 650000 | 627 | 0,3135 | 0,157% | 37,23 |

Lanjutan Tabel L.5.5 Analisis Beton Variasi V01-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 640 | 640000 | 645 | 0,3225 | 0,161% | 36,66 |
| 630 | 630000 | 663 | 0,3315 | 0,166% | 36,08 |



Gambar L.5.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V01-5

Lampiran 6 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-02

Tabel L.6.1 Analisis Beton Variasi V02-1

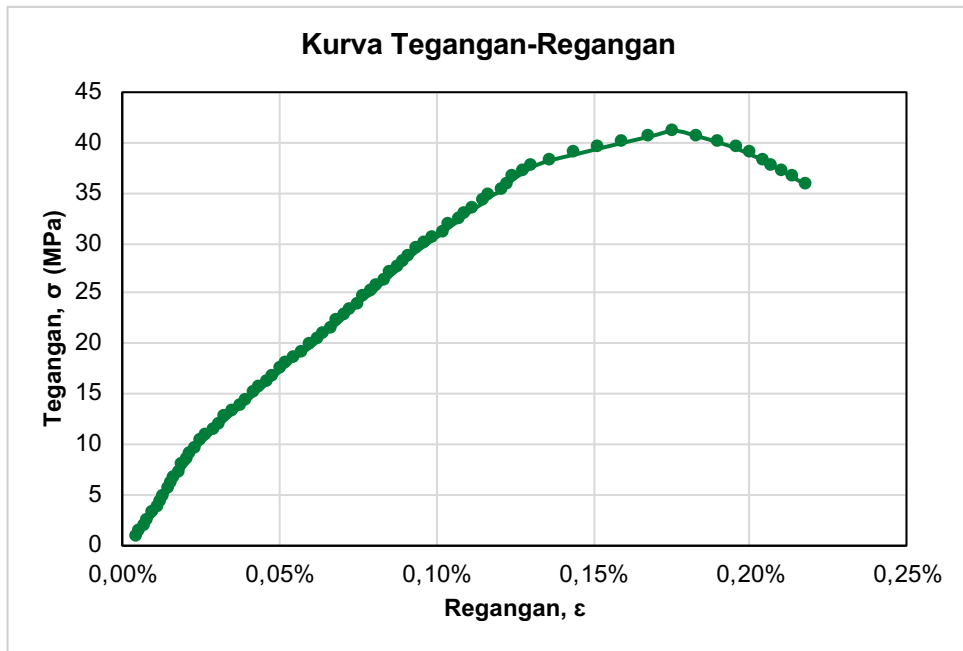
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,60 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,19 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,79 |
| 40 | 40000 | 18 | 0,009 | 0,005% | 2,39 |
| 50 | 50000 | 24 | 0,012 | 0,006% | 2,98 |
| 60 | 60000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 3,58 |
| 70 | 70000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 4,18 |
| 80 | 80000 | 39 | 0,0195 | 0,010% | 4,77 |
| 90 | 90000 | 43 | 0,0215 | 0,011% | 5,37 |
| 100 | 100000 | 47 | 0,0235 | 0,012% | 5,96 |
| 110 | 110000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 6,56 |
| 120 | 120000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 7,16 |
| 130 | 130000 | 63 | 0,0315 | 0,016% | 7,75 |
| 140 | 140000 | 69 | 0,0345 | 0,017% | 8,35 |
| 150 | 150000 | 71 | 0,0355 | 0,018% | 8,95 |
| 160 | 160000 | 78 | 0,039 | 0,020% | 9,54 |
| 170 | 170000 | 85 | 0,0425 | 0,021% | 10,14 |
| 180 | 180000 | 93 | 0,0465 | 0,023% | 10,74 |
| 190 | 190000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 11,33 |
| 200 | 200000 | 109 | 0,0545 | 0,027% | 11,93 |
| 210 | 210000 | 117 | 0,0585 | 0,029% | 12,53 |
| 220 | 220000 | 126 | 0,063 | 0,032% | 13,12 |
| 230 | 230000 | 135 | 0,0675 | 0,034% | 13,72 |
| 240 | 240000 | 144 | 0,072 | 0,036% | 14,32 |
| 250 | 250000 | 152 | 0,076 | 0,038% | 14,91 |

Lanjutan Tabel L.6.1 Analisis Beton Variasi V02-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 161 | 0,0805 | 0,040% | 15,51 |
| 270 | 270000 | 170 | 0,085 | 0,043% | 16,11 |
| 280 | 280000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 16,70 |
| 290 | 290000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 17,30 |
| 300 | 300000 | 195 | 0,0975 | 0,049% | 17,89 |
| 310 | 310000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 18,49 |
| 320 | 320000 | 214 | 0,107 | 0,054% | 19,09 |
| 330 | 330000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 19,68 |
| 340 | 340000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 20,28 |
| 350 | 350000 | 242 | 0,121 | 0,061% | 20,88 |
| 360 | 360000 | 251 | 0,1255 | 0,063% | 21,47 |
| 370 | 370000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 22,07 |
| 380 | 380000 | 268 | 0,134 | 0,067% | 22,67 |
| 390 | 390000 | 276 | 0,138 | 0,069% | 23,26 |
| 400 | 400000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 23,86 |
| 410 | 410000 | 292 | 0,146 | 0,073% | 24,46 |
| 420 | 420000 | 304 | 0,152 | 0,076% | 25,05 |
| 430 | 430000 | 311 | 0,1555 | 0,078% | 25,65 |
| 440 | 440000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 26,25 |
| 450 | 450000 | 328 | 0,164 | 0,082% | 26,84 |
| 460 | 460000 | 337 | 0,1685 | 0,084% | 27,44 |
| 470 | 470000 | 344 | 0,172 | 0,086% | 28,04 |
| 480 | 480000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 28,63 |
| 490 | 490000 | 361 | 0,1805 | 0,090% | 29,23 |
| 500 | 500000 | 372 | 0,186 | 0,093% | 29,82 |
| 510 | 510000 | 382 | 0,191 | 0,096% | 30,42 |
| 520 | 520000 | 394 | 0,197 | 0,099% | 31,02 |

Lanjutan Tabel L.6.1 Analisis Beton Variasi V02-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 402 | 0,201 | 0,101% | 31,61 |
| 540 | 540000 | 414 | 0,207 | 0,104% | 32,21 |
| 550 | 550000 | 423 | 0,2115 | 0,106% | 32,81 |
| 560 | 560000 | 433 | 0,2165 | 0,108% | 33,40 |
| 570 | 570000 | 445 | 0,2225 | 0,111% | 34,00 |
| 580 | 580000 | 453 | 0,2265 | 0,113% | 34,60 |
| 590 | 590000 | 468 | 0,234 | 0,117% | 35,19 |
| 600 | 600000 | 476 | 0,238 | 0,119% | 35,79 |
| 610 | 610000 | 484 | 0,242 | 0,121% | 36,39 |
| 620 | 620000 | 496 | 0,248 | 0,124% | 36,98 |
| 630 | 630000 | 508 | 0,254 | 0,127% | 37,58 |
| 640 | 640000 | 529 | 0,2645 | 0,132% | 38,18 |
| 650 | 650000 | 561 | 0,2805 | 0,140% | 38,77 |
| 660 | 660000 | 592 | 0,296 | 0,148% | 39,37 |
| 670 | 670000 | 624 | 0,312 | 0,156% | 39,97 |
| 680 | 680000 | 657 | 0,3285 | 0,164% | 40,56 |
| 689,3 | 689300 | 688 | 0,344 | 0,172% | 41,12 |
| 680 | 680000 | 718 | 0,359 | 0,180% | 40,56 |
| 670 | 670000 | 744 | 0,372 | 0,186% | 39,97 |
| 660 | 660000 | 767 | 0,3835 | 0,192% | 39,37 |
| 650 | 650000 | 784 | 0,392 | 0,196% | 38,77 |
| 640 | 640000 | 802 | 0,401 | 0,201% | 38,18 |
| 630 | 630000 | 814 | 0,407 | 0,204% | 37,58 |
| 620 | 620000 | 828 | 0,414 | 0,207% | 36,98 |
| 610 | 610000 | 841 | 0,4205 | 0,210% | 36,39 |
| 600 | 600000 | 856 | 0,428 | 0,214% | 35,79 |



Gambar L.6.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V02-1

Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V02-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 9 | 0,0045 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 15 | 0,0075 | 0,004% | 1,69 |
| 40 | 40000 | 21 | 0,0105 | 0,005% | 2,25 |
| 50 | 50000 | 28 | 0,014 | 0,007% | 2,82 |
| 60 | 60000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 3,38 |
| 70 | 70000 | 42 | 0,021 | 0,011% | 3,95 |
| 80 | 80000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 4,51 |
| 90 | 90000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 5,07 |
| 100 | 100000 | 66 | 0,033 | 0,017% | 5,64 |
| 110 | 110000 | 73 | 0,0365 | 0,018% | 6,20 |
| 120 | 120000 | 80 | 0,04 | 0,020% | 6,76 |
| 130 | 130000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 7,33 |
| 140 | 140000 | 93 | 0,0465 | 0,023% | 7,89 |
| 150 | 150000 | 99 | 0,0495 | 0,025% | 8,45 |
| 160 | 160000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 9,02 |
| 170 | 170000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 9,58 |
| 180 | 180000 | 115 | 0,0575 | 0,029% | 10,15 |
| 190 | 190000 | 120 | 0,06 | 0,030% | 10,71 |
| 200 | 200000 | 126 | 0,063 | 0,032% | 11,27 |
| 210 | 210000 | 132 | 0,066 | 0,033% | 11,84 |
| 220 | 220000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 12,40 |
| 230 | 230000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 12,96 |
| 240 | 240000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 13,53 |
| 250 | 250000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 14,09 |
| 260 | 260000 | 167 | 0,0835 | 0,042% | 14,65 |
| 270 | 270000 | 174 | 0,087 | 0,044% | 15,22 |

Lanjutan Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V02-2

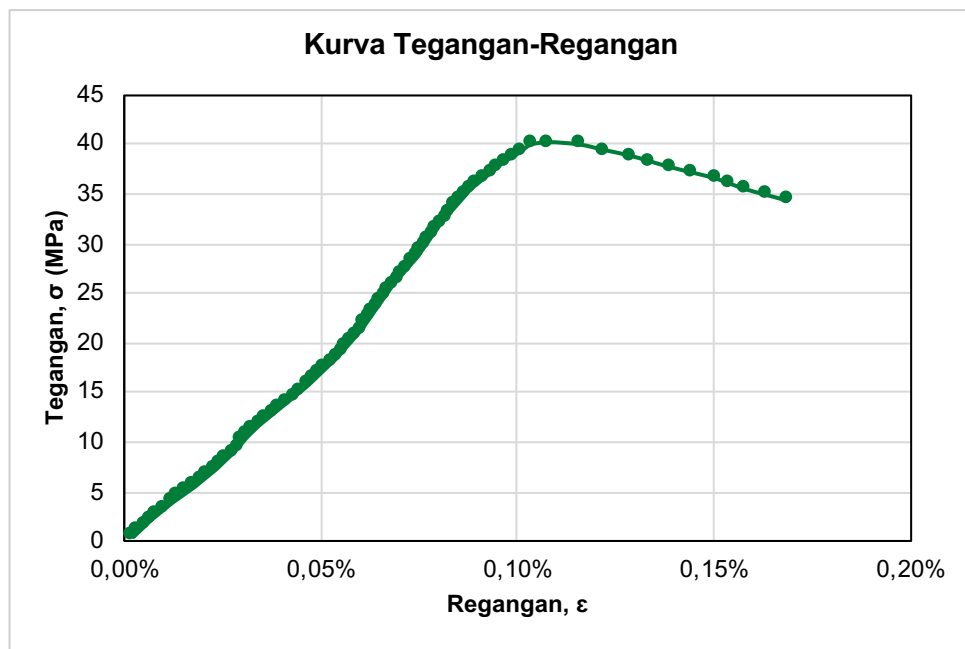
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 15,78 |
| 290 | 290000 | 187 | 0,0935 | 0,047% | 16,35 |
| 300 | 300000 | 193 | 0,0965 | 0,048% | 16,91 |
| 310 | 310000 | 199 | 0,0995 | 0,050% | 17,47 |
| 320 | 320000 | 205 | 0,1025 | 0,051% | 18,04 |
| 330 | 330000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 18,60 |
| 340 | 340000 | 216 | 0,108 | 0,054% | 19,16 |
| 350 | 350000 | 221 | 0,1105 | 0,055% | 19,73 |
| 360 | 360000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 20,29 |
| 370 | 370000 | 231 | 0,1155 | 0,058% | 20,85 |
| 380 | 380000 | 236 | 0,118 | 0,059% | 21,42 |
| 390 | 390000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 21,98 |
| 400 | 400000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 22,55 |
| 410 | 410000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 23,11 |
| 420 | 420000 | 252 | 0,126 | 0,063% | 23,67 |
| 430 | 430000 | 256 | 0,128 | 0,064% | 24,24 |
| 440 | 440000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 24,80 |
| 450 | 450000 | 264 | 0,132 | 0,066% | 25,36 |
| 460 | 460000 | 268 | 0,134 | 0,067% | 25,93 |
| 470 | 470000 | 273 | 0,1365 | 0,068% | 26,49 |
| 480 | 480000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 27,05 |
| 490 | 490000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 27,62 |
| 500 | 500000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 28,18 |
| 510 | 510000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 28,75 |
| 520 | 520000 | 297 | 0,1485 | 0,074% | 29,31 |
| 530 | 530000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 29,87 |
| 540 | 540000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 30,44 |

Lanjutan Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V02-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 31,00 |
| 560 | 560000 | 313 | 0,1565 | 0,078% | 31,56 |
| 570 | 570000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 32,13 |
| 580 | 580000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 32,69 |
| 590 | 590000 | 327 | 0,1635 | 0,082% | 33,25 |
| 600 | 600000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 33,82 |
| 610 | 610000 | 337 | 0,1685 | 0,084% | 34,38 |
| 620 | 620000 | 342 | 0,171 | 0,086% | 34,94 |
| 630 | 630000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 35,51 |
| 640 | 640000 | 354 | 0,177 | 0,089% | 36,07 |
| 650 | 650000 | 361 | 0,1805 | 0,090% | 36,64 |
| 660 | 660000 | 368 | 0,184 | 0,092% | 37,20 |
| 670 | 670000 | 375 | 0,1875 | 0,094% | 37,76 |
| 680 | 680000 | 382 | 0,191 | 0,096% | 38,33 |
| 690 | 690000 | 392 | 0,196 | 0,098% | 38,89 |
| 700 | 700000 | 400 | 0,2 | 0,100% | 39,45 |
| 710 | 710000 | 409 | 0,2045 | 0,102% | 40,02 |
| 714,2 | 714200 | 427 | 0,2135 | 0,107% | 40,25 |
| 710 | 710000 | 458 | 0,229 | 0,115% | 40,02 |
| 700 | 700000 | 484 | 0,242 | 0,121% | 39,45 |
| 690 | 690000 | 510 | 0,255 | 0,128% | 38,89 |
| 680 | 680000 | 530 | 0,265 | 0,133% | 38,33 |
| 670 | 670000 | 550 | 0,275 | 0,138% | 37,76 |
| 660 | 660000 | 573 | 0,2865 | 0,143% | 37,20 |
| 650 | 650000 | 596 | 0,298 | 0,149% | 36,64 |
| 640 | 640000 | 612 | 0,306 | 0,153% | 36,07 |
| 630 | 630000 | 628 | 0,314 | 0,157% | 35,51 |

Lanjutan Tabel L.6.2 Analisis Beton Variasi V02-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 620 | 620000 | 649 | 0,3245 | 0,162% | 34,94 |
| 610 | 610000 | 670 | 0,335 | 0,168% | 34,38 |



Gambar L.6.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V02-2

Tabel L.6.3 Analisis Beton Variasi V02-3

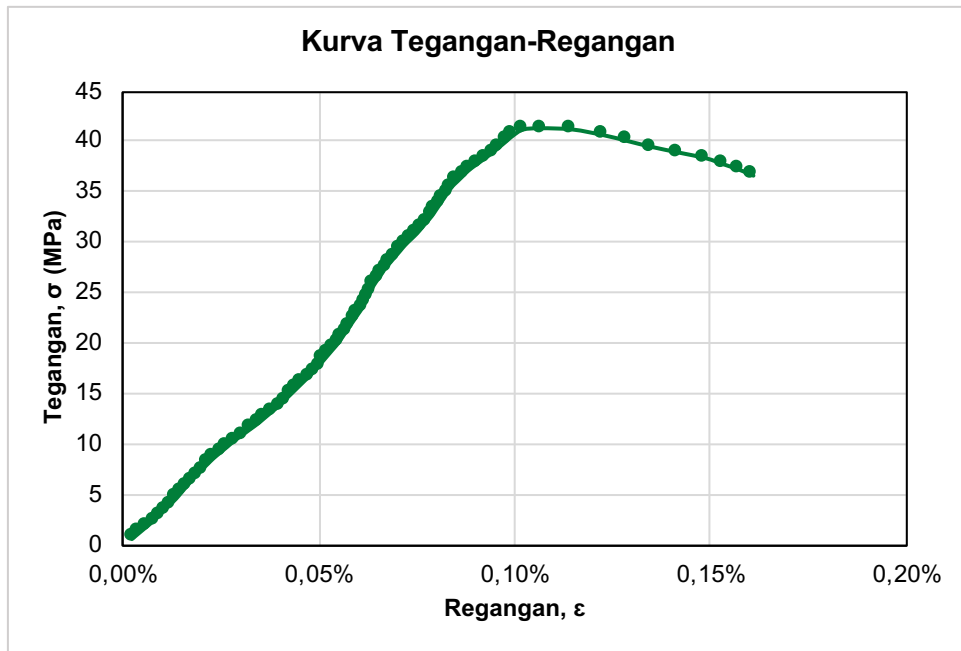
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 4 | 0,002 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,14 |
| 30 | 30000 | 18 | 0,009 | 0,005% | 1,72 |
| 40 | 40000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,29 |
| 50 | 50000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 2,86 |
| 60 | 60000 | 37 | 0,0185 | 0,009% | 3,43 |
| 70 | 70000 | 43 | 0,0215 | 0,011% | 4,00 |
| 80 | 80000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 4,58 |
| 90 | 90000 | 54 | 0,027 | 0,014% | 5,15 |
| 100 | 100000 | 59 | 0,0295 | 0,015% | 5,72 |
| 110 | 110000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 6,29 |
| 120 | 120000 | 69 | 0,0345 | 0,017% | 6,86 |
| 130 | 130000 | 75 | 0,0375 | 0,019% | 7,44 |
| 140 | 140000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 8,01 |
| 150 | 150000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 8,58 |
| 160 | 160000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 9,15 |
| 170 | 170000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 9,72 |
| 180 | 180000 | 108 | 0,054 | 0,027% | 10,30 |
| 190 | 190000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 10,87 |
| 200 | 200000 | 124 | 0,062 | 0,031% | 11,44 |
| 210 | 210000 | 132 | 0,066 | 0,033% | 12,01 |
| 220 | 220000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 12,58 |
| 230 | 230000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 13,16 |
| 240 | 240000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 13,73 |
| 250 | 250000 | 159 | 0,0795 | 0,040% | 14,30 |
| 260 | 260000 | 165 | 0,0825 | 0,041% | 14,87 |
| 270 | 270000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 15,44 |

Lanjutan Tabel L.6.3 Analisis Beton Variasi V02-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 177 | 0,0885 | 0,044% | 16,02 |
| 290 | 290000 | 183 | 0,0915 | 0,046% | 16,59 |
| 300 | 300000 | 189 | 0,0945 | 0,047% | 17,16 |
| 310 | 310000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 17,73 |
| 320 | 320000 | 199 | 0,0995 | 0,050% | 18,30 |
| 330 | 330000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 18,87 |
| 340 | 340000 | 209 | 0,1045 | 0,052% | 19,45 |
| 350 | 350000 | 214 | 0,107 | 0,054% | 20,02 |
| 360 | 360000 | 218 | 0,109 | 0,055% | 20,59 |
| 370 | 370000 | 222 | 0,111 | 0,056% | 21,16 |
| 380 | 380000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 21,73 |
| 390 | 390000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 22,31 |
| 400 | 400000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 22,88 |
| 410 | 410000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 23,45 |
| 420 | 420000 | 241 | 0,1205 | 0,060% | 24,02 |
| 430 | 430000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 24,59 |
| 440 | 440000 | 247 | 0,1235 | 0,062% | 25,17 |
| 450 | 450000 | 250 | 0,125 | 0,063% | 25,74 |
| 460 | 460000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 26,31 |
| 470 | 470000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 26,88 |
| 480 | 480000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 27,45 |
| 490 | 490000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 28,03 |
| 500 | 500000 | 272 | 0,136 | 0,068% | 28,60 |
| 510 | 510000 | 277 | 0,1385 | 0,069% | 29,17 |
| 520 | 520000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 29,74 |
| 530 | 530000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 30,31 |
| 540 | 540000 | 294 | 0,147 | 0,074% | 30,89 |

Lanjutan Tabel L.6.3 Analisis Beton Variasi V02-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 299 | 0,1495 | 0,075% | 31,46 |
| 560 | 560000 | 304 | 0,152 | 0,076% | 32,03 |
| 570 | 570000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 32,60 |
| 580 | 580000 | 313 | 0,1565 | 0,078% | 33,17 |
| 590 | 590000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 33,75 |
| 600 | 600000 | 321 | 0,1605 | 0,080% | 34,32 |
| 610 | 610000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 34,89 |
| 620 | 620000 | 329 | 0,1645 | 0,082% | 35,46 |
| 630 | 630000 | 335 | 0,1675 | 0,084% | 36,03 |
| 640 | 640000 | 341 | 0,1705 | 0,085% | 36,61 |
| 650 | 650000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 37,18 |
| 660 | 660000 | 355 | 0,1775 | 0,089% | 37,75 |
| 670 | 670000 | 363 | 0,1815 | 0,091% | 38,32 |
| 680 | 680000 | 371 | 0,1855 | 0,093% | 38,89 |
| 690 | 690000 | 378 | 0,189 | 0,095% | 39,47 |
| 700 | 700000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 40,04 |
| 710 | 710000 | 392 | 0,196 | 0,098% | 40,61 |
| 720 | 720000 | 402 | 0,201 | 0,101% | 41,18 |
| 722,2 | 722200 | 420 | 0,21 | 0,105% | 41,31 |
| 720 | 720000 | 452 | 0,226 | 0,113% | 41,18 |
| 710 | 710000 | 484 | 0,242 | 0,121% | 40,61 |
| 700 | 700000 | 508 | 0,254 | 0,127% | 40,04 |
| 690 | 690000 | 532 | 0,266 | 0,133% | 39,47 |
| 680 | 680000 | 560 | 0,28 | 0,140% | 38,89 |
| 670 | 670000 | 588 | 0,294 | 0,147% | 38,32 |
| 660 | 660000 | 605 | 0,3025 | 0,151% | 37,75 |
| 650 | 650000 | 622 | 0,311 | 0,156% | 37,18 |



