

**PENGARUH PENGGUNAAN PYROPHYLLITE DAN JENIS
SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN REGANGAN
BETON**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

HERMAN HARIS PRASETYA

0710613020

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN SIPIL

MALANG

2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat serta bimbingan-Nya, akhirnya kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul ” PENGARUH PENGGUNAAN *PYROPHYLLITE* DAN JENIS SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN REGANGAN BETON. Tugas akhir tersebut merupakan syarat untuk menempuh ujian sarjana pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.

Kami menyadari bahwa dengan keterbatasan waktu, pengetahuan, pengalaman, bahan acuan yang digunakan serta data yang dibutuhkan, maka jelas tulisan ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang telah banyak memberikan dukungan moral, do'a dan material selama ini serta kedepan.
2. Ir. Sugeng P Budio, MS selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Retno Anggraini, ST, MT. dan Ir. Ristinah S., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak bimbingan dan masukan yang berharga untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.
4. Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT., selaku dosen penguji skripsi dan ketua majelis seminar proposal.
5. Teman-teman 2007 dan semua pihak yang telah membantu baik moral maupun material dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna. Oleh karena itu segala saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi tercapainya hasil yang lebih baik. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Malang, Januari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | ii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | ix |
| RINGKASAN | x |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | |
| 2.1 Piropilit..... | 5 |
| 2.1.1 Pengaktifan Mineral Piropilit..... | 7 |
| 2.1.2 Pengaruh Piropilit Pada Kekuatan Beton..... | 8 |
| 2.2 Semen Portland..... | 8 |
| 2.2.1 Tipe Semen..... | 10 |
| 2.2.2 Klasifikasi Semen..... | 11 |
| 2.3 Beton..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1 Jenis Beton..... | 14 |
| 2.4 Filler | 15 |
| 2.5 Kuat Tekan | 15 |
| 2.6 Tegangan Regangan | 16 |
| 2.7 Perencanaan dan Pembuatan Beton | 18 |
| 2.7.1 Workabilitas | 19 |
| 2.7.2 Durabilitas | 19 |
| 2.8 Penelitian Terdahulu | 20 |
| 2.9 Hipotesis | 20 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 3.1 Tempat dan Waktu | 21 |
| 3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian..... | 21 |
| 3.3 Proses Pengadaan Bahan | 23 |
| 3.4 Metode Pengujian | 24 |
| 3.4.1 Kuat Tekan Beton..... | 24 |
| 3.4.2 Tegangan Regangan Beton | 25 |
| 3.5 Diagram Alir Penelitian..... | 26 |
| 3.6 Rancangan Penelitian | 27 |
| 3.7 Variable Penelitian | 28 |
| 3.8 Metode Analisis | 28 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Hasil uji material..... | 31 |
| 4.1.1 Analisa gradasi agregat | 31 |
| 4.1.2 Berat jenis dan penyerapan agregat..... | 33 |



| | |
|---|----|
| 4.1.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan piropilit | 34 |
| 4.1.4 Pemeriksaan kadar air agregat | 36 |
| 4.1.5 Berat isi agregat..... | 37 |
| 4.1.6 Komposisi pencampuran bahan beton..... | 38 |
| 4.1.7 Komposisi pencampuran piropilit | 39 |
| 4.2 Pengujian beton..... | 40 |
| 4.2.1 Pengujian kuat tekan beton normal | 40 |
| 4.2.2 Pengujian kuat tekan beton dan variasi piropilit umur 28 hari | 43 |
| 4.2.3 Pengujian kuat tekan beton dan variaasi piropilit umur 56 hari | 45 |
| 4.2.4 Pengujian regangan beton normal | 47 |
| 4.2.5 Pengujian regangan beton piropilit umur 28 hari..... | 50 |
| 4.2.6 Pengujian regangan beton piropilit umur 56 hari..... | 54 |
| 4.3 Hasil dan pembahasan..... | 59 |
| 4.3.1 Hasil dan pembahasan kuat tekan beton piropilit umur 28 hari..... | 59 |
| 4.3.2 Analisi regresi pengaruh piropilit dengan kuat tekan beton umur 28 hari..... | 63 |
| 4.3.3 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 28 hari | 64 |
| 4.3.4 Hasil dan pembahasan kuat tekan beton piropilit umur 56 hari..... | 66 |
| 4.3.5 Analisi regresi pengaruh piropilit dengan kuat tekan beton umur 56 hari..... | 70 |
| 4.3.6 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 56 hari | 71 |
| 4.3.7 Hasil dan pembahasan regangan maksimum beton piropilit umur 28 hari..... | 73 |
| 4.3.8 Analisi regresi pengaruh piropilit dengan regangan beton umur 28 hari..... | 77 |
| 4.3.9 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap regangan beton umur 28 hari | 78 |

| | |
|--|----|
| 4.3.10 Hasil dan pembahasan regangan maksimum beton piropilit umur 56 hari..... | 80 |
| 4.3.11 Analisi regresi pengaruh piropilit dengan regangan beton umur 56 hari..... | 84 |
| 4.3.12 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap regangan beton umur 56 hari..... | 85 |
| 4.3.13 Pembahasan..... | 87 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 91 |
| 5.2 Saran..... | 91 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

| | | Halaman |
|------------|---|---------|
| Tabel 2.1 | Klasifikasi semen jenis A..... | 11 |
| Tabel 2.2 | Klasifikasi fisika semen Jenis B | 12 |
| Tabel 2.3 | Klasifikasi kimia semen jenis B | 13 |
| Tabel 3.1 | Perencanaan Beton Kadar piropilit 0%..... | 27 |
| Tabel 3.2 | Perencanaan Beton Kadar Piropilit 5%-20%..... | 27 |
| Tabel 4.1 | Analisa gradasi agregat halus | 31 |
| Tabel 4.2 | Analisa gradasi agregat kasar | 32 |
| Tabel 4.3 | Data agregat halus..... | 33 |
| Tabel 4.4 | Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat halus..... | 34 |
| Tabel 4.5 | Data agregat kasar..... | 34 |
| Tabel 4.6 | Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar..... | 34 |
| Tabel 4.7 | Data piropilit..... | 35 |
| Tabel 4.8 | Hasil uji berat jenis dan penyerpan piropilit | 35 |
| Tabel 4.9 | Analisa kadar air agregat halus..... | 36 |
| Tabel 4.10 | Analisa kadar air agregat kasar..... | 36 |
| Tabel 4.11 | Analisa berat isi agregat kasar..... | 37 |
| Tabel 4.12 | Analisa berat isi agregat halus | 37 |
| Tabel 4.13 | Perancangan campuran beton normal | 38 |
| Tabel 4.14 | Data komposisi campuran beton | 38 |
| Tabel 4.15 | Kebutuhan piropilit untuk 1 buah beton | 39 |
| Tabel 4.16 | Kebutuhan piropilit untuk 18 buah beton | 39 |
| Tabel 4.17 | Data profil beton normal | 40 |
| Tabel 4.18 | Nilai kuat tekan pada beton..... | 41 |
| Tabel 4.19 | Nilai rata-rata kuat tekan pada beton | 41 |
| Tabel 4.20 | Data profil beton piropilit umur 28 hari..... | 44 |

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 4.21 | Data uji kuat tekan beton umur 28 hari dan variasi piropilit..... | 44 |
| Tabel 4.22 | Nilai rata-rata kuat tekan beton piropilit umur 28 hari dengan variasi piropilit dan jenis semen | 45 |
| Tabel 4.23 | Data profil beton piropilit umur 56 hari..... | 46 |
| Tabel 4.24 | Nilai kuat tekan beton umur 56 hari dan variasi piropilit | 46 |
| Tabel 4.25 | Nilai kuat tekan beton umur 56 hari dan variasi piropilit | 47 |
| Tabel 4.26 | Hasil uji regangan maximum beton normal | 49 |
| Tabel 4.27 | Hasil uji regangan maximum piropilit umur 28 hari | 53 |
| Tabel 4.28 | Hasil uji regangan maximum piropilit umur 56 hari | 57 |
| Tabel 4.29 | Data kuat tekan beton piropilit | 59 |
| Tabel 4.30 | Persentase piropilit terhadap kuat tekan umur 28 hari..... | 64 |
| Tabel 4.31 | Persentase jenis semen terhadap kuat tekan umur 28 hari..... | 65 |
| Tabel 4.32 | Data kuat tekan beton piropilit | 66 |
| Tabel 4.33 | Persentase piropilit terhadap kuat tekan umur 56 hari..... | 71 |
| Tabel 4.34 | Persentase jenis semen terhadap kuat tekan umur 56 hari..... | 72 |
| Tabel 4.35 | Data kuat tekan beton piropilit | 73 |
| Tabel 4.36 | Persentase piropilit terhadap regangan maksimum umur 28 hari | 78 |
| Tabel 4.37 | Persentase jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 28 hari | 79 |
| Tabel 4.38 | Data kuat tekan beton piropilit | 80 |
| Tabel 4.39 | Persentase piropilit terhadap regangan maksimum umur 56 hari | 85 |
| Tabel 4.40 | Persentase pengaruh jenis semen terhadap regangan maksimum umur 56 hari | 86 |

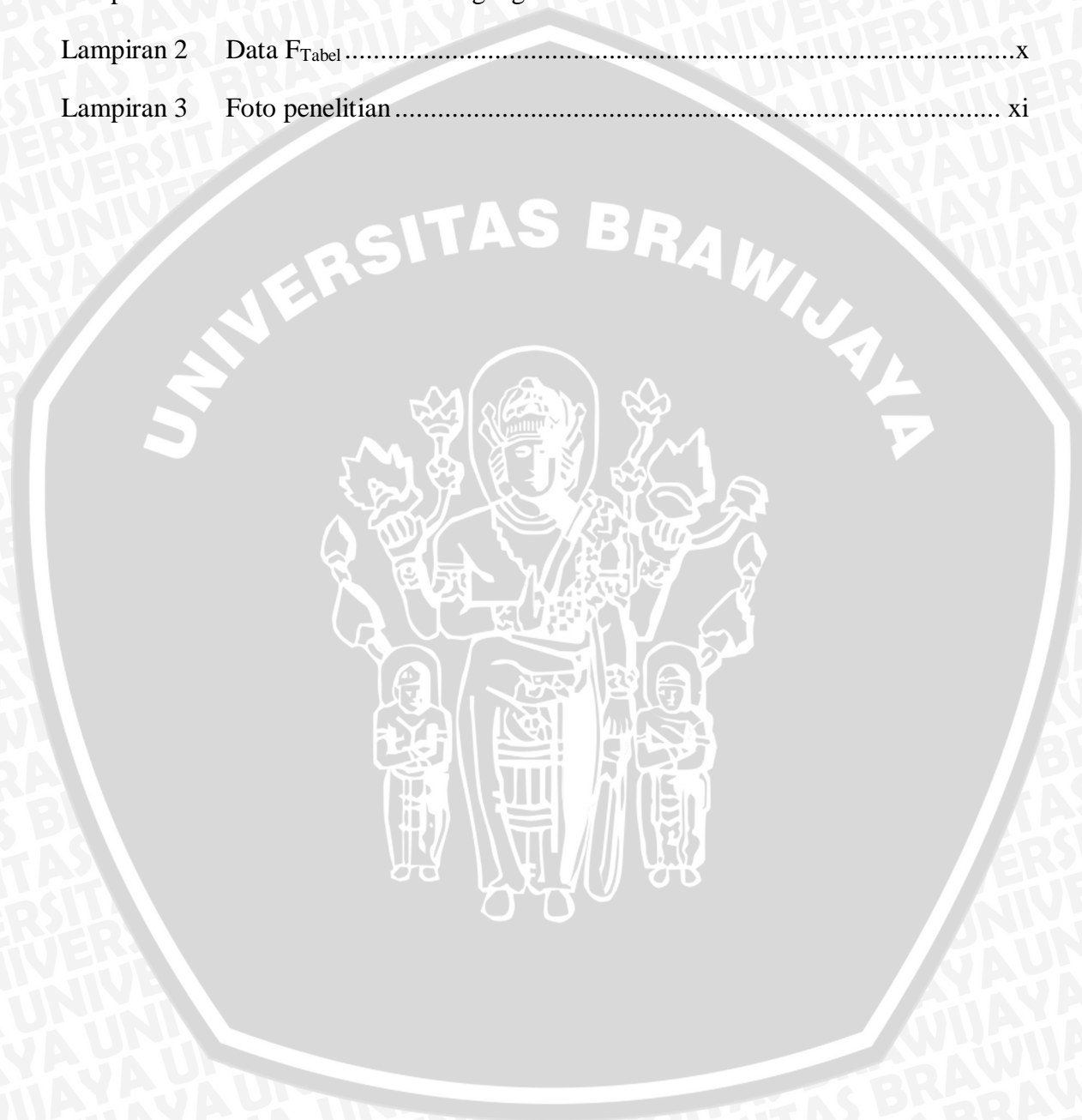
DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Batuan Piropilit..... | 5 |
| Gambar 2.2 Susunan mineral Montmorilonit..... | 6 |
| Gambar 2.3 Uji Kuat Tekan..... | 16 |
| Gambar 2.4 Grafik Hubungan Tegangan Regangan..... | 18 |
| Gambar 3.1 Alat Penelitian Kuat Tekan dan Regangan..... | 25 |
| Gambar 4.1 Hasil uji gradasi agregat halus..... | 32 |
| Gambar 4.2 Hasil uji gradasi agregat kasar..... | 33 |
| Gambar 4.3 Grafik hubungan antara rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen dan umur beton normal..... | 42 |
| Gambar 4.4 Kumpulan beton yang telah siap diuji..... | 42 |
| Gambar 4.5 Skema pengujian kuat tekan beton..... | 43 |
| Gambar 4.6 Beton setelah diuji kuat tekan..... | 43 |
| Gambar 4.7 Diagram tegangan regangan beton normal umur 28 hari dengan variasi jenis semen..... | 48 |
| Gambar 4.8 Diagram tegangan regangan beton normal umur 56 hari dengan variasi jenis semen..... | 48 |
| Gambar 4.9 Hubungan antara kuat tekan dengan regangan maksimum beton normal umur 56 hari..... | 50 |
| Gambar 4.10 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 5% umur 28 hari dengan variasi jenis semen..... | 50 |
| Gambar 4.11 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 10% umur 28 hari dengan variasi jenis semen..... | 51 |
| Gambar 4.12 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 15% umur 28 hari dengan variasi jenis semen..... | 52 |
| Gambar 4.13 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 20% umur 28 hari dengan variasi jenis semen..... | 52 |
| Gambar 4.14 Hubungan antara regangan maksimum beton dengan kadar piropilit umur 28 hari..... | 54 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.15 | Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 5% umur 56 hari dengan variasi jenis semen58 | 54 |
| Gambar 4.16 | Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 10% umur 56 hari dengan variasi jenis semen | 55 |
| Gambar 4.17 | Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 15% umur 56 hari dengan variasi jenis semen | 56 |
| Gambar 4.18 | Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 20% umur 56 hari dengan variasi jenis semen | 56 |
| Gambar 4.19 | Hubungan antara regangan maksimum beton dengan variasi piropilit umur 56 hari | 58 |
| Gambar 4.20 | Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 28 hari..... | 63 |
| Gambar 4.21 | Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap rata-rata kuat tekan beton umur 28 hari..... | 64 |
| Gambar 4.22 | Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 56 hari. | 70 |
| Gambar 4.23 | Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 56 hari. | 71 |
| Gambar 4.24 | Hubungan pengaruh penggunaan piropilit terhadap regangan beton piropilit umur 28 hari. | 77 |
| Gambar 4.25 | Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 28 hari. | 78 |
| Gambar 4.26 | Hubungan pengaruh penggunaan piropilit terhadap regangan beton piropilit umur 56 hari. | 84 |
| Gamabr 4.27 | Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 56 hari. | 85 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran 1 Data kuat tekan dan regangan beton | ix |
| Lampiran 2 Data F_{Tabel} | x |
| Lampiran 3 Foto penelitian | xi |



RINGKASAN

Herman Haris P., Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2011, *PENGARUH PENGGUNAAN PHYROPHILITE TERHADAP KUAT TEKAN DAN REGANGAN BETON*, Dosen Pembimbing : Retno Anggraini, ST, MT dan Ir. Ristinah S., MT.

Piropilit (*Pyrophyllite*) merupakan material dengan kandungan silika yang tinggi dan memiliki ketersediaan cukup banyak pada kawasan yang luas di Indonesia. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen) seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan kadar pH asam. Kegunaan piropilit adalah untuk bahan baku industri keramik dan porselin, industri kertas sebagai pengganti talk, terutama pengganti bahan beton. Pembuatan beton piropilit merupakan salah satu cara yang dapat dijadikan solusi sebagai penambah kekuatan beton.. Adanya variasi antara semen dan piropilit menjadikan beton tersebut memiliki banyak keunggulan, antara lain keunggulan dari beton piropilit yaitu meningkatkan kuat tekan beton hingga kurang lebih 42% dari kekuatan awal pada penambahan *pyropilit* 15%.

Semen juga berkontribusi besar terhadap pengaruh kuat tekan pada beton. Berbedanya kadar penyusun pada setiap semen menyebabkan nilai kuat tekan berbeda-beda pula. Hal ini disebabkan masa hidrasi atau waktu pengerasan beton yang berbeda sehingga beton yang dihasilkan memiliki nilai kuat tekan yang bervariasi.

Untuk mengetahui hasil pengaruh piropilit dan penggunaan variasi jenis semen, maka pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan dan regangan pada beton piropilit. Uji kuat tekan menggunakan alat *Concrete Compression Machine* dan pengujian regangan menggunakan alat *Dial Gauge* pada beton piropilit. Total benda uji sebanyak 108 buah untuk masing-masing variasi piropilit 5%, 10%, 15% dan 20% serta menggunakan 3 variasi jenis semen. Sedangkan umur pengujian dimulai dari umur beton 7, 14,28 dan 56 hari. Metode yang digunakan untuk pengolahan data adalah metode statistik ANOVA 2 arah dan regresi.

Dari pengujian ini didapatkan bahwa terdapat pengaruh variasi piropilit dan jenis semen yang mana semakin tinggi penggunaan kadar piropilit maka nilai kuat tekan yang dihasilkan akan semakin rendah. Pada umur 28 hari nilai kuat tekan beton yang paling tinggi sebesar 25,285 Mpa pada pencampuran piropilit 10% oleh semen C. Sedangkan pada umur 56 hari nilai kuat tekan yang paling tinggi adalah 21,704 MPa pada pencampuran piropilit 15% oleh semen B. Hal ini sebanding pula terhadap regangan maksimum beton pada umur 28 dan 56 hari. Umur 28 hari nilai regangan maksimum sebesar 0,043642 pada semen C. sedangkan pada umur 56 hari sebesar 0,044555 pada semen A.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Piopilit (*Pyrophyllite*) merupakan material dengan kandungan silika yang tinggi dan memiliki ketersediaan cukup banyak pada kawasan yang luas di Indonesia. Mineral yang terdapat pada piopilit adalah kianit, andalusit, dan diaspor. Bentuk kristal piopilit berupa monoklin serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk. Piopilit terdapat di beberapa tempat seperti di Pulau Sumatera, Jawa Barat, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, dan Pulau Sulawesi. Untuk Provinsi Jawa Timur, salah satu tempat persebarannya adalah di Kecamatan Sumbermanjing Kabupaten Malang.

Piopilit terbentuk umumnya berkaitan dengan formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piopilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen) seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan kadar pH asam. Kegunaan piopilit adalah untuk bahan baku industri keramik dan porselin, industri kertas sebagai pengganti talk, terutama pengganti bahan beton.

Pada umumnya elemen-elemen pokok pada konstruksi bangunan terutama untuk kolom, balok dan plat dibuat dengan beton. Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang merupakan campuran heterogen antara agregat kasar dan halus dengan bahan pengikat semen dan air yang dalam proses pencampurannya mengalami proses pengerasan atau hidrasi dalam kurun waktu tertentu.

Salah satu komponen yang penting dalam pembuatan beton adalah semen. Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku antara batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan tanah lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*. Semen merupakan elemen pengikat pada agregat kasar dan halus dalam proses pembuatan beton, agar dapat mengeras atau membatu menggunakan air.

Dalam pembuatan beton diharapkan mampu menghasilkan beton yang berkualitas tinggi. Namun seringkali untuk membuat beton yang kuat memerlukan bahan yang berkualitas, salah satunya yaitu pemilihan jenis semen. Perbedaan spesifikasi pada setiap material penyusun semen, cenderung menghasilkan beton dengan kualitas yang berbeda-beda pula.

Beton juga didesain agar mampu menahan beban yang telah direncanakan, namun seringkali kurang sesuai dengan yang diharapkan. Kekurangan tersebut biasanya terjadi oleh adanya perubahan beban akibat perubahan fungsi bangunan ataupun adanya beban tambahan yang menyebabkan elemen-elemen bangunan tidak aman lagi.

Dengan adanya perubahan beban, maka akan menimbulkan perubahan bentuk pada beton. Hal ini disebabkan karena adanya regangan pada beton tersebut. Regangan merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kekuatan beton. Menurut hukum hooke beton dikatakan aman apabila tegangan dan regangan berbanding lurus.

Pembuatan beton piropilit merupakan salah satu cara yang dapat dijadikan solusi sebagai penambah kekuatan beton. Adanya variasi antara semen dan piropilit menjadikan beton tersebut memiliki banyak keunggulan, antara lain keunggulan dari beton piropilit yaitu meningkatkan kuat tekan beton hingga kurang lebih 42% dari kekuatan awal pada penambahan *phyropilit* 15%. Anggraini (2007)

Keunggulan lainya pada piropilit yaitu sangat bagus apabila digunakan sebagai bahan filler karena butirannya dapat disesuaikan dengan ukuran butiran filler dan 80% mineral yang dikandung piropilit adalah silika. Dengan menggunakan bahan dari piropilit sebagai bahan campuran pada beton, maka kita telah melakukan pemanfaatan langsung terhadap sumberdaya alam yang nantinya diharapkan dapat terus berlanjut untuk pemberdayaan piropilit terutama sebagai bahan penambah pada beton.

Berdasarkan latar belakang diatas tersebut, maka dirasa perlu diadakan penelitian mengenai pengaruh penggunaan piropilit (*Pyrophyllit*) sebagai *filler*

dan jenis semen terhadap kuat tekan dan regangan beton, dimana hal ini akan memberikan informasi terbaru tentang proses pembuatan beton yang handal.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, dimana piropilit dapat digunakan sebagai bahan campuran yang berbentuk filler pada campuran beton. Maka menarik untuk melakukan suatu penelitian mengenai pengaruh dari penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton serta regangan beton.

1.3 Rumusan Masalah

Mengacu pada identifikasi masalah dan batasan masalah yang disebutkan di atas, maka dapat diambil suatu rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Apakah terdapat pengaruh penggunaan piropilit terhadap kuat tekan beton?
2. Apakah terdapat pengaruh dari jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit?
3. Apakah terdapat pengaruh dari penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap regangan beton ?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus pada permasalahan yang ada, maka berikut ini pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Pembuatan beton dan pengujian kuat tekan serta regangan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Jurusan Sipil.
2. Benda uji berupa silinder dengan dimensi 15 x 30 cm.
3. Mutu beton yang digunakan adalah mutu beton normal.
4. Agregat yang digunakan berasal dari Malang.
5. Semen yang digunakan 3 jenis semen Portland Pozoland Semen.
6. Air semen yang digunakan adalah dari PDAM Kota Malang.
7. Benda uji dibuat dengan FAS 0,5.
8. Uji tekan dilakukan setelah beton berumur 7,14,28 dan 56 hari.

9. Pembahasan dibatasi seputar analisa hasil percobaan, tidak membahas reaksi kimia piropilit secara detail.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan – tujuan khusus yang ingin dicapai pada penelitian yang akan dilaksanakan pada kali ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan piropilit terhadap kuat tekan beton .
2. Untuk mengetahui pengaruh dari jenis semen terhadap nilai kuat tekan beton piropilit.
3. Untuk mengetahui pengaruh dari jenis semen dan penggunaan piropilit terhadap regangan beton.

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi tentang pengaruh penggunaan piropilit sebagai bahan campuran yang berbentuk filler dalam pembuatan beton.
2. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton, sehingga piropilit dapat dijadikan sebagai salah satu bahan bangunan yang berkualitas.
3. Memperoleh informasi mengenai pengaruh dari penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan dan regangan beton piropilit.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Piropilit

Piropilit ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) merupakan mineral grup aluminium silikat. Mineral yang termasuk pada piropilit yaitu mineral lempung. berdasarkan jenis mineral lempung yang di kandunginya, mineral piropilit dibedakan menjadi 3 jenis yaitu kianit, andalusit, dan diaspor. Biasanya mineral ini ditemukan dalam formasi andesit tua. Piropilit sering ditemukan di daerah yang berformasi gamping dan memiliki kontrol struktur serta intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan pH asam. **Gambar 2.1** dibawah merupakan bentuk dari batuan piropilit.

