

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN PIROPILIT TERHADAP POROSITAS
DAN MODULUS ELASTISITAS BATA BETON RINGAN**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Oleh :

Winy Firmaninda

0910610100

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

repository.ub.ac.id

Windy Firmaninda, Teknik Sipil Universitas Brawijaya, *Pengaruh Variasi Penambahan Piropilit Terhadap Porositas dan Modulus Elastisitas Bata Beton Ringan*. Bimbingan : Retno Angraini, ST, MT dan Ir. Sugeng P. Budio, MS.

Abstrak

Bata ringan merupakan material yang digunakan sebagai pengganti batu bata karena memperingan beban struktur dari sebuah bangunan konstruksi. Untuk peningkatan kualitas produk dan pemanfaatan material lokal ditambahkan piropilit kedalamnya. Mineral piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi hingga mencapai 85%.

Pengujian dilakukan dengan membuat benda uji dengan variasi penambahan piropilit 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen ke dalam campuran. Kemudian dilakukan pengujian porositas dan dilakukan pengujian kuat tekan yang dianalogikan menyerupai pengujian batako SNI 03-0348-7 dan dipasang *dial gauge* untuk menentukan deformasinya sehingga dapat menghitung modulus elastisitas.

Hasil penelitian didapatkan nilai porositas dan modulus elastisitas benda uji setelah proses pengujian antara lain: variasi tanpa campuran piropilit, penambahan 10%, 15%, 20% dan 25% akan memberikan nilai porositas rata-rata sebagai berikut 19.609%, 23.581%, 20.548%, 18.930% dan 17.299% dengan nilai optimum pada kadar 10,301%, dan memberikan nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 3.829 KN/cm², 4.319 KN/cm², 5.620 KN/cm², 4.713 KN/cm², dan 5.987 KN/cm².

Penambahan piropilit 5% tidak disertakan dalam analisis karena diperoleh hasil yang bias dan dari 5 benda uji pada masing-masing variasi dipilih 3 benda uji karena adanya penyimpangan data dari 2 benda uji. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan jumlah piropilit yang berupa *filler* lebih dari 10,301% dari berat semen akan menurunkan nilai porositas bata ringan dan penambahan piropilit cenderung meningkatkan modulus elastisitas bata ringan.

Kata kunci : Bata ringan, piropilit, porositas, dan modulus elastisitas

repository.ub.ac.id

Winy Firmaninda, Civil Engineering, University of Brawijaya, *Effect in Adding Variation of Phyropilit Concerning in Porosity and Modulus Elasticity on Lightweight Concrete Brick*. Tutor : Retno Anggraini, ST, MT, and Ir. Sugeng P. Budio, MS.

Abstract

Lightweight brick is materials used as replacment of konvensional brick because it was reducing structure loads in construction building . To make better properties of lightweight brick, it will added by phyropilit in to mixture. Phyropilit contain high silica for almost 85% from total weight.

Sample has been tested based on variation of sample is adding 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% phyropilit from the cement weight. The tests consist of porosity test and compressioin test with adding dial gauge to determine the deformation for obtaining the result of modulus elasticity.

The tests results showed that porosity and modulus elasticity from the variation of non-adding phyropilit, 10%, 15%, 20% and 25% given is 19.609%, 23.581%, 20.548%, 18.930% dan 17.299% with the optimum phyropilit value of 10,301% for porosity and 3.829 KN/cm², 2.195 KN/cm², 4.319 KN/cm², 5.620 KN/cm², 4.713 KN/cm², dan 5.987 KN/cm² for modulus elasticity.

However 5% adding of phyropilit didn't included in analysis because of it stray value and 2 of 5 samples from each variation have high deviation so that there only use 3 samples. From the analysis can be conclude that over 10,301% possessing of phyropilit as filler can reduce the porosity and the add of phyropilit can increase the modulus elaticity of lightweight brick.

Key word : lightweight brick, phyropilit, porosity, and modulus elasticity.

Kata Pengantar

Puji syukur saya ucapkan sebesar-besarnya bagi Allah SWT atas rahmat yang dianugerahkannya-Nya, saya mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN PIROPILIT TERHADAP POROSITAS DAN MODULUS ELASTISITAS BATA BETON RINGAN”

Skripsi ini bukan hanya saya tulis untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sjana Teknik tetapi juga sebagai pembuktian bahwa diri saya sudah siap untuk menghadapi ujian yang ada nantinya.

Saya mengucapkan yang sebesar besarnya kepada orang-orang yang sangat berpengaruh dalam pengerjaan skripsi ini :

- Ibunda dan Ayahanda tercinta, yang memberikan dukungan yang tidak kenal lelah.
- Ibu Retno Anggraini, ST, MT, selaku dosen pembimbing 1
- Bapak Ir. Sugeng P. Budio MS, selaku Dosen pembimbing II dan ketua Jurusan Teknik Sipil
- Ibu Ir. Ristinah S. Mt, Selaku ketua kelompok bidang studi struktur
- Bapak M. Hamzah Hasyim, ST, M.EngSc, Selaku Dosen Wali
- Ibu Ir. Siti Nurlina, Selaku Sekertaris Jurusan Sipil
- Ibu Prof.Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS selaku kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi
- Bapak Koko Selaku CEO dari PT Banoncon Indonesia
- Sahabat dan Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya, yang terus memberikan dukungan baik tenaga, pikiran ataupun sebatas nasihat-nasihat.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih banyak cacatnya dan masih sangat jauh dari nilai kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan sarang-saran yang membangun sangat saya harapkan demi mencapinya kesempurnaan nilai skripsi ini, semoga hasil dari skripsi ini mampu memberikan manfaat yang dapat berguna bagi masyarakat banyak nantinya.

Hormat Saya
Malang Juli 2013

Daftar isi

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Tujuan Penulisan	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
II. DASAR TEORI	
2.1. Piropilit.....	5
2.2. Bata Ringan	7
2.2.1. Pembuatan Bata Ringan	9
2.2.2. Komposisi Campuran Bata Ringan.....	10
2.3. Semen	12
2.3.1. Tipe Semen.....	13
2.4. Pasir	16
2.4.1. Persyaratan Pasir	18
2.5. Air.....	19
2.6. Porositas Bata Ringan.....	20
2.7. Modulus Elastisitas Bata Ringan.....	21
2.8. Penelitian Terdahulu.....	23
2.9. Hipotesis	24



III. METODOLOGI

3.1. Diagram Pengerjaan	25
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.3. Variabel Penelitian	26
3.4. Identifikasi Benda Uji.....	26
3.5. Analisa Bahan yang Digunakan	27
3.6. Pengujian Bahan Dasar.....	28
3.7. Pembuatan Benda Uji.....	30
3.8. Pengujian Porositas	31
3.9. Pengujian Modulus Elastisitas.....	32
3.10. Metode Analisis.....	33

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Agregat Halus	36
4.1.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	36
4.1.2. Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	37
4.1.3. Pengujian Gradasi Agregat Halus	37
4.2. Pengujian Piropilit	38
4.2.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Piropilit.....	38
4.2.2. Pengujian Kadar Air Piropilit.....	38
4.3. Komposisi Bahan.....	39
4.4. Komposisi Pencampuran Piropilit.....	39
4.5. Pengujian Porositas	40
4.6. Pengujian Modulus Elastisitas.....	42
4.7. Pembahasan	43
4.7.1. Analisis ANOVA	43
4.7.2. Analisis Regresi.....	49
4.7.3. Pembahasan Hasil.....	50

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan..... 53

5.2. Saran..... 53

Daftar Pustaka

Lampiran



Daftar Tabel

Tabel 2.1. Perbandingan Bata Merah dengan Bata Ringan	8
Tabel 2.2. Perbandingan Bata Beton Ringan CLC dengan AAC	9
Tabel 2.3. Komposisi Campuran Bata Ringan	10
Tabel 2.4. Spesifikasi Teknis bata Ringan Jurnal	11
Tabel 2.5. Persyaratan Pembuatan Bata Beton Ringan (<i>Lightweight Concrete masonry Unit</i>)	11
Tabel 2.6. Komposisi Semen Tipe I	15
Tabel 2.7. Pengujian Fisika Semen Tipe I.....	15
Tabel 2.8. Syarat Gradasi Pasir.....	17
Tabel 2.9. Sistem Buka-an Agregat Halus	18
Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji	27
Tabel 3.2. Perbandingan Bahan yang Digunakan	30
Tabel 4.1. Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	36
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	36
Tabel 4.3. Data Pengujian Kadar Air Agregat Halus	37
Tabel 4.4. Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Piropilit.....	38
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Piropilit	38
Tabel 4.6. Data Pengujian Kadar Air Piropilit.....	38
Tabel 4.7. Komposisi Bahan.....	39
Tabel 4.8. Komposisi Pencampuran Piropilit	39
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Porositas Bata Ringan	40
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Bata Ringan	43
Tabel 4.11. Tabel Perhitungan ANOVA Porositas Bata Ringan	46
Tabel 4.12. Tabel Perhitungan ANOVA Modulus Elastisitas Bata Ringan	48

Daftar Gambar

Gambar 2.1. Batuan Piropilit	21
Gambar 2.2. Struktur Polimer Piropilit.....	23
Gambar 4.1. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus	37
Gambar 4.2. Hasil Uji Porositas Benda Uji Normal (0% Kadar Piropilit).....	39
Gambar 4.3. Hasil Uji Porositas Benda Uji 10% Kadar Piropilit.....	44
Gambar 4.4. Hasil Uji Porositas Benda Uji 15% Kadar Piropilit.....	45
Gambar 4.5. Hasil Uji Porositas Benda Uji 20% Kadar Piropilit.....	55
Gambar 4.6. Hasil Uji Porositas Benda Uji 25% Kadar Piropilit.....	56
Gambar 4.7. Hasil Uji Porositas Rata-Rata Tiap Variasi	56
Gambar 4.8. Diagram Tegangan Regangan Hasil Penelitian	56
Gambar 4.9. Hasil Uji Modulus Elastisitas Rata-Rata Tiap Variasi.....	57
Gambar 4.10. Hasil Regresi Porositas Rata-Rata Bata Ringan	57
Gambar 4.11. Hasil Regresi Modulus Elastisitas Rata-Rata Bata Ringan.....	58
Gambar 4.12. Hasil Regresi Kuat Tekan Rata-Rata Bata Ringan Penelitian Terdahulu....	58



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Batu bata merupakan bahan bangunan sering dijumpai sebagai bahan non-struktural pembuat dinding dan telah lama dikenal oleh masyarakat pedesaan maupun perkotaan. Sebagai fungsi struktural batu bata digunakan sebagai penyangga atau pemikul beban di atasnya seperti pada konstruksi rumah sederhana maupun pondasi. Pada konstruksi tingkat tinggi seperti gedung pemanfaatan batu bata adalah sebagai dinding tanpa pemikul beban di atasnya. Namun penggunaan batu bata merah memberikan beban struktur yang cukup besar sehingga saat ini bangunan tingkat tinggi banyak menggunakan bata beton ringan. Bata beton ringan di gunakan karena memperingan beban struktur dari sebuah bangunan konstruksi.

Pemanfaatan bata beton ringan dalam konstruksi yang mulai banyak digunakan memerlukan peningkatan kualitas produk yang dihasilkan, baik dengan peningkatan kualitas dari material dasar batu bata ringan maupun dengan penambahan bahan lain. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan mineral alam piropilit yang belum banyak dimanfaatkan.

Kebijakan Pemerintah Propinsi Daerah Tingkat I salah satunya adalah diarahkan untuk pengembangan sumber daya alam, termasuk bahan galian dan tambang, yang memiliki potensi dan keunggulan komparatif dengan memperhatikan pelestarian fungsi lingkungan hidup untuk pembangunan yang berkelanjutan; dan pengembangan kawasan andalan dengan menciptakan keterkaitan dengan wilayah sekitarnya.

Piropilit adalah paduan dari alumunium silikat, yang mempunyai rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Mineral yang termasuk piropilit adalah kianit, andalusit, dan diaspor. Bentuk kristal piropilit adalah monoklin serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk. Piropilit terbentuk umumnya berkaitan dengan

formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan pH asam.

Piropilit merupakan material dengan kandungan silika yang tinggi. Khususnya piropilit daerah Malang Selatan kandungan silikanya mencapai 85 %, dengan ukuran butiran dan volume pori yang cukup kecil (Anggraini, 2008). Sebaran piropilit di daerah Malang Selatan juga cukup besar, di kecamatan Sumbermanjing jumlah cadangan mineral ini diperkirakan mencapai jutaan ton dengan luas sebaran 20 Ha (Anonim, 2005). Sedangkan didaerah Trenggalek diperkirakan luas sebarannya sekitar 12,5 Ha dengan jumlah cadangan diperkirakan sebanyak 290.000 m (Anonim, 1996). Dan di Pacitan luas sebaran yang siap dieksplorasi sekitar 37 Ha (Anonim, 2005). Penggunaan piropilit di daerah Sumbermanjing dan Trenggalek dalam industri keramik dengan proporsi tertentu memberikan hasil yang cukup baik, sehingga dengan penelitian lebih lanjut penggunaan piropilit dapat dimungkinkan untuk kebutuhan-kebutuhan lain. Dalam hal ini yaitu penggunaannya sebagai bahan tambahan pada bata beton ringan.

Penelitian yang akan dilakukan disini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan piropilit sebagai bahan tambahan (*additive*) pada proses pembuatan bata beton ringan yang komposisinya tersusun atas pasir kwarsa, semen, air, dan *foaming agent* sebagai bahan pengembang (Pengisi udara secara kimiawi) yang dicampurkan menjadi sebuah adonan dan mengering selama 7-8 jam.

Dengan menggunakan beberapa variasi pencampuran piropilit mulai dari sejumlah 0 %, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap persen dari berat semen yang akan digunakan. Akan diketahui hubungan antara kenaikan kandungan piropilit terhadap porositas dan modulus elastisitas bata beton ringan.

1.2. Identifikasi Masalah

Bata ringan yang tahan temperatur tinggi di Indonesia masih jarang ditemui sebab kurang banyaknya industri yang mengembangkan bahan tersebut, beberapa kebutuhan akan bata ringan sebagian besar masih diimpor dari negara lain. Sedangkan kebutuhan dalam negeri akan bahan untuk membuat dinding sebagian besar masih menggunakan bata merah sebagai pengisinya.

Penggunaan *piropilit* dalam industri pembuatan bata ringan masih belum banyak digunakan tetapi bahan *piropilit* ini telah banyak digunakan dalam industri pembuatan keramik.

Dalam penelitian akan digunakan *piropilit* yang berasal dari daerah Sumbermanjing kabupaten Malang yang telah dibentuk menjadi butiran-butiran halus sampai menjadi *filler* (lolos saringan no.200). Apakah bahan *piropilit* ini akan mampu mempengaruhi porositas dari bata ringan, dan apakah bahan ini akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap modulus elastisitas dari bata ringan.

1.3. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah penambahan *piropilit* dalam bata ringan akan berpengaruh terhadap porositas bata beton ringan ?
2. Apakah penambahan *piropilit* dalam bata ringan akan berpengaruh terhadap modulus elastisitas bata beton ringan ?

1.4. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah menyangkut beberapa aspek yakni :

1. *Piropilit* yang digunakan adalah *piropilit* yang berasal dari daerah Sumbermanjing, Kabupaten Malang.

2. Ukuran dari bata ringan yang digunakan adalah ukuran normal yakni panjang 60 cm, tinggi 20 cm, dan tebal 10 cm. Bata ringan ini diproduksi di PT Banoncon Indonesia.
3. Bata ringan yang dibuat adalah jenis *Cellular Lightweight Concrete* (CLC).
4. Proses perubahan kimia yang terjadi dalam bata ringan akibat penambahan *piropilit* tidak akan dibahas.
5. Pengaruh kelembaban, suhu, dan lingkungan dianggap sama.
6. Penggunaan perbandingan campuran bata ringan semua sama.
7. Persen penambahan jumlah *piropilit* sejumlah 0 %, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap persen dari berat semen.

1.5. Tujuan Penulisan

Beberapa tujuan yang dapat diharapkan dalam kegiatan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui adakah pengaruh dari penambahan jumlah *piropilit* terhadap porositas bata ringan.
2. Untuk mengetahui adakah pengaruh dari penambahan jumlah *piropilit* terhadap modulus elastisitas bata ringan.

1.6. Manfaat penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penambahan jumlah *piropilit* ke dalam jumlah campuran pembuatan bata ringan terhadap porositas dan modulus elastisitas dari bahan tersebut. Melalui penelitian ini nantinya dapat dilakukan pengembangan terhadap bahan ini, sehingga negara Indonesia yang memiliki jumlah *piropilit* cukup besar nantinya dapat menjadi produsen bata ringan sehingga bangunan tinggi nantinya akan menjadi lebih aman dan nyaman untuk ditempati serta konsep *green construction* akan menjadi selaras dengan kehidupan masyarakat Indonesia.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Piropilit

Kata piropilit berasal dari bahas Yunani *pyt* yang berarti api dan *phyllon* yang berarti daun atau lembaran, sedangkan phylit ditemukan setelah kata *phyllon* yang berarti lembaran retak-retak. Pada saat itu piropilit diperoleh dengan cara menyiramkan air panas pada mineral tersebut dan terkelupas membentuk lapisan-lapisan, yang kemudian diketahui sebagai lapisan alumina silikat (Powell, 1998).



Gambar 2.1. Batuan Piropilit

Sumber: tanijoyo123.blogspot.com

Piropilit adalah paduan dari aluminium silikat, yang mempunyai rumus kimia $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Mineral yang termasuk piropilit adalah kianit, andalusit, dan diaspor. Bentuk kristal piropilit adalah monoklin serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk.

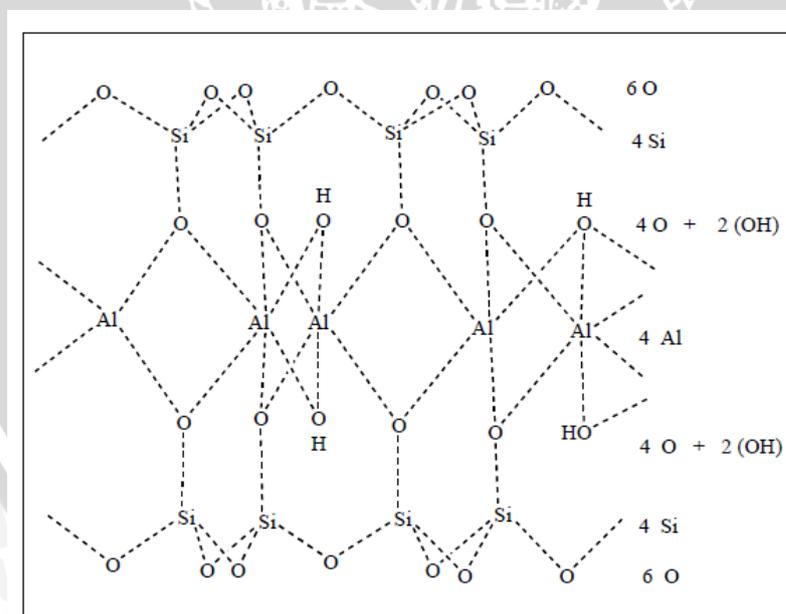
Piropilit terbentuk umumnya berkaitan dengan formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan pH asam.

Kegunaan piropilit adalah untuk pakan ternak, industri kertas sebagai pengganti bahan beton, dan lain – lain .

Piropilit terdapat di beberapa tempat yang diakibatkan munculnya formasi andesit tua, seperti di Pulau Sumatera, Jawa Barat, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, dan Pulau Sulawesi.

Terdapat dua golongan mineral piropilit, yaitu piropilit dengan sistem kristal monoklinik dan piropilit dengan sistem kristal triklinik, tetapi sampai saat ini dilaporkan bahwa tidak ada perbedaan sifat yang berarti dengan perbedaan sistem kristal tersebut. Keduanya dianggap sama (Powell, 1998). Piropilit mempunyai sifat-sifat fisika yang identik dengan talk, talk dan piropilit adalah isomorf. Sifat-sifat fisika piropilit antara lain: berwarna putih keabu-abuan, massa jenis antara $2,65 - 2,85 \text{ g/cm}^3$. Sifat cerat putih, belahan sempurna dan kekerasan antara 1 sampai 1,5 (Bearat *et al.*, 2002). Pemahaman yang baik tentang piropilit pada tingkat atomik sangat penting untuk aplikasi dalam bidang industri (Wang, *et al.*, 2003).

Piropilit yang mempunyai susunan S-G-S yaitu silikat-gibsit-silikat mempunyai struktur seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2. Struktur polimer piropilit (Deer, et al. 1992)

Piropilit dengan struktur dihedralnya termasuk 2:1 aluminosilikat yang memungkinkan untuk dikembangkan pembelajaran tentang lapisan silikat yang

lebih kompleks. Struktur lapisan dihedral pada piropilit lembaran oktahedral dari dua ion Al-nya terkoordinasi dengan 2 lembaran SiO₄ secara *sandwiched*. (Wang, *et al*, 2003).

Mineral piropilit Sumbermanjing Malang Selatan mempunyai komposisi kimiawi sebagai berikut: SiO₂ (84,30%), Na₂O (0,64%), Fe₂O₃ (1,56%). Kemungkinan yang 9,41 % adalah komponen TiO₂, yang tidak dianalisa karena keterbatasan instrument, juga pengotor lain seperti senyawa-senyawa Cu, Zn dan asam humat yang sering terdapat dalam mineral. Bersifat padatan kristalin dengan kandungan kwarsa sebesar 25,5(7) % dan rutil sebesar 0,6(8) %. Mineral piropilit tersebut mempunyai serapan-serapan karakteristik pada bilangan gelombang 950-1250 cm⁻¹ untuk vibrasi ulur dari OSi-O dan Al-O-Al, bilangan gelombang 400-450 cm⁻¹ untuk vibrasi tekuk dari OSi-O dan Al-O-Al, bilangan gelombang 3478 cm⁻¹ untuk gugus hidroksil dari air dan pada bilangan gelombang 3674,7 cm⁻¹, merupakan spektra spesifik untuk gugus OH dari gipsit (Mutrofin, dkk, 2005).

Mineral piropilit Sumbermanjing Malang selatan mempunyai luas permukaan spesifik sebesar 6,362 m²/g, volume pori sebesar 0,008 cm³/g dan jari-jari pori sebesar 24,116 Å. Ini menunjukkan bahwa piropilit tersebut termasuk dalam kelompok mineral mesopori (Mutrofin, dkk, 2005)

2.2. Bata Ringan

Bata ringan atau dikenal dengan nama lain yakni bata berpori merupakan bata yang memiliki nilai bobot atau berat jenis yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan batu bata lainnya, sehingga dalam pelaksanaannya dapat menjadi lebih mudah sebab bobot yang ringan, Tidak seperti bata biasa, berat bata ringan dapat diatur sesuai kebutuhan. Pada umumnya berat bata ringan berkisar antara 600-1600 kg/m³. Akibat dari bobot yang cukup ringan tersebut maka bata ringan ini banyak digunakan dalam pembangunan konstruksi yang tinggi, dan konstruksi bangunan tahan gempa sebab dalam perhitungan gempa menurut SNI-1726-2002 besarnya beban gempa antara lain tergantung dari berat bangunan, jenis tanah, dan lokasi bangunan.