Gambar L.6.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V02-3

Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V02-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 5 | 0,0025 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 2,83 |
| 60 | 60000 | 37 | 0,0185 | 0,009% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 3,96 |
| 80 | 80000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 54 | 0,027 | 0,014% | 5,09 |
| 100 | 100000 | 59 | 0,0295 | 0,015% | 5,65 |
| 110 | 110000 | 63 | 0,0315 | 0,016% | 6,22 |
| 120 | 120000 | 67 | 0,0335 | 0,017% | 6,78 |
| 130 | 130000 | 71 | 0,0355 | 0,018% | 7,35 |
| 140 | 140000 | 75 | 0,0375 | 0,019% | 7,91 |
| 150 | 150000 | 79 | 0,0395 | 0,020% | 8,48 |
| 160 | 160000 | 85 | 0,0425 | 0,021% | 9,04 |
| 170 | 170000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 9,61 |
| 180 | 180000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 10,17 |
| 190 | 190000 | 100 | 0,05 | 0,025% | 10,74 |
| 200 | 200000 | 104 | 0,052 | 0,026% | 11,30 |
| 210 | 210000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 11,87 |
| 220 | 220000 | 118 | 0,059 | 0,030% | 12,43 |
| 230 | 230000 | 125 | 0,0625 | 0,031% | 13,00 |
| 240 | 240000 | 131 | 0,0655 | 0,033% | 13,56 |
| 250 | 250000 | 137 | 0,0685 | 0,034% | 14,13 |
| 260 | 260000 | 143 | 0,0715 | 0,036% | 14,69 |
| 270 | 270000 | 149 | 0,0745 | 0,037% | 15,26 |

Lanjutan Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V02-4

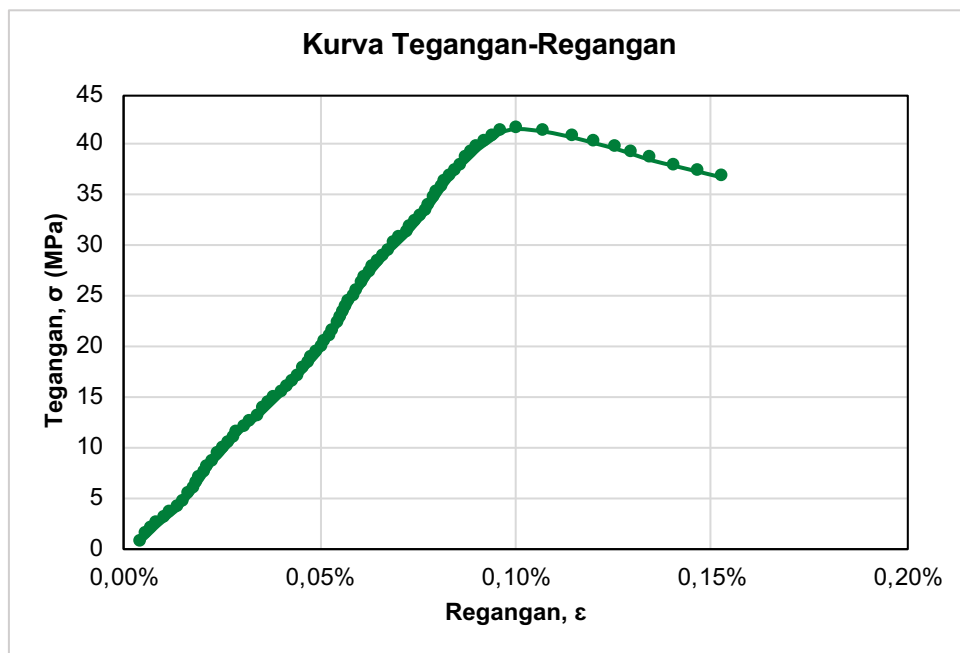
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 155 | 0,0775 | 0,039% | 15,82 |
| 290 | 290000 | 161 | 0,0805 | 0,040% | 16,39 |
| 300 | 300000 | 166 | 0,083 | 0,042% | 16,95 |
| 310 | 310000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 17,52 |
| 320 | 320000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 18,08 |
| 330 | 330000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 18,65 |
| 340 | 340000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 19,21 |
| 350 | 350000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 19,78 |
| 360 | 360000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 20,34 |
| 370 | 370000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 20,91 |
| 380 | 380000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 21,47 |
| 390 | 390000 | 206 | 0,103 | 0,052% | 22,04 |
| 400 | 400000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 22,61 |
| 410 | 410000 | 213 | 0,1065 | 0,053% | 23,17 |
| 420 | 420000 | 216 | 0,108 | 0,054% | 23,74 |
| 430 | 430000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 24,30 |
| 440 | 440000 | 223 | 0,1115 | 0,056% | 24,87 |
| 450 | 450000 | 227 | 0,1135 | 0,057% | 25,43 |
| 460 | 460000 | 231 | 0,1155 | 0,058% | 26,00 |
| 470 | 470000 | 235 | 0,1175 | 0,059% | 26,56 |
| 480 | 480000 | 239 | 0,1195 | 0,060% | 27,13 |
| 490 | 490000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 27,69 |
| 500 | 500000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 28,26 |
| 510 | 510000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 28,82 |
| 520 | 520000 | 259 | 0,1295 | 0,065% | 29,39 |
| 530 | 530000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 29,95 |
| 540 | 540000 | 271 | 0,1355 | 0,068% | 30,52 |

Lanjutan Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V02-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 277 | 0,1385 | 0,069% | 31,08 |
| 560 | 560000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 31,65 |
| 570 | 570000 | 287 | 0,1435 | 0,072% | 32,21 |
| 580 | 580000 | 292 | 0,146 | 0,073% | 32,78 |
| 590 | 590000 | 297 | 0,1485 | 0,074% | 33,34 |
| 600 | 600000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 33,91 |
| 610 | 610000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 34,47 |
| 620 | 620000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 35,04 |
| 630 | 630000 | 313 | 0,1565 | 0,078% | 35,60 |
| 640 | 640000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 36,17 |
| 650 | 650000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 36,73 |
| 660 | 660000 | 327 | 0,1635 | 0,082% | 37,30 |
| 670 | 670000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 37,86 |
| 680 | 680000 | 338 | 0,169 | 0,085% | 38,43 |
| 690 | 690000 | 344 | 0,172 | 0,086% | 38,99 |
| 700 | 700000 | 350 | 0,175 | 0,088% | 39,56 |
| 710 | 710000 | 358 | 0,179 | 0,090% | 40,12 |
| 720 | 720000 | 366 | 0,183 | 0,092% | 40,69 |
| 730 | 730000 | 374 | 0,187 | 0,094% | 41,25 |
| 735,1 | 735100 | 390 | 0,195 | 0,098% | 41,54 |
| 730 | 730000 | 418 | 0,209 | 0,105% | 41,25 |
| 720 | 720000 | 446 | 0,223 | 0,112% | 40,69 |
| 710 | 710000 | 468 | 0,234 | 0,117% | 40,12 |
| 700 | 700000 | 490 | 0,245 | 0,123% | 39,56 |
| 690 | 690000 | 508 | 0,254 | 0,127% | 38,99 |
| 680 | 680000 | 526 | 0,263 | 0,132% | 38,43 |
| 670 | 670000 | 550 | 0,275 | 0,138% | 37,86 |

Lanjutan Tabel L.6.4 Analisis Beton Variasi V02-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 660 | 660000 | 574 | 0,287 | 0,144% | 37,30 |
| 650 | 650000 | 598 | 0,299 | 0,150% | 36,73 |



Gambar L.6.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V02-4

Tabel L.6.5 Analisis Beton Variasi V02-5

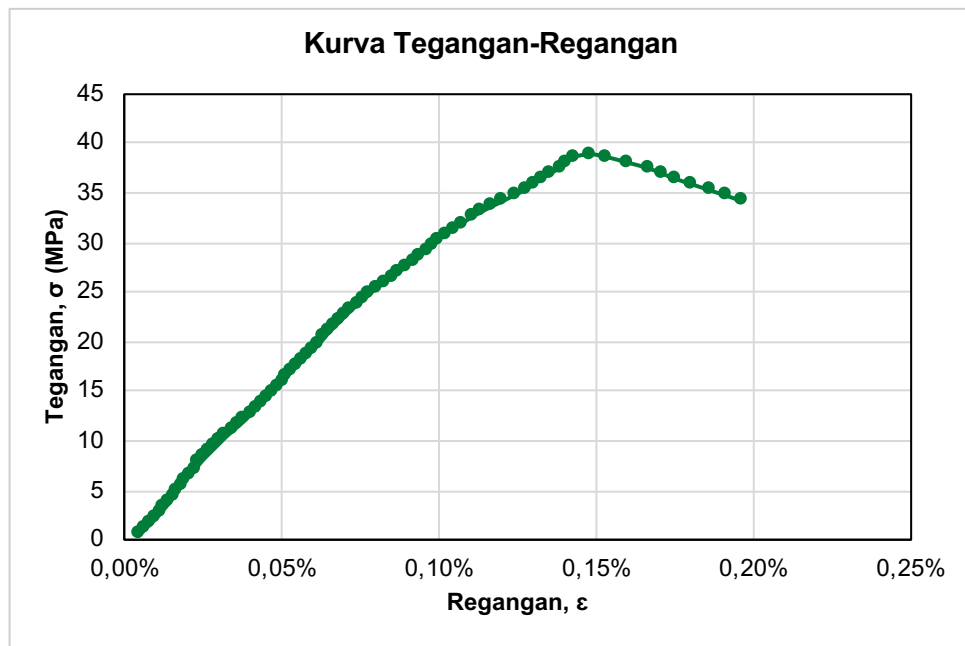
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,55 |
| 20 | 20000 | 10 | 0,005 | 0,003% | 1,10 |
| 30 | 30000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 1,65 |
| 40 | 40000 | 24 | 0,012 | 0,006% | 2,20 |
| 50 | 50000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 2,75 |
| 60 | 60000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 3,30 |
| 70 | 70000 | 42 | 0,021 | 0,011% | 3,85 |
| 80 | 80000 | 47 | 0,0235 | 0,012% | 4,40 |
| 90 | 90000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 4,95 |
| 100 | 100000 | 57 | 0,0285 | 0,014% | 5,50 |
| 110 | 110000 | 62 | 0,031 | 0,016% | 6,05 |
| 120 | 120000 | 68 | 0,034 | 0,017% | 6,60 |
| 130 | 130000 | 74 | 0,037 | 0,019% | 7,15 |
| 140 | 140000 | 80 | 0,04 | 0,020% | 7,71 |
| 150 | 150000 | 86 | 0,043 | 0,022% | 8,26 |
| 160 | 160000 | 93 | 0,0465 | 0,023% | 8,81 |
| 170 | 170000 | 100 | 0,05 | 0,025% | 9,36 |
| 180 | 180000 | 107 | 0,0535 | 0,027% | 9,91 |
| 190 | 190000 | 114 | 0,057 | 0,029% | 10,46 |
| 200 | 200000 | 122 | 0,061 | 0,031% | 11,01 |
| 210 | 210000 | 130 | 0,065 | 0,033% | 11,56 |
| 220 | 220000 | 138 | 0,069 | 0,035% | 12,11 |
| 230 | 230000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 12,66 |
| 240 | 240000 | 152 | 0,076 | 0,038% | 13,21 |
| 250 | 250000 | 159 | 0,0795 | 0,040% | 13,76 |
| 260 | 260000 | 166 | 0,083 | 0,042% | 14,31 |
| 270 | 270000 | 173 | 0,0865 | 0,043% | 14,86 |

Lanjutan Tabel L.6.5 Analisis Beton Variasi V02-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 180 | 0,09 | 0,045% | 15,41 |
| 290 | 290000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 15,96 |
| 300 | 300000 | 192 | 0,096 | 0,048% | 16,51 |
| 310 | 310000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 17,06 |
| 320 | 320000 | 205 | 0,1025 | 0,051% | 17,61 |
| 330 | 330000 | 212 | 0,106 | 0,053% | 18,16 |
| 340 | 340000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 18,71 |
| 350 | 350000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 19,26 |
| 360 | 360000 | 233 | 0,1165 | 0,058% | 19,81 |
| 370 | 370000 | 239 | 0,1195 | 0,060% | 20,36 |
| 380 | 380000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 20,91 |
| 390 | 390000 | 252 | 0,126 | 0,063% | 21,46 |
| 400 | 400000 | 259 | 0,1295 | 0,065% | 22,01 |
| 410 | 410000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 22,57 |
| 420 | 420000 | 273 | 0,1365 | 0,068% | 23,12 |
| 430 | 430000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 23,67 |
| 440 | 440000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 24,22 |
| 450 | 450000 | 297 | 0,1485 | 0,074% | 24,77 |
| 460 | 460000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 25,32 |
| 470 | 470000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 25,87 |
| 480 | 480000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 26,42 |
| 490 | 490000 | 334 | 0,167 | 0,084% | 26,97 |
| 500 | 500000 | 343 | 0,1715 | 0,086% | 27,52 |
| 510 | 510000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 28,07 |
| 520 | 520000 | 361 | 0,1805 | 0,090% | 28,62 |
| 530 | 530000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 29,17 |
| 540 | 540000 | 377 | 0,1885 | 0,094% | 29,72 |

Lanjutan Tabel L.6.5 Analisis Beton Variasi V02-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 30,27 |
| 560 | 560000 | 394 | 0,197 | 0,099% | 30,82 |
| 570 | 570000 | 403 | 0,2015 | 0,101% | 31,37 |
| 580 | 580000 | 415 | 0,2075 | 0,104% | 31,92 |
| 590 | 590000 | 427 | 0,2135 | 0,107% | 32,47 |
| 600 | 600000 | 439 | 0,2195 | 0,110% | 33,02 |
| 610 | 610000 | 453 | 0,2265 | 0,113% | 33,57 |
| 620 | 620000 | 467 | 0,2335 | 0,117% | 34,12 |
| 630 | 630000 | 481 | 0,2405 | 0,120% | 34,67 |
| 640 | 640000 | 495 | 0,2475 | 0,124% | 35,22 |
| 650 | 650000 | 505 | 0,2525 | 0,126% | 35,77 |
| 660 | 660000 | 515 | 0,2575 | 0,129% | 36,32 |
| 670 | 670000 | 527 | 0,2635 | 0,132% | 36,87 |
| 680 | 680000 | 539 | 0,2695 | 0,135% | 37,42 |
| 690 | 690000 | 548 | 0,274 | 0,137% | 37,98 |
| 700 | 700000 | 557 | 0,2785 | 0,139% | 38,53 |
| 705,1 | 705100 | 578 | 0,289 | 0,145% | 38,81 |
| 700 | 700000 | 599 | 0,2995 | 0,150% | 38,53 |
| 690 | 690000 | 625 | 0,3125 | 0,156% | 37,98 |
| 680 | 680000 | 651 | 0,3255 | 0,163% | 37,42 |
| 670 | 670000 | 669 | 0,3345 | 0,167% | 36,87 |
| 660 | 660000 | 687 | 0,3435 | 0,172% | 36,32 |
| 650 | 650000 | 708 | 0,354 | 0,177% | 35,77 |
| 640 | 640000 | 729 | 0,3645 | 0,182% | 35,22 |
| 630 | 630000 | 750 | 0,375 | 0,188% | 34,67 |
| 620 | 620000 | 771 | 0,3855 | 0,193% | 34,12 |



Gambar L.6.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V02-5

Lampiran 7 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-03

Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V03-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,11 |
| 30 | 30000 | 12 | 0,006 | 0,003% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 18 | 0,009 | 0,005% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 24 | 0,012 | 0,006% | 2,78 |
| 60 | 60000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 3,34 |
| 70 | 70000 | 37 | 0,0185 | 0,009% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 51 | 0,0255 | 0,013% | 5,01 |
| 100 | 100000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 5,57 |
| 110 | 110000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 70 | 0,035 | 0,018% | 6,68 |
| 130 | 130000 | 76 | 0,038 | 0,019% | 7,24 |
| 140 | 140000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 7,80 |
| 150 | 150000 | 86 | 0,043 | 0,022% | 8,35 |
| 160 | 160000 | 91 | 0,0455 | 0,023% | 8,91 |
| 170 | 170000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 9,47 |
| 180 | 180000 | 103 | 0,0515 | 0,026% | 10,02 |
| 190 | 190000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 10,58 |
| 200 | 200000 | 117 | 0,0585 | 0,029% | 11,14 |
| 210 | 210000 | 126 | 0,063 | 0,032% | 11,70 |
| 220 | 220000 | 135 | 0,0675 | 0,034% | 12,25 |
| 230 | 230000 | 144 | 0,072 | 0,036% | 12,81 |
| 240 | 240000 | 152 | 0,076 | 0,038% | 13,37 |
| 250 | 250000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 13,92 |

Lanjutan Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V03-1

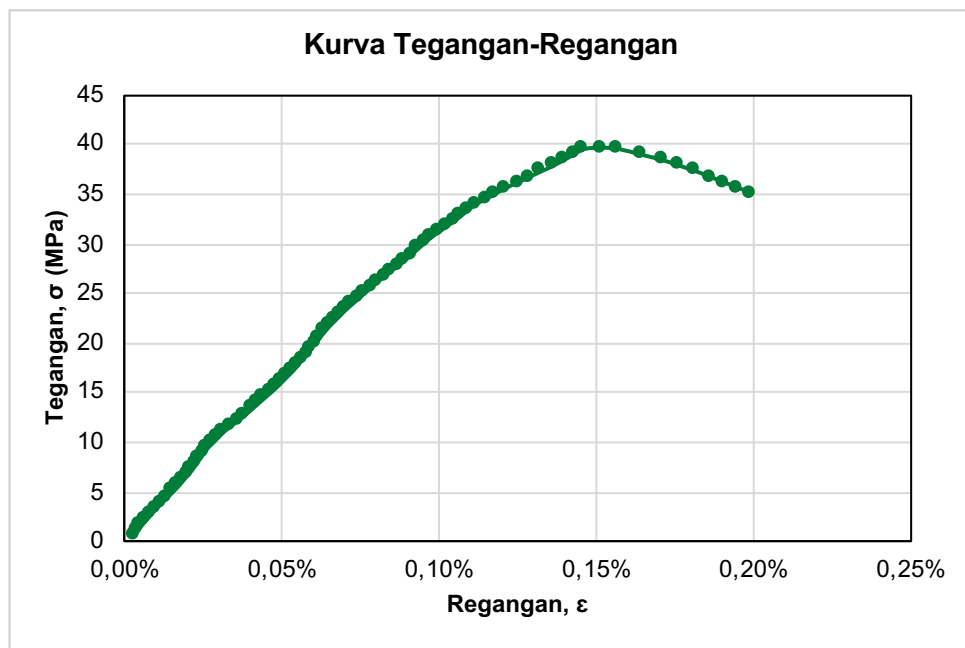
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 168 | 0,084 | 0,042% | 14,48 |
| 270 | 270000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 15,04 |
| 280 | 280000 | 184 | 0,092 | 0,046% | 15,59 |
| 290 | 290000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 16,15 |
| 300 | 300000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 16,71 |
| 310 | 310000 | 205 | 0,1025 | 0,051% | 17,27 |
| 320 | 320000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 17,82 |
| 330 | 330000 | 217 | 0,1085 | 0,054% | 18,38 |
| 340 | 340000 | 223 | 0,1115 | 0,056% | 18,94 |
| 350 | 350000 | 228 | 0,114 | 0,057% | 19,49 |
| 360 | 360000 | 233 | 0,1165 | 0,058% | 20,05 |
| 370 | 370000 | 239 | 0,1195 | 0,060% | 20,61 |
| 380 | 380000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 21,16 |
| 390 | 390000 | 251 | 0,1255 | 0,063% | 21,72 |
| 400 | 400000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 22,28 |
| 410 | 410000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 22,83 |
| 420 | 420000 | 272 | 0,136 | 0,068% | 23,39 |
| 430 | 430000 | 280 | 0,14 | 0,070% | 23,95 |
| 440 | 440000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 24,51 |
| 450 | 450000 | 296 | 0,148 | 0,074% | 25,06 |
| 460 | 460000 | 304 | 0,152 | 0,076% | 25,62 |
| 470 | 470000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 26,18 |
| 480 | 480000 | 321 | 0,1605 | 0,080% | 26,73 |
| 490 | 490000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 27,29 |
| 500 | 500000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 27,85 |
| 510 | 510000 | 348 | 0,174 | 0,087% | 28,40 |
| 520 | 520000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 28,96 |

Lanjutan Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V03-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 364 | 0,182 | 0,091% | 29,52 |
| 540 | 540000 | 372 | 0,186 | 0,093% | 30,07 |
| 550 | 550000 | 380 | 0,19 | 0,095% | 30,63 |
| 560 | 560000 | 390 | 0,195 | 0,098% | 31,19 |
| 570 | 570000 | 400 | 0,2 | 0,100% | 31,75 |
| 580 | 580000 | 410 | 0,205 | 0,103% | 32,30 |
| 590 | 590000 | 419 | 0,2095 | 0,105% | 32,86 |
| 600 | 600000 | 428 | 0,214 | 0,107% | 33,42 |
| 610 | 610000 | 437 | 0,2185 | 0,109% | 33,97 |
| 620 | 620000 | 450 | 0,225 | 0,113% | 34,53 |
| 630 | 630000 | 463 | 0,2315 | 0,116% | 35,09 |
| 640 | 640000 | 476 | 0,238 | 0,119% | 35,64 |
| 650 | 650000 | 491 | 0,2455 | 0,123% | 36,20 |
| 660 | 660000 | 506 | 0,253 | 0,127% | 36,76 |
| 670 | 670000 | 521 | 0,2605 | 0,130% | 37,31 |
| 680 | 680000 | 536 | 0,268 | 0,134% | 37,87 |
| 690 | 690000 | 549 | 0,2745 | 0,137% | 38,43 |
| 700 | 700000 | 562 | 0,281 | 0,141% | 38,99 |
| 710 | 710000 | 575 | 0,2875 | 0,144% | 39,54 |
| 712,4 | 712400 | 597 | 0,2985 | 0,149% | 39,68 |
| 710 | 710000 | 619 | 0,3095 | 0,155% | 39,54 |
| 700 | 700000 | 647 | 0,3235 | 0,162% | 38,99 |
| 690 | 690000 | 675 | 0,3375 | 0,169% | 38,43 |
| 680 | 680000 | 696 | 0,348 | 0,174% | 37,87 |
| 670 | 670000 | 717 | 0,3585 | 0,179% | 37,31 |
| 660 | 660000 | 735 | 0,3675 | 0,184% | 36,76 |
| 650 | 650000 | 753 | 0,3765 | 0,188% | 36,20 |