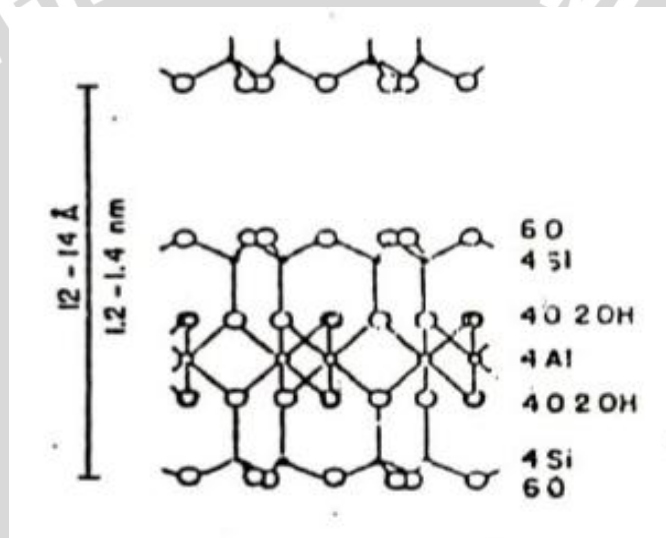


Gambar 2.1 Batuan Piropilit
(Sumber: <http://winnerfirmansyah.wordpress.com>)

Golongan mineral *phyropilit*, yaitu sistem kristal *monoklinik*. Piropilit mempunyai sifat-sifat fisika yang identik dengan talk dan *phyropilit* adalah isomorf. Sifat-sifat fisika *phyropilit* antara lain putih, kuning pucat, coklat kemerahan. Massa jenis antara $2,85 \text{ g/cm}^3$, sifat cerat putih, belahan sempurna dalam atu arah dan kekerasan antara 1 sampai 1,5. Pemahaman yang baik tentang *phyropilit* pada tingkat atomik sangat penting untuk aplikasinya dalam bidang industri.

Pada *pyrophyllite* terdapat *gibbsite* yang diapit oleh dua lapisan silikat. *Gibbsite*, $Al(OH)_3$ adalah mineral tunggal dan terdiri dari *aluminum octahedrally* dikelilingi oleh 6 hidroksida. Lapisan *gibbsite* (G) pada *pyrophyllite* identik dengan struktur *gibbsite* kecuali 4 dari hidroksida digantikan oleh 4 oksigen dari lapisan silikat (S). Struktur keseluruhan pada susunan *pyrophyllite* adalah tumpukan S-G-S secara *sandwich*.

Phyropilit yang mempunyai susunan S-G-S yaitu silikat–gibbsit–silikat termasuk pada struktur mineral montmorilonit. Montmorilonit diperuntukkan bagi jenis aluminosilikat seperti pada **Gambar 2.2** dibawah.



Gambar 2.2 Model struktur montmorilonit menurut Hofmann dan Endell. (Sumber: Tan, 1982)

Dalam perkembangan teknologi beton. Piropilit saat ini digunakan sebagai salah satu bahan untuk pembuatan beton, yang mana dapat menghasilkan beton yang baik. dalam pekerjaan beton, piropilit mempunyai beberapa fungsi yaitu:

1. Mewujudkan beton ramah lingkungan (green concrete).

Hal ini disebabkan karena mengurangi penglepasan CO_2 ke udara sebagai salah satu penyebab rusaknya lapisan ozon.

2. Meningkatkan kekuatan tekan beton.

Setelah dilakukan metode pengujian tekan terhadap benda uji laboratorium dan analisis data dengan uji anova serta regresi sehingga dapat diketahui hubungan

antara penambahan *pyrophyllite* dan kekuatan beton yang dihasilkan mencapai hingga 42 persen.

3. Menurunkan biaya produksi beton.

Penggunaan *pyrophyllite* bisa menurunkan f_c target yang bisa berdampak pada pengurangan penggunaan semen bahkan menurunkan biaya produksi beton dan mengurangi emisi gas CO₂.

4. Penghematan Semen.

Dengan meningkatnya kuat tekan beton terlihat pada indikasi penghematan penggunaan semen.

Namun untuk mendapatkan beton piropilit yang baik maka harus menggunakan jenis piropilit yang berwarna putih keabu-abuan dengan kilap mutiara di permukaan belahannya.

Selain sebagai bahan pembuatan beton, piropilit juga dibutuhkan sebagai bahan baku keramik dan porselin, karena piropilit termasuk bahan baku yang mampu menghasilkan bahan tahan api. Hal ini dibutuhkan oleh industri-industri yang maju agar mendapat nilai tambah produksi keramik dan porselin yang berkualitas tinggi.

2.1.1 Pengaktifan Mineral Phyropilit

Aktifasi mineral yang mempunyai kemampuan sebagai adsorben atau penyerapan maupun penukar anion dan kation dapat dilakukan dengan kalsinasi atau dengan menggunakan larutan asam atau basa. Sebagai dasaran materi, penelitian tentang aktivasi mineral piropilit yang telah dilakukan di alam Arjosari Pacitan menggunakan larutan HCl sebagai adsorben Cl⁻. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh konsentrasi HCl, lama aktivasi, dan lama kontak terhadap kapasitas adsorpsi piropilit alam Arjosari Pacitan dengan Cl⁻ serta karakter piropilit yang meliputi luas permukaan spesifik padatan, volume pori total, dan jari-jari pori rata-rata.

Metode yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi adalah metode merkuriem (II) tiosianat secara spektrofotometri yang didukung dengan BET (Brunauer, Emmet dan Teller). Aktivasi mineral piropilit dilakukan

menggunakan variasi HCl dengan konsentrasi 0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; 0,4 M dan 0,5 M, variasi lama aktivasi 30 menit; 60 menit; 90 menit; 120 menit dan 150 menit dan variasi lama kontak dengan Cl- 1 jam; 2 jam; 3 jam; 4 jam; dan 5 jam. Nilai kapasitas adsorpsi piropilit optimum adalah 128,566 mg/g diperoleh pada piropilit teraktivasi dengan konsentrasi HCl 0,3 M selama 90 menit dengan lama kontak 4 jam.

Nilai kapasitas piropilit teraktivasi mengalami kenaikan sebesar 8,01% dibandingkan dengan piropilit tanpa aktivasi. Piropilit berprospek sebagai adsorben Cl- karena % adsorpsinya cukup tinggi, yaitu 85,71%. Hasil analisis dengan menggunakan metode BET diperoleh nilai luas permukaan spesifik, volume pori total, dan jari-jari pori rata-rata piropilit teraktivasi sebesar 3,6859 m²/g, 5,3371 x 10⁻³ cm³/g dan 28,96 Å. Berdasarkan uji statistik menunjukkan bahwa setiap konsentrasi HCl, lama aktivasi dan lama kontak yang digunakan, memberikan nilai kapasitas adsorpsi yang berbeda dengan tingkat kesalahan 1%.

2.1.2 Pengaruh Piropilit pada kekuatan beton

Penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa, setelah dilakukan metode pengujian tekan terhadap benda uji laboratorium dan analisis data dengan uji anova serta regresi sehingga dapat diketahui hubungan antara penambahan pyrophyllite dan kekuatan beton yang dihasilkan mencapai hingga 42 persen dari kekuatan awal pada penambahan phyropilit 15%.

2.2 Semen Portland

Semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. (SNI 15-2049, 2004:1)

Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti

batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16. Berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft^3 . Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO_2) – dari lempung,
3. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung

Di Indonesia semen yang umum digunakan dalam konstruksi adalah jenis Semen Portland yang memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Pembuatan semen dimulai dengan memproduksi klinker. Bahan dasar yang digunakan untuk memproduksi klinker adalah batu kapur dan campuran lempung yang mengandung silika, oksida besi dan alumina. Urutan proses pembuatan semen:

1. Batu kapur atau koral dipecah untuk mendapatkan ukuran lebih kecil dari 50mm, dan kemudian dicampur dengan lempung, pasir, dan batu besi (biji yang mengandung campuran silika dan lempung).
2. Campuran material ini kemudian dibawa ke ball mill, yaitu silinder berputar yang berisi bola-bola besi. Kemudian ditambah air sehingga menghasilkan larutan pekat yang disebut Slurry.
3. Slurry disimpan dan diuji apakah komposisinya sesuai spesifikasi yang dibutuhkan untuk pembakaran. Jika komposisinya tidak tepat, dilakukan koreksi dan kemudian diuji kembali.
4. Pembakaran slurry dilakukan pada kiln (tungku pembakaran) berputar. Posisi kiln dibuat miring dan selalu berputar sehingga slurry yang dimasukkan pada

kilin akan bergerak dari bagian pangkal ke ujung kilin secara perlahan. Pembakaran dilakukan pada suhu 1500°C sehingga dapat terjadi reaksi kimia yang menghasilkan klinker.

5. Bubuk batu bara halus dan udar yang ditiupkan pada bagian ujung tungku dipanasi hingga 2000°C . Panas ini dibutuhkan untuk menghilangkan air dan CO_2 dari slurry. Partikel-partikel halus yang tertinggal, yang melekat satu sama lain akibat panas kemudian didinginkan sehingga membentuk butiran abu-abu gelap yang terdiri atas berbagai ukuran yang disebut klinker. Kemudian klinker yang dihasilkan didinginkan dengan udara dingin dan dipindahkan melalui conveyor untuk disimpan ke dalam silo.
6. Untuk membuat semen, klinker dicampur dengan gypsum (CaSO_4) dan dimasukkan ke dalam ball mill sehingga dihasilkan butiran atau bubuk halus yang disebut semen portland.
7. Semen ini kemudian disimpan dalam silo untuk kemudian didistribusikan.

2.2.1 Tipe Semen

Sesuai ASTM (C150-92) Semen memiliki beberapa tipe yang sering digunakan, hal ini dikarenakan kebutuhan fungsi beton terhadap pengaruh alam luar yang berbeda-beda. Tipe semen antara lain:

1. Tipe I

Semen biasa (normal) digunakan untuk beton yang tidak dipengaruhi oleh sulfat dan perbedaan suhu yang ekstrim.

2. Tipe II

Digunakan untuk pencegahan terhadap serangan sulfat dari lingkungan alam, seperti struktur bawah tanah.

3. Tipe III

Beton yang dihasilkan mempunyai waktu perkerasan yang cepat (high early strength).

4. Tipe IV

Beton yang dibuat akan memberikan panas hidrasi rendah, cocok untuk pekerjaan beton mass.

5. Tipe V

Semen ini cocok untuk beton yang menahan serangan sulfat dengan kadar tinggi.

2.3.2 Klasifikasi Semen

Beberapa jenis klasifikasi semen Portland tipe 1 yang akan digunakan diantaranya yaitu:

1. Semen Jenis A :

Tabel 2.1 Klasifikasi Semen Jenis A

| Jenis Pengujian | SNI (15-2049-04) | | ASTM (C595-03) | Hasil Pengujian |
|--|------------------|---------------|----------------|-----------------|
| | PPC Tipe IP-U | PPC Tipe IP-K | PPC Tipe IP | |
| Komposisi Kimia : | | | | |
| Silikon Dioksida (SiO ₂),% | - | - | - | 23,13 |
| Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃),% | - | - | - | 8,76 |
| Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃),% | - | - | - | 4,62 |
| Kalsium Oksida (CaO),% | - | - | - | 58,66 |
| Magnesium Oksida (MgO),% | ≤ 6,00 | ≤ 6,00 | ≤ 6,00 | 0,90 |
| Sulfur Trioksida (SO ₃),% | ≤ 3,50 | ≤ 3,50 | ≤ 3,50 | 2,18 |
| Hilang Pijar (LOI),% | ≤ 5,00 | ≤ 3,00 | ≤ 3,00 | 1,69 |
| Kapur Bebas , % | - | - | - | 0,69 |
| Bagian Tidak Larut, % | - | - | - | 0,82 |
| Pengujian Fisika : | | | | |
| Kehalusan : | | | | |
| Sisa di atas ayakan 0,09 mm (%) | - | - | (A) | |
| Dengan alat blainc (m ² /Kg) | ≥ 280 | ≥ 280 | (A) | 325 |
| Waktu pengikatan dengan alat vical : | | | | |
| awal (menit) | ≥ 45 | ≥ 45 | ≥ 45 | 153 |
| akhir (menit) | ≤ 420 | ≤ 420 | ≤ 420 | 249 |
| Kekekalan dengan alat Autoclave : | | | | |
| Pemuai (%) | ≤ 0,80 | ≤ 0,80 | ≤ 0,80 | 0,043 |
| Penyusutan (%) | ≤ 0,20 | ≤ 0,20 | ≤ 0,20 | - |
| Kuat Tekan : | | | | |
| 3 hari (kg/cm ²) | ≥ 125 | ≥ 110 | ≥ 130 | 205 |
| 7 hari (kg/cm ²) | ≥ 200 | ≥ 165 | ≥ 200 | 290 |
| 28 hari (kg/cm ²) | ≥ 250 | ≥ 205 | ≥ 250 | 385 |
| Panas hidrasi | | | | |
| 7 hari (cal/gr) | - | ≤ 0,70 | ≤ 0,70 [B] | 68,15 |
| 28 hari (cal/gr) | - | 80 | ≤ 0,80 [B] | 78,40 |
| Kandungan udara (%) | < 12 [C] | < 12 [C] | ≤ 12 | 6,40 |

Pada **Tabel 2.1** klasifikasi semen di atas menjelaskan tentang klasifikasi semen jenis A menggunakan standar sesuai SNI 15-2049-04 dan ASTM C595-03 sebagai acuan produksi semen.

2. Semen Jenis B

Indonesian standart : SNI 15-2049-2004

American Standart : ASTM C 150-04a

European Standart : EN 197 - 1 : 2000

Tabel 2.2 Kalsifikasi Persyaratan Fisika Semen Jenis B

SNI 15-2049-2004

| No | Uraian | Jenis Semen Portland | | | | |
|--|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 1 | C3A, maksimum | - | - | 8 | - | - |
| 2 | C3A, minimum | - | - | 5 | - | - |
| 3 | (C3S + 2C3A), maksimum | - | 58@ | - | - | - |
| 4 | (Na2O + 0,658 K2O), maksimum | 0,60@ | 0,60@ | 0,60@ | 0,60@ | 0,60@ |
| Catatan * syarat kimia ini berlaku hanya secara khusus disyaratkan * sama dengan keterangan untuk @ pada syarat kimia utama * hanya berlaku bila semen digunakan dalam beton yang agregatnya bersifat reaktif terhadap alkali | | | | | | |
| Persyaratan fisika semen portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut : | | | | | | |
| No | Uraian | Jenis Semen Portland | | | | |
| | | I | II | III | IV | V |
| 1 | Kehalusan : | | | | | |
| | Uji permeabilitas udara, m ² /kg | | | | | |
| | Dengan alat : | | | | | |
| | Turbidimeter, min | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | Blaine, min | 280 | 280 | 280 | 280 | 280 |
| 2 | Kekekalan : | | | | | |
| | Pemuaian dengan autoclave, maks % | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 3 | Kuat tekan : | | | | | |
| | Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum | - | - | 120 | - | - |
| | Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum | 125 | 100 | 240 | - | 80 |
| | | | 70@ | | | |
| | Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum | 200 | 175 | - | 70 | 150 |
| | | | 120@ | | | |
| | Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum | 280 | - | - | 170 | 210 |
| 4 | Waktu pengikatan (metode alternatif) | | | | | |
| | dengan alat : | | | | | |
| | Gillmore | | | | | |
| | ° Awal, menit, minimal | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | ° Akhir, menit, maksimum | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| | Vicat | | | | | |
| | ° Awal, menit, minimal | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | ° Akhir, menit, maksimal | 375 | 375 | 375 | 375 | 375 |
| Catatan Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan atau jika syarat C3S + C3A seperti tercantum pada tabel syarat kimia tambahan diisyaratkan. | | | | | | |



Tabel 2.3 Kalsifikasi Persyaratan Kimia Semen Jenis B

Persyaratan kimia seme portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut::

| No | Uraian | Jenis Semen Portland | | | | |
|----|---|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 1 | SiO ₂ , minimum | - | - | 8 | - | - |
| 2 | Al ₂ O ₃ , maksimum | - | - | 5 | - | - |
| 3 | Fe ₂ O ₃ , maksimum | - | 58 [Ⓞ] | - | - | - |
| 4 | MgO, maksimum | 0,60 [Ⓞ] | 0,60 [Ⓞ] | 0,60 [Ⓞ] | 0,60 [Ⓞ] | 0,60 [Ⓞ] |
| 5 | SO ₃ , maksimum | | | | | |
| | Jika C ₃ A ≤ 8,0 | 3 | 3 | 3,5 | 2,3 | 2,3 |
| | Jika C ₃ A > 8,0 | 3,5 | | 4,5 | | |
| 6 | Hilang pijar, maksimum | 5 | 3 | 3 | 2,5 | 3 |
| 7 | Bagian tak larut, maksimum | 3 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 8 | C ₃ S, maksimum | - | - | - | 35 | - |
| 9 | C ₂ S, minimum | - | - | - | 40 | - |
| 10 | C ₃ A, maksimum | - | 80 | 15 | 7 | 5 |
| 11 | C ₄ AF + 2 C ₃ A atau C ₄ AF + C ₂ F, maksimum | - | - | - | - | 25 |

Pada **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3** klasifikasi semen diatas menjelaskan tentang klasifikasi semen jenis B menggunakan standar sesuai SNI 15-2049-04 dan ASTM C150-04a sebagai acuan produksi semen.

3. Semen Jenis C :

Standard API 10A

CaO = 49,5%

SiO = 28,5%

Al₂O₃ = 8,7%

Fe₂O₃ = 1,8%

MgO = 6%

Berat jenis : -2,97 g/cm³

Berat Isi : 0,99 g/cm³

Blaine : 5,300 cm²/g

Pada klasifikasi semen diatas menjelaskan tentang klasifikasi semen jenis C menggunakan standar sesuai API 10A sebagai acuan produksi semen.

2.3 Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Ditambah semen dan air yang digunakan sebagai bahan pengikat dan atau menggunakan bahan tambahan. Sekarang ini penggunaan beton banyak digunakan untuk sebagai konstruksi, misalnya jalan, jembatan, lapangan terbang, waduk, bendungan dan lainnya.

Dengan melakukan analisa bahan maka dalam hal pembuatan beton harus lebih teliti dengan berbagai macam material-material yang digunakan dalam pembuatan tersebut, dikarenakan apabila suatu material dalam beton itu tidak bagus maka hasil dari beton tersebut tidak akan mencapai pada hasil yang diinginkan. Sehingga dengan diadakannya analisa bahan terhadap material yang akan digunakan untuk pembuatan beton maka hasil dapat diperoleh dengan baik.

2.3.1 Jenis Beton

Beton secara umum memiliki beberapa jenis, hal ini dikarenakan kegunaan terhadap beton yang berbeda-beda. jenis-jenis beton antara lain:

1. Beton Mutu Normal

Beton mutu normal adalah beton yang memiliki kekuatan tekan antara 200-500 kg/cm².

2. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih besar dari 40 Mpa atau berkekuatan antara 500-800 kg/cm².

3. Beton Mutu Sangat Tinggi

Beton Mutu Sangat Tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan diatas 50 Mpa atau berkekuatan antara 600-100 kg/cm².

2.4 Pengisi (*Filler*) Beton

Dalam pembentukan sebuah material beton yang memiliki kualitas yang baik, dalam hal ini meliputi kuat tekan, kuat lentur serta mengurangi adanya retak pada beton itu sendiri. Maka sangat diperlukan bahan tambahan halus yang berupa bahan pengisi (*filler*). Bahan pengisi (*filler*) pada beton adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan No. 200 yang mengisi di antara partikel beragregat kasar dalam rangka mengurangi besar rongga dan meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel lolos saringan No.200, membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar.. Penggunaan bahan pengisi (*filler*) diperlukan untuk meningkatkan viskositas beton guna menghindari terjadinya *bleeding* dan segregasi. Klasifikasi bahan pengisi (*filler*) dapat dilihat dari **Tabel 2.4** di bawah ini :

| | | |
|---------|-----------------------|---|
| Tipe I | Inert atau semi inert | 1. mineral filler |
| | | 2. Ground glass filler |
| | | 3. Pigmen |
| Tipe II | Pozzolanik | 1. Fly ash 2. Silica fume |
| | Hidrolik | 1. Granulated Blast-furnace slag (GGBS) |

Tabel 2.4 Klasifikasi bahan pengisi (*filler*)

(Sumber: Efnarc Association, *The European Guideliness For Self Compacting Concrete*)

2.5 Kuat Tekan

Menurut SK SNI M - 14 -1989 - E kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pada proses kuat tekan dapat digambarkan pada **Gambar 2.3** dibawah ini.



Gambar 2.3 Uji Kuat Tekan

Sedangkan menurut Mulyono (2006) mengemukakan bahwa kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan :

- $f'c$ = Kuat Tekan Beton (Mpa)
- P = Beban runtuh/gaya tekan (KN)
- A = Luas Penampang benda uji (cm²)

2.6 Tegangan Regangan

Tegangan merupakan gaya yang dilasungkan lewat suatu penampang dibagi dengan luas penampang tersebut disebut intensitas tegangan tetapi lazimnya cukup disebut tegangan saja . Gaya-gaya dalam adalah reaksi dari gaya-gaya luar yang bekerja pada luas penampang. Secara matematis tegangan dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dengan:

- σ : Tegangan
- F : Gaya-gaya luar yang bekerja
- A : Luas penampang

Sementara deformasi total atau perubahan panjang dinotasikan Δl (delta). Untuk perbandingan dengan nilai standar, deformasi total diubah menjadi satuan clasar dan dinyatakan dalam deformasi persatuan panjang. Ini umumnya disebut regangan.

Penentuan regangan tarik atau tekan, asumsi dibuat bahwa tiap satuan panjang akan mengkerut dengan besar yang sama. Regangan dinyatakan dengan ε (epsilon), dihitung dengan membagi deformasi total dengan panjang awal, atau secara matematis:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

dengan:

ε : regangan

Δl : Perubahan panjang

l : Panjang awal

Hubungan tegangan dan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan dalam analisis maupun desain struktur beton. Untuk mengetahui perilaku hubungan tegangan regangan beton didapat dari hasil pengujian tekan terhadap silinder beton. Hubungan tegangan regangan beton normal pada pembebanan uniaksial yang diusulkan oleh E. Hognestad memberikan persamaan sebagai berikut :

$$f'_c = f''_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right]$$

dengan:

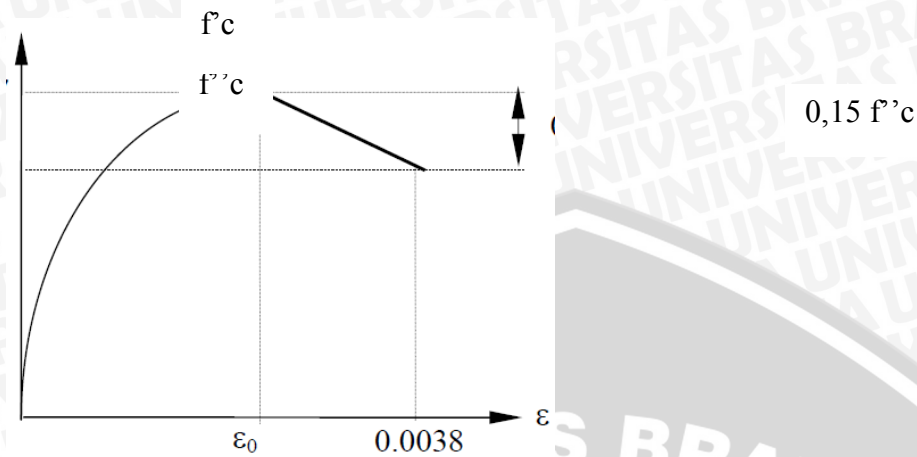
f'_c : Kuat Tekan beton.

f''_c : Kuat Tekan maksimum beton.

ε_0 : Regangan yang terjadi pada saat terjadi tegangan maksimum.

ε_c : Regangan yang terjadi pada saat tegangan mencapai 85% tegangan maksimum.

Pada daerah $\varepsilon_c > \varepsilon_0$, persamaan hubungan kuat tekan regangannya merupakan persamaan linier yang bergantung pada nilai ε_0 dan f'_c . Terlihat pada **Gambar 2.4** dibawah ini.



Gambar 2.4 Grafik hubungan antara tegangan regangan

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada kondisi kuat tekan mencapai $\pm 40\%$ f'_c pada umumnya berbentuk linier. Pada saat kuat tekan mencapai $\pm 85\%$ f'_c material beton banyak kehilangan kekakuannya yang menyebabkan diagram menjadi tidak linier. Dari beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa kuat tekan maksimum beton dicapai pada regangan tekan 0,002-0,0025. Regangan ultimit pada saat beton hancur 0,003 – 0,008. Untuk perencanaan, SNI 03-2847 (2002) menggunakan regangan tekan maksimum beton sebesar 0,003.

2.7 Perencanaan dan Pembuatan Beton

Pada pembuatan beton diperlukan suatu perencanaan campuran atau lebih dikenal dengan nama mixed design. Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, serta air yang memenuhi persyaratan berikut:

1. Kekuatan tekan. Kuat tekan yang dicapai pada 28 hari (atau umur yang ditentukan) harus memenuhi persyaratan yang diberikan oleh perencanaan konstruksinya.
2. Workabilitas.
3. Durabilitas.
4. Penyelesaian akhir dari permukaan beton.

2.7.1 Workabilitas

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan NewMan mengusulkan agar didefinisikan sekurang-kurangnya 3 buah, yaitu:

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir didalam cetakkan di sekitar baja.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren, dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran (segregasi).

Pada hal ini dapat ditambahkan kemudahan dimana tercapai penyelesaian akhir yang baik, terutama untuk permukaan vertikal yang dicetak dengan acuan dan pelat lantai, dimana dibutuhkan tenaga untuk menambalnya. Apabila betonnya dibuat untuk beberapa tujuan yang berbeda-beda, maka dalam segi penyederhanaan, maka dalam merencanakan campuran beton usahakan yang semudah mungkin untuk dikerjakan.

2.7.2 Durabilitas

Durabilitas atau sifat awet berhubungan dengan kekuatan desak, pada umumnya semakin besar kekuatan makin awet betonnya. Meskipun demikian, sering terjadi kekuatan yang disyaratkan dapat tercapai dengan campuran yang besar faktor air/semennya dari pada yang dapat memberikan durabilitas yang cukup terhadap lingkungan yang dialami beton. Dalam hal ini faktor air/semen yang sebenarnya dan kepadatan beton merupakan faktor yang menentukan, dan kekuatannya mungkin akan lebih besar daripada yang disyaratkan dengan ketat untuk tujuan struktural.

