

**PENGARUH PENGGUNAAN PIROPILIT DAN VARIASI
JENIS SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS
PAVING**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh

SAPTO SATRYO WIBOWO

0710613049

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2012

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PENGGUNAAN PIROPILIT DAN VARIASI JENIS SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS PAVING**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

SAPTO SATRYO WIBOWO

0710613049

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Retno Anggraini ST.,MT
NIP. 19750129 200312 2 001

Ir.Ristinah S.,MT
NIP. 19491227 197603 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENGGUNAAN PIROPILIT DAN VARIASI JENIS SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS PAVING**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

SAPTO SATRYO WIBOWO
NIM. 0710613049-61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 19 Maret 2012

DOSEN PENGUJI :

Retno Anggraini, ST,MT
NIP. 19750129 200312 2 001

Ir.Ristinah S.,MT
NIP. 19491227 197603 2 001

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

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sugeng P. Budio, MS
NIP. 19610125 198601 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SAPTO SATRYO WIBOWO

NIM : 0710613049

Judul Skripsi : PENGARUH PENGGUNAAN PIROPILIT DAN VARIASI
JENIS SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN
POROSITAS PAVING.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Laporan Skripsi berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari penulis sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan programing yang tercantum sebagai bagian dari Laporan Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, penulis akan mencantumkan sumber secara jelas.

Dengan demikian pernyataan ini saya buat, semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar dan semua isi Karya Ilmiah/Skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Malang, 18 April 2012
Yang membuat pernyataan,

(Sapto Satryo Wibowo)
NIM. 0710613049

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*PENGARUH PENGGUNAAN PIROPILIT DAN VARIASI JENIS SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS PAVING*", sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

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

1. Orang tua dan keluarga, atas dukungan dan motivasinya
2. Ir.Sugeng P.Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Retno Anggraini, ST, MT. dan Ir. Ristinah S., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak bimbingan dan masukan yang berharga untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.
4. Ir.Siti Nurlina, MT., selaku dosen penguji skripsi dan ketua majelis seminar proposal.
5. Sahabat dan seluruh rekan-rekan Mahasiswa Sipil angkatan 2007, atas bantuannya

Harapan penulis, melalui Tugas Akhir ini mampu memberi manfaat berupa wawasan Ilmu Pengetahuan dan teknologi bagi pembacanya. Terutama di bidang Sipil. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca.

Malang, Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
ABSTRAK	xi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Masalah Penelitian.....	3
 BAB II DASAR TEORI	
2.1 Paving.....	4
2.1.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Mutu Paving.....	5
2.1.2 Bahan Penyusun Paving.....	6
2.1.3 Jenis Paving	17
2.1.4 Spesifikasi Paving.....	19
2.1.5 Proses Curing	20
2.2 Kuat Tekan Paving	22
2.3 Piropilit.....	23
2.3.1 Pengaktifan Mineral Piropilit.....	26
2.4 Porositas Paving.....	27

2.5 Penelitian Pendahulu.....	29
2.6 Hipotesis	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3 Variabel Penelitian.....	31
3.4 Rancangan Penelitian.....	31
3.5 Bahan Dasar Yang Digunakan.....	32
3.6 Pengujian Bahan Dasar	33
3.7 Pembuatan Paving	34
3.8 Pengujian Kuat Tekan Bahan Paving	36
3.8.1 Pengujian Porositas Paving	37
3.7.2 Mencetak Paving	35
3.8 Pengujian Kuat Tekan Bahan Paving	36
3.9 Metode Analisis.....	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Pengujian Paving	40
4.1.1 Pengujian Kuat Tekan pada Paving non piropilit.....	40
4.1.2 Pengujian kuat tekan paving dengan variasi piropilit umur 7 hari....	45
4.1.3 Pengujian kuat tekan paving dengan variasi piropilit umur 14 hari .	47
4.1.4 Pengujian kuat tekan paving dengan variasi piropilit umur 28 hari.	49
4.1.5 Pengujian porositas pada paving dengan variasi piropilit.....	51
4.2 Hasil dan Pembahasan.....	56
4.2.1 Kuat tekan Paving piropilit umur 7 hari.....	56
4.2.2 Analisis regresi paving piropilit umur 7 hari	61
4.2.3 Kuat tekan Paving piropilit umur 14 hari.....	62
4.2.4 Analisis regresi paving piropilit umur 14 hari	67

4.2.5 Kuat tekan Paving piropilit umur 28 hari.....	68
4.2.6 Analisis regresi paving piropilit umur 28 hari.....	72
4.2.7 Analisis regresi pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 28 hari.....	73
4.2.8 Hasil porositas paving piropilit.....	74
4.2.9 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap porositas paving piropilit.....	78
4.3 Pembahasan	79
4.3.1 Pembahasan Kuat Tekan Paving	79
4.3.2 Pembahasan Porositas Paving	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan.....	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kandungan senyawa dan mineral	7
Tabel 2.2 Spesifikasi Semen Jenis A	12
Tabel 2.3 Kalsifikasi Persyaratan Fisika Semen Jenis B	13
Tabel 2.4 Kalsifikasi Persyaratan Kimia Semen Jenis B	14
Tabel 2.5 Mutu Paving	19
Tabel 2.6 Kombinasi Mutu, Bentuk, Tebal dan Pola Pemasangan Paving	20
Tabel 2.7 Hasil analisa kimia Piropilit	25
Tabel 3.1 Hubungan Kadar piropilit dengan jenis semen	32
Tabel 4.1 Data Profil Paving non piropilit	42
Tabel 4.2 Tabel Kuat tekan pada paving non piropilit	42
Tabel 4.3 Data profil paving piropilit umur 7 hari	45
Tabel 4.4 Tabel kuat tekan paving umur 7 hari dengan variasi piropilit	46
Tabel 4.5 Data profil paving piropilit umur 14 hari	47
Tabel 4.6 Tabel kuat tekan paving umur 14 hari dengan variasi piropilit	48
Tabel 4.7 Data profil paving piropilit umur 28 hari	49
Tabel 4.8 Tabel kuat tekan paving umur 28 hari dengan variasi piropilit	50
Tabel 4.9 Data profil uji porositas paving piropilit umur 28 hari	52
Tabel 4.10 Nilai porositas Paving piropilit umur 28 hari	53
Tabel 4.11 Data kuat tekan paving piropilit umur 7 hari	58
Tabel 4.12 Data kuat tekan paving piropilit umur 14 hari	63
Tabel 4.13 Data kuat tekan paving piropilit umur 28 hari	69
Tabel 4.14 Persentase piropilit terhadap kuat tekan umur 28 hari	73

Tabel 4.15 Nilai porositas paving piropilit	75
Tabel 4.16 Persentase pengaruh nilai porositas	78



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Paving Tipe Hexagon, Tipe Straight, Tipe Trihex dan Tipe Topi Uskup.....	4
Gambar 2.2 Diagram Cetakan Paving Blok Bentuk Hexagonal	17
Gambar 2.3 Mesin Paving Block Press Hidrolik	18
Gambar 2.4 Batuan Piropilit.....	24
Gambar 2.5 Model struktur menurut Hofmann.....	25
Gambar 2.6 Paving Persegi Panjang (<i>Straight</i>) ukuran 20 x 10 x 6 cm.....	36
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara rata-rata kuat tekan dengan Variasi jenis semen dan umur paving.....	43
Gambar 4.2 Kumpulan paving yang telah siap diuji.....	43
Gambar 4.3 Skema pengujian kuat tekan paving.....	44
Gambar 4.4 Paving setelah diuji kuat tekan.....	44
Gambar 4.5 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit umur 7 hari.....	46
Gambar 4.6 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit umur 14 hari.....	46
Gambar 4.7 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit umur 28 hari.....	46
Gambar 4.8 Grafik nilai porositas pada paving dengan variasi Jenis semen ..	53
Gambar 4.9 Hubungan nilai porositas paving dengan variasi Jenis semen.....	54
Gambar 4.10 Hubungan Proses pengovenan paving piropilit.....	55
Gambar 4.11 Proses perendaman paving piropilit	55
Gambar 4.12 Proses penimbangan paving piropilit	56

Gambar 4.13 Hubungan rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen piropilit umur 7 hari 57

Gambar 4.14 Hubungan kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 7 hari 61

Gambar 4.15 Hubungan rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen piropilit umur 14 hari 62

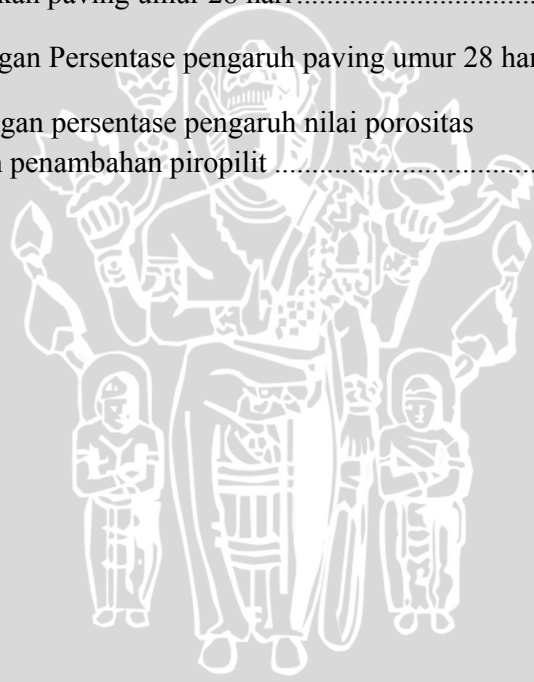
Gambar 4.16 Hubungan kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 14 hari 67

Gambar 4.17 Hubungan rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen piropilit umur 28 hari 68

Gambar 4.18 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 28 hari 69

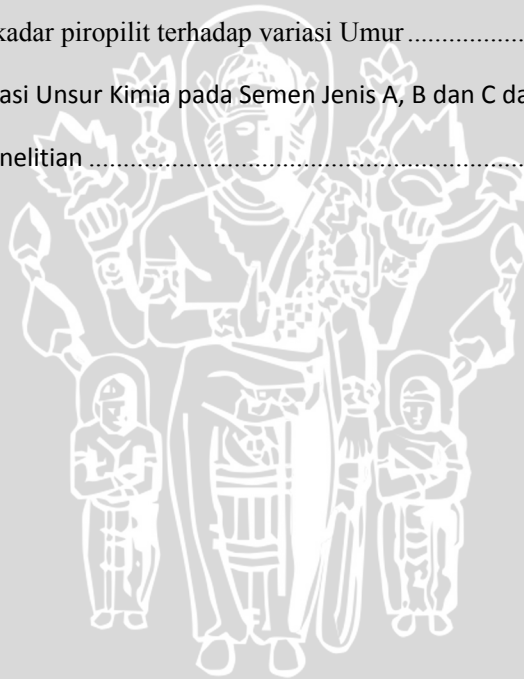
Gambar 4.19 Hubungan Persentase pengaruh paving umur 28 hari 74

Gambar 4.20 Hubungan persentase pengaruh nilai porositas dengan penambahan piropilit 79



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Analisis gradasi agregat halus	L / 1-1
Lampiran 2	Berat jenis dan penyerapan agregat halus	L / 2-1
Lampiran 3	Pemeriksaan berat isi agregat halus	L / 3-1
Lampiran 4	Kadar air agregat halus	L / 4-1
Lampiran 5	Berat Isi agregat halus	L / 5-1
Lampiran 6	Nilai F_{tabel}	L / 6-1
Lampiran 7	Volume Benda Uji	L / 7-1
Lampiran 8	Grafik kadar piropilit terhadap variasi semen	L / 8-1
Lampiran 9	Grafik kadar piropilit terhadap variasi Umur	L / 9-1
Lampiran 10	Spesifikasi Unsur Kimia pada Semen Jenis A, B dan C dan Piropilit	L / 10-1
Lampiran 11	Foto Penelitian	L / 11-1



DAFTAR SIMBOL

Notasi	Satuan Simbol	
A	cm ²	
P	kg/cm ²	σ
F	Kg	
Bj	kg/cm ²	ρ
FAS	-	
n	-	
Wb	gr	
Wk	gr	
Vb	cm ³	
JK	-	
KT	cm	L

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



ABSTRAK

Sapto Satryo W., Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2011, *PENGARUH PENGGUNAAN PIROPILIT DAN VARIASI JENIS SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS PAVING*, Dosen Pembimbing : Retno Angraini, ST, MT dan Ir. Ristinah S., MT.

Paving merupakan salah satu elemen bahan bangunan yang banyak diterapkan dalam bidang lapisan perkerasan jalan. Paving memiliki porositas yang relatif tinggi, sehingga mempengaruhi keawetan dari paving tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan bahan tambahan untuk memperkuat mutu paving. Salah satu bahan penyusun yang mampu mempengaruhi mutu dan nilai porositas paving block adalah mineral Pyrophyllite. Pyrophyllite (Piropilit) adalah material dengan kandungan silika yang tinggi dan memiliki ketersediaan cukup banyak (jutaan ton). Salah satu faktor yang mempengaruhi mutu paving paling utama adalah semen. Semen merupakan bahan penting penyusun paving karena berkontribusi besar terhadap pengaruh kuat tekan pada paving. Nilai kuat tekan pada paving berbeda-beda yang disebabkan berbedanya kadar penyusun pada setiap semen. Masa hidrasi atau waktu pengerasan paving yang berbeda sehingga paving yang dihasilkan memiliki nilai kuat tekan yang bervariasi.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan dan porositas pada paving piropilit untuk mengetahui hasil pengaruh piropilit dan penggunaan variasi jenis semen. Total benda uji sebanyak 180 buah untuk masing-masing variasi piropilit 5%, 10%, 15% dan 20% serta menggunakan 3 variasi jenis semen yaitu semen jenis A, B dan C. Sedangkan umur pengujian kuat tekan paving dimulai dari umur 7, 14 dan 28 sedangkan untuk pengujian porositas saat paving berumur 28 hari. Metode yang digunakan untuk pengolahan data adalah metode statistik ANOVA 2 arah dan regresi.

Dari hasil statistik didapatkan bahwa terdapat pengaruh variasi piropilit dan jenis semen terhadap nilai kuat tekan dan porositasnya. Saat umur 28 hari nilai kuat tekan paling tinggi yaitu semen jenis B dengan nilai kuat tekan sebesar 29,77 MPa. Sedangkan Untuk nilai porositas dengan penambahan kadar piropilit dengan variasi 5%, 10%, 15% dan 20% terjadi penurunan yang signifikan. Penurunan paling minimum saat penambahan piropilit 20%. Paving dengan campuran semen Jenis B memiliki nilai porositas paling kecil dibandingkan penggunaan semen jenis A dan B.