Lanjutan Tabel L.7.1 Analisis Beton Variasi V03-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 640 | 640000 | 771 | 0,3855 | 0,193% | 35,64 |
| 630 | 630000 | 789 | 0,3945 | 0,197% | 35,09 |



Gambar L.7.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V03-1

Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V03-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 16 | 0,008 | 0,004% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 21 | 0,0105 | 0,005% | 2,83 |
| 60 | 60000 | 26 | 0,013 | 0,007% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 32 | 0,016 | 0,008% | 3,96 |
| 80 | 80000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 5,09 |
| 100 | 100000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,65 |
| 110 | 110000 | 57 | 0,0285 | 0,014% | 6,22 |
| 120 | 120000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 6,78 |
| 130 | 130000 | 71 | 0,0355 | 0,018% | 7,35 |
| 140 | 140000 | 78 | 0,039 | 0,020% | 7,91 |
| 150 | 150000 | 84 | 0,042 | 0,021% | 8,48 |
| 160 | 160000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 9,04 |
| 170 | 170000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 9,61 |
| 180 | 180000 | 102 | 0,051 | 0,026% | 10,17 |
| 190 | 190000 | 109 | 0,0545 | 0,027% | 10,74 |
| 200 | 200000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 11,30 |
| 210 | 210000 | 123 | 0,0615 | 0,031% | 11,87 |
| 220 | 220000 | 131 | 0,0655 | 0,033% | 12,43 |
| 230 | 230000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 13,00 |
| 240 | 240000 | 147 | 0,0735 | 0,037% | 13,56 |
| 250 | 250000 | 155 | 0,0775 | 0,039% | 14,13 |
| 260 | 260000 | 162 | 0,081 | 0,041% | 14,69 |
| 270 | 270000 | 169 | 0,0845 | 0,042% | 15,26 |

Lanjutan Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V03-2

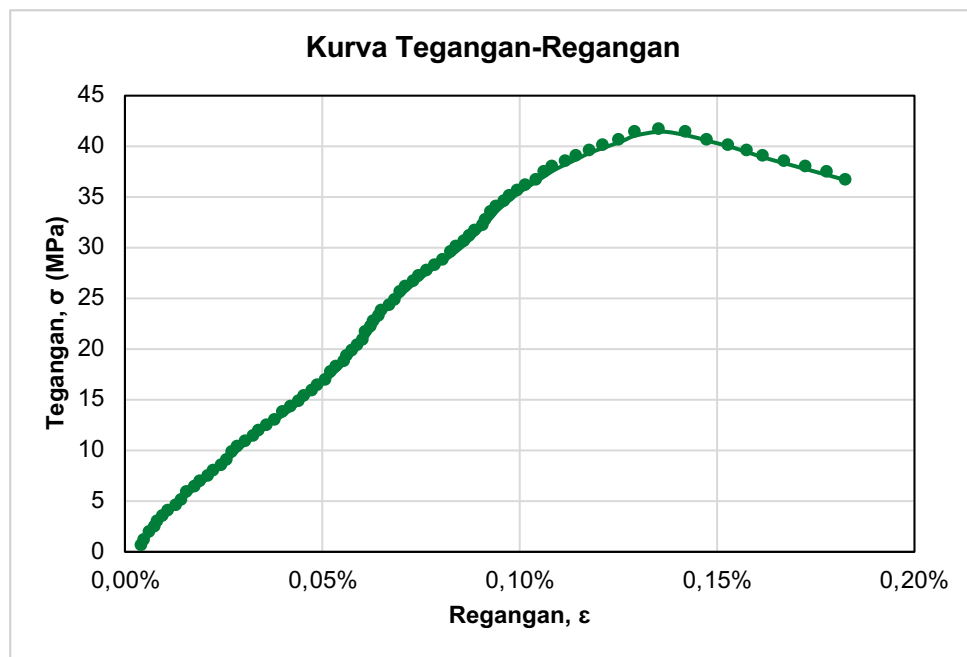
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 15,82 |
| 290 | 290000 | 183 | 0,0915 | 0,046% | 16,39 |
| 300 | 300000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 16,95 |
| 310 | 310000 | 196 | 0,098 | 0,049% | 17,52 |
| 320 | 320000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 18,08 |
| 330 | 330000 | 208 | 0,104 | 0,052% | 18,65 |
| 340 | 340000 | 213 | 0,1065 | 0,053% | 19,21 |
| 350 | 350000 | 218 | 0,109 | 0,055% | 19,78 |
| 360 | 360000 | 223 | 0,1115 | 0,056% | 20,34 |
| 370 | 370000 | 228 | 0,114 | 0,057% | 20,91 |
| 380 | 380000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 21,47 |
| 390 | 390000 | 236 | 0,118 | 0,059% | 22,04 |
| 400 | 400000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 22,61 |
| 410 | 410000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 23,17 |
| 420 | 420000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 23,74 |
| 430 | 430000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 24,30 |
| 440 | 440000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 24,87 |
| 450 | 450000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 25,43 |
| 460 | 460000 | 272 | 0,136 | 0,068% | 26,00 |
| 470 | 470000 | 279 | 0,1395 | 0,070% | 26,56 |
| 480 | 480000 | 286 | 0,143 | 0,072% | 27,13 |
| 490 | 490000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 27,69 |
| 500 | 500000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 28,26 |
| 510 | 510000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 28,82 |
| 520 | 520000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 29,39 |
| 530 | 530000 | 324 | 0,162 | 0,081% | 29,95 |
| 540 | 540000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 30,52 |

Lanjutan Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V03-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|--------------|---------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 337 | 0,1685 | 0,084% | 31,08 |
| 560 | 560000 | 343 | 0,1715 | 0,086% | 31,65 |
| 570 | 570000 | 349 | 0,1745 | 0,087% | 32,21 |
| 580 | 580000 | 354 | 0,177 | 0,089% | 32,78 |
| 590 | 590000 | 359 | 0,1795 | 0,090% | 33,34 |
| 600 | 600000 | 364 | 0,182 | 0,091% | 33,91 |
| 610 | 610000 | 371 | 0,1855 | 0,093% | 34,47 |
| 620 | 620000 | 378 | 0,189 | 0,095% | 35,04 |
| 630 | 630000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 35,60 |
| 640 | 640000 | 394 | 0,197 | 0,099% | 36,17 |
| 650 | 650000 | 403 | 0,2015 | 0,101% | 36,73 |
| 660 | 660000 | 412 | 0,206 | 0,103% | 37,30 |
| 670 | 670000 | 421 | 0,2105 | 0,105% | 37,86 |
| 680 | 680000 | 433 | 0,2165 | 0,108% | 38,43 |
| 690 | 690000 | 445 | 0,2225 | 0,111% | 38,99 |
| 700 | 700000 | 457 | 0,2285 | 0,114% | 39,56 |
| 710 | 710000 | 473 | 0,2365 | 0,118% | 40,12 |
| 720 | 720000 | 489 | 0,2445 | 0,122% | 40,69 |
| 730 | 730000 | 503 | 0,2515 | 0,126% | 41,25 |
| 736,7 | 736700 | 529 | 0,2645 | 0,132% | 41,63 |
| 730 | 730000 | 555 | 0,2775 | 0,139% | 41,25 |
| 720 | 720000 | 577 | 0,2885 | 0,144% | 40,69 |
| 710 | 710000 | 599 | 0,2995 | 0,150% | 40,12 |
| 700 | 700000 | 617 | 0,3085 | 0,154% | 39,56 |
| 690 | 690000 | 635 | 0,3175 | 0,159% | 38,99 |
| 680 | 680000 | 656 | 0,328 | 0,164% | 38,43 |
| 670 | 670000 | 677 | 0,3385 | 0,169% | 37,86 |

Lanjutan Tabel L.7.2 Analisis Beton Variasi V03-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 660 | 660000 | 698 | 0,349 | 0,175% | 37,30 |
| 650 | 650000 | 719 | 0,3595 | 0,180% | 36,73 |



Gambar L.7.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V03-2

Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V03-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 16 | 0,008 | 0,004% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 21 | 0,0105 | 0,005% | 2,83 |
| 60 | 60000 | 26 | 0,013 | 0,007% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 3,96 |
| 80 | 80000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 39 | 0,0195 | 0,010% | 5,09 |
| 100 | 100000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 5,65 |
| 110 | 110000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 6,22 |
| 120 | 120000 | 55 | 0,0275 | 0,014% | 6,78 |
| 130 | 130000 | 60 | 0,03 | 0,015% | 7,35 |
| 140 | 140000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 7,91 |
| 150 | 150000 | 71 | 0,0355 | 0,018% | 8,48 |
| 160 | 160000 | 77 | 0,0385 | 0,019% | 9,04 |
| 170 | 170000 | 82 | 0,041 | 0,021% | 9,61 |
| 180 | 180000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 10,17 |
| 190 | 190000 | 91 | 0,0455 | 0,023% | 10,74 |
| 200 | 200000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 11,30 |
| 210 | 210000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 11,87 |
| 220 | 220000 | 106 | 0,053 | 0,027% | 12,43 |
| 230 | 230000 | 112 | 0,056 | 0,028% | 13,00 |
| 240 | 240000 | 119 | 0,0595 | 0,030% | 13,56 |
| 250 | 250000 | 126 | 0,063 | 0,032% | 14,13 |
| 260 | 260000 | 134 | 0,067 | 0,034% | 14,69 |
| 270 | 270000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 15,26 |

Lanjutan Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V03-3

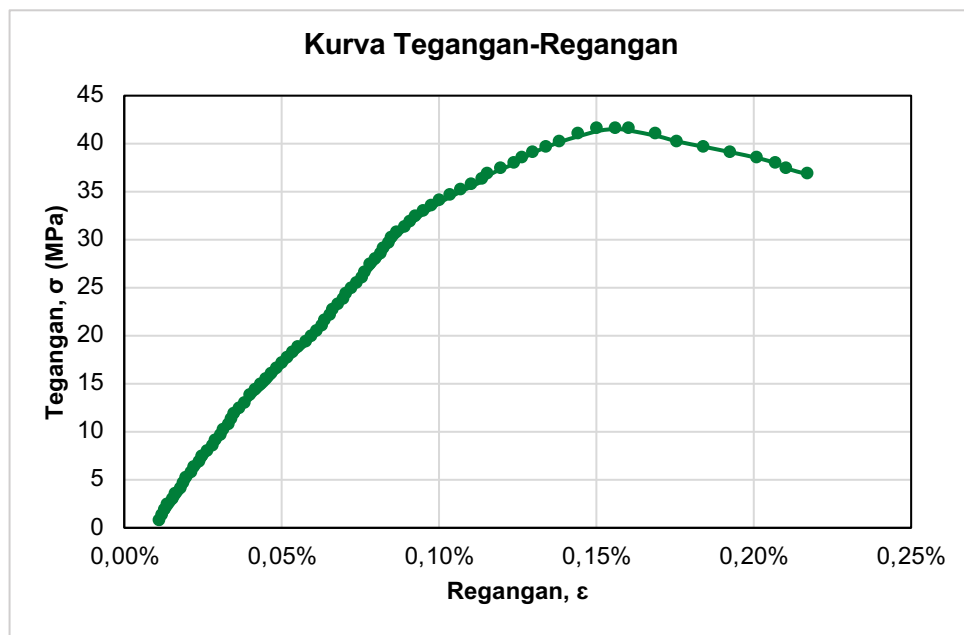
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 147 | 0,0735 | 0,037% | 15,82 |
| 290 | 290000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 16,39 |
| 300 | 300000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 16,95 |
| 310 | 310000 | 167 | 0,0835 | 0,042% | 17,52 |
| 320 | 320000 | 174 | 0,087 | 0,044% | 18,08 |
| 330 | 330000 | 182 | 0,091 | 0,046% | 18,65 |
| 340 | 340000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 19,21 |
| 350 | 350000 | 197 | 0,0985 | 0,049% | 19,78 |
| 360 | 360000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 20,34 |
| 370 | 370000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 20,91 |
| 380 | 380000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 21,47 |
| 390 | 390000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 22,04 |
| 400 | 400000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 22,61 |
| 410 | 410000 | 231 | 0,1155 | 0,058% | 23,17 |
| 420 | 420000 | 237 | 0,1185 | 0,059% | 23,74 |
| 430 | 430000 | 242 | 0,121 | 0,061% | 24,30 |
| 440 | 440000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 24,87 |
| 450 | 450000 | 255 | 0,1275 | 0,064% | 25,43 |
| 460 | 460000 | 261 | 0,1305 | 0,065% | 26,00 |
| 470 | 470000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 26,56 |
| 480 | 480000 | 273 | 0,1365 | 0,068% | 27,13 |
| 490 | 490000 | 279 | 0,1395 | 0,070% | 27,69 |
| 500 | 500000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 28,26 |
| 510 | 510000 | 290 | 0,145 | 0,073% | 28,82 |
| 520 | 520000 | 295 | 0,1475 | 0,074% | 29,39 |
| 530 | 530000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 29,95 |
| 540 | 540000 | 307 | 0,1535 | 0,077% | 30,52 |

Lanjutan Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V03-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 31,08 |
| 560 | 560000 | 323 | 0,1615 | 0,081% | 31,65 |
| 570 | 570000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 32,21 |
| 580 | 580000 | 340 | 0,17 | 0,085% | 32,78 |
| 590 | 590000 | 351 | 0,1755 | 0,088% | 33,34 |
| 600 | 600000 | 361 | 0,1805 | 0,090% | 33,91 |
| 610 | 610000 | 374 | 0,187 | 0,094% | 34,47 |
| 620 | 620000 | 388 | 0,194 | 0,097% | 35,04 |
| 630 | 630000 | 402 | 0,201 | 0,101% | 35,60 |
| 640 | 640000 | 416 | 0,208 | 0,104% | 36,17 |
| 650 | 650000 | 423 | 0,2115 | 0,106% | 36,73 |
| 660 | 660000 | 438 | 0,219 | 0,110% | 37,30 |
| 670 | 670000 | 454 | 0,227 | 0,114% | 37,86 |
| 680 | 680000 | 466 | 0,233 | 0,117% | 38,43 |
| 690 | 690000 | 478 | 0,239 | 0,120% | 38,99 |
| 700 | 700000 | 495 | 0,2475 | 0,124% | 39,56 |
| 710 | 710000 | 513 | 0,2565 | 0,128% | 40,12 |
| 720 | 720000 | 536 | 0,268 | 0,134% | 40,69 |
| 730 | 730000 | 562 | 0,281 | 0,141% | 41,25 |
| 733,1 | 733100 | 584 | 0,292 | 0,146% | 41,43 |
| 730 | 730000 | 601 | 0,3005 | 0,150% | 41,25 |
| 720 | 720000 | 636 | 0,318 | 0,159% | 40,69 |
| 710 | 710000 | 662 | 0,331 | 0,166% | 40,12 |
| 700 | 700000 | 697 | 0,3485 | 0,174% | 39,56 |
| 690 | 690000 | 731 | 0,3655 | 0,183% | 38,99 |
| 680 | 680000 | 763 | 0,3815 | 0,191% | 38,43 |
| 670 | 670000 | 788 | 0,394 | 0,197% | 37,86 |

Lanjutan Tabel L.7.3 Analisis Beton Variasi V03-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 660 | 660000 | 802 | 0,401 | 0,201% | 37,30 |
| 650 | 650000 | 828 | 0,414 | 0,207% | 36,73 |



Gambar L.7.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V03-3

Tabel L.7.4 Analisis Beton Variasi V03-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 4 | 0,002 | 0,001% | 0,54 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,08 |
| 30 | 30000 | 12 | 0,006 | 0,003% | 1,62 |
| 40 | 40000 | 18 | 0,009 | 0,005% | 2,16 |
| 50 | 50000 | 24 | 0,012 | 0,006% | 2,71 |
| 60 | 60000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 3,25 |
| 70 | 70000 | 37 | 0,0185 | 0,009% | 3,79 |
| 80 | 80000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 4,33 |
| 90 | 90000 | 51 | 0,0255 | 0,013% | 4,87 |
| 100 | 100000 | 59 | 0,0295 | 0,015% | 5,41 |
| 110 | 110000 | 67 | 0,0335 | 0,017% | 5,95 |
| 120 | 120000 | 75 | 0,0375 | 0,019% | 6,49 |
| 130 | 130000 | 82 | 0,041 | 0,021% | 7,03 |
| 140 | 140000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 7,58 |
| 150 | 150000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 8,12 |
| 160 | 160000 | 102 | 0,051 | 0,026% | 8,66 |
| 170 | 170000 | 108 | 0,054 | 0,027% | 9,20 |
| 180 | 180000 | 114 | 0,057 | 0,029% | 9,74 |
| 190 | 190000 | 121 | 0,0605 | 0,030% | 10,28 |
| 200 | 200000 | 128 | 0,064 | 0,032% | 10,82 |
| 210 | 210000 | 135 | 0,0675 | 0,034% | 11,36 |
| 220 | 220000 | 143 | 0,0715 | 0,036% | 11,90 |
| 230 | 230000 | 151 | 0,0755 | 0,038% | 12,44 |
| 240 | 240000 | 159 | 0,0795 | 0,040% | 12,99 |
| 250 | 250000 | 166 | 0,083 | 0,042% | 13,53 |
| 260 | 260000 | 173 | 0,0865 | 0,043% | 14,07 |
| 270 | 270000 | 180 | 0,09 | 0,045% | 14,61 |

Lanjutan Tabel L.7.4 Analisis Beton Variasi V03-4

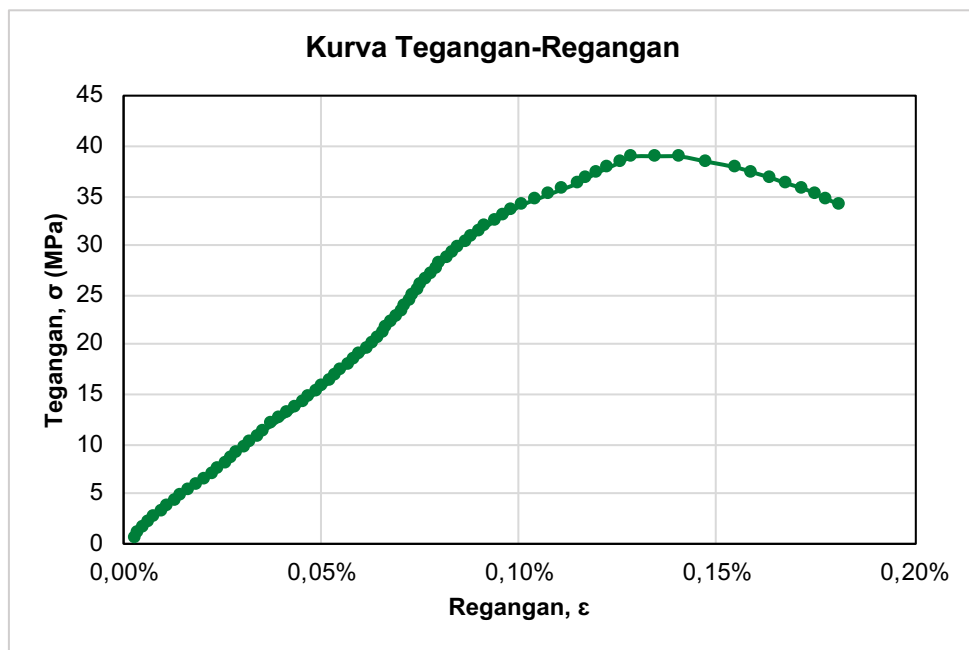
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 187 | 0,0935 | 0,047% | 15,15 |
| 290 | 290000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 15,69 |
| 300 | 300000 | 200 | 0,1 | 0,050% | 16,23 |
| 310 | 310000 | 206 | 0,103 | 0,052% | 16,77 |
| 320 | 320000 | 212 | 0,106 | 0,053% | 17,31 |
| 330 | 330000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 17,86 |
| 340 | 340000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 18,40 |
| 350 | 350000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 18,94 |
| 360 | 360000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 19,48 |
| 370 | 370000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 20,02 |
| 380 | 380000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 20,56 |
| 390 | 390000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 21,10 |
| 400 | 400000 | 259 | 0,1295 | 0,065% | 21,64 |
| 410 | 410000 | 264 | 0,132 | 0,066% | 22,18 |
| 420 | 420000 | 269 | 0,1345 | 0,067% | 22,73 |
| 430 | 430000 | 273 | 0,1365 | 0,068% | 23,27 |
| 440 | 440000 | 277 | 0,1385 | 0,069% | 23,81 |
| 450 | 450000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 24,35 |
| 460 | 460000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 24,89 |
| 470 | 470000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 25,43 |
| 480 | 480000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 25,97 |
| 490 | 490000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 26,51 |
| 500 | 500000 | 303 | 0,1515 | 0,076% | 27,05 |
| 510 | 510000 | 308 | 0,154 | 0,077% | 27,59 |
| 520 | 520000 | 313 | 0,1565 | 0,078% | 28,14 |
| 530 | 530000 | 319 | 0,1595 | 0,080% | 28,68 |
| 540 | 540000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 29,22 |

Lanjutan Tabel L.7.4 Analisis Beton Variasi V03-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 29,76 |
| 560 | 560000 | 338 | 0,169 | 0,085% | 30,30 |
| 570 | 570000 | 345 | 0,1725 | 0,086% | 30,84 |
| 580 | 580000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 31,38 |
| 590 | 590000 | 359 | 0,1795 | 0,090% | 31,92 |
| 600 | 600000 | 368 | 0,184 | 0,092% | 32,46 |
| 610 | 610000 | 377 | 0,1885 | 0,094% | 33,01 |
| 620 | 620000 | 386 | 0,193 | 0,097% | 33,55 |
| 630 | 630000 | 395 | 0,1975 | 0,099% | 34,09 |
| 640 | 640000 | 409 | 0,2045 | 0,102% | 34,63 |
| 650 | 650000 | 423 | 0,2115 | 0,106% | 35,17 |
| 660 | 660000 | 437 | 0,2185 | 0,109% | 35,71 |
| 670 | 670000 | 451 | 0,2255 | 0,113% | 36,25 |
| 680 | 680000 | 461 | 0,2305 | 0,115% | 36,79 |
| 690 | 690000 | 471 | 0,2355 | 0,118% | 37,33 |
| 700 | 700000 | 483 | 0,2415 | 0,121% | 37,88 |
| 710 | 710000 | 495 | 0,2475 | 0,124% | 38,42 |
| 720 | 720000 | 507 | 0,2535 | 0,127% | 38,96 |
| 720,6 | 720600 | 531 | 0,2655 | 0,133% | 38,99 |
| 720 | 720000 | 555 | 0,2775 | 0,139% | 38,96 |
| 710 | 710000 | 583 | 0,2915 | 0,146% | 38,42 |
| 700 | 700000 | 611 | 0,3055 | 0,153% | 37,88 |
| 690 | 690000 | 629 | 0,3145 | 0,157% | 37,33 |
| 680 | 680000 | 647 | 0,3235 | 0,162% | 36,79 |
| 670 | 670000 | 662 | 0,331 | 0,166% | 36,25 |
| 660 | 660000 | 680 | 0,34 | 0,170% | 35,71 |
| 650 | 650000 | 692 | 0,346 | 0,173% | 35,17 |