Bata ringan ini merupakan bahan yang sangat berbeda dengan bata yang biasa dijumpai pada umumnya. Baik dari segi visual, berat jenis, massanya dan cara pembuatannya.

Tabel 2.1. Perbandingan Bata Merah dengan Bata ringan

Variabel	Bata Merah	Bata ringan
Ukuran	24x12x6 cm	60x20x10
Bahan dasar	Tanah liat atau Lempung	Semen, Pasir dan bahan lainnya

Sumber : okezone.com/bata-merah-vs-bata-ringan.htm,

Bata (beton) normal diklasifikasikan menjadi dua golongan, yaitu bata normal dan bata ringan. Bata normal tergolong bata yang memiliki densitas sekitar 2,2 – 2,4 gr/cm³ dan kekuatannya tergantung pada komposisi campuran bata (mix design). Sedangkan untuk bata ringan atau beton ringan memiliki densitas < 1,8 gr/cm³, begitu juga dengan kekuatannya sangat bervariasi dan sesuai dengan penggunaan dan pencampuran bahan bakunya. Jenis dari bata ringan (beton ringan) ada dua, yaitu bata ringan berpori (*aerated concrete*) dan bata ringan tidak berpori (*non aerated concrete*). Bata ringan berpori adalah bata yang dibuat agar strukturnya terdapat banyak pori. Bata semacam ini diproduksi dengan menggunakan agregat ringan, misalnya : batu apung (pumice), diatomite, scoria, volcanic cinders, dan dicampur dengan bahan baku dari campuran semen, pasir, gypsum, CaCO₃ dan katalis aluminium. Dengan adanya katalis Al selama terjadi reaksi hidrasi semen akan menimbulkan panas sehingga timbul gelembung-gelembung gas H₂O, CO₂ dari reaksi tersebut. Akhirnya gelembung tersebut akan menimbulkan jejak pori dalam bata yang sudah mengeras. Semakin banyak gas yang dihasilkan akan semakin banyak pori yang terbentuk dan bata akan semakin ringan.

Berbeda dengan bata *non aerated*, pada bata ini ditambahkan agregat ringan dalam pembuatannya seperti, serat sintesis dan alami, slag baja, perlite, dan lain-lain. Pembuatan bata ringan berpori jauh lebih mahal karena menggunakan bahan-bahan kimia tambahan dan mekanisme pengontrolan yang cukup sulit, (Zulhelmi, 2010).

2.1.1. Pembuatan Bata Ringan

Pembuatan bata ringan adalah mencampurkan bahan-bahan penyusun bata ringan tersebut ke dalam suatu cetakan. Adonan tersebut dapat terdiri dari beberapa bahan yang umumnya terdiri dari semen, pasir halus, dan busa, yang memiliki tujuan memberikan rongga ke dalam bagian dari bata tersebut sehingga memiliki bobot yang cukup ringan. Bata ringan dalam pembuatannya dibedakan menjadi dua yakni bata ringan AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) dan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). Perbedaan dari kedua jenis bata ringan disajikan pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2. Perbandingan Bata ringan CLC dengan AAC

Sl.No.	Parameter	CLC			AAC	
		Cellular Lightweight Concrete			Autoclaved Aerated Concrete	
1.	Bahan Dasar	Flyash, Pasir, Semen Busa senyawa, air			Semen, Kapur, Pasir, Compound Aerasi, flyash, Energi	
2.	Proses Produksi & Setup	Dapat diproduksi di lokasi proyek dengan menggunakan biasa beton mixer dan generator busa			Hanya diproduksi di pabrik yang mahal dilengkapi dengan ketel uap dan Autoclaves	
3.	Kepadatan Kering Kg/m ³	400-600	800-1000	1200-1800	650	750
4.	Kekuatan tekan (28 hari) Kg/m ³	10-15	25-35	60-250	40	40
5.	Penggunaan	Isolasi	Partisi Non-beban bantalan	Beban bantalan	Mengingat beban non-blok	Diperkuat panel
6.	Ukuran Blok pracetak	500x250x90/190mm Setiap bentuk & ukuran dalam rentang kepadatan 400-1800 Kg / m ³			625x250x100/200mm Tidak Layak	

Tabel 2.2. Lanjutan

Sl.No.	Parameter	CLC	AAC
		Cellular Lightweight Concrete	Autoclaved Aerated Concrete
7.	Penuaan	Kekuatan keuntungan dengan usia	Tidak ada
8.	Isolasi Suara	Unggul	Unggul
9.	Mudah bekerja	Dapat dipotong, dipaku, dibor sebagai kayu	Dapat dipotong, angsa, dipaku, dibor sebagai kayu
10.	Eco-ramah	Bebas polusi dengan proses Energi minimal : persyaratan juga mengkonsumsi limbah flyash	Bebas polusi proses dengan kebutuhan energi tinggi

Sumber : <http://bataringanindonesia.blogspot.com/>

2.1.2. Komposisi Campuran Bata Ringan

Dalam pembuatan bata ringan diperlukan komposisi yang sesuai agar dapat dicapai hasil yang maksimal. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Subari & Racman, 2008) didapatkan hasil dari pembuatan bata ringan ini yang memiliki hasil paling baik dan telah memenuhi syarat dengan perbandingan antara komposisi bahan yang digunakan disajikan pada tabel 2.3 :

Tabel 2.3. Komposisi Campuran Bata Ringan

Bahan	Jumlah (Dari berat total)
Kuarsa Halus	25 %
Kapur Tohor	12%
Semen Portland	8%
Abu Terbang	20%
Silica Fume	5%
Perlit	30%
Foaming Agent type F292	10 gram
Air	400 cc

Sumber : Subari & Rachman, 2008

Hasil yang didapatkan dengan menggunakan campuran tersebut adalah sebesar 106,87 kg/cm², dan berat jenis sebesar 1,15 gram/cm³. Berdasarkan peraturan yang berlaku di dunia mengenai bahan bangunan berupa bata ringan ini mengacu pada peraturan ASTM 1386-*Standart Spesification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Wall Construction Unit* dan ASTM 1452-*Standart Spesification for Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Elemen*.

Hasil Penelitian sebelumnya disajikan pada tabel 2.4 :

Tabel 2.4. Spesifikasi Teknis Bata Ringan Jurnal

No.	Data Uji	Bata Ringan Percobaan	Bata Ringan PT Bata Super	Bata Ringan PT TMBA
1	Penyerapan Air	24,10 %	26,45 %	19,57 %
2	Berat jenis	1,12 Gram/cm ³	0,79 gram/cm ³	0,84 gram/cm ³
3	Kuat Tekan	40,15 kg/cm ²	42,49 kg/cm ²	51,20 kg/cm ²
4	Penampakan Warna	Abu-abu krem	Abu-abu muda	Abu-abu tua

Sumber : Subari & Rachman, 2008

Standart yang berlaku untuk perencanaan *Lightweight Concrete Masonry Unit* (Bata ringan) adalah :

Tabel 2.5. Persyaratan Pembuatan Bata ringan (*Lightweight Concrete Masonry Unit*)

No.	Variabel	Nilai (Imperial)	Nilai (Metric)
1.	Berat Jenis	<105 Lb/cu.ft	1,681 g/cm ³

Sumber : ASTM C 140

Komposisi bata ringan yang dihasilkan harus sesuai dengan peraturan yang berlaku, sebagai contoh hasil dari penelitian sebelumnya untuk berat jenis didapatkan sebesar 1,12 g/cm³ (ASTM C 140 = 1,681 g/cm³) telah sesuai standart. Untuk penambahan *piropilit* sebagai *filler* maka dapat meningkatkan kekuatan beton sebesar 25 % (Prasetya, 2012), dan *piropilit* memiliki berat jenis sebesar 2,84 gr /cm³ apabila masih berupa padatan, sehingga *piropilit* dapat dicampurkan ke dalam pembuatan bata ringan ini dan masih dalam batas yang diizinkan.

2.3. Semen

Semen merupakan suatu bahan yang dihasilkan hasil produksi dari industri, dan merupakan campuran dari beberapa bahan yang dibakar menjadi satu dalam suatu proses menjadi bubuk. Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen yang digunakan adalah semen portland yang berbentuk serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan silikat. Penambahan air pada mineral ini akan menghasilkan suatu pasta yang apabila mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. (Mulyono, 2005).

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Bahan baku pembuatan semen adalah batu kapur, pasir silika, tanah liat dan pasir besi. Total kebutuhan bahan mentah yang digunakan untuk memproduksi semen yaitu:

- Batu Kapur

Batu kapur merupakan komponen yang banyak mengandung CaCO_3 dengan sedikit tanah liat, Magnesium Karbonat, Alumina Silikat dan senyawa oksida lainnya. Senyawa besi dan organik menyebabkan batu kapur berwarna abu-abu hingga kuning. Batu kapur yang baik dalam pembuatan semen memiliki kadar air $\pm 5\%$ dan penggunaan batu kapur dalam pembuatan semen itu sendiri sebanyak $\pm 81\%$.

- Pasir Silika

Pasir silika memiliki rumus SiO_2 (silikon dioksida). Pada umumnya pasir silika terdapat bersama logam oksida lainnya, semakin murni kadar SiO_2 semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar SiO_2 semakin merah atau coklat, disamping itu semakin mudah menggumpal karena kadar airnya yang tinggi. Pasir silika yang baik untuk pembuatan semen adalah dengan kadar $\text{SiO}_2 \pm 90\%$ dan penggunaan pasir silika itu sendiri sebesar $\pm 9\%$.

– Tanah Liat

Rumus kimia tanah liat yang digunakan pada produksi semen $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Tanah liat yang baik untuk digunakan memiliki kadar air $\pm 20\%$ dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar $\pm 9\%$.

– Pasir Besi

Pasir besi memiliki rumus kimia Fe_2O_3 (Ferri Oksida) yang pada umumnya selalu tercampur dengan SiO_2 dan TiO_2 sebagai impuritiesnya. Fe_2O_3 berfungsi sebagai penghantar panas dalam proses pembuatan terak semen. Kadar yang baik dalam pembuatan semen yaitu $\text{Fe}_2\text{O}_3 \pm 75\% - 80\%$. Pada penggilingan akhir digunakan gypsum sebanyak $3\% - 5\%$ total pembuatan semen. Penggunaan pasir besi dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar $\pm 1\%$.

2.3.1. Tipe Semen

Semen dibedakan atas beberapa tipe yakni sesuai dengan kebutuhan penggunaannya, berikut adalah perbedaan antara tipe-tipe semen yang ada :

a. Semen Tipe I

Semen portland biasa yang standar digunakan untuk semua bangunan beton yang tidak akan mengalami perubahan cuaca yang dahsyat atau dibangun dalam lingkungan yang sangat korosif

b. Semen Tipe II

Semen ini digunakan untuk bangunan yang menggunakan pembetonan secara massal, seperti dam, dan mengeluarkan panas hidrasi rendah dan kecepatan penyebaran yang rendah. Contoh penggunaan adalah di dalam pembangunan dam yang mana pengecoran dilakukan secara massal dan panas hidrasi tertahan didalam bangunan untuk jangka waktu yang lama. Pada saat terjadi pendinginan timbul tegangan-tegangan akibat perubahan panas yang akan menimbulkan retak-retak pada bangunan, oleh karena itu digunakan semen tipe II

c. Semen Tipe III

Semen ini adalah jenis semen yang cepat untuk mengeras dan cocok untuk pengecoran beton pada suhu yang rendah. Kadar C_3S dan C_3A adalah tinggi tanpa batas atas pada presentase C_3S , sedangkan C_3A cukup tinggi yang tidak akan dicapai oleh semen tipe I. Butirannya digiling lebih halus daripada semen tipe I untuk dapat mempercepat proses hidrasi (Wibowo & Wahyuni, 2003)

d. Semen Tipe IV

Semen tipe ini menimbulkan panas hidrasi rendah.

e. Semen Tipe V

Semen tipe ini merupakan semen yang tahan terhadap serangan sulfat serta mengeluarkan panas. Semen ini tahan dengan serangan-serangan sulfat dan reaksi-reaksi dari hasil kimia.

Sedangkan apabila ditinjau dari kekuatannya semen Portland dibedakan menjadi 4:

- a) Semen Portland mutu S-400, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar 400 kg/cm^2 .
- b) Semen Portland mutu S-475, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar 475 kg/cm^2 .
- c) Semen Portland mutu S-550, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar 550 kg/cm^2 .
- d) Semen Portland mutu S-S, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 1 hari sebesar 225 kg/cm^2 , dan pada umur 7 hari sebesar 525 kg/cm^2 .

2.2.2. Kandungan Semen Tipe I

Semen yang digunakan mengacu pada SNI 15-0302-1994 dan ASTM C 595M-1995 type I. Komposisi dari semen berdasarkan hasil pengujian kimia disajikan pada tabel 2.6 :

Tabel 2.6. Komposisi Semen Tipe I

Komposisi kimia dari semen PPC Jenis Komposisi Kimia	Hasil Uji PPC (%)
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)	0.90
Sulfur Trioksida (SO ₃)	2.18
Hilang Pijar (LOI)	1.69
Kapur Bebas	0.69
Bagian tidak larut	8.82

Sumber : <http://semengresik.com/>

Sedangkan untuk Pengujian secara fisika, disajikan pada tabel 2.7

Tabel 2.7. Pengujian Fisika Semen Tipe I

Hasil pengujian fisika semen PPC Jenis Uji	Hasil Pengujian PPC
Kehalusan: Dengan alat Blaine (m ² /Kg)	325
Waktu Pengikatan dengan Vicat: Awal (Menit) Akhir (Menit)	153 249
Kekekalan dengan alat Autoclave: Pemuai (%) Penyusutan (%)	0.043

Tabel 2.7. (Lanjutan)

Hasil pengujian fisika semen PPC Jenis Uji	Hasil Pengujian PPC
Kuat Tekan :	
3 hari (Kg/cm ²)	205
7 hari (Kg/cm ²)	290
28 hari (Kg/cm ²)	385
Pengikatan Semu (False Set)	68.67
Penetrasi Akhir (%)	
Panas Hidrasi:	
7 hari (Cal/gr)	68.15
28 hari (Cal/gr)	78.40

Sumber : <http://semengresik.com/>

2.4. Pasir

Pasir merupakan agregat halus yang lolos dari saringan dengan no 4 (4,75 mm) yang berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga kecil dari campuran dengan beton ataupun lainnya. Menurut Standar Nasional Indonesia (SK SNI 03-6861.1-2002) disebutkan mengenai persyaratan pasir atau agregat halus yang baik sebagai bahan bangunan adalah sebagai berikut :

- Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
- Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pernah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat mendapatkan hasil sebagai berikut:
 - Apabila menggunakan natrium sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.
 - Apabila dipakai magnesium sulfat bagian halus maksimal 10%.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dan apabila pasir mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasir harus dicuci agar bebas dari

lumpur. Pengertian dari lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0.06 mm.

- Agregat tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan jenuh NaOH 3%.
- Susunan besar butir agregat halus memiliki modulus kehalusan antara 1,5-3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah butir memenuhi zone 1, 2, 3, atau 4 dan harus memenuhi syarat-sarat batas sebagaiberikut:
 - Sisa di atas ayakan 4,8 mm harus maksimum 2 % dariberat.
 - Sisa diatas ayakan 1,2 mm harus maksimum 10 % dariberat.
 - Sisa diatas ayakan 0,3 mm harus maksimum 15 % dariberat.
- Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir alkali harus negatif.

Tabel 2.8. Syarat Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Batas Tembus Kumulatif (%)							
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
10	100	100	100	100	100	100	100	100
4.8	90	100	90	100	90	100	95	100
2.4	60	95	75	100	80	100	95	100
1.2	30	70	55	100	75	100	90	100
0.6	15	34	35	59	60	79	80	100
0.3	5	20	8	30	12	40	15	50
0.15	0	10	0	10	0	10	0	15

Keterangan :

Zone 1 = Pasir Kasar

Zone 2 = Pasir agak kasar

Zone 3 = Pasir Halus

Zone 4 = Pasir agak halus

Sumber : SK SNI 03-6861.1-2002

2.4.1. Persyaratan pasir

Agregat halus yang digunakan dalam pembuatan suatu campuran bahan konstruksi, terutama yang berhubungan dengan semen harus menggunakan pasir dengan kualitas baik untuk mendapatkan kualitas bahan konstruksi yang baik pula. Berikut adalah beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih bahan agregat halus dalam pembuatan bahan bangunan :

a. *Bulking* pada pasir

Bulking adalah efek dari adanya kelembaban pada pasir, yakni penambahan volume pasir akibat adanya lapisan air yang mendorong partikel pasir sehingga berada pada jarak yang lebih jauh. *Bulking* ini mempengaruhi penakaran pasir berdasarkan volume (*Volume Batching*).

b. Analisis Saringan

Analisis saringan adalah proses untuk membagi contoh agregat kedalam fraksi-fraksi dengan ukuran partikel yang sama dengan maksud menentukan gradasi atau distribusi ukuran agregat. Ukuran saringan *British System* dan *ASTM* yang biasa digunakan dalam menentukan gradasi agregat.

Tabel 2.9. Sistem Bukaan Agregat Halus

AGREGAT HALUS	
Bristish System bukaan (mm)	ASTM bukaan (mm)
5	4,75
2,36	2,36
1,18	1,18
600 μm	600 μm
300 μm	300 μm
150 μm	150 μm

Sumber : Mulyono, 2005

c. *Fitness Modulus*

Fitness Modulus didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif yang tertahan pada saringan seri standar, dibagi 100. Seri standar terdiri dari saringan-saringan yang masing-masing mempunyai ukuran sebesar 2x saringan sebelumnya : 150, 300, 600 μm , 1.18, 2.36, 5.00 mm (ASTM no.100, 50, 30, 16, 8, dan 4)

d. Persyaratan Gradasi

Gradasi mempengaruhi workability campuran beton namun tidak memperahai kekuatan. Sekali demikian, untuk mencapai kekuatan tinggi dibutuhkan kompaksi/pemadatan maksimum dengan besar usaha yang masih dapat diterima, yang mana hal ini hanya dapat dilakukan apabila campuran beton cukup *workable*, (Wibowo & Wahyuni, 2003).

2.5. Air

Pada pembuatan beton ringan, air diperlukan dalam proses pengadukan untuk melarutkan semen sehingga membentuk pasta semen yang mengikat semua agregat dari yang paling besar sampai yang paling halus dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dalam proses pengadukan, penuangan, maupun pemadatan. Pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara air dan semen, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut Faktor Air Semen (FAS). Jumlah air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kuat tekan beton.

Karena air mempunyai peranan penting dalam pencampuran beton, maka air tidak dapat ditambahkan sembarangan saat pengadukan mortar, tetapi harus disesuaikan dengan kebutuhan dalam kemudahan pengeljaan serta mutu beton yang diinginkan. Sesuai dengan persyaratan SNI 03-6817-2002, air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
- b. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- c. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
 - Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama
 - Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum

2.6. Porositas Bata Beton Ringan

Porositas suatu bahan adalah perbandingan volume rongga-rongga kosong terhadap volume total seluruh bahan. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen dan disebut porositas. Besarnya porositas suatu material bervariasi mulai dari 0% hingga 90% tergantung dari jenis dan aplikasi material tersebut. Ada dua jenis porositas yaitu porositas terbuka dan porositas tertutup. Porositas tertutup umumnya sulit ditentukan karena pori tersebut berupa rongga yang terjebak dalam padatan dan serta tidak ada akses keluar permukaan luar, sedangkan porositas terbuka masih ada akses keluar permukaan, walaupun rongga-rongga tersebut berada ditengah-tengah padatan. Porositas suatu bahan umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka dengan rumus (Van Vlack, Lawrence H., 1989) :

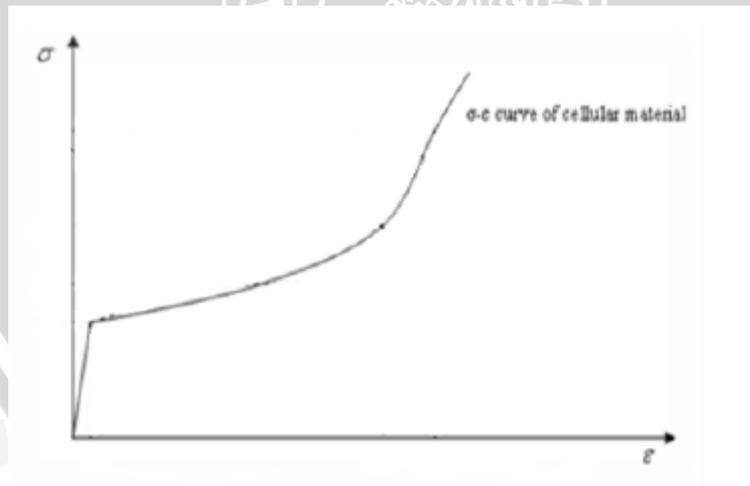
$$\text{Porositas} = \frac{M_s - D}{V} \times 100\% \quad (2-1)$$

Dengan : $V = \text{Exterior Volume}$
 $M_s = \text{Massa Basah (Saturated Mass)}$
 $D = \text{Massa Kering (Dry Mass)}$
 $V = M_s - S$
 $S = \text{Massa Tercelup (Suspended Mass)}$

Bata beton ringan yang merupakan bata beton berpori memiliki rongga-rongga udara yang dihasilkan dengan mengalirkan udara, pencampuran foam dan juga kombinasi dari keduanya. Porositas bata beton ringan tipe Cellular Lightweight Concrete dapat mencapai 80% dengan ukuran pori 50 – 500 μm , sedangkan bata beton ringan modern (AAC) memiliki porositas total 60 – 90 % dari total volume bahan (Narayan, Ramamurthy, 2000). Porositas terbuka pada *Cellular Concrete* berkisar kurang dari 30-40% tidak termasuk pori-pori tertutup yang tidak dapat dihitung secara konvensional (Abdul Rahman, dkk.,2010).