Kata Kunci : *Piropilit, Jenis Semen, Kuat Tekan, Porositas*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paving merupakan salah satu elemen bahan bangunan yang banyak diterapkan dalam bidang lapisan perkerasan jalan. Paving termasuk bahan konstruksi yang banyak dipakai pada areal parkir, trotoar jalan – jalan di daerah real estate, perkerasan di pabrik – pabrik, industri dan lain-lain sebagainya. Salah satu karakteristik kualitas yang harus dimiliki paving block adalah kekuatan tekan. Kualitas paving semakin baik jika memiliki kuat tekan yang semakin tinggi. Paving block dibuat dari campuran semen portland, agregat dan air dengan atau tanpa tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu paving block tersebut.

Namun demikian, paving memiliki beberapa kekurangan yaitu kuat tekan yang rendah sehingga menyebabkan paving mudah retak apabila terkena beban yang melebihi kapasitasnya. Paving memiliki porositas yang relatif tinggi, sehingga mempengaruhi keawetan dari paving tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan bahan tambahan untuk memperkuat mutu paving.

Salah satu bahan penyusun yang mampu mempengaruhi mutu paving block adalah mineral Pyrophyllite. Pyrophyllite (Piropilit) adalah material dengan kandungan silika yang tinggi dan memiliki ketersediaan cukup banyak (jutaan ton) dan berada pada kawasan luas (ratusan hektar) di Indonesia. Piropilit memiliki gradasi butiran yang bagus dan harganya relatif murah.

Paving yang kurang baik biasanya dibuat dengan mutu semen yang kurang baik. Mutu semen yang kurang baik memiliki kandungan silika yang sedikit. Paving yang kurang baik terdapat retak, mudah patah, dan permukaannya berpasir. Sehingga jenis-jenis semen mempengaruhi mutu paving itu sendiri.

Pada umumnya paving block yang memiliki nilai porositas tinggi akan mengurangi kekuatan dan keawetan paving. Paving yang berpori-pori memiliki kekuatan yang lebih kecil daripada paving yang padat, selain itu paving berpori-pori umur yang lebih pendek karena zat-zat yang merugikan dapat mengisi pori-pori pada paving tersebut. Sehingga nilai porositas merupakan salah satu tolak ukur yang penting untuk mengetahui keawetan paving.

Dari penjelasan diatas maka pada skripsi kali ini akan dibahas bagaimana pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan dan porositas paving.

1.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini mempelajari pengaruh variasi jenis semen dan penggunaan piropilit terhadap kuat tekan dan porositas paving. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada latar belakang diatas identifikasi masalah pada skripsi ini adalah Uji tekan dan porositas paving dengan variasi jenis semen dan penggunaan piropilit.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pembuatan dilakukan di Pabrik Mondoroko Singosari
2. Pengujian kuat tekan dan porositas Paving dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya
3. Benda uji berupa paving ukuran 10 x 20 x 6 cm
4. Pasir yang digunakan adalah pasir Malang
5. Semen yang digunakan Semen jenis A, B, dan C
6. Piropilit yang digunakan adalah piropilit dari daerah Sumbermanjing
7. Air semen yang digunakan adalah dari PDAM Kota Malang
8. Uji tekan dilakukan setelah paving berumur 7, 14 dan 28 hari
9. Uji porositas dilakukan setelah paving berumur 28 hari
10. Tidak membahas secara detail reaksi kimia pada paving.

1.4 Rumusan Masalah

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

1. Apakah terdapat pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving?
2. Apakah terdapat pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap porositas paving?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap porositas paving.

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi tentang pengaruh penggunaan piropilit kuat tekan paving.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh variasi jenis semen dan penggunaan piropilit terhadap porositas paving.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Paving

Paving merupakan bahan bangunan yang berupa bata cetak alternatif pengganti batu bata yang tersusun dari komposisi antara pasir, semen *Portland* dan air dengan perbandingan 1 semen : 4 pasir. *Paving block* atau blok beton terkunci menurut SII.0819-88 adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut. Paving memiliki beberapa tipe berdasarkan bentuk dan penggunaan seperti pada **Gambar 2.1.** berikut



Gambar.2.1Paving Tipe Hexagon, Tipe Straight, Tipe Trihex dan Tipe Topi Uskup

(Sumber : www.paving.indonetwork.co.id, diakses 28 September 2011).

Menurut SK SNI T-04-1990-F, *paving block* adalah segmen-segmen kecil yang terbuat dari beton dengan bentuk segi empat atau segi banyak yang dipasang sedemikian rupa sehingga saling mengunci. Sedangkan Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. Paving dapat berwarna seperti warna aslinya atau diberi zat warna pada komposisinya dan digunakan untuk halaman baik di dalam maupun di luar bangunan.

Dari beberapa pengertian diatas dapat ditarik kesimpulan tentang pengertian paving adalah salah satu bahan bangunan yang berupa batu-batuan yang pengerasannya tidak dibakar dengan bahan pembentuk yang berupa campuran pasir, semen, air dan dalam pembuatannya dapat ditambahkan dengan jerami sebagai bahan pengisi antara campuran tersebut atau bahan tambah lainnya (*additive*).

2.1.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Mutu Paving

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kekuatan serta mutu Paving dari **Paving**. Kekuatan paving tergantung pada perbandingan adukan dan disesuaikan dengan kebutuhan pekerjaan. Penggunaan yang berbeda membutuhkan kekuatan paving yang berbeda pula. Salah satu syarat utama dari produk Bata Beton (**Paving**) yang berkualitas yaitu Kekuatan paving. Produk paving haruslah cukup kuat untuk menahan tekanan secara aman pada setiap faktor keamanan. Tidaklah ekonomis membuat paving lebih kuat dari yang dibutuhkan, tetapi kekuatan minimum harus dapat terpenuhi serta memiliki kualitas mutu paving standar **SNI**.

Berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi mutu paving :

- Semen

Mutu semen merupakan faktor penting yang mempengaruhi kebutuhan dasar paving. Semen haruslah baru dan tidak bergumpal. Di beberapa daerah di Indonesia, Semen Jenis Tertentu masih dianggap sebagai semen dengan mutu terbaik yang ada dan sangat baik apabila digunakan sebagai bahan baku untuk **paving**.

- Perbandingan Air – Semen

Perbandingan jumlah minimum air dan berat semen, perlu diketahui konsistensi dan kemampuan kerja adukan paving yang diinginkan yang disebut perbandingan air – semen. Kekuatan paving menurun dengan menurunnya perbandingan air – semen. Hal ini disebabkan penambahan air setelah penguapan

akan meninggalkan kekosongan yang sangat kecil. Semakin banyak kekosongan pada paving, maka akan semakin tidak kuat.

- **Bahan Baku**

Pasir dan kerikil harus bebas dari dedaunan, rumput dan benda-benda asing. Pasir haruslah agak kasar dengan ukuran partikel mulai dari ukuran debu hingga 5 mm. Kerikil bersih dengan ukuran 26,5 mm, 19 mm atau 9,2 mm dapat digunakan untuk beton. Ukuran kerikil 26,5 mm dapat digunakan untuk bagian yang tebal seperti pondasi, slop dan lantai untuk industri yang lebih dari 120 mm. Kerikil 19 mm dapat digunakan untuk lantai, jalan setapak, jalan raya. Kerikil 13,2 mm atau 9,5 mm dapat digunakan untuk bagian beton yang tipis, seperti slop tipis, beton pra cetak dengan ketebalan mulai dari 40 mm –50 mm.

- **Kehalusan Kerikil halus**

Kekuatan beton akan menurun dengan semakin halusnya kerikil halus. Hal ini disebabkan kerikil halus membutuhkan lebih banyak semen yang digunakan yang mempengaruhi keseluruhan adukan.

- **Mesin Cetak produksi**

Khusus untuk produk **Paving**, peralatan mesin cetak produksi juga dapat menentukan kekuatan paving yang dihasilkan. Semua bergantung pada kemampuan mesin tersebut memberikan tekanan pada proses pencetakan **paving**. Pada umumnya di Indonesia terdapat 3 jenis **Paving** bila dibedakan dari alat dan proses produksinya, yaitu **Paving Block** Press Tangan, **Paving Block** Press Mesin Vibrasi dan **Paving Block** Press mesin Hidrolik.

2.1.2 Bahan Penyusun Paving

Dalam pembuatan paving pada umumnya bahan yang digunakan adalah pasir, semen dan air.

- Semen

Semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesif dan sifat kohesif yang digunakan sebagai bahan pengikat (bonding material) yang dipakai bersama dengan batu kerikil, pasir dan air. Portland semen merupakan bahan utama atau komponen beton terpenting yang berfungsi sebagai bahan pengikat anorganik dengan bantuan air dan mengeras secara hidrolis. Semen Portland adalah material yang mengandung paling tidak 75 % kalsium silikat (3CaO dan 2CaO), sisanya tidak berkurang dari 5% berupa Al silikat, Al ferit silikat, dan MgO).

Didalam semen terdapat senyawa yang kompleks yang lazim disebut sebagai senyawa semen atau mineral klinker, seperti **Tabel 2.1** berikut :

Tabel 2.1. Kandungan senyawa dan mineral

Mineral-mineral Klinker	Rumus Kimia	Rumus Singkatan	Kadar rata-rata
Trikalsium silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S	37-60
Dikalsium silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S	15-37
Trikalsium aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	.7-15
Tetrakalsium alumina	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF	.10-20
ferit	CaO	--	≤ 1
Kapur bebas	CaCO_4	--	≤ 3
Gips			

Sumber : Teknologi beton, Wuryati S dan Candra, 2001.

Dari senyawa-senyawa yang seperti disebutkan diatas, senyawa C3S dan C2S merupakan senyawa yang dominan sebagai senyawa penyusun semen portland karena kedua bahan tersebut adalah senyawa yang mengakibatkan bahan bersifat semen atau mengikat. Kadar senyawa C3S dan C2S dalam semen mencapai 70% - 80%. Sedangkan sisa senyawa lainnya merupakan senyawa bawaan yang tidak mempunyai sifat semen, tetapi senyawa tersebut akan membantu proses pencairan (*flux*) bahan dasar pada saat dibakar.

Jika semen portland diberi air, air akan berangsur-angsur mengadakan persenyawaan dengan senyawa-senyawa semen terutama senyawa C3S dan C2S. Senyawa tersebut beraksi dengan membentuk gel atau agar-agar sebagai senyawa kalsium silikat hidrat, dan membebaskan sebagai kapur. Senyawa C3A dan C4AF juga bersenyawa dengan air, senyawa tersebut membentuk senyawa trikalsium aluminat hidrat. Untuk senyawa C3A bila terkena air akan segera beraksi dan mengeluarkan panas untuk kemudian hancur. Apabila didalam semen portland terkandung senyawa C3A lebih dari 18%, maka semen portland tidak memiliki sifat kekal bentuk (Karena mengembang) akibat panas yang terlalu tinggi pada waktu pengerasan.

Untuk memperendah kadar C3A dalam semen portland, biasanya ditambahkan bijih besi dalam pembuatannya sehingga kadar C4AF menjadi tinggi pula. Senyawa C4AF tidak mempunyai sifat yang membahayakan terhadap semen portland, hanya saja akan memperlambat proses pengerasan.

Semen portland yang digunakan sebagai bahan struktur harus mempunyai kualitas yang sesuai dengan ketepatan agar berfungsi secara efektif. Pemeriksaan dilakukan terhadap yang masih berbentuk kering, pasta semen yang masih keras dan beton yang dibuat darinya. Sifat kimia yang perlu mendapat perhatian adalah kesegaran semen itu sendiri. Semakin sedikit kehilangan berat berarti semakin sedikit kesegaran semen. Dalam keadaan normal kehilangan berat sebesar 2% dan maksimum kehilangan yang diijinkan 3%. Kehilangan berat terjadi karena adanya kelembaban dan karbondioksida dalam bentuk kapur bebas atau magnesium yang menguap. Massa jenis semen yang diisyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 gr/cm³, pada kenyataannya massa jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,03 gr/cm³ sampai 3,25 gr/cm³. Variasi ini akan berpengaruh proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian massa jenis ini dapat dilakukan menggunakan Le Chatelier Flask.

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam paving hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Semen yang digunakan untuk pekerjaan paving harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Bahan baku pembuatan semen adalah batu kapur, pasir silika, tanah liat dan pasir besi. Total kebutuhan bahan mentah yang digunakan untuk memproduksi semen yaitu:

1. Batu Kapur

Batu kapur merupakan sumber utama oksida yang mempunyai rumus CaCO_3 (Calcium Carbonat), pada umumnya tercampur MgCO_3 dan MgSO_4 . Batu kapur yang baik dalam penggunaan pembuatan semen memiliki kadar air $\pm 5\%$, dan penggunaan batu kapur dalam pembuatan semen itu sendiri sebanyak $\pm 81\%$.

2. Pasir Silika

Pasir silika memiliki rumus SiO_2 (silikon dioksida). Pada umumnya pasir silika terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar SiO_2 semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar SiO_2 semakin berwarna 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 dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar $\pm 9\%$.

3. 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 $\pm 20\%$, kadar SiO_2 tidak terlalu tinggi $\pm 46\%$, dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar $\pm 9\%$.

4. 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 gipsum sebanyak 3-5% total pembuatan semen. penggunaan pasir besi dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar $\pm 1\%$.

- Tipe Semen

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

1. Tipe I

Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus. Misalnya untuk pembuatan trotoar, urug-urug, pemasangan bata dan lain sebagainya

2. Tipe II

Semen Portland jenis umum dengan perubahan-perubahan (*modified Portland cement*). Semen ini memiliki panas hidrasi lebih rendah dan keluarnya panas lebih lambat daripada semen tipe I. Jenis ini digunakan untuk bangunan tebal seperti pilar-pilar dengan ukuran besar, tumpuan dan dinding tanah tebal, dan lain sebagainya. Panas hidrasi yang agak rendah dapat mengurangi retak-retak pengerasan. Jenis ini juga dapat digunakan untuk bangunan drainase di tempat yang memiliki konsentrasi sulfat yang agak tinggi.

3. Tipe III

Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi (*high early strength Portland cement*). Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas.

4. Tipe IV

Semen Portland dengan panas hidrasi yang rendah (*low heat Portland cement*). Jenis ini merupakan jenis khusus untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi serendah-rendahnya. Kekuatannya tumbuh lambat. Jenis ini digunakan untuk bangunan beton massal seperti bendungan-bendungan gravitasi besar.

5. Tipe V

Semen Portland tahan sulfat (*sulfate resisting Portland cement*). Jenis ini merupakan jenis khusus yang maksudnya hanya untuk penggunaan pada bangunan yang kena sulfat, seperti di tanah atau air yang tinggi kadar alkalinnya. Pengerasan berjalan lebih lambat dari pada semen Portland biasa.

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/cm².
- b) Semen Portland mutu S-475, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar 475 kg/cm².
- c) Semen Portland mutu S-550, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar 550 kg/cm².
- d) Semen Portland mutu S-S, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 1 hari sebesar 225 kg/cm², dan pada umur 7 hari sebesar 525 kg/cm²

- Jenis Semen

Semen yang digunakan yaitu semen dari Produsen A, B, dan C.