2.7 Penelitian Terdahulu

Mineral *phyropilit* dimanfaatkan pada beberapa penelitian. Review dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan diantaranya :

- Mutrofin (2005) meneliti tentang material *phyropilit* Sumbermanjing Malang Selatan. Diketahui bahwa ternyata *phyropilit* mengandung unsur Silika yang cukup besar (85% dari total unsur penyusun *phyropilit*), dan sangat bagus digunakan sebagai filler mengingat ukuran butirannya sesuai dengan ukuran butiran filler.
- Anggraini, dkk (2006) mencoba memanfaatkan *phyropilit* sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones. Dengan penambahan 10% mineral *phyropilit*, maka akan menghasilkan kekuatan yang meningkat sampai lebih kurang 20% dari kekuatan awal. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena semen telah mengaktifasi mineral *phyropilit* yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones.
- Anggraini (2007) penggunaan *phyropilit* sebagai bahan tambahan pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga lebih kurang 42% pada variasi *phyropilit* 15%. Semen adalah bahan yang bisa memacu proses aktifasi mineral *phyropilit*. Sejalan dengan tercapainya proses aktifasi mineral *phyropilit* inilah maka peningkatan kuat tekan beton bisa terjadi.

2.8 Hipotesis

Dari berbagai kajian teori dan permasalahan yang telah diuraikan diatas, maka pada penelitian yang disajikan hipotesis penelitian sebagai berikut :

4. Terdapat pengaruh penggunaan piropilit terhadap kuat tekan beton.
5. Terdapat pengaruh dari jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit.
6. Terdapat pengaruh dari jenis semen dan penggunaan piropilit terhadap regangan beton.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan september 2011 sampai dengan selesai. yang dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

- a. Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- b. Curing air dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- c. Pengujian kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Bahan dan Peralatan Yang Digunakan

Pada penelitian peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan gradasi agregat kasar dan halus adalah sebagai berikut :
 - a. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 2% berat benda uji.
 - b. Satu set saringan : 9,52 mm (3/8"); 4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8); 1,18 mm (no.16); 0,6 mm (no.30); 0,3 mm (no.50); 0,15 mm (no. 100); 0,075 mm (no. 200).
 - c. Oven dengan kapasitas pengatur suhu (110 ± 5)^oC.
 - d. Mesin pengguncang saringan.
 - e. Talam-talam dan kuas.
2. Peralatan yang digunakan pada pemeriksaan kadar air agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut:
 - a. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat benda uji.
 - b. Oven pengukur suhu kapasitas (100±5)^oC.
 - c. Talam.

3. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut:
 - a. Timbangan yang mempunyai kapasitas lebih dari 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram.
 - b. Piknometer kapasitas 500 ml.
 - c. Kerucut terpancung diameter atas (40+3) diameter bawah (90+3) mm dan tinggi (75+3) mm dibuat dari logam dengan tebal 0,8 mm.
 - d. Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340+15) gram dan diameter (25+3) mm.
 - e. Saringan no.4 (4,475 mm).
 - f. Oven pengatur suhu kapasitas (110+5)°C.
4. Peralatan yang digunakan pada percobaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut:
 - a. Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (no. 6) atau 2,46 mm (no. 8) dengan kapasitas ± 5 kg.
 - b. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
 - c. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
 - d. Oven pengatur suhu dengan kapasitas (110 \pm 5) ° C.
 - e. Saringan no 4 (4,78 mm).
5. Peralatan yang digunakan pada pemeriksaan berat isi agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut :
 - a. Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 g.
 - b. Tongkat tusuk baja panjang ± 600 mm dan diameter ± 16 mm.
 - c. Kotak takar.
6. Pembuatan benda uji berdasarkan pada Peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI).
7. Peralatan pembakaran benda uji adalah oven dengan panas maksimum 1000°C.

8. Peralatan pengujian kuat tekan adalah mesin penekan beton di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dibuat dengan prosedur tertentu, terutama ditentukan dulu kuat tekan karakteristik $f'c$ sebagai mutu rencana beton, nilai slump dan lain – lain, dengan prosedur :

- a. Mutu benda uji ditentukan pada $f'c = 22,5$ Mpa.
- b. Setelah agregat halus dan agregat kasar dilakukan uji ayakan dan berat volume didapatkan, maka akan didapat data diameter agregat kasar maksimum, berat volume dalam keadaan SSD, dan kemampuan absorbsinya. Agregat halus didapatkan modulus halusnya.
- c. Dari data tersebut, dibuat rencana campuran dari beton terhadap berat PC, agregat halus dan agregat kasar.
- d. Setelah perbandingan berat PC, agregat halus dan agregat kasar didapat, maka dibuat campuran beton.
- e. Sebelum campuran beton dicor ke dalam cetakan benda uji, maka diuji nilai slump campuran, setidaknya harus memenuhi slump rencana ± 12 cm.
- f. Setelah benda uji dilepas dari cetakan, maka dirawat dengan merendam dalam air minimal 7 hari.

9. Material yang digunakan :

- a. Semen
- b. piropilit
- c. Agregat kasar batuan pecah
- d. Agregat halus yaitu pasir
- e. Air

3.3 Proses Pengadaan Bahan

Semen yang digunakan adalah semen 3 jenis Portland dari produsen semen yang berbeda. Piropilit yang di gunakan berasal dari Sumbermanjing, Jawa Timur. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Malang, Jawa Timur dan air yang digunakan adalah air PDAM Malang, Jawa Timur.

3.4 Metode Pengujian

3.4.1 Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

Tujuan : Mengetahui kuat tekan beton sebelum dan sesudah ditambahkan piropilit.

Bahan : Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan Tinggi 30 cm.

Peralatan : mesin uji tekan beton kapasitas 60 ton

1. Referensi : SNI-1974-1990-F

2. Prosedur pengujian:

Beton berbentuk silinder atau kubus, yang telah dirawat sampai hari pengujian yang telah ditentukan, diambil dari tempat perawatan. Lap permukaan sampel sehingga kering, masing-masing diberi tanda/nomor agar tidak saling tertukar. Benda uji yang akan ditekan dilakukan pengukuran panjang, lebar, dan tingginya kemudian luas penampang benda uji yang akan ditekan (A).

Untuk benda uji kubus pilih permukaan yang rata untuk ditekan, sedangkan benda uji silinder karena salah satu permukaannya tidak rata maka harus di capping dengan belerang terlebih dahulu permukaan yang tidak rata tersebut.

Benda uji ditimbang dan dicatat (B), siapkan mesin tekan dengan cara menyambungkan kabel antara bagian penekan dengan bagian kontrol mesin. Hubungkan pula kabel listrik antara mesin tekan dengan sumber arus. Atur jarum penunjuk sampai menunjukkan angka 0 (nol) dengan cara memutarnya. Kemudian mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2-4 kg/cm² per detik. Setelah itu pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur. Lalu hasil beban maksimum akibat pembebanan yang terjadi (yang ditunjukkan jarum pada mesin tekan) dicatat

3. Perhitungan :

$$\text{Kuat Tekan (f'c)} = \frac{P_{\max}}{A} \text{ kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2$$

Dengan : A = Luas penampang benda uji yang akan ditekan

: P max = Beban maksimum yang diberikan

3.4.2 Tegangan-regangan beton

Pengujian dilakukan dengan memasang *Dial gauge* pada benda uji. Prosedur pengujian dilakukan dengan cara melakukan penekanan benda uji pada mesin uji tekan dengan kecepatan 1,25 mm/menit. Pada saat regangan longitudinal mencapai 5 % (bacaan pada *dial gauge* menunjukkan 1 div) beban P1 dicatat untuk menghitung tegangan S1 dan regangan transversal (dial LVDT pada *data logger*, ϵ_1) juga dicatat. Pembebanan dilanjutkan sampai mencapai beban P2 (40 % P mak), regangan longitudinal pada *dial gauge* (ϵ_2) dan regangan transversal pada LVDT (ϵ_2) dicatat. Tegangan dan regangan dihitung dengan rumus :

$$\text{tegangan } (\sigma) = \frac{P_{\max}}{A} \text{ kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2$$

Dimana : A = Luas penampang benda uji yang akan ditekan

: P max = Beban maksimum yang diberikan



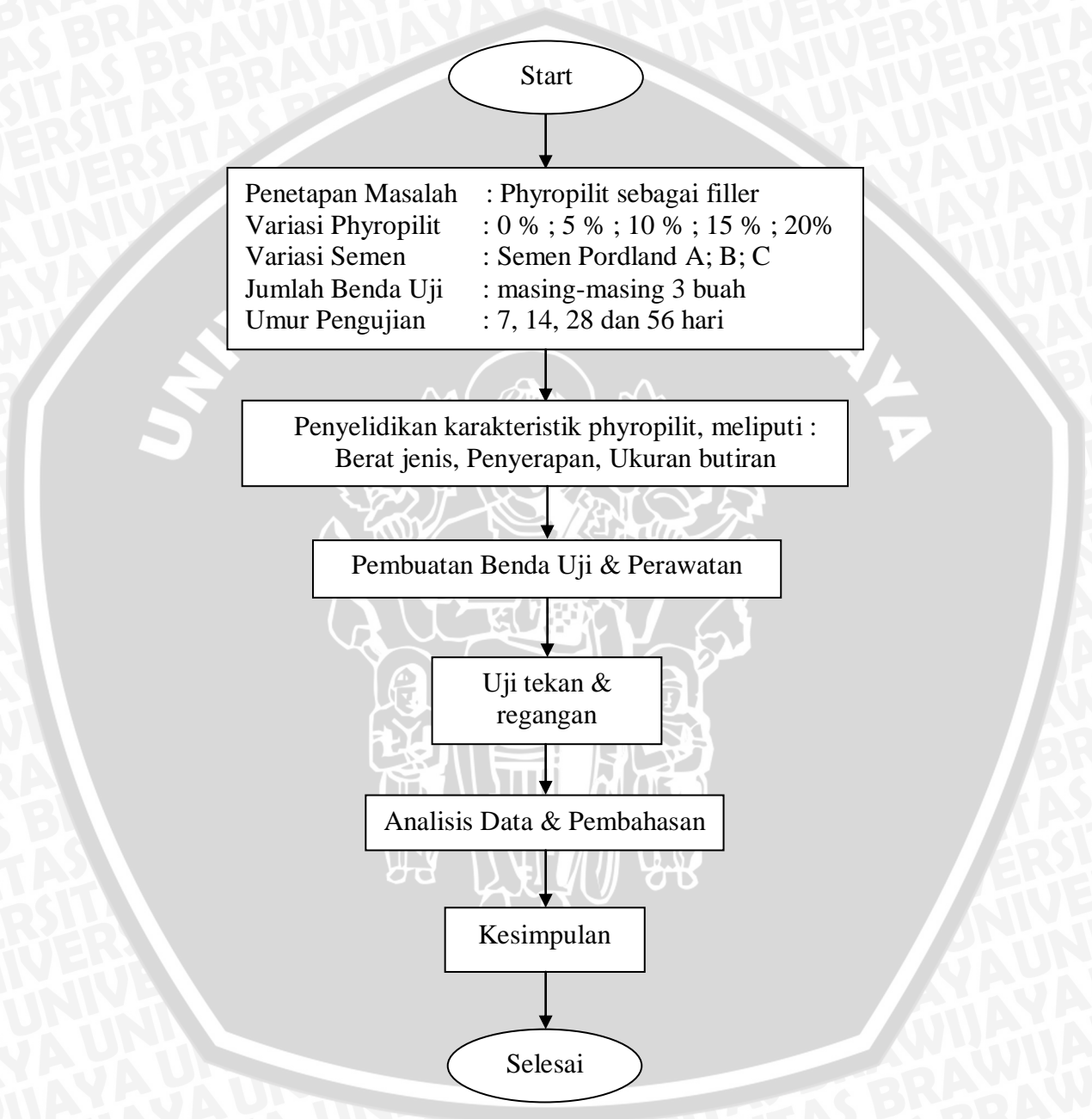
Gambar 3.1 Alat penelitian kuat tekan dan regangan

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta l}{l} \text{ mm}$$

Dimana : Δl = Perubahan Panjang
l = Panjang awal

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir tahapan penelitian akan dijelaskan seperti berikut :



3.6 Rancangan penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menguji kuat tekan beton dan regangan pada beton dengan kadar penambahan piropilit 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Dan jenis semen portland A, B dan C. Perencanaan campuran beton piropilit sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perencanaan Beton Kadar piropilit 0% dengan Jenis Semen

| Jenis Semen | Umur Beton | | | |
|-------------|------------|----|----|----|
| | 7 | 14 | 28 | 56 |
| A | 3 | 3 | 3 | 3 |
| B | 3 | 3 | 3 | 3 |
| C | 3 | 3 | 3 | 3 |

Tabel 3.2 Perencanaan Beton Kadar Piropilit dari 5% - 20% dengan Jenis Semen

| Jenis Semen | Umur Beton | Variasi Piropilit | | | |
|-------------|------------|-------------------|-----|-----|-----|
| | | 5% | 10% | 15% | 20% |
| A | 28 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 56 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| B | 28 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 56 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| C | 28 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 56 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Untuk penelitian kuat tekan beton piropilit data diambil dengan membuat benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 15 cm dan diameter 30 cm sebanyak 3 buah benda uji untuk tiap penambahan kadar piropilit 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Dan jenis semen portland A, B dan C. Jadi total benda uji keseluruhan 108 buah.

3.7 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terukur:

- a. Variabel bebas :
 - Prosentase penambahan phyropilit 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen yang akan dibuat beton.
 - Jenis Semen A, B dan C
- b. Variabel tak bebas :
 - Kuat tekan beton.
 - Regangan beton.

3.8 Metode Analisis

Dari hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian benda uji kemudian diolah dan dianalisis menurut prosedur analisis statistik. Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan dan regangan beton, digunakan analisis varian dua arah.

Pernyataan ada tidaknya pengaruh penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan dan regangan beton dinyatakan secara statistik sebagai berikut:

- a. Menentukan hipotesis

$$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2 = \mu_3^2 = \dots = \mu_k^2$$

$$H_1 : \mu_1^2 \neq \mu_2^2 \neq \mu_3^2 \neq \dots \neq \mu_k^2$$

Dengan H_0 : hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

H_1 : hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

- b. Menentukan *level of significant* $\alpha = 0.05$

- c. Menentukan kriteria pengujian

Menentukan F_{tabel} dengan rumus : $F_{\text{tabel}} = F_{(1-\alpha)(dbA,dbD)}$

- d. Menghitung nilai uji F_{hitung}

Menghitung Jumlah Kuadrat Total (JK_T)

$$JK_T = \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)T^2}{N} \quad (3-1)$$

Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group (JK_A) dengan rumus :

$$JK_A = \frac{(\sum X)An^2}{n_{An}} - \frac{(\sum X)T^2}{N} \quad (3-2)$$

Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group B (JK_B)

$$JK_B = \frac{(\sum X)Bn^2}{n_{Bn}} - \frac{(\sum X)T^2}{N} \quad (3-3)$$

Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group A dan Group B (JK_{AB})

$$JK_{AB} = \frac{(\sum X)An^2}{n_{An}} - \frac{(\sum X)T^2}{N} - JK_A - JK_B \quad (3-4)$$

Menghitung Jumlah Kuadrat Dalam Antar Group (JK_D) dengan rumus

$$JK_D = JK_T - JK_A - JK_B - JK_{AB} \quad (3-5)$$

Menghitung derajat bebas antar Group ($db_A, db_B, db_{AB}, db_D, db_T$)

Menghitung Kuadrat Rerata antar Group ($KR_A, KR_B, KR_{AB}, KR_D$) dengan rumus :

$$KR_A = \frac{JK_A}{db_A} \quad (3-6)$$

Menghitung F_{hitung} dengan rumus :

$$F_{hitung} = \frac{JK_A}{KR_D} \quad (3-7)$$

Membuat tabel ringkasan anova dua arah seperti **Tabel 3.2** dibawah ini:

Tabel 3.2 Ringkasan anova dua arah

| Sumber Varian | Jumlah Kuadrat | Derajat Bebas | Kuadrat Rerata | F Hitung | F tabel |
|------------------------|----------------|---------------|----------------|----------|------------------|
| SV | (JK) | (db) | (KR) | | |
| Antar Group (A) | JK_A | Db_A | KR_A | | α 0.05 |
| Antar Group (B) | JK_B | Db_B | KR_B | | α 0.05 |
| Antar Group (AB) | JK_{AB} | Db_{AB} | KR_{AB} | | α 0.05 |
| Dalam Group (D) Residu | JK_D | Db_D | KR_D | | |
| Total | | | | | |

e. Kesimpulan

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$, maka tolak H_0 dan H_1 diterima

Jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$, maka tolak H_1 dan H_0 diterima

Sedangkan untuk mengetahui hubungan variasi penambahan piropilit terhadap jenis semen dilakukan dengan permodelan sederhana menggunakan analisis regresi. Analisis regresi menjelaskan hubungan antara satu variabel terikat yang tergantung pada satu variabel bebas.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Material

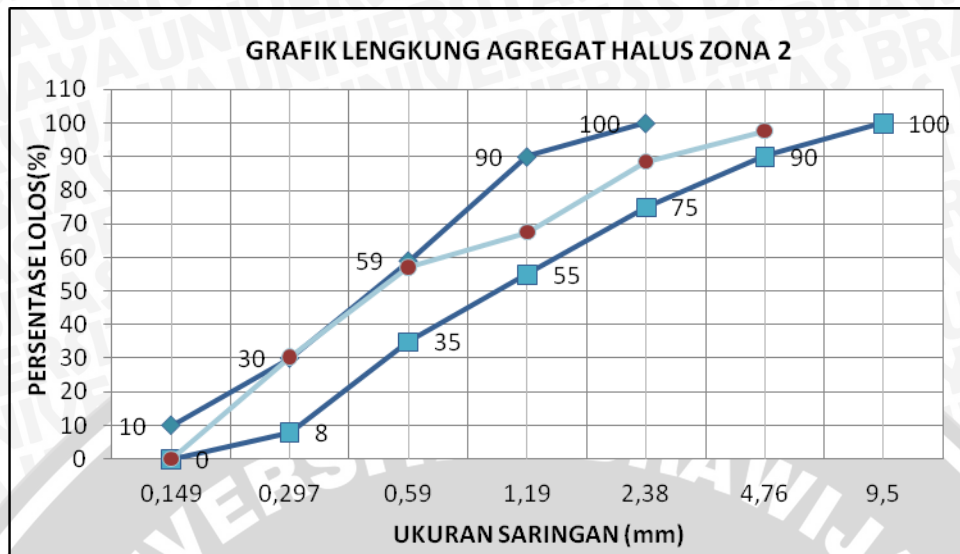
4.1.1 Analisa gradasi agregat

Data karekteristik agregat beton diperoleh dari uji gradasi agregat halus dan kasar yang dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pengujian dasar material agregat perlu dilakukan karena karakteristik agregat baik itu kasar dan halus nantinya akan berpengaruh terhadap hasil dari benda uji. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dalam uji analisa gradasi agregat halus dan kasar.

Tabel 4.1 Analisa gradasi agregat halus

| Lubang Saringan | | Pasir | | %Kumulatif | |
|-----------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | | Tertinggal | | | |
| no | mm | gram | % | Tertinggal | Lolos |
| 3" | 76,2 | - | - | - | - |
| 2.5" | 63,5 | - | - | - | - |
| 2" | 50,8 | - | - | - | - |
| 1.5" | 38,1 | - | - | - | - |
| 1" | 25,4 | - | - | - | - |
| 3/4" | 19,1 | - | - | - | - |
| 1/2" | 12,7 | - | - | - | - |
| 3/8" | 9,5 | - | - | - | 100 |
| 4 | 4,76 | 83,4 | 8,52 | 8,52 | 91,48 |
| 8 | 2,38 | 101,8 | 10,40 | 18,92 | 81,08 |
| 16 | 1,19 | 157,4 | 16,08 | 34,99 | 65,01 |
| 30 | 0,59 | 240,4 | 24,56 | 59,55 | 40,45 |
| 50 | 0,297 | 210 | 21,45 | 81,00 | 19,00 |
| 100 | 0,149 | 168,6 | 17,22 | 98,22 | 1,78 |
| 200 | 0,075 | 14,4 | 1,47 | 99,69 | 0,31 |
| Pan | | 3 | 0,31 | 100,00 | 0,00 |
| Σ | | 979 | 100 | | |





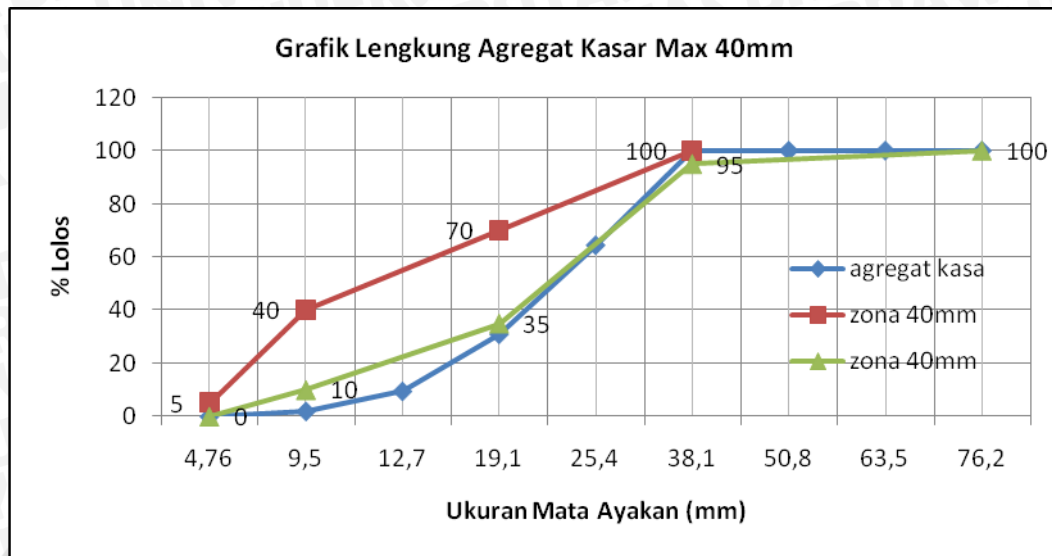
Gambar 4.1 Hasil uji gradasi agregat halus

$$\text{Modulus Kehalusan Pasir, } F_m\text{-p} = \frac{\sum \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/8'' \text{ sampai no } 100}{100}$$

Dari Grafik, Zona Gradasi = Zona 2

Tabel 4.2 Analisa gradasi agregat kasar

| Lubang Saringan | | Pasir | | | |
|-----------------|-------|------------|----------|------------|-------|
| | | Tertinggal | | %Kumulatif | |
| no | mm | gram | % | Tertinggal | Lolos |
| 3" | 76,2 | - | - | - | 100 |
| 2.5" | 63,5 | - | - | - | 100 |
| 2" | 50,8 | - | - | - | 100 |
| 1.5" | 38,1 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 1" | 25,4 | 146,4 | 2,95 | 2,95 | 97,05 |
| 0.75" | 19,1 | 3249,4 | 65,51 | 68,47 | 31,53 |
| 0.5" | 12,7 | 1065,6 | 21,48 | 89,95 | 10,05 |
| 0.375" | 9,5 | 274,8 | 5,54 | 95,49 | 4,51 |
| 4 | 4,76 | 212,8 | 4,29 | 99,78 | 0,22 |
| 8 | 2,38 | - | - | 0 | - |
| 16 | 1,19 | - | - | 0 | - |
| 30 | 0,85 | - | - | 0 | - |
| 50 | 0,297 | - | - | 0 | - |
| 100 | 0,149 | - | - | 0 | - |
| 200 | 0,075 | - | - | 0 | - |
| Pan | | 10,8 | 0,217751 | 0,22 | - |
| Σ | | 4959,8 | 99,8 | 263,74 | |



Gambar 4.2 Hasil uji gradasi agregat kasar

$$F_m-k = \frac{\sum \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100}$$

Dari Grafik, Zona Gradasi = Zona 4

4.1.2 Berat jenis dan penyerapan agregat

Data berat jenis dan penyerapan agregat diperoleh dari uji berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar yang dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat perlu dilakukan karena bertujuan untuk mendapatkan harga berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu. Selain itu juga bertujuan untuk mendapatkan harga penyerapan air pada agregat halus dan kasar. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dalam uji berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar.

Tabel 4.3 Data agregat halus

| NOMOR CONTOH | | | A |
|--|------|------|--------|
| Berat benda uji kering permukaan jenuh | 1000 | (gr) | 1000 |
| Berat benda uji kering oven | Bk | (gr) | 996,6 |
| Berat piknometer di isi air | B | (gr) | 1389,4 |
| Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar) | Bt | (gr) | 1962,2 |

Tabel 4.4 Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat halus

| NOMOR CONTOH | | A |
|---|-------------------------------|-------|
| Berat Jenis Curah (Bulk Specific Grafity) | $B_k/(B+1000-B_t)$ | 0,42 |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Grafity Saturated Surface Dry) | $1000/(B+1000-B_t)$ | 2,34 |
| Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity) | $B_k/(B+B_k-B_t)$ | 2,35 |
| Penyerapan (%) (Absorption) | $(1000-B_k)/B_k \times 100\%$ | 0,341 |

Tabel 4.5 Data agregat kasar

| Nomor Contoh | | A |
|--|------------|------|
| Berat benda uji kering permukaan jenuh | B_j (gr) | 5000 |
| Berat benda uji kering oven | B_k (gr) | 4913 |
| Berat benda uji dalam air | B_a (gr) | 3350 |

Tabel 4.6 Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar

| Nomor Contoh | | A |
|---|------------------------------|-------|
| Berat Jenis Curah (Bulk Specific Grafity) | $B_k/(B_j-B_a)$ | 2,978 |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Grafity Saturated Surface Dry) | $B_j/(B_j-B_a)$ | 3,030 |
| Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity) | $B_k/(B_k-B_a)$ | 3,143 |
| Penyerapan (%) (Absorption) | $(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$ | 1,771 |

4.1.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan piropilit

Data berat jenis dan penyerapan piropilit diperoleh dari uji berat jenis dan penyerapan yang dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pengujian berat jenis dan penyerapan piropilit perlu dilakukan karena bertujuan untuk mendapatkan harga berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu. Selain itu juga bertujuan untuk mendapatkan harga penyerapan air pada piropilit. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dalam uji berat jenis dan penyerapan piropilit.