2.7. Modulus Elastisitas Bata Beton Ringan

Modulus elastisitas merupakan perbandingan tegangan dan regangan pada daerah elastis. Sebagai contoh akan dibahas grafik tegangan regangan untuk bahan berongga (*Cellular Material*) :



Gambar 2.3. Diagram Tegangan Regangan dari Material Berpori (Cellular Material), (Abdul Rachman, dkk., 2008)

Beberapa karakteristik tegangan regangan dari material berpori dapat dilihat berdasarkan grafik diatas, yang dibagi menjadi tiga zona (Abdul Rachman, dkk., 2008)

a. Perilaku elastis (*Elastic Regime*)

Perilaku elastis pada material berpori sangat berbeda dengan perilaku elastis pada baja.

b. Peningkatan kekuatan (*Plateau Regime*)

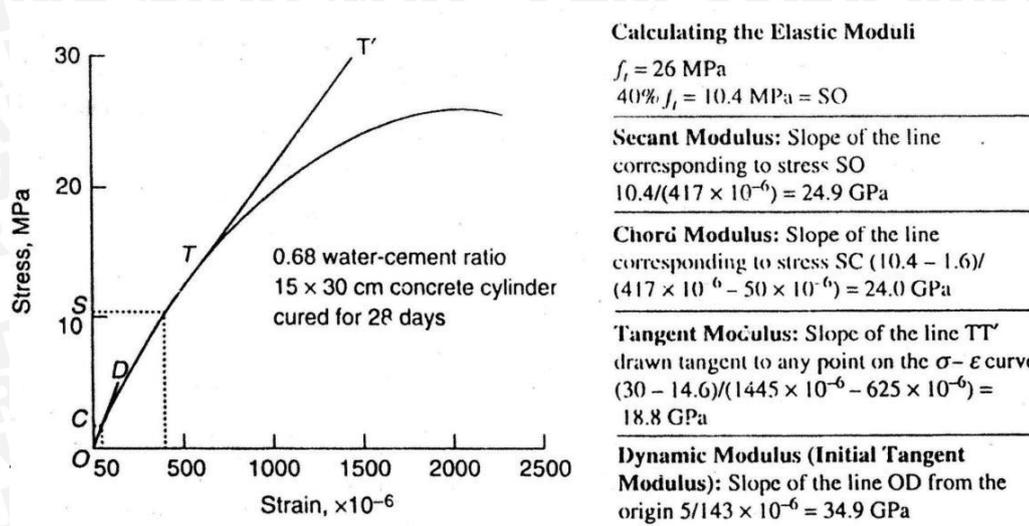
Tegangan yang terjadi meningkat seiring dengan meningkatnya nilai dari regangan yang terjadi pada suatu material

c. Pemadatan (*Densification Regime*)

Kurva yang menunjukkan kemampuan dari bahan untuk menahan kekuatan yang diterimanya sampai mencapai tegangan ultimate (maksimum).

Tolak ukur dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang sebagai akibat dari tegangan yang diberikan. Semakin tinggi nilai kuat tekan suatu bahan semakin tinggi pula nilai modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas bahan berubah-ubah menurut kekuatan dan tergantung pada umur bahan, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis semen dan ukuran dari benda uji (Wang dan Salmon, 1985).

Regangan (*strain*) adalah nilai perubahan relative relative terhadap panjang yang diperoleh dari besarnya perubahan panjang di bagi dengan panjang semula. Rasio tegangan terhadap regangan disebut modulus elastisitas. Karena regangan (*strain*) tidak memiliki satuan maka nilai modulus elastisitas dinyatakan dalam satuan yang sama dengan tegangan (*stress*) yaitu MPa atau kg/cm^2 .



Gambar 2.4. Contoh grafik yang menggambarkan perbedaan penggunaan pendekatan perilaku modulus elastisitas (P. Kumar Mehta dan Paulo J. M. Monteiro, 1993)

2.8. Penelitian Terdahulu

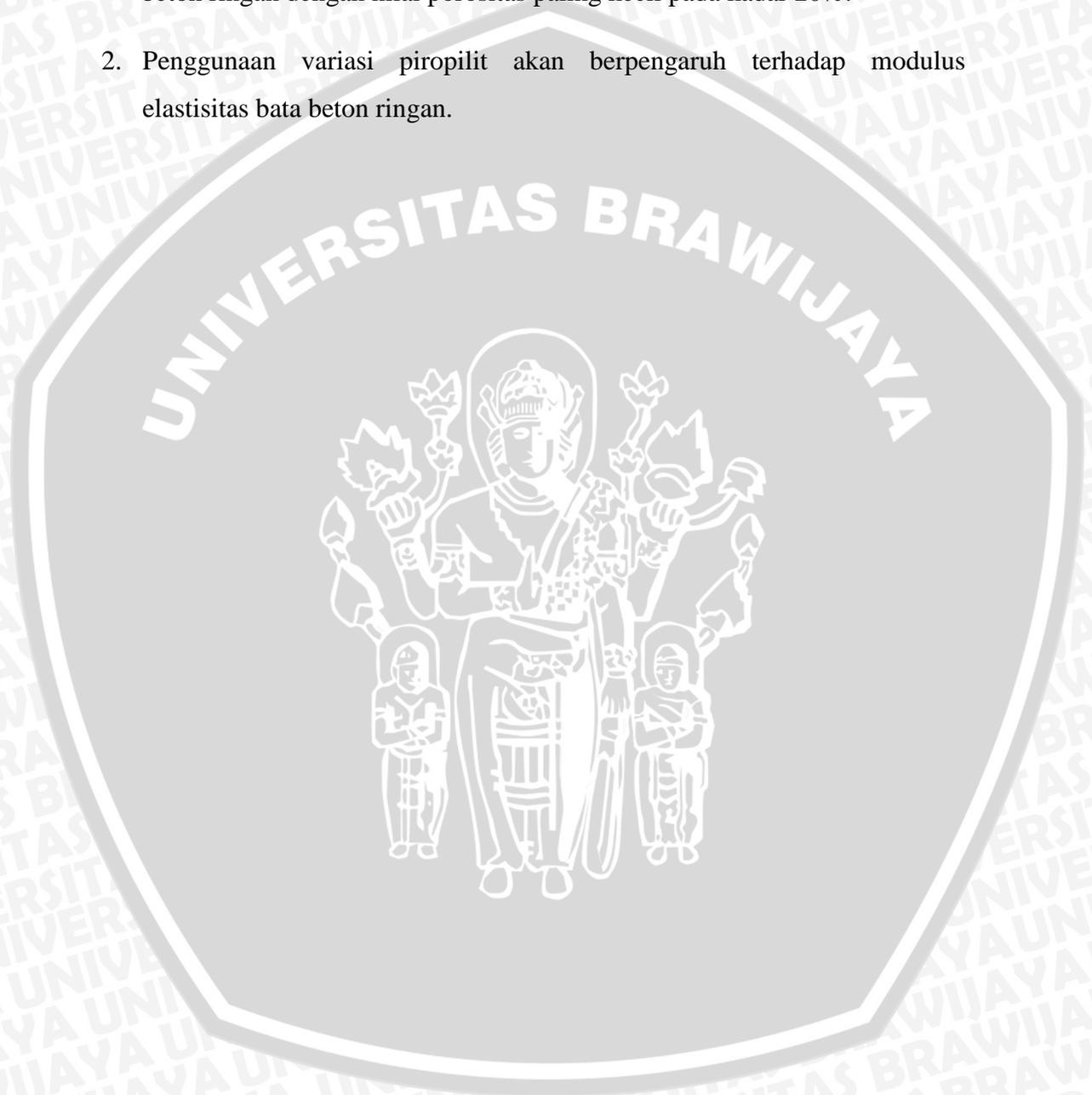
Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan kembali hal-hal baik mengenai bata ringan dan penggunaan *piropilit* untuk bahan bangunan, adapun penelitian terdahulu yang dipelajari adalah :

- Subari dan Abdul Rachman, (2008). Pembuatan Bata ringan untuk Diterapkan di IKM Bahan Bangunan
- Zulhelmi, (2010). Pembuatan dan karakterisasi bata berpori dengan agregat batu apung (pumice) Sebagai Filter gas buang kendaraan.
- Satriyo, (2011). Pengaruh Penggunaan Piropilit dan Variasi Jenis Semen pada Porositas Paving, didapatkan porositas minimum pada kadar 20%.
- Yanuar, (2012). Pengaruh Penggunaan Piropilit dan Variasi Jenis Semen Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Batako, didapatkan porositas minimum pada kadar 20%.
- Novianto, (2012). Pengaruh Variasi Penggunaan Piropilit dan Jenis Semen Terhadap Porositas dan Modulus Elastisitas Beton. Penambahan Piropilit memberikan pengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

2.9. Hipotesis

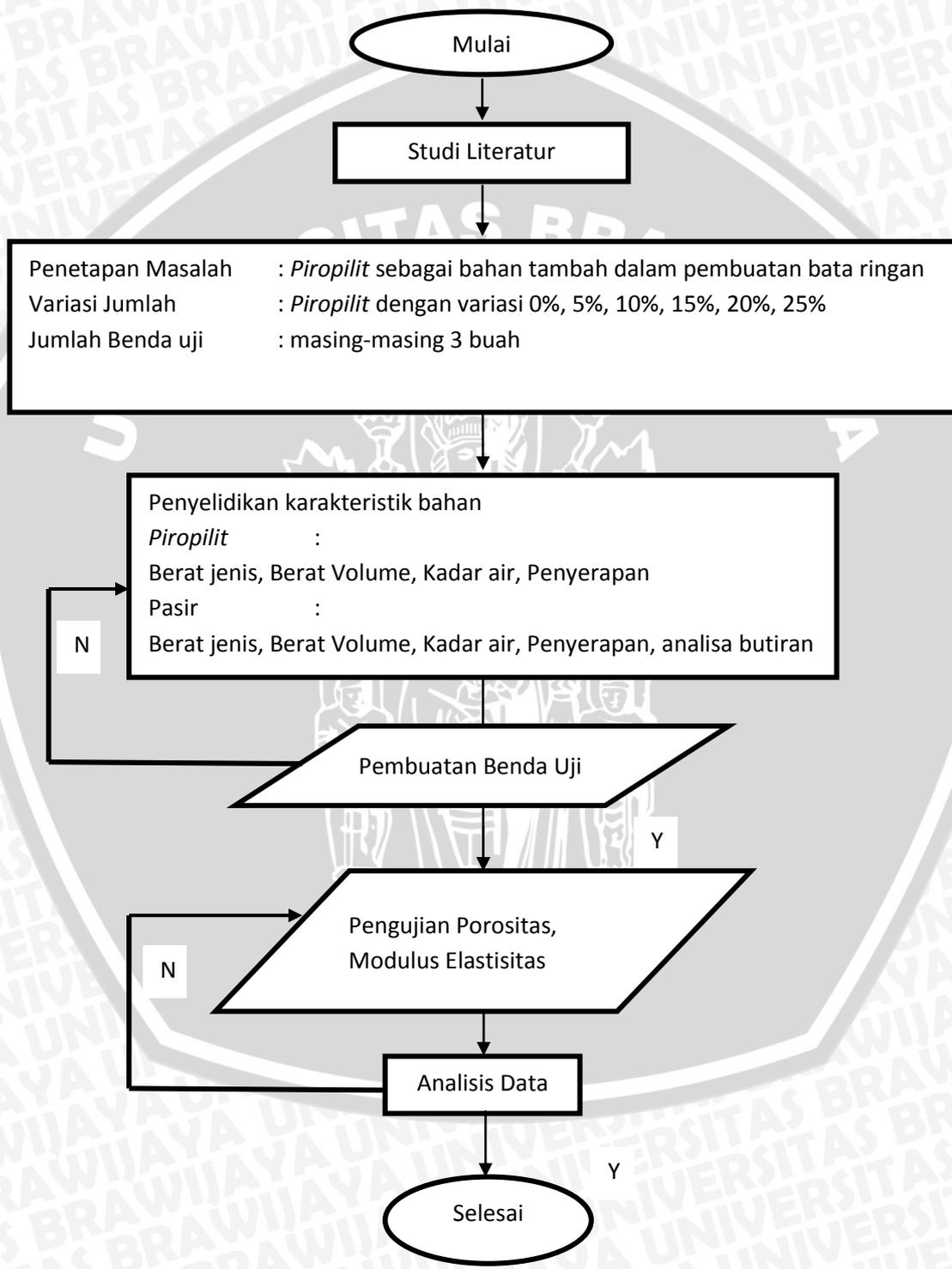
Beberapa hipotesa yang akan dibuktikan dalam penelitian disini adalah:

1. Penggunaan piropilit akan memiliki pengaruh terhadap porositas bata beton ringan dengan nilai porositas paling kecil pada kadar 20%.
2. Penggunaan variasi piropilit akan berpengaruh terhadap modulus elastisitas bata beton ringan.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Pengerjaan



3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Januari - Juli 2013

Tempat : Pembuatan benda uji dilakukan di pabrik pembuatan Bata Ringan PT. Banon Con Indonseia, Jalan raya Semampir no 94, Desa Sedati, Juanda, Sidoarjo, Jawa Timur. Pengujian porositas dan modulus elastisitas dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.3. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terukur adalah :

- a. Variabel Bebas :
Presentase campuran *piropilit* 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dari berat semen.
- b. Variabel tak Bebas :
 - Karakteristik bahan *piropilit* dengan penyerapan sebesar 19,38 %
 - Penggunaan Foaming Agent sebesar 0,5% dari jumlah air total
 - Porositas bata ringan pada umur 28 hari.
 - Modulus Elastisitas bata ringan pada umur 28 hari.

3.4. Identifikasi Benda Uji

Dalam penelitian ini akan dilakukan penambahan (additif) bahan *piropilit* ke dalam campuran bahan pembuat bata ringan sejumlah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25. Persentase tersebut berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai *piropilit* sebagai bahan tambah (additif) ke dalam beton, yang mampu meningkatkan kekuatan beton dengan penambahan *piropilit* sebesar 25% (Prasetya, 2012)

Maka persentase penggunaan diambil seperti diatas dan dengan jumlah benda uji sebesar 3 buah berukuran 60 x 20 x 10 cm setiap persentase penggunaan tambahan bahan *piropilit*, dan variasi jumlah semen sejumlah yang sama. Maka total dari benda uji adalah sejumlah 18 buah.

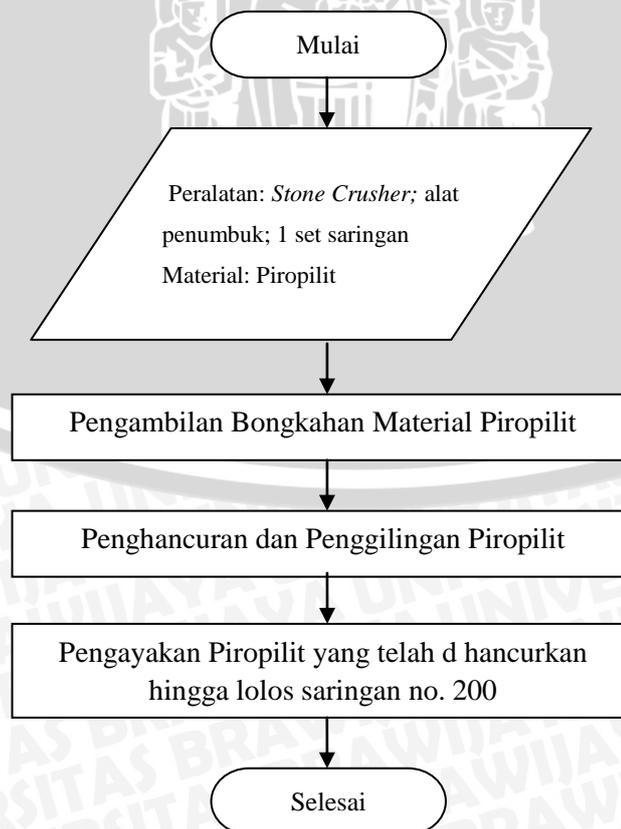
Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji

Pengujian Porositas (hari)	Pengujian Modulus Elastisitas (hari)	Jumlah Benda Uji untuk Tiap Persentase <i>Piropilit</i> Sebagai Bahan Tambahan Bata Beton Ringan					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%
28	28	3	3	3	3	3	3

3.5. Analisa Bahan yang Digunakan

1. Semen : Jenis semen yang digunakan adalah Semen PC (Portland Cement) biasa yang merupakan semen tipe I
2. Pasir Lumajang : Pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang.
3. Piropilit : Piropilit yang digunakan merupakan piropilit yang berasal dari penambangan batuan piropilit di daerah Sumbermanjing, Malang Selatan. Batuan piropilit ini akan digunakan sebagai filler pada campuran bata ringan, yakni bahan piropilit harus lolos saringan no 200.

Diagram alir proses persiapan material piropilit sebagai berikut :



4. Foaming Agent : Foaming agent yang digunakan adalah Foaming agent yang diambil dari PT Banoncon Indonesia
5. Air : Air yang digunakan merupakan air suling biasa yang memiliki PH normal, tidak terlalu asam dan tidak terlalu basa. Suhu air yang digunakan adalah suhu air normal. Air yang digunakan adalah air PDAM Juanda.

3.6. Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan telah disesuaikan dengan SNI 03-2847-2002 dan pengujian bahan dasar meliputi pengujian *Piropilit*, dan pasir

1. Pengujian *Piropilit*

Pengujian material *piropilit* dilakukan di Laboratorium Struktur dan bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang yang meliputi pengujian mengenai karakteristik yang dimiliki bahan *piropilit* tersebut. Unsur-unsur pengujian meliputi : pengujian Berat jenis, ukuran butiran, berat volume, dan kadar air

a. Pengujian Berat jenis dan Penyerapan

Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram
- Piknometer dengan kapasitas 500 gram
- Kerucut terpancung dengan diameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm, dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal ≥ 0.8 mm.
- Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram dan diameter (25 ± 3) mm.
- Saringan no.200 (0.075 mm)
- Oven Pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}C$

b. Pengujian kadar air

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Talam besi untuk wadah bahan

- Oven Pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$
- Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram

2. Pengujian Pasir

Pengujian material pasir Lumajang yang didapatkan dari PT Banoncon Indonesia dilakukan di Laboratorium Struktur dan bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang yang meliputi pengujian mengenai karakteristik yang dimiliki oleh pasir kuarsa tersebut. Unsur-unsur pengujian meliputi : pengujian Berat jenis, ukuran butiran, berat volume, dan kadar air

a. Pengujian Berat jenis dan Penyerapan

Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram.
- Piknometer dengan kapasitas 500 gram.
- Kerucut terpancung dengan diameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm, dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal ≥ 0.8 mm.
- Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram dan diameter (25 ± 3) mm.
- Saringan no.200 (0.075 mm)
- Oven Pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}$

b. Pengujian kadar air

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

c. Pengujian Gradasi pasir Lumajang

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 2 % terhadap benda uji.
- Satu set saringan : 4,75 mm (no 4); 2,36 mm (no 8); 1,18 mm (no 16); 0,6 mm (no 30); 0,3 mm (no 50); 0,15 mm (no 100); 0,075 mm (no 200); pan.
- Talam-talam

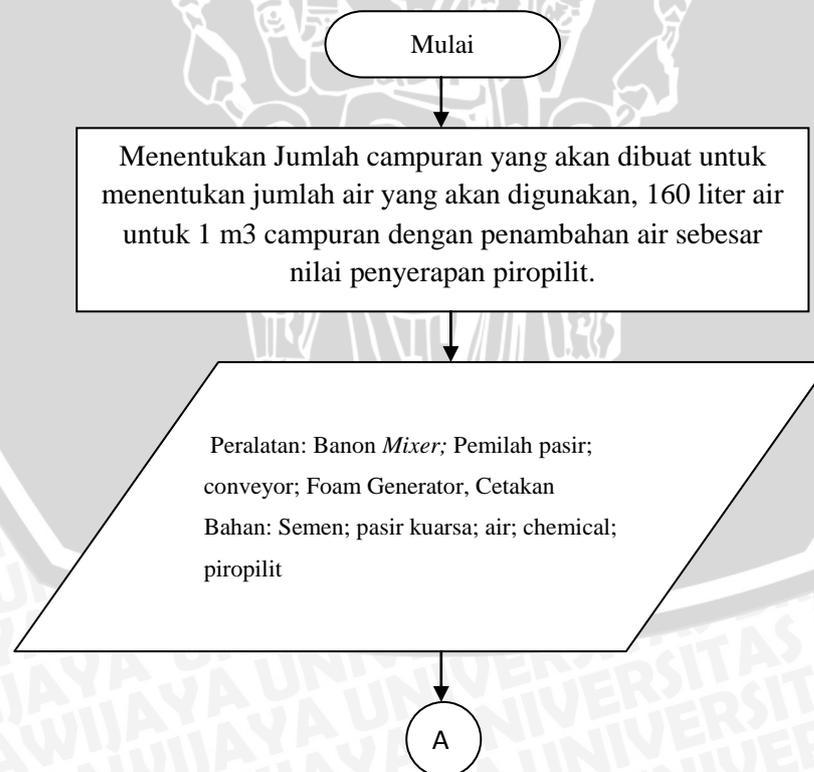
3.7. Pembuatan Benda Uji

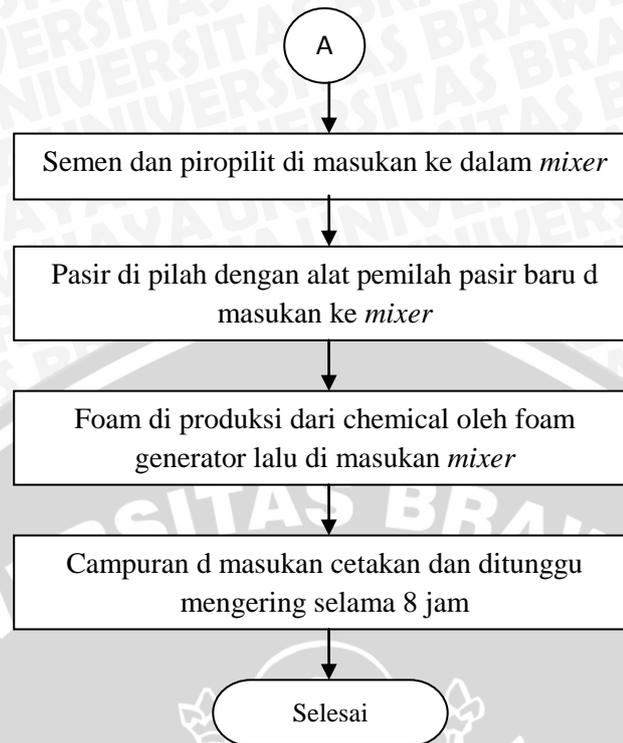
Merupakan proses pencampuran bahan-bahan tersebut menjadi suatu adonan bahan pembuat bata ringan. *Piropilit* ditambahkan kedalam campuran setelah menakar dan menimbang persen *piropilit* terhadap berat total campuran untuk satu benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan di pabrik pembuatan bata ringan Banoncon di Sidoarjo Jawa Timur. Dengan perbandingan bahan yang digunakan disajikan pada tabel 3.2:

Tabel 3.2. Perbandingan Bahan yang Digunakan

Bahan	Komposisi per m ³
Semen	225 Kg
Pasir	562.5 Kg
Chemical	0,8 lter
Air	160 kg

Diagram alir pembuatan benda uji sebagai berikut :





3.8. Pengujian Porositas

Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

- i. Menyiapkan benda uji lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam.
- ii. Benda uji dikeluarkan dari oven dan diangin-anginkan pada suhu kamar (25°C) kemudian ditimbang sampai benar-benar nilai berat bata ringan tidak berubah-ubah (tetap) sehingga didapatkan berat benda uji kondisi kering.
- iii. Setelah itu benda uji dimasukkan ke dalam bak yang berisi air sampai terendam seluruhnya. Perendaman benda uji dilakukan selama 24 jam. Setelah perendaman selama 24 jam kemudian ditimbang dalam air dan didapatkan berat benda uji.
- iv. Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap permukaannya untuk mendapatkan kondisi SSD kemudian sampel ditimbang dan didapatkan berat benda uji kondisi SSD setelah perendaman.