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

1. Semen Jenis A :

Pada Semen dari Produsen A spesifikasi mengacu pada SNI 15 – 2049 – 2004 dan ASTM C595-03 seperti pada **Tabel 2.2** berikut

Tabel 2.2 Spesifikasi Semen Jenis A

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

Sumber : <http://semen.web44.net/v.2.0/layananpelanggan/spesifikasi.swf>,

diakses 25 September 2011

2. Semen Jenis B :

Pada Semen Jenis B spesifikasi mengacu pada

Indonesian standart : SNI 15-2049-2004

American Standart : ASTM C 150-04a

European Standart : EN 197 - 1 : 2000

Dapat dilihat **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4** berikut

Tabel 2.3 Kalsifikasi Persyaratan Fisika Semen Jenis B

SNI 15-2049-2004

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

Catatan

Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan atau jika syarat C3S + C3A seperti tercantum pada tabel syarat kimia tambahan diisyaratkan.

Tabel 2.4 Kalsifikasi Persyaratan Kimia Semen Jenis B

Persyaratan kimia semen portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

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

Sumber : SNI 15 – 2049 Semen Portland, 2004: 2

3. Semen Jenis C :

Standard API 10A

CaO = 49,5%

SiO = 28,5%

Al₂O₃ = 8,7%

Fe₂O₃ = 1,8%

MgO = 6%

Berat jenis : 2,97 g/cm³

Berat Isi : 0,99 g/cm³

Blaine : 5,300 cm²/g

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

- **Pasir**

Pasir merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk membuat adukan. Selain itu juga pasir berpengaruh terhadap sifat tahan susut, keretakan dan kekerasan pada batako atau produk bahan bangunan campuran semen lainnya. Pada pembuatan paving ini digunakan pasir yang lolos ayakan kurang dari 5 mm dan harus bermutu baik yaitu pasir yang bebas dari lumpur, tanah liat, zat organik, garam florida dan garam sulfat. Selain itu juga pasir harus bersifat keras, kekal dan mempunyai susunan butir (*gradasi*) yang baik. Pasir atau agregat halus dengan ukuran butir yang melewati saringan no.4 (butir \leq 5mm) berfungsi sebagai bahan pengisi dalam pembuatan bata paving. Kekuatan paving dipengaruhi oleh kualitas pasir yang digunakan, sehingga pasir yang digunakan harus memenuhi syarat yang telah ditentukan dalam PUBI 1982 sebagai berikut :

- a. Pasir harus bersih, bila diuji memakai larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang terlihat disebanding dengan tinggi seluruh endapan lebih besar atau tidak boleh kurang dai 70%.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lewat ayakan 0,063 tidak lebih besar dari 5% berat.
- c. Angka kehalusan fineness modulus terletak antara 2,2 - 3,2 bila diuji memakai ayakan rangkaian dengan ukuran berturut-turut 0.16 - 0.315, 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5.00 – 10, fraksi yang lewat 0,3 mm minimal 15%.
- d. Pasir tidak boleh mengandung unsur zat organik yang dapat mengurangi mutu. Untuk itu bila direndam dalm larutan 3% NaOH cairan diatas endapan tidak lebih gelap dari larutan pembanding.

- **Air**

Air merupakan salah satu unsur penting sebagai bahan penyusun paving. Agar kestabilan dan kekuatan campuran paving terpenuhi, maka salah satu cara adalah dengan meninjau atau menetapkan faktor air semen (fas) yang digunakan dalam adukan. Air berfungsi untuk reaksi semen memulai pengikatan serta menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan di padatkan.

Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25 persen berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai f.a.s. yang dipakai sulit kurang 0,35. Kelebihan air yang dipakai sebagai pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan paving akan rendah. Faktor air semen merupakan konstanta perbandingan antara jumlah air bebas dan berat semen. Semakin kecil nilai faktor air semen dalam adukan maka tingkat kekentalan adukan semakin tinggi.

Hal ini menyebabkan sifat adukan tidak mudah untuk dikerjakan, sifat susut adukan menjadi kecil dan tingkat kekuatan tekan adukan semakin tinggi. Penggunaan air dalam campuran paving sebaiknya memenuhi syarat yang tercantum dalam PUBLI 1982 sebagai berikut :

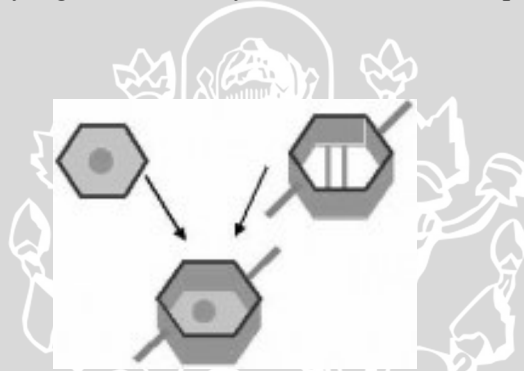
- 1) Air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya lebih dari 2 gram per liter.
- 2) Tidak mengandung garam - garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dsb) lebih dari 15 gram per liter.
- 3) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram per liter
- 4) Air perawatan dapat menggunakan air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak

2.1.3 Jenis Paving

Berdasarkan bahan pembuatannya Paving dapat dikelompokkan ke dalam 3 jenis, yaitu :

- **Paving Block Press Manual/ Tangan (K 50-100)**

Paving block Press Manual/ Tangan diproduksi menggunakan cetakan paving dengan tenaga press tangan manusia. Mutu beton dari Paving jenis ini tergolong dalam mutu beton kelas D (**K 50-100**). Harga paving jenis ini relatif lebih murah daripada harga paving jenis yang lainnya. Pada umumnya paving **block** press manual hanya digunakan untuk pemakaian non structural, seperti taman, trotoar, halaman rumah dan penggunaan lainnya yang tidak diperlukan untuk menahan beban yang berat di atasnya. Berikut cetakan seperti pada **Gbr.2.2** dibawah :



Gbr.2.2 Diagram Cetakan Paving Blok Bentuk Hexagonal

(Sumber : <http://www.bi.go.id/sipuk/id/?id=4&no=51410&idrb=45601>,

Diakses 27 September 2011)

- **Paving Block Press Mesin Vibrasi/ Getar (K 150-250)**

Pada umumnya Paving Block Press Mesin Vibrasi tergolong sebagai **Paving** dengan mutu beton kelas C-B (**K 150-250**). Paving jenis ini diproduksi dengan mesin press sistem getar. Paving Block Press Mesin Vibrasi dapat digunakan sebagai alternatif perkerasan lahan pelataran parkir. Akan tetapi, karena pertimbangan selisih harga yang tidak terlalu jauh berbeda dengan paving jenis press mesin hidrolik (**K 300-450**) mengakibatkan banyak konsumen lebih tertarik memilih paving jenis press hidrolik daripada paving jenis press vibrasi.

- **Paving Block Press Mesin Hidrolik (K 300-450)**

Jenis **paving block** lainnya yang dipasarkan di Indonesia adalah paving block press mesin hidrolik (**K 300-450**). Paving jenis ini diproduksi dengan cara dipress menggunakan mesin press hidrolik dengan kuat tekan diatas 300 kg/cm². Pavingblock press hidrolik dapat dikategorikan sebagai paving dengan mutu beton kelas B-A (**K 300-450**). Pemakaian paving jenis ini dapat digunakan untuk keperluan non struktural maupun untuk keperluan struktural yang berfungsi untuk menahan beban yang berat yang dilalui diatasnya, seperti: areal jalan lingkungan hingga sebagai perkerasan lahan pelataran terminal peti kemas di pelabuhan.

Selain karena kekuatan betonnya yang mampu menahan beban yang berat diatasnya, paving jenis inipun harganya cukup murah dan terjangkau untuk khalayak masyarakat Indonesia. Faktor kekuatan dan ketahanan paving block press hidrolik untuk jangka panjang turut menjadi bahan pertimbangan bagi sebagian konsumen hingga akhirnya memilih paving jenis ini ketimbang paving jenis yang lainnya. Contoh **Gbr.2.3** mesin cetak hidrolik



Gbr.2.3 Mesin **Paving Block**Press Hidrolik

(Sumber : <http://pavingbloc.wordpress.com/2011/04/10/jenis-paving-sni/>,

Diakses 26 September 2011)

2.1.4 Spesifikasi Paving

Mutunya dan standar yang disyaratkan :

- mempunyai bentuk yang sempurna,
- tidak retak-retak dan cacat,
- bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan tangan.

Berdasarkan kekuatan fisik paving block dapat dibedakan menjadi 3 macam, seperti terlihat pada **Tabel 2.5**

Tabel 2.5 Daftar Mutu Paving

Mutu	Kekuatan (Mpa)		Kekuatan Aus (mm/menit)		Kadar Air Rerata (%)
	Rata-rata	Terendah	Rata-rata	Terendah	
I	40	34,0	0,090	0,103	3
II	30	25,5	0,130	0,149	5
III	20	17,0	0,160	0,134	7

Sumber : SNI 03-1974-1990

Kombinasi antara pola pemasangan, bentuk, mutu, tebal dan pola pemasangannya dapat dilihat pada **Tabel 2.6** Pemasangan paving block dapat dibuat mosaik dengan kombinasi warna sesuai estetika yang dirancang, dapat berupa logo, tulisan dan batasan area parkir atau penunjuk arah pada suatu daerah pemukiman.

Tabel 2.6 Kombinasi Mutu, Bentuk, Tebal dan Pola Pemasangan Paving Block.

No.	Penggunaan	Kombinasi	Kombinasi	Kombinasi	Kombinasi
		Kelas	Bentuk	Tebal (mm)	Pola
1	Trotoar dan Pertamanan	III	A,B,C,X	60	SB, AT, TI
2	Tempat Parkir & Garasi	II	A, B, C	60	SB, AT, TI
3	Jalan Lingkungan	I/II	A atau C	60/80	TI
4	Terminal Bus	I	A atau C	80	TI
5	Container Yard, Taxy way	I	A	100	TI

Sumber : SK SNI T – 04 – 1990 – F.

Catatan Pola : SB = Susun Bata; AT = Anyaman Tikar; TI = Tulang Ikan.

Kombinasi Pola Pemasangan Paving Block

2.1.5 Proses Curing

Curing harus dibuat pada setiap bahan bangunan, bagian konstruksi atau produk yang menggunakan semen sebagai bahan baku. Hal ini karena semen memerlukan air untuk memulai proses hidrasi dan untuk menjaga suhu di dalam yang dihasilkan oleh proses ini demi mengoptimalkan pembekuan dan kekuatan semen. Pengaturan suhu di dalam dengan air disebut curing. Proses hidrasi yang tidak terkontrol akan menyebabkan suhu semen kelebihan panas dan kehilangan bahan-bahan dasar untuk pengerasan dan kekuatan akhir produk semen seperti beton, mortar, dan lain-lain. Curing yang baik berarti penguapan dapat dicegah atau dikurangi. Secara umum ada 3 jenis utama curing yang digunakan pada sektor konstruksi, yaitu:

- a) Curing air
- b) Curing uap air
- c) Curing uap panas

- Curing air

Curing air adalah yang paling banyak digunakan. Ini merupakan sistem dimana sangat cocok untuk konstruksi rumah dan tidak memerlukan infrastruktur atau keahlian khusus. Bagaimanapun curing air memerlukan banyak air yang mungkin tidak selalu mudah dan bahkan mungkin mahal.

Untuk mengekonomiskan penggunaan air perlu dilakukan pengukuran untuk mencegah penguapan air pada produk semen. Mis. beton harus dilindungi dari sinar matahari langsung dan angin untuk mencegah penguapan air yang cepat. Cara seperti menutup beton dengan pasir, serbuk gergaji, rumput dan dedaunan tidaklah mahal, tetapi masih cukup efektif.

Selanjutnya plastik, goni bisa juga digunakan sebagai bahan untuk mencegah penguapan air dengan cepat. Sangat penting seluruh produk semen (batako, paving blok, batu pondasi, bata pondasi, pekerjaan plaster, pekerjaan lantai, dll) dijaga tetap basah dan jangan pernah kering, jika tidak kekuatan akhir produk semen tidak dapat dipenuhi. Jika proses hidrasi secara dini berakhir akibat kelebihan panas (tanpa curing), air yang disiram pada produk semen yang telah kering tidak akan mengaktifkan kembali proses hidrasi, kehilangan kekuatan akan permanen. Pada curing air, produk semen harus dijaga tetap basah (mis. dengan menutup produk dengan plastik) untuk lebih kurang 7 hari.

- Curing uap air

Curing uap air dilakukan dimana air sulit diperoleh dan semen berdasarkan unsur-unsur bahan setengah jadi seperti slop toilet, ubin, tangga, jalusi dan lain-lain diproduksi massal. Curing uap air menurunkan waktu curing dibandingkan dengan curing air biasa lebih kurang sekitar 50 – 60%. Prinsip kerja curing air adalah dengan menjaga produk semen pada lingkungan lembab dan panas yang membolehkan semen mencapai kekuatan lebih cepat dari pada curing air biasa.

Untuk menghasilkan lingkungan lembab dan panas ini perlu dibuat suatu ruang pemanasan sederhana dengan dinding dan lantai penahan air yang ditutup dengan plastik untuk membuat matahari memanaskan ruang pemanasan dan mencegah air menguap. Tinggi permukaan air dari lantai sekitar 5 sampai 7 cm dijaga setiap waktu agar prinsip kerja sistem penguapan dapat bekerja.

- Curing uap panas

Curing uap panas biasanya hanya digunakan pada pabrik yang sudah canggih yang memproduksi produk semen secara massal. Sistem curing uap panas mahal dan membutuhkan banyak energi untuk membangkitkan panas yang dibutuhkan untuk uap panas. Bagaimanapun, produk curing uap panas dapat digunakan setelah kira-kira 24 – 36 jam setelah produksi, yang mempunyai keunggulan dibandingkan curing sistem lainnya.

2.2 Kuat Tekan Paving

Dalam peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971: 39) bahwa kuat tekan adalah bahan konstruksi yang mempunyai sifat kekuatan tekan yang khas, apabila diperiksa dengan sejumlah besar benda-benda uji, nilainya akan menyebar sekitar suatu nilai rata-rata. Kekuatan tekan didefinisikan sebagai tegangan yang terjadi dalam benda uji pada pemberian beban hingga benda uji tersebut hancur. Standar yang digunakan pada pengujian kuat tekan paving ini adalah ASTM C 270-04 dan ASTM C 780 dihitung dengan rumus :

$$P(\sigma) = \frac{F}{A}$$

Dengan : $P(\sigma)$ = kuat tekan beton (kg/cm^2)

F = beban (kg)

A = luas penampang (cm^2)

2.3 Piropilit

Piropilit ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) merupakan mineral grup silikat. Mineral yang termasuk pada piropilit yaitu mineral lempung. berdasar jenis mineral lempung yang di kandunginya, mineral piropilit dibedakan menjadi 3 jenis yaitu kianit, andalusit, dan diaspor. Biasanya mineral ini ditemukan dalam formasi andesit tua. Piropilit sering ditemukan di daerah yang berformasi gamping. Aneka warna piropilit tersebut berwarna putih, kuning pucat, dan coklat kemerahan, bahkan ditemukan pula warna coklat keputihan. Namun diantara warna tersebut, Piropilit yang baik adalah piropilit yang berwarna putih keabu-abuan dengan kilap mutiara di permukaan belahannya. Piropilit memiliki beberapa bentuk seperti pada **Gambar 2.4**. berikut.