Lanjutan Tabel L.7.4 Analisis Beton Variasi V03-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 640 | 640000 | 704 | 0,352 | 0,176% | 34,63 |
| 630 | 630000 | 716 | 0,358 | 0,179% | 34,09 |



Gambar L.7.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V03-4

Tabel L.7.5 Analisis Beton Variasi V03-5

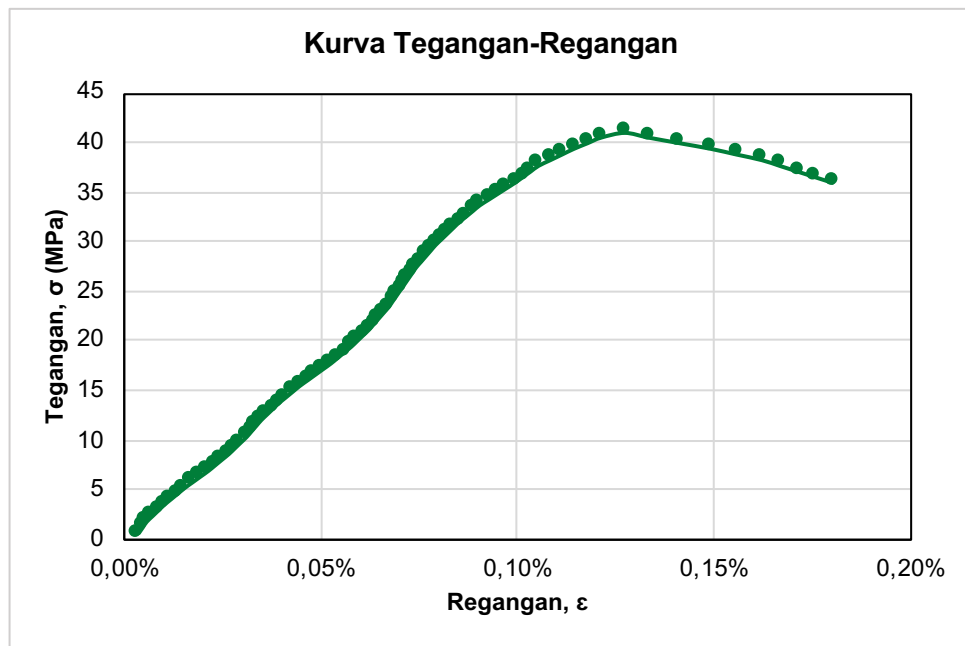
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,14 |
| 30 | 30000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,72 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,29 |
| 50 | 50000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,86 |
| 60 | 60000 | 29 | 0,0145 | 0,007% | 3,43 |
| 70 | 70000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 4,00 |
| 80 | 80000 | 43 | 0,0215 | 0,011% | 4,58 |
| 90 | 90000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,15 |
| 100 | 100000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 5,72 |
| 110 | 110000 | 66 | 0,033 | 0,017% | 6,29 |
| 120 | 120000 | 74 | 0,037 | 0,019% | 6,86 |
| 130 | 130000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 7,44 |
| 140 | 140000 | 88 | 0,044 | 0,022% | 8,01 |
| 150 | 150000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 8,58 |
| 160 | 160000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 9,15 |
| 170 | 170000 | 107 | 0,0535 | 0,027% | 9,72 |
| 180 | 180000 | 113 | 0,0565 | 0,028% | 10,30 |
| 190 | 190000 | 118 | 0,059 | 0,030% | 10,87 |
| 200 | 200000 | 123 | 0,0615 | 0,031% | 11,44 |
| 210 | 210000 | 128 | 0,064 | 0,032% | 12,01 |
| 220 | 220000 | 134 | 0,067 | 0,034% | 12,58 |
| 230 | 230000 | 140 | 0,07 | 0,035% | 13,16 |
| 240 | 240000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 13,73 |
| 250 | 250000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 14,30 |
| 260 | 260000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 14,87 |
| 270 | 270000 | 167 | 0,0835 | 0,042% | 15,44 |

Lanjutan Tabel L.7.5 Analisis Beton Variasi V03-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 175 | 0,0875 | 0,044% | 16,02 |
| 290 | 290000 | 183 | 0,0915 | 0,046% | 16,59 |
| 300 | 300000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 17,16 |
| 310 | 310000 | 199 | 0,0995 | 0,050% | 17,73 |
| 320 | 320000 | 206 | 0,103 | 0,052% | 18,30 |
| 330 | 330000 | 213 | 0,1065 | 0,053% | 18,87 |
| 340 | 340000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 19,45 |
| 350 | 350000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 20,02 |
| 360 | 360000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 20,59 |
| 370 | 370000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 21,16 |
| 380 | 380000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 21,73 |
| 390 | 390000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 22,31 |
| 400 | 400000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 22,88 |
| 410 | 410000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 23,45 |
| 420 | 420000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 24,02 |
| 430 | 430000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 24,59 |
| 440 | 440000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 25,17 |
| 450 | 450000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 25,74 |
| 460 | 460000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 26,31 |
| 470 | 470000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 26,88 |
| 480 | 480000 | 286 | 0,143 | 0,072% | 27,45 |
| 490 | 490000 | 291 | 0,1455 | 0,073% | 28,03 |
| 500 | 500000 | 296 | 0,148 | 0,074% | 28,60 |
| 510 | 510000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 29,17 |
| 520 | 520000 | 306 | 0,153 | 0,077% | 29,74 |
| 530 | 530000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 30,31 |
| 540 | 540000 | 318 | 0,159 | 0,080% | 30,89 |

Lanjutan Tabel L.7.5 Analisis Beton Variasi V03-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 324 | 0,162 | 0,081% | 31,46 |
| 560 | 560000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 32,03 |
| 570 | 570000 | 337 | 0,1685 | 0,084% | 32,60 |
| 580 | 580000 | 344 | 0,172 | 0,086% | 33,17 |
| 590 | 590000 | 351 | 0,1755 | 0,088% | 33,75 |
| 600 | 600000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 34,32 |
| 610 | 610000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 34,89 |
| 620 | 620000 | 378 | 0,189 | 0,095% | 35,46 |
| 630 | 630000 | 387 | 0,1935 | 0,097% | 36,03 |
| 640 | 640000 | 395 | 0,1975 | 0,099% | 36,61 |
| 650 | 650000 | 403 | 0,2015 | 0,101% | 37,18 |
| 660 | 660000 | 411 | 0,2055 | 0,103% | 37,75 |
| 670 | 670000 | 423 | 0,2115 | 0,106% | 38,32 |
| 680 | 680000 | 435 | 0,2175 | 0,109% | 38,89 |
| 690 | 690000 | 447 | 0,2235 | 0,112% | 39,47 |
| 700 | 700000 | 461 | 0,2305 | 0,115% | 40,04 |
| 710 | 710000 | 475 | 0,2375 | 0,119% | 40,61 |
| 718,3 | 718300 | 499 | 0,2495 | 0,125% | 41,08 |
| 710 | 710000 | 523 | 0,2615 | 0,131% | 40,61 |
| 700 | 700000 | 555 | 0,2775 | 0,139% | 40,04 |
| 690 | 690000 | 587 | 0,2935 | 0,147% | 39,47 |
| 680 | 680000 | 613 | 0,3065 | 0,153% | 38,89 |
| 670 | 670000 | 639 | 0,3195 | 0,160% | 38,32 |
| 660 | 660000 | 657 | 0,3285 | 0,164% | 37,75 |
| 650 | 650000 | 675 | 0,3375 | 0,169% | 37,18 |
| 640 | 640000 | 693 | 0,3465 | 0,173% | 36,61 |
| 630 | 630000 | 711 | 0,3555 | 0,178% | 36,03 |



Gambar L.7.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V03-5

Lampiran 8 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-04

Tabel L.8.1 Analisis Beton Variasi V04-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 12 | 0,006 | 0,003% | 1,69 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,82 |
| 60 | 60000 | 29 | 0,0145 | 0,007% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 3,95 |
| 80 | 80000 | 41 | 0,0205 | 0,010% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 5,08 |
| 100 | 100000 | 57 | 0,0285 | 0,014% | 5,64 |
| 110 | 110000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 6,21 |
| 120 | 120000 | 73 | 0,0365 | 0,018% | 6,77 |
| 130 | 130000 | 80 | 0,04 | 0,020% | 7,34 |
| 140 | 140000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 7,90 |
| 150 | 150000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 8,47 |
| 160 | 160000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 9,03 |
| 170 | 170000 | 109 | 0,0545 | 0,027% | 9,59 |
| 180 | 180000 | 117 | 0,0585 | 0,029% | 10,16 |
| 190 | 190000 | 125 | 0,0625 | 0,031% | 10,72 |
| 200 | 200000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 11,29 |
| 210 | 210000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 11,85 |
| 220 | 220000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 12,42 |
| 230 | 230000 | 151 | 0,0755 | 0,038% | 12,98 |
| 240 | 240000 | 158 | 0,079 | 0,040% | 13,55 |
| 250 | 250000 | 165 | 0,0825 | 0,041% | 14,11 |

Lanjutan Tabel L.8.1 Analisis Beton Variasi V04-1

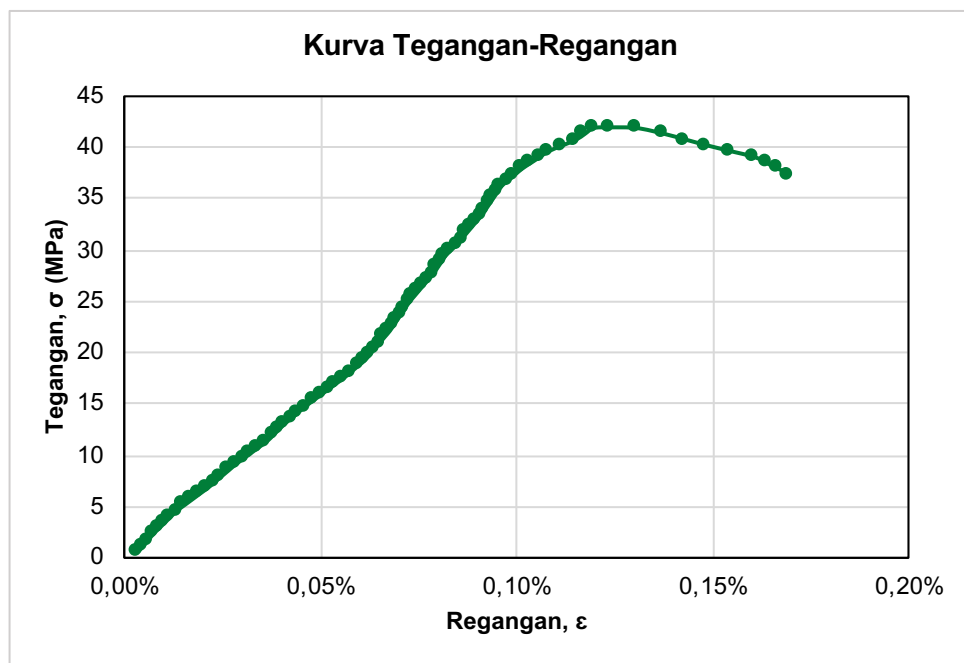
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 172 | 0,086 | 0,043% | 14,67 |
| 270 | 270000 | 180 | 0,09 | 0,045% | 15,24 |
| 280 | 280000 | 188 | 0,094 | 0,047% | 15,80 |
| 290 | 290000 | 196 | 0,098 | 0,049% | 16,37 |
| 300 | 300000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 16,93 |
| 310 | 310000 | 212 | 0,106 | 0,053% | 17,50 |
| 320 | 320000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 18,06 |
| 330 | 330000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 18,62 |
| 340 | 340000 | 233 | 0,1165 | 0,058% | 19,19 |
| 350 | 350000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 19,75 |
| 360 | 360000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 20,32 |
| 370 | 370000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 20,88 |
| 380 | 380000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 21,45 |
| 390 | 390000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 22,01 |
| 400 | 400000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 22,58 |
| 410 | 410000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 23,14 |
| 420 | 420000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 23,70 |
| 430 | 430000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 24,27 |
| 440 | 440000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 24,83 |
| 450 | 450000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 25,40 |
| 460 | 460000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 25,96 |
| 470 | 470000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 26,53 |
| 480 | 480000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 27,09 |
| 490 | 490000 | 303 | 0,1515 | 0,076% | 27,65 |
| 500 | 500000 | 307 | 0,1535 | 0,077% | 28,22 |
| 510 | 510000 | 311 | 0,1555 | 0,078% | 28,78 |
| 520 | 520000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 29,35 |

Lanjutan Tabel L.8.1 Analisis Beton Variasi V04-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 321 | 0,1605 | 0,080% | 29,91 |
| 540 | 540000 | 327 | 0,1635 | 0,082% | 30,48 |
| 550 | 550000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 31,04 |
| 560 | 560000 | 337 | 0,1685 | 0,084% | 31,61 |
| 570 | 570000 | 342 | 0,171 | 0,086% | 32,17 |
| 580 | 580000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 32,73 |
| 590 | 590000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 33,30 |
| 600 | 600000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 33,86 |
| 610 | 610000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 34,43 |
| 620 | 620000 | 364 | 0,182 | 0,091% | 34,99 |
| 630 | 630000 | 368 | 0,184 | 0,092% | 35,56 |
| 640 | 640000 | 372 | 0,186 | 0,093% | 36,12 |
| 650 | 650000 | 379 | 0,1895 | 0,095% | 36,68 |
| 660 | 660000 | 386 | 0,193 | 0,097% | 37,25 |
| 670 | 670000 | 393 | 0,1965 | 0,098% | 37,81 |
| 680 | 680000 | 402 | 0,201 | 0,101% | 38,38 |
| 690 | 690000 | 411 | 0,2055 | 0,103% | 38,94 |
| 700 | 700000 | 420 | 0,21 | 0,105% | 39,51 |
| 710 | 710000 | 434 | 0,217 | 0,109% | 40,07 |
| 720 | 720000 | 448 | 0,224 | 0,112% | 40,64 |
| 730 | 730000 | 457 | 0,2285 | 0,114% | 41,20 |
| 740 | 740000 | 466 | 0,233 | 0,117% | 41,76 |
| 741,2 | 741200 | 482 | 0,241 | 0,121% | 41,83 |
| 740 | 740000 | 510 | 0,255 | 0,128% | 41,76 |
| 730 | 730000 | 538 | 0,269 | 0,135% | 41,20 |
| 720 | 720000 | 560 | 0,28 | 0,140% | 40,64 |
| 710 | 710000 | 582 | 0,291 | 0,146% | 40,07 |

Lanjutan Tabel L.8.1 Analisis Beton Variasi V04-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 700 | 700000 | 606 | 0,303 | 0,152% | 39,51 |
| 690 | 690000 | 630 | 0,315 | 0,158% | 38,94 |
| 680 | 680000 | 642 | 0,321 | 0,161% | 38,38 |
| 670 | 670000 | 654 | 0,327 | 0,164% | 37,81 |
| 660 | 660000 | 666 | 0,333 | 0,167% | 37,25 |



Gambar L.8.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V04-1

Tabel L.8.2 Analisis Beton Variasi V04-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 9 | 0,0045 | 0,002% | 1,11 |
| 30 | 30000 | 16 | 0,008 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 29 | 0,0145 | 0,007% | 2,78 |
| 60 | 60000 | 35 | 0,0175 | 0,009% | 3,34 |
| 70 | 70000 | 41 | 0,0205 | 0,010% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 47 | 0,0235 | 0,012% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 53 | 0,0265 | 0,013% | 5,01 |
| 100 | 100000 | 60 | 0,03 | 0,015% | 5,57 |
| 110 | 110000 | 67 | 0,0335 | 0,017% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 74 | 0,037 | 0,019% | 6,68 |
| 130 | 130000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 7,24 |
| 140 | 140000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 7,80 |
| 150 | 150000 | 93 | 0,0465 | 0,023% | 8,35 |
| 160 | 160000 | 99 | 0,0495 | 0,025% | 8,91 |
| 170 | 170000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 9,47 |
| 180 | 180000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 10,02 |
| 190 | 190000 | 117 | 0,0585 | 0,029% | 10,58 |
| 200 | 200000 | 124 | 0,062 | 0,031% | 11,14 |
| 210 | 210000 | 131 | 0,0655 | 0,033% | 11,70 |
| 220 | 220000 | 138 | 0,069 | 0,035% | 12,25 |
| 230 | 230000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 12,81 |
| 240 | 240000 | 154 | 0,077 | 0,039% | 13,37 |
| 250 | 250000 | 162 | 0,081 | 0,041% | 13,92 |
| 260 | 260000 | 170 | 0,085 | 0,043% | 14,48 |
| 270 | 270000 | 177 | 0,0885 | 0,044% | 15,04 |

Lanjutan Tabel L.8.2 Analisis Beton Variasi V04-2

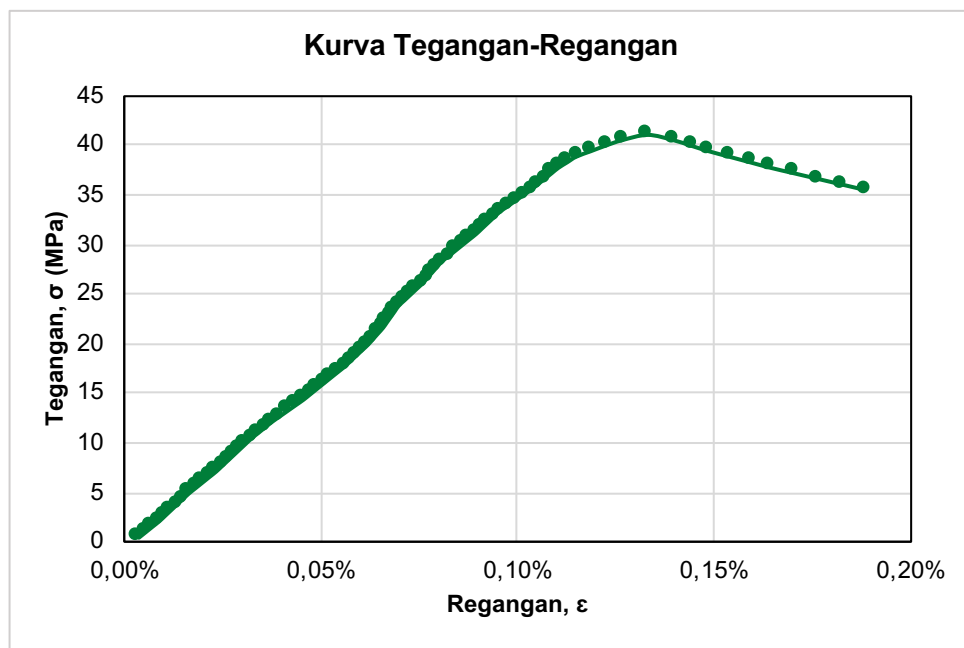
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 184 | 0,092 | 0,046% | 15,59 |
| 290 | 290000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 16,15 |
| 300 | 300000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 16,71 |
| 310 | 310000 | 205 | 0,1025 | 0,051% | 17,27 |
| 320 | 320000 | 212 | 0,106 | 0,053% | 17,82 |
| 330 | 330000 | 218 | 0,109 | 0,055% | 18,38 |
| 340 | 340000 | 224 | 0,112 | 0,056% | 18,94 |
| 350 | 350000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 19,49 |
| 360 | 360000 | 236 | 0,118 | 0,059% | 20,05 |
| 370 | 370000 | 241 | 0,1205 | 0,060% | 20,61 |
| 380 | 380000 | 246 | 0,123 | 0,062% | 21,16 |
| 390 | 390000 | 251 | 0,1255 | 0,063% | 21,72 |
| 400 | 400000 | 255 | 0,1275 | 0,064% | 22,28 |
| 410 | 410000 | 259 | 0,1295 | 0,065% | 22,83 |
| 420 | 420000 | 263 | 0,1315 | 0,066% | 23,39 |
| 430 | 430000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 23,95 |
| 440 | 440000 | 273 | 0,1365 | 0,068% | 24,51 |
| 450 | 450000 | 279 | 0,1395 | 0,070% | 25,06 |
| 460 | 460000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 25,62 |
| 470 | 470000 | 291 | 0,1455 | 0,073% | 26,18 |
| 480 | 480000 | 296 | 0,148 | 0,074% | 26,73 |
| 490 | 490000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 27,29 |
| 500 | 500000 | 306 | 0,153 | 0,077% | 27,85 |
| 510 | 510000 | 311 | 0,1555 | 0,078% | 28,40 |
| 520 | 520000 | 318 | 0,159 | 0,080% | 28,96 |
| 530 | 530000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 29,52 |
| 540 | 540000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 30,07 |

Lanjutan Tabel L.8.2 Analisis Beton Variasi V04-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|--------------|---------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 30,63 |
| 560 | 560000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 31,19 |
| 570 | 570000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 31,75 |
| 580 | 580000 | 358 | 0,179 | 0,090% | 32,30 |
| 590 | 590000 | 364 | 0,182 | 0,091% | 32,86 |
| 600 | 600000 | 370 | 0,185 | 0,093% | 33,42 |
| 610 | 610000 | 378 | 0,189 | 0,095% | 33,97 |
| 620 | 620000 | 386 | 0,193 | 0,097% | 34,53 |
| 630 | 630000 | 394 | 0,197 | 0,099% | 35,09 |
| 640 | 640000 | 402 | 0,201 | 0,101% | 35,64 |
| 650 | 650000 | 409 | 0,2045 | 0,102% | 36,20 |
| 660 | 660000 | 416 | 0,208 | 0,104% | 36,76 |
| 670 | 670000 | 423 | 0,2115 | 0,106% | 37,31 |
| 680 | 680000 | 430 | 0,215 | 0,108% | 37,87 |
| 690 | 690000 | 439 | 0,2195 | 0,110% | 38,43 |
| 700 | 700000 | 448 | 0,224 | 0,112% | 38,99 |
| 710 | 710000 | 463 | 0,2315 | 0,116% | 39,54 |
| 720 | 720000 | 478 | 0,239 | 0,120% | 40,10 |
| 730 | 730000 | 495 | 0,2475 | 0,124% | 40,66 |
| 739,5 | 739500 | 521 | 0,2605 | 0,130% | 41,19 |
| 730 | 730000 | 547 | 0,2735 | 0,137% | 40,66 |
| 720 | 720000 | 565 | 0,2825 | 0,141% | 40,10 |
| 710 | 710000 | 583 | 0,2915 | 0,146% | 39,54 |
| 700 | 700000 | 604 | 0,302 | 0,151% | 38,99 |
| 690 | 690000 | 625 | 0,3125 | 0,156% | 38,43 |
| 680 | 680000 | 646 | 0,323 | 0,162% | 37,87 |
| 670 | 670000 | 670 | 0,335 | 0,168% | 37,31 |