Tabel 4.7 Data piropilit

| NOMOR CONTOH | | | A |
|--|------|------|--------|
| Berat benda uji kering permukaan jenuh | 1000 | (gr) | 1000 |
| Berat benda uji kering oven | Bk | (gr) | 968,7 |
| Berat piknometer di isi air | B | (gr) | 1378,2 |
| Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar) | Bt | (gr) | 1891 |

Tabel 4.8 Hasil uji berat jenis dan penyerpan piropilit

| NOMOR CONTOH | | A |
|--|-----------------------------|-------|
| Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity) | $Bk/(B+1000-Bt)$ | 0,41 |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD) | $1000/(B+1000-Bt)$ | 2,05 |
| Berat Jenis Semu (Apparent Spesific Gravity) | $Bk/(B+Bk-Bt)$ | 2,12 |
| Penyerapan (%) (Absorption) | $(1000-Bk)/Bk \times 100\%$ | 3,231 |



4.1.4 Pemeriksaan kadar air agregat

Data kadar air agregat diperoleh dari uji pemeriksaan kadar air agregat halus dan kasar yang dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pemeriksaan kadar air agregat perlu dilakukan karena bertujuan untuk memperoleh angka prosentase kadar air yang dikandung dari agregat kasar dan halus. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dalam pemeriksaan kadar air agregat halus dan kasar.

Tabel. 4.9 Analisa kadar air agregat halus

| Nomor Contoh | | | 1 | |
|--------------|-------------------------------|------|---------|--------|
| Nomor Talam | | | A | B |
| 1 | Berat Talam + Contoh basah | (gr) | 46,8 | 66,2 |
| 2 | Berat Talam + Contoh kering | (gr) | 46,6 | 66,2 |
| 3 | Berat Air = (1)-(2) | (gr) | 0,2 | 0 |
| 4 | Berat Talam | (gr) | 31,4 | 8,2 |
| 5 | Berat Contoh Kering = (2)-(4) | (gr) | 15,2 | 58 |
| 6 | Kadar Air = (3)/(5) | (%) | 0,0132 | 0,0000 |
| 7 | Kadar Air rata-rata | (%) | 0,65789 | |

Tabel 4.10 Analisa kadar air agregat kasar

| Nomor Contoh | | | 2 | |
|--------------|-------------------------------|------|--------|-------|
| Nomor Talam | | | A | B |
| 1 | Berat Talam + Contoh basah | (gr) | 138,6 | 152 |
| 2 | Berat Talam + Contoh kering | (gr) | 138 | 151,2 |
| 3 | Berat Air = (1)-(2) | (gr) | 0,6 | 0,8 |
| 4 | Berat Talam | (gr) | 36,8 | 37 |
| 5 | Berat Contoh Kering = (2)-(4) | (gr) | 101,2 | 114,2 |
| 6 | Kadar Air = (3)/(5) | (%) | 0,0059 | 0,007 |
| 7 | Kadar Air rata-rata | (%) | 0,6467 | |

4.1.5 Berat isi agregat

Berdasarkan pada pemeriksaan berat isi agregat kasar dan halus yang telah dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Maka analisa berat isi agregat beton bisa dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.11 Analisa berat isi agregat kasar

| | | | | |
|---|-----------------------------------|---------|---------------|-----------------|
| 1 | Berat takaran | (gr) | 1644,4 | 1644,4 |
| 2 | Berat takaran + air | (gr) | 4766,2 | 4766,2 |
| 3 | Berat air = (2)-(1) | (gr) | 3121,8 | 3121,8 |
| 4 | Volume air = (3)/(1) | (cc) | 1,898 | 1,898 |
| | CARA | | RODDED | SHOVELED |
| 5 | Berat Takaran | (gr) | 1644,4 | 1644,4 |
| 6 | Berat takaran + benda uji | (gr) | 6520 | 6490 |
| 7 | Berat benda uji = (6)-(5) | (gr) | 4875,6 | 4845,6 |
| 8 | Berat isi agregat halus = (7)/(4) | (gr/cc) | 2568,209571 | 2552,40715 |
| 9 | Berat isi agregat kasar rata-rata | (gr/cc) | 2560,3 | |

Tabel 4.12 Analisa berat isi agregat halus

| | | | | |
|---|-----------------------------------|---------|---------------|-----------------|
| 1 | Berat takaran | (gr) | 1644,4 | 1644,4 |
| 2 | Berat takaran + air | (gr) | 4766,2 | 4766,2 |
| 3 | Berat air = (2)-(1) | (gr) | 3121,8 | 3121,8 |
| 4 | Volume air = (3)/(1) | (cc) | 1,898 | 1,898 |
| | CARA | | RODDED | SHOVELED |
| 5 | Berat Takaran | (gr) | 1644,4 | 1644,4 |
| 6 | Berat takaran + benda uji | (gr) | 6720 | 6900 |
| 7 | Berat benda uji = (6)-(5) | (gr) | 5075,6 | 5255,6 |
| 8 | Berat isi agregat halus = (7)/(4) | (gr/cc) | 2673,559049 | 2768,373579 |
| 9 | Berat isi agregat halus rata-rata | (gr/cc) | 2721,0 | |

4.1.6 Komposisi Pencampuran Bahan Beton

Berdasarkan pada pemeriksaan agregat kasar dan halus yang telah dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Maka komposisi pencampuran bahan beton bisa dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.13 Perancangan campuran beton normal

| NO | URAIAN | TABEL / GRAFIK | NILAI |
|----|--|--------------------|-----------------|
| 1 | Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%) | Ditetapkan | 22,5 |
| 2 | Deviasi standar | Diketahui | 7 Mpa |
| 3 | Nilai Tambah (Margin) | (K=1,64) 1,64*(2) | 12 Mpa |
| 4 | Kuat tekan rata2 yg ditargetkan | (1) + (3) | 34,5 |
| 5 | Jenis Semen | Ditetapkan | Normal (Tipe I) |
| 6 | Jenis Agregat Kasar | Ditetapkan | Batu pecah |
| | Jenis Agregat Halus | Ditetapkan | Pasir |
| 7 | Faktor Air semen Bebas | Tabel 2, Grafik 1 | 0,53 |
| 8 | Faktor air semen Maksimum | Ditetapkan | 0,6 |
| 9 | Slump | Ditetapkan | 60-180 mm |
| 10 | Ukuran Agregat Maksimum | Ditetapkan | 40 mm |
| 11 | Kadar Air Bebas | Tabel 6 | 185 |
| 12 | Jumlah semen | (11) : (8) | 349,057 |
| 13 | Jumlah Semen Maksimum | Ditetapkan | - |
| 14 | Jumlah Semen Minimum | Ditetapkan | 275 |
| 15 | FAS yg disesuaikan | - | - |
| 16 | Susunan besar butir agregat halus | Grafik 3 - 6 | Zona 2 |
| 17 | Persen agregat halus | Grafik 13 - 15 | 35,0% |
| 18 | Berat isi relatif agregat (SSD) | Diketahui | 2,78 |
| 19 | Berat isi beton | Grafik 16 | 2500 |
| 20 | Kadar agregat gabungan | (19) - (11) - (12) | 1965,943 |
| 21 | Kadar agregat halus | (17) * (20) | 688,080 |
| 22 | Kadar agregat kasar | (20) - (21) | 1277,863 |

Tabel 4.14 Data komposisi campuran beton

| Banyaknya Bahan (Teoritis) | Semen (kg) | Air (kg/lt) | Ag. Halus (kg) | Ag. Kasar (kg) |
|--------------------------------------|--------------|---------------|------------------|------------------|
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis) | 349,057 | 185,000 | 688,080 | 1.277,863 |
| Tiap campuran uji 0,05 m3 | 1,850 | 0,981 | 3,647 | 6,773 |
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual) | 349,057 | 197,185 | 690,260 | 1.263,499 |
| Tiap campuran uji 0,05 m3 | 1,850 | 1,045 | 3,658 | 6,697 |
| Proporsi (Teoritis) (1/3) | 1,000 | 0,530 | 1,971 | 3,661 |
| Proporsi (Aktual) | 1,000 | 0,565 | 2,018 | 3,694 |
| Westing 20% | 69,811 | 39,437 | 138,052 | 252,700 |
| Kebutuhan | 418,868 | 236,622 | 828,311 | 1.516,198 |
| Silinder 15 / 30 (1buah) | 2,220 | 1,254 | 4,390 | 8,036 |
| Total silinder 15/30 (6 buah) | 13,32 | 7,525 | 26,34 | 48,215 |

4.1.7 Komposisi pencampuran piropilit

Berdasarkan pada hasil mix design beton yang telah dilakukan, dimana kebutuhan semen untuk 1 buah beton diperoleh berat 2,220 kg. Maka komposisi pencampuran penambahan piropilit sebagai filler terhadap berat semen yang telah di peroleh dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.15 Kebutuhan piropilit untuk 1 buah beton

| Kadar Piropilit (%) | Kebutuhan semen (kg) | Kebutuhan Piropilit (kg) |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| 5 | 2,22 | 0,111 |
| 10 | 2,22 | 0,222 |
| 15 | 2,22 | 0,333 |
| 20 | 2,22 | 0,444 |

Tabel 4.16 Kebutuhan piropilit untuk 18 buah beton

| Kadar Piropilit (%) | Kebutuhan Piropilit (kg) |
|---------------------|--------------------------|
| 5 | 1,998 |
| 10 | 3,996 |
| 15 | 5,994 |
| 20 | 7,992 |
| Total | 19,98 |

4.2 Pengujian Beton

Pengujian penelitian ini adalah pengujian kuat tekan dan regangan terhadap variasi campuran piropilit pada beton silinder. Uji kuat tekan dilakukan pada *Concrete Compression Machine* dan untuk uji regangan dilakukan dengan pemasangan alat *dial gauge* saat beton akan di uji kuat tekan. Total benda uji sebanyak 36 buah untuk beton tanpa variasi piropilit, yang terbagi atas 3 jenis semen dengan umur pengujian selama 7, 14, 28 dan 56 hari. Untuk total benda uji beton dengan campuran variasi piropilit sebanyak 72 buah yang terbagi atas 3 jenis semen dengan umur pengujian dari 28 dan 56 hari. Masing-masing benda uji tersebut dibagi menjadi 3 buah benda uji dengan variasi semen dan variasi piropilit, sehingga total jumlah benda uji untuk pengujian kuat tekan dan regangan beton sebanyak 108 buah beton.

4.2.1 Pengujian kuat tekan pada beton normal

Pengujian kuat tekan pada beton dilakukan dengan urutan beton yang berumur 7, 14, 28 dan 56 hari tanpa campuran variasi piropilit. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix desigen* yaitu 1:2:3. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil beton yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.17 Data profil beton normal.

| Umur Beton (hari) | Diameter (cm) | | | Luas (cm ²) | | | Berat (kg) | | |
|-------------------|---------------|-------|-------|-------------------------|--------|--------|------------|-------|-------|
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 7 | 15,10 | 14,90 | 15,10 | 178,99 | 174,28 | 178,99 | 13,12 | 13,28 | 13,14 |
| 7 | 15,00 | 15,20 | 15,10 | 176,63 | 181,37 | 178,99 | 13,08 | 13,48 | 13,10 |
| 7 | 15,20 | 15,10 | 15,20 | 181,37 | 178,99 | 181,37 | 13,18 | 13,34 | 13,32 |
| 14 | 15,00 | 15,00 | 15,10 | 176,63 | 176,63 | 178,99 | 13,18 | 13,38 | 13,20 |
| 14 | 15,10 | 15,10 | 15,05 | 178,99 | 178,99 | 177,80 | 13,08 | 13,32 | 12,90 |
| 14 | 15,10 | 15,10 | 15,05 | 178,99 | 178,99 | 177,80 | 13,24 | 13,30 | 13,08 |
| 28 | 15,10 | 15,15 | 15,00 | 178,99 | 180,18 | 176,63 | 12,98 | 13,28 | 12,94 |
| 28 | 14,90 | 14,87 | 15,00 | 174,28 | 173,58 | 176,63 | 12,94 | 13,10 | 12,92 |
| 28 | 15,00 | 15,10 | 15,10 | 176,63 | 178,99 | 178,99 | 13,00 | 13,20 | 12,94 |
| 56 | 15,10 | 15,15 | 15,20 | 178,99 | 180,18 | 181,37 | 13,10 | 12,90 | 13,04 |
| 56 | 14,90 | 15,10 | 15,10 | 174,28 | 178,99 | 178,99 | 12,94 | 13,16 | 12,84 |
| 56 | 15,10 | 15,05 | 15,00 | 178,99 | 177,80 | 176,63 | 13,10 | 13,12 | 12,78 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Untuk nilai kuat tekan pada beton tanpa campuran variasi piropilit terlampir pada **Tabel 4.18** berikut.

Tabel 4.18 Nilai kuat tekan pada beton

| Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | | f _c Rencana 22,5 (Mpa) | P (Kn) | | |
|------------|------------------|--------|--------|-----------------------------------|--------|-----|-----|
| | A | B | C | | A | B | C |
| 7 | 14,638 | 16,353 | 15,476 | 14,625 | 262 | 285 | 277 |
| 7 | 14,664 | 20,290 | 17,711 | 14,625 | 259 | 368 | 317 |
| 7 | 15,714 | 18,381 | 18,416 | 14,625 | 285 | 329 | 334 |
| 14 | 19,929 | 20,156 | 23,242 | 19,800 | 352 | 356 | 416 |
| 14 | 19,945 | 26,315 | 20,134 | 19,800 | 357 | 471 | 358 |
| 14 | 20,672 | 21,007 | 18,560 | 19,800 | 370 | 376 | 330 |
| 28 | 24,583 | 25,919 | 27,459 | 22,500 | 440 | 467 | 485 |
| 28 | 25,993 | 30,304 | 24,232 | 22,500 | 453 | 526 | 428 |
| 28 | 22,703 | 30,002 | 24,415 | 22,500 | 401 | 537 | 437 |
| 56 | 24,415 | 28,805 | 26,466 | 24,516 | 437 | 519 | 480 |
| 56 | 26,796 | 39,066 | 26,538 | 24,516 | 467 | 690 | 475 |
| 56 | 25,253 | 29,246 | 29,441 | 24,516 | 452 | 520 | 520 |

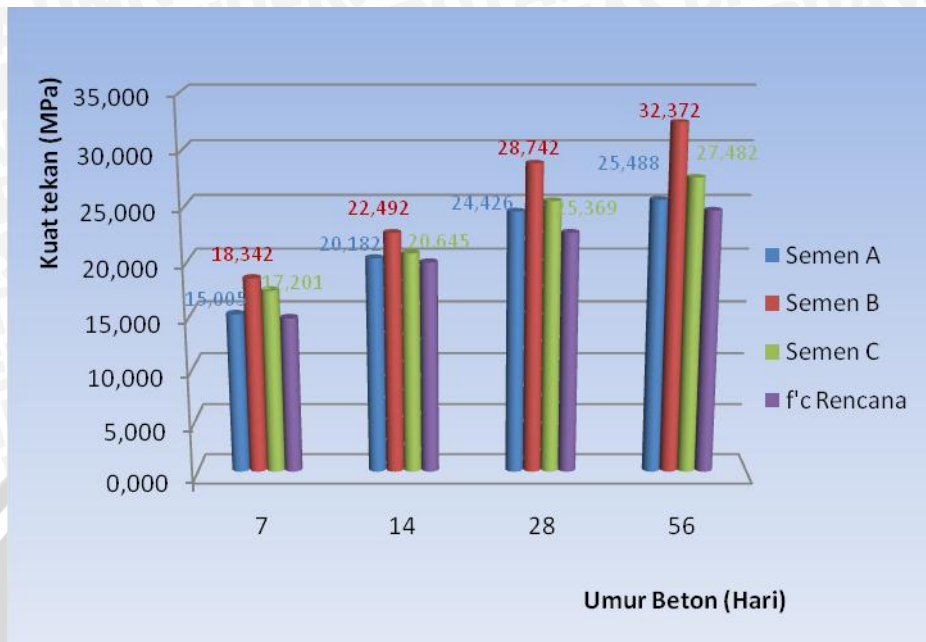
*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Untuk nilai rata-rata kuat tekan pada beton tanpa campuran variasi piropilit terlampir pada **Tabel 4.19** berikut.

Tabel 4.19 Nilai rata-rata kuat tekan pada beton

| Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | | f _c Rencana 22,5 (Mpa) |
|------------|------------------|--------|--------|-----------------------------------|
| | A | B | C | |
| 7 | 15,005 | 18,342 | 17,201 | 14,625 |
| 14 | 20,182 | 22,492 | 20,645 | 19,800 |
| 28 | 24,426 | 28,742 | 25,369 | 22,500 |
| 56 | 25,488 | 32,372 | 27,482 | 24,516 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen dan umur beton normal

Nilai kuat tekan yang ditampilkan pada **Gambar 4.3** diambil dari nilai rata-rata kuat tekan beton dari 3 benda uji pada setiap variasi jenis semen yang digunakan. Pada grafik ini menjelaskan perbedaan kuat tekan untuk setiap jenis semen dimana terlihat bahwa semen jenis B lebih besar menghasilkan nilai kuat tekan dibandingkan dengan semen yang lainnya.

Pada **Gambar 4.4** merupakan beberapa beton tanpa campuran variasi piropilit yang akan siap di uji kuat tekan. Terlihat pada gambar tersebut ada beberapa beton dengan jenis semen yang berbeda-beda.



Gambar 4.4 Kumpulan beton yang telah siap diuji

Sedangkan pada **Gambar 4.5** sebuah skema beton yang sedang diuji kuat tekan dengan alat *Concrete Compression Machine*. Adapun beton yang telah diuji kuat tekan dapat terlihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.5 Skema pengujian kuat tekan beton



Gambar 4.6 Beton setelah diuji kuat tekan

4.2.2 Pengujian kuat tekan beton dan variasi piropilit umur 28 hari

Pengujian kuat tekan pada beton dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dilakukan dengan urutan beton yang berumur 28 hari. Penambahan piropilit pada campuran beton ini adalah sebagai filler. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix design* yaitu 1:2:3. Terkecuali untuk ukuran FAS yang digunakan dapat di tambah agar memenuhi nilai slump yang di rencanakan. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil beton yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.20** berikut.

Tabel 4.20 Data profil beton piropilit umur 28 hari

| kadar piropilit (%) | Umur Beton (hari) | Diameter (cm) | | | Luas (cm ²) | | | Berat (kg) | | |
|---------------------|-------------------|---------------|-------|-------|-------------------------|--------|--------|------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 5 | 28 | 15,10 | 14,90 | 15,00 | 178,99 | 174,28 | 176,63 | 13,00 | 12,78 | 13,06 |
| | 28 | 15,05 | 14,80 | 15,10 | 177,80 | 171,95 | 178,99 | 12,68 | 12,96 | 13,10 |
| | 28 | 15,20 | 15,00 | 15,10 | 181,37 | 176,63 | 178,99 | 13,04 | 13,12 | 13,16 |
| 10 | 28 | 15,10 | 15,20 | 15,15 | 178,99 | 181,37 | 180,18 | 12,94 | 12,76 | 13,16 |
| | 28 | 15,10 | 15,20 | 15,10 | 178,99 | 181,37 | 178,99 | 13,00 | 12,50 | 13,04 |
| | 28 | 15,30 | 15,05 | 15,20 | 183,76 | 177,80 | 181,37 | 12,98 | 12,46 | 13,06 |
| 15 | 28 | 15,15 | 15,00 | 15,10 | 180,18 | 176,63 | 178,99 | 13,08 | 13,08 | 12,94 |
| | 28 | 15,10 | 15,10 | 15,10 | 178,99 | 178,99 | 178,99 | 13,02 | 12,98 | 12,96 |
| | 28 | 15,15 | 15,10 | 15,00 | 180,18 | 178,99 | 176,63 | 13,10 | 13,36 | 13,12 |
| 20 | 28 | 15,10 | 15,00 | 15,20 | 178,99 | 176,63 | 181,37 | 13,00 | 12,80 | 12,80 |
| | 28 | 15,10 | 15,10 | 15,10 | 178,99 | 178,99 | 178,99 | 12,92 | 13,18 | 12,94 |
| | 28 | 14,90 | 15,00 | 15,10 | 174,28 | 176,63 | 178,99 | 13,10 | 12,84 | 12,88 |

*)A: Semen Jenis A
)B: Semen Jenis B
)C: Semen Jenis C

Untuk nilai kuat tekan pada beton dengan campuran variasi piropilit terlampir pada **Tabel 4.21** berikut.

Tabel 4.21 Data uji kuat tekan beton umur 28 hari dan variasi piropilit.

| Kadar Piropilit (%) | Umur (hari) | Kuat Tekan | | | P (Kn) | | |
|---------------------|-------------|------------|--------|--------|--------|-----|-----|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 28 | 24,583 | 25,919 | 27,459 | 440 | 467 | 485 |
| | 28 | 25,993 | 30,304 | 24,232 | 453 | 526 | 428 |
| | 28 | 22,703 | 30,002 | 24,415 | 401 | 537 | 437 |
| 5 | 28 | 13,912 | 21,173 | 21,798 | 249 | 369 | 385 |
| | 28 | 16,141 | 19,948 | 23,912 | 287 | 343 | 428 |
| | 28 | 14,336 | 18,344 | 18,996 | 260 | 324 | 340 |
| 10 | 28 | 16,593 | 13,067 | 22,700 | 297 | 237 | 409 |
| | 28 | 13,744 | 12,020 | 27,573 | 246 | 218 | 487 |
| | 28 | 16,326 | 14,454 | 25,584 | 300 | 257 | 464 |
| 15 | 28 | 16,706 | 14,324 | 19,499 | 301 | 253 | 349 |
| | 28 | 14,973 | 21,286 | 19,610 | 268 | 381 | 351 |
| | 28 | 14,819 | 19,163 | 19,816 | 267 | 343 | 350 |
| 20 | 28 | 17,431 | 18,401 | 11,468 | 312 | 325 | 208 |
| | 28 | 18,046 | 19,387 | 14,973 | 323 | 347 | 268 |
| | 28 | 19,509 | 16,872 | 17,096 | 340 | 298 | 306 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Untuk nilai rata-rata kuat tekan pada beton dengan campuran variasi piropilit terlampir pada **Tabel 4.22** dibawah ini.

Tabel 4.22 Nilai rata-rata kuat tekan beton piropilit umur 28 hari dengan variasi piropilit dan jenis semen

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | |
|---------------------|------------|------------------|--------|--------|
| | | A | B | C |
| 0 | 28 | 24,426 | 28,742 | 25,369 |
| 5 | 28 | 14,796 | 19,822 | 21,569 |
| 10 | 28 | 15,554 | 13,180 | 25,285 |
| 15 | 28 | 15,499 | 18,258 | 19,642 |
| 20 | 28 | 18,329 | 18,220 | 14,513 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Nilai kuat tekan yang terlampir pada **Tabel 4.22** diambil dari nilai rata-rata kuat tekan beton dari 3 benda uji pada setiap variasi piropilit dan jenis semen pada umur 28 hari. Dari tabel tersebut terlihat bahwa kuat tekan beton pada penambahan piropilit dan variasi jenis semen cenderung menurun. Terlihat pada penambahan kadar persentase piropilit untuk semua jenis semen kuat tekan menyebabkan nilai kuat tekan menurun. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesa awal, karena penambahan piropilit pada beton memberikan efek negatif pada nilai kuat tekan.

4.2.3 Pengujian kuat tekan beton dan variasi piropilit umur 56 hari

Pengujian kuat tekan pada beton dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dilakukan dengan urutan beton yang berumur 56 hari. Penambahan piropilit pada campuran beton ini adalah sebagai filler. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix desigen* yaitu 1:2:3. Terkecuali untuk ukuran FAS yang digunakan dapat di tambah agar memenuhi nilai slump yang di rencanakan. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil beton yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.23** berikut.

Tabel 4.23 Data profil beton piropilit umur 56 hari

| kadar piropilit (%) | Umur Beton (hari) | Diameter (cm) | | | Luas (cm ²) | | | Berat (kg) | | |
|---------------------|-------------------|---------------|------|------|-------------------------|--------|--------|------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 5 | 56 | 15,1 | 15,1 | 14,9 | 178,99 | 178,99 | 174,28 | 12,98 | 12,76 | 13,14 |
| | 56 | 15,1 | 14,9 | 15,1 | 178,99 | 174,28 | 178,99 | 12,86 | 12,72 | 13,10 |
| | 56 | 14,9 | 15 | 14,9 | 174,28 | 176,63 | 174,28 | 13,00 | 12,78 | 13,00 |
| 10 | 56 | 15,2 | 15,1 | 14,9 | 181,37 | 178,99 | 174,28 | 13,20 | 12,50 | 12,98 |
| | 56 | 15,1 | 15 | 15 | 178,99 | 176,63 | 176,63 | 12,92 | 12,48 | 13,10 |
| | 56 | 15,1 | 14,8 | 15,1 | 178,99 | 171,95 | 178,99 | 13,20 | 12,92 | 12,84 |
| 15 | 56 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 178,99 | 178,99 | 178,99 | 13,20 | 13,04 | 13,20 |
| | 56 | 15,1 | 14,9 | 15,1 | 178,99 | 174,28 | 178,99 | 12,96 | 12,98 | 12,96 |
| | 56 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 174,28 | 174,28 | 174,28 | 12,80 | 12,87 | 12,87 |
| 20 | 56 | 14,9 | 15,3 | 15,1 | 174,28 | 183,76 | 178,99 | 12,78 | 13,20 | 13,10 |
| | 56 | 15,1 | 14,7 | 15,1 | 178,99 | 169,63 | 178,99 | 12,98 | 12,74 | 13,06 |
| | 56 | 14,8 | 14,9 | 14,9 | 171,95 | 174,28 | 174,28 | 12,92 | 12,42 | 12,52 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Untuk nilai kuat tekan pada beton dengan campuran variasi piropilit terlampir pada **Tabel 4.24** dibawah ini.