Gambar 2.4 Batuan Piropilit

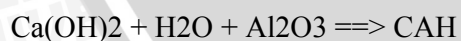
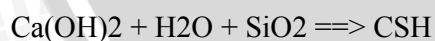
(Sumber: <http://winnerfirmansyah.wordpress.com>)

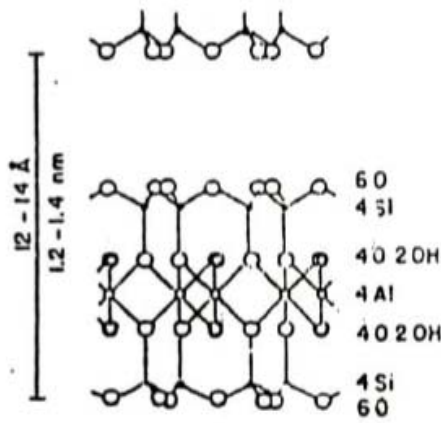
Terdapat dua golongan mineral piropilit, yaitu piropilit dengan system Kristal monoklinik dan piropilit dengan sisitem Kristal triklinik, tetapi sampai saat ini dilaporkan bahwa tidak ada perbedaan sifat yang berarti dengan perbedaan system Kristal tersebut. Keduanya dianggap sama. Piropilit mempunyai sifat – sifat fisika yang identik dengan talk, talk dan pirropili tadalah 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. Pemahaman yang baik tentang piropilit pada tingkat atomic sangat penting untuk aplikasinya dalam bidang industri.

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

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

Dilihat dari rumus kimianya, piropilit memiliki karakteristik yang hampir sama dengan pozolan, yaitu mengandung senyawa SiO_2 (Silika) dan Al_2O_3 (Alumina). Sebenarnya bahan piropilit tidak memiliki sifat yang sama seperti semen, namun apabila bahan tersebut digiling hingga halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan $Ca(OH)_2$ (senyawa hasil reaksi antara semen dan air) pada suhu kamar membentuk senyawa CSH dan CAH yang mempunyai sifat seperti semen. Reaksi kimianya sebagai berikut:





Gambar 2.5 Model struktur menurut Hofmann

Tabel 2.7 Hasil analisa kimia piropilit metode basah

No.	Analisa Kimia	Kadar (%)
1	SiO ₂	75,53
2	Al ₂ O ₃	15,76
3	Fe ₂ O ₃	0,47
4	TiO ₂	-
5	CaO	1,79
6	MgO	0,56
7	CO ₂	-
8	CO ₃	-
9	K ₂ O	2,48
10	Na ₂ O	0,35

Sumber : SII No. 0081-75

Tabel 2.7 diatas adalah analisa dari senyawa kandungan piropilit.. Piropilit saat ini digunakan sebagai salah satu bahan untuk pembuatan paving, yang mana dapat menghasilkan paving yang baik. dalam pekerjaan paving, piropilit mempunyai beberapa fungsi yaitu:

1. Mewujudkan paving ramah lingkungan (green concrete).

Hal ini disebabkan karena mengurangi penglepasan CO₂ ke udara sebagai salah satu penyebab rusaknya lapisan ozon.

2. Meningkatkan kekuatan tekan beton.

Setelah dilakukan metode pengujian tekan terhadap benda uji laboratorium dan analisis data dengan uji anova serta regresi sehingga dapat diketahui hubungan antara penambahan piropilit dan kekuatan beton yang dihasilkan mencapai hingga 42 persen.

3. Menurunkan biaya produksi paving.

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

4. Penghematan penggunaan Semen.

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

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

2.3.1 Pengaktifan Mineral Piropilit

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

Metode yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi adalah metode merkuriem (II) tiosianat secara spektrofotometri yang didukung dengan BET (Brunauer, Emmetdan Teller).Aktivasi mineral piropilit dilakukan menggunakan variasi HCl dengan konsentrasi 0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; 0,4 M dan 0,5 M, variasi lama aktivasi 30 menit; 60 menit; 90 menit; 120 menitdan 150 menit dan variasi lama kontakdenganCl- 1 jam; 2 jam; 3 jam; 4 jam; dan 5 jam. Nilai kapasitas adsorpsi piropilit optimum adalah 128,566 mg/g diperoleh pada piropilit teraktivasi dengan konsentrasi HCl 0,3 M selama 90 menit dengan lama kontak 4 jam.

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

2.4 Porositas Paving

Porositas suatu medium adalah perbandingan volum rongga – rongga pori terhadap volum total seluruh batuan. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen dan disebut porositas. Porositas juga dapat dinyatakan dalam ‘acre – feet’, yang berarti volum yang dinyatakan sebagai luas dalam ‘acre’ dan ketebalan reservoir dalam kaki (feet). Selain itu dikenal juga istilah porositas efektif, yaitu apabila bagian rongga – rongga di dalam batuan berhubungan, sehingga dengan demikian porositas efektif biasanya lebih kecil daripada rongga pori – pori total yang biasanya berkisar dari 10 sampai 15 persen.

Ruang pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti: faktor air-semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai slump, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada paving maka semakin besar mutu paving itu sendiri, sebaliknya semakin besar porositas paving, maka kekuatan paving akan semakin kecil. Menurut Powers (1959), semakin kecil air yang mengisi ruang dari tiap unit semen (semakin kecil w/c ratio) pada awal proses pengikatan, maka proporsi pori-pori kapiler dalam semen akan semakin baik (semakin kecil).

Menurut Powers, porositas terbuka terisi oleh *evaporebel water*. *Evaporebel water* adalah air yang dapat menguap dan sebagian besar merupakan air yang berda didalam kapiler atau yang tertahan oleh gaya-gaya permukaan dalam substansi gel itu sendiri. Akibat adanya proses hidrasi, kadar air yang tidak dapat menguap ini akan bertambah jumlahnya, sehingga kadar *evaporebel water* menjadi berkurang, karena rongga –rongga yang ada akan terisi oleh produk hidrasi.



2.5 Penelitian Pendahulu

1. Mutrofin (2005) meneliti tentang material piropilit Sumbermanjing Malang Selatan. Diketahui bahwa ternyata piropilit mengandung unsur Silika yang cukup besar (85% dari total unsur penyusun piropilit), dan sangat bagus digunakan sebagai filler mengingat ukuran butirannya sesuai dengan ukuran butiran filler.
2. Anggraini, dkk (2006) mencoba memanfaatkan piropilit sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones. Dengan penambahan 10% mineral phyropilit, maka akan menghasilkan kekuatan yang meningkat sampai lebih kurang 20% dari kekuatan awal.
3. Anggraini (2007) penggunaan piropilit sebagai bahan tambahan pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga lebih kurang 42% pada variasi piropilit 15%. Semen adalah bahan yang bisa memacu proses aktivasi mineral piropilit. Sejalan dengan tercapainya proses aktivasi mineral piropilit inilah maka peningkatan kuat tekan beton bisa terjadi.
4. Haris (2012) Pengaruh penambahan variasi piropilit yang belum teraktivasi secara sempurna menyebabkan nilai kuat tekan beton normal umur 28 dan 56 hari belum mencapai nilai kuat tekan yang direncanakan. Untuk umur 28 hari nilai kuat tekan paling tinggi adalah 25,285 MPa pada pencampuran piropilit 10%. Sedangkan pada umur 56 hari nilai kuat tekan paling tinggi adalah 21,704 MPa pada pencampuran piropilit 15%.

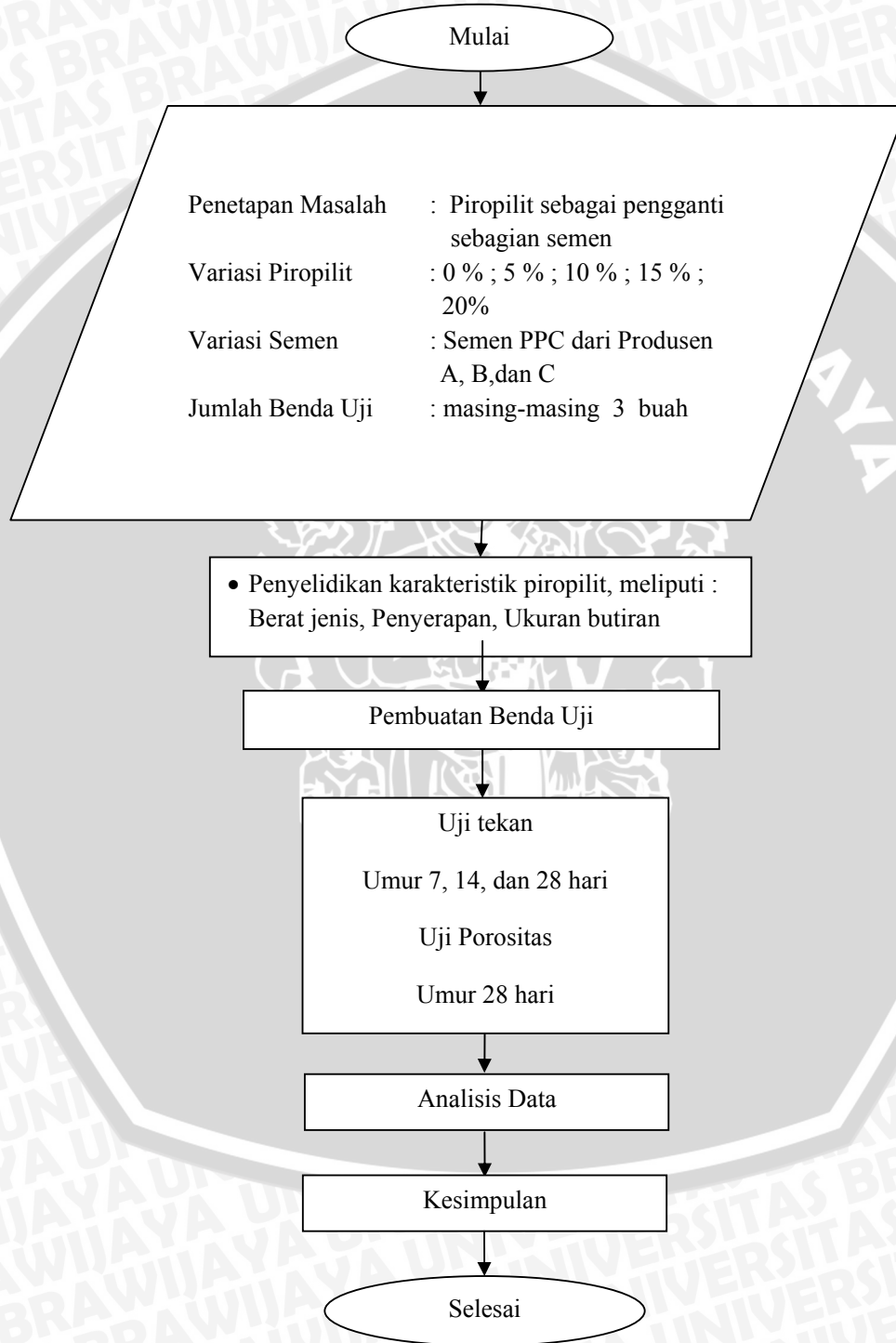
2.6 Hipotesis

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

1. Terdapat pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving.
2. Terdapat pengaruh terdapat pengaruh penggunaan piropilit dan variasi jenis semen terhadap porositas paving.

**BAB III
METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Pengerjaan Penelitian



3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

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

- a. Pembuatan benda uji dilakukan di pabrik pembuatan Paving di kecamatan Singosari.
- b. Curing air dilakukan di di pabrik pembuatan paving di kecamatan Singosari.
- c. Pengujian kuat tekan paving dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- d. Pengujian porositas paving dilakukan di Laboratorium Struktur Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terukur:

- a. Variabel bebas : - Prosentase pencampuran piropilit 0%, 5%, 10%,15%, dan 20% dari berat semen.
- Jenis Semen A, B dan C
- b. Variabel tak bebas : - Karakteristik Piropilit
- Kuat tekan paving Umur 7, 14, dan 28 hari
- Uji porositas paving umur 28 hari

3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menguji kuat tekan dan porositas paving dengan kadar penggunaan piropilit 0%,5%, 10%, 15% dan 20%. Semen yang dipergunakan adalah semen jenis A, B dan C. Perencanaan campuran paving dapat dilihat pada **Tabel 3.1** sebagai berikut:

Tabel 3.1 Hubungan Kadar piropilit dengan jenis semen

Jenis Semen	Pengujian kuat tekan (hari)	Pengujian Porositas (hari)	Jumlah benda uji untuk tiap persentase piropilit sebagai pengganti sebagian semen				
			0%	5%	10%	15%	20%
A	7		3	3	3	3	3
	14		3	3	3	3	3
	28		3	3	3	3	3
		28	3	3	3	3	3
B	7		3	3	3	3	3
	14		3	3	3	3	3
	28		3	3	3	3	3
		28	3	3	3	3	3
C	7		3	3	3	3	3
	14		3	3	3	3	3
	28		3	3	3	3	3
		28	3	3	3	3	3

Untuk Penelitian kuat tekan paving dan piropilit diambil dengan benda uji berbentuk kotak sebanyak 3 buah benda uji, dan untuk uji porositas digunakan 3 buah benda uji untuk setiap penambahan kadar piropilit 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, dan Semen jenis A, B, dan C. Jadi total seluruh benda uji 180 buah.

3.5 Bahan Dasar Yang Digunakan

1. Semen : Semen yang digunakan adalah semen jenis A, B dan C.
2. Pasir : Pasir diambil dari Malang, Jawa Timur
3. Piropilit : Piropilit Sumbermanjing, Malang Selatan

Piropilit yang digunakan melalui beberapa proses, diantaranya :

- Pengambilan bongkahan – bongkahan batu piropilit dari tambangnya. Tambang ini terletak di Sumbermanjing, Malang Selatan
- Penghancuran bongkahan batu menjadi bahan seukuran pasir. Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat stone crusher yang bertempat di daerah Klaseman.
- Pengayakan bahan dasar piropilit yang telah dihancurkan dengan menggunakan ayakan lolos 200.