Untuk mengetahui nilai porositas dapat diukur dengan perbandingan anatar berat air dan udara yang berada dalam sampel yang sudah jenuh air dengan berat sampel yang sudah kering. Secara matematis hal tersebut adapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{M_s - D}{V} \times 100\% \quad (3-1)$$

Dengan :
 V = Exterior Volume
 M_s = Massa Basah (*Saturated Mass*)
 D = Massa Kering (*Dry Mass*)
 V = $M_s - S$
 S = Massa Tercelup (*Suspended Mass*)

3.9. Pengujian Modulus Elastisitas

Adapun langkah-langkah pengujian modulus elastisitas bata beton ringan sebagai berikut:

- i. Benda uji yang sudah di rawat sampai hari pengujian diambil dari tempat perawatan.
- ii. Benda uji masing-masing diberi tanda/nomor agar tidak saling tertukar..
- iii. Benda uji ditimbang dan dicatat.
- iv. Untuk benda uji yang tidak rata dilakukan *capping* terlebih dahulu.
- v. Benda uji di letakan pada alat dan dipasang papan kemudian dipasangkan dial.
- vi. Atur dial pada alat dengan cara memutar dampai menunjukkan angka 0 (nol).
- vii. Lakukan penekanan sesuai dengan prosedur yang disamakan dengan pengujian kuat tekan untuk batako berdasarkan SNI 03-0348-1989-7 karena pengujian kuat tekan untuk bata ringan belum banyak digunakan.
- viii. Beban pada alat mesin tekan dicatat setiap kenaikan $(P) = 4$ KN. Jika sudah mencapai beban maksimum (P_{max}) , hentikan pembebanan.
- ix. Dibuat grafik hubungan tegangan – regangan.

Modulus elastisitas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \quad (3-2)$$

Pada penelitian ini perhitungan modulus elastisitas yang digunakan adalah berdasarkan modulus tangent dari kurva tegangan – regangan.

3.10. Metode Analisis

Setelah data-data tersebut diperoleh, maka dilanjutkan dengan analisa secara statistik yang bertujuan mengetahui bagaimana pengaruh penambahan variasi *piropilit* terhadap porositas dan modulus elastisitas bata ringan. Adapun proses analisisnya sebagai berikut :

a. Uji Hipotesa

Analisis variansi (ANOVA) yang digunakan adalah analisis variansi satu arah (*one way-ANOVA*) dengan kontrol perlakuan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat tekan pada kondisi presentase *piropilit* pada campuran bahan pembuat bata ringan.

Bila kita menganggap perlakuan kedua sebagai perlakuan 1,2,3...dst dengan nilai rata-rata $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots$ dst sedangkan tanpa campuran asam dengan nilai rata-rata = μ_0 sebagai kontrol

Maka hipotesis dapat ditulis sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3, \dots, \text{dst} \quad (3-3)$$

$$H_1 : \mu_0 < \mu_1 < \mu_2 < \mu_3, \dots, \text{dst}$$

Uji ANOVA yang dipergunakan untuk menguji hipotesis nol lazim juga disebut dengan uji F. Harga F diperoleh dari rata-rata jumlah kuadrat anatara kelompok yang dibagi dengan rata-rata jumlah kuadrat dalam kelompok

Perumusan secara statistik dapat dinyatakan sebagai berikut :

(3-4)

$$Z = \mu + \beta_j + \beta_{ij} + \zeta_{ij}$$

Dengan : μ : Nilai rata-rata

β_j : Pengaruh kadar *piropilit* ke i

β_{ij} : Pengaruh varian

ζ_{ij} : Kesalahan

Hipotesis statistik yang diuji adalah :

$$H_{oA} : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$$

H_{1A} : Paling sedikit satu pasang $\mu\alpha_i$ yang tidak sama $\neq 0$

$$H_{oB} : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_i$$

H_{1B} : Paling sedikit satu pasang $\mu\beta_i$ yang tidak sama $\neq 0$

Dengan :

H_{oA} : Hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh prosentase *piropilit* terhadap parameter kuat porositas bata

H_{1A} : Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari prosentase *piropilit* terhadap parameter porositas bata ringan

H_{oB} : Hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh prosentase *piropilit* terhadap parameter modulus elastisitas bata ringan

H_{1B} : Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari prosentase *piropilit* terhadap parameter modulus elastisitas bata ringan

Indikator diterima atau tidaknya hipotesis yakni apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_o ditolak, begitu pula sebaliknya, apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_o diterima. Selain itu dapat dilihat dari taraf signifikansi datanya, apabila signifikansi_{hitung} > 0.05 maka terima H_o . Berlaku pula sebaliknya apabila signifikansi_{hitung} < 0.05 maka tolak H_o

b. Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan terutama untuk tujuan peramalan, yaitu untuk mengetahui hubungan di antara kedua variabel numerik atau lebih. Dalam analisis regresi akan dikembangkan suatu persamaan regresi dengan mencari nilai variabel terikat dari variabel bebas yang diketahui. Dalam penelitian ini, variabel-variabel penyusun persamaan regresi terdiri atas satu variabel terikat dan satu variabel bebas sehingga dipilih persamaan regresi dengan rumus umum sebagai berikut :

$$Z_i = b_0 + b_1x + \dots + b_nx^{n-1} \quad (3-5)$$

Dengan :

Z : Nilai-nilai yang diukur (variabel respon)

X : Variasi kadar *piropilit* (Variabel penjelas)

b_0 , dan b_1 : parameter yang dicari



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Agregat Halus

4.1.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Data didapatkan dari hasil pengujian agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, hasil yang diperoleh di hitung dengan rumus sebagai berikut:

- Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) (4-1)

$$= B_k / (B + B_{ssd} - B_t)$$

- Berat Jenis SSD (*Bulk Specific Gravity SSD*) (4-2)

$$= B_{ssd} / (B + B_{ssd} - B_t)$$

- Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*) (4-3)

$$= B_k / (B + B_k - B_t)$$

- Penyerapan (*Absorbtion*) (4-4)

$$= [(B_{ssd} - B_k) / B_k] \times 100\%$$

Tabel 4.1. Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Berat SSD	Berat Kering Oven	Berat Agregat+ Piknometer+Air	Berat Piknometer+Air
B_{ssd} (gram)	B_k (gram)	B_t (gram)	B (gram)
500	449	961,4	694

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian	Hasil
Berat Jenis	1,93035
Berat Jenis SSD	2,14961
Berat Jenis Semu	2,47247
Penyerapan (%)	11,35857

4.1.2. Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Data didapatkan dari hasil pengujian kadar air agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, hasil yang diperoleh di hitung sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{(\text{Berat talam} + \text{Contoh basah}) - (\text{Berat talam} + \text{Contoh Kering})}{(\text{Berat talam} + \text{Contoh kering}) - \text{Berat talam}} \times 100\% \quad (4-5)$$

Tabel 4.3 Data Pengujian Kadar Air Agregat Halus

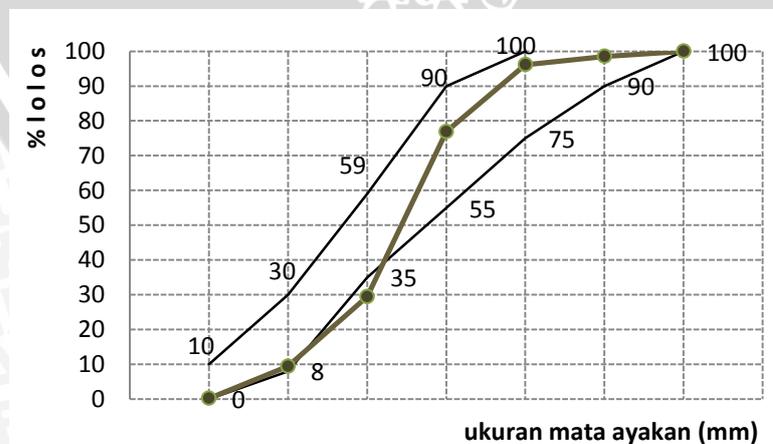
Berat Talam + Contoh Basah	Berat Talam + Contoh Kering	Berat Talam
(gram)	(gram)	(gram)
125	122	34,6

Perhitungan kadar air agregat halus:

$$\text{Kadar Air} = \frac{(125) - (122)}{(122) - 34,6} \times 100\% = 3,43249\%$$

4.1.3. Pengujian Gradasi Agregat Halus

Gradasi pasir Lumajang sebagai agregat halus digolongkan berdasarkan pembagian daerah pasir berdasarkan ukuran lolos saringan berdasarkan standart yang ada yakni berdasarkan ASTM C 33-90. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pasir yang digunakan termasuk ke dalam Zona 2 dan memiliki modulus kehalusan sebesar 3,8935.



Gambar 4.1. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Lumajang)

4.2. Pengujian Piropilit

Piropilit yang digunakan dalam percobaan ini berasal dari malang selatan, dan ukuran butir *piropilit* yang digunakan adalah sebagai *filler*, yakni bahan yang lolos saringan nomor 200.

4.2.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Piropilit

Data didapatkan dari hasil pengujian piropilit yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, hasil yang diperoleh di hitung dengan persamaan (4-1), (4-2), (4-3) dan (4-4) sebagai berikut:

Tabel 4.4. Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Piropilit

Berat SSD	Berat Kering Oven	Berat Agregat+ Piknometer+Air	Berat Piknometer+Air
B_{ssd} (gram)	B_k (gram)	B_t (gram)	B (gram)
500	418,8	955,6	694

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Piropilit

Pengujian	Hasil
Berat Jenis	1,75671
Berat Jenis SSD	2,09732
Berat Jenis Semu	2,66412
Penyerapan (%)	19,38873

4.2.2. Pengujian Kadar Air Piropilit

Kadar air agregat halus di hitung dengan rumus (4-5) sebagai berikut:

Tabel 4.6. Data Pengujian Kadar Air Piropilit

Berat Talam + Contoh Basah	Berat Talam + Contoh Kering	Berat Talam
(gram)	(gram)	(gram)
48,8	47,4	6

$$\text{Kadar Air} = \frac{(48,8) - (47,4)}{(47,4) - 6} \times 100\% = 3,381643\%$$

4.3. Komposisi Bahan

Dari penelitian pendahuluan didapatkan komposisi yang digunakan dalam pembuatan benda uji. Komposisi bahan untuk bata beton ringan normal yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7. Komposisi Bahan

Penggunaan jumlah FAS sebesar			0.415
no	Bahan	Jumlah Per m ³	Satuan
1	Semen	225,00	kg
2	Pasir lumajang	562,50	kg
3	Foaming Agent	0,80	liter
4	Air	159,88	kg

4.4 Komposisi Pencampuran Piropilit

Piropilit menggunakan ukuran butiran *filler* sehingga digunakan piropilit yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemeriksaan penyerapan piropilit diketahui bahwa piropilit yang digunakan memiliki nilai penyerapan sebesar 19,39%, sehingga dalam proses pencampuran piropilit perlu ditambahkan sejumlah air untuk masing-masing variasi sebagai berikut:

Tabel 4.8. Komposisi Pencampuran Piropilit

Variasi Piropilit	Jumlah Piropilit Per m ³	Penambahan Air Per m ³
5%	11,25 kg	2,18 kg
10%	22,50 kg	4,36 kg
15%	33,75 kg	6,54 kg
20%	45,00 kg	8,72 kg
25%	56,25 kg	10,91 kg

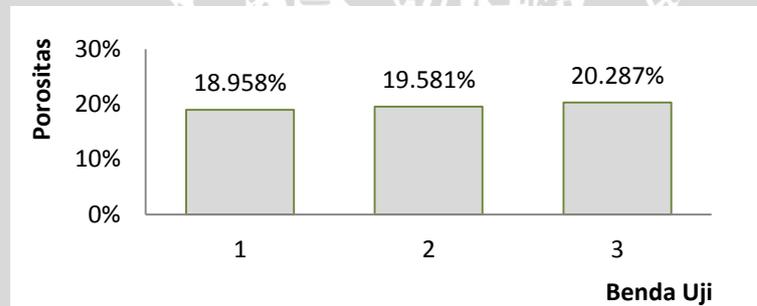
4.5. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari dengan pertimbangan ketika umur 28 hari maka proses pengikatan semen dengan agregat didalamnya telah selesai. Data didapatkan dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Nilai porositas dihitung dengan persamaan (3-1) dan disajikan pada tabel 4.9 sebagai berikut:

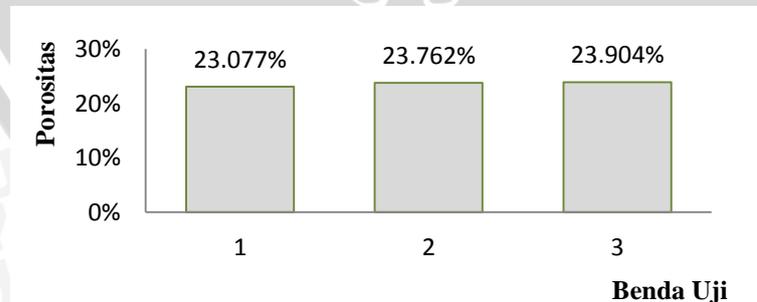
Tabel 4.9. Tabel Hasil Perhitungan Porositas Bata Ringan

Sampel	Porositas (%)				
	Variasi Kadar Piropilit				
	0%	10%	15%	20%	25%
1	18,958%	23,077%	18,861%	18,286%	16,725%
2	19,581%	23,762%	21,097%	19,162%	17,185%
3	20,287%	23,904%	21,468%	19,342%	17,987%

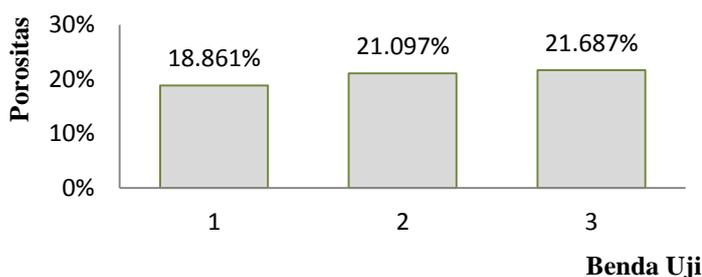
Hasil perhitungan porositas disajikan pada diagram dibawah ini:



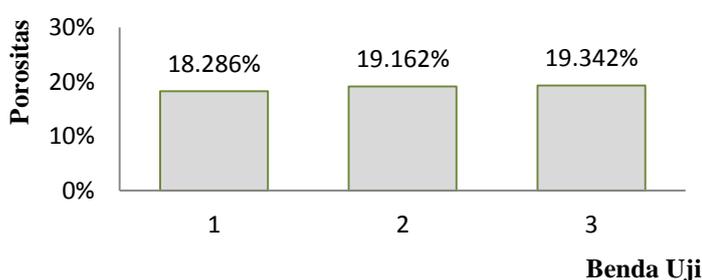
Gambar 4.2. Hasil Uji Porositas Benda Uji Normal (0% Kadar Piropilit)



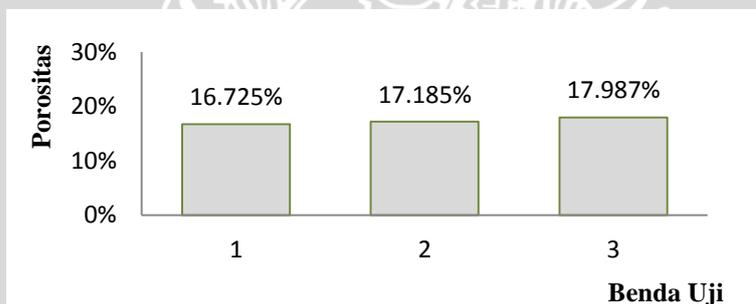
Gambar 4.3. Hasil Uji Porositas Benda Uji 10% Kadar Piropilit



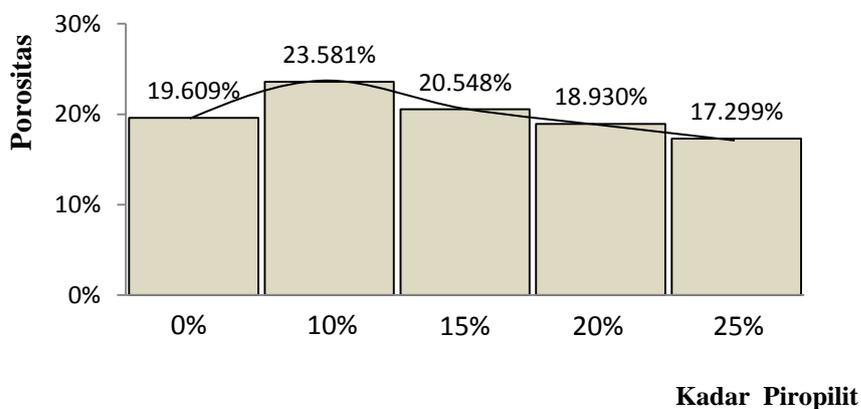
Gambar 4.4. Hasil Uji Porositas Benda Uji 15% Kadar Piropilit



Gambar 4.5. Hasil Uji Porositas Benda Uji 20% Kadar Piropilit



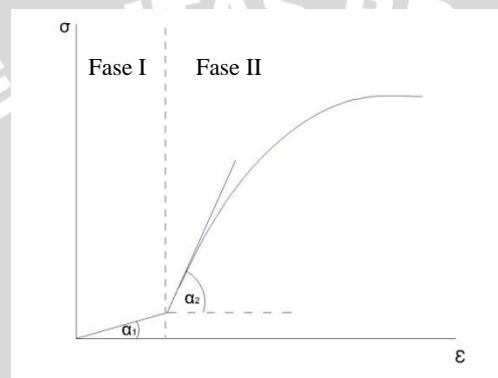
Gambar 4.6. Hasil Uji Porositas Benda Uji 25% Kadar Piropilit



Gambar 4.7. Hasil Uji Porositas Rata-Rata Tiap Variasi

4.6. Pengujian Modulus Elastisitas

Setelah data yang dimiliki yakni data kuat tekan, dan data penurunan dari benda uji yang dicatat melalui dial yang dipasang pada pelat didapatkan nilai regangan. Dimana nilai ΔL merupakan data penurunan benda uji akibat dibebani saat pengujian Compression Test, kemudian data tersebut dibagi dengan panjang mula-mula sehingga nilai regangan dapat dimiliki. Diagram tegangan-regangan disajikan pada lampiran 7. Secara garis besar diagram-tegangan yang didapat dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:



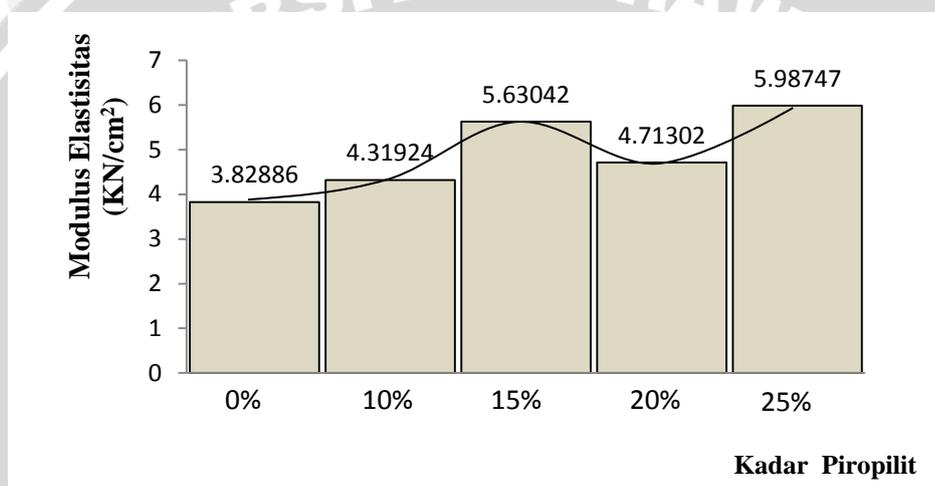
Gambar 4.8. Diagram Tegangan Regangan Hasil Penelitian

Dari diagram tegangan dapat dilihat adanya perubahan perilaku yakni pada fase linier (fase I), dimana pada fase tersebut benda uji mengalami pemampatan dan terjadi pengurangan rongga-rongga yang terdapat di dalam benda uji yang disebut fase pemampatan. Kemudian pada fase selanjutnya (fase II) diagram tegangan memiliki perilaku non-linier yang merupakan fase elastis (*elastic regime*). Sedangkan fase peningkatan kekuatan (*plateau regime*) pada diagram ini tidak tampak karena pada fase tersebut benda uji telah mengalami kegagalan sehingga sulit untuk dilakukan pengamatan tegangan-rengannya. Modulus elastisitas dihitung pada fase tersebut dengan menggunakan modulus tangen awal dari kemiringan pada titik asal kurva fase elastis. Hasil perhitungan modulus elastisitas disajikan pada tabel 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Bata Ringan

Sampel	Modulus Elastisitas (KN/cm ²)				
	Variasi Kadar Piropilit				
	0%	10%	15%	20%	25%
1	3,604	3,104	5,135	4,004	5,612
2	3,627	4,890	5,815	4,802	6,034
3	4,256	4,963	5,941	5,333	6,914

Hasil perhitungan modulus elastisitas rata-rata di sajikan pada gambar 4.9 sebagai berikut:



Gambar 4.9. Hasil Uji Modulus Elastisitas Rata-Rata Tiap Variasi

4.7 Pembahasan

4.7.1 Analisis ANOVA

Telah diuraikan sebelumnya dalam hipotesis penelitian bahwa penambahan piropilit pada bata ringan akan memberikan pengaruh terhadap porositas bata ringan. Hipotesis yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari kadar penambahan piropilit terhadap porositas bata beton ringan.

H_{1A} : Ada pengaruh yang signifikan dari kadar penambahan piropilit terhadap porositas bata beton ringan.

H_{0B} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari kadar penambahan piropilit terhadap modulus elastisitas bata beton ringan.

H_{1B} : Ada pengaruh yang signifikan dari kadar penambahan piropilit terhadap modulus elastisitas bata beton ringan.

Kriteria pengujian:

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$, maka menolak H_0 dan menerima H_1

Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka menolak H_1 dan menerima H_0

Untuk mengetahui perbedaan rerata dari dua populasi atau lebih, dimana variabel ini tak bebas berupa data interval dan variabel bebas berupa nominal digunakan metode ANOVA satu arah dan hasil pengujian disajikan oleh nilai F_{hitung} dengan tingkat signifikansi ($\alpha = 0,05$). Jika ada perbedaan yang berarti antara dua variabel, maka hasil penelitian mendukung hipotesis yang diajukan, sebaliknya jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antar dua variabel, menunjukkan hipotesis yang diajukan ditolak.