Tabel 4.24 Nilai kuat tekan beton umur 56 hari dan variasi piropilit

| Kadar Piropilit (%) | Umur (hari) | P (Kn) | | | Kuat Tekan (Mpa) | | |
|---------------------|-------------|--------|-----|-----|------------------|--------|--------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 56 | 437 | 519 | 480 | 24,415 | 28,805 | 26,466 |
| | 56 | 467 | 690 | 475 | 26,796 | 39,066 | 26,538 |
| | 56 | 452 | 520 | 520 | 25,253 | 29,246 | 29,441 |
| 5 | 56 | 300 | 370 | 330 | 16,761 | 20,672 | 18,935 |
| | 56 | 290 | 302 | 348 | 16,202 | 17,329 | 19,443 |
| | 56 | 320 | 340 | 310 | 18,361 | 19,250 | 17,788 |
| 10 | 56 | 280 | 280 | 300 | 15,438 | 15,644 | 17,214 |
| | 56 | 260 | 277 | 250 | 14,526 | 15,683 | 14,154 |
| | 56 | 288 | 260 | 280 | 16,090 | 15,121 | 15,644 |
| 15 | 56 | 330 | 390 | 350 | 18,437 | 21,789 | 19,554 |
| | 56 | 300 | 375 | 370 | 16,761 | 21,517 | 20,672 |
| | 56 | 360 | 380 | 340 | 20,657 | 21,804 | 19,509 |
| 20 | 56 | 290 | 280 | 310 | 16,640 | 15,237 | 17,320 |
| | 56 | 300 | 300 | 300 | 16,761 | 17,685 | 16,761 |
| | 56 | 250 | 270 | 260 | 14,539 | 15,493 | 14,919 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Untuk nilai rata-rata kuat tekan pada beton dengan campuran variasi piropilit terlampir pada **Tabel 4.25** dibawah ini.

Tabel 4.25 Nilai kuat tekan beton umur 56 hari dan variasi piropilit

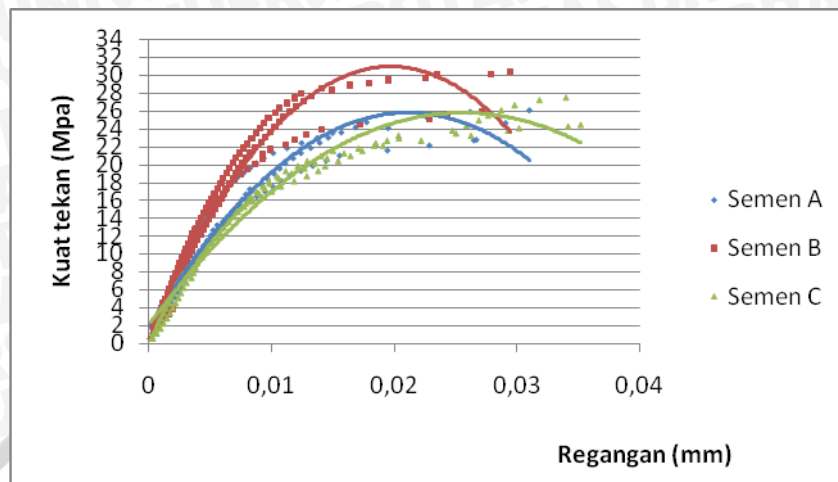
| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | |
|---------------------|------------|------------------|--------|--------|
| | | A | B | C |
| 0 | 56 | 25,488 | 32,372 | 27,482 |
| 5 | 56 | 17,108 | 19,083 | 18,722 |
| 10 | 56 | 15,352 | 15,482 | 15,671 |
| 15 | 56 | 18,618 | 21,704 | 19,912 |
| 20 | 56 | 15,980 | 16,138 | 16,333 |

*) A: Semen Jenis A
) B: Semen Jenis B
) C: Semen Jenis C

Nilai kuat tekan yang terlampir pada **Tabel 4.25** diambil dari nilai rata-rata kuat tekan beton dari 3 benda uji pada setiap variasi piropilit dan jenis semen pada umur 56 hari. Dari tabel tersebut terlihat bahwa penambahan piropilit belum sesuai dengan apa yang di duga sebelumnya, dimana penambahan persentase piropilit dapat menambah nilai kuat tekan pada beton namun hal ini tidak terbukti. Penambahan piropilit dapat menurunkan kuat tekan dengan setiap persentase pertambahannya. Sedangkan pada variasi semen yang digunakan untuk umur beton sampai 56 hari terlihat dari tabel diatas dimana dengan adanya penambahan piropilit berpengaruh buruk terhadap kekuatan beton yang dihasilkan.

4.2.4 Pengujian regangan beton normal

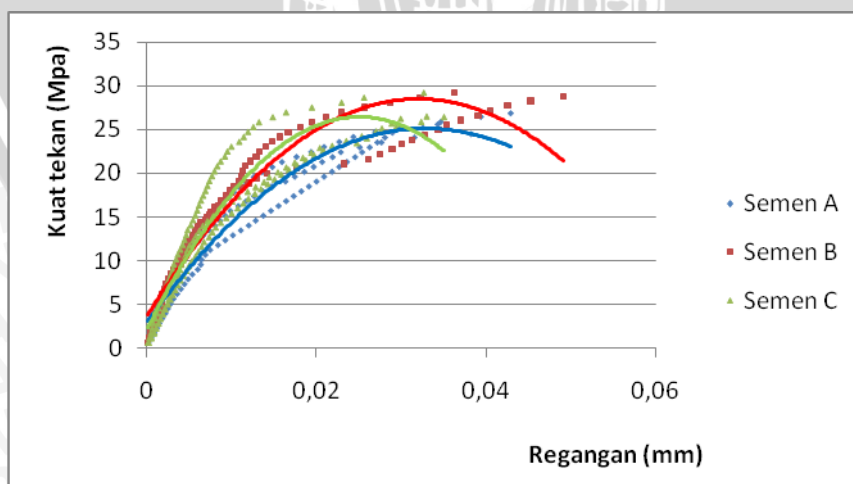
Pengujian regangan pada beton dilakukan dengan urutan beton yang berumur 7, 14, 28 dan 56 hari tanpa campuran variasi piropilit. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix desigen* yaitu 1:2:3. Pengujian regangan dilakukan saat pengujian kuat tekan, dimana beton dipasang alat *dial gauge* untuk mendapatkan perubahan panjang. Berdasarkan lampiran di dapatkan diagram tegangan regangan untuk umur beton 28 hari sebagai berikut



Gambar 4.7 Diagram tegangan regangan beton normal umur 28 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.7** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen B memiliki nilai tegangan yang paling tinggi namun nilai regangan yang dihasilkan paling kecil dibandingkan nilai regangan pada semen A dan C. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen B lebih kaku dibandingkan dengan beton semen A dan C.

Pengujian regangan pada beton 56 hari tanpa campuran variasi piropilit. Pengujian regangan dilakukan saat pengujian kuat tekan, dimana beton dipasang alat *dial gauge* untuk mendapatkan perubahan panjang. Berdasarkan lampiran di dapatkan diagram tegangan regangan untuk umur beton 56 hari sebagai berikut.



Gambar 4.8 Diagram tegangan regangan beton normal umur 56 hari dengan variasi jenis semen

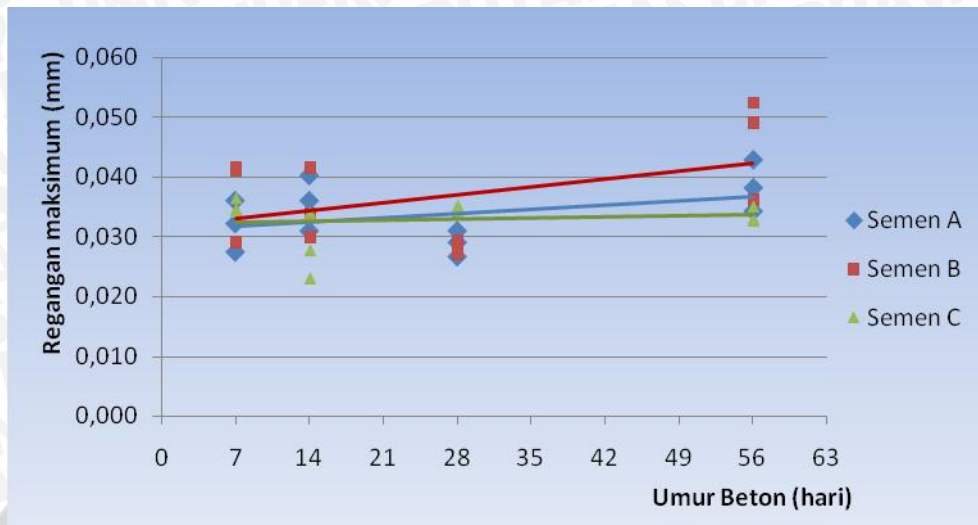
Dari **Gambar 4.8** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan untuk tiap variasi jenis semen. Untuk umur 28 hari Semen B memiliki nilai tegangan yang paling tinggi dan umur 56 Semen B tetap memiliki nilai tertinggi. Namun nilai regangan yang dihasilkan paling juga paling besar dibandingkan nilai regangan pada semen A dan C. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen B lebih elastis dibandingkan dengan beton semen A dan C.

Secara keseluruhan pengujian regangan samapai umur 56 hari pada beton normal didapatkan hasil pengujian regangan maksimum yang telah di uji terlampir pada **Tabel 4.26** dibawah ini.

Tabel 4.26 Hasil uji regangan maximum beton normal

| Umur Beton | ΔL (μm) | | | ΔL (mm) | | | L (mm) | | | ϵ (mm) | | |
|------------|------------------------------|------|------|-----------------|-------|-------|--------|-------|-----|-----------------|-------|-------|
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 7 | 968 | 880 | 1078 | 9,68 | 8,8 | 10,78 | 301 | 302 | 315 | 0,032 | 0,029 | 0,034 |
| 7 | 820 | 1240 | 1038 | 8,2 | 12,4 | 10,38 | 299 | 302 | 300 | 0,027 | 0,041 | 0,035 |
| 7 | 1087 | 1254 | 1098 | 10,87 | 12,54 | 10,98 | 302 | 301 | 301 | 0,036 | 0,042 | 0,036 |
| 14 | 1021 | 913 | 873 | 10,21 | 9,13 | 8,73 | 330 | 304 | 315 | 0,031 | 0,030 | 0,028 |
| 14 | 1087 | 1248 | 689 | 10,87 | 12,48 | 6,89 | 302 | 300 | 300 | 0,036 | 0,042 | 0,023 |
| 14 | 1214 | 1021 | 1025 | 12,14 | 10,21 | 10,25 | 302 | 301 | 301 | 0,040 | 0,034 | 0,034 |
| 28 | 865 | 821 | 1023 | 8,65 | 8,21 | 10,23 | 298 | 302,5 | 301 | 0,029 | 0,027 | 0,034 |
| 28 | 932 | 885 | 1018 | 9,32 | 8,85 | 10,18 | 301 | 300,5 | 298 | 0,031 | 0,029 | 0,034 |
| 28 | 802 | 843 | 1045 | 8,02 | 8,43 | 10,45 | 301 | 302 | 297 | 0,027 | 0,028 | 0,035 |
| 56 | 1148 | 1468 | 1045 | 11,48 | 14,68 | 10,45 | 301 | 299 | 298 | 0,038 | 0,049 | 0,035 |
| 56 | 1293 | 1582 | 994 | 12,93 | 15,82 | 9,94 | 302 | 302 | 301 | 0,043 | 0,052 | 0,033 |
| 56 | 1034 | 1091 | 984 | 10,34 | 10,91 | 9,84 | 302 | 301 | 301 | 0,034 | 0,036 | 0,033 |

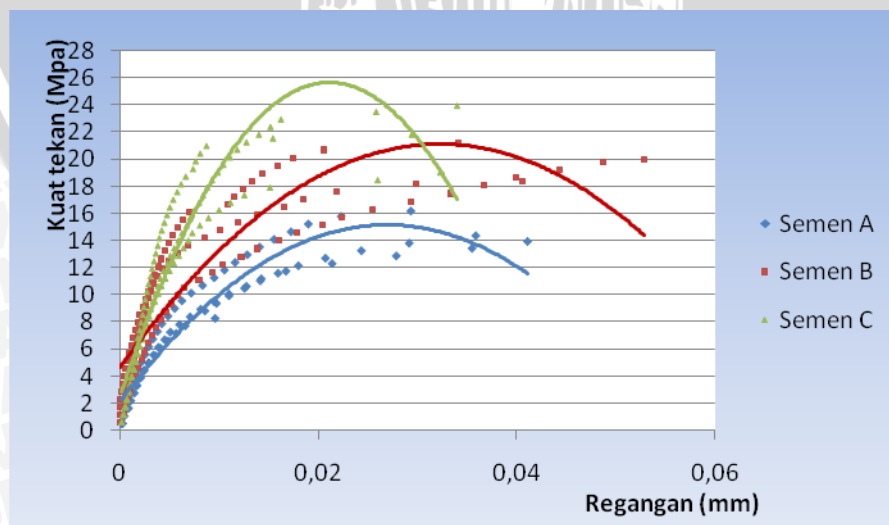
Untuk hubungan antara regangan maksimum beton normal dengan dengan umur pengujian sampai 56 hari terlampir pada **Gambar 4.9** berikut.



Gambar 4.9 Hubungan antara regangan maksimum beton normal dengan umur pengujian sampai 56 hari

4.2.5 Pengujian regangan beton piropilit 28 hari

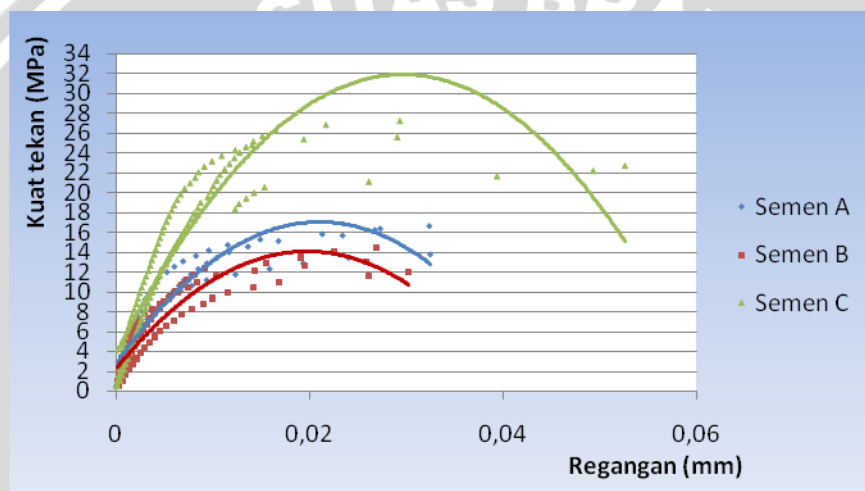
Pengujian regangan beton dilakukan saat beton berumur 28 dan 56 hari dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix desigen* yaitu 1:2:3. Pengujian regangan dilakukan saat pengujian kuat tekan, dimana beton dipasang alat *dial gauge* untuk mendapatkan perubahan panjang. Berdasarkan lampiran di dapatkan diagram tegangan regangan untuk umur beton 28 hari dengan variasi piropilit 5% sebagai berikut



Gambar 4.10 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 5% umur 28 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.10** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 5% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen C memiliki nilai tegangan yang paling tinggi namun nilai regangan yang dihasilkan paling kecil dibandingkan nilai regangan pada semen A dan B. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen C lebih kaku dibandingkan dengan beton semen A dan B pada pencampuran kadar piropilit 5% di umur 28 hari.

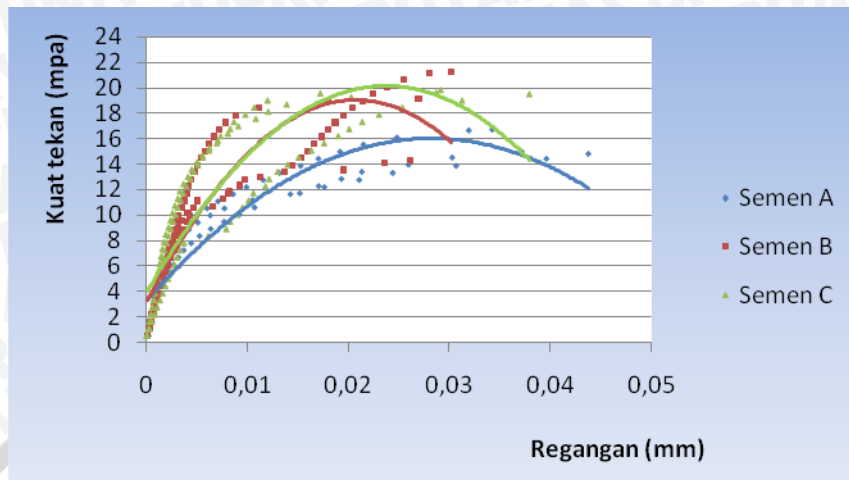
Untuk diagram tegangan-regangan beton pada umur beton 28 hari dengan variasi piropilit 10% sebagai berikut



Gambar 4.11 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 10% umur 28 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.11** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 10% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen C memiliki nilai tegangan yang paling tinggi dibandingkan nilai tegangan pada pencampuran kadar 5% piropilit. Nilai regangan yang dihasilkan semen C juga bertambah besar dibandingkan saat pencampuran piropilit sebanyak 5%. Adapun nilai tegangan-regangan pada semen A dan B bertambah kecil dibandingkan saat pencampuran piropilit 5%. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen C lebih kuat dan memiliki masa elastis yang lebih panjang sehingga beton tidak cepat hancur saat pencampuran piropilit sebanyak 10%.

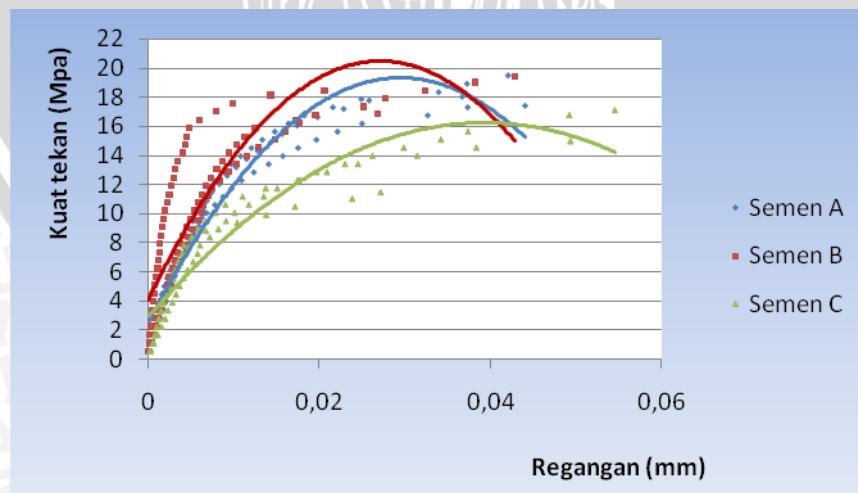
Untuk diagram tegangan-regangan beton pada umur beton 28 hari dengan variasi piropilit 15% sebagai berikut



Gambar 4.12 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 15% umur 28 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.12** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 15% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen C memiliki nilai tegangan yang paling tinggi dibandingkan nilai tegangan pada dibandingkan semen A dan B, akan tetapi nilai kuat tekan keseluruhan beton mengalami penurunan. Nilai regangan yang dihasilkan semen C juga bertambah kecil dibandingkan saat pencampuran piropilit sebanyak 10%. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen A, B dan C lebih mengalami penurunan kuat tekan saat pencampuran piropilit sebanyak 15%.

Untuk diagram tegangan-regangan beton pada umur beton 28 hari dengan variasi piropilit 20% sebagai berikut



Gambar 4.13 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 20% umur 28 hari dengan variasi jenis semen

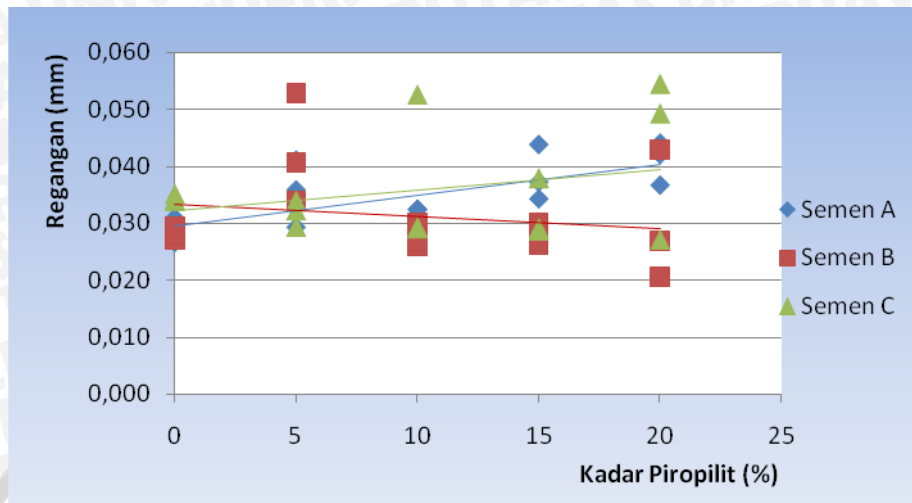
Dari **Gambar 4.13** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 20% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen B memiliki nilai tegangan yang paling tinggi dibandingkan nilai tegangan pada dibandingkan semen A dan C, akan tetapi nilai kuat tekan keseluruhan beton yang mengalami penurunan adalah semen C. Nilai regangan yang dihasilkan semen B juga bertambah kecil dibandingkan saat pencampuran piropilit sebanyak 15%. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen B lebih kaku dibandingkan saat pencampuran piropilit sebanyak 15%.

Secara keseluruhan pengujian regangan samapai umur 28 hari pada beton piropilit didapatkan hasil pengujian regangan maksimum yang telah di uji terlampir pada **Tabel 4.27** dibawah ini.

Tabel 4.27 Hasil uji regangan maximum piropilit umur 28 hari

| Kadar Piropilit (%) | Umur Beton | ΔL (mm) | | | L (mm) | | | ϵ (mm) | | |
|---------------------|------------|-----------------|-------|-------|--------|-----|-----|-----------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 28 | 8,65 | 8,21 | 10,23 | 298 | 303 | 301 | 0,029 | 0,027 | 0,034 |
| 0 | 28 | 9,32 | 8,85 | 10,18 | 301 | 301 | 298 | 0,031 | 0,029 | 0,034 |
| 0 | 28 | 8,02 | 8,43 | 10,45 | 301 | 302 | 297 | 0,027 | 0,028 | 0,035 |
| 5 | 28 | 12,36 | 10,25 | 8,87 | 301 | 301 | 302 | 0,041 | 0,034 | 0,029 |
| 5 | 28 | 8,76 | 15,85 | 10,26 | 299 | 300 | 302 | 0,029 | 0,053 | 0,034 |
| 5 | 28 | 10,79 | 12,3 | 9,73 | 301 | 303 | 302 | 0,036 | 0,041 | 0,032 |
| 10 | 28 | 9,78 | 7,82 | 15,89 | 302 | 302 | 302 | 0,032 | 0,026 | 0,053 |
| 10 | 28 | 9,84 | 9,12 | 8,78 | 303 | 302 | 299 | 0,032 | 0,030 | 0,029 |
| 10 | 28 | 8,23 | 8,12 | 8,76 | 301 | 302 | 301 | 0,027 | 0,027 | 0,029 |
| 15 | 28 | 10,35 | 7,89 | 11,46 | 302 | 302 | 302 | 0,034 | 0,026 | 0,038 |
| 15 | 28 | 11,2 | 9,1 | 8,65 | 301 | 301 | 301 | 0,037 | 0,030 | 0,029 |
| 15 | 28 | 13,18 | 8,21 | 8,78 | 301 | 304 | 301 | 0,044 | 0,027 | 0,029 |
| 20 | 28 | 13,21 | 6,12 | 8,11 | 300 | 297 | 299 | 0,044 | 0,021 | 0,027 |
| 20 | 28 | 11,04 | 12,95 | 14,84 | 301 | 302 | 301 | 0,037 | 0,043 | 0,049 |
| 20 | 28 | 12,7 | 8,12 | 16,35 | 302 | 302 | 300 | 0,042 | 0,027 | 0,055 |

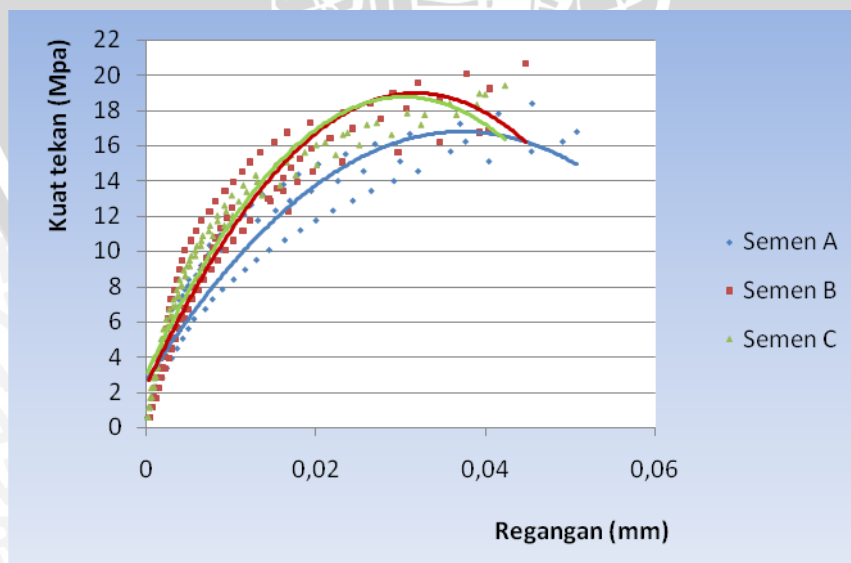
Untuk hubungan antara nilai regangan maksimum pada beton normal dengan kadar piropilit terlampir pada **Gambar 4.14** berikut.