3.6 Pengujian Bahan Dasar

Adapun pengujian bahan dasar yang akan dilakukan adalah :

1. Agregat Halus
 - b. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan gradasi agregat halus adalah sebagai berikut :
 - 1) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 2 % terhadap benda uji.
 - 2) Satu set saringan :4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8);1,18 (no.16);0,6 mm (no.30); 0,3mm (no.50); 0,15 mm (no.100); 0,075 mm (no.200).
 - 3) Oven pengatur kapasitas suhu (110 ± 5)^oC.
 - 4) Mesin pengguncangan saringan.
 - 5) Talam-talam dan kuas.
 - c. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut:
 - 1) Timbangan yang mempunyai kapasitas lebih dari 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram.
 - 2) Piknometer kapasitas 500 ml.Kerucut terpancung diameter atas (40+3) diameter bawah (90+3) mm dan tinggi (75+3) mm dibuat dari logam denga tebal 0,8 mm.
 - 3) Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340+15) gram dan diameter (25+3) mm.
 - 4) Saringan no.4 (4,475 mm).
 - 5) Oven pengatur suhu kapasitas (110+5)^oC.
 - c. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan berat isi agregat halus adalah sebagai berikut:
 - 1) Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram
 - 2) Tongkat pemadat baja dengan panjang masing-masing ± 600 mm dan berdiameter ± 16 mm
 - 3) Kotak takar atau ember

d. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan kadar air agregat adalah sebagai berikut:

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat benda uji
- 2) Oven pengatur suhu
- 3) Talam.

2. Peralatan pengujian kuat tekan adalah mesin penekan beton di

Laboratorium struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

3.7 Pembuatan Paving

3.7.1 Persiapan

Benda uji berbentuk kotak dengan ukuran panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 6 cm dibuat dengan prosedur sebagai berikut:

- a. Setelah agregat halus dilakukan uji ayakan dan berat volume didapatkan, maka berat volume dalam keadaan SSD, dan kemampuan absorpsinya. Agregat halus didapatkan modulus halusanya.
- b. Dari data tersebut, dibuat rencana campuran dari paving terhadap berat PPC, dan agregat halus
- c. Rencana campuran paving didapat dari perbandingan volum yang kemudian dikonversikan ke berat, dengan perhitungan sebagai berikut

$$\text{Volume benda uji} = 200 \times 100 \times 60 = 1200 \text{ cm}^3 = 0,0012 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat jenis semen} = 3100 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat jenis pasir} = 2340 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat jenis air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Dengan perbandingan volume 1:4 didapat kebutuhan semen per 1 m³ :

$$\frac{1C}{bj \text{ semen}} + \frac{4C}{bj \text{ pasir}} + \frac{0,5C}{bj \text{ air}} = 1$$

$$\frac{1C}{3100} + \frac{4C}{2340} + \frac{0,5C}{1000} = 1$$

$$0,3225C + 1,71C + 0,5C = 1000$$

$$2,532C = 1000$$

$$C = 394,867 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 394,867 \times 0,0012 = 0,47 \text{ kg} \approx 0,5 \text{ kg}$$

didapat kebutuhan material per $0,0012 \text{ m}^3$ dengan perbandingan 1:4

$$\text{Semen} = 0,5 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 2 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 0,25 \text{ kg}$$

2. Material yang digunakan :

- a) Semen
- b) piropilit
- c) pasir
- d) Air

3.7.2 Mencetak Paving

Semen yang digunakan adalah semen 3 jenis semen A, b dan C. Piropilit yang di gunakan berasal dari Sumbermanjing, Jawa Timur. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Malang, Jawa Timur dan air yang digunakan adalah air PDAM Malang, Jawa Timur. Proses mencetak paving dapat dilihat sebagai berikut:

1. Setelah perbandingan berat semen dan agregat halus didapat, maka dibuat campuran paving.
2. Setelah itu campuran paving dicor ke dalam mesin pembuat paving
3. Setelah 1 hari didiamkan, benda uji dilepas dari cetakan, setelah itu dirawat dengan merendam dalam air minimal 7 hari.

3.8 Pengujian Kuat Tekan Bahan Paving

Paving yang digunakan berada dalam keadaan kering udara. Kemudian Permukaan Paving diratakan dan dibersihkan. Berikut adalah ukuran Paving dalam penelitian pemanfaatan material lokal piropilit untuk meningkatkan kuat tekan Paving.



Gambar 3.1 Paving Persegi Panjang (*Straight*) ukuran 20 x 10 x 6 cm

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

Tujuan : Mengetahui kuat tekan paving
Bahan : Benda uji berbentuk kotak
Peralatan : mesin uji tekan beton kapasitas 60 ton
Referensi : SNI 03-0691-1996

Cara pengujian kuat tekan bahan Paving dilakukan berdasarkan **SNI 03-0691-1996** adalah sebagai berikut:

1. Ambil 10 buah contoh uji masing-masing dipotong berbentuk kubus dan rusuk rusuknya disesuaikan dengan ukuran contoh uji.
2. Contoh uji yang telah siap, ditekan hingga hancur dengan mesin penekan yang dapat diaur kecepatannya. Kecepatan penekanan, dari mulai pemberian beban sampai contoh uji disesuaikan dengan arah tekanan beban di dalam pemakaiannya.

3. Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat Tekan (P) : } P = \frac{F}{A} \text{ kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Rata-rata (}\sum nP\text{) = } \sum nP = \frac{F}{A} \text{ kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2$$

Dengan : A = Luas penampang benda uji yang akan ditekan

n = Jumlah benda uji

F = Beban maksimum yang diberikan

3.8.1 Pengujian Porositas Paving

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 paving tidak berubah-ubah (tetap) sehingga didapatkan berat benda uji kondisi kering
- iii. Perendaman benda uji juga dilakukan selama 24 jam. Setelah perendaman selama 24 jam kemudian ditimbang air dan didapatkan berat benda uji
- iv. Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap permukannya untuk mendapatkan kondisi SSD kemudian sampel ditimbang dan didapatkan berat benda uji kondisi SSD setelah perendaman

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

$$\text{Porositas} = \frac{W_b - W_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100\%$$

Dengan : V_b = volume benda uji (cm^3)
 W_b = massa jenuh setelah perendaman (gr)
 W_k = massa kering setelah di oven (gr)
 ρ_{air} = massa jenis air (1 gr/cm^3)

3.9 Metode Analisis

Setelah data-data tersebut diperoleh, maka dilanjutkan dengan analisa secara statistik yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan penambahan piropilit sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan paving. Adapun proses analisisnya adalah sebagai berikut.

a. Uji Hipotesa

Analisis variansi (ANOVA) yang digunakan adalah analisis variansi satu arah (one way-ANOVA) dengan control perlakuan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat tekan pada kondisi prosentase piropilit pada campuran semen dalam pembuatan paving.

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

Maka hipotesis dari kejadian dapat ditulis dengan :

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \text{dst}$$

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

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

Perumusan secara statistik dinyatakan sebagai berikut :

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

Dimana : μ = nilai rata-rata
 β_i = pengaruh kadar phyropilit ke i
 $(\beta)_{ij}$ = pengaruh varian
 ξ_{ij} = kesalahan

Hipotesis statistik yang diuji adalah :

- $H_0 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$

H_1 : paling sedikit satu pasang $\mu\alpha_i$ yang tidak sama $\neq 0$

- $H_0 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_j$

H_1 : paling sedikit satu pasang $\mu\beta_j$ yang tidak sama $\neq 0$

Dimana :

H_0 = Hipotesis nol, yang menyatakan bahwa penggunaan piropilit tidak akan memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan paving.

H_1 = Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa penggunaan piropilit akan memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan paving

Indikator diterima atau ditolaknya hipotesis yakni apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak, begitu juga sebaliknya, apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima. Selain itu dapat dilihat dari taraf signifikansi datanya. Apabila signifikansi_{hitung} $> 0,05$, maka terima H_0 . begitu juga sebaliknya apabila signifikansi_{hitung} $< 0,05$, maka tolak H_0 .

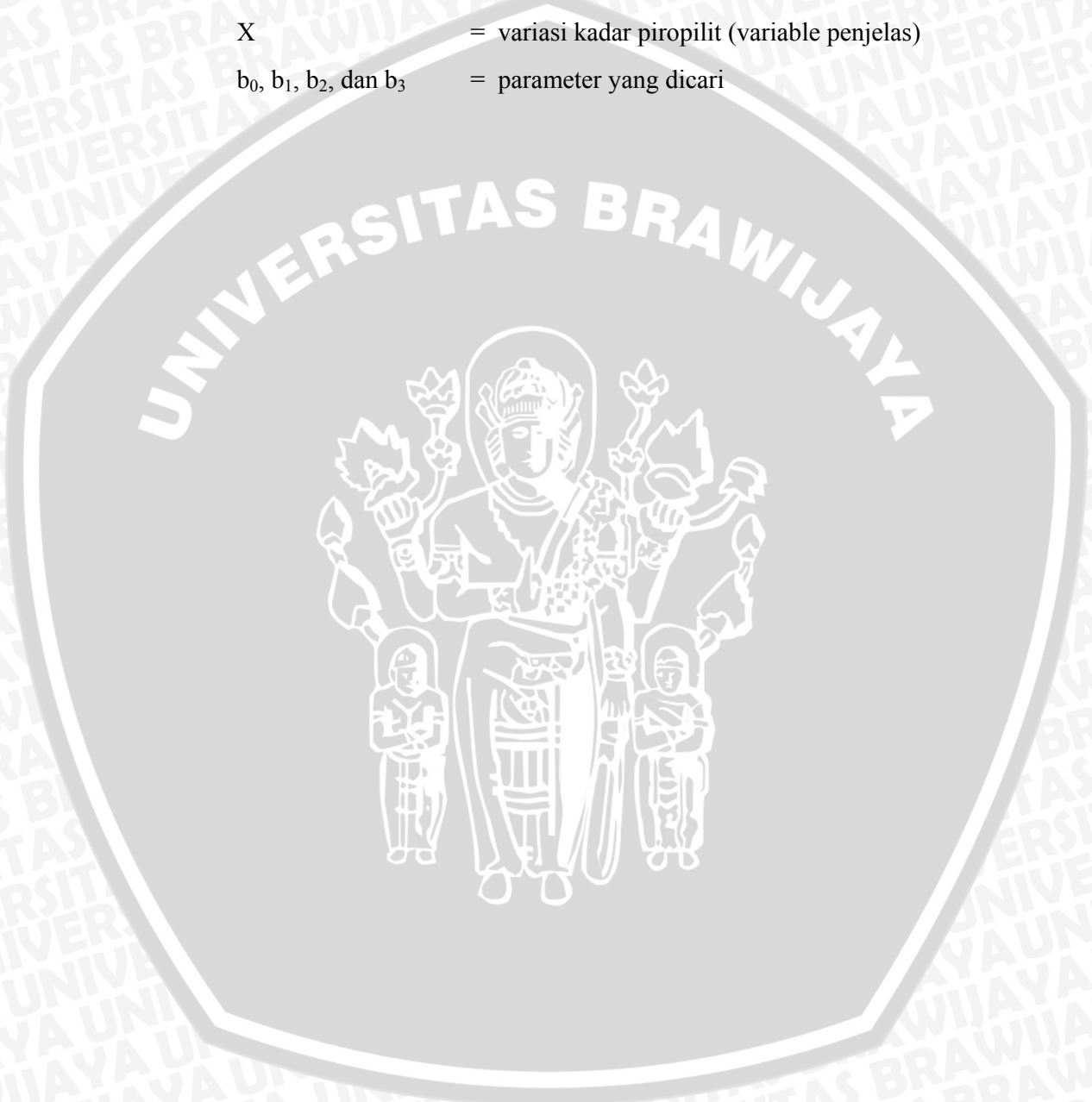
b. Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan terutama untuk tujuan peramalan, yaitu untuk mengetahui hubungan di antara dua variable numeric atau lebih. Dalam analisis regresi akan dikembangkan suatu persamaan regresi dengan mencari nilai variable terikat dari variable bebas yang diketahui. Dalam penelitian ini, variable-variabel penyusun persamaan regresi terdiri atas satu

variable terikat dan dua variable bebas sehingga dipilih persamaan regresi berganda dengan rumus umum sebagai berikut :

$$Z_i = b_0 + b_1x + b_2(x)^2$$

- Dimana :
- Z = nilai – nilai yang diukur (variable respon)
 - X = variasi kadar piropilit (variable penjelas)
 - b₀, b₁, b₂, dan b₃ = parameter yang dicari



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Paving

Pengujian penelitian ini adalah pengujian kuat tekan dan porositas pada paving. Uji kuat tekan dilakukan menggunakan *Concrete Compression Machine* dan uji porositas pada paving dilakukan dengan cara mengoven benda uji sampai beratnya konstan. Kemudian dilakukan perendaman hingga berat benda uji konstan. Total benda uji sebanyak 27 buah untuk paving tanpa variasi piropilit, yang terbagi atas 3 jenis semen dengan umur pengujian selama 7, 14 dan 28 hari.

Untuk total benda uji paving dengan campuran variasi piropilit sebanyak 108 buah yang terbagi atas 3 jenis semen dengan umur pengujian dari 7, 14 dan 28 hari. Untuk pengujian porositas adalah 45 buah paving. Masing-masing benda uji tersebut dibagi menjadi 3 buah benda uji dengan variasi semen dan variasi piropilit, sehingga total jumlah benda uji untuk pengujian kuat tekan dan porositas paving sebanyak 180 buah paving.