Analisis varian satu arah untuk porositas dihitung sebagai berikut:

a. Data

Tingkat Signifikansi (α) = 5%

Jumlah Variasi (k) = 5 Variasi

Jumlah Sampel (n) = 3 Sampel

Menggunakan Tabel Fisher, dengan nilai derajat bebas (db) :

$db_1 = k - 1 = 4$

$db_2 = k \times (n - 1) = 10$

$F_{tabel} = F_{(db_1, db_2)} = F_{(4, 10)} = 3,48$

b. Perhitungan

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JK_P) :

$$\begin{aligned}
 JK_p &= \sum n(\bar{A}_i - \bar{A})^2 \\
 &= 3(0,000014 + 0,001298 + 0,000025 + 0,000110 + 0,000718) \\
 &= 0,006492
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KT_P) :

$$KT_p = \frac{JK_p}{db_1} = \frac{0,006492}{4} = 0,001623$$

Jumlah Kuadrat Galat (JK_G) :

$$\begin{aligned}
 JK_G &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (A_{ij} - \bar{A}_i)^2 \\
 &= 0,000088 + 0,000039 + 0,000398 + 0,000064 + 0,000082 \\
 &= 0,000671
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KT_G) :

$$KT_G = \frac{JK_G}{db_2} = \frac{0,000671}{10} = 0,0000671$$

Nilai F_{hitung} :

$$F_{hitung} = \frac{KT_p}{KT_G} = \frac{0,007231}{0,0000671} = 24,197852 \approx 24,20$$

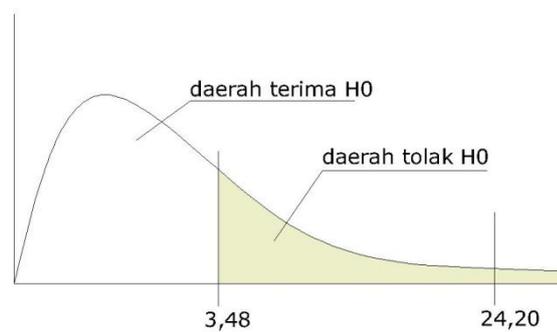
F_{hitung} > F_{tabel}24,20 > 4,07 maka H_{1A} diterima dan H_{0A} ditolak

Tabel 4.11 Tabel Perhitungan ANOVA Porositas Bata Ringan

Variasi Piropilit	Sampel (Ai)			\bar{A}_i	\bar{A}	$(\bar{A}_i - \bar{A})^2$	$\sum(A_{ij} - \bar{A}_i)^2$
	1	2	3				
Normal	0,18958	0,19581	0,20287	0,19609	0,19979	0,000014	0,000088
10%	0,23077	0,23762	0,23904	0,23581		0,001298	0,000039
15%	0,18861	0,21097	0,21468	0,20475		0,000025	0,000398
20%	0,18286	0,19162	0,19342	0,18930		0,000110	0,000064
25%	0,16725	0,17185	0,17987	0,17299		0,000718	0,000082
Total						0,002164	0,000804

JK perlakuan	0,006492
JK galat	0,000671
KT perlakuan	0,001623
KT galat	0,000067

F_{tabel}		F_{hitung}
3,48	<	24,20



Keterangan :

\bar{A}_i = Jumlah rata-rata tiap baris

\bar{A} = Jumlah rata-rata total

$\sum(A_{ij} - \bar{A}_i)^2$ = Jumlah kuadrat

Dari hasil analisis ANOVA satu arah tersebut diatas dapat diketahui bahwa hasil hipotesis H_0 ditolak maka variasi penggunaan piropilit pada bata ringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap porositas bata ringan.

Analisis varian satu arah untuk modulus elastisitas bata beton ringan dihitung sebagai berikut:

a. Data

Tingkat Signifikasi (α) = 5%

Jumlah Variasi (k) = 5 Variasi

$$\text{Jumlah Sampel (n)} = 3 \text{ Sampel}$$

Menggunakan Tabel Fisher, dengan nilai derajat bebas (db) :

$$db_1 = k - 1 = 4$$

$$db_2 = k \times (n - 1) = 10$$

$$F_{\text{tabel}} = F_{(db_1, db_2)} = F_{(5, 24)} = 3,48$$

b. Perhitungan

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JK_p) :

$$\begin{aligned} JK_p &= \sum n(\bar{A}_i - \bar{A})^2 \\ &= 3(1,22456 + 0,38020 + 0,48265 + 0,04955 + 1,56517) = 11,1064 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KT_p) :

$$KT_p = \frac{JK_p}{db_1} = \frac{11,1064}{4} = 2,7766$$

Jumlah Kuadrat Galat (JK_G) :

$$\begin{aligned} JK_G &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (A_{ij} - \bar{A}_i)^2 \\ &= 0,27376 + 2,21700 + 0,37597 + 0,89500 + 0,88256 = 4,64430 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KT_G) :

$$KT_G = \frac{JK_G}{db_2} = \frac{4,6443}{10} = 0,46443$$

Nilai F_{hitung} :

$$F_{\text{hitung}} = \frac{KT_p}{KT_G} = \frac{2,7766}{0,46443} = 5,978515 \approx 5,98$$

$F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

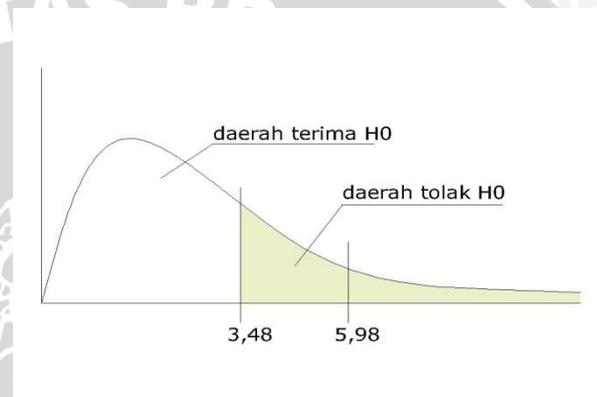
$5,98 > 3,48$ maka H_{1B} diterima dan H_{0B} ditolak

Tabel 4.12 Tabel Perhitungan ANOVA Modulus Elastisitas Bata Ringan

Variasi Piropilit	Sampel (Ai)			\bar{A}_i	\bar{A}	$(\bar{A}_i - \bar{A})^2$	$\sum(A_{ij} - \bar{A}_i)^2$
	1	2	3				
Normal	3,604	3,627	4,256	3,829	4,936	1,225	0,274
10%	3,104	4,890	4,963	4,319		0,380	2,217
15%	5,135	5,815	5,941	5,630		0,483	0,376
20%	4,004	4,802	5,333	4,713		0,050	0,895
25%	5,612	6,034	6,914	6,187		1,565	0,883
Total						3,702	4,644

JK perlakuan	11,1064
JK galat	4,64430
KT perlakuan	2,77660
KT galat	0,46443

F_{tabel}	<	F_{hitung}
3,48		5,98



Keterangan :

\bar{A}_i = Jumlah rata-rata tiap baris

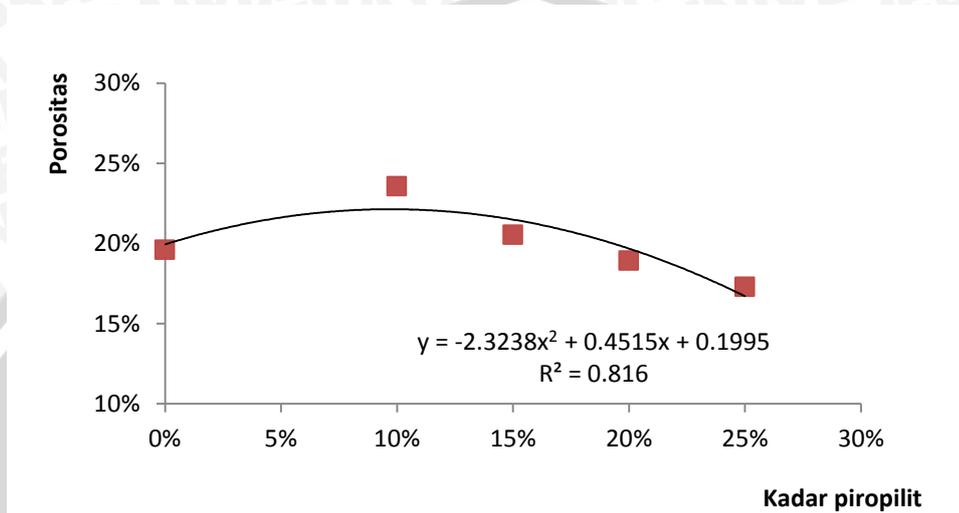
\bar{A} = Jumlah rata-rata total

$\sum(A_{ij} - \bar{A}_i)^2$ = Jumlah kuadrat

Dari hasil analisis ANOVA satu arah tersebut diatas dapat diketahui bahwa hasil hipotesis H_0 ditolak maka variasi penggunaan piropilit pada bata ringan memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas bata beton ringan.

4.7.2 Analisis Regresi

Untuk mengetahui pengaruh atau hubungan dari variabel bebas (x) dengan variabel terikat (y) digunakan analisis regresi polinomial dari persamaan (3-5) sebagai berikut:



Gambar 4.10. Hasil Regresi Porositas Rata-Rata Bata Ringan

Dari hasil analisa regresi untuk porositas bata ringan didapatkan persamaan regresi yang sesuai adalah $y = -2,323x^2 + 0,451x + 0,199$, dengan koefisien determinasi, $r^2 = 0,816$. Dapat dilihat dari hasil regresi nilai porositas mengalami peningkatan pada kadar 20% dan berangsur-angsur mengalami penurunan pada kadar 15%, 20% dan 25%.

Perhitungan nilai porositas optimum sebagai berikut:

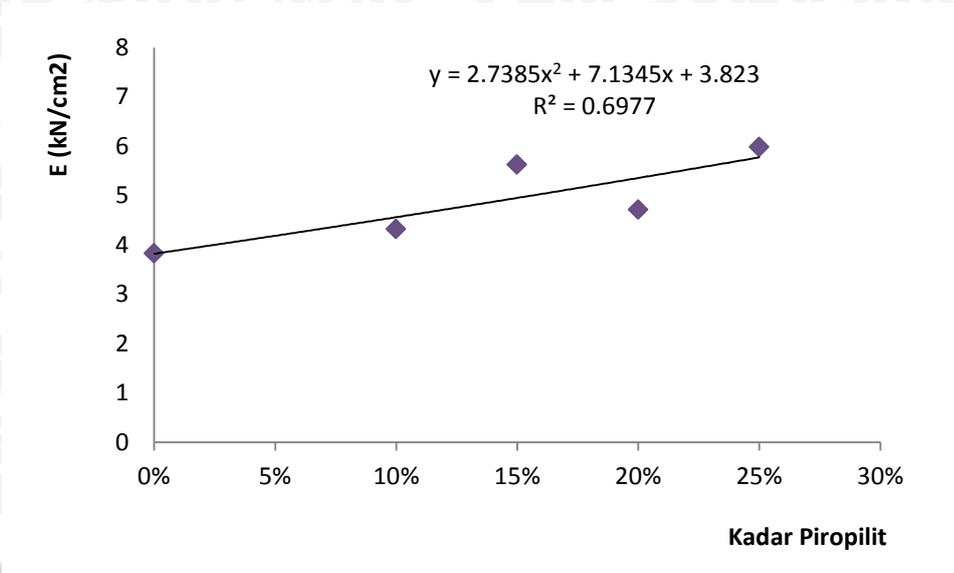
$$Y = -2,323x^2 + 0,451x + 0,199$$

$$dy/dx = -4,646x + 0,451$$

$$\text{Porositas optimum, } dy/dx = 0 \rightarrow x = 10,301\%$$

$$Y = -2,323(10,301\%)^2 + 0,451(10,301\%) + 0,199 = 22,081\%$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai porositas optimum sebesar 22,081% pada kadar penambahan piropilit 10,301%.



Gambar 4.11. Hasil Regresi Modulus Elastisitas Rata-Rata Bata Ringan

Dari hasil analisa regresi untuk modulus elastisitas bata ringan didapatkan persamaan $y = 2,738x^2 + 7,134x + 3,823$, dengan koefisien determinasi, $r^2 = 0,697$. Titik minimum dari hasil regresi terdapat pada batas kurva yaitu pada kadar 0% penambahan piropilit. Dari hasil regresi dapat diketahui penambahan piropilit pada bata ringan cenderung meningkatkan modulus elastisitas bata ringan.

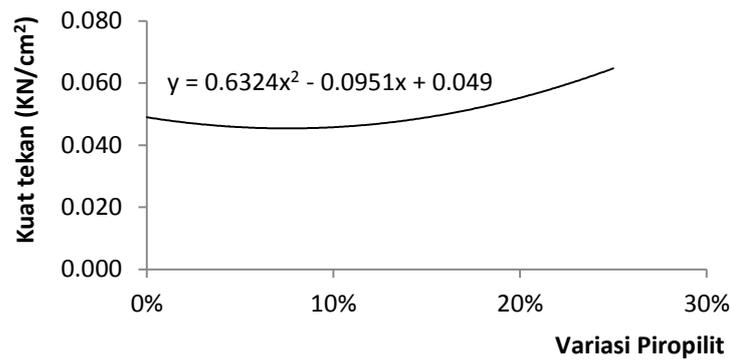
4.7.3 Pembahasan Hasil

Berdasarkan hasil analisis penambahan piropilit terhadap bata ringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap porositas maupun modulus elastisitas bata ringan. Bata ringan normal memiliki porositas rata-rata sebesar 19,609%. Porositas bata ringan berangsur-angsur mengalami perubahan porositas rata-rata pada penambahan 10%, 15%, 20% dan 25% piropilit dengan nilai porositas sebesar 23,581%, 20,548%, 18,930% dan 17,299%. Dari uji ANOVA satu arah dengan tingkat signifikansi 0,05 di dapatkan hasil F hitung = 24,20 lebih besar dari F tabel = 3,48 sehingga hipotesis H_0 dimana tidak terdapat pengaruh terhadap porositas bata ringan ditolak dan H_1 dimana terdapat pengaruh terhadap porositas bata ringan diterima. Hasil F hitung yang besar menunjukkan bahwa perbedaan variasi pencampuran piropilit berpengaruh signifikan terhadap porositas bata ringan. Nilai porositas terendah pada penelitian ini terdapat pada variasi penambahan piropilit 25% berbeda dari penelitian sebelumnya pada beton dan

batako dimana didapatkan hasil porositas terendah terdapat pada variasi 20%, hal ini dimungkinkan karena bata beton ringan memiliki lebih banyak rongga yang kemudian diisi oleh piropilit sehingga bata beton ringan masih dapat menjadi lebih padat pada kadar 25%.

Perhitungan modulus elastisitas yang digunakan ditentukan menggunakan modulus tangen awal dari diagram tegangan-regangan pada titik asal fase elastis dari kurva. Penggunaan modulus tangen dipilih karena sifat bahan yang berubah-ubah pada diagram tegangan-regangannya. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil modulus elastisitas rata-rata pada bata ringan sebesar $3,82886 \text{ KN/cm}^2$. Pada penambahan 10%, 15%, 20% dan 25% piropilit nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar $4,31924 \text{ KN/cm}^2$, $5,62042 \text{ KN/cm}^2$, $4,71302 \text{ KN/cm}^2$ dan $5,98747 \text{ KN/cm}^2$. Nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari pengujian ini lebih kecil dari nilai yang berada dipasaran dikarenakan oleh cara pengujiannya berbeda. Pada pengujian dipasaran digunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang merupakan standar untuk pengujian beton berongga. Sedangkan disini bata ringan dianggap memiliki fungsi sebagai pasangan bata untuk dinding (*Masonry*) dan untuk standar pengujiannya dianalogikan sebagai batako SNI 03-0348-1989-7. Dari hasil uji ANOVA satu arah dengan tingkat signifikansi 5% didapatkan hasil F hitung = 5,98 lebih besar dari F tabel = 3,48 sehingga hipotesis yang diterima merupakan H_1 yaitu penambahan piropilit memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas bata ringan.

Hasil penelitian sebelumnya oleh Rony Soewignyo (2013) tentang kuat tekan bata ringan dengan variasi penambahan piropilit, didapatkan hasil regresi sebagai berikut:



Gambar 4.12. Hasil Regresi Kuat Tekan Rata-Rata Bata Ringan Penelitian Terdahulu (Soewignyo, 2013)

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan hubungan antara kuat tekan dengan porositas bata ringan yang saling berlawanan, dimana penambahan piropilit pada bata ringan akan meningkatkan kuat tekan bata ringan dan akan menurunkan porositas bata ringan sedangkan pada modulus elastisitas akan meningkatkan modulus elastisitas bata ringan. Sehingga sesuai dengan teori yang ada dimana banyaknya rongga pada suatu bahan berpengaruh pada menurunnya kekuatan dari bahan itu sendiri.

Hasil uji porositas untuk kadar piropilit 5% tidak disertakan disebabkan hasil pengujian dianggap menyimpang terlalu jauh diakibatkan kualitas benda uji yang kurang bagus pada kadar tersebut begitu juga untuk hasil pengujian modulus elastisitas pada kadar 5%. Buruknya kualitas benda uji ini dapat disebabkan oleh proses pencampuran yang kurang sempurna dan rongga yang dimiliki oleh bata ringan semakin tinggi akibat pengikatan partikel yang kurang sempurna antara satu dengan yang lainnya, maupun proses kimia lainnya yang tidak dibahas dalam penelitian ini

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan antara lain adalah :

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan antara lain adalah :

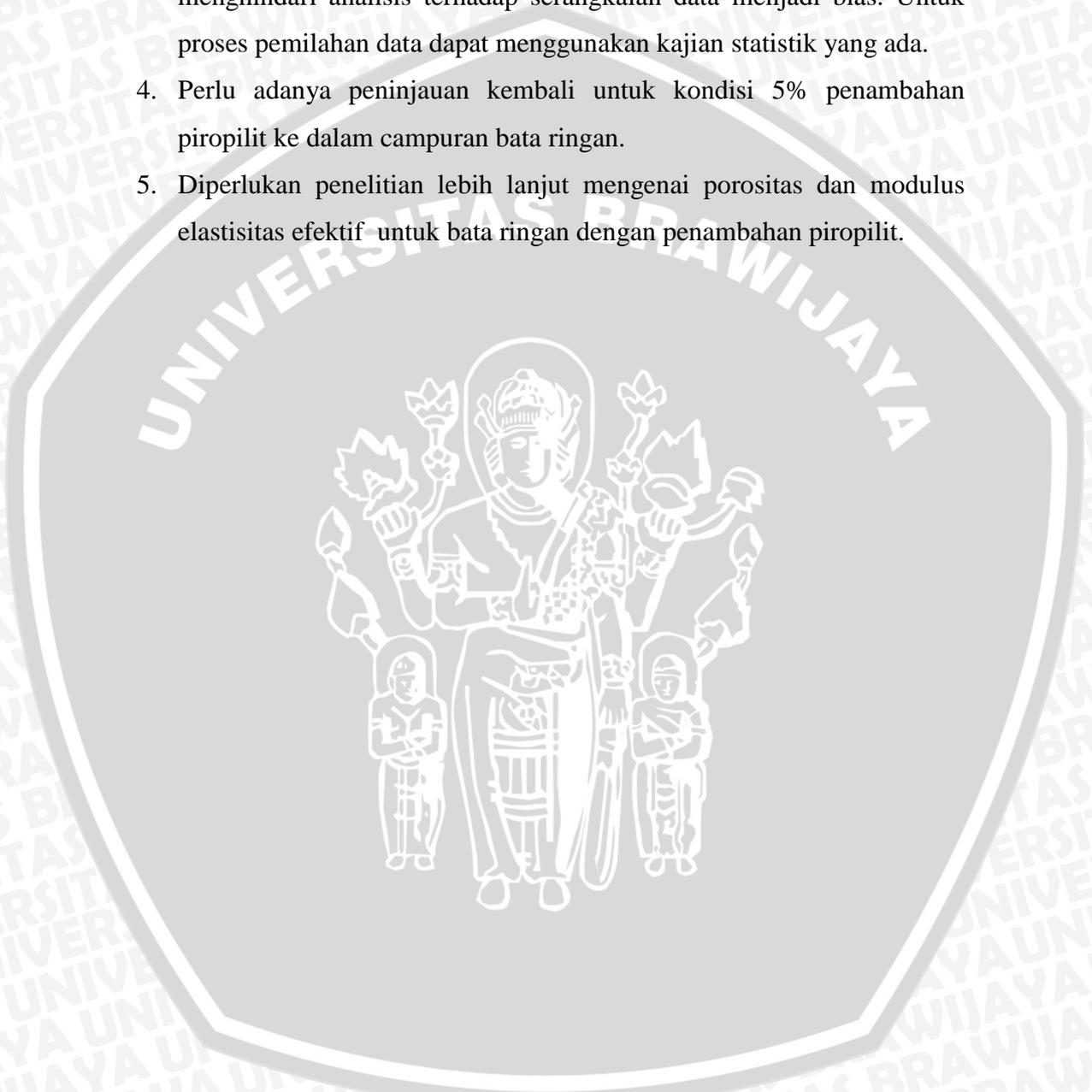
1. Nilai porositas benda uji dengan variasi berbeda yakni normal, penambahan 10%, 15%, 20%, dan 25% piropilit memberikan nilai porositas sebagai berikut 23,581%, 20,548%, 18,930% dan 17,299%. Dari hasil analisis statistik diketahui penambahan jumlah piropilit ke dalam bata ringan akan berpengaruh signifikan terhadap porositas bata ringan dengan porositas paling rendah pada kadar 25% dan porositas optimum pada kadar 10,301%.
2. Modulus elastisitas yang didapatkan di dapatkan dari variasi benda uji normal, penambahan 10% piropilit, penambahan 15% piropilit, penambahan 20% piropilit, dan penambahan 25% piropilit adalah sebagai berikut 3,829 KN/cm², 4,319 KN/cm², 5,620 KN/cm², 4,713 KN/cm², dan 5,987 KN/cm². Dari hasil analisis perbedaan variasi berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas bata ringan.

5.2. Saran

Hal-yang perlu diperhatikan untuk keperluan penelitian selanjutnya mengenai karakteristik bata ringan antara lain:

1. Dalam melakukan pengujian bata ringan sebaiknya pemilihan alat yang akan digunakan lebih di perhatikan untuk mempermudah proses pengujian dan mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2. Perlu dilakukan pengawasan yang lebih seksama mulai dari proses produksi, pengangkutan benda uji, hingga pengujian untuk menghindari berkurangnya kualitas benda uji.
3. Data yang menyimpang terlalu jauh sebaiknya tidak disertakan untuk menghindari analisis terhadap serangkaian data menjadi bias. Untuk proses pemilahan data dapat menggunakan kajian statistik yang ada.
4. Perlu adanya peninjauan kembali untuk kondisi 5% penambahan piropilit ke dalam campuran bata ringan.
5. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai porositas dan modulus elastisitas efektif untuk bata ringan dengan penambahan piropilit.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahman, I, Abdul Rahman, M.Z.A & Ahmad Zaidi, A.M. (2008). *Morphology and Physical Behaviour of foamed Concrete Under Uniaxial Compressive Load : Standart Unconfined Compression Test*, UTHM Research Technical Report, pages 1-10
- Anggraini, Retno. 2008. *Pengaruh Penambahan Piropilit Terhadap Kuat Tekan Beton*. Malang: Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 2.
- Anonim. 1996. *Memperkenalkan Bahan Galian Golongan C di Jawa Timur: Piropilit*. Dinas Pertambangan Daerah Propinsi Jawa Timur.
- Bearat, H., McKelvy, M.J., Chizmeshya, A.V.G., Sharma, R. and Carpenter, R.W. (2002). *Magnesium Hydroxide Dehydroxylation/ Carbonation Reaction Processes: Implication for Carbon Dioxide Mineral Sequestration*. Journal of the American Ceramic Society Vol. 85.
- Lamond, Joseph F. dan Pielert, James H. 2006. *Significance of Test and Properties of Concrete & Concrete-Making Materials*. Bridgeport: ASTM International.
- Lawrence, H., Vlack, Van. 1989. *Elements of Materials Science and Engineering*. Wesley: Addison.
- Mehta, Kumar P. Dan Monteiro, Paulo J.M. 1993. *Concrete: Structure, Properties, and Materials*. Prentice Hall.
- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi
- Mutrofin, dkk. 2005. *Penggunaan Piropilit Sebagai Filler*. Malang: Laporan Penelitian FMIPA Kimia, Unibraw.
- Mutrofin, dkk. 2005. *Sifat dan Karakteristik Piropilit*. Malang: Laporan Penelitian FMIPA Kimia, Unibraw.
- Narayan, K., Ramamurthy, K. 2000. *Structure and Properties of Aerated Concrete*. A Rev. Cement Concrete Composites 22.
- Novianto, Irfan. 2012. *Pengaruh Variasi Penggunaan Piropilit dan Jenis Semen Terhadap Porositas dan Modulus Elastisitas Beton*. Malang: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Powell, D, (1998). *A Perfect Talc Crystal*, <http://www.mii.org/minerals/phototalc.html>, akses 17 januari 2013
- Prasetya, H.H. (2012). *Pengaruh Penggunaan piropilit dan Jenis Semen Terhadap Kuat Tekan dan Regangan Beton*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang : Universitas Brawijaya.