Lanjutan Tabel L.8.2 Analisis Beton Variasi V04-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 660 | 660000 | 694 | 0,347 | 0,174% | 36,76 |
| 650 | 650000 | 718 | 0,359 | 0,180% | 36,20 |
| 640 | 640000 | 742 | 0,371 | 0,186% | 35,64 |



Gambar L.8.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V04-2

Tabel L.8.3 Analisis Beton Variasi V04-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 6 | 0,003 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,83 |
| 60 | 60000 | 29 | 0,0145 | 0,007% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 34 | 0,017 | 0,009% | 3,96 |
| 80 | 80000 | 39 | 0,0195 | 0,010% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 45 | 0,0225 | 0,011% | 5,09 |
| 100 | 100000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,65 |
| 110 | 110000 | 55 | 0,0275 | 0,014% | 6,22 |
| 120 | 120000 | 61 | 0,0305 | 0,015% | 6,78 |
| 130 | 130000 | 67 | 0,0335 | 0,017% | 7,35 |
| 140 | 140000 | 74 | 0,037 | 0,019% | 7,91 |
| 150 | 150000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 8,48 |
| 160 | 160000 | 88 | 0,044 | 0,022% | 9,04 |
| 170 | 170000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 9,61 |
| 180 | 180000 | 103 | 0,0515 | 0,026% | 10,17 |
| 190 | 190000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 10,74 |
| 200 | 200000 | 117 | 0,0585 | 0,029% | 11,30 |
| 210 | 210000 | 125 | 0,0625 | 0,031% | 11,87 |
| 220 | 220000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 12,43 |
| 230 | 230000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 13,00 |
| 240 | 240000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 13,56 |
| 250 | 250000 | 151 | 0,0755 | 0,038% | 14,13 |
| 260 | 260000 | 158 | 0,079 | 0,040% | 14,69 |
| 270 | 270000 | 164 | 0,082 | 0,041% | 15,26 |

Lanjutan Tabel L.8.3 Analisis Beton Variasi V04-3

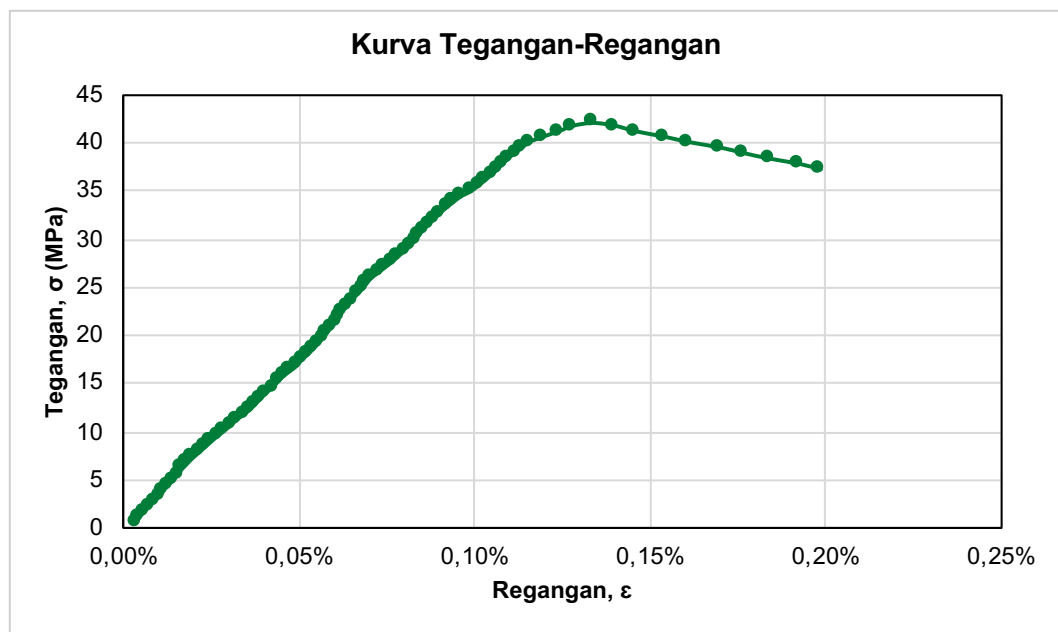
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 170 | 0,085 | 0,043% | 15,82 |
| 290 | 290000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 16,39 |
| 300 | 300000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 16,95 |
| 310 | 310000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 17,52 |
| 320 | 320000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 18,08 |
| 330 | 330000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 18,65 |
| 340 | 340000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 19,21 |
| 350 | 350000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 19,78 |
| 360 | 360000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 20,34 |
| 370 | 370000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 20,91 |
| 380 | 380000 | 230 | 0,115 | 0,058% | 21,47 |
| 390 | 390000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 22,04 |
| 400 | 400000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 22,61 |
| 410 | 410000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 23,17 |
| 420 | 420000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 23,74 |
| 430 | 430000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 24,30 |
| 440 | 440000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 24,87 |
| 450 | 450000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 25,43 |
| 460 | 460000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 26,00 |
| 470 | 470000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 26,56 |
| 480 | 480000 | 286 | 0,143 | 0,072% | 27,13 |
| 490 | 490000 | 294 | 0,147 | 0,074% | 27,69 |
| 500 | 500000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 28,26 |
| 510 | 510000 | 308 | 0,154 | 0,077% | 28,82 |
| 520 | 520000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 29,39 |
| 530 | 530000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 29,95 |
| 540 | 540000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 30,52 |

Lanjutan Tabel L.8.3 Analisis Beton Variasi V04-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 31,08 |
| 560 | 560000 | 336 | 0,168 | 0,084% | 31,65 |
| 570 | 570000 | 342 | 0,171 | 0,086% | 32,21 |
| 580 | 580000 | 349 | 0,1745 | 0,087% | 32,78 |
| 590 | 590000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 33,34 |
| 600 | 600000 | 364 | 0,182 | 0,091% | 33,91 |
| 610 | 610000 | 372 | 0,186 | 0,093% | 34,47 |
| 620 | 620000 | 384 | 0,192 | 0,096% | 35,04 |
| 630 | 630000 | 392 | 0,196 | 0,098% | 35,60 |
| 640 | 640000 | 400 | 0,2 | 0,100% | 36,17 |
| 650 | 650000 | 407 | 0,2035 | 0,102% | 36,73 |
| 660 | 660000 | 414 | 0,207 | 0,104% | 37,30 |
| 670 | 670000 | 420 | 0,21 | 0,105% | 37,86 |
| 680 | 680000 | 426 | 0,213 | 0,107% | 38,43 |
| 690 | 690000 | 434 | 0,217 | 0,109% | 38,99 |
| 700 | 700000 | 442 | 0,221 | 0,111% | 39,56 |
| 710 | 710000 | 450 | 0,225 | 0,113% | 40,12 |
| 720 | 720000 | 466 | 0,233 | 0,117% | 40,69 |
| 730 | 730000 | 484 | 0,242 | 0,121% | 41,25 |
| 740 | 740000 | 500 | 0,25 | 0,125% | 41,82 |
| 745,2 | 745200 | 523 | 0,2615 | 0,131% | 42,11 |
| 740 | 740000 | 548 | 0,274 | 0,137% | 41,82 |
| 730 | 730000 | 571 | 0,2855 | 0,143% | 41,25 |
| 720 | 720000 | 604 | 0,302 | 0,151% | 40,69 |
| 710 | 710000 | 632 | 0,316 | 0,158% | 40,12 |
| 700 | 700000 | 668 | 0,334 | 0,167% | 39,56 |
| 690 | 690000 | 694 | 0,347 | 0,174% | 38,99 |

Lanjutan Tabel L.8.3 Analisis Beton Variasi V04-3

| Beban | | Ektensiometer $\times 10^3$ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 680 | 680000 | 723 | 0,3615 | 0,181% | 38,43 |
| 670 | 670000 | 758 | 0,379 | 0,190% | 37,86 |
| 660 | 660000 | 782 | 0,391 | 0,196% | 37,30 |



Gambar L.8.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V04-3

Tabel L.8.4 Analisis Beton Variasi V04-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,15 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,72 |
| 40 | 40000 | 19 | 0,0095 | 0,005% | 2,29 |
| 50 | 50000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,86 |
| 60 | 60000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 3,44 |
| 70 | 70000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 4,01 |
| 80 | 80000 | 45 | 0,0225 | 0,011% | 4,58 |
| 90 | 90000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 5,15 |
| 100 | 100000 | 59 | 0,0295 | 0,015% | 5,73 |
| 110 | 110000 | 67 | 0,0335 | 0,017% | 6,30 |
| 120 | 120000 | 75 | 0,0375 | 0,019% | 6,87 |
| 130 | 130000 | 83 | 0,0415 | 0,021% | 7,45 |
| 140 | 140000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 8,02 |
| 150 | 150000 | 97 | 0,0485 | 0,024% | 8,59 |
| 160 | 160000 | 104 | 0,052 | 0,026% | 9,16 |
| 170 | 170000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 9,74 |
| 180 | 180000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 10,31 |
| 190 | 190000 | 122 | 0,061 | 0,031% | 10,88 |
| 200 | 200000 | 129 | 0,0645 | 0,032% | 11,45 |
| 210 | 210000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 12,03 |
| 220 | 220000 | 143 | 0,0715 | 0,036% | 12,60 |
| 230 | 230000 | 149 | 0,0745 | 0,037% | 13,17 |
| 240 | 240000 | 155 | 0,0775 | 0,039% | 13,75 |
| 250 | 250000 | 161 | 0,0805 | 0,040% | 14,32 |
| 260 | 260000 | 166 | 0,083 | 0,042% | 14,89 |
| 270 | 270000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 15,46 |

Lanjutan Tabel L.8.4 Analisis Beton Variasi V04-4

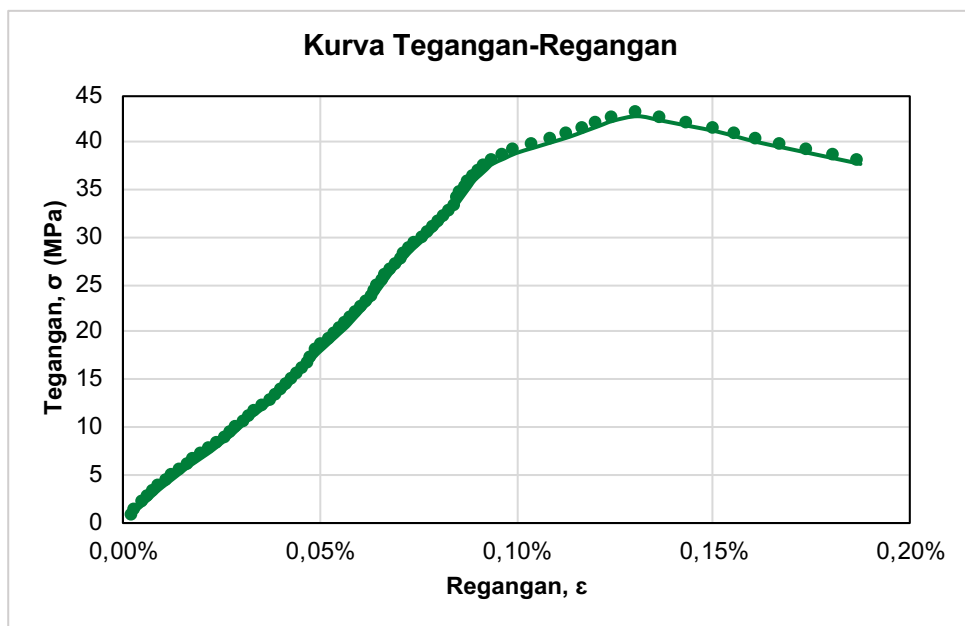
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 16,04 |
| 290 | 290000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 16,61 |
| 300 | 300000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 17,18 |
| 310 | 310000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 17,75 |
| 320 | 320000 | 197 | 0,0985 | 0,049% | 18,33 |
| 330 | 330000 | 203 | 0,1015 | 0,051% | 18,90 |
| 340 | 340000 | 209 | 0,1045 | 0,052% | 19,47 |
| 350 | 350000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 20,05 |
| 360 | 360000 | 221 | 0,1105 | 0,055% | 20,62 |
| 370 | 370000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 21,19 |
| 380 | 380000 | 231 | 0,1155 | 0,058% | 21,76 |
| 390 | 390000 | 236 | 0,118 | 0,059% | 22,34 |
| 400 | 400000 | 241 | 0,1205 | 0,060% | 22,91 |
| 410 | 410000 | 246 | 0,123 | 0,062% | 23,48 |
| 420 | 420000 | 250 | 0,125 | 0,063% | 24,05 |
| 430 | 430000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 24,63 |
| 440 | 440000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 25,20 |
| 450 | 450000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 25,77 |
| 460 | 460000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 26,35 |
| 470 | 470000 | 271 | 0,1355 | 0,068% | 26,92 |
| 480 | 480000 | 276 | 0,138 | 0,069% | 27,49 |
| 490 | 490000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 28,06 |
| 500 | 500000 | 286 | 0,143 | 0,072% | 28,64 |
| 510 | 510000 | 292 | 0,146 | 0,073% | 29,21 |
| 520 | 520000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 29,78 |
| 530 | 530000 | 304 | 0,152 | 0,076% | 30,36 |
| 540 | 540000 | 310 | 0,155 | 0,078% | 30,93 |

Lanjutan Tabel L.8.4 Analisis Beton Variasi V04-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 31,50 |
| 560 | 560000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 32,07 |
| 570 | 570000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 32,65 |
| 580 | 580000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 33,22 |
| 590 | 590000 | 334 | 0,167 | 0,084% | 33,79 |
| 600 | 600000 | 338 | 0,169 | 0,085% | 34,36 |
| 610 | 610000 | 342 | 0,171 | 0,086% | 34,94 |
| 620 | 620000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 35,51 |
| 630 | 630000 | 350 | 0,175 | 0,088% | 36,08 |
| 640 | 640000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 36,66 |
| 650 | 650000 | 362 | 0,181 | 0,091% | 37,23 |
| 660 | 660000 | 368 | 0,184 | 0,092% | 37,80 |
| 670 | 670000 | 380 | 0,19 | 0,095% | 38,37 |
| 680 | 680000 | 392 | 0,196 | 0,098% | 38,95 |
| 690 | 690000 | 410 | 0,205 | 0,103% | 39,52 |
| 700 | 700000 | 428 | 0,214 | 0,107% | 40,09 |
| 710 | 710000 | 446 | 0,223 | 0,112% | 40,66 |
| 720 | 720000 | 461 | 0,2305 | 0,115% | 41,24 |
| 730 | 730000 | 476 | 0,238 | 0,119% | 41,81 |
| 740 | 740000 | 491 | 0,2455 | 0,123% | 42,38 |
| 748 | 748000 | 515 | 0,2575 | 0,129% | 42,84 |
| 740 | 740000 | 539 | 0,2695 | 0,135% | 42,38 |
| 730 | 730000 | 567 | 0,2835 | 0,142% | 41,81 |
| 720 | 720000 | 595 | 0,2975 | 0,149% | 41,24 |
| 710 | 710000 | 616 | 0,308 | 0,154% | 40,66 |
| 700 | 700000 | 637 | 0,3185 | 0,159% | 40,09 |
| 690 | 690000 | 663 | 0,3315 | 0,166% | 39,52 |

Lanjutan Tabel L.8.4 Analisis Beton Variasi V04-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 680 | 680000 | 689 | 0,3445 | 0,172% | 38,95 |
| 670 | 670000 | 715 | 0,3575 | 0,179% | 38,37 |
| 660 | 660000 | 741 | 0,3705 | 0,185% | 37,80 |



Gambar L.8.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V04-4

Tabel L.8.5 Analisis Beton Variasi V04-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,69 |
| 40 | 40000 | 19 | 0,0095 | 0,005% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,82 |
| 60 | 60000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 37 | 0,0185 | 0,009% | 3,95 |
| 80 | 80000 | 42 | 0,021 | 0,011% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 47 | 0,0235 | 0,012% | 5,08 |
| 100 | 100000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 5,64 |
| 110 | 110000 | 57 | 0,0285 | 0,014% | 6,21 |
| 120 | 120000 | 62 | 0,031 | 0,016% | 6,77 |
| 130 | 130000 | 68 | 0,034 | 0,017% | 7,34 |
| 140 | 140000 | 74 | 0,037 | 0,019% | 7,90 |
| 150 | 150000 | 80 | 0,04 | 0,020% | 8,47 |
| 160 | 160000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 9,03 |
| 170 | 170000 | 94 | 0,047 | 0,024% | 9,59 |
| 180 | 180000 | 101 | 0,0505 | 0,025% | 10,16 |
| 190 | 190000 | 108 | 0,054 | 0,027% | 10,72 |
| 200 | 200000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 11,29 |
| 210 | 210000 | 124 | 0,062 | 0,031% | 11,85 |
| 220 | 220000 | 132 | 0,066 | 0,033% | 12,42 |
| 230 | 230000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 12,98 |
| 240 | 240000 | 146 | 0,073 | 0,037% | 13,55 |
| 250 | 250000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 14,11 |
| 260 | 260000 | 159 | 0,0795 | 0,040% | 14,67 |
| 270 | 270000 | 165 | 0,0825 | 0,041% | 15,24 |

Lanjutan Tabel L.8.5 Analisis Beton Variasi V04-5

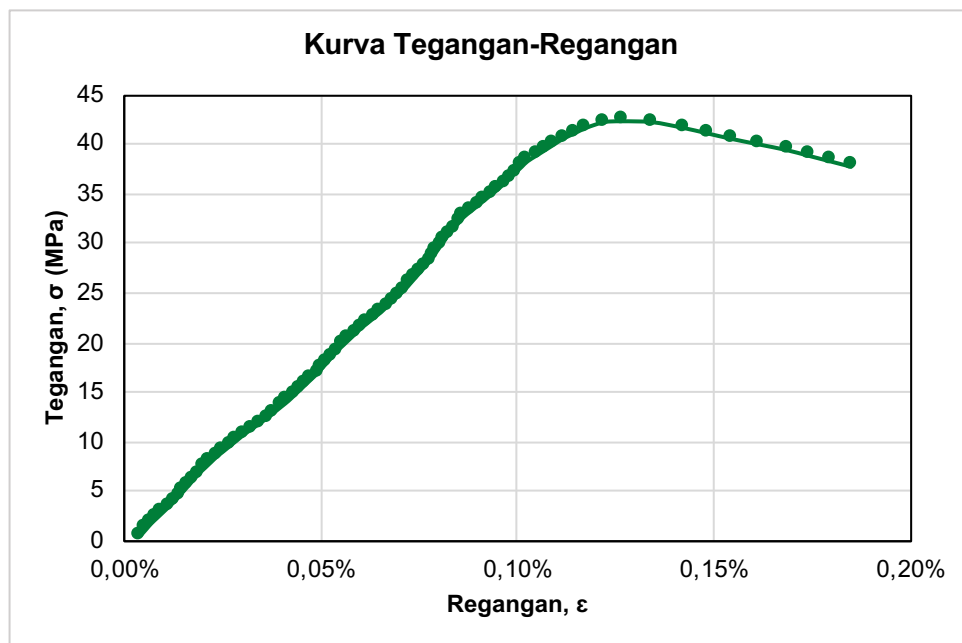
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 15,80 |
| 290 | 290000 | 177 | 0,0885 | 0,044% | 16,37 |
| 300 | 300000 | 183 | 0,0915 | 0,046% | 16,93 |
| 310 | 310000 | 188 | 0,094 | 0,047% | 17,50 |
| 320 | 320000 | 193 | 0,0965 | 0,048% | 18,06 |
| 330 | 330000 | 198 | 0,099 | 0,050% | 18,62 |
| 340 | 340000 | 203 | 0,1015 | 0,051% | 19,19 |
| 350 | 350000 | 209 | 0,1045 | 0,052% | 19,75 |
| 360 | 360000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 20,32 |
| 370 | 370000 | 221 | 0,1105 | 0,055% | 20,88 |
| 380 | 380000 | 227 | 0,1135 | 0,057% | 21,45 |
| 390 | 390000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 22,01 |
| 400 | 400000 | 241 | 0,1205 | 0,060% | 22,58 |
| 410 | 410000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 23,14 |
| 420 | 420000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 23,70 |
| 430 | 430000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 24,27 |
| 440 | 440000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 24,83 |
| 450 | 450000 | 272 | 0,136 | 0,068% | 25,40 |
| 460 | 460000 | 277 | 0,1385 | 0,069% | 25,96 |
| 470 | 470000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 26,53 |
| 480 | 480000 | 287 | 0,1435 | 0,072% | 27,09 |
| 490 | 490000 | 292 | 0,146 | 0,073% | 27,65 |
| 500 | 500000 | 297 | 0,1485 | 0,074% | 28,22 |
| 510 | 510000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 28,78 |
| 520 | 520000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 29,35 |
| 530 | 530000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 29,91 |
| 540 | 540000 | 313 | 0,1565 | 0,078% | 30,48 |

Lanjutan Tabel L.8.5 Analisis Beton Variasi V04-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 31,04 |
| 560 | 560000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 31,61 |
| 570 | 570000 | 327 | 0,1635 | 0,082% | 32,17 |
| 580 | 580000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 32,73 |
| 590 | 590000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 33,30 |
| 600 | 600000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 33,86 |
| 610 | 610000 | 353 | 0,1765 | 0,088% | 34,43 |
| 620 | 620000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 34,99 |
| 630 | 630000 | 367 | 0,1835 | 0,092% | 35,56 |
| 640 | 640000 | 373 | 0,1865 | 0,093% | 36,12 |
| 650 | 650000 | 379 | 0,1895 | 0,095% | 36,68 |
| 660 | 660000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 37,25 |
| 670 | 670000 | 391 | 0,1955 | 0,098% | 37,81 |
| 680 | 680000 | 397 | 0,1985 | 0,099% | 38,38 |
| 690 | 690000 | 406 | 0,203 | 0,102% | 38,94 |
| 700 | 700000 | 415 | 0,2075 | 0,104% | 39,51 |
| 710 | 710000 | 424 | 0,212 | 0,106% | 40,07 |
| 720 | 720000 | 433 | 0,2165 | 0,108% | 40,64 |
| 730 | 730000 | 445 | 0,2225 | 0,111% | 41,20 |
| 740 | 740000 | 457 | 0,2285 | 0,114% | 41,76 |
| 750 | 750000 | 475 | 0,2375 | 0,119% | 42,33 |
| 751,6 | 751600 | 493 | 0,2465 | 0,123% | 42,42 |
| 750 | 750000 | 524 | 0,262 | 0,131% | 42,33 |
| 740 | 740000 | 555 | 0,2775 | 0,139% | 41,76 |
| 730 | 730000 | 580 | 0,29 | 0,145% | 41,20 |
| 720 | 720000 | 605 | 0,3025 | 0,151% | 40,64 |
| 710 | 710000 | 633 | 0,3165 | 0,158% | 40,07 |