4.1.1 Pengujian Kuat Tekan pada Paving non piropilit

Pengujian kuat tekan pada paving dilakukan dengan urutan paving yang berumur 7, 14 dan 28 hari tanpa campuran variasi piropilit. Adapun spesi perbandingan campuran paving yaitu 1:4. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil paving yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.1**

Tabel 4.1 Data Profil Paving non piropilit

Umur Paving	Luas (cm ²)			F (KN)		
	A	B	C	A	B	C
7	198,99	202,00	200,00	302,00	322,00	300,00
7	198,00	200,00	197,01	300,00	334,00	312,00
7	199,00	201,00	197,01	328,00	346,00	319,00
14	203,01	203,01	203,01	375,00	390,00	308,00
14	200,00	200,00	200,00	360,00	405,00	350,00
14	202,00	202,00	202,00	352,00	441,00	342,00
28	202,00	202,00	202,00	444,00	526,00	400,00
28	195,02	195,02	195,02	368,00	546,00	406,00
28	199,00	199,00	199,00	328,00	534,00	430,00

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

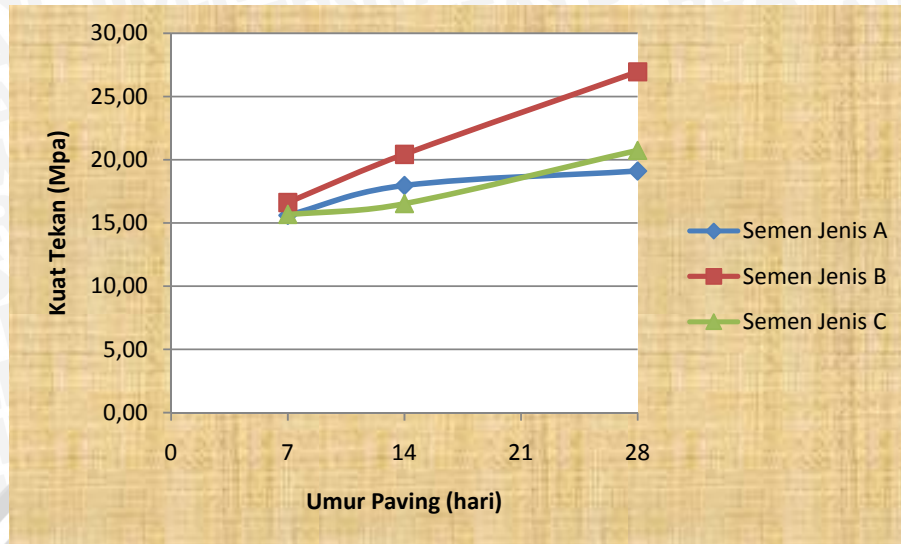
Untuk **Tabel 4.1** didapatkan nilai kuat tekan pada paving dengan menggunakan rumus

$$P(\sigma) = \frac{F}{A} \text{ yang disajikan pada Tabel 4.2}$$

Tabel 4.2 Tabel Kuat tekan pada paving non piropilit

Umur Paving	P(σ) (MPa)			P(σ) rata-rata (MPa)		
	A	B	C	A	B	C
7	15,1766	15,9406	15,0000	15,6035	16,6182	15,6763
7	15,1515	16,7000	15,8368			
7	16,4824	17,2139	16,1921			
14	18,4720	19,2109	15,1717	17,9659	20,4309	16,5341
14	18,0000	20,2500	17,5000			
14	17,4257	21,8317	16,9307			
28	21,9802	26,0396	19,8020	19,1108	26,9570	20,7428
28	18,8699	27,9971	20,8184			
28	16,4824	26,8342	21,6080			

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



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara rata-rata kuat tekan dengan Variasi jenis semen dan umur paving

Pada grafik ini menjelaskan perbedaan kuat tekan untuk setiap jenis semen dimana terlihat bahwa semen jenis B lebih besar menghasilkan nilai kuat tekan dibandingkan dengan semen yang lainnya.

Pada **Gambar 4.2** merupakan beberapa paving tanpa campuran variasi piropilit yang akan siap di uji kuat tekan. Pada gambar tersebut ada beberapa paving dengan jenis semen yang berbeda-beda.



Gambar 4.2 Kumpulan paving yang telah siap diuji

Sedangkan pada **Gambar 4.3** sebuah skema paving yang sedang diuji kuat tekan dengan alat *Concrete Compression Machine*. Adapun paving yang telah diuji kuat tekan dapat terlihat pada **Gambar 4.4**



Gambar 4.3 Skema pengujian kuat tekan paving



Gambar 4.4 Paving setelah diuji kuat tekan

4.1.2 Pengujian kuat tekan paving dengan variasi piropilit umur 7 hari

Pengujian kuat tekan paving dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dilakukan dengan urutan paving yang berumur 7 hari. Penambahan piropilit pada campuran paving ini adalah sebagai bahan pengisi. Adapun spesi perbandingan campuran paving yaitu 1:4. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil paving yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.3** berikut.

Tabel 4.3 Data profil paving piropilit umur 7 hari

Kadar piropilit (%)	Luas (cm ²)			F (KN)		
	A	B	C	A	B	C
0	198,99	202,00	200,00	302,00	322,00	300,00
	198,00	200,00	197,01	300,00	334,00	312,00
	199,00	201,00	197,01	328,00	346,00	319,00
5	199,00	198,00	202,00	307,00	398,00	411,00
	202,00	198,99	200,00	307,00	408,00	419,00
	200,00	200,00	198,99	339,00	377,00	412,00
10	198,00	200,00	202,00	372,00	395,00	435,00
	200,99	198,99	200,00	338,00	456,00	431,00
	202,00	198,00	202,00	348,00	445,00	442,00
15	200,00	199,00	199,00	448,00	486,00	472,00
	201,00	199,00	199,00	458,00	455,00	444,00
	198,00	202,00	198,00	416,00	465,00	476,00
20	198,99	200,00	198,00	398,00	406,00	465,00
	200,00	198,00	201,00	408,00	399,00	433,00
	200,00	200,99	200,00	439,00	432,00	442,00

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

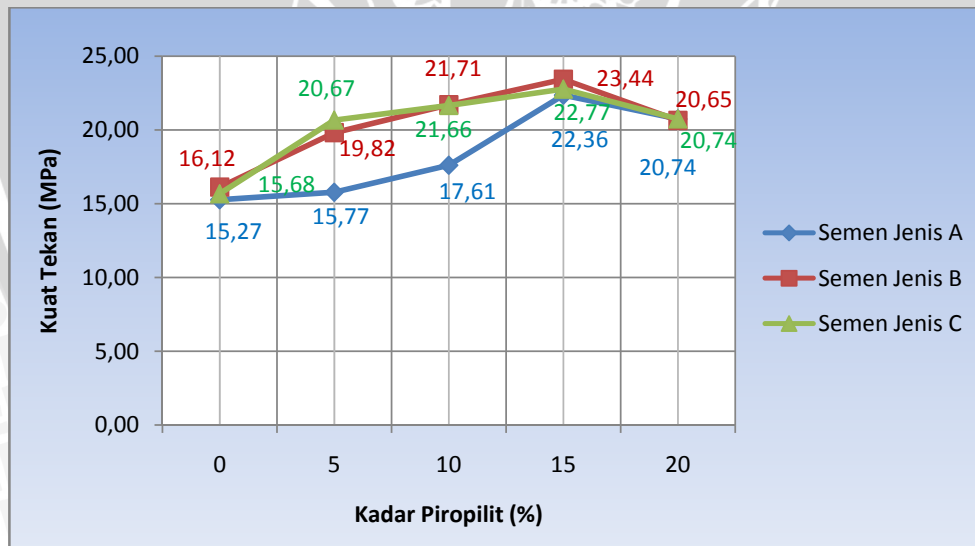
Untuk **Tabel 4.3** didapatkan nilai kuat tekan pada paving dengan menggunakan rumus

$$P (\sigma) = \frac{F}{A}, \text{ yang disajikan pada Tabel 4.4.}$$

Tabel 4.4 Tabel kuat tekan paving umur 7 hari dengan variasi piropilit.

Kadar piropilit (%)	P(σ) (MPa)			P(σ) rata-rata (MPa)		
	A	B	C	A	B	C
0	15,18	15,94	15,00	15,60	16,62	15,68
	15,15	16,70	15,84			
	16,48	17,21	16,19			
5	15,43	20,10	20,35	15,86	19,82	20,67
	15,20	20,50	20,95			
	16,95	18,85	20,70			
10	18,79	19,75	21,53	17,61	21,71	21,66
	16,82	22,92	21,55			
	17,23	22,47	21,88			
15	22,40	24,42	23,72	22,07	23,44	23,36
	22,79	22,86	22,31			
	21,01	23,02	24,04			
20	20,00	20,30	23,48	20,78	20,65	22,38
	20,40	20,15	21,54			
	21,95	21,49	22,10			

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



Gambar 4.5 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit umur 7 hari

Nilai kuat tekan yang terlampir pada **Gambar 4.5** diambil dari nilai rata-rata kuat tekan paving dari 3 benda uji pada setiap variasi piropilit dan jenis semen pada umur 7 hari.

Penambahan piropilit juga berpengaruh terhadap jenis semen, terlihat dari grafik diatas bahwa dari ketiga jenis semen dapat menaikkan kuat tekan dengan penambahan piropilit terutama penambahan untuk 15%, akan tetapi dari ketiga jenis semen tersebut pada penambahan 20% kuat tekan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan penambahan piropilit 15%.

4.1.3 Pengujian kuat tekan paving dengan variasi piropilit umur 14 hari

Pengujian kuat tekan paving dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dilakukan dengan urutan paving yang berumur 14 hari. Penambahan piropilit pada campuran paving ini adalah sebagai bahan pengisi. Adapun spesi perbandingan campuran paving yaitu 1:4. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil paving yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.5** berikut.

Tabel 4.5 Data profil paving piropilit umur 14 hari

Kadar piropilit (%)	Luas (cm ²)			F (KN)		
	A	B	C	A	B	C
0	203,01	203,01	203,01	375,00	390,00	308,00
	200,00	200,00	200,00	360,00	405,00	350,00
	202,00	202,00	202,00	352,00	441,00	342,00
5	203,01	203,01	203,01	375,00	390,00	308,00
	200,00	200,00	200,00	360,00	405,00	350,00
	202,00	202,00	202,00	352,00	441,00	342,00
10	202,98	202,98	202,98	394,00	462,00	450,00
	199,00	199,00	199,00	368,00	484,00	446,00
	200,00	200,00	200,00	432,00	439,00	463,00
15	202,00	202,00	202,00	391,00	446,00	405,00
	195,02	195,02	195,02	382,00	495,00	422,00
	199,00	199,00	199,00	404,00	486,00	493,00
20	198,00	198,00	198,00	495,00	475,00	495,00
	198,00	198,00	198,00	483,00	526,00	456,00
	203,01	203,01	203,01	429,00	519,00	519,00

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

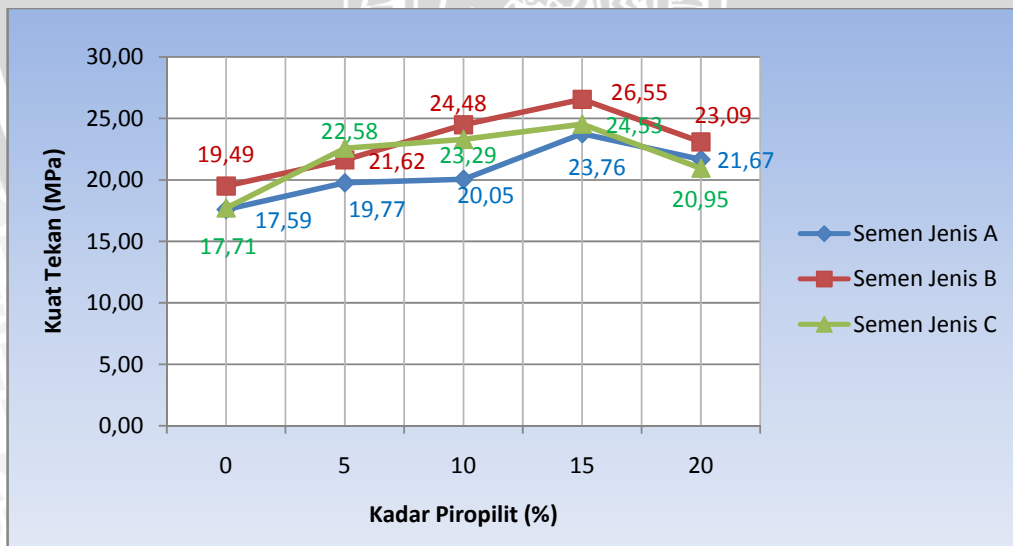
Untuk **Tabel 4.5** didapatkan nilai kuat tekan pada paving dengan menggunakan rumus

$$P(\sigma) = \frac{F}{A}, \text{ yang disajikan pada Tabel 4.6.}$$

Tabel 4.6 Tabel kuat tekan paving umur 14 hari dengan variasi piropilit.

Kadar piropilit (%)	P(σ) (MPa)			P(σ) rata-rata (MPa)		
	A	B	C	A	B	C
0	18,47	19,21	15,17	17,9659	20,4309	16,5341
	18,00	20,25	17,50			
	17,43	21,83	16,93			
5	19,41	22,76	22,17	19,8344	23,0108	22,5772
	18,49	24,32	22,41			
	21,60	21,95	23,15			
10	19,36	22,08	20,05	19,7486	23,9611	22,1541
	19,59	25,38	21,64			
	20,30	24,42	24,77			
15	25,00	23,99	25,00	23,5086	25,3736	24,5318
	24,39	26,57	23,03			
	21,13	25,57	25,57			
20	22,70	22,75	20,30	20,4944	22,5859	20,9527
	18,64	21,36	19,90			
	20,15	23,64	22,66			

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



Gambar 4.6 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit umur 14 hari

Nilai kuat tekan yang terlampir pada **Gambar 4.6** diambil dari nilai rata-rata kuat tekan paving dari 3 benda uji pada setiap variasi piropilit dan jenis semen pada umur 14 hari.

Dari grafik diatas bahwa dari ketiga jenis semen dapat meningkatkan kuat tekan dengan penambahan piropilit untuk 15% dari apa yang diduga sebelumnya. Penambahan piropilit juga berpengaruh terhadap jenis semen, namun dari ketiga jenis semen tersebut pada penambahan 20% kuat tekan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan penambahan piropilit 15%.

4.1.4 Pengujian kuat tekan paving dengan variasi piropilit umur 28 hari

Pengujian kuat tekan paving dengan campuran variasi piropilit dari 5%, 10%, 15% dan 20% dilakukan dengan urutan paving yang berumur 28 hari. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil paving yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4.7 Data profil paving piropilit umur 28 hari

Kadar piropilit (%)	Luas (cm ²)			P max (KN)		
	A	B	C	A	B	C
0	202,00	202,00	202,00	444,00	526,00	400,00
	195,02	195,02	195,02	368,00	546,00	406,00
	199,00	199,00	199,00	328,00	534,00	430,00
5	198,00	198,00	198,00	464,00	548,00	522,00
	198,00	198,00	198,00	434,00	570,00	518,00
	203,01	203,01	203,01	438,00	530,00	526,00
10	200,00	200,00	200,00	392,00	560,00	520,00
	198,00	198,00	198,00	466,00	556,00	488,00
	199,00	199,00	199,00	400,00	582,00	550,00
15	198,00	198,00	198,00	518,00	578,00	592,00
	198,00	198,00	198,00	564,00	612,00	590,00
	203,01	203,01	203,01	516,00	572,00	554,00
20	200,00	200,00	200,00	524,00	566,00	536,00
	198,00	198,00	198,00	438,00	562,00	544,00
	203,01	203,01	203,01	494,00	608,00	526,00

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

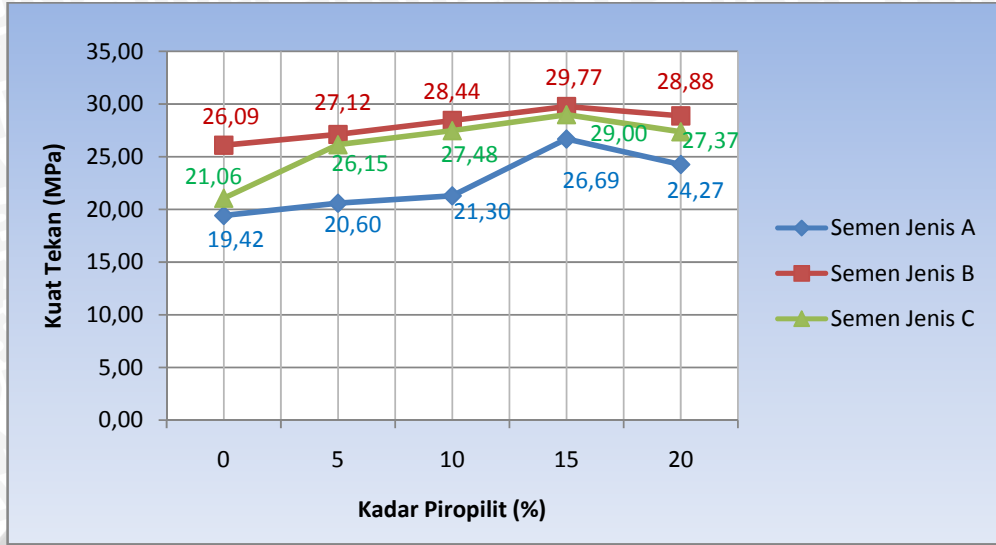
Untuk **Tabel 4.7** didapatkan nilai kuat tekan pada paving dengan menggunakan rumus

$$P(\sigma) = \frac{F}{A}, \text{ yang disajikan pada Tabel 4.8.}$$

Tabel 4.8 Tabel kuat tekan paving umur 28 hari dengan variasi piropilit.