- Rachman, M.Z. (2010). *Physical Behavior of Foamed Concrete under Uni-Axial Compressive Load: Confined Compressive Test*. Modern Applied Science.
- Satryo, Sapto. 2011. *Pengaruh Penggunaan Piropilit dan Variasi Jenis Semen Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Paving*. Malang: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Subari & Rachman, A. (2008). *Pembuatan Bata Beton Ringan untuk Diterapkan di IKM Bahan Bangunan*. Bandung : Jurnal Bahan Galian Industri Vol. 12.
- Wang, C.K., and Salmon, C.G. 1985. *Reinforced Concrete Design*. Harper and Row Fourth Edition.
- Wang, L., Zhang, M., Redfern, S.A.T., (2003), Infrared Study of CO₂ Incorporation into Pyrophyllite (Al₂Si₄O₁₀(OH)₂) during Dehydroxylation, *Journal of The Clay Minerals Society*, 50, 439-444.
- Wibowo, A dan Wahyuni, E. (2003). *Buku Diktat Teknologi Beton*. Malang : Laboratorium Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya.
- Yanuar, Azis. 2012. *Pengaruh Penggunaan Piropilit dan Variasi Jenis Semen Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Batako*. Malang: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Zulhelmi. (2010). *Pembuatan dan Karakterisasi Bata Berpori dengan Agregat Batu Apung (Pumice) Sebagai Filter Gas Buang Kendaraan*. Skripsi, Medan : Universitas Sumatra Utara.
- ASTM 1386-*Standart Spesification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Wall Construction Unit*
- ASTM 1452-*Standart Spesification for Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Elemen*.
- ASTM C 140- *Standart Test Methods Of Sampling and Testing Concrete Masonry Units and related Units*
- ASTM C 33-90-*Standart Spesification for Concrete Agregate*
- ASTM C 595M-1995-*Chemical Admixture for Concrete*
- SK SNI 03-6861.1-2002-*Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*

SNI 03-6817-2002-*Metode Pangujian Mutu Air untuk Digunakan Dalam beton*

SNI 03-2847-2002-*Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*

SNI 03-0348-1989-*Bata Beton Pejal, Mutu dan Cara Uji*

SNI 1726-2002-*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*

SNI 15-0302-1994-*Semen Portland Pozolan*

(<http://bumi-is-earth.blogspot.com>) diakses tanggal 08 Desember 2012

(<http://okezone.com/bata-merah-vs-bata-ringan.htm>). akses tanggal 09 Desember 2012

(<http://www.hebel.co.id/>), akses 11 Desember 2012)

(<http://tanijoyo123.blogspot.com>) diakses 11 Desember 2012

(<http://bataringanindonesia.blogspot.com/>) akses tanggal 5 januari 2013

(<http://edunkleyha.blogspot.com/2012>)

(<http://www.garutkab.go.id/>)

(<http://semen.gresik.com/>), akses 11 Desember 2012

(<http://www.tekmira.esdm.go.id>) diakses tanggal 11 Desember 2012

(<http://www.rcchem.co.id/rcchem/article/154>) diakses tanggal 25 Juni 2013



Lampiran 1

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Asal Bahan : Lumajang, Jawa Timur

Pekerjaan : Tugas Akhir

Data Pengujian	Simbol	Satuan	Hasil
Berat benda uji jenuh kering permukaan	500	gr	500
Berat benda uji kering oven	B _k	gr	449
Berat piknometer diisi air (pada Suhu Kamar)	B	gr	694
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (suhu kamar)	B _t	gr	961,4

Pengujian	Hasil
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Gravity)	1,9303525
Berat Benda Jenuh Kering Permukaan (bulk Spesific Gravity Saturated Surface Dry)	2,1496131
Berat jenis semu (Apparent Spesific Gravity)	2,472467
Penyerapan (%) (absorption)	11,358575

Berat Jenis Curah

$$\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$$

Berat Benda Jenuh Kering Permukaan

$$\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$$

Berat jenis semu

$$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$$

Penyerapan (%)

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

Lampiran 2

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Piroplit

Asal Bahan : Lumajang, Jawa Timur

Pekerjaan : Tugas Akhir

Data Pengujian	Simbol	Satuan	Hasil
Berat benda uji jenuh kering permukaan	500	gr	500
berat benda uji kering oven	Bk	gr	418,8
berat piknometer diisi air (pada Suhu Kamar)	B	gr	694
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (suhu kamar)	Bt	gr	955,6

Pengujian	Hasil
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Gravity)	1,7567114
Berat Benda Jenuh Kering Permukaan (bulk Spesific Gravity Saturated Surface Dry)	2,0973154
Berat jenis semu (Apparent Spesific Gravity)	2,6641221
Penyerapan (%) (absorption)	19,38873

Berat Jenis Curah

$$\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$$

Berat Benda Jenuh Kering Permukaan

$$\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$$

Berat jenis semu

$$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$$

Penyerapan (%)

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

Lampiran 3

Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Asal Bahan : Lumajang, Jawa Timur

Pekerjaan : Tugas Akhir

Data Pengujian		Satuan	
1	Berat Talam + contoh Basah	gr	125
2	Berat Talam + contoh Kering	gr	122
3	Berat Air = (1) - (2)	gr	3
4	Berat Talam	gr	34,6
5	Berat Contoh Kering = (2) - (4)	gr	87,4
6	Kadar Air = (3) / (5)	%	3,432494

Pengujian Kadar Air Piropilit

Asal Bahan : Sumber Manjing, Malang Selatan

Pekerjaan : Tugas Akhir

Data Pengujian		Satuan	
1	Berat Talam + contoh Basah	gr	48,8
2	Berat Talam + contoh Kering	gr	47,4
3	Berat Air = (1) - (2)	gr	1,4
4	Berat Talam	gr	6
5	Berat Contoh Kering = (2) - (4)	gr	41,4
6	Kadar Air = (3) / (5)	%	3,381643

Lampiran 4

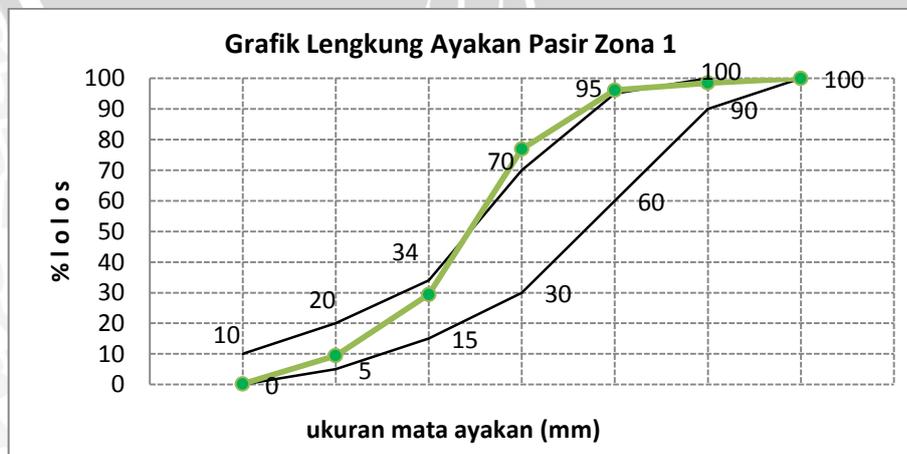
Pengujian Gradasi Agregat Halus

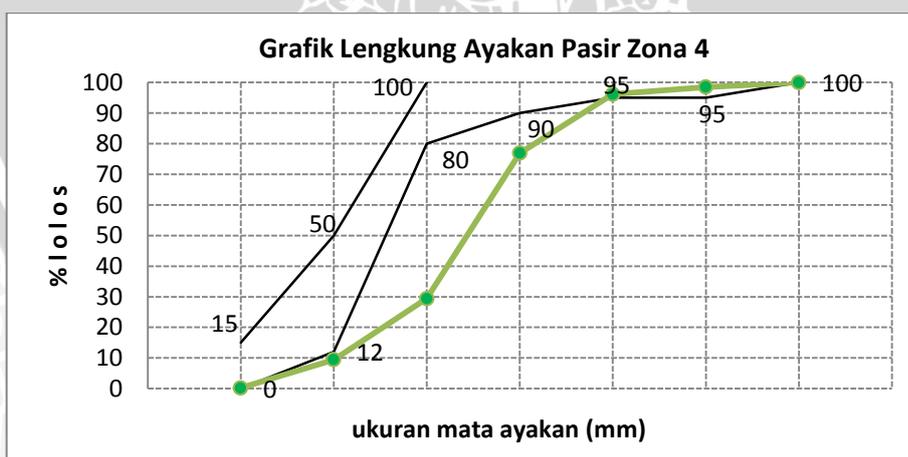
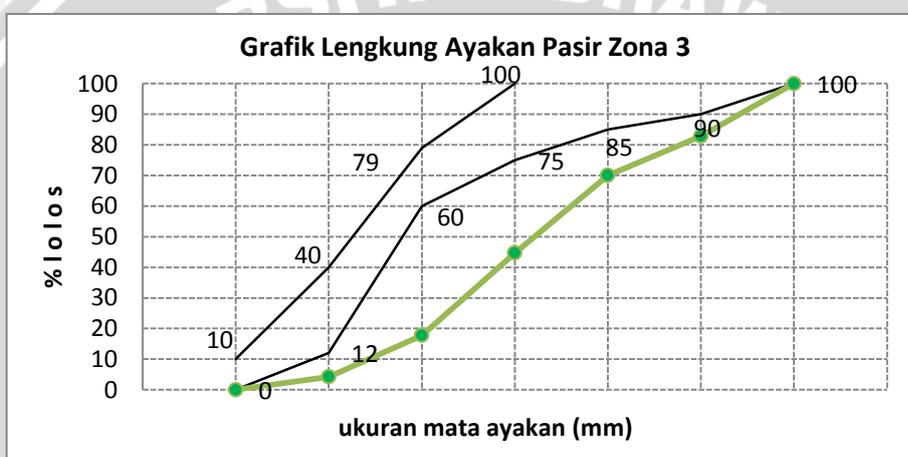
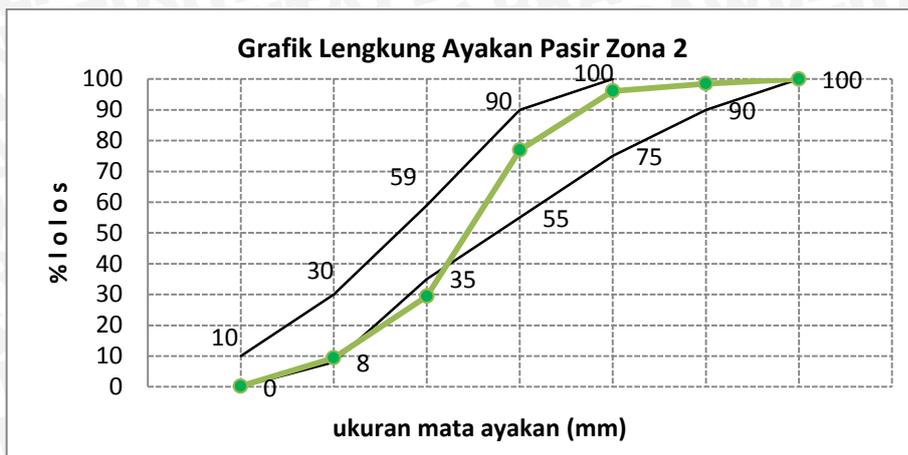
Asal Bahan : Lumajang, Jawa Timur

Pekerjaan : Tugas Akhir

lubang saringan		Agregat			
		tertinggal		kumulatif	
no	mm	gram	%	tertinggal (%)	lolos
3"	76,2	0	0,00	0,00	100
2,5"	63,5	0	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0	0,00	0,00	100,00
1,5"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
1"	37,5	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	20	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	14	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	10	0	0,00	0,00	100,00
4	5	0	0,00	0	100,00
8	2,36	14,8	1,50	1	98,50
16	1,18	23,4	2,37	4	96,14
30	0,6	190	19,22	23	76,92
50	0,3	469,4	47,48	71	29,44
100	0,15	197,8	20,01	91	9,43
200	0,075	91	9,20	100	0,22
pan		2,2	0,22	100	0,00
Σ		988,6		389	

Modulus kehalusan = $\frac{\sum \% \text{ yang tertahan no.1" sampai no.200}}{100}$
 = 3,893587





Lampiran 5 Perhitungan Porositas

Berdasarkan permasamaan (3-1), porositas bata ringan dihitung dengan contoh benda uji I pada kadar piropilit 0% sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa Kering (D)} &= 2428 \text{ gram} & \text{Massa Basah (Ms)} &= 2843 \text{ gram} \\ \text{Masa Tercelup (S)} &= 665 \text{ gram} & \text{Ext. Volume (V)} &= \text{Ms} - \text{S} = 2843 - 665 \\ & & &= 2188 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\text{Porositas (P)} = \frac{2834 - 2428}{2188} \times 100\% = 18,958\%$$

Tabel. Perhitungan Porositas untuk Kadar Piropilit 0%

Benda Uji	Massa Kering	Massa basah	Massa tercelup	Exterior Volume	Porositas
	D (g)	Ms (g)	S (g)	V = Ms - S (g)	
1	2428	2843	655	2188	18,958%
2	2289	2728	485	2243	19,581%
3	2219	2675	430	2245	20,287%
Rata-rata					19,609%

Tabel. Perhitungan Porositas untuk Kadar Piropilit 5%

Benda Uji	Massa Kering	Massa basah	Massa tercelup	Exterior Volume	Porositas
	D (g)	Ms (g)	S (g)	V = Ms - S (g)	
1	2180	3220	705	2515	41,352%
2	2120	3200	595	2605	41,459%
3	2180	3240	710	2530	41,897%
Rata-rata					41,569%

Tabel. Perhitungan Porositas untuk Kadar Piropilit 10%

Benda Uji	Massa Kering	Massa basah	Massa tercelup	Exterior Volume	Porositas
	D (g)	Ms (g)	S (g)	V = Ms - S (g)	
1	2640	3220	640	2580	22,481%
2	2640	3240	715	2475	23,762%
3	2600	3200	690	2510	23,904%
Rata-rata					23,581%

Tabel. Perhitungan Porositas untuk Kadar Piropilit 15%

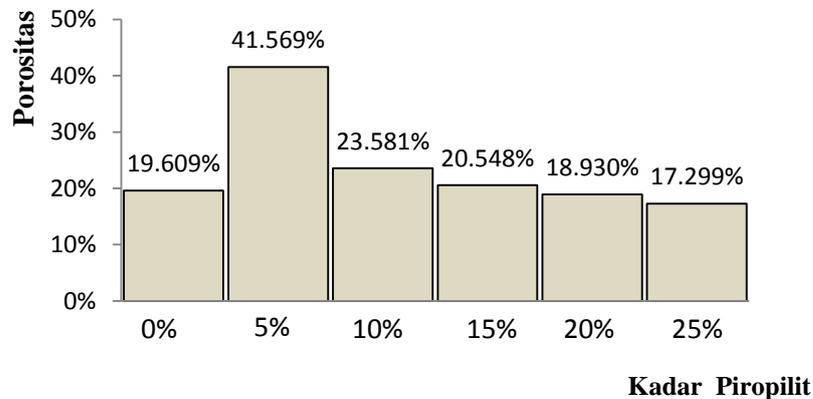
Benda Uji	Massa Kering	Massa basah	Massa tercelup	Exterior Volume	Porositas
	D (g)	Ms (g)	S (g)	V = Ms - S (g)	
1	2580	3060	515	2545	18,861%
2	2580	3120	630	2490	21,687%
3	2540	3040	590	2450	19,184%
Rata-rata					20,548%

Tabel. Perhitungan Porositas untuk Kadar Piropilit 20%

Benda Uji	Massa Kering	Massa basah	Massa tercelup	Exterior Volume	Porositas
	D (g)	Ms (g)	S (g)	V = Ms - S (g)	
1	2680	3160	535	2625	18,286%
2	2600	3080	575	2505	19,162%
3	2620	3120	535	2585	19,342%
Rata-rata					18,930%

Tabel. Perhitungan Porositas untuk Kadar Piropilit 25%

Benda Uji	Massa Kering	Massa basah	Massa tercelup	Exterior Volume	Porositas
	D (g)	Ms (g)	S (g)	V = Ms - S (g)	
1	2957	3439	635	2804	17,185%
2	2815	3325	490	2835	17,987%
3	3064	3543	680	2863	16,725%
Rata-rata					17,299%



Gambar. Diagram Porositas Rata-Rata Variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%

Lampiran 6

Data Pengujian Tegangan - Regangan

Bahan : Bata Ringan
 Tanggal : 20 Maret 2013
 Tempat : Lab. Beton Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang
 Dimensi : 60x20x10
 Luas Penampang : 600 cm²

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 0% Piropilit sampel 1

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,14	0	0	0	0	0	0
	4	4	1,4	2,01	1,705	0,006667
	8	8	1,9	2,46	2,18	0,013333
	12	12	2,2	2,76	2,48	0,02
	16	16	2,6	3,17	2,885	0,026667
	20	20	3	3,55	3,275	0,033333
	24	24	3,45	3,96	3,705	0,04
	28	28	4,22	4,64	4,43	0,046667

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 0% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
9,42	0	0	0	0	0	0
	4	1,15	1,6	1,375	0,006667	0,006875
	8	1,67	1,94	1,805	0,013333	0,009025
	12	2,15	2,22	2,185	0,02	0,010925
	16	2,51	2,44	2,475	0,026667	0,012375
	20	2,88	2,63	2,755	0,033333	0,013775
	24	3,89	3,74	3,815	0,04	0,019075
	26	7,27	6,92	7,095	0,043333	0,035475

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 0% Piropilit sampel 3

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
9,7	0	0	0	0	0	0
	4	3	3,2	3,1	0,006667	0,0155
	8	3,48	3,9	3,69	0,013333	0,01845
	12	3,72	4,22	3,97	0,02	0,01985
	16	3,9	4,43	4,165	0,026667	0,020825
	20	4,15	4,58	4,365	0,033333	0,021825
	24	4,37	4,74	4,555	0,04	0,022775
	28	5,3	5,52	5,41	0,046667	0,02705
	29	6,9	6,74	6,82	0,048333	0,0341

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 5% Piropilit sampel 1

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
9,46	0	0	0	0	0	0
	4	3,1	2,65	2,875	0,006667	0,014375
	8	3,74	3,25	3,495	0,013333	0,017475
	12	4,13	3,68	3,905	0,02	0,019525
	16	4,55	4,15	4,35	0,026667	0,02175
	18	4,7	4,5	4,6	0,03	0,023

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 5% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
9,5	0	0	0	0	0	0
	4	4,1	4,35	4,225	0,006667	0,021125
	8	4,7	5,05	4,875	0,013333	0,024375
	12	5,1	5,55	5,325	0,02	0,026625
	16	5,57	6,03	5,8	0,026667	0,029
	20	6,14	6,5	6,32	0,033333	0,0316

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 5% Piropilit sampel 3

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
9,48	0	0	0	0	0	0
	4	2,87	2	2,435	0,006667	0,012175
	8	3,6	2,65	3,125	0,013333	0,015625
	12	4,13	3,1	3,615	0,02	0,018075
	16	4,78	3,7	4,24	0,026667	0,0212
	19	5,53	4,7	5,115	0,031667	0,025575

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 10% Piropilit sampel 1

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,58	0	0	0	0	0	0
	4	1,58	1,8	1,69	0,006667	0,00845
	8	2,3	2,7	2,5	0,013333	0,0125
	12	2,55	3,04	2,795	0,02	0,013975
	16	2,72	3,2	2,96	0,026667	0,0148
	20	2,85	3,32	3,085	0,033333	0,015425
	24	3	3,42	3,21	0,04	0,01605
	28	3,5	3,63	3,565	0,046667	0,017825
	32	3,7	3,85	3,775	0,053333	0,018875
	35	4,2	4,5	4,35	0,058333	0,02175

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 10% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,24	0	0	0	0	0	0
	4	2,7	1,75	2,225	0,006667	0,011125
	8	3	2,1	2,55	0,013333	0,01275
	12	3,25	2,45	2,85	0,02	0,01425
	16	3,54	2,7	3,12	0,026667	0,0156
	20	3,9	3,1	3,5	0,033333	0,0175
	24	4,25	3,5	3,875	0,04	0,019375
	25	4,7	4	4,35	0,041667	0,02175
	27	5,5	5	5,25	0,045	0,02625

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 10% Piropilit sampel 3

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,68	0	0	0	0	0	0
	4	0,75	2,05	1,4	0,006667	0,007
	8	1	2,4	1,7	0,013333	0,0085
	12	1,65	2,58	2,115	0,02	0,010575
	16	1,85	2,7	2,275	0,026667	0,011375
	20	2	2,95	2,475	0,033333	0,012375
	24	2,7	3,55	3,125	0,04	0,015625
	28	3,45	3,65	3,55	0,046667	0,01775
	32	4,75	4,7	4,725	0,053333	0,023625

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 15% Piropilit sampel 1

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,42	0	0	0	0	0	0
	4	2,35	1,55	1,95	0,006667	0,00975
	8	2,79	1,95	2,37	0,013333	0,01185
	12	3,05	2,2	2,625	0,02	0,013125
	16	3,4	2,5	2,95	0,026667	0,01475
	20	3,68	2,75	3,215	0,033333	0,016075
	24	3,97	3,1	3,535	0,04	0,017675
	28	4,35	3,4	3,875	0,046667	0,019375
	30	7,29	6,65	6,97	0,05	0,03485

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 15% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,66	0	0	0	0	0	0
	4	2,44	2,7	2,57	0,006667	0,01285
	8	2,79	3,05	2,92	0,013333	0,0146
	12	3,04	3,25	3,145	0,02	0,015725
	16	3,27	3,4	3,335	0,026667	0,016675
	20	3,6	3,6	3,6	0,033333	0,018
	24	5,43	4,7	5,065	0,04	0,025325