Lanjutan Tabel L.8.5 Analisis Beton Variasi V04-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 700 | 700000 | 661 | 0,3305 | 0,165% | 39,51 |
| 690 | 690000 | 683 | 0,3415 | 0,171% | 38,94 |
| 680 | 680000 | 705 | 0,3525 | 0,176% | 38,38 |
| 670 | 670000 | 727 | 0,3635 | 0,182% | 37,81 |



Gambar L.8.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V04-5

Lampiran 9 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-05

Tabel L.9.1 Analisis Beton Variasi V05-1

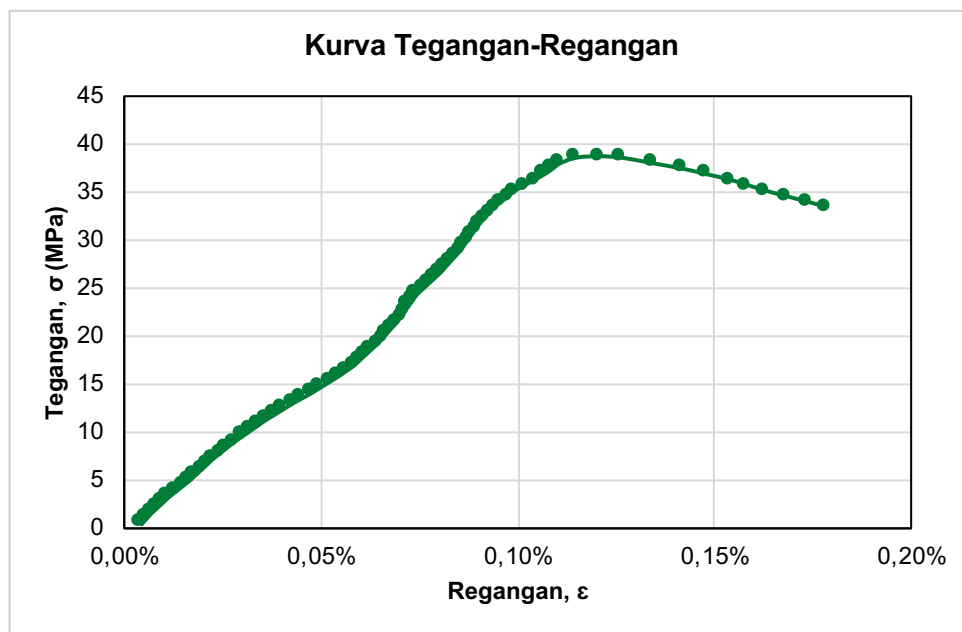
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 13 | 0,0065 | 0,003% | 1,70 |
| 40 | 40000 | 19 | 0,0095 | 0,005% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,83 |
| 60 | 60000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 3,96 |
| 80 | 80000 | 45 | 0,0225 | 0,011% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 5,09 |
| 100 | 100000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 5,65 |
| 110 | 110000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 6,22 |
| 120 | 120000 | 70 | 0,035 | 0,018% | 6,78 |
| 130 | 130000 | 76 | 0,038 | 0,019% | 7,35 |
| 140 | 140000 | 83 | 0,0415 | 0,021% | 7,91 |
| 150 | 150000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 8,48 |
| 160 | 160000 | 97 | 0,0485 | 0,024% | 9,04 |
| 170 | 170000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 9,61 |
| 180 | 180000 | 113 | 0,0565 | 0,028% | 10,17 |
| 190 | 190000 | 121 | 0,0605 | 0,030% | 10,74 |
| 200 | 200000 | 129 | 0,0645 | 0,032% | 11,30 |
| 210 | 210000 | 138 | 0,069 | 0,035% | 11,87 |
| 220 | 220000 | 147 | 0,0735 | 0,037% | 12,43 |
| 230 | 230000 | 156 | 0,078 | 0,039% | 13,00 |
| 240 | 240000 | 166 | 0,083 | 0,042% | 13,56 |
| 250 | 250000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 14,13 |

Lanjutan Tabel L.9.1 Analisis Beton Variasi V05-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 185 | 0,0925 | 0,046% | 14,69 |
| 270 | 270000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 15,26 |
| 280 | 280000 | 203 | 0,1015 | 0,051% | 15,82 |
| 290 | 290000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 16,39 |
| 300 | 300000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 16,95 |
| 310 | 310000 | 225 | 0,1125 | 0,056% | 17,52 |
| 320 | 320000 | 231 | 0,1155 | 0,058% | 18,08 |
| 330 | 330000 | 237 | 0,1185 | 0,059% | 18,65 |
| 340 | 340000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 19,21 |
| 350 | 350000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 19,78 |
| 360 | 360000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 20,34 |
| 370 | 370000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 20,91 |
| 380 | 380000 | 263 | 0,1315 | 0,066% | 21,47 |
| 390 | 390000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 22,04 |
| 400 | 400000 | 271 | 0,1355 | 0,068% | 22,61 |
| 410 | 410000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 23,17 |
| 420 | 420000 | 279 | 0,1395 | 0,070% | 23,74 |
| 430 | 430000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 24,30 |
| 440 | 440000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 24,87 |
| 450 | 450000 | 295 | 0,1475 | 0,074% | 25,43 |
| 460 | 460000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 26,00 |
| 470 | 470000 | 307 | 0,1535 | 0,077% | 26,56 |
| 480 | 480000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 27,13 |
| 490 | 490000 | 317 | 0,1585 | 0,079% | 27,69 |
| 500 | 500000 | 322 | 0,161 | 0,081% | 28,26 |
| 510 | 510000 | 327 | 0,1635 | 0,082% | 28,82 |
| 520 | 520000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 29,39 |

Lanjutan Tabel L.9.1 Analisis Beton Variasi V05-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 335 | 0,1675 | 0,084% | 29,95 |
| 540 | 540000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 30,52 |
| 550 | 550000 | 343 | 0,1715 | 0,086% | 31,08 |
| 560 | 560000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 31,65 |
| 570 | 570000 | 352 | 0,176 | 0,088% | 32,21 |
| 580 | 580000 | 357 | 0,1785 | 0,089% | 32,78 |
| 590 | 590000 | 362 | 0,181 | 0,091% | 33,34 |
| 600 | 600000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 33,91 |
| 610 | 610000 | 376 | 0,188 | 0,094% | 34,47 |
| 620 | 620000 | 383 | 0,1915 | 0,096% | 35,04 |
| 630 | 630000 | 393 | 0,1965 | 0,098% | 35,60 |
| 640 | 640000 | 403 | 0,2015 | 0,101% | 36,17 |
| 650 | 650000 | 413 | 0,2065 | 0,103% | 36,73 |
| 660 | 660000 | 421 | 0,2105 | 0,105% | 37,30 |
| 670 | 670000 | 429 | 0,2145 | 0,107% | 37,86 |
| 680 | 680000 | 445 | 0,2225 | 0,111% | 38,43 |
| 682,6 | 682600 | 468 | 0,234 | 0,117% | 38,58 |
| 680 | 680000 | 491 | 0,2455 | 0,123% | 38,43 |
| 670 | 670000 | 522 | 0,261 | 0,131% | 37,86 |
| 660 | 660000 | 553 | 0,2765 | 0,138% | 37,30 |
| 650 | 650000 | 577 | 0,2885 | 0,144% | 36,73 |
| 640 | 640000 | 601 | 0,3005 | 0,150% | 36,17 |
| 630 | 630000 | 619 | 0,3095 | 0,155% | 35,60 |
| 620 | 620000 | 637 | 0,3185 | 0,159% | 35,04 |
| 610 | 610000 | 658 | 0,329 | 0,165% | 34,47 |
| 600 | 600000 | 679 | 0,3395 | 0,170% | 33,91 |
| 590 | 590000 | 700 | 0,35 | 0,175% | 33,34 |



Gambar L.9.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V05-1

Tabel L.9.2 Analisis Beton Variasi V05-2

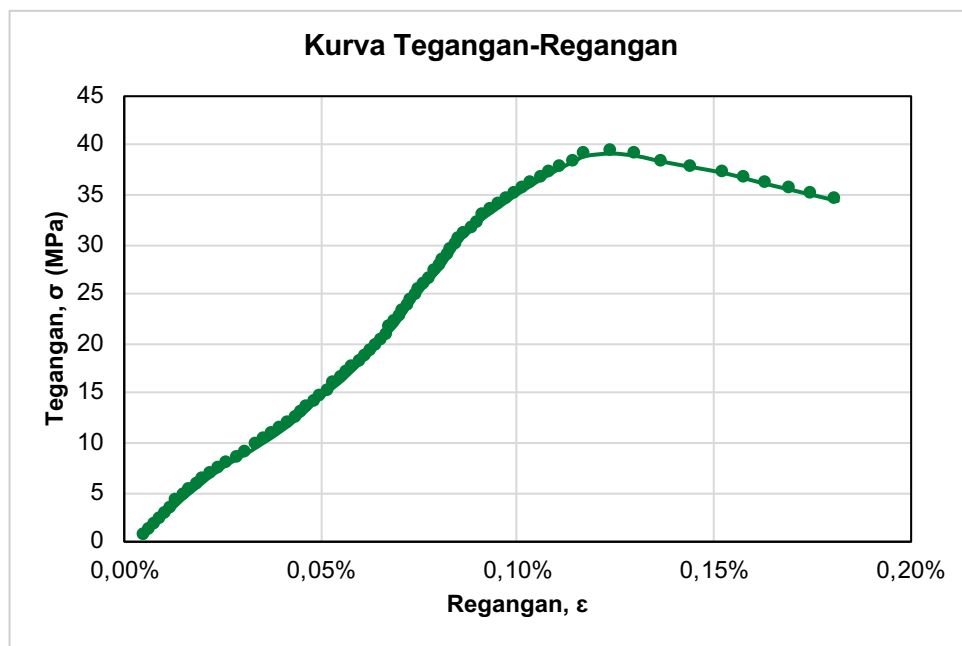
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 12 | 0,006 | 0,003% | 1,69 |
| 40 | 40000 | 18 | 0,009 | 0,005% | 2,26 |
| 50 | 50000 | 24 | 0,012 | 0,006% | 2,82 |
| 60 | 60000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 3,39 |
| 70 | 70000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 3,95 |
| 80 | 80000 | 42 | 0,021 | 0,011% | 4,52 |
| 90 | 90000 | 49 | 0,0245 | 0,012% | 5,08 |
| 100 | 100000 | 56 | 0,028 | 0,014% | 5,64 |
| 110 | 110000 | 63 | 0,0315 | 0,016% | 6,21 |
| 120 | 120000 | 70 | 0,035 | 0,018% | 6,77 |
| 130 | 130000 | 78 | 0,039 | 0,020% | 7,34 |
| 140 | 140000 | 86 | 0,043 | 0,022% | 7,90 |
| 150 | 150000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 8,47 |
| 160 | 160000 | 106 | 0,053 | 0,027% | 9,03 |
| 170 | 170000 | 115 | 0,0575 | 0,029% | 9,59 |
| 180 | 180000 | 124 | 0,062 | 0,031% | 10,16 |
| 190 | 190000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 10,72 |
| 200 | 200000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 11,29 |
| 210 | 210000 | 149 | 0,0745 | 0,037% | 11,85 |
| 220 | 220000 | 156 | 0,078 | 0,039% | 12,42 |
| 230 | 230000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 12,98 |
| 240 | 240000 | 169 | 0,0845 | 0,042% | 13,55 |
| 250 | 250000 | 175 | 0,0875 | 0,044% | 14,11 |
| 260 | 260000 | 182 | 0,091 | 0,046% | 14,67 |
| 270 | 270000 | 189 | 0,0945 | 0,047% | 15,24 |

Lanjutan Tabel L.9.2 Analisis Beton Variasi V05-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 196 | 0,098 | 0,049% | 15,80 |
| 290 | 290000 | 203 | 0,1015 | 0,051% | 16,37 |
| 300 | 300000 | 209 | 0,1045 | 0,052% | 16,93 |
| 310 | 310000 | 215 | 0,1075 | 0,054% | 17,50 |
| 320 | 320000 | 221 | 0,1105 | 0,055% | 18,06 |
| 330 | 330000 | 227 | 0,1135 | 0,057% | 18,62 |
| 340 | 340000 | 233 | 0,1165 | 0,058% | 19,19 |
| 350 | 350000 | 238 | 0,119 | 0,060% | 19,75 |
| 360 | 360000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 20,32 |
| 370 | 370000 | 248 | 0,124 | 0,062% | 20,88 |
| 380 | 380000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 21,45 |
| 390 | 390000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 22,01 |
| 400 | 400000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 22,58 |
| 410 | 410000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 23,14 |
| 420 | 420000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 23,70 |
| 430 | 430000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 24,27 |
| 440 | 440000 | 278 | 0,139 | 0,070% | 24,83 |
| 450 | 450000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 25,40 |
| 460 | 460000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 25,96 |
| 470 | 470000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 26,53 |
| 480 | 480000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 27,09 |
| 490 | 490000 | 303 | 0,1515 | 0,076% | 27,65 |
| 500 | 500000 | 307 | 0,1535 | 0,077% | 28,22 |
| 510 | 510000 | 311 | 0,1555 | 0,078% | 28,78 |
| 520 | 520000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 29,35 |
| 530 | 530000 | 319 | 0,1595 | 0,0007975 | 29,91 |
| 540 | 540000 | 323 | 0,1615 | 0,0008075 | 30,48 |

Lanjutan Tabel L.9.2 Analisis Beton Variasi V05-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 329 | 0,1645 | 0,0008225 | 31,04 |
| 560 | 560000 | 335 | 0,1675 | 0,0008375 | 31,61 |
| 570 | 570000 | 341 | 0,1705 | 0,0008525 | 32,17 |
| 580 | 580000 | 347 | 0,1735 | 0,0008675 | 32,73 |
| 590 | 590000 | 355 | 0,1775 | 0,0008875 | 33,30 |
| 600 | 600000 | 363 | 0,1815 | 0,0009075 | 33,86 |
| 610 | 610000 | 371 | 0,1855 | 0,0009275 | 34,43 |
| 620 | 620000 | 379 | 0,1895 | 0,0009475 | 34,99 |
| 630 | 630000 | 388 | 0,194 | 0,00097 | 35,56 |
| 640 | 640000 | 397 | 0,1985 | 0,0009925 | 36,12 |
| 650 | 650000 | 406 | 0,203 | 0,001015 | 36,68 |
| 660 | 660000 | 416 | 0,208 | 0,00104 | 37,25 |
| 670 | 670000 | 426 | 0,213 | 0,001065 | 37,81 |
| 680 | 680000 | 438 | 0,219 | 0,001095 | 38,38 |
| 690 | 690000 | 450 | 0,225 | 0,001125 | 38,94 |
| 694,5 | 694500 | 476 | 0,238 | 0,00119 | 39,20 |
| 690 | 690000 | 502 | 0,251 | 0,001255 | 38,94 |
| 680 | 680000 | 528 | 0,264 | 0,00132 | 38,38 |
| 670 | 670000 | 559 | 0,2795 | 0,0013975 | 37,81 |
| 660 | 660000 | 590 | 0,295 | 0,001475 | 37,25 |
| 650 | 650000 | 612 | 0,306 | 0,00153 | 36,68 |
| 640 | 640000 | 634 | 0,317 | 0,001585 | 36,12 |
| 630 | 630000 | 658 | 0,329 | 0,001645 | 35,56 |
| 620 | 620000 | 682 | 0,341 | 0,001705 | 34,99 |
| 610 | 610000 | 706 | 0,353 | 0,001765 | 34,43 |



Gambar L.9.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V05-2

Tabel L.9.3 Analisis Beton Variasi V05-3

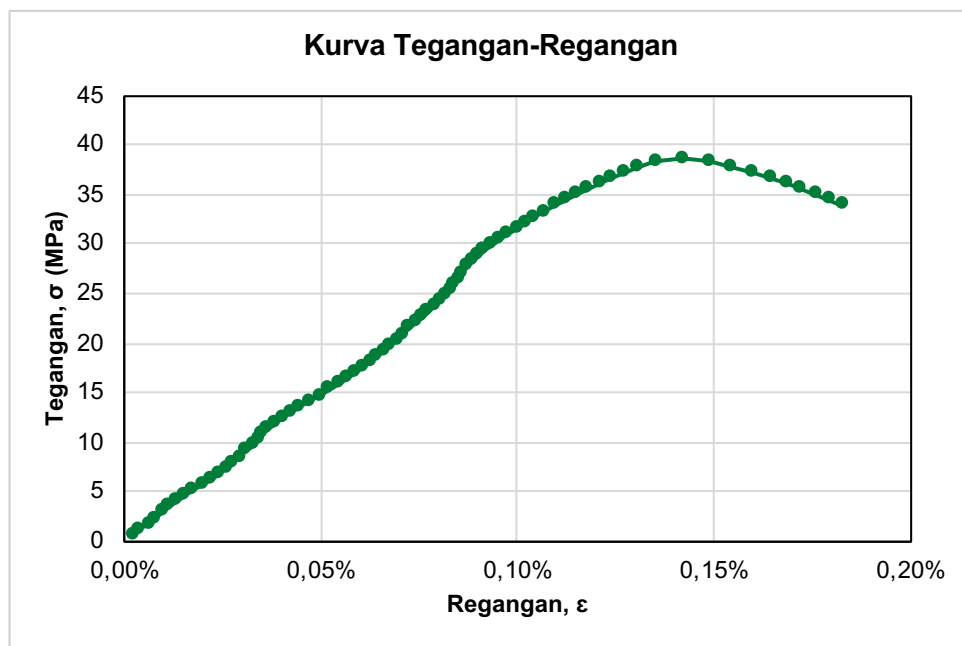
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,13 |
| 30 | 30000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 1,69 |
| 40 | 40000 | 24 | 0,012 | 0,006% | 2,25 |
| 50 | 50000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 2,81 |
| 60 | 60000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 3,38 |
| 70 | 70000 | 46 | 0,023 | 0,012% | 3,94 |
| 80 | 80000 | 54 | 0,027 | 0,014% | 4,50 |
| 90 | 90000 | 62 | 0,031 | 0,016% | 5,07 |
| 100 | 100000 | 72 | 0,036 | 0,018% | 5,63 |
| 110 | 110000 | 82 | 0,041 | 0,021% | 6,19 |
| 120 | 120000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 6,75 |
| 130 | 130000 | 96 | 0,048 | 0,024% | 7,32 |
| 140 | 140000 | 103 | 0,0515 | 0,026% | 7,88 |
| 150 | 150000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 8,44 |
| 160 | 160000 | 116 | 0,058 | 0,029% | 9,01 |
| 170 | 170000 | 124 | 0,062 | 0,031% | 9,57 |
| 180 | 180000 | 129 | 0,0645 | 0,032% | 10,13 |
| 190 | 190000 | 133 | 0,0665 | 0,033% | 10,69 |
| 200 | 200000 | 139 | 0,0695 | 0,035% | 11,26 |
| 210 | 210000 | 147 | 0,0735 | 0,037% | 11,82 |
| 220 | 220000 | 153 | 0,0765 | 0,038% | 12,38 |
| 230 | 230000 | 162 | 0,081 | 0,041% | 12,95 |
| 240 | 240000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 13,51 |
| 250 | 250000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 14,07 |
| 260 | 260000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 14,63 |
| 270 | 270000 | 201 | 0,1005 | 0,050% | 15,20 |

Lanjutan Tabel L.9.3 Analisis Beton Variasi V05-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 15,76 |
| 290 | 290000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 16,32 |
| 300 | 300000 | 227 | 0,1135 | 0,057% | 16,89 |
| 310 | 310000 | 235 | 0,1175 | 0,059% | 17,45 |
| 320 | 320000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 18,01 |
| 330 | 330000 | 250 | 0,125 | 0,063% | 18,57 |
| 340 | 340000 | 257 | 0,1285 | 0,064% | 19,14 |
| 350 | 350000 | 264 | 0,132 | 0,066% | 19,70 |
| 360 | 360000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 20,26 |
| 370 | 370000 | 276 | 0,138 | 0,069% | 20,83 |
| 380 | 380000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 21,39 |
| 390 | 390000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 21,95 |
| 400 | 400000 | 296 | 0,148 | 0,074% | 22,52 |
| 410 | 410000 | 302 | 0,151 | 0,076% | 23,08 |
| 420 | 420000 | 308 | 0,154 | 0,077% | 23,64 |
| 430 | 430000 | 314 | 0,157 | 0,079% | 24,20 |
| 440 | 440000 | 319 | 0,1595 | 0,080% | 24,77 |
| 450 | 450000 | 324 | 0,162 | 0,081% | 25,33 |
| 460 | 460000 | 329 | 0,1645 | 0,082% | 25,89 |
| 470 | 470000 | 333 | 0,1665 | 0,083% | 26,46 |
| 480 | 480000 | 337 | 0,1685 | 0,084% | 27,02 |
| 490 | 490000 | 341 | 0,1705 | 0,085% | 27,58 |
| 500 | 500000 | 347 | 0,1735 | 0,087% | 28,14 |
| 510 | 510000 | 353 | 0,1765 | 0,088% | 28,71 |
| 520 | 520000 | 359 | 0,1795 | 0,090% | 29,27 |
| 530 | 530000 | 367 | 0,1835 | 0,0009175 | 29,83 |
| 540 | 540000 | 375 | 0,1875 | 0,0009375 | 30,40 |

Lanjutan Tabel L.9.3 Analisis Beton Variasi V05-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 383 | 0,1915 | 0,0009575 | 30,96 |
| 560 | 560000 | 393 | 0,1965 | 0,0009825 | 31,52 |
| 570 | 570000 | 401 | 0,2005 | 0,0010025 | 32,08 |
| 580 | 580000 | 410 | 0,205 | 0,001025 | 32,65 |
| 590 | 590000 | 419 | 0,2095 | 0,0010475 | 33,21 |
| 600 | 600000 | 430 | 0,215 | 0,001075 | 33,77 |
| 610 | 610000 | 441 | 0,2205 | 0,0011025 | 34,34 |
| 620 | 620000 | 452 | 0,226 | 0,00113 | 34,90 |
| 630 | 630000 | 464 | 0,232 | 0,00116 | 35,46 |
| 640 | 640000 | 476 | 0,238 | 0,00119 | 36,02 |
| 650 | 650000 | 488 | 0,244 | 0,00122 | 36,59 |
| 660 | 660000 | 502 | 0,251 | 0,001255 | 37,15 |
| 670 | 670000 | 516 | 0,258 | 0,00129 | 37,71 |
| 680 | 680000 | 534 | 0,267 | 0,001335 | 38,28 |
| 684,8 | 684800 | 561 | 0,2805 | 0,0014025 | 38,55 |
| 680 | 680000 | 588 | 0,294 | 0,00147 | 38,28 |
| 670 | 670000 | 610 | 0,305 | 0,001525 | 37,71 |
| 660 | 660000 | 632 | 0,316 | 0,00158 | 37,15 |
| 650 | 650000 | 650 | 0,325 | 0,001625 | 36,59 |
| 640 | 640000 | 668 | 0,334 | 0,00167 | 36,02 |
| 630 | 630000 | 682 | 0,341 | 0,001705 | 35,46 |
| 620 | 620000 | 696 | 0,348 | 0,00174 | 34,90 |
| 610 | 610000 | 710 | 0,355 | 0,001775 | 34,34 |
| 600 | 600000 | 724 | 0,362 | 0,00181 | 33,77 |