Kadar piropilit (%)	P(σ) (MPa)			P(σ) rata-rata (MPa)		
	A	B	C	A	B	C
0	21,980	26,040	19,802	19,1108	26,9570	20,7428
	18,870	27,997	20,818			
	16,482	26,834	21,608			
5	23,434	27,677	26,364	22,3096	27,5239	26,1451
	21,919	28,788	26,162			
	21,575	26,107	25,910			
10	19,600	28,000	26,000	21,0786	28,4423	26,0949
	23,535	28,081	24,646			
	20,101	29,246	27,638			
15	26,162	29,192	29,899	26,6880	29,4257	28,9954
	28,485	30,909	29,798			
	25,417	28,176	27,289			
20	26,200	28,300	26,800	24,2183	28,8777	26,7283
	22,121	28,384	27,475			
	24,334	29,949	25,910			

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



Gambar 4.7 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit umur 28 hari

Nilai kuat tekan yang terlampir pada **Gambar 4.7** diambil dari nilai rata-rata kuat tekan paving dari 3 benda uji pada setiap variasi piropilit dan jenis semen pada umur 28 hari.

Pada variasi jenis semen yang digunakan untuk umur paving sampai 28 hari dari grafik diatas dimana dengan adanya penambahan piropilit hingga 15% berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan paving yang dihasilkan, akan tetapi terjadi penurunan kuat tekan pada penambahan piropilit 20%. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan masa hidrasi pada paving yang berbeda-beda.

4.1.5 Pengujian porositas pada paving dengan variasi piropilit

Pengujian porositas pada paving dilakukan dengan cara mengoven benda uji sampai beratnya konstan. Kemudian dilakukan perendaman hingga berat benda uji konstan. Dari pengujian porositas paving piropilit didapatkan data profil paving pada **Tabel 4.9**

Tabel 4.9 Data profil uji porositas paving piropilit umur 28 hari

kadar piropilit (%)	Berat Kering (gram)			Berat setelah perendaman (gram)			Volume (cm ³)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	3460	3980	3540	3660	4180	3720	1154,142	1148,400	1171,600
	3580	3960	3620	3780	4180	3760	1188,000	1188,000	1200,000
	3600	3980	3680	3800	4160	3800	1174,100	1185,900	1185,900
5	3780	3640	3900	3980	3820	3980	1174,100	1180,000	1168,200
	3780	3660	3780	3940	3880	4020	1232,200	1238,361	1213,839
	3820	3700	3880	4000	3900	4000	1200,000	1200,000	1200,000
10	3820	3900	3920	4000	4000	4020	1168,200	1180,000	1180,000
	3820	3760	3860	3960	3980	4060	1226,039	1238,361	1213,839
	3920	3800	3900	4080	4060	4000	1212,000	1212,000	1188,000
15	3940	3700	3780	4100	3900	3980	1220,000	1213,900	1213,900
	3920	3800	3900	4060	4000	4020	1246,200	1233,800	1233,800
	3960	3880	3860	4100	4060	3940	1188,000	1188,000	1212,000
20	3800	3980	3760	3960	4120	3920	1193,940	1188,000	1200,000
	3860	3840	3820	3980	4040	3920	1220,000	1207,800	1207,800
	3900	3900	3760	4040	4060	3860	1220,000	1213,900	1226,039

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

Nilai porositas paving piropilit dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Porositas} = \frac{W_b - W_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100\%$$

dengan : V_b = volume benda uji (cm³)

W_b = massa jenuh setelah perendaman (gr)

W_k = massa kering setelah di oven (gr)

ρ_{air} = massa jenis air (1 gr/cm³)

Berikut ini adalah perhitungan porositas paving piropilit dengan kadar piropilit 10% yang menggunakan semen jenis A :

$V_b = 1168,20 \text{ cm}^3$; $W_b = 3960 \text{ gr}$; $W_k = 3820 \text{ gr}$

$$\begin{aligned} \text{Porositas} &= \frac{W_b - W_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100\% \\ &= \frac{3960 - 3820}{1168,20} \times \frac{1}{1} \times 100\% \\ &= 12,044 \% \end{aligned}$$

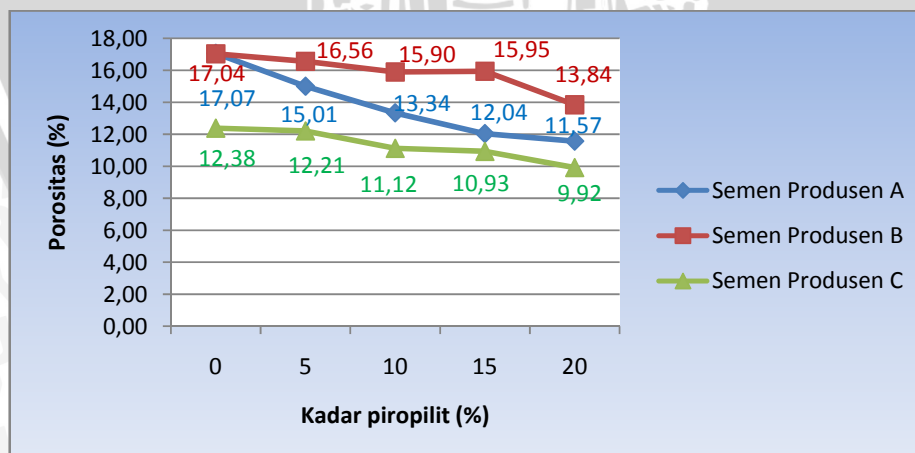
Dari **Tabel 4.9** dan perhitungan tersebut maka akan di dapatkan nilai porositas paving piropilit yang disajikan pada **Tabel 4.10**

Tabel 4.10 Nilai porositas Paving piropilit umur 28 hari

kadar piropilit (%)	Wk - Wb (gram)			Porositas (%)			Porositas rata-rata (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	200,00	200,00	180,00	17,329	17,416	15,364	17,066	17,037	12,383
	200,00	220,00	140,00	16,835	18,519	11,667			
	200,00	180,00	120,00	17,034	15,178	10,119			
5	200,00	180,00	80,00	17,034	15,254	6,848	15,006	16,562	12,207
	160,00	220,00	240,00	12,985	17,765	19,772			
	180,00	200,00	120,00	15,000	16,667	10,000			
10	180,00	100,00	100,00	15,408	8,475	8,475	13,343	15,897	11,123
	140,00	220,00	200,00	11,419	17,765	16,477			
	160,00	260,00	100,00	13,201	21,452	8,418			
15	160,00	200,00	200,00	13,115	16,476	16,476	12,044	15,946	10,934
	140,00	200,00	120,00	11,234	16,210	9,726			
	140,00	180,00	80,00	11,785	15,152	6,601			
20	160,00	140,00	160,00	13,401	11,785	13,333	11,571	13,841	9,923
	120,00	200,00	100,00	9,836	16,559	8,280			
	140,00	160,00	100,00	11,475	13,181	8,156			

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

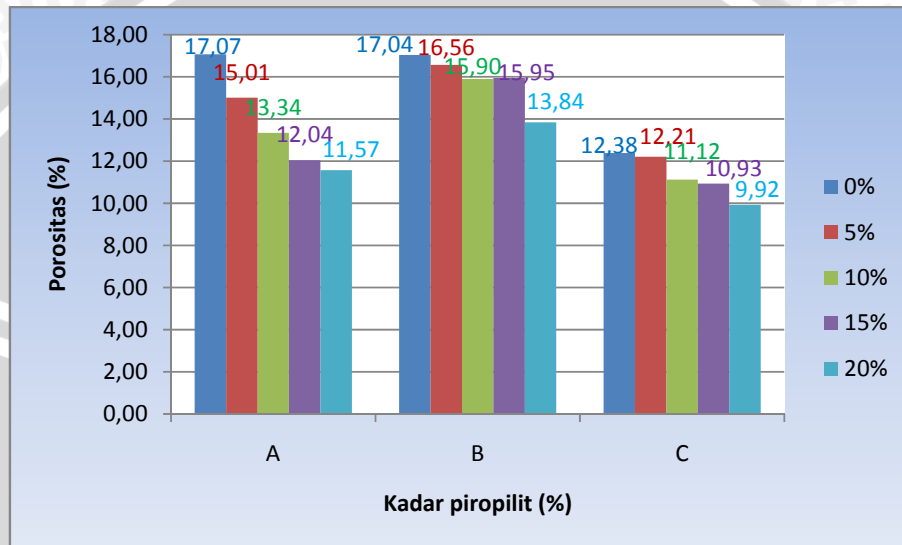
Hubungan antara rata-rata porositas paving piropilit umur 28 hari untuk masing-masing jenis semen dapat dilihat pada **Gambar 4.8**



Gambar 4.8 Grafik nilai porositas pada paving dengan variasi Jenis semen

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa adanya penurunan nilai porositas pada paving piropilit. Nilai porositas terkecil pada masing-masing variasi jenis semen terdapat pada variasi penambahan piropilit sebanyak 20%.

Hubungan antara rata-rata porositas beton piropilit umur 28 hari dengan variasi jenis semen untuk masing-masing variasi penambahan piropilit dapat dilihat pada **Gambar 4.9**



Gambar 4.9 Hubungan nilai porositas paving dengan variasi Jenis semen

Dari grafik di atas dapat dilihat pada saat menggunakan variasi jenis semen A, semen B, dan semen C nilai porositas beton piropilit tertinggi terdapat pada saat menggunakan variasi penambahan piropilit 0% dan nilai porositas terkecil terdapat pada saat menggunakan variasi penambahan piropilit 20%.

Pada **Gambar 4.10** merupakan proses pengovenan pada beton piropilit pada saat uji porositas beton piropilit.



Gambar 4.10 Proses pengovenan paving piropilit

Untuk mengetahui nilai porositas paving, selain dilakukan pengovenan untuk mengetahui nilai berat kering. Juga dilakukan perendaman untuk mengetahui nilai berat basah yang ditunjukkan pada **Gambar 4.11** Serta pada **Gambar 4.12** merupakan proses penimbangan benda uji setelah dilakukan pengovenan dan penimbangan.



Gambar 4.11 Proses perendaman paving piropilit

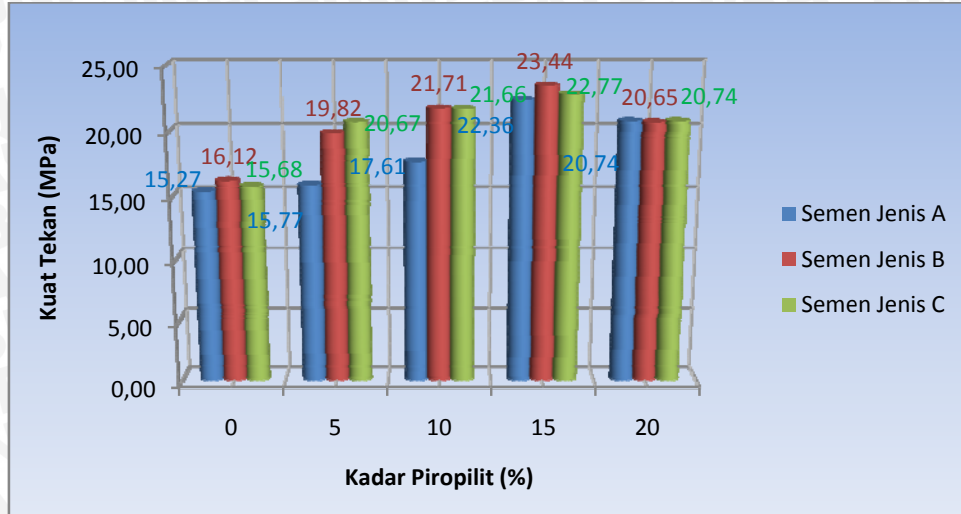


Gambar 4.12 Proses penimbangan paving piropilit

4.2 Hasil dan Pembahasan

4.2.1 Kuat tekan Paving piropilit umur 7 hari

Kuat tekan merupakan kekuatan tekan material pada benda uji paving yang dibebani sampai hancur dibagian luas penampang bagian permukaan benda uji paving tersebut. Hubungan antara penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan pada paving dapat dilihat pada **Tabel 4.11** sedangkan grafik diagram hubungan antara kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 7 hari disajikan pada **Gambar 4.13**



Gambar 4.13 Hubungan rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen piropilit umur 7 hari.

Berdasarkan **Gambar 4.13** dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai kuat tekan dengan penggunaan piropilit dan variasi jenis semen. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

- Ho_A : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan paving piropilit.
- Ho_B : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit.
- Ho_{AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penambahan kadar piropilit dan penggunaan variasi 3 jenis semen.