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 15% Piropilit sampel 3

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,64	0	0	0	0	0	0
	4	1,9	2,15	2,025	0,006667	0,010125
	8	2,23	2,45	2,34	0,013333	0,0117
	12	2,44	2,65	2,545	0,02	0,012725
	16	2,66	2,85	2,755	0,026667	0,013775
	20	2,93	3	2,965	0,033333	0,014825
	24	4,67	5,7	5,185	0,04	0,025925
	26	5,5	5,95	5,725	0,043333	0,028625

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 20% Piropilit sampel 1

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,64	0	0	0	0	0	0
	4	2,5	2,05	2,275	0,006667	0,011375
	8	2,86	2,6	2,73	0,013333	0,01365
	12	3,19	3	3,095	0,02	0,015475
	16	3,53	3,35	3,44	0,026667	0,0172
	20	3,85	3,7	3,775	0,033333	0,018875
	24	4,39	4,25	4,32	0,04	0,0216
	28	4,88	4,85	4,865	0,046667	0,024325
	32	6,55	6,6	6,575	0,053333	0,032875
	34	9,56	9,55	9,555	0,056667	0,047775

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 20% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,86	0	0	0	0	0	0
	4	2,84	2,3	2,57	0,006667	0,01285
	8	3,45	2,75	3,1	0,013333	0,0155
	12	3,61	3	3,305	0,02	0,016525
	16	3,82	3,28	3,55	0,026667	0,01775
	20	4	3,5	3,75	0,033333	0,01875
	24	4,25	3,85	4,05	0,04	0,02025
	28	4,95	4,7	4,825	0,046667	0,024125
	32	6,88	6,4	6,64	0,053333	0,0332
	33	7,58	7,3	7,44	0,055	0,0372

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 20% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
10,54	0	0	0	0	0	0
	4	2,65	1,9	2,275	0,006667	0,011375
	8	2,98	2,2	2,59	0,013333	0,01295
	12	3,27	2,45	2,86	0,02	0,0143
	16	3,48	2,58	3,03	0,026667	0,01515
	20	3,75	3	3,375	0,033333	0,016875
	24	3,99	3,25	3,62	0,04	0,0181
	28	6,4	6,3	6,35	0,046667	0,03175
	29	7,74	8,35	8,045	0,048333	0,040225

Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 25% Piropilit sampel 1

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
11,4	0	0	0	0	0	0
	4	2,36	2,6	2,48	0,006667	0,0124
	8	2,75	3,23	2,99	0,013333	0,01495
	12	2,92	3,5	3,21	0,02	0,01605
	16	3,05	3,65	3,35	0,026667	0,01675
	20	3,17	3,83	3,5	0,033333	0,0175
	24	3,32	3,95	3,635	0,04	0,018175
	28	3,45	4,2	3,825	0,046667	0,019125
	32	3,75	4,45	4,1	0,053333	0,0205
	36	5	5,8	5,4	0,06	0,027
	39	6,2	6,2	6,2	0,065	0,031

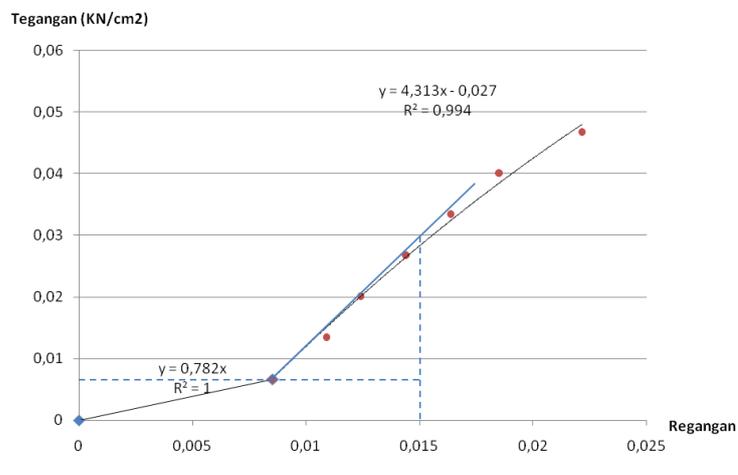
Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 25% Piropilit sampel 2

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
11,24	0	0	0	0	0	0
	4	1,21	1,76	1,485	0,006667	0,007425
	8	2,07	2,56	2,315	0,013333	0,011575
	12	2,33	2,84	2,585	0,02	0,012925
	16	2,52	4,03	3,275	0,026667	0,016375
	20	2,66	4,14	3,4	0,033333	0,017
	24	2,78	4,26	3,52	0,04	0,0176
	28	2,88	4,36	3,62	0,046667	0,0181
	32	3,01	4,5	3,755	0,053333	0,018775
	36	3,15	4,62	3,885	0,06	0,019425
	40	3,31	4,78	4,045	0,066667	0,020225
	42	5,2	5,18	5,19	0,07	0,02595

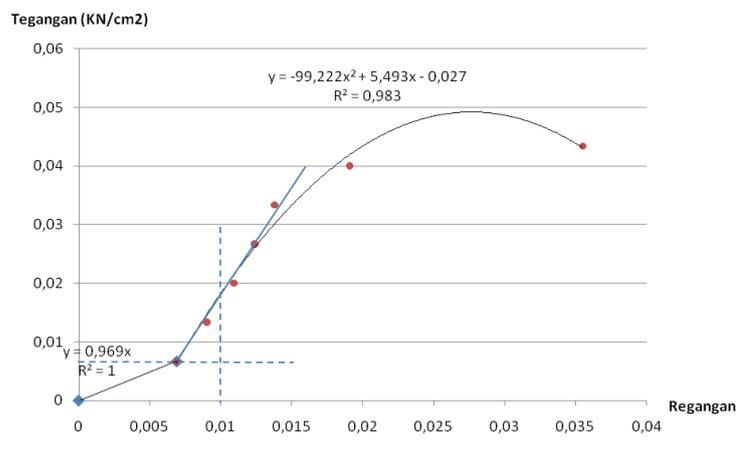
Tabel. Data Pengujian Tegangan – Regangan Penambahan 25% Piropilit sampel 3

Berat (kg)	Kuat Tekan (KN)	dial1 (mm)	dial 2 (mm)	dial rata-rata (mm)	Tegangan (KN/cm ²)	Regangan
11,74	0	0	0	0	0	0
	4	2,1	2,53	2,315	0,006667	0,011575
	8	2,45	2,88	2,665	0,013333	0,013325
	12	2,7	3,1	2,9	0,02	0,0145
	16	3,05	3,4	3,225	0,026667	0,016125
	20	3,22	3,62	3,42	0,033333	0,0171
	24	3,47	3,86	3,665	0,04	0,018325
	28	3,66	4,05	3,855	0,046667	0,019275
	32	4,15	4,44	4,295	0,053333	0,021475
	36	4,7	4,73	4,715	0,06	0,023575
	39	6,5	6,35	6,425	0,065	0,032125

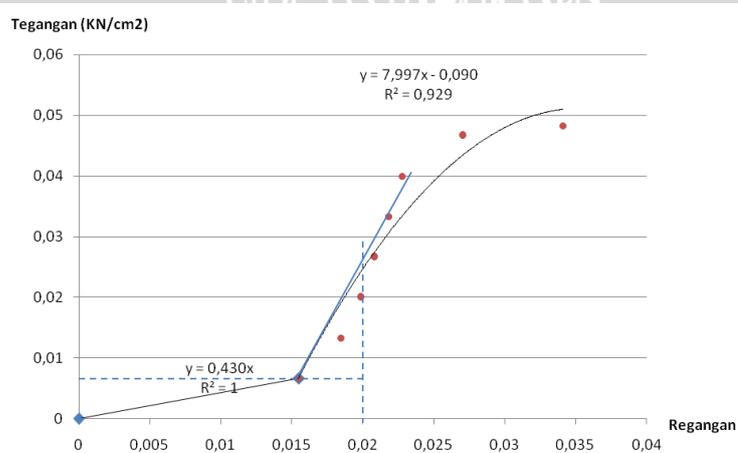
Lampiran 7 Diagram Tegangan - Regangan



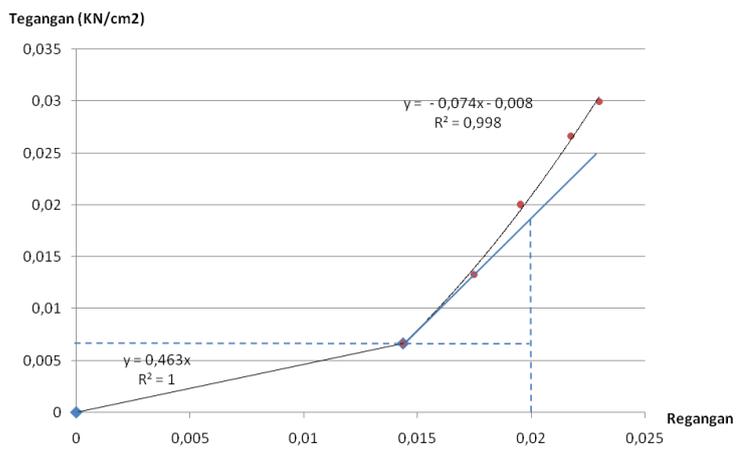
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 0% Sampel 1



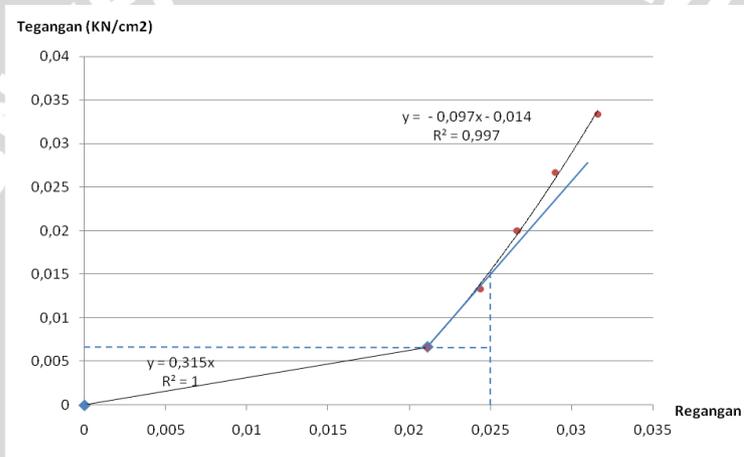
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 0% Sampel 2



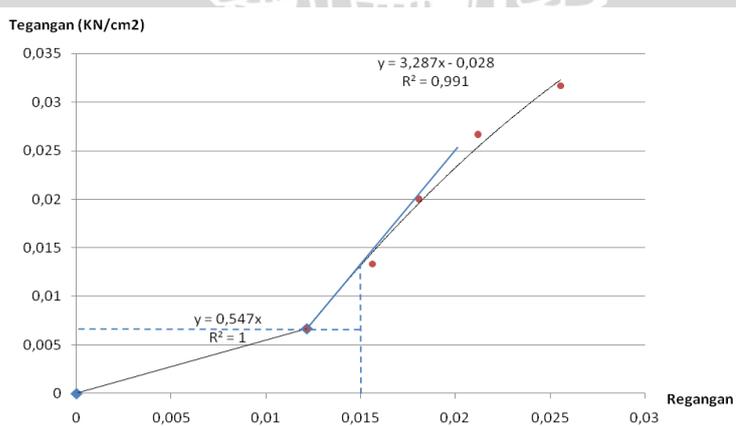
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 0% Sampel 3



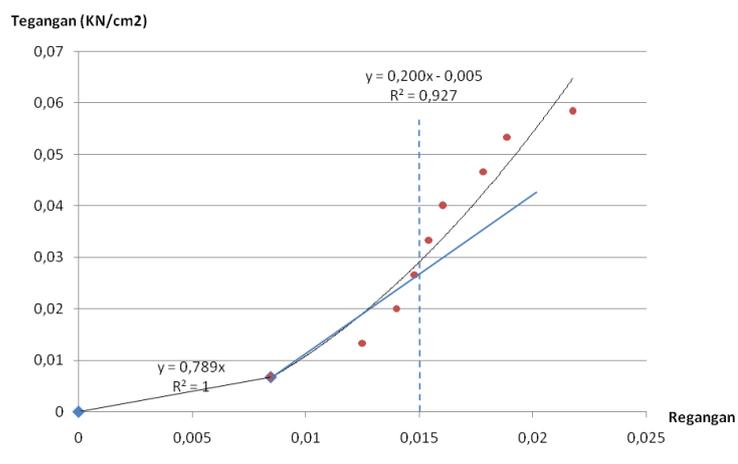
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 5% Sampel 1



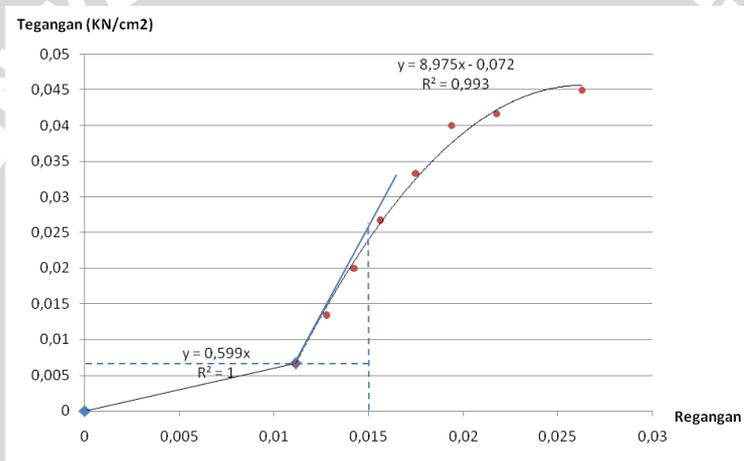
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 5% Sampel 2



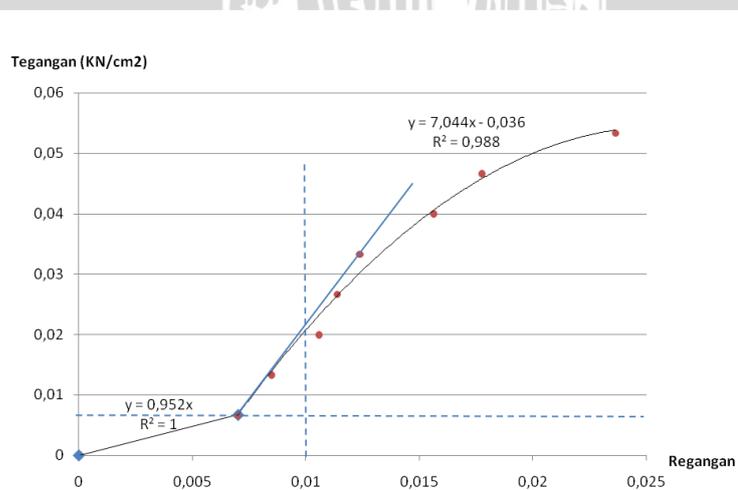
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 5% Sampel 3



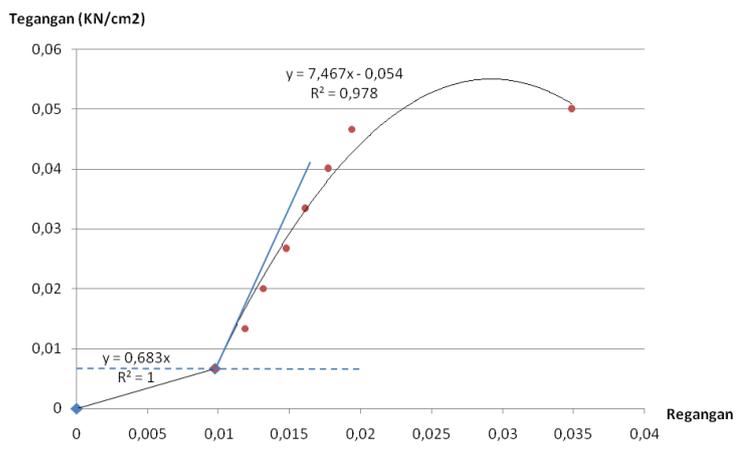
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 10% Sampel 1



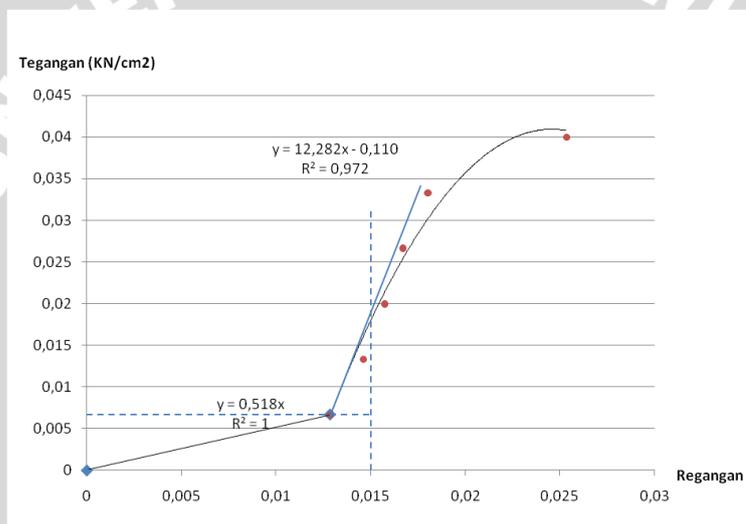
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 10% Sampel 2



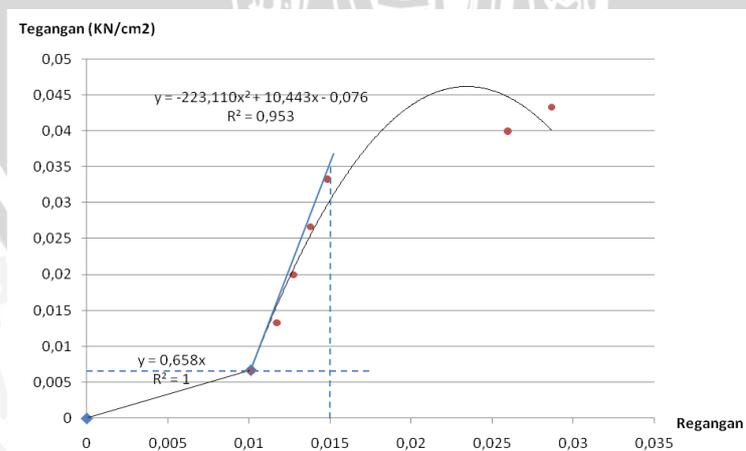
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 10% Sampel 3



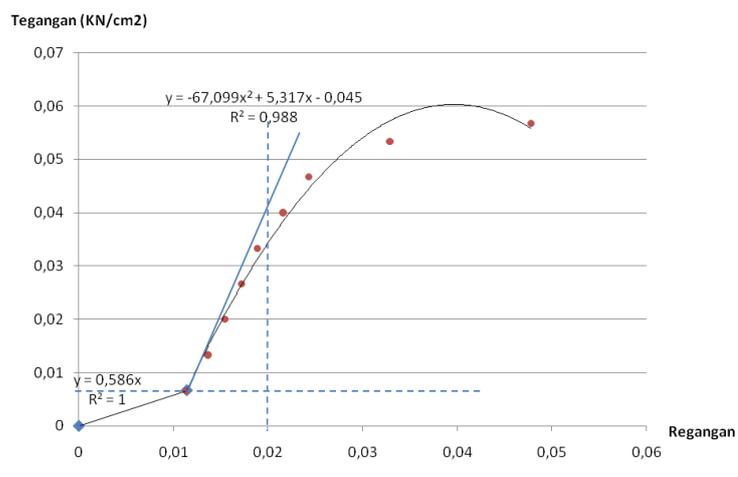
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 15% Sampel 1



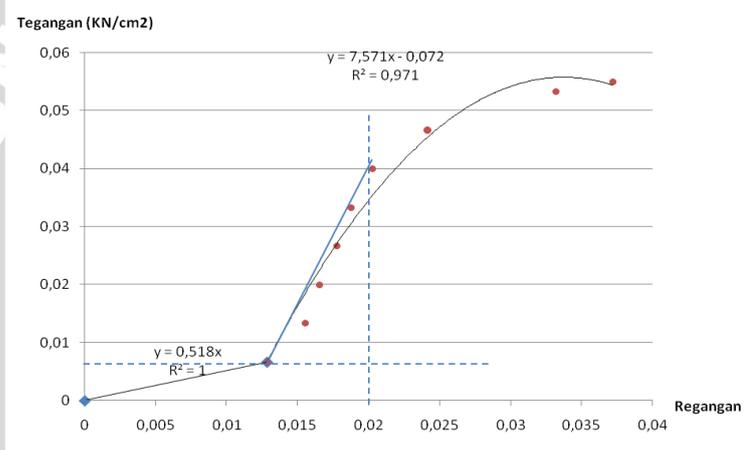
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 15% Sampel 2



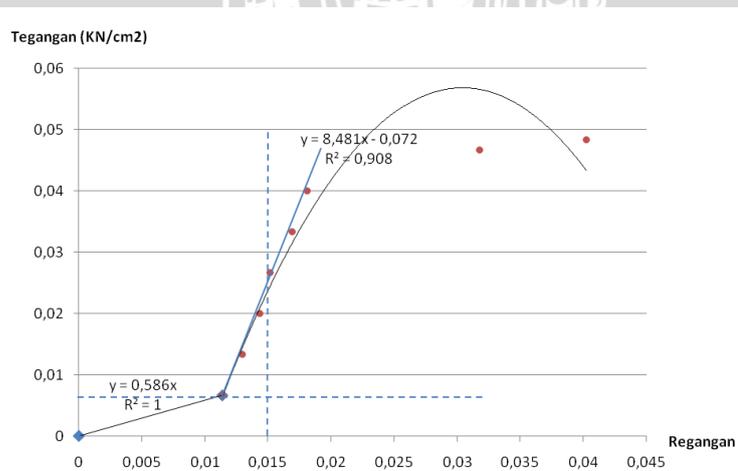
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 15% Sampel 3



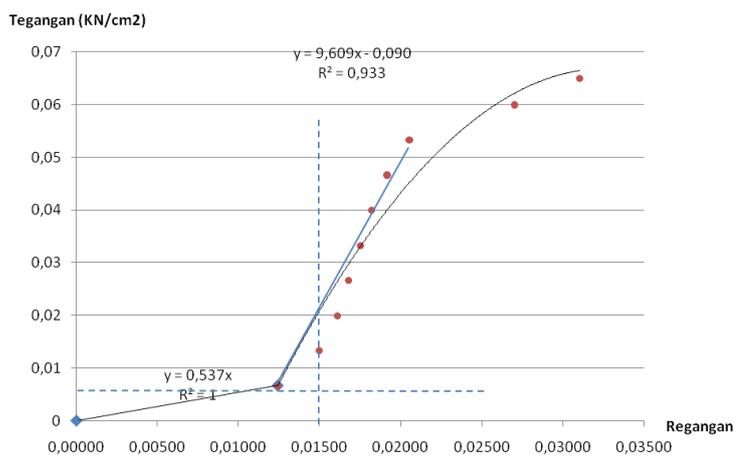
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 20% Sampel 1