Gambar L.9.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V05-3

Tabel L.9.4 Analisis Beton Variasi V05-4

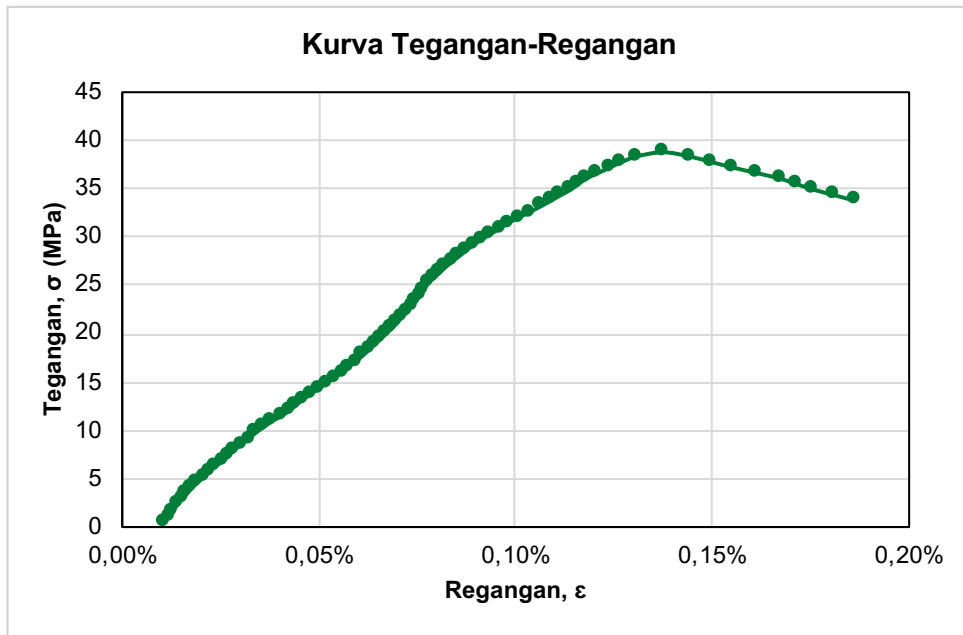
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,57 |
| 20 | 20000 | 7 | 0,0035 | 0,002% | 1,15 |
| 30 | 30000 | 11 | 0,0055 | 0,003% | 1,72 |
| 40 | 40000 | 15 | 0,0075 | 0,004% | 2,30 |
| 50 | 50000 | 20 | 0,01 | 0,005% | 2,87 |
| 60 | 60000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 3,45 |
| 70 | 70000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 4,02 |
| 80 | 80000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 4,59 |
| 90 | 90000 | 42 | 0,021 | 0,011% | 5,17 |
| 100 | 100000 | 48 | 0,024 | 0,012% | 5,74 |
| 110 | 110000 | 55 | 0,0275 | 0,014% | 6,32 |
| 120 | 120000 | 62 | 0,031 | 0,016% | 6,89 |
| 130 | 130000 | 68 | 0,034 | 0,017% | 7,47 |
| 140 | 140000 | 74 | 0,037 | 0,019% | 8,04 |
| 150 | 150000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 8,61 |
| 160 | 160000 | 88 | 0,044 | 0,022% | 9,19 |
| 170 | 170000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 9,76 |
| 180 | 180000 | 103 | 0,0515 | 0,026% | 10,34 |
| 190 | 190000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 10,91 |
| 200 | 200000 | 121 | 0,0605 | 0,030% | 11,49 |
| 210 | 210000 | 129 | 0,0645 | 0,032% | 12,06 |
| 220 | 220000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 12,63 |
| 230 | 230000 | 143 | 0,0715 | 0,036% | 13,21 |
| 240 | 240000 | 151 | 0,0755 | 0,038% | 13,78 |
| 250 | 250000 | 159 | 0,0795 | 0,040% | 14,36 |
| 260 | 260000 | 167 | 0,0835 | 0,042% | 14,93 |
| 270 | 270000 | 175 | 0,0875 | 0,044% | 15,51 |

Lanjutan Tabel L.9.4 Analisis Beton Variasi V05-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 183 | 0,0915 | 0,046% | 16,08 |
| 290 | 290000 | 190 | 0,095 | 0,048% | 16,65 |
| 300 | 300000 | 197 | 0,0985 | 0,049% | 17,23 |
| 310 | 310000 | 204 | 0,102 | 0,051% | 17,80 |
| 320 | 320000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 18,38 |
| 330 | 330000 | 216 | 0,108 | 0,054% | 18,95 |
| 340 | 340000 | 222 | 0,111 | 0,056% | 19,53 |
| 350 | 350000 | 228 | 0,114 | 0,057% | 20,10 |
| 360 | 360000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 20,67 |
| 370 | 370000 | 239 | 0,1195 | 0,060% | 21,25 |
| 380 | 380000 | 244 | 0,122 | 0,061% | 21,82 |
| 390 | 390000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 22,40 |
| 400 | 400000 | 254 | 0,127 | 0,064% | 22,97 |
| 410 | 410000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 23,55 |
| 420 | 420000 | 262 | 0,131 | 0,066% | 24,12 |
| 430 | 430000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 24,69 |
| 440 | 440000 | 270 | 0,135 | 0,068% | 25,27 |
| 450 | 450000 | 276 | 0,138 | 0,069% | 25,84 |
| 460 | 460000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 26,42 |
| 470 | 470000 | 288 | 0,144 | 0,072% | 26,99 |
| 480 | 480000 | 295 | 0,1475 | 0,074% | 27,57 |
| 490 | 490000 | 302 | 0,151 | 0,076% | 28,14 |
| 500 | 500000 | 309 | 0,1545 | 0,077% | 28,71 |
| 510 | 510000 | 316 | 0,158 | 0,079% | 29,29 |
| 520 | 520000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 29,86 |
| 530 | 530000 | 334 | 0,167 | 0,000835 | 30,44 |
| 540 | 540000 | 343 | 0,1715 | 0,0008575 | 31,01 |

Lanjutan Tabel L.9.4 Analisis Beton Variasi V05-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 352 | 0,176 | 0,00088 | 31,59 |
| 560 | 560000 | 363 | 0,1815 | 0,0009075 | 32,16 |
| 570 | 570000 | 374 | 0,187 | 0,000935 | 32,73 |
| 580 | 580000 | 385 | 0,1925 | 0,0009625 | 33,31 |
| 590 | 590000 | 395 | 0,1975 | 0,0009875 | 33,88 |
| 600 | 600000 | 405 | 0,2025 | 0,0010125 | 34,46 |
| 610 | 610000 | 415 | 0,2075 | 0,0010375 | 35,03 |
| 620 | 620000 | 423 | 0,2115 | 0,0010575 | 35,61 |
| 630 | 630000 | 431 | 0,2155 | 0,0010775 | 36,18 |
| 640 | 640000 | 443 | 0,2215 | 0,0011075 | 36,75 |
| 650 | 650000 | 455 | 0,2275 | 0,0011375 | 37,33 |
| 660 | 660000 | 467 | 0,2335 | 0,0011675 | 37,90 |
| 670 | 670000 | 482 | 0,241 | 0,001205 | 38,48 |
| 677,7 | 677700 | 509 | 0,2545 | 0,0012725 | 38,92 |
| 670 | 670000 | 536 | 0,268 | 0,00134 | 38,48 |
| 660 | 660000 | 558 | 0,279 | 0,001395 | 37,90 |
| 650 | 650000 | 580 | 0,29 | 0,00145 | 37,33 |
| 640 | 640000 | 604 | 0,302 | 0,00151 | 36,75 |
| 630 | 630000 | 628 | 0,314 | 0,00157 | 36,18 |
| 620 | 620000 | 645 | 0,3225 | 0,0016125 | 35,61 |
| 610 | 610000 | 662 | 0,331 | 0,001655 | 35,03 |
| 600 | 600000 | 683 | 0,3415 | 0,0017075 | 34,46 |
| 590 | 590000 | 704 | 0,352 | 0,00176 | 33,88 |



Gambar L.9.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V05-4

Tabel L.9.5 Analisis Beton Variasi V05-5

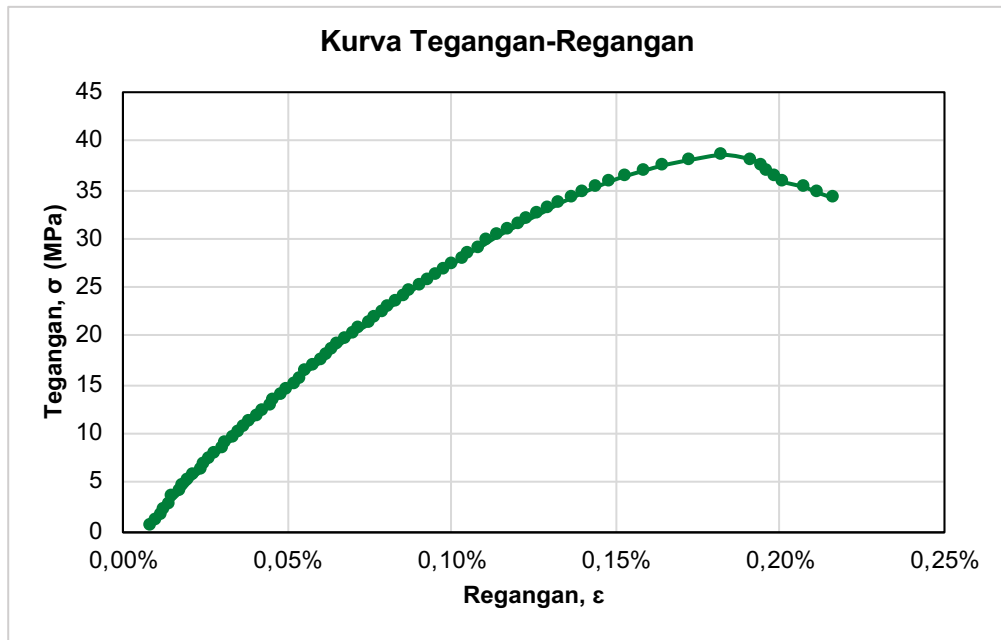
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 9 | 0,0045 | 0,002% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 15 | 0,0075 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 20 | 0,01 | 0,005% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 50 | 0,025 | 0,013% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 56 | 0,028 | 0,014% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 64 | 0,032 | 0,016% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 69 | 0,0345 | 0,017% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 75 | 0,0375 | 0,019% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 104 | 0,052 | 0,026% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 110 | 0,055 | 0,028% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 118 | 0,059 | 0,030% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 125 | 0,0625 | 0,031% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 134 | 0,067 | 0,034% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 140 | 0,07 | 0,035% | 12,27 |
| 230 | 230000 | 148 | 0,074 | 0,037% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 154 | 0,077 | 0,039% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 13,94 |
| 260 | 260000 | 170 | 0,085 | 0,043% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 15,06 |

Lanjutan Tabel L.9.5 Analisis Beton Variasi V05-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 185 | 0,0925 | 0,046% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 191 | 0,0955 | 0,048% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 200 | 0,1 | 0,050% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 218 | 0,109 | 0,055% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 224 | 0,112 | 0,056% | 18,40 |
| 340 | 340000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 249 | 0,1245 | 0,062% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 269 | 0,1345 | 0,067% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 285 | 0,1425 | 0,071% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 294 | 0,147 | 0,074% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 303 | 0,1515 | 0,076% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 311 | 0,1555 | 0,078% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 340 | 0,17 | 0,085% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 350 | 0,175 | 0,088% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 360 | 0,18 | 0,090% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 371 | 0,1855 | 0,093% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 382 | 0,191 | 0,096% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 391 | 0,1955 | 0,098% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 404 | 0,202 | 0,101% | 29,00 |
| 530 | 530000 | 414 | 0,207 | 0,001035 | 29,56 |
| 540 | 540000 | 425 | 0,2125 | 0,0010625 | 30,11 |

Lanjutan Tabel L.9.5 Analisis Beton Variasi V05-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 437 | 0,2185 | 0,0010925 | 30,67 |
| 560 | 560000 | 450 | 0,225 | 0,001125 | 31,23 |
| 570 | 570000 | 462 | 0,231 | 0,001155 | 31,79 |
| 580 | 580000 | 475 | 0,2375 | 0,0011875 | 32,35 |
| 590 | 590000 | 488 | 0,244 | 0,00122 | 32,90 |
| 600 | 600000 | 500 | 0,25 | 0,00125 | 33,46 |
| 610 | 610000 | 515 | 0,2575 | 0,0012875 | 34,02 |
| 620 | 620000 | 529 | 0,2645 | 0,0013225 | 34,58 |
| 630 | 630000 | 545 | 0,2725 | 0,0013625 | 35,13 |
| 640 | 640000 | 561 | 0,2805 | 0,0014025 | 35,69 |
| 650 | 650000 | 580 | 0,29 | 0,00145 | 36,25 |
| 660 | 660000 | 603 | 0,3015 | 0,0015075 | 36,81 |
| 670 | 670000 | 627 | 0,3135 | 0,0015675 | 37,36 |
| 680 | 680000 | 660 | 0,33 | 0,00165 | 37,92 |
| 689 | 689000 | 700 | 0,35 | 0,00175 | 38,42 |
| 680 | 680000 | 735 | 0,3675 | 0,0018375 | 37,92 |
| 670 | 670000 | 747 | 0,3735 | 0,0018675 | 37,36 |
| 660 | 660000 | 754 | 0,377 | 0,001885 | 36,81 |
| 650 | 650000 | 765 | 0,3825 | 0,0019125 | 36,25 |
| 640 | 640000 | 772 | 0,386 | 0,00193 | 35,69 |
| 630 | 630000 | 798 | 0,399 | 0,001995 | 35,13 |
| 620 | 620000 | 814 | 0,407 | 0,002035 | 34,58 |
| 610 | 610000 | 834 | 0,417 | 0,002085 | 34,02 |



Gambar L.9.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V05-5

Lampiran 10 Data Analisis Modulus Elastisitas Beton Variasi V-06

Tabel L.10.1 Analisis Beton Variasi V06-1

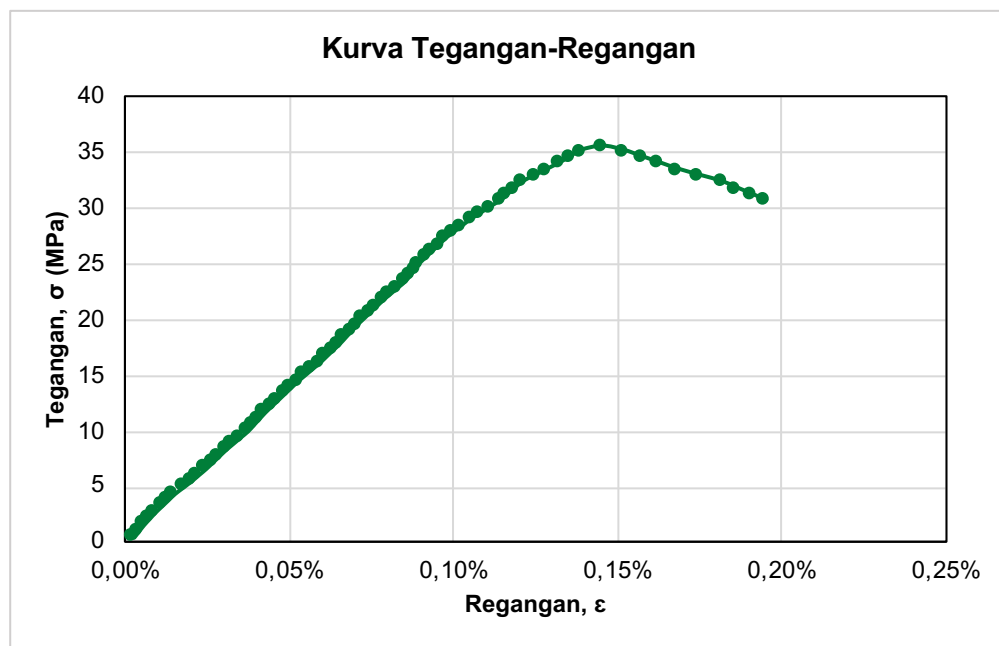
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 14 | 0,007 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 21 | 0,0105 | 0,005% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 28 | 0,014 | 0,007% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 52 | 0,026 | 0,013% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 62 | 0,031 | 0,016% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 72 | 0,036 | 0,018% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 90 | 0,045 | 0,023% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 98 | 0,049 | 0,025% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 106 | 0,053 | 0,027% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 114 | 0,057 | 0,029% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 123 | 0,0615 | 0,031% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 132 | 0,066 | 0,033% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 148 | 0,074 | 0,037% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 155 | 0,0775 | 0,039% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 162 | 0,081 | 0,041% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 170 | 0,085 | 0,043% | 12,27 |
| 230 | 230000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 13,94 |

Lanjutan Tabel L.10.1 Analisis Beton Variasi V06-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 260 | 260000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 211 | 0,1055 | 0,053% | 15,06 |
| 280 | 280000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 229 | 0,1145 | 0,057% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 237 | 0,1185 | 0,059% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 245 | 0,1225 | 0,061% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 18,40 |
| 340 | 340000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 274 | 0,137 | 0,069% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 282 | 0,141 | 0,071% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 290 | 0,145 | 0,073% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 306 | 0,153 | 0,077% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 315 | 0,1575 | 0,079% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 324 | 0,162 | 0,081% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 333 | 0,1665 | 0,083% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 345 | 0,1725 | 0,086% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 351 | 0,1755 | 0,088% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 359 | 0,1795 | 0,090% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 367 | 0,1835 | 0,092% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 375 | 0,1875 | 0,094% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 383 | 0,1915 | 0,096% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 393 | 0,1965 | 0,098% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 403 | 0,2015 | 0,101% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 413 | 0,2065 | 0,103% | 29,00 |

Lanjutan Tabel L.10.1 Analisis Beton Variasi V06-1

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 530 | 530000 | 425 | 0,2125 | 0,0010625 | 29,56 |
| 540 | 540000 | 437 | 0,2185 | 0,0010925 | 30,11 |
| 550 | 550000 | 449 | 0,2245 | 0,0011225 | 30,67 |
| 560 | 560000 | 458 | 0,229 | 0,001145 | 31,23 |
| 570 | 570000 | 467 | 0,2335 | 0,0011675 | 31,79 |
| 580 | 580000 | 476 | 0,238 | 0,00119 | 32,35 |
| 590 | 590000 | 491 | 0,2455 | 0,0012275 | 32,90 |
| 600 | 600000 | 506 | 0,253 | 0,001265 | 33,46 |
| 610 | 610000 | 521 | 0,2605 | 0,0013025 | 34,02 |
| 620 | 620000 | 534 | 0,267 | 0,001335 | 34,58 |
| 630 | 630000 | 547 | 0,2735 | 0,0013675 | 35,13 |
| 636,7 | 636700 | 573 | 0,2865 | 0,0014325 | 35,51 |
| 630 | 630000 | 599 | 0,2995 | 0,0014975 | 35,13 |
| 620 | 620000 | 621 | 0,3105 | 0,0015525 | 34,58 |
| 610 | 610000 | 643 | 0,3215 | 0,0016075 | 34,02 |
| 600 | 600000 | 665 | 0,3325 | 0,0016625 | 33,46 |
| 590 | 590000 | 692 | 0,346 | 0,00173 | 32,90 |
| 580 | 580000 | 719 | 0,3595 | 0,0017975 | 32,35 |
| 570 | 570000 | 737 | 0,3685 | 0,0018425 | 31,79 |
| 560 | 560000 | 755 | 0,3775 | 0,0018875 | 31,23 |
| 550 | 550000 | 773 | 0,3865 | 0,0019325 | 30,67 |



Gambar L.10.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V06-1

Tabel L.10.2 Analisis Beton Variasi V06-2

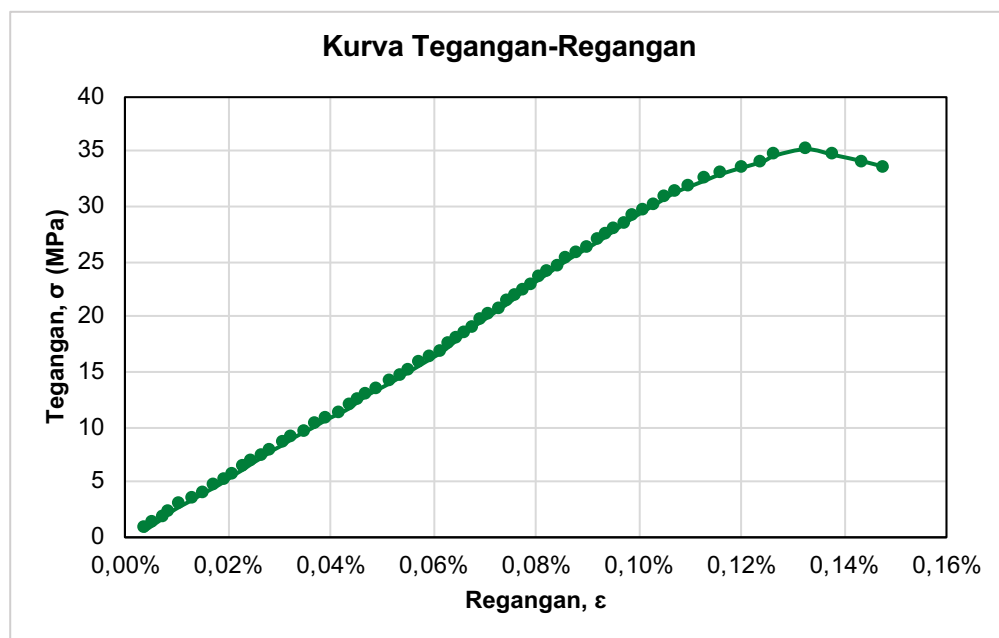
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 10 | 0,005 | 0,003% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 23 | 0,0115 | 0,006% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 31 | 0,0155 | 0,008% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 40 | 0,02 | 0,010% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 48 | 0,024 | 0,012% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 57 | 0,0285 | 0,014% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 72 | 0,036 | 0,018% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 80 | 0,04 | 0,020% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 87 | 0,0435 | 0,022% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 95 | 0,0475 | 0,024% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 102 | 0,051 | 0,026% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 111 | 0,0555 | 0,028% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 118 | 0,059 | 0,030% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 127 | 0,0635 | 0,032% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 144 | 0,072 | 0,036% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 154 | 0,077 | 0,039% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 169 | 0,0845 | 0,042% | 12,27 |
| 230 | 230000 | 176 | 0,088 | 0,044% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 185 | 0,0925 | 0,046% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 13,94 |
| 260 | 260000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 15,06 |