Gambar 4.14 Hubungan antara regangan maksimum beton dengan kadar piropilit umur 28 hari

4.2.6 Pengujian regangan beton piropilit umur 56 hari

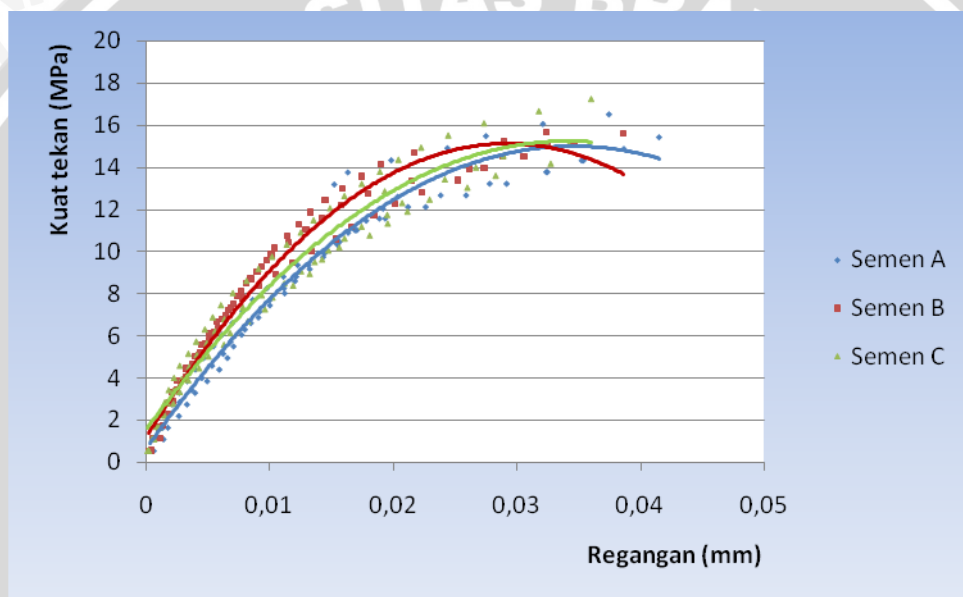
Pengujian regangan beton dilakukan saat beton berumur 56 hari dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix design* yaitu 1:2:3. Pengujian regangan dilakukan saat pengujian kuat tekan, dimana beton dipasang alat *dial gauge* untuk mendapatkan perubahan panjang. Berdasarkan lampiran di dapatkan diagram tegangan regangan untuk umur beton 56 hari dengan variasi piropilit 5% sebagai berikut



Gambar 4.15 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 5% umur 56 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.15** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 5% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen B memiliki nilai tegangan yang paling tinggi namun nilai regangan yang dihasilkan paling kecil dibandingkan nilai regangan pada semen A dan C. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen B lebih kaku dibandingkan dengan beton semen A dan C pada pencampuran kadar piropilit 5% di umur 56 hari.

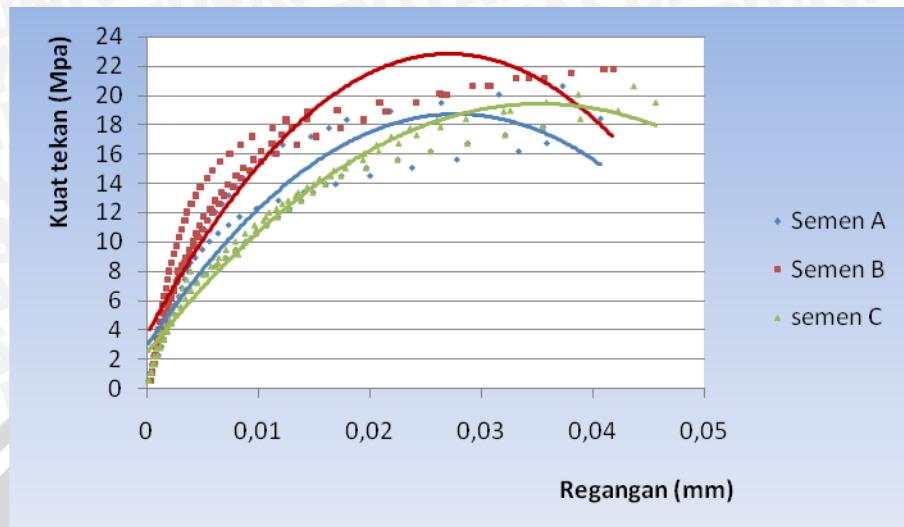
Untuk diagram tegangan-regangan beton pada umur beton 56 hari dengan variasi piropilit 10% sebagai berikut.



Gambar 4.16 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 10% umur 56 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.16** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 10% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen B memiliki nilai tegangan yang paling tinggi namun nilai regangan yang dihasilkan paling kecil dibandingkan nilai regangan pada semen A dan C. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen B lebih kaku dibandingkan dengan beton semen A dan C pada pencampuran kadar piropilit 10% di umur 56 hari.

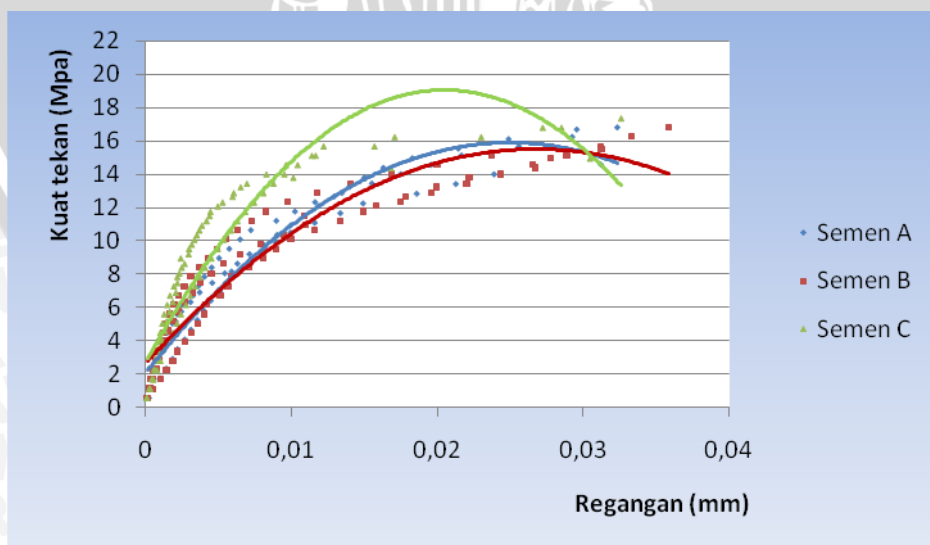
Untuk diagram tegangan-regangan beton pada umur beton 56 hari dengan variasi piropilit 15% sebagai berikut



Gambar 4.17 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 15% umur 56 hari dengan variasi jenis semen

Dari **Gambar 4.17** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 10% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen B memiliki nilai tegangan yang paling tinggi namun nilai regangan yang dihasilkan berimbang dengan nilai regangan pada semen A. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen B lebih kuat dan memiliki masa elastis yang baik dibandingkan dengan beton semen A dan C pada pencampuran kadar piropilit 15% di umur 56 hari.

Untuk diagram tegangan-regangan beton pada umur beton 56 hari dengan variasi piropilit 20% sebagai berikut



Gambar 4.18 Diagram tegangan regangan beton kadar piropilit 20% umur 56 hari dengan variasi jenis semen

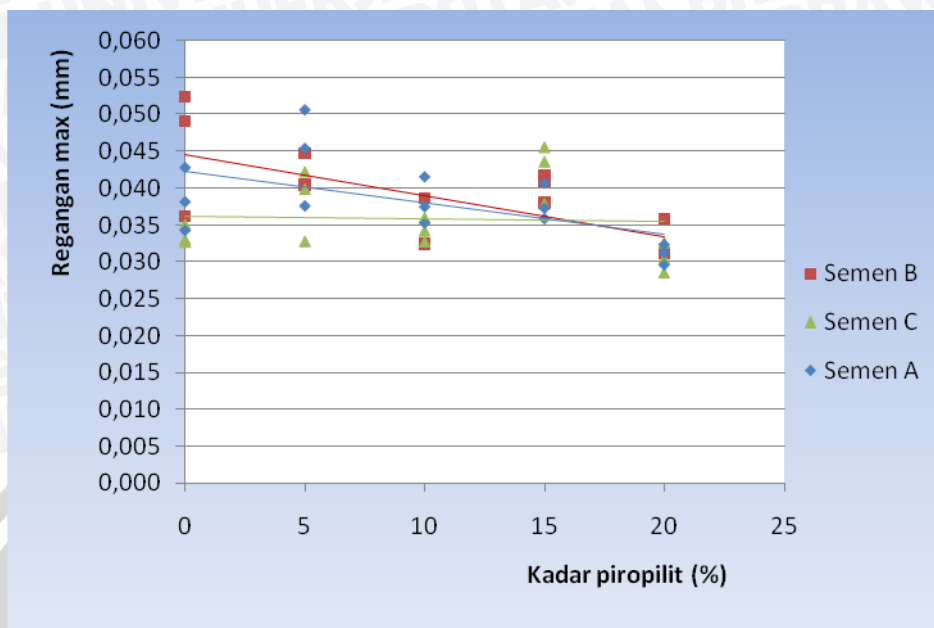
Dari **Gambar 4.18** diatas dapat terlihat perbedaan nilai tegangan-regangan pada beton kadar piropilit 20% untuk tiap variasi jenis semen. Pada semen C memiliki nilai tegangan yang paling tinggi dibandingkan nilai tegangan pada dibandingkan semen A dan B. Nilai regangan yang dihasilkan semen C juga bertambah kecil dibandingkan saat pencampuran piropilit sebanyak 15%. Hal ini menunjukkan bahwa beton semen C lebih kaku dibandingkan saat pencampuran piropilit sebanyak 15%.

Secara keseluruhan pengujian regangan sampai umur 56 hari pada beton piropilit didapatkan hasil pengujian regangan maksimum yang telah di uji terlampir pada **Tabel 4.28** dibawah ini.

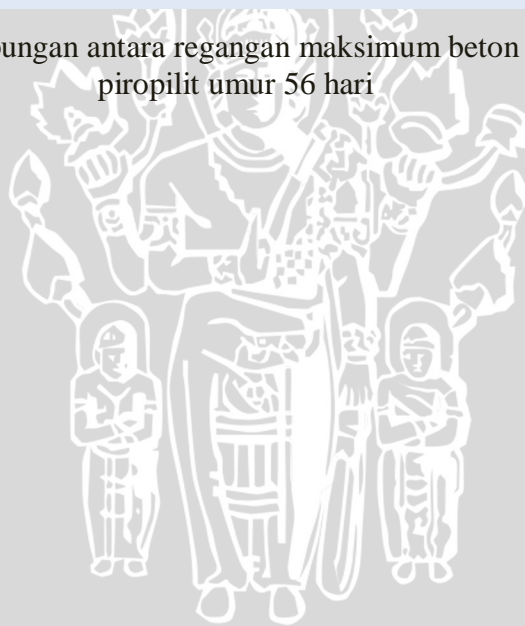
Tabel 4.28 Hasil uji regangan maximum piropilit umur 56 hari

| Kadar Piropilit (%) | Umur Beton | ΔL (mm) | | | L (mm) | | | ϵ (mm) | | |
|---------------------|------------|-----------------|-------|-------|--------|-----|-----|-----------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 56 | 11,48 | 14,68 | 10,45 | 301 | 299 | 298 | 0,038 | 0,049 | 0,035 |
| 0 | 56 | 12,93 | 15,82 | 9,94 | 302 | 302 | 301 | 0,043 | 0,052 | 0,033 |
| 0 | 56 | 10,34 | 10,91 | 9,84 | 302 | 301 | 301 | 0,034 | 0,036 | 0,033 |
| 5 | 56 | 15,2 | 13,28 | 12,18 | 300 | 297 | 305 | 0,051 | 0,045 | 0,040 |
| 5 | 56 | 11,35 | 11,9 | 12,85 | 302 | 295 | 304 | 0,038 | 0,040 | 0,042 |
| 5 | 56 | 13,67 | 12,03 | 9,87 | 301 | 297 | 301 | 0,045 | 0,041 | 0,033 |
| 10 | 56 | 12,67 | 11,43 | 10,81 | 305 | 296 | 300 | 0,042 | 0,039 | 0,036 |
| 10 | 56 | 10,65 | 9,71 | 9,86 | 302 | 300 | 301 | 0,035 | 0,032 | 0,033 |
| 10 | 56 | 11,28 | 9,81 | 10,2 | 301 | 302 | 298 | 0,037 | 0,032 | 0,034 |
| 15 | 56 | 12,28 | 12,58 | 13,78 | 302 | 301 | 302 | 0,041 | 0,042 | 0,046 |
| 15 | 56 | 10,68 | 11,49 | 13,01 | 298 | 302 | 298 | 0,036 | 0,038 | 0,044 |
| 15 | 56 | 11,03 | 12,12 | 11,23 | 296 | 296 | 296 | 0,037 | 0,041 | 0,038 |
| 20 | 56 | 8,92 | 9,42 | 9,72 | 302 | 302 | 298 | 0,030 | 0,031 | 0,033 |
| 20 | 56 | 9,63 | 10,68 | 8,56 | 298 | 298 | 300 | 0,032 | 0,036 | 0,029 |
| 20 | 56 | 9,42 | 9,12 | 8,72 | 302 | 292 | 286 | 0,031 | 0,031 | 0,030 |

Untuk hubungan antara nilai regangan maksimum pada beton normal dengan kadar piropilit terlampir pada **Gambar 4.19** berikut.



Gambar 4.19 Hubungan antara regangan maksimum beton dengan variasi piropilit umur 56 hari



4.3 Hasil dan Pembahasan

4.3.1 Hasil dan pembahasan kuat tekan beton piropilit umur 28 hari

Kuat tekan merupakan kekuatan tekan material pada benda uji silinder yang dibebani sampai hancur dibagian luas penampang vertikal benda uji silinder tersebut. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton piropilit.

H_{0B} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit.

H_{0AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penambahan kadar piropilit dan penggunaan variasi 3 jenis semen.

Tabel 4.29 Data kuat tekan beton piropilit

| Kadar Piropilit (%) | Umur (hari) | Kuat Tekan | | |
|---------------------|-------------|------------|--------|--------|
| | | A | B | C |
| 0 | 28 | 24,583 | 25,919 | 27,459 |
| | 28 | 25,993 | 30,304 | 24,232 |
| | 28 | 22,703 | 30,002 | 24,415 |
| 5 | 28 | 13,912 | 21,173 | 21,798 |
| | 28 | 16,141 | 19,948 | 23,912 |
| | 28 | 14,336 | 18,344 | 18,996 |
| 10 | 28 | 16,593 | 13,067 | 22,700 |
| | 28 | 13,744 | 12,020 | 27,573 |
| | 28 | 16,326 | 14,454 | 25,584 |
| 15 | 28 | 16,706 | 14,324 | 19,499 |
| | 28 | 14,973 | 21,286 | 19,610 |
| | 28 | 14,819 | 19,163 | 19,816 |
| 20 | 28 | 17,431 | 18,401 | 11,468 |
| | 28 | 18,046 | 19,387 | 14,973 |
| | 28 | 19,509 | 16,872 | 17,096 |

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 4 \times 2 = 8$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 15 \times 2 = 30$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= [(24,583)^2 + (25,993)^2 + \dots + (17,096)^2] - \frac{879,61^2}{45} \\ &= 18221,015 - 17193,639 \\ &= 1027,376 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(235,61)^2 + (168,56)^2 + \dots + (153,18)^2]}{3 \times 3} - \frac{879,61^2}{45} \\ &= 508,156 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(265,81)^2 + (294,66)^2 + (319,13)^2]}{3 \times 3} - \frac{879,61^2}{45} \\ &= 94,667 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{JK Baris Kolom (JKBK)} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} + \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn} \\
 &= \frac{[(73,28)^2 + (44,39)^2 + \dots + (43,54)^2]}{3 \times 3} - 17701,795 \\
 &\quad - 17288,606 + \frac{879,61^2}{45} \\
 &= 311,9515
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\
 &= 18108,7134 - 17701,7951 - 1728,6059 + 17193,6392 \\
 &= 311,9515
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTP)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{508,1559}{4} = 127,039$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{94,9667}{2} = 47,4834$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{311,9515}{8} = 38,9939$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{112,3021}{30} = 3,7434$$

Nilai f_{Hitung}

$$\text{F Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{127,039}{3,7434} = 33,9368$$



$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{47,4834}{3,7434} = 12,6845$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{38,9939}{3,7434} = 10,4167$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran xx

$$JKT = 5004,74 + 6261,4 + 7219,9 - \frac{786506}{45} = 1008,15$$

$$JKB = 17973,3 - \frac{786506}{45} = 495,37$$

$$JKK = 17574,6 - \frac{786506}{45} = 96,636$$

$$JKBK = 18378,6 - 17973 - 17575 + 17477,9 = 308,661$$

$$JKG = 107,482$$

| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | Derajat Bebas | Kuadrat Tengah | f Hitung | f Tabel |
|--------------------|----------------|---------------|----------------|----------|---------|
| Nilai tengah baris | 495,371 | 4 | 123,843 | 34,5665 | 2,68963 |
| Nilai tengah kolom | 96,6364 | 2 | 48,3182 | 13,4864 | 3,31583 |
| Interaksi | 308,661 | 8 | 38,5826 | 10,769 | 2,26616 |
| Galat | 107,482 | 30 | 3,58274 | | |

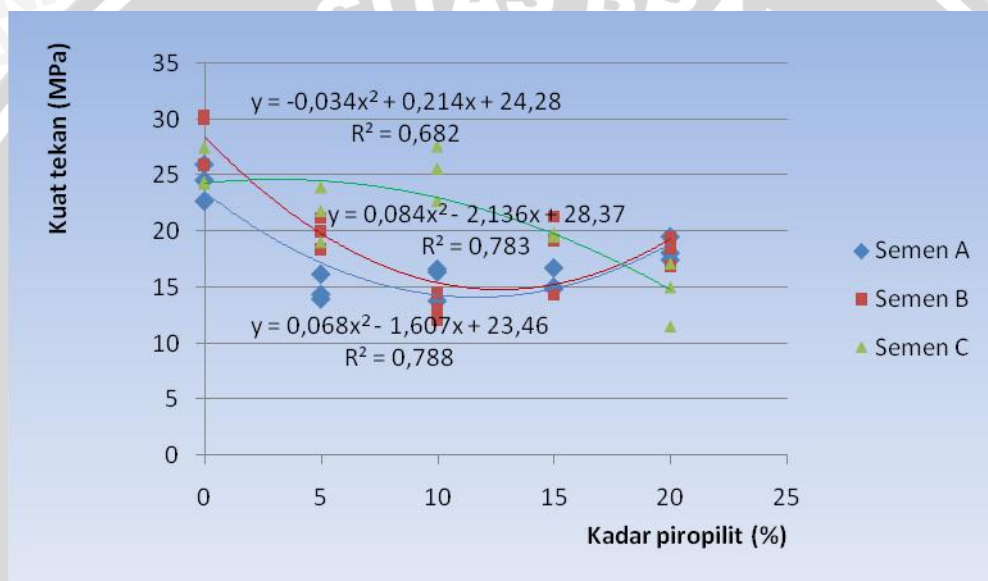
Analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah secara detail disajikan pada lampiran 2. Berdasarkan Tabel diatas didapatkan bahwa :

1. Untuk kuat tekan beton piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton piropilit umur 28 hari.
2. $F_{hitung} \text{ antar group (B)} > F_{Tabel} \text{ antar group (B)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit umur 28 hari.
3. $F_{hitung} \text{ antar group (AB)} > F_{Tabel} \text{ antar group (AB)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0AB} ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit umur 28 hari.

4.3.2 Analisis regresi pengaruh piropilit dengan kuat tekan beton umur 28 hari

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penambahan phyropilit terhadap kuat tekan beton adalah dengan menggunakan grafik regresi linier.

Grafik hubungan yang terjadi antara variabel penjelas (prosentase phyropilit) dengan variabel respon (nilai kuat tekan) dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.20 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 28 hari.

Pada **Gambar 4.20** diatas menjelaskan hubungan penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton. Garis polinomial di atas dapat memperlihatkan nilai kuat tekan beton yang paling minumum untuk variasi jenis semen dan kadar piropilit.

Untuk hubungan penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton jenis semen A, persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 0,068x^2 - 1,607x + 23,46$. Pada jenis semen B persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 0,084x^2 - 2,136x + 28,37$. Dan pada jenis semen C persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = -0,034x^2 + 0,214x + 24,28$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar piropilit sebesar 10% memiliki nilai kuat

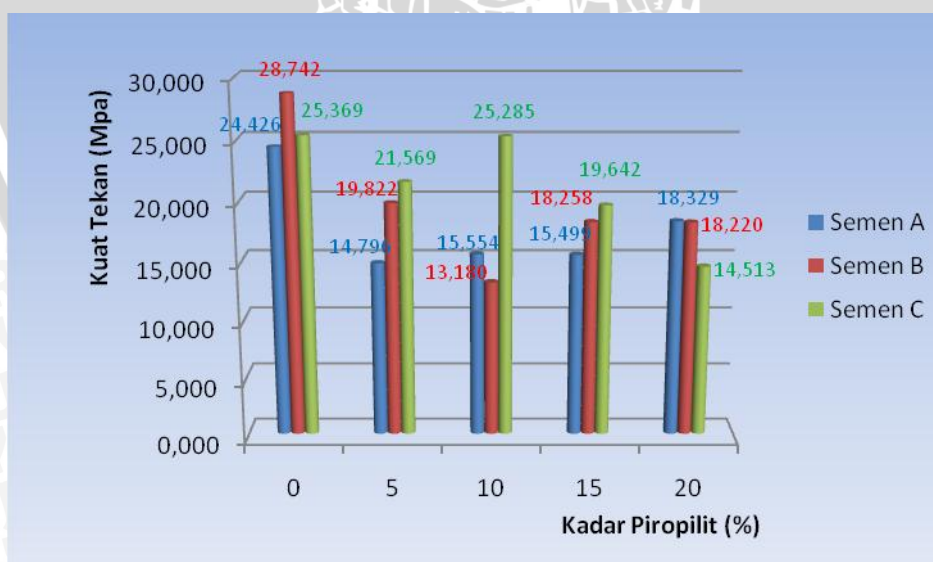
tekan paling rendah untuk semen A dan B. Sedangkan pada semen C nilai kuat tekan paling minimum terdapat pada penambahan kadar piropilit 20%.

4.3.3 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 28 hari

Pada **Tabel 4.30** dibawah ini merupakan persentase pengaruh piropilit terhadap rata-rata kuat tekan beton normal dengan rata-rata kuat tekan beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa kadar piropilit sebesar 10% mampu mempengaruhi kuat tekan beton normal hingga 54,14% yang menyebabkan penurunan kuat tekan dari 28,742 MPa menjadi 13,18 MPa.

Tabel 4.30 Persentase piropilit terhadap kuat tekan umur 28 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | | Persentase Pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 28 | 24,426 | 28,742 | 25,369 | | | |
| 5 | 28 | 14,796 | 19,822 | 21,569 | 39,43 | 31,03 | 14,98 |
| 10 | 28 | 15,554 | 13,180 | 25,285 | 36,32 | 54,14 | 0,33 |
| 15 | 28 | 15,499 | 18,258 | 19,642 | 36,55 | 36,48 | 22,58 |
| 20 | 28 | 18,329 | 18,220 | 14,513 | 24,96 | 36,61 | 42,79 |



Gambar 4.21 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap rata-rata kuat tekan beton umur 28 hari.

Dari **Gambar 4.21** terlihat bahwa terjadi penurunan kuat tekan beton umur 28 hari akibat adanya pengaruh penambahan persentase piropilit. Pada penambahan kadar 5%, piropilit menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 39,43%. Pada kadar 10%, piropilit menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 54,14%. Pada kadar 15% piropilit menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 36,55%. Dan pada kadar piropilit 20% menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 42,79%.

Pada **Tabel 4.31** dibawah ini merupakan persentase pengaruh rata-rata kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa pengaruh perbedaan jenis semen pada kadar 0% hanya sebesar 17,67% terhadap kuat tekan. Pada kadar 5% terdapat pengaruh yang besar dari perbedaan jenis semen yaitu sebesar 45,77% terhadap kuat tekan. Pada kadar 10% terdapat pengaruh perbedaan jenis semen yang sangat besar yaitu 91,84% terhadap kuat tekan. Pada kadar 15% terdapat pengaruh yang besar dari perbedaan jenis semen yaitu sebesar 26,73% terhadap kuat tekan. Dan Pada kadar 20% terdapat pengaruh yang besar dari perbedaan jenis semen yaitu sebesar 20,82% terhadap kuat tekan beton. Hal ini menandakan bahwa terdapat pengaruh interaksi yang cukup berpengaruh antara piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan.