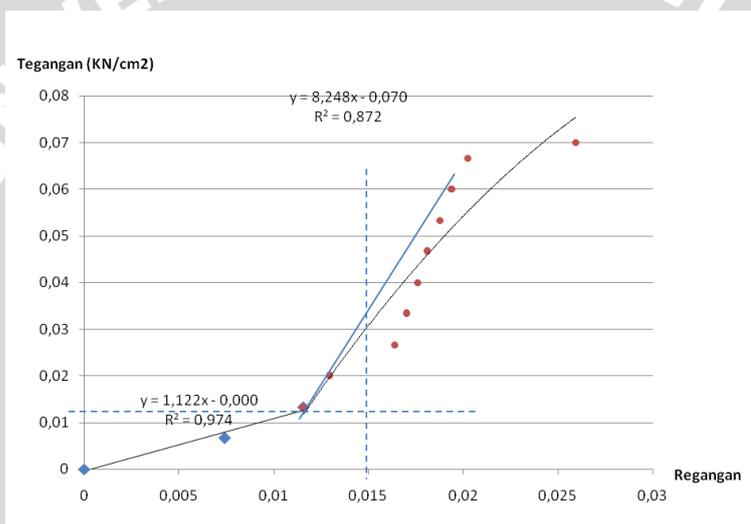
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 20% Sampel 2



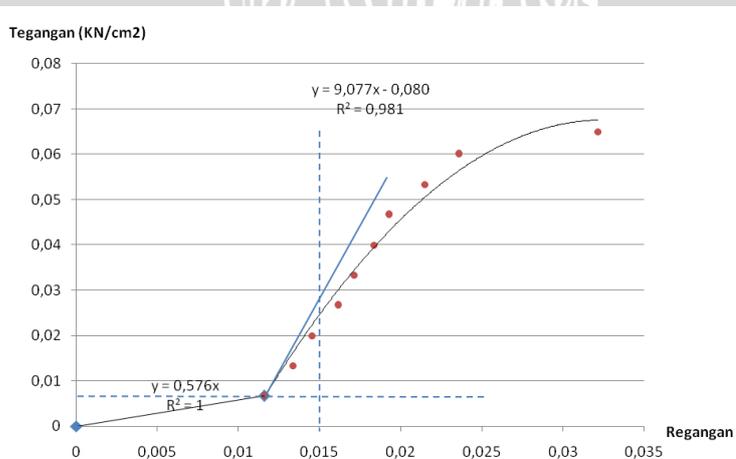
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 20% Sampel 2



Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 25% Sampel 1



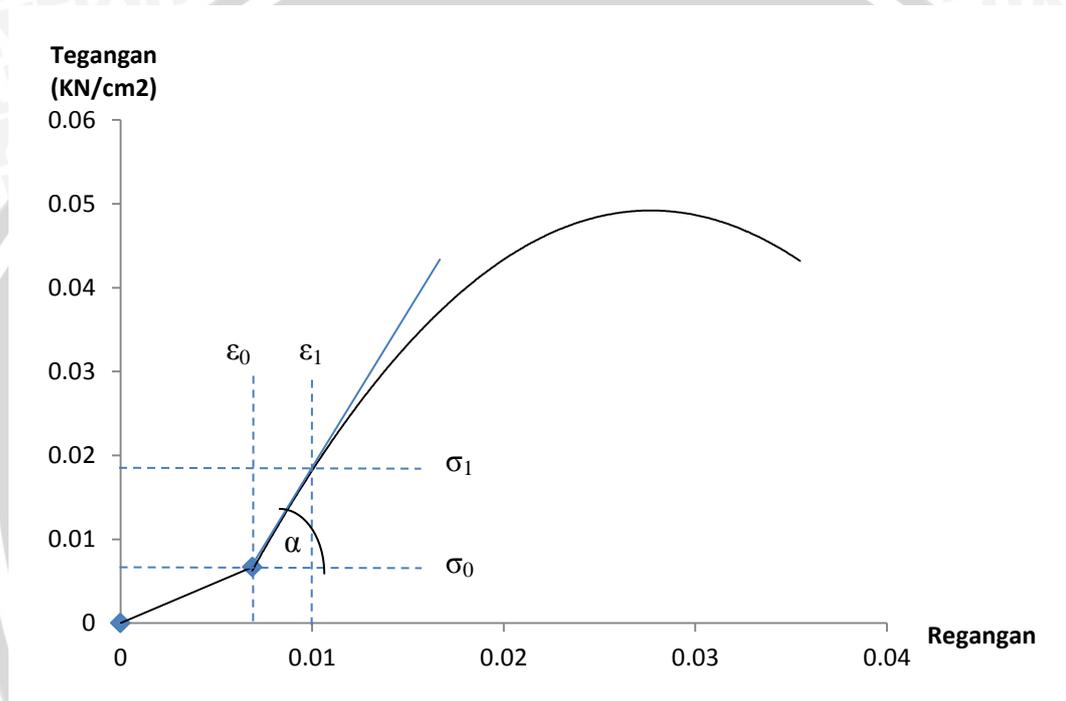
Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 25% Sampel 2



Gambar. Diagram Tegangan-Regangan Penambahan Piropilit 25% Sampel 3

Lampiran 8 Perhitungan Modulus Elastisitas

Perhitungan modulus elastisitas berdasarkan modulus tangen dengan cara menghitung nilai tangen α dari kurva elastis pada diagram tegangan – regangan dengan ϵ merupakan regangan dan σ adalah tegangan . Contoh perhitungan pada sampel 2 variasi penambahan piropilit 0% sebagai berikut:



- $\epsilon_0 = 0,006875$
- $\epsilon_1 = 0,01$
- $\sigma_0 = 0,006667 \text{ KN/cm}^2$
- $\sigma_1 = 0,018 \text{ KN/cm}^2$

$$\text{Modulus tangen (tan } \alpha) = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{\epsilon_1 - \epsilon_0} = \frac{0,018 - 0,006667}{0,01 - 0,006875} = 3,6267 \text{ KN/cm}^2$$

Jadi modulus elastisitas untuk sampel 2 pada variasi kadar piropilit 0% ada sebesar 3,6267 kN/cm². Hasil perhitungan modulus elastisitas masing-masing variasi d sajikan pada tabel sebagai berikut:



Tabel. Perhitungan Modulus Elastisitas untuk Kadar Piropilit 0%

Benda Uji	σ_0	σ_1	ϵ_0	ϵ_1	Modulus Tangen
	KN/cm ²	KN/cm ²			(KN/cm ²)
1	0,0068	0,030	0,008525	0,015	3,6036
2	0,0068	0,018	0,006875	0,010	3,6267
3	0,0068	0,026	0,015500	0,020	4,2563
Rata- rata					3,8289

Tabel. Perhitungan Modulus Elastisitas untuk Kadar Piropilit 5%

Benda Uji	σ_0	σ_1	ϵ_0	ϵ_1	Modulus Tangen
	KN/cm ²	KN/cm ²			(KN/cm ²)
1	0,0068	0,019	0,014375	0,020	2,1243
2	0,0068	0,015	0,021125	0,025	2,1505
3	0,0068	0,014	0,012000	0,015	2,3107
Rata- rata					2,1952

Tabel. Perhitungan Modulus Elastisitas untuk Kadar Piropilit 10%

Benda Uji	σ_0	σ_1	ϵ_0	ϵ_1	Modulus Tangen
	KN/cm ²	KN/cm ²			(KN/cm ²)
1	0,0068	0,027	0,008350	0,015	3,1043
2	0,0068	0,026	0,011125	0,015	4,8904
3	0,0068	0,022	0,007000	0,010	4,9630
Rata- rata					4,3192

Tabel. Perhitungan Modulus Elastisitas untuk Kadar Piropilit 15%

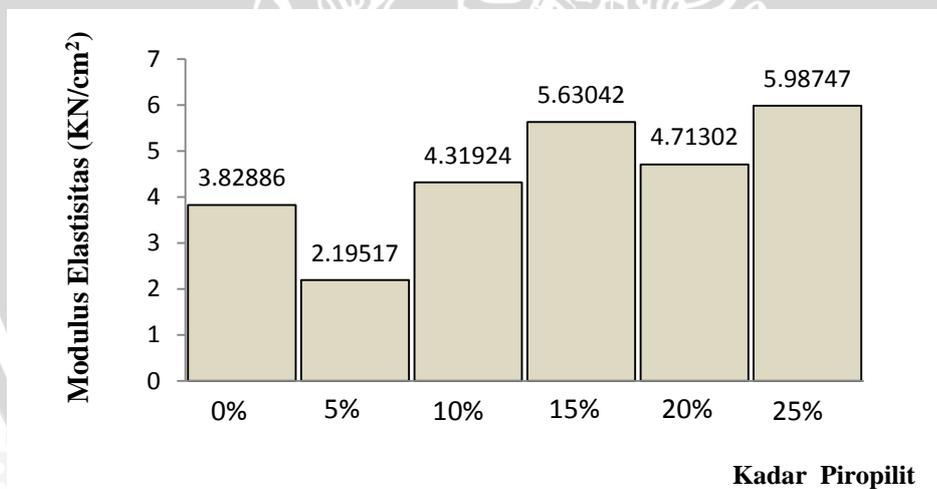
Benda Uji	σ_0	σ_1	ϵ_0	ϵ_1	Modulus Tangen
	KN/cm ²	KN/cm ²			(KN/cm ²)
1	0,0068	0,034	0,009750	0,015	5,1355
2	0,0068	0,019	0,012850	0,015	5,8146
3	0,0068	0,036	0,010125	0,015	5,9412
Rata- rata					5,6304

Tabel. Perhitungan Modulus Elastisitas untuk Kadar Piropilit 20%

Benda Uji	σ_0	σ_1	ϵ_0	ϵ_1	Modulus Tangen (KN/cm ²)
	KN/cm ²	KN/cm ²			
1	0,0068	0,041	0,011375	0,020	4,0039
2	0,0068	0,041	0,012850	0,020	4,8019
3	0,0068	0,026	0,011375	0,015	5,3333
Rata- rata					4,7130

Tabel. Perhitungan Modulus Elastisitas untuk Kadar Piropilit 25%

Benda Uji	σ_0	σ_1	ϵ_0	ϵ_1	Modulus Tangen (KN/cm ²)
	KN/cm ²	KN/cm ²			
1	0,0068	0,021	0,012400	0,015	5,6121
2	0,0133	0,034	0,011575	0,015	6,0341
3	0,0068	0,028	0,011575	0,015	6,3163
Rata- rata					5,9875



Gambar. Diagram Modulus Elastisitas Rata-Rata Variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%

Lampiran 9

Analisis Data Menyimpang

Dari hasil perhitungan porositas rata-rata pada Lampiran 5 dan modulus elastisitas rata-rata pada Lampiran 8 dengan variasi penambahan piropilit 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% didapatkan hasil porositas rata-rata sebesar 19,609%; 41,569%; 23,581%; 20,548%; 18,930% dan 17,299% dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 3,829 KN/cm²; 2,195 KN/cm²; 4,319 KN/cm²; 5,630 KN/cm²; 4,713 KN/cm² dan 5,987 KN/cm². Pada variasi penambahan 5% dicurigai nilai porositas sebesar 41,569% dan modulus elastisitas sebesar 2,195 KN/cm² memiliki harga yang terlalu jauh dari data hasil perhitungan lainnya sehingga perlu dilakukan analisis data menyimpang untuk menentukan apakah data tersebut tetap dipertahankan ataukah diabaikan dalam analisis untuk menghindari hasil pengujian hipotesis dan regresi menjadi bias.

Dalam analisis data menyimpang terdapat banyak metode namun disini digunakan cara Dixon untuk menyeleksi data ekstrem tunggal. Pada uji Dixon, mula-mula data disusun mulai dari yang terendah hingga tertinggi. Tergantung pada jumlah datanya maka pada uji Dixon kumpulan data dapat dikelompokkan menjadi 3. Kelompok pertama untuk jumlah data 3 hingga 7; kelompok kedua dengan jumlah data 8 hingga 12; kelompok terakhir ditujukan untuk jumlah data 13 sampai 40. Masing-masing kelompok terbagi lagi atas 2 bagian. Bagian pertama untuk data terendah dan bagian kedua untuk data tertinggi. Rumus Dixon untuk data 3 hingga 7 dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel. Rumus Dixon dan D Kritis Pada Tingkat Kepercayaan 95%

Kriteria Uji		n	D kritis pada tingkat kepercayaan 95 %
Data terendah	Data tertinggi		
$D_{3-7} = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_2}$	$D_{3-7} = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$	3	0.970
		4	0.829
		5	0.710
		6	0.628
		7	0.569

Sumber: <http://www.rcchem.co.id>

Tabel. Data Hasil Perhitungan Porositas Rata-Rata

Kadar Piropilit	Porositas (%)
0%	19,609
5%	41,569
10%	23,581
15%	20,548
20%	18,930
25%	17,299

Dari Tabel data hasil perhitungan rata-rata mula-mula data di urutkan untuk mengetahui data ekstrem yang akan di uji dengan uji Dixon. Data di urutkan dari data dengan nilai terendah hingga tertinggi sebagai berikut:

Tabel. Data Hasil Perhitungan Porositas Rata-Rata yang Telah Diurutkan

Kadar Piropilit	Porositas (%)
25%	17,299
20%	18,930
0%	19,609
15%	20,548
10%	23,581
5%	41,569

Kemudian dilakukan perhitungan nilai D_{hitung} menggunakan kriteria uji data tertinggi dengan x_n adalah data tertinggi, x_{n-1} adalah data sebelum data tertinggi dan x_1 merupakan data terendah, sebagai berikut:

$$x_n = 41,569\%$$

$$x_{n-1} = 23,581\%$$

$$x_1 = 17,299\%$$

$$n = 6 \rightarrow D_{kritis} = 0,628$$

$$D_{hitung} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} = \frac{41,569 - 23,581}{41,569 - 17,299} = 0,741 > D_{kritis} = 0,628$$

Karena D_{hitung} lebih besar dari D_{kritis} maka data porositas rata-rata untuk variasi penambahan 5% piropilit tidak disertakan dalam analisis uji hipotesis ANOVA dan regresi disebabkan data dianggap menyimpang.

Untuk modulus elastisitas dilakukan prosedur pengujian data menyimpang yang sama dengan porositas sebagai berikut:

Tabel. Data Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Rata-Rata

Kadar Piropilit	E (KN/cm ²)
0%	3,829
5%	2,195
10%	4,319
15%	5,630
20%	4,713
25%	5,987

Tabel. Data Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Rata-Rata yang Telah Diurutkan

Kadar Piropilit	E (KN/cm ²)
5%	2,195
0%	3,829
10%	4,319
20%	4,713
15%	5,630
25%	5,987

Perhitungan uji Dixon untuk modulus elastisitas menggunakan kriteria uji data terendah dengan x_n adalah data tertinggi, 2 adalah data pada urutan kedua dan x_1 merupakan data terendah sebagai berikut:

$$x_n = 5,987 \text{ KN/cm}^2$$

$$x_2 = 3,829 \text{ KN/cm}^2$$

$$x_1 = 2,195 \text{ KN/cm}^2$$

$$n = 6 \rightarrow D_{\text{kritis}} = 0,628$$

$$D_{\text{hitung}} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_2} = \frac{3,829 - 2,195}{5,987 - 3,829} = 0,757 > D_{\text{kritis}} = 0,628$$

Karena D_{hitung} lebih besar dari D_{kritis} maka data modulus elastisitas rata-rata untuk variasi penambahan 5% piropilit tidak disertakan dalam analisis uji hipotesis ANOVA dan regresi disebabkan data dianggap menyimpang.

Uji Grubbs Untuk Data Porositas dan Modulus Elastisitas Bata Ringan (n awal = 5 benda uji)

Untuk kelengkapan hasil penelitian berikut dilampirkan alasan penggunaan 3 data dalam penelitian. Mula-mula dibuat 5 benda uji namun pada kenyataannya tidak semua benda uji dapat dipergunakan dalam analisis karena dimungkinkan terdapat faktor *human error* dalam proses pembuatan benda uji sehingga data yang didapatkan ada yang menyimpang, oleh karena itu di pilihkan pengujian Grubbs jika dicurigai terdapat lebih dari 1 data yang menyimpang.

Data dianggap outlier jika G hitung > G kritis

$$G1 = \frac{|\bar{x} - x_i|}{s}$$

$$G2 = \frac{|x_n - x_1|}{s}$$

$$G3 = \frac{(n-3) x s_{n-2}^2}{(n-1) x s^2}$$

Keterangan:

G1 = berlaku jika terdapat hanya satu data ekstrim

G2 = diaplikasikan apabila terdapat dua data ekstrim yaitu 1 data ekstrim pada posisi terendah dan 1 data ekstrim pada posisi tertinggi

G3 = diterapkan ketika terdapat 2 buah data ekstrim yang letaknya berdekatan satu sama lain (berpasangan)

\bar{x} = rata-rata

x_i = data yang dicurigai sebagai outlier

x_n = data terendah

x_1 = data tertinggi

n = jumlah data

s_{n-2} = simpangan baku tanpa memperhitungkan data ekstrim

s = simpangan baku

– Porositas

Tingkat kepercayaan 95%

$n = 5 \rightarrow G1 \text{ kritis} = 1,672; G2 \text{ kritis} = 2,75; G3 \text{ kritis} = 0,9817$

Tabel. Data Hasil Perhitungan Porositas

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
N1	20,287	A1	41,459	B1	30,409
N2	23,061	A2	41,352	B2	23,077
N3	15,189	A3	41,897	B3	23,762
N4	18,958	A4	49,109	B4	28,462
N5	19,581	A5	48,509	B5	23,762

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
C1	18,861	D1	19,342	E1	16,048
C2	25,468	D2	18,286	E2	17,185
C3	21,687	D3	13,465	E3	19,316
C4	18,356	D4	19,162	E4	17,987
C5	21,097	D5	9,320	E5	16,725

Tabel. Perhitungan Uji Grubbs Untuk Tiap Variasi

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
N3	15,189	A2	41,352	B2	23,077
N4	18,958	A1	41,459	B5	23,762
N5	19,581	A3	41,897	B3	23,904
N1	20,287	A5	48,509	B4	28,462
N2	23,061	A4	49,109	B1	30,409
s	2,835	s	3,976	s	3,295
s_{n-2}	1,8398	s_{n-2}	0,2888	s_{n-2}	0,4423
G2	2,777	G3	0,99736	G3	0,97391
\bar{x}_{n-2}	18,257	\bar{x}_{n-2}	41,569	\bar{x}_{n-2}	23,581

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
C4	18,356	D5	9,320	E1	16,04800
C1	18,861	D3	13,465	E5	16,72500
C5	21,097	D2	18,286	E2	17,18500
C3	21,687	D4	19,162	E4	17,98700
C2	25,468	D1	19,342	E3	19,23700
s	2,827	s	4,399	s	1,258
s_{n-2}	2,3717	s_{n-2}	0,5652	s_{n-2}	0,5721
G1	1,547	G3	0,99175	G2	2,598
\bar{x}_{n-2}	20,548	\bar{x}_{n-2}	18,930	\bar{x}_{n-2}	16,653

Untuk kadar piropilit 0% dicurigai data N2 dan N3 merupakan data yang menyimpang sehingga di gunakan pengujian Grubbs cara kedua (G2) dan didapatkan hasil $G2 = 2,777 > G \text{ kritis} = 0,9817$ sehingga data N2 dan N3 dianggap sebagai data yang menyimpang. Begitu pula dengan data kadar 5%-25% sehingga data A4, A5, B1, B4, C2, C4, D3, D5, E1, dan E3 di abaikan.

– **Modulus Elastisitas**

Tingkat kepercayaan 95%

$n = 5 \rightarrow G1 \text{ tabel} = 1,672; G2 \text{ tabel} = 2,75; G3 \text{ tabel} = 0,9817$

Tabel. Data Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)
N1	5,415	A1	2,325	B1	4,890
N2	3,627	A2	2,151	B2	6,830
N3	4,256	A3	2,124	B3	6,887
N4	3,604	A4	2,311	B4	2,700
N5	5,120	A5	2,656	B5	4,963

Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)
C1	5,135	D1	3,130	E1	6,316
C2	5,941	D2	4,802	E2	5,030
C3	6,667	D3	5,333	E3	5,612
C4	5,815	D4	3,285	E4	6,034
C5	4,149	D5	4,004	E5	6,914

Tabel. Perhitungan Uji Grubbs Untuk Tiap Benda Uji

Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)
N4	3,604	A3	2,124	B4	3,104
N2	3,627	A2	2,151	B1	4,890
N3	4,256	A4	2,311	B5	4,963
N5	5,120	A1	2,325	B2	6,830
N1	5,415	A5	2,656	B3	6,887
s	0,837	s	0,212	s	1,578
s _{n-2}	0,3704	s _{n-2}	0,1009	s _{n-2}	1,0528
G3	0,98211	G1	1,61659	G1	1,4139
\bar{x}_{n-2}	3,829	\bar{x}_{n-2}	2,195	\bar{x}_{n-2}	4,319

Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)	Data	E (KN/cm ²)
C5	4,149	D1	3,130	E2	5,030
C1	5,135	D4	3,285	E3	5,612
C4	5,815	D5	4,004	E4	6,034
C2	5,941	D2	4,802	E1	6,316
C3	6,667	D3	5,333	E5	6,914
s	0,949	s	0,952	s	0,712
s _{n-2}	0,4598	s _{n-2}	0,4661	s _{n-2}	0,5042
G2	2,852	G3	0,99020	G2	2,847
\bar{x}_{n-2}	5,630	\bar{x}_{n-2}	4,713	\bar{x}_{n-2}	5,987

Untuk kadar piropilit 0% dicurigai data N1 dan N5 merupakan data yang menyimpang sehingga di gukanan pengujian Grubbs cara kedua (G2) dan didapatkan hasil $G3 = 2,9821 > G \text{ kritis} = 0,9817$ sehingga data N1 dan N5 dianggap sebagai data yang menyimpang. Begitu pula dengan data kadar 5%-25% sehingga data A3, A5, B3, B4, C3, C5, D2, D3, E2, dan E5 di abaikan.

Lampiran 10 Dokumentasi Penelitian



Gambar. Lokasi penambangan batuan piropilit



Gambar. Pemecahan batuan piropilit (Stone Crusher)



Gambar. Penelitian Pendahuluan



Gambar. Benda Uji Tiap Variasi (Penelitian Pendahuluan)



Gambar. Pencetakan Benda Uji



Gambar. Proses Penimbangan Piropilit sebelum dicampurkan pada adonan



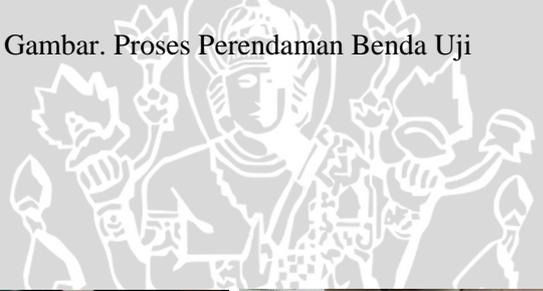
Gambar. Proses Pengangkutan dan Penyimpanan dalam Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya



Gambar. Proses Pengeringan Benda Uji dengan Cara di Oven



Gambar. Proses Perendaman Benda Uji



Gambar. Pengujian Kuat Tekan dan Pencatatan Dial





Gambar. Kondisi Benda Uji setelah Proses Pengujian Tekan



Gambar. Tim Peneliti Bata Ringan dengan Penambahan Piropilit