Lanjutan Tabel L.10.2 Analisis Beton Variasi V06-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 218 | 0,109 | 0,055% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 246 | 0,123 | 0,062% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 252 | 0,126 | 0,063% | 18,40 |
| 340 | 340000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 265 | 0,1325 | 0,066% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 272 | 0,136 | 0,068% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 279 | 0,1395 | 0,070% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 286 | 0,143 | 0,072% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 292 | 0,146 | 0,073% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 298 | 0,149 | 0,075% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 304 | 0,152 | 0,076% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 311 | 0,1555 | 0,078% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 318 | 0,159 | 0,080% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 325 | 0,1625 | 0,081% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 332 | 0,166 | 0,083% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 340 | 0,17 | 0,085% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 348 | 0,174 | 0,087% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 363 | 0,1815 | 0,091% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 370 | 0,185 | 0,093% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 377 | 0,1885 | 0,094% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 384 | 0,192 | 0,096% | 29,00 |
| 530 | 530000 | 392 | 0,196 | 0,00098 | 29,56 |
| 540 | 540000 | 400 | 0,2 | 0,001 | 30,11 |

Lanjutan Tabel L.10.2 Analisis Beton Variasi V06-2

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 408 | 0,204 | 0,00102 | 30,67 |
| 560 | 560000 | 416 | 0,208 | 0,00104 | 31,23 |
| 570 | 570000 | 428 | 0,214 | 0,00107 | 31,79 |
| 580 | 580000 | 440 | 0,22 | 0,0011 | 32,35 |
| 590 | 590000 | 452 | 0,226 | 0,00113 | 32,90 |
| 600 | 600000 | 468 | 0,234 | 0,00117 | 33,46 |
| 610 | 610000 | 484 | 0,242 | 0,00121 | 34,02 |
| 620 | 620000 | 494 | 0,247 | 0,001235 | 34,58 |
| 629,9 | 629900 | 518 | 0,259 | 0,001295 | 35,13 |
| 620 | 620000 | 540 | 0,27 | 0,00135 | 34,58 |
| 610 | 610000 | 562 | 0,281 | 0,001405 | 34,02 |
| 600 | 600000 | 580 | 0,29 | 0,00145 | 33,46 |



Gambar L.10.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V06-2

Tabel L.10.3 Analisis Beton Variasi V06-3

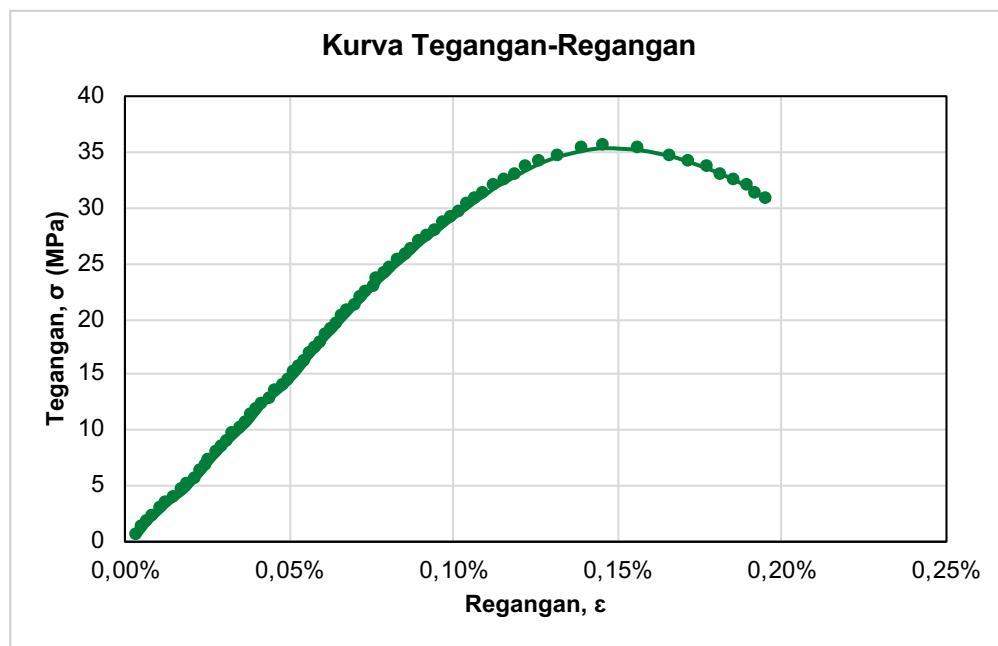
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 14 | 0,007 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 22 | 0,011 | 0,006% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 30 | 0,015 | 0,008% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 38 | 0,019 | 0,010% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 48 | 0,024 | 0,012% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 72 | 0,036 | 0,018% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 79 | 0,0395 | 0,020% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 85 | 0,0425 | 0,021% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 91 | 0,0455 | 0,023% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 98 | 0,049 | 0,025% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 112 | 0,056 | 0,028% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 120 | 0,06 | 0,030% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 128 | 0,064 | 0,032% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 142 | 0,071 | 0,036% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 148 | 0,074 | 0,037% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 154 | 0,077 | 0,039% | 12,27 |
| 230 | 230000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 172 | 0,086 | 0,043% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 181 | 0,0905 | 0,045% | 13,94 |
| 260 | 260000 | 188 | 0,094 | 0,047% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 195 | 0,0975 | 0,049% | 15,06 |

Lanjutan Tabel L.10.3 Analisis Beton Variasi V06-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 201 | 0,1005 | 0,050% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 207 | 0,1035 | 0,052% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 212 | 0,106 | 0,053% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 232 | 0,116 | 0,058% | 18,40 |
| 340 | 340000 | 240 | 0,12 | 0,060% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 246 | 0,123 | 0,062% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 253 | 0,1265 | 0,063% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 260 | 0,13 | 0,065% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 267 | 0,1335 | 0,067% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 281 | 0,1405 | 0,070% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 290 | 0,145 | 0,073% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 296 | 0,148 | 0,074% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 305 | 0,1525 | 0,076% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 312 | 0,156 | 0,078% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 321 | 0,1605 | 0,080% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 330 | 0,165 | 0,083% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 338 | 0,169 | 0,085% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 346 | 0,173 | 0,087% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 356 | 0,178 | 0,089% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 366 | 0,183 | 0,092% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 375 | 0,1875 | 0,094% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 385 | 0,1925 | 0,096% | 29,00 |
| 530 | 530000 | 395 | 0,1975 | 0,0009875 | 29,56 |
| 540 | 540000 | 405 | 0,2025 | 0,0010125 | 30,11 |

Lanjutan Tabel L.10.3 Analisis Beton Variasi V06-3

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 415 | 0,2075 | 0,0010375 | 30,67 |
| 560 | 560000 | 426 | 0,213 | 0,001065 | 31,23 |
| 570 | 570000 | 436 | 0,218 | 0,00109 | 31,79 |
| 580 | 580000 | 450 | 0,225 | 0,001125 | 32,35 |
| 590 | 590000 | 463 | 0,2315 | 0,0011575 | 32,90 |
| 600 | 600000 | 477 | 0,2385 | 0,0011925 | 33,46 |
| 610 | 610000 | 493 | 0,2465 | 0,0012325 | 34,02 |
| 620 | 620000 | 514 | 0,257 | 0,001285 | 34,58 |
| 630 | 630000 | 546 | 0,273 | 0,001365 | 35,13 |
| 633,4 | 633400 | 571 | 0,2855 | 0,0014275 | 35,32 |
| 630 | 630000 | 613 | 0,3065 | 0,0015325 | 35,13 |
| 620 | 620000 | 651 | 0,3255 | 0,0016275 | 34,58 |
| 610 | 610000 | 675 | 0,3375 | 0,0016875 | 34,02 |
| 600 | 600000 | 696 | 0,348 | 0,00174 | 33,46 |
| 590 | 590000 | 715 | 0,3575 | 0,0017875 | 32,90 |
| 580 | 580000 | 731 | 0,3655 | 0,0018275 | 32,35 |
| 570 | 570000 | 746 | 0,373 | 0,001865 | 31,79 |
| 560 | 560000 | 756 | 0,378 | 0,00189 | 31,23 |
| 550 | 550000 | 770 | 0,385 | 0,001925 | 30,67 |



Gambar L.10.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V06-3

Tabel L.10.4 Analisis Beton Variasi V06-4

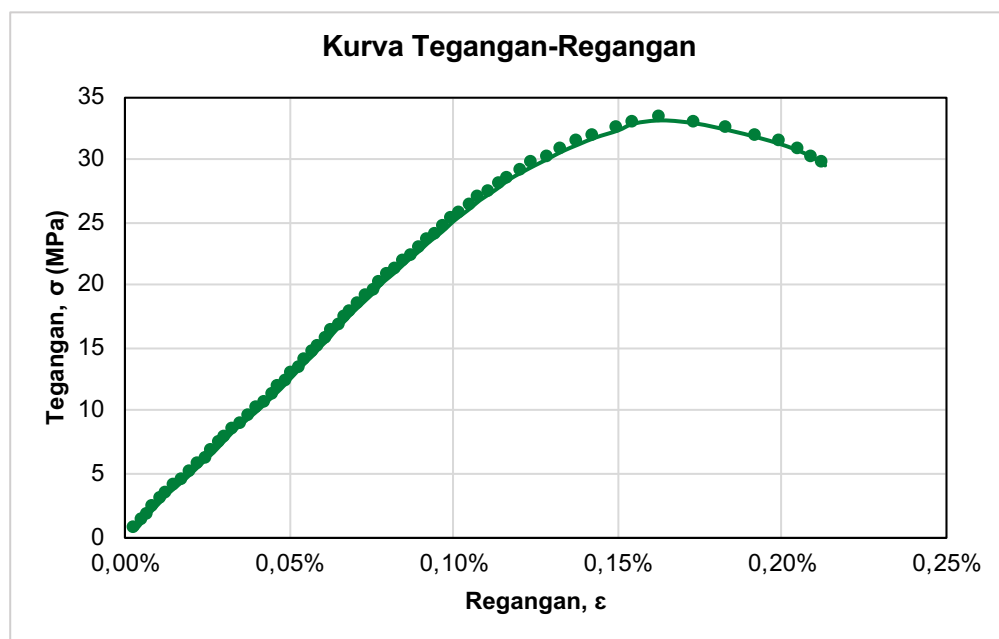
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 3 | 0,0015 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 10 | 0,005 | 0,003% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 17 | 0,0085 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 25 | 0,0125 | 0,006% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 33 | 0,0165 | 0,008% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 41 | 0,0205 | 0,010% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 51 | 0,0255 | 0,013% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 61 | 0,0305 | 0,015% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 70 | 0,035 | 0,018% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 79 | 0,0395 | 0,020% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 88 | 0,044 | 0,022% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 97 | 0,0485 | 0,024% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 105 | 0,0525 | 0,026% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 113 | 0,0565 | 0,028% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 121 | 0,0605 | 0,030% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 131 | 0,0655 | 0,033% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 141 | 0,0705 | 0,035% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 151 | 0,0755 | 0,038% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 160 | 0,08 | 0,040% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 169 | 0,0845 | 0,042% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 178 | 0,089 | 0,045% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 186 | 0,093 | 0,047% | 12,27 |
| 230 | 230000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 202 | 0,101 | 0,051% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 210 | 0,105 | 0,053% | 13,94 |
| 260 | 260000 | 219 | 0,1095 | 0,055% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 226 | 0,113 | 0,057% | 15,06 |

Lanjutan Tabel L.10.4 Analisis Beton Variasi V06-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 235 | 0,1175 | 0,059% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 242 | 0,121 | 0,061% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 250 | 0,125 | 0,063% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 258 | 0,129 | 0,065% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 275 | 0,1375 | 0,069% | 18,40 |
| 340 | 340000 | 284 | 0,142 | 0,071% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 293 | 0,1465 | 0,073% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 300 | 0,15 | 0,075% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 310 | 0,155 | 0,078% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 329 | 0,1645 | 0,082% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 339 | 0,1695 | 0,085% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 349 | 0,1745 | 0,087% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 358 | 0,179 | 0,090% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 369 | 0,1845 | 0,092% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 379 | 0,1895 | 0,095% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 388 | 0,194 | 0,097% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 399 | 0,1995 | 0,100% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 410 | 0,205 | 0,103% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 420 | 0,21 | 0,105% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 433 | 0,2165 | 0,108% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 445 | 0,2225 | 0,111% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 456 | 0,228 | 0,114% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 471 | 0,2355 | 0,118% | 29,00 |
| 530 | 530000 | 487 | 0,2435 | 0,0012175 | 29,56 |
| 540 | 540000 | 504 | 0,252 | 0,00126 | 30,11 |

Lanjutan Tabel L.10.4 Analisis Beton Variasi V06-4

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ϵ) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 520 | 0,26 | 0,0013 | 30,67 |
| 560 | 560000 | 540 | 0,27 | 0,00135 | 31,23 |
| 570 | 570000 | 561 | 0,2805 | 0,0014025 | 31,79 |
| 580 | 580000 | 588 | 0,294 | 0,00147 | 32,35 |
| 590 | 590000 | 608 | 0,304 | 0,00152 | 32,90 |
| 594,5 | 594500 | 642 | 0,321 | 0,001605 | 33,15 |
| 590 | 590000 | 683 | 0,3415 | 0,0017075 | 32,90 |
| 580 | 580000 | 724 | 0,362 | 0,00181 | 32,35 |
| 570 | 570000 | 758 | 0,379 | 0,001895 | 31,79 |
| 560 | 560000 | 787 | 0,3935 | 0,0019675 | 31,23 |
| 550 | 550000 | 810 | 0,405 | 0,002025 | 30,67 |
| 540 | 540000 | 827 | 0,4135 | 0,0020675 | 30,11 |
| 530 | 530000 | 840 | 0,42 | 0,0021 | 29,56 |



Gambar L.10.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V06-4

Tabel L.10.5 Analisis Beton Variasi V06-5

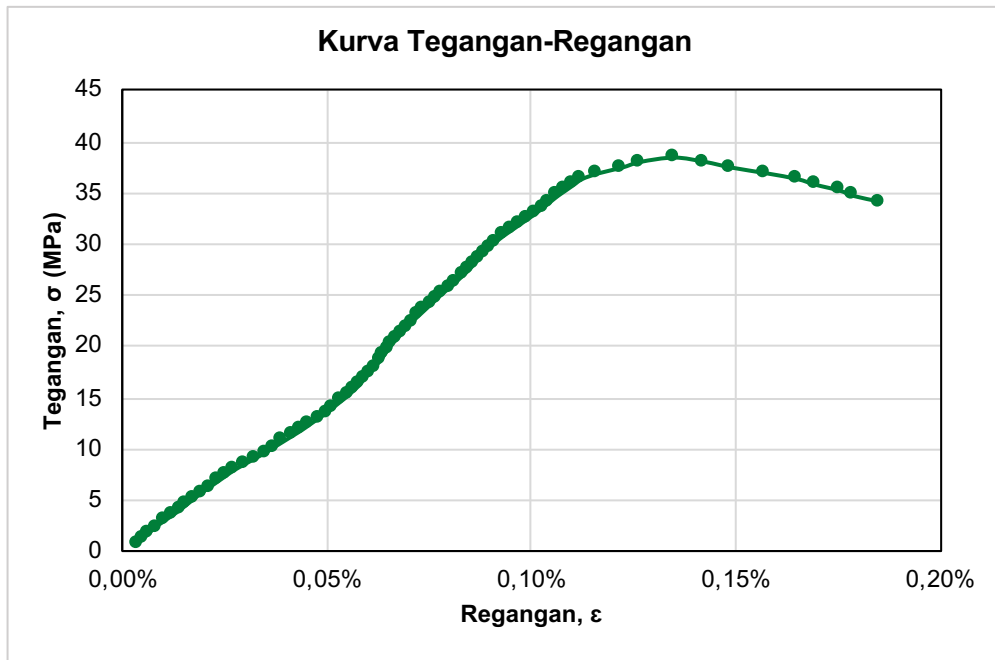
| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 10 | 10000 | 2 | 0,001 | 0,001% | 0,56 |
| 20 | 20000 | 8 | 0,004 | 0,002% | 1,12 |
| 30 | 30000 | 14 | 0,007 | 0,004% | 1,67 |
| 40 | 40000 | 20 | 0,01 | 0,005% | 2,23 |
| 50 | 50000 | 28 | 0,014 | 0,007% | 2,79 |
| 60 | 60000 | 36 | 0,018 | 0,009% | 3,35 |
| 70 | 70000 | 44 | 0,022 | 0,011% | 3,90 |
| 80 | 80000 | 51 | 0,0255 | 0,013% | 4,46 |
| 90 | 90000 | 58 | 0,029 | 0,015% | 5,02 |
| 100 | 100000 | 65 | 0,0325 | 0,016% | 5,58 |
| 110 | 110000 | 73 | 0,0365 | 0,018% | 6,13 |
| 120 | 120000 | 81 | 0,0405 | 0,020% | 6,69 |
| 130 | 130000 | 89 | 0,0445 | 0,022% | 7,25 |
| 140 | 140000 | 97 | 0,0485 | 0,024% | 7,81 |
| 150 | 150000 | 107 | 0,0535 | 0,027% | 8,37 |
| 160 | 160000 | 117 | 0,0585 | 0,029% | 8,92 |
| 170 | 170000 | 127 | 0,0635 | 0,032% | 9,48 |
| 180 | 180000 | 136 | 0,068 | 0,034% | 10,04 |
| 190 | 190000 | 145 | 0,0725 | 0,036% | 10,60 |
| 200 | 200000 | 154 | 0,077 | 0,039% | 11,15 |
| 210 | 210000 | 163 | 0,0815 | 0,041% | 11,71 |
| 220 | 220000 | 171 | 0,0855 | 0,043% | 12,27 |
| 230 | 230000 | 179 | 0,0895 | 0,045% | 12,83 |
| 240 | 240000 | 187 | 0,0935 | 0,047% | 13,38 |
| 250 | 250000 | 194 | 0,097 | 0,049% | 13,94 |
| 260 | 260000 | 201 | 0,1005 | 0,050% | 14,50 |
| 270 | 270000 | 208 | 0,104 | 0,052% | 15,06 |

Lanjutan Tabel L.10.5 Analisis Beton Variasi V06-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 280 | 280000 | 214 | 0,107 | 0,054% | 15,61 |
| 290 | 290000 | 220 | 0,11 | 0,055% | 16,17 |
| 300 | 300000 | 224 | 0,112 | 0,056% | 16,73 |
| 310 | 310000 | 229 | 0,1145 | 0,057% | 17,29 |
| 320 | 320000 | 234 | 0,117 | 0,059% | 17,85 |
| 330 | 330000 | 239 | 0,1195 | 0,060% | 18,40 |
| 340 | 340000 | 243 | 0,1215 | 0,061% | 18,96 |
| 350 | 350000 | 247 | 0,1235 | 0,062% | 19,52 |
| 360 | 360000 | 251 | 0,1255 | 0,063% | 20,08 |
| 370 | 370000 | 256 | 0,128 | 0,064% | 20,63 |
| 380 | 380000 | 261 | 0,1305 | 0,065% | 21,19 |
| 390 | 390000 | 266 | 0,133 | 0,067% | 21,75 |
| 400 | 400000 | 271 | 0,1355 | 0,068% | 22,31 |
| 410 | 410000 | 277 | 0,1385 | 0,069% | 22,86 |
| 420 | 420000 | 283 | 0,1415 | 0,071% | 23,42 |
| 430 | 430000 | 289 | 0,1445 | 0,072% | 23,98 |
| 440 | 440000 | 295 | 0,1475 | 0,074% | 24,54 |
| 450 | 450000 | 301 | 0,1505 | 0,075% | 25,10 |
| 460 | 460000 | 308 | 0,154 | 0,077% | 25,65 |
| 470 | 470000 | 314 | 0,157 | 0,079% | 26,21 |
| 480 | 480000 | 320 | 0,16 | 0,080% | 26,77 |
| 490 | 490000 | 326 | 0,163 | 0,082% | 27,33 |
| 500 | 500000 | 331 | 0,1655 | 0,083% | 27,88 |
| 510 | 510000 | 336 | 0,168 | 0,084% | 28,44 |
| 520 | 520000 | 341 | 0,1705 | 0,085% | 29,00 |
| 530 | 530000 | 347 | 0,1735 | 0,0008675 | 29,56 |
| 540 | 540000 | 353 | 0,1765 | 0,0008825 | 30,11 |

Lanjutan Tabel L.10.5 Analisis Beton Variasi V06-5

| Beban | | Ektensiometer x 10 ³ mm | Deformasi (mm) | Regangan (ε ^l) | Tegangan (σ) |
|-------|--------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| kN | N | | | | |
| 550 | 550000 | 360 | 0,18 | 0,0009 | 30,67 |
| 560 | 560000 | 368 | 0,184 | 0,00092 | 31,23 |
| 570 | 570000 | 376 | 0,188 | 0,00094 | 31,79 |
| 580 | 580000 | 384 | 0,192 | 0,00096 | 32,35 |
| 590 | 590000 | 392 | 0,196 | 0,00098 | 32,90 |
| 600 | 600000 | 399 | 0,1995 | 0,0009975 | 33,46 |
| 610 | 610000 | 406 | 0,203 | 0,001015 | 34,02 |
| 620 | 620000 | 413 | 0,2065 | 0,0010325 | 34,58 |
| 630 | 630000 | 421 | 0,2105 | 0,0010525 | 35,13 |
| 640 | 640000 | 429 | 0,2145 | 0,0010725 | 35,69 |
| 650 | 650000 | 437 | 0,2185 | 0,0010925 | 36,25 |
| 660 | 660000 | 453 | 0,2265 | 0,0011325 | 36,81 |
| 670 | 670000 | 476 | 0,238 | 0,00119 | 37,36 |
| 680 | 680000 | 494 | 0,247 | 0,001235 | 37,92 |
| 687,6 | 687600 | 527 | 0,2635 | 0,0013175 | 38,35 |
| 680 | 680000 | 557 | 0,2785 | 0,0013925 | 37,92 |
| 670 | 670000 | 583 | 0,2915 | 0,0014575 | 37,36 |
| 660 | 660000 | 617 | 0,3085 | 0,0015425 | 36,81 |
| 650 | 650000 | 647 | 0,3235 | 0,0016175 | 36,25 |
| 640 | 640000 | 665 | 0,3325 | 0,0016625 | 35,69 |
| 630 | 630000 | 688 | 0,344 | 0,00172 | 35,13 |
| 620 | 620000 | 703 | 0,3515 | 0,0017575 | 34,58 |
| 610 | 610000 | 729 | 0,3645 | 0,0018225 | 34,02 |



Gambar L.10.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan V06-5