Tabel 4.31 Persentase jenis semen terhadap kuat tekan umur 28 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | | Persentase Pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|------------------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|
| | | A | B | C | A-B | B-C | A-C |
| 0 | 28 | 24,426 | 28,742 | 25,369 | -17,67 | 11,73 | -3,86 |
| 5 | 28 | 14,796 | 19,822 | 21,569 | -33,97 | -8,81 | -45,77 |
| 10 | 28 | 15,554 | 13,180 | 25,285 | 15,26 | -91,84 | -62,56 |
| 15 | 28 | 15,499 | 18,258 | 19,642 | -17,80 | -7,58 | -26,73 |
| 20 | 28 | 18,329 | 18,220 | 14,513 | 0,59 | 20,35 | 20,82 |

4.3.4 Hasil dan pembahasan kuat tekan beton piropilit umur 56 hari

Kuat tekan merupakan beban material pada benda uji silinder yang membebani sampai hancur dibagian luas penampang vertikal benda uji silinder tersebut. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton piropilit.

H_{0B} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit.

H_{0AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penambahan kadar piropilit dan penggunaan variasi 3 jenis semen.

Tabel 4.32 Data kuat tekan beton piropilit

| Kadar piropilit (%) | Umur beton (hari) | Kuat Tekan (Mpa) | | |
|---------------------|-------------------|------------------|--------|--------|
| | | A | B | C |
| 0% | 56 | 24,415 | 28,805 | 26,466 |
| | 56 | 26,796 | 39,066 | 26,538 |
| | 56 | 25,253 | 29,246 | 29,441 |
| 5% | 56 | 16,761 | 20,672 | 18,935 |
| | 56 | 16,202 | 17,329 | 19,443 |
| | 56 | 18,361 | 19,250 | 17,788 |
| 10% | 56 | 15,438 | 15,644 | 17,214 |
| | 56 | 14,526 | 15,683 | 14,154 |
| | 56 | 16,090 | 15,121 | 15,644 |
| 15% | 56 | 18,437 | 21,789 | 19,554 |
| | 56 | 16,761 | 21,517 | 20,672 |
| | 56 | 20,657 | 21,804 | 19,509 |
| 20% | 56 | 16,640 | 15,237 | 17,320 |
| | 56 | 16,761 | 17,685 | 16,761 |
| | 56 | 14,539 | 15,493 | 14,919 |

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 4 \times 2 = 8$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 15 \times 2 = 30$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{r^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= [(24,415)^2 + (28,805)^2 + \dots + (14,919)^2] - \frac{886,34^2}{45} \\ &= 18643,874 - 17457,594 \\ &= 1186,279 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)^2}{kn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(256,03)^2 + (164,74)^2 + \dots + (145,35)^2]}{3 \times 3} - \frac{886,34^2}{45} \\ &= 979,483 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(277,64)^2 + (314,34)^2 + (294,36)^2]}{3 \times 3} - \frac{886,34^2}{45} \\ &= 45,0183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Baris Kolom (JKBK)} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} + \frac{(\sum X)_T^2}{rxkxn} \\
 &= \frac{[(76,46)^2 + (97,12)^2 + \dots + (49,00)^2]}{3 \times 3} - 18437,077 \\
 &\quad - 17502,613 + \frac{886,34^2}{45} \\
 &= 51,6462
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\
 &= 1186,28 - 979,483 - 45,0183 + 51,6462 \\
 &= 110,133
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTP)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{979,4828}{4} = 224,8707$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{45,0183}{2} = 22,5092$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{51,6462}{8} = 6,4558$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{110,1326}{30} = 3,6711$$

Nilai f_{Hitung}

$$\text{F Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{244,8707}{3,6711} = 66,7025$$



$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{22,5092}{3,6711} = 6,1315$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{6,4558}{3,6711} = 1,7585$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran xx

| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | Derajat Bebas | Kuadrat Tengah | f Hitung | f Tabel |
|--------------------|----------------|---------------|----------------|----------|---------|
| Nilai tengah baris | 979,4828 | 4 | 244,8707 | 66,7025 | 2,6896 |
| Nilai tengah kolom | 45,0183 | 2 | 22,5092 | 6,1315 | 3,3158 |
| Interaksi | 51,6462 | 8 | 6,4558 | 1,7585 | 2,2662 |
| Galat | 110,1326 | 30 | 3,6711 | | |

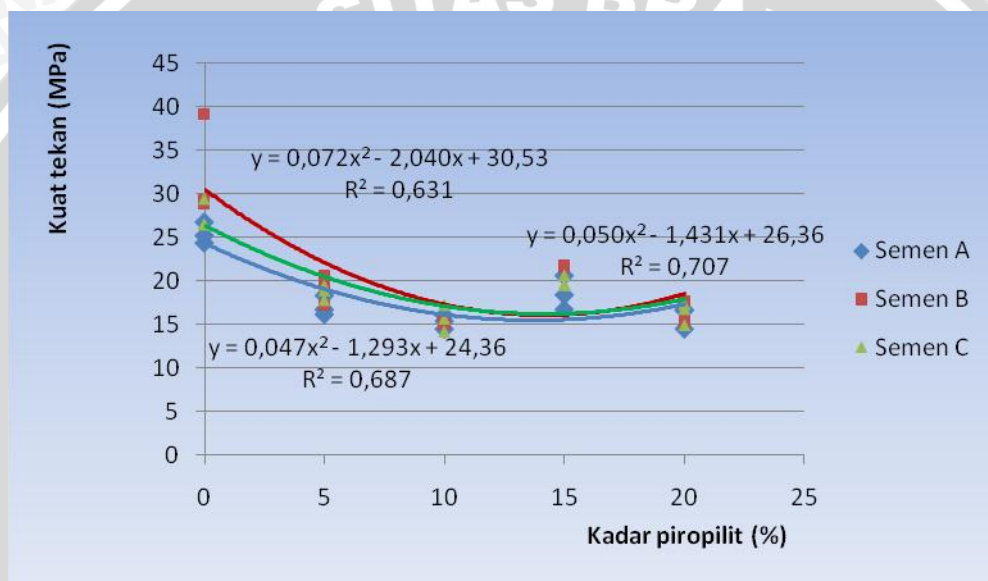
Analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah secara detail disajikan pada lampiran 2. Berdasarkan Tabel diatas didapatkan bahwa :

1. Untuk kuat tekan beton piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{\text{hitung}} \text{ antar group (A)} > F_{\text{Tabel}} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton piropilit umur 56 hari.
2. $F_{\text{hitung}} \text{ antar group (B)} > F_{\text{Tabel}} \text{ antar group (B)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit umur 56 hari.
3. $F_{\text{hitung}} \text{ antar group (AB)} < F_{\text{Tabel}} \text{ antar group (AB)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0AB} sesuai, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi yang signifikan antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit umur 56 hari.

4.3.5 Analisis regresi pengaruh piropilit terhadap kuat tekan beton umur 56 hari

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penambahan phyropilit terhadap kuat tekan beton adalah dengan menggunakan grafik regresi linier.

Grafik hubungan yang terjadi antara variabel penjelas (prosentase phyropilit) dengan variabel respon (nilai kuat tekan) dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.22 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 56 hari.

Pada **Gambar 4.22** diatas menjelaskan hubungan penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton. Garis polinomial di atas dapat memperlihatkan nilai kuat tekan beton yang paling minumum untuk variasi jenis semen dan kadar piropilit.

Untuk hubungan penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton jenis semen A, persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 0,047x^2 - 1,293x + 24,36$. pada jenis semen B persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 0,072x^2 - 2,040x + 30,53$. Dan pada jenis semen C persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 0,050x^2 - 1,431x + 26,36$. Hal ini

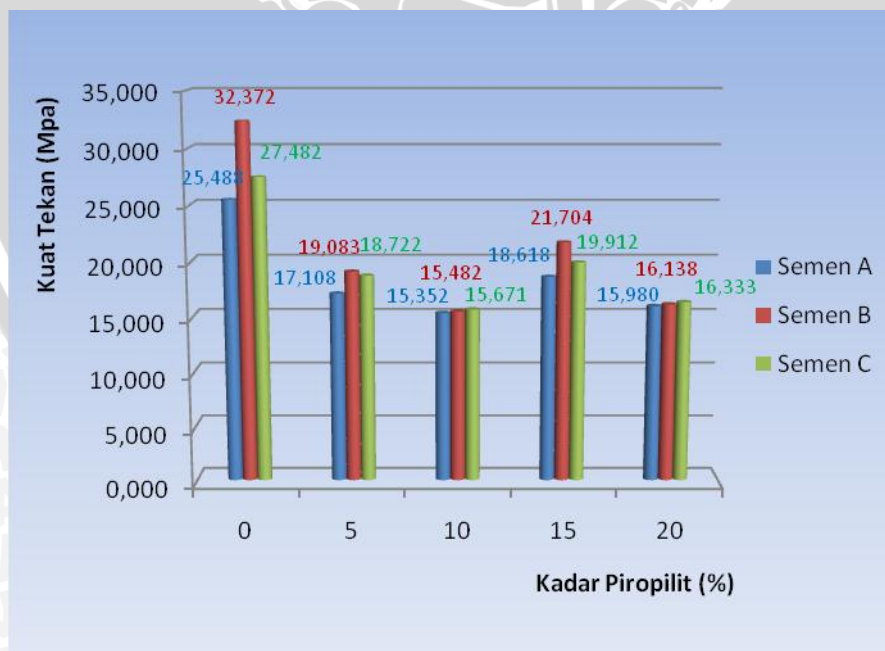
menunjukkan bahwa penambahan kadar piropilit sebesar 15% memiliki nilai kuat tekan paling rendah untuk semua jenis semen.

4.3.6 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 56 hari

Pada Tabel 4.33 dibawah ini merupakan persentase pengaruh piropilit terhadap rata-rata kuat tekan beton normal dengan rata-rata kuat tekan beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa kadar piropilit sebesar 10% mampu mempengaruhi kuat tekan beton normal hingga 52,17% yang menyebabkan penurunan kuat tekan dari 32,372 MPa menjadi 15,482 MPa.

Tabel 4.33 Persentase piropilit terhadap kuat tekan umur 56 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | | Persentase Pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 56 | 25,488 | 32,372 | 27,482 | | | |
| 5 | 56 | 17,108 | 19,083 | 18,722 | 32,88 | 41,05 | 31,87 |
| 10 | 56 | 15,352 | 15,482 | 15,671 | 39,77 | 52,17 | 42,98 |
| 15 | 56 | 18,618 | 21,704 | 19,912 | 26,95 | 32,96 | 27,55 |
| 20 | 56 | 15,980 | 16,138 | 16,333 | 37,30 | 50,15 | 40,57 |



Gambar 4.23 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan beton umur 56 hari.

Dari **Gambar 4.23** terlihat bahwa terjadi penurunan kuat tekan beton umur 56 hari akibat adanya pengaruh penambahan persentase piropilit. Pada penambahan kadar 5%, piropilit menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 41,05%. Pada kadar 10%, piropilit menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 52,17%. Pada kadar 15% piropilit menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 32,96%. Dan pada kadar piropilit 20% menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal sebesar 50,15%.

Pada **Tabel 4.34** dibawah ini merupakan persentase pengaruh rata-rata kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa pengaruh perbedaan jenis semen pada kadar 0% hanya sebesar 27,01% terhadap kuat tekan. Pada kadar 5% terdapat pengaruh yang kecil dari perbedaan jenis semen yaitu sebesar 11,55% terhadap kuat tekan. Pada kadar 10% terdapat pengaruh perbedaan jenis semen yang kecil yaitu 2,08% terhadap kuat tekan. Pada kadar 15% terdapat pengaruh yang besar dari perbedaan jenis semen yaitu sebesar 16,57% terhadap kuat tekan. Dan Pada kadar 20% terdapat pengaruh yang besar dari perbedaan jenis semen yaitu sebesar 2,21% terhadap kuat tekan beton. Hal ini menandakan bahwa terdapat pengaruh interaksi yang sangat kecil antara piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan.

Tabel 4.34 Persentase jenis semen terhadap kuat tekan umur 56 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Kuat Tekan (Mpa) | | | Persentase Pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A-B | B-C | A-C |
| 0 | 56 | 25,488 | 32,372 | 27,482 | -27,01 | 15,11 | -7,82 |
| 5 | 56 | 17,108 | 19,083 | 18,722 | -11,55 | 1,89 | -9,43 |
| 10 | 56 | 15,352 | 15,482 | 15,671 | -0,85 | -1,21 | -2,08 |
| 15 | 56 | 18,618 | 21,704 | 19,912 | -16,57 | 8,26 | -6,95 |
| 20 | 56 | 15,980 | 16,138 | 16,333 | -0,99 | -1,21 | -2,21 |

4.3.7 Hasil dan pembahasan regangan maksimum beton piropilit umur 28 hari

Regangan maksimum beton merupakan perubahan panjang material akibat suatu tegangan yang dibagi panjang awal beton. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap regangan maksimum beton piropilit.

H_{0B} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap regangan maksimum beton piropilit.

H_{0AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penambahan kadar piropilit dan penggunaan variasi 3 jenis semen.

Tabel 4.35 Data kuat tekan beton piropilit

| Persentase piropilit | Regangan (mm) | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|
| | A | B | C |
| 0% | 0,029 | 0,027 | 0,034 |
| | 0,031 | 0,029 | 0,034 |
| | 0,027 | 0,028 | 0,035 |
| 5% | 0,041 | 0,034 | 0,029 |
| | 0,029 | 0,053 | 0,034 |
| | 0,036 | 0,041 | 0,032 |
| 10% | 0,032 | 0,026 | 0,053 |
| | 0,032 | 0,030 | 0,029 |
| | 0,027 | 0,027 | 0,029 |
| 15% | 0,034 | 0,026 | 0,038 |
| | 0,037 | 0,030 | 0,029 |
| | 0,044 | 0,027 | 0,029 |
| 20% | 0,044 | 0,021 | 0,027 |
| | 0,037 | 0,043 | 0,049 |
| | 0,042 | 0,027 | 0,055 |

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 4 \times 2 = 8$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 15 \times 2 = 30$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{r^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= [(0,029)^2 + (0,027)^2 + \dots + (0,055)^2] - \frac{1,53^2}{45} \\ &= 0,0547 - 0,0519 \\ &= 0,0027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)^2}{kn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(0,27)^2 + (0,33)^2 + \dots + (0,34)^2]}{3 \times 3} - \frac{1,53^2}{45} \\ &= 0,0004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(0,52)^2 + (0,47)^2 + (0,54)^2]}{3 \times 3} - \frac{1,53^2}{45} \\ &= 0,0002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Baris Kolom (JKBK)} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} + \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn} \\
 &= \frac{[(0,09)^2 + (0,08)^2 + \dots + (0,13)^2]}{3 \times 3} - 0,0523 \\
 &\quad - 0,0521 + \frac{1,53^2}{45} \\
 &= 0,0007
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\
 &= 0,0027 - 0,0004 - 0,0002 + 0,0007 \\
 &= 0,001
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTP)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{0,00039}{4} = 0,0001$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{0,00017}{2} = 0,00009$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{0,00069}{8} = 0,00009$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{0,00149}{30} = 0,00005$$

Nilai f_{Hitung}

$$\text{F Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{0,0001}{0,00005} = 1,9591$$



$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{0,00009}{0,00005} = 1,7389$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{0,00009}{0,00005} = 1,7295$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran xx

| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | Derajat Bebas | Kuadrat Tengah | f Hitung | f Tabel |
|--------------------|----------------|---------------|----------------|----------|---------|
| Nilai tengah baris | 0,0004 | 4 | 0,0001 | 1,9591 | 2,6896 |
| Nilai tengah kolom | 0,0002 | 2 | 0,0001 | 1,7389 | 3,3158 |
| Interaksi | 0,0007 | 8 | 0,0001 | 1,7295 | 2,2662 |
| Galat | 0,0015 | 30 | 0,00005 | | |

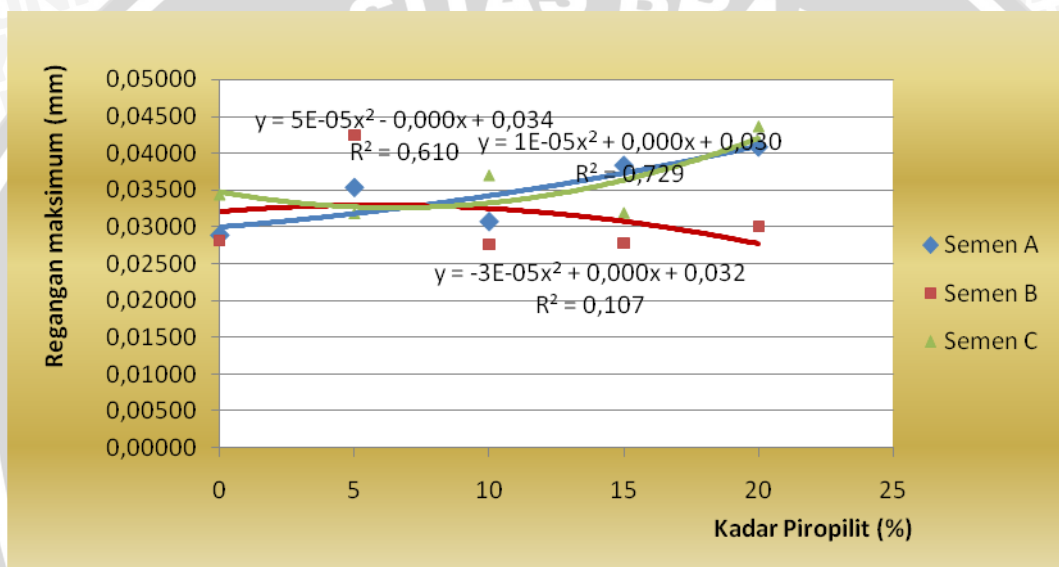
Analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah secara detail disajikan pada lampiran 2. Berdasarkan Tabel diatas didapatkan bahwa :

1. Untuk regangan beton piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} < F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap regangan beton piropilit umur 28 hari.
2. $F_{hitung} \text{ antar group (B)} < F_{Tabel} \text{ antar group (B)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0B} diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap regangan piropilit umur 28 hari.
3. $F_{hitung} \text{ antar group (AB)} < F_{Tabel} \text{ antar group (AB)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0AB} diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi yang signifikan antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap regangan beton piropilit umur 28 hari.

4.3.8 Analisis regresi pengaruh piropilit terhadap regangan maksimum beton umur 28 hari

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penambahan phyropilit terhadap regangan maksimum beton adalah dengan menggunakan grafik regresi linier.

Grafik hubungan yang terjadi antara variabel penjelas (prosentase phyropilit) dengan variabel respon (regangan) dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.24 Hubungan pengaruh penggunaan piropilit terhadap regangan beton piropilit umur 28 hari.

Pada **Gambar 4.24** diatas menjelaskan hubungan penambahan kadar piropilit terhadap regangan maksimum beton. Garis polinomial di atas dapat memperlihatkan nilai regangan maksimum beton yang paling minimum untuk variasi jenis semen dan kadar piropilit.

Untuk hubungan penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton jenis semen A, persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 1E-05x^2 + 0,000x + 0,030$. pada jenis semen B persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = -3E-05x^2 + 0,000x + 0,032$. Dan pada jenis semen C persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 5E-05x^2 - 0,000x + 0,034$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar piropilit sebesar 20% memiliki nilai regangan yang paling rendah untuk semen B. Pada penambahan kadar piropilit

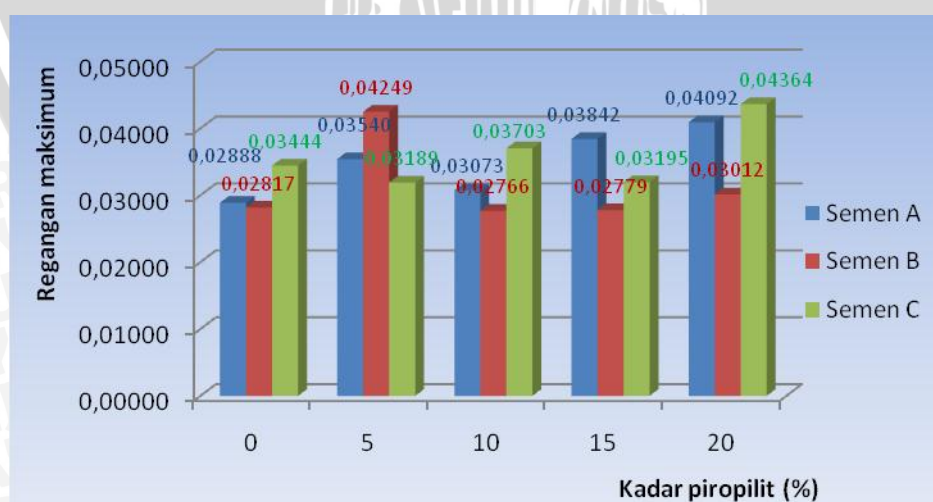
5% memiliki nilai regangan yang paling rendah untuk semen C. Sementara untuk jenis semen A nilai regangan yang paling rendah terdapat pada kadar piropilit 0%.

4.3.9 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 28 hari

Pada Tabel 4.36 dibawah ini merupakan persentase pengaruh piropilit terhadap rata-rata regangan maksimum beton normal dengan rata-rata regangan maksimum beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa hanya pada kadar piropilit sebesar 5% mampu mempengaruhi regangan maksimum beton normal hingga 50,86% yang menyebabkan peningkatan regangan maksimum dari 0,028168 menjadi 0,042494. Akan tetapi nilai regangan maksimum yang dihasilkan masih mendekati 0, maka persentase piropilit masih kecil pengaruhnya terhadap perubahan regangan maksimum beton.

Tabel 4.36 Persentase piropilit terhadap regangan maksimum umur 28 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Regangan maksimum | | | Persentase pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|-------------------|----------|----------|-------------------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 28 | 0,028878 | 0,028168 | 0,034444 | | | |
| 5 | 28 | 0,035403 | 0,042494 | 0,031888 | 22,59 | 50,86 | 7,42 |
| 10 | 28 | 0,030728 | 0,027660 | 0,037028 | 6,40 | 1,80 | 7,50 |
| 15 | 28 | 0,038423 | 0,027788 | 0,031951 | 33,05 | 1,35 | 7,24 |
| 20 | 28 | 0,040921 | 0,030125 | 0,043642 | 41,70 | 6,95 | 26,70 |



Gambar 4.25 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 28 hari.

Dari **Gambar 4.25** terlihat bahwa terjadi peningkatan regangan maksimum beton umur 28 hari akibat adanya pengaruh penambahan persentase piropilit. Pada penambahan kadar 5%, piropilit menyebabkan peningkatan regangan maksimum beton normal sampai 50,86%. Pada kadar 10%, piropilit menyebabkan peningkatan regangan maksimum beton normal sampai 7,5%. Pada kadar 15% piropilit menyebabkan peningkatan regangan maksimum beton normal sebesar 32,05%. Dan pada kadar piropilit 20% menyebabkan peningkatan regangan maksimum beton normal sampai 41,7%.

Pada **Tabel 4.37** dibawah ini merupakan persentase penurunan rata-rata regangan maksimum beton normal dengan regangan maksimum beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa pengaruh perbedaan jenis semen pada kadar persentase piropilit terhadap regangan maksimum beton masih kecil pengaruhnya. Paling besar pengaruh jenis semen hanya terdapat pada persentase piropilit 20% yaitu sebesar 44,87%, dimana semen C menghasilkan nilai regangan maksimum yang lebih tinggi dari pada semen B.

Tabel 4.37 Persentase jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 28 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Regangan maksimum | | | Persentase Pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|-------------------|----------|----------|-------------------------|--------|--------|
| | | A | B | C | A-B | B-C | A-C |
| 0 | 28 | 0,028878 | 0,028168 | 0,034444 | 2,46 | -22,28 | -19,27 |
| 5 | 28 | 0,035403 | 0,042494 | 0,031888 | -20,03 | 24,96 | 9,93 |
| 10 | 28 | 0,030728 | 0,027660 | 0,037028 | 9,98 | -33,87 | -20,50 |
| 15 | 28 | 0,038423 | 0,027788 | 0,031951 | 27,68 | -14,98 | 16,84 |
| 20 | 28 | 0,040921 | 0,030125 | 0,043642 | 26,38 | -44,87 | -6,65 |

4.3.10 Hasil dan pembahasan regangan maksimum beton dan variasi piropilit umur 56 hari

Regangan maksimum beton merupakan perubahan panjang material akibat suatu tegangan yang dibagi panjang awal beton. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap regangan maksimum beton piropilit.

H_{0B} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap regangan maksimum beton piropilit.

H_{0AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penambahan kadar piropilit dan penggunaan variasi 3 jenis semen.

Tabel 4.38 Data kuat tekan beton piropilit

| Persentase piropilit | Regangan (mm) | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|
| | A | B | C |
| 0% | 0,038 | 0,049 | 0,035 |
| | 0,043 | 0,052 | 0,033 |
| | 0,034 | 0,036 | 0,033 |
| 5% | 0,051 | 0,045 | 0,040 |
| | 0,038 | 0,040 | 0,042 |
| | 0,045 | 0,041 | 0,033 |
| 10% | 0,042 | 0,039 | 0,036 |
| | 0,035 | 0,032 | 0,033 |
| | 0,037 | 0,032 | 0,034 |
| 15% | 0,041 | 0,042 | 0,046 |
| | 0,036 | 0,038 | 0,044 |
| | 0,037 | 0,041 | 0,038 |
| 20% | 0,030 | 0,031 | 0,033 |
| | 0,032 | 0,036 | 0,029 |
| | 0,031 | 0,031 | 0,030 |

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 4 \times 2 = 8$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 15 \times 2 = 30$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{r^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= [(0,038)^2 + (0,049)^2 + \dots + (0,030)^2] - \frac{1,69^2}{45} \\ &= 0,0651 - 0,0637 \\ &= 0,0014 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)^2}{kn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(0,35)^2 + (0,37)^2 + \dots + (0,28)^2]}{3 \times 3} - \frac{1,69^2}{45} \\ &= 0,0006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(0,57)^2 + (0,59)^2 + (0,54)^2]}{3 \times 3} - \frac{1,69^2}{45} \\ &= 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Baris Kolom (JKBK)} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} + \frac{(\sum X)_T^2}{rxkxn} \\
 &= \frac{[(0,12)^2 + (0,14)^2 + \dots + (0,09)^2]}{3 \times 3} - 0,0643 \\
 &\quad - 0,0638 + \frac{1,69^2}{45} \\
 &= 0,0003
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\
 &= 0,0014 - 0,0006 - 0,0001 + 0,0003 \\
 &= 0,00046
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTP)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{0,00061}{4} = 0,00015$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{0,00008}{2} = 0,00004$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{0,00027}{8} = 0,00003$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{0,00046}{30} = 0,00002$$

Nilai f_{Hitung}

$$\text{F Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{0,00015}{0,00002} = 19,8059$$

$$\text{f Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{0,00004}{0,00002} = 2,5993$$

$$\text{f Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{0,00003}{0,00002} = 2,2254$$



f Tabel dapat dilihat pada lampiran xx

| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | Derajat Bebas | Kuadrat Tengah | f Hitung | f Tabel |
|--------------------|----------------|---------------|----------------|----------|---------|
| Nilai tengah baris | 0,00061 | 4 | 0,00015 | 9,8059 | 2,6896 |
| Nilai tengah kolom | 0,00008 | 2 | 0,00004 | 2,5993 | 3,3158 |
| Interaksi | 0,00027 | 8 | 0,00003 | 2,2254 | 2,2662 |
| Galat | 0,00046 | 30 | 0,00002 | | |

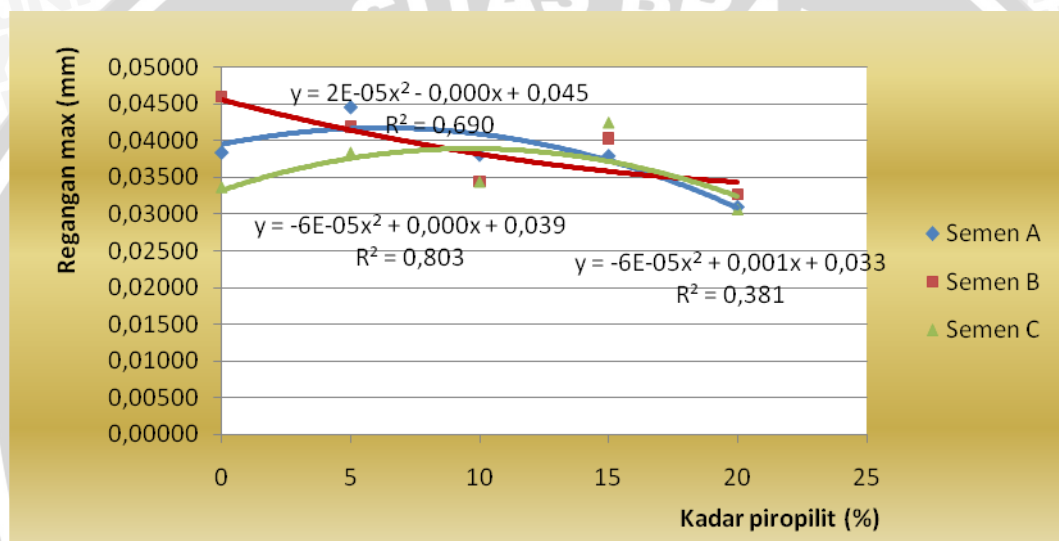
Analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah secara detail disajikan pada lampiran 2. Berdasarkan Tabel diatas didapatkan bahwa :

1. Untuk regangan beton piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, F_{hitung} antar group (A) $>$ F_{Tabel} antar group (A), ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang cukup signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap regangan beton piropilit umur 56 hari.
2. F_{hitung} antar group (B) $<$ F_{Tabel} antar group (B), ini menunjukkan bahwa H_{0B} diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap regangan piropilit umur 56 hari.
3. F_{hitung} antar group (AB) $<$ F_{Tabel} antar group (AB), ini menunjukkan bahwa H_{0AB} diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi yang signifikan antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap regangan beton piropilit umur 56 hari.

4.3.11 Analisis regresi pengaruh piropilit terhadap regangan maksimum beton umur 56 hari

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penambahan phyropilit terhadap regangan maksimum beton adalah dengan menggunakan grafik regresi linier.

Grafik hubungan yang terjadi antara variabel penjelas (prosentase phyropilit) dengan variabel respon (regangan) dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.26 Hubungan pengaruh penggunaan piropilit terhadap regangan beton piropilit umur 56 hari.

Pada **Gambar 4.26** diatas menjelaskan hubungan penambahan kadar piropilit terhadap regangan maksimum beton. Garis polinomial di atas dapat memperlihatkan nilai regangan maksimum beton yang paling minimum untuk variasi jenis semen dan kadar piropilit.

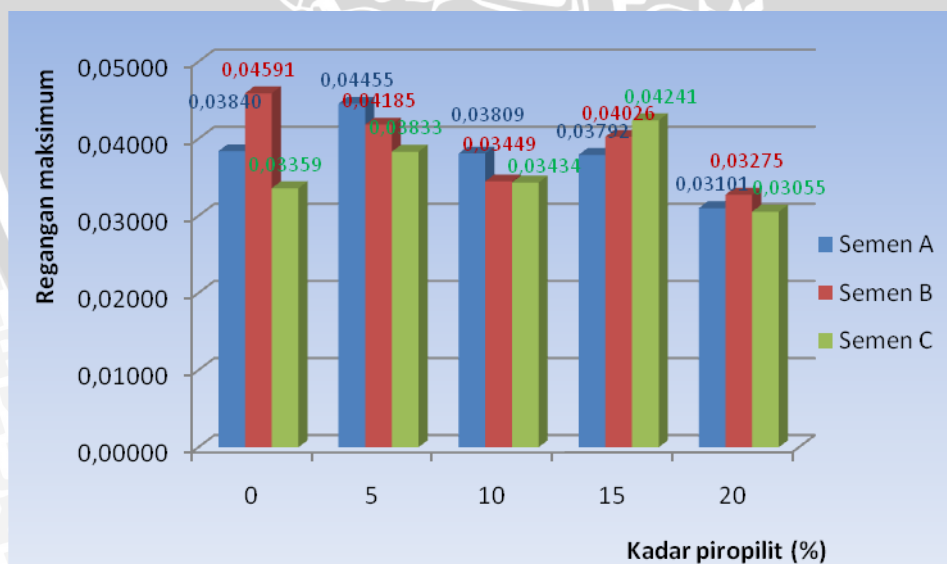
Untuk hubungan penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan beton jenis semen A, persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = -6E-05x^2 + 0,000x + 0,039$. Pada jenis semen B persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = 2E-05x^2 - 0,000x + 0,045$. Dan pada jenis semen C persamaan regresi polinomial yang didapat adalah $y = -6E-05x^2 + 0,001x + 0,033$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar piropilit sebesar 20% memiliki nilai regangan beton yang paling rendah untuk semua jenis semen.

4.3.12 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 56 hari

Pada **Tabel 4.39** dibawah ini merupakan persentase pengaruh piropilit terhadap rata-rata regangan maksimum beton normal dengan rata-rata kuat tekan beton variasi piropilit umur 56 hari. Terlihat bahwa kadar piropilit sebesar 20% mampu mempengaruhi regangan maksimum beton normal hingga 28,65% yang menyebabkan penurunan regangan maksimum beton normal dari 0,045909 menjadi 0,032755. Akan tetapi nilai regangan maksimum yang dihasilkan masih cukup kecil pengaruhnya terhadap perubahan regangan maksimum beton.

Tabel 4.39 Persentase piropilit terhadap regangan maksimum umur 56 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Regangan maksimum | | | Persentase pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|-------------------|----------|----------|-------------------------|-------|-------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 0 | 56 | 0,038398 | 0,045909 | 0,033594 | | | |
| 5 | 56 | 0,044555 | 0,041853 | 0,038332 | 16,04 | 8,84 | 14,10 |
| 10 | 56 | 0,038094 | 0,034488 | 0,034340 | 0,79 | 24,88 | 2,22 |
| 15 | 56 | 0,037922 | 0,040262 | 0,042409 | 1,24 | 12,30 | 26,24 |
| 20 | 56 | 0,031015 | 0,032755 | 0,030547 | 19,23 | 28,65 | 9,07 |



Gambar 4.27 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap regangan maksimum beton umur 56 hari.

Dari **Gambar 4.27** terlihat bahwa regangan maksimum beton umur 28 hari akibat adanya pengaruh penambahan persentase piropilit. Pada penambahan

kadar 5%, piropilit menyebabkan peningkatan regangan maksimum beton normal samapai 16,04%. Pada kadar 10%, piropilit menyebabkan penurunan regangan maksimum beton normal sampai 24,88%. Pada kadar 15% piropilit menyebabkan penurunan regangan maksimum beton normal sebesar 26,24%. Dan pada kadar piropilit 20% menyebabkan peningkatan regangan maksimum beton normal sampai 28,65%.

Pada **Tabel 4.40** dibawah ini merupakan persentase penurunan rata-rata regangan maksimum beton normal dengan regangan maksimum beton variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa pengaruh perbedaan jenis semen pada kadar persentase piropilit terhadap regangan maksimum beton masih kecil pengaruhnya. Paling besar pengaruh jenis semen hanya terdapat pada persentase piropilit 5% yaitu sebesar 13,97%, dimana semen C menghasilkan nilai regangan maksimum yang lebih tinggi dari pada semen A.

Tabel 4.40 Persentase pengaruh jenis semen terhadap regangan maksimum umur 56 hari

| Kadar piropilit (%) | Umur Beton | Regangan maksimum | | | Persentase Pengaruh (%) | | |
|---------------------|------------|-------------------|----------|----------|-------------------------|-------|--------|
| | | A | B | C | A-B | B-C | A-C |
| 0 | 56 | 0,038398 | 0,045909 | 0,033594 | -19,56 | 26,83 | 12,51 |
| 5 | 56 | 0,044555 | 0,041853 | 0,038332 | 6,07 | 8,41 | 13,97 |
| 10 | 56 | 0,038094 | 0,034488 | 0,034340 | 9,46 | 0,43 | 9,85 |
| 15 | 56 | 0,037922 | 0,040262 | 0,042409 | -6,17 | -5,33 | -11,83 |
| 20 | 56 | 0,031015 | 0,032755 | 0,030547 | -5,61 | 6,74 | 1,51 |

4.3.13 Pembahasan

Pada penelitian ini, berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian hipotesis diketahui bahwa penggunaan phyropilit tidak akan memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan dan regangan beton normal. Pengaruh dari penggunaan phyropilit terhadap kuat tekan beton normal cenderung bersifat negatif. Hal ini terlihat dari hasil pengujian untuk tiap-tiap variasinya. Nilai kuat tekan beton dengan campuran berbagai komposisi phyropilit apabila dibandingkan dengan kuat tekan beton normal sampai umur 56 hari adalah:

- Beton normal (kadar piropilit 0%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **25,488 MPa**, untuk jenis semen B **32,372 MPa** dan jenis semen C **27,482 MPa**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 5%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **17,108 MPa**, untuk jenis semen B **19,083 MPa** dan semen C **18,722 MPa**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 10%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **15,352 MPa**, untuk jenis semen B **15,482 MPa** dan semen C **15,671 MPa**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 15%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **18,618 MPa**, untuk jenis semen B **21,704 MPa** dan semen C **19,912 MPa**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 20%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **15,980 MPa**, untuk jenis semen B **16,138 MPa** dan semen C **16,333 MPa**.

Dari hasil analisa di atas diketahui bahwa penambahan phyropilit sebanyak 5%,10%, 15% dan 20%% sebagai *filler* pada pembuatan beton tidak akan meningkatkan kuat tekan beton yang ada. Dalam tabel hasil pengujian dapat diketahui bahwa semakin banyak kandungan phyropilit dalam setiap komposisi benda uji kuat tekan beton yang dihasilkan akan semakin menurun.

Hal ini sebanding dengan nilai regangan maksimum yang dihasilkan. Pengaruh dari penggunaan phyropilit terhadap regangan maksimum beton normal

cenderung bersifat negatif. Hal ini terlihat dari hasil pengujian untuk tiap-tiap variasinya. Nilai regangan maksimum dengan campuran berbagai komposisi phyropilit apabila dibandingkan dengan regangan maksimum beton normal sampai umur 56 hari adalah:

- Beton normal (kadar piropilit 0%) menghasilkan regangan maksimum rata-rata pada jenis semen A **0,038398**, untuk jenis semen B **0,045909** dan jenis semen C **0,033594**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 5%) menghasilkan regangan maksimum rata-rata pada jenis semen A **0,044555**, untuk jenis semen B **0,041853** dan semen C **0,038332**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 10%) menghasilkan regangan maksimum rata-rata pada jenis semen A **0,038094**, untuk jenis semen B **0,034488** dan semen C **0,034340**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 15%) menghasilkan regangan maksimum rata-rata pada jenis semen A **0,037922**, untuk jenis semen B **0,040262** dan semen C **0,042409**.
- Beton piropilit (kadar piropilit 20%) menghasilkan regangan maksimum rata-rata pada jenis semen A **0,031015**, untuk jenis semen B **0,032755** dan semen C **0,030547**.

Dari hasil analisa di atas diketahui bahwa penambahan phyropilit sebanyak 5%,10%, 15% dan 20%% sebagai *filler* pada pembuatan beton tidak akan meningkatkan regangan maksimum yang ada. Dalam tabel hasil pengujian dapat diketahui bahwa semakin banyak kandungan phyropilit dalam setiap komposisi benda uji regangan maksimum beton yang dihasilkan akan semakin menurun.

Pada penelitian sebelumnya mengenai proses aktivasi piropilit dimana terjadinya peningkatan kuat tekan pada beton dikarenakan proses aktifasi mineral phyropilit telah dicapai. Aktifasi mineral phyropilit yang mempunyai kemampuan sebagai adsorben maupun penukar anion dan kation dapat dilakukan dengan kalsinasi (cara fisik) atau dengan menggunakan larutan asam atau basa (cara

kimia). Dimana secara kimia piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi yaitu sekitar 75,53% dan alumina sekitar 15,76%.

Penelitian sebelumnya pada *phyropilit* sebagai bahan tambahan pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga lebih kurang 42% pada variasi *phyropilit* 15%. Dimana semen adalah bahan yang bisa memacu proses aktivasi mineral *phyropilit*. Sejalan dengan tercapainya proses aktivasi mineral *phyropilit* inilah maka peningkatan kuat tekan beton bisa terjadi. (Anggraini, 2007).

Akan tetapi tidak terwujudnya nilai kuat tekan pada beton dikarekan aktivasi piropilit dan masa hidrasi semen belum mampu berjalan secara sempurna. Bila kadar alumina dan silika dalam batu kapur bertambah, maka panas yang terjadi berkurang dan pada suatu saat reksi antara air dan kapur tersebut berhenti. (Mulyono Tri, 2004).

Masa hidrasi semen terjadi dikarekan kadar kapur (C_3S) yang terdapat pada semen yang cukup tinggi dan menghasilkan reaksi panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan beton mengeras sebelum hari ke-14. Semakin banyak kapur (C_3S) yang dihasilkan pada semen maka semakin tinggi kekuatan tekan dan panas hidrasi juga tinggi. (Mulyono Tri, 2004).

Pada penggunaan tiga jenis semen, dihasilkan kuat tekan yang bervariasi hal ini dikarenakan kadar kimia penyusun semen yang berbeda-beda. Penelitian beton sampai umur 56 hari dengan pencampuran piropilit sebanyak 15 % menghasilkan kuat tekan yang paling optimum pada semen B yaitu sebesar 21,704 MPa dibandingkan dengan semen A dan C.

Unsur kimia pada semen B memiliki kadar (SiO_2) sebanyak 20% dan Al_2O_3 sebesar 5,2%, sedangkan pada semen A dan C memiliki kadar SiO_2 dan Al_2O_3 lebih besar. Sehingga proses pengerasan beton semen B lebih cepat mengeras dikarenakan kadar kandungan silika dan alumina yang lebih rendah dari semen A dan C.

Oleh karena itu dengan adanya penambahan piropilit pada beton bukan berarti selalu menurunkan kuat tekan beton. Namun dengan ditambahkan piropilit maka perlunya memperhatikan kondisi saat hidrasi semen berlangsung. Karena penambahan piropilit dapat menurunkan panas saat hidrasi berlangsung. Turunya

nilai kuat tekan yang terjadi akibat aktifasi pada piropilit tidak berjalan sempurna dan masa hidrasi semen banyak berpindah untuk aktifasi piropilit. Sehingga beton tidak dapat mengeras sempurna dalam waktu yang cukup pendek.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan variasi piropilit yang belum teraktifasi secara sempurna menyebabkan nilai kuat tekan beton normal umur 28 dan 56 hari belum mencapai nilai kuat tekan yang direncanakan. Untuk umur 28 hari nilai kuat tekan paling tinggi adalah 25,285 MPa pada pencampuran piropilit 10%. Sedangkan pada umur 56 hari nilai kuat tekan paling tinggi adalah 21,704 MPa pada pencampuran piropilit 15%.
2. Pengaruh variasi jenis semen pada beton piropilit menyebabkan nilai kuat tekan beton bervariasi. Nilai kuat tekan yang paling tinggi pada umur 28 hari adalah 25,285 MPa untuk semen C. Sedangkan umur 56 hari nilai kuat tekan paling tinggi 21,704 MPa pada semen B. Hal ini dikarenakan kadar penyusun semen yang berbeda-beda.
3. Pengaruh dari penambahan piropilit dan jenis semen menyebabkan nilai regangan maksimum beton bervariasi. Aktivasi pada piropilit menyebabkan nilai regangan maksimum beton umur 28 hari sebesar 0,043642 pada semen C. Dan pada umur 56 hari nilai regangan maksimum beton yaitu sebesar 0,044555 pada semen A, dimana cenderung lebih tinggi hal ini dikarenakan beton belum mengeras sempurna. Sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama lagi agar beton benar-benar mengeras.

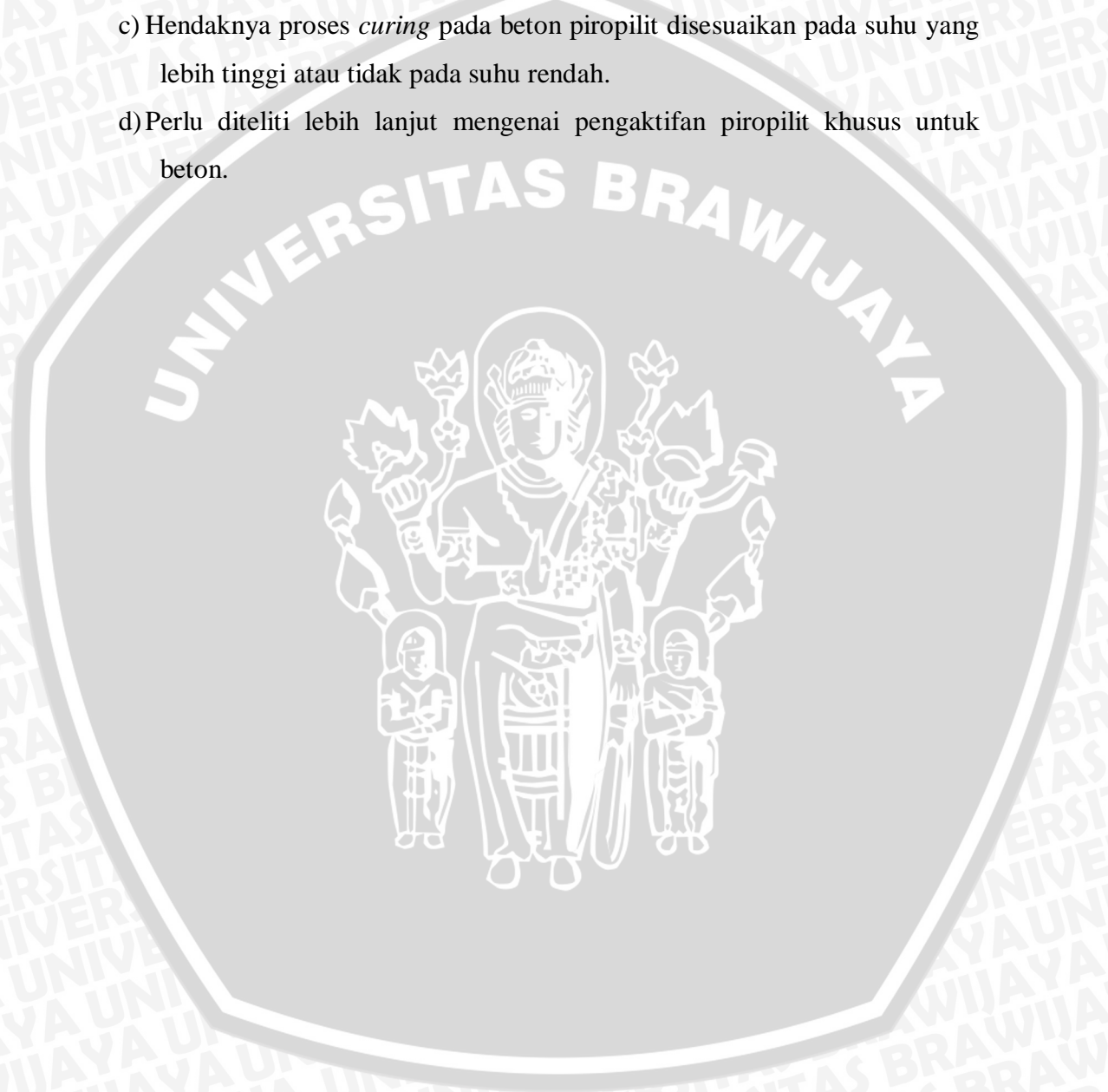
5.2 Saran

Skripsi masih belum sempurna sehingga perlu adanya beberapa perbaikan metode saat penelitian sebagai berikut:

- a) Hendaknya saat melakukan pengujian *slump* beton piropilit, nilai yang didapatkan harus lebih rendah dibandingkan dengan nilai *slump* beton

normal, dikarenakan piropilit dapat mempengaruhi masa hidrasi semen pada beton.

- b) hendaknya pemadatan saat pembuatan beton diperhatikan sehingga kekuatan yang dihasilkan sesuai dengan rancangan penelitian.
- c) Hendaknya proses *curing* pada beton piropilit disesuaikan pada suhu yang lebih tinggi atau tidak pada suhu rendah.
- d) Perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaktifan piropilit khusus untuk beton.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 2009. *The Mineral Pyrophyllite*. Amethyst Galleries, Inc.
<http://www.galleries.com/minerals/silicate/pyrophyll/pyrophyll.htm>.
(diakses 27 September 2011).
- Anonimus. 2011. *Piropilit*. <http://bumi-is-earth.blogspot.com/2011/05/piropilit.html>. (diakses 25 September 2011).
- Amri, S (2005). *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Jones, R, M 2008. *Deformation Theory of Plasticity*. Bull Ridge Corporation. ISBN 0978722310. Stress (mechanics).
- Kelompok Program Teknologi Informasi Pertambangan. 2005. *Informasi Mineral dan Batubara*.<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Phiropilit/ulasan.asp?xdir=Phiropilit&commId=28&comm=Phiropilit>. (diakses 28 September 2011)
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Jakarta : Andi
- Nawy, E, Dr (1998). *Beton Bertulang*. Bandung : Rafika Aditama.
- Nuansa Masel. 2011. *Piropilit-Al₂Si₄O₁₀(OH)₂*.
www.nuansamasel.blogspot.com/2011/06/piropilit-al2si4o10oh2.html.
(diakses 28 September 2011).
- Nurbahri, W. 2011. *Semen*.
<http://wimvynurbahri.blogspot.com/2011/06/semen.html>. (diakses 18 Agustus 2011).
- Prapto, H. 1997. *Penelitian Skala Laboratorium Potensi Batu Piropilit di Desa Karanggede, Kec. Arjosari, Kab. Pacitan, Propinsi Jawa Timur dan Prospek Pengembangannya*. Jakarta: Media Teknik.
- Rafinda . 2009. *Pyrophyllite, bahan ramah lingkungan*. Universitas Gunadarma. http://rafinda-ega.blogspot.com/2009_12_01_archive.html.
(diakses 8 Juli 2011).
- SNI 03-1974-1990. *Metode pengujian kuat tekan beton*. Departemen Pekerjaan Umum.

SNI 03-2834-1993. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
Departemen Pekerjaan Umum.

SNI 03-4169-1996. *Metoda Pengujian Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson
Beton dengan Kompresor Ekstensometer*. Departemen Pekerjaan
Umum.

SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional

Smith, M, J & Ismoyo, Ir, PH (1979). *Bahan Konstruksi dan Struktur Teknik*.
Jakarta: Erlangga.

Wibowo, A ST,MT & Setyowati, E, W, Ir, MT (2003). *Buku Diktat Teknologi
Beton*. Malang : Penerbit Universitas Brawijaya.

Winner, F. 2010. *Pyrophyllite – Support Material*.

[http://winnerfirmansyah.wordpress.com/2010/01/03/pyrophyllite-
support-material/](http://winnerfirmansyah.wordpress.com/2010/01/03/pyrophyllite-support-material/). (diakses 8 Juli 2011).



LAMPIRAN FOTO



Gambar 3 jenis semen yang digunakan



Gambar alat molen yang di gunakan



Gambar saat pembuatan beton



Gambar saat pencetakan beton silinder



Gambar saat pengkuringan beton



Gambar Proses pengujian beton