Tabel 4.11 Data kuat tekan paving piropilit umur 7 hari

Kadar piropilit (%)	Luas (cm ²)			F (KN)			P(σ) (MPa)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	198,99	202,00	200,00	302,00	322,00	300,00	15,177	15,941	15,000
	198,00	200,00	197,01	300,00	334,00	312,00	15,152	16,700	15,837
	199,00	201,00	197,01	328,00	346,00	319,00	16,482	17,214	16,192
5	199,00	198,00	202,00	307,00	398,00	411,00	15,427	20,101	20,347
	202,00	198,99	200,00	307,00	408,00	419,00	15,198	20,504	20,950
	200,00	200,00	198,99	339,00	377,00	412,00	16,950	18,850	20,705
10	198,00	200,00	202,00	372,00	395,00	435,00	18,788	19,750	21,535
	200,99	198,99	200,00	338,00	456,00	431,00	16,817	22,916	21,550
	202,00	198,00	202,00	348,00	445,00	442,00	17,228	22,475	21,881
15	200,00	199,00	199,00	448,00	486,00	472,00	22,400	24,422	23,719
	201,00	199,00	199,00	458,00	455,00	444,00	22,786	22,864	22,312
	198,00	202,00	198,00	416,00	465,00	476,00	21,010	23,020	24,040
20	198,99	200,00	198,00	398,00	406,00	465,00	20,001	20,300	23,485
	200,00	198,00	201,00	408,00	399,00	433,00	20,400	20,152	21,542
	200,00	200,99	200,00	439,00	432,00	442,00	21,950	21,494	22,100

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

Analisa Varian 2 arah
Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$\begin{aligned}
 db_{\text{baris}} &= r - 1 &= 5 - 1 &= 4 \\
 db_{\text{kolom}} &= k - 1 &= 3 - 1 &= 2 \\
 db_{\text{interaksi}} &= db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} &= 4 \times 2 &= 8 \\
 db_{\text{galat}} &= (r \times k) \times (n - 1) &= 15 \times 2 &= 30
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned}
 \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\
 &= [(15,177)^2 + (15,152)^2 + \dots + (21,950)^2] - \frac{893,6596^2}{45}
 \end{aligned}$$

$$= 18108,3015 - 17747,2782$$

$$= 361,02335$$

$$JK \text{ Baris (JKB)} = \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(143,6939)^2 + (169,0308)^2 + \dots + (191,4233)^2]}{3x3} - \frac{893,6596^2}{45}$$

$$= 18000,1297 - 17747,2782$$

$$= 252,8515$$

$$JK \text{ Kolom (JKK)} = \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} - \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(195154,2831)^2 + (232626,6382)^2 + (231080,9737)^2]}{3x3} - \frac{893,6596^2}{45}$$

$$= 17796,8861 - 17747,2782$$

$$= 49,607$$

$$JK \text{ Baris Kolom (JKBK)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} + \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(46,8106)^2 + (47,5752)^2 + \dots + (67,1271)^2]}{3} - 18000,1297$$

$$- 17796,8861 + \frac{893,6596^2}{45}$$

$$= 34,1188$$

$$JK \text{ Galat (JKG)} = JKT - JKB - JKK - JKBK$$

$$= 361,02335 - 252,8515 - 49,607 + 34,1188$$

$$= 24,445$$

Kuadrat Tengah

$$KT \text{ Baris (KTB)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{252,8515}{4} = 63,2129$$

$$KT \text{ Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{49,6079}{2} = 24,8039$$

$$KT \text{ Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{34,1188}{8} = 5,2340$$

$$KT \text{ Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{24,4452}{30} = 0,8148$$

Nilai f_{Hitung}

$$F \text{ Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{63,2129}{0,8148} = 77,5772$$

$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{24,8039}{0,8148} = 30,4403$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{4,2649}{0,8148} = 5,2340$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran 6-1

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	252,8515	4	63,2129	77,5772	2,6896
Nilai tengah kolom	49,6079	2	24,8039	30,4403	3,3158
Interaksi	34,1188	8	4,2649	5,2340	2,2662
Galat	24,4452	30	0,8148		

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

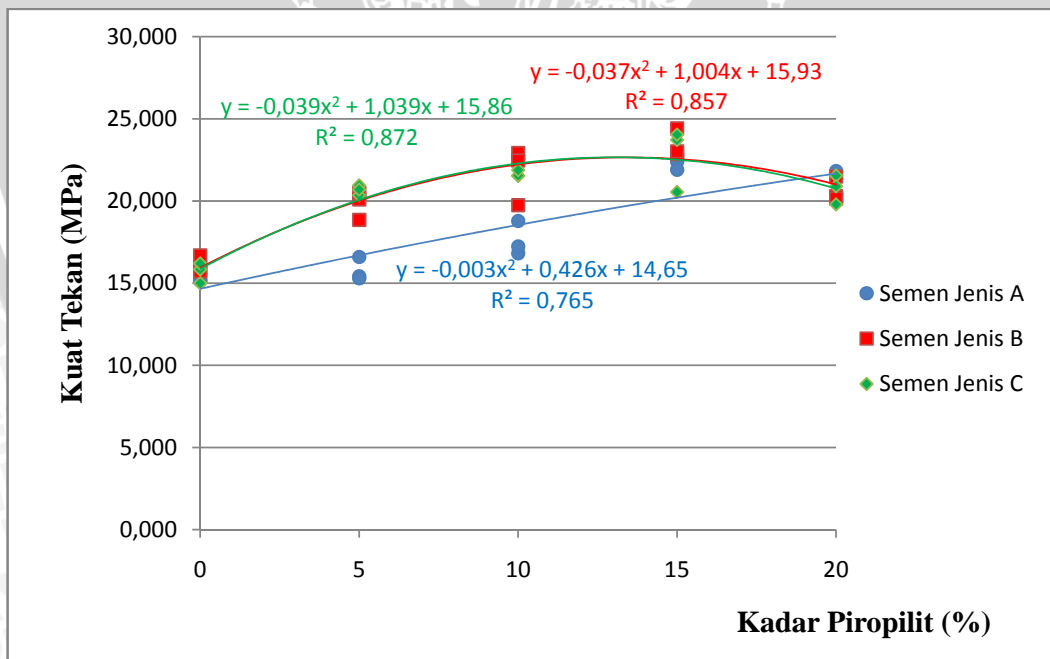
1. Untuk kuat tekan paving piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan paving piropilit umur 7 hari.

2. F_{hitung} antar group (B) > F_{Tabel} antar group (B), ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan beton piropilit umur 7 hari.
3. F_{hitung} antar group (AB) > F_{Tabel} antar group (AB), ini menunjukkan bahwa H_{0AB} ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan paving piropilit umur 7 hari.

4.2.2 Analisis regresi paving piropilit umur 7 hari

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penambahan piropilit terhadap kuat tekan paving adalah dengan menggunakan grafik regresi polinomial.

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



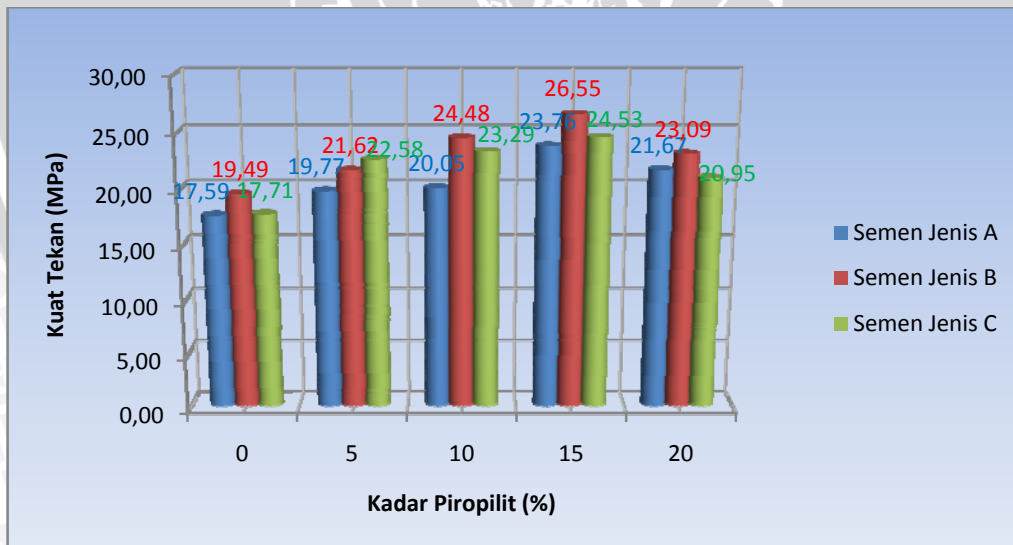
Gambar 4.14 Hubungan kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 7 hari.

Pada gambar **Gambar 4.14** untuk jenis semen A nilai kuat tekan yang dihasilkan untuk setiap variasi kadar piropilit memiliki nilai paling kecil dibandingkan dengan semen B dan C. Hal ini dikarenakan spesifikasi pada setiap jenis semen yang berbeda-beda.

Penambahan kadar piropilit memberikan kontribusi terhadap spesifikasi jenis semen. Hal ini dikarenakan komposisi piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi. Namun pada persentasi penambahan yang dilakukan hingga 15% mampu meningkatkan kuat tekan paving dari penambahan kadar piropilit sebelumnya.

4.2.3 Kuat tekan Paving piropilit umur 14 hari

Kuat tekan merupakan kekuatan tekan material pada benda uji paving yang dibebani sampai hancur dibagian luas penampang bagian permukaan benda uji paving tersebut. Hubungan antara penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan pada paving dapat dilihat pada **Tabel 4.9**, sedangkan grafik diagram hubungan antara kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 14 hari disajikan pada **Gambar 4.15**.



Gambar 4.15 Hubungan rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen piropilit umur 14 hari.

Berdasarkan **Gambar 4.15** dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai kuat tekan dengan penggunaan piropilit dan variasi jenis semen. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

H_{O_A} : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan paving piropilit.

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

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

Tabel 4.12 Data kuat tekan paving piropilit umur 14 hari

Kadar piropilit (%)	Luas (cm ²)			F (KN)			P(σ) (MPa)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	203,01	203,01	203,01	375,00	390,00	308,00	18,472	19,211	15,172
	200,00	200,00	200,00	360,00	405,00	350,00	18,000	20,250	17,500
	202,00	202,00	202,00	352,00	441,00	342,00	17,426	21,832	16,931
5	202,98	202,98	202,98	394,00	462,00	450,00	19,411	22,761	22,170
	199,00	199,00	199,00	368,00	484,00	446,00	18,492	24,322	22,412
	200,00	200,00	200,00	432,00	439,00	463,00	21,600	21,950	23,150
10	202,00	202,00	202,00	391,00	446,00	405,00	19,356	22,079	20,050
	195,02	195,02	195,02	382,00	495,00	422,00	19,588	25,382	21,639
	199,00	199,00	199,00	404,00	486,00	493,00	20,302	24,422	24,774
15	198,00	198,00	198,00	495,00	475,00	495,00	25,000	23,990	25,000
	198,00	198,00	198,00	483,00	526,00	456,00	24,394	26,566	23,030
	203,01	203,01	203,01	429,00	519,00	519,00	21,132	25,565	25,565
20	200,00	200,00	200,00	454,00	455,00	406,00	22,700	22,750	20,300
	198,00	198,00	198,00	369,00	423,00	394,00	18,636	21,364	19,899
	203,01	203,01	203,01	409,00	480,00	460,00	20,147	23,644	22,659

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

Analisa Varian 2 arah
Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

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

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

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

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

- Jumlah Kuadrat

$$JK \text{ Total (JKT)} = \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn}$$

$$= [(18,4720)^2 + (18,0000)^2 + \dots + (20,1468)^2] - \frac{970,9925^2}{45}$$

$$= 21270,195 - 20951,697$$

$$= 318,4983$$

$$JK \text{ Baris (JKB)} = \frac{(\sum X)Bn^2}{kxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(164,7927)^2 + (196,2674)^2 + (192,0989)^2]}{3 \times 3} - \frac{970,9925^2}{45}$$

$$= 21125,3834 - 20951,6968$$

$$= 173,6866$$

$$JK \text{ Kolom (JKK)} = \frac{(\sum X)kn^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(304,6557)^2 + (196,2674)^2 + (192,0989)^2]}{5 \times 3} - \frac{970,9925^2}{45}$$

$$= 21010,0808 - 20951,6968$$

$$= 58,3840$$

$$\text{JK Baris Kolom (JKBK)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} + \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(53,8977)^2 + (59,5032)^2 + \dots + (62,8580)^2]}{3} - 21125,3834$$

$$- 21010,0808 + \frac{970,9925^2}{45}$$

$$= 22,0104$$

$$\text{JK Galat (JKG)} = \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK}$$

$$= 318,4983 - 173,6866 - 58,3840 - 22,0104$$

$$= 64,417$$

Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTB)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{173,6866}{4} = 43,4217$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{58,3840}{2} = 29,1920$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{22,0104}{8} = 2,7513$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{64,4172}{30} = 2,1472$$

Nilai f_{Hitung}

$$\text{F Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{43,4217}{2,1472} = 20,2221$$

$$\text{f Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{29,1920}{2,1472} = 13,5951$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{2,7513}{2,1472} = 1,2813$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran 6-1

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	173,6866	4	43,4217	20,2221	2,6896
Nilai tengah kolom	58,3840	2	29,1920	13,5951	3,3158
Interaksi	22,0104	8	2,7513	1,2813	2,2662
Galat	64,4172	30	2,1472		

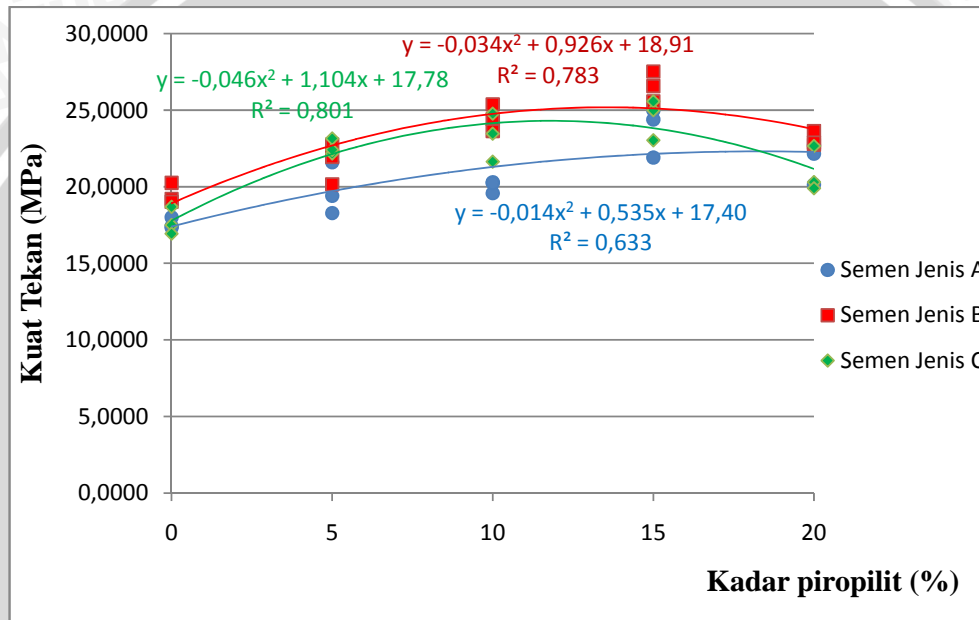
Analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah secara detail disajikan pada lampiran 2. Berdasarkan Tabel diatas didapatkan bahwa :

1. Untuk kuat tekan paving piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap kuat tekan paving piropilit umur 14 hari.
2. $F_{hitung} \text{ antar group (B)} > F_{Tabel} \text{ antar group (B)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan paving piropilit umur 14 hari.
3. $F_{hitung} \text{ antar group (AB)} < F_{Tabel} \text{ antar group (AB)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0AB} sesuai, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap kuat tekan paving piropilit umur 14 hari.

4.2.4 Analisis regresi paving piropilit umur 14 hari

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penambahan piropilit terhadap kuat tekan paving adalah dengan menggunakan grafik regresi polinomial.

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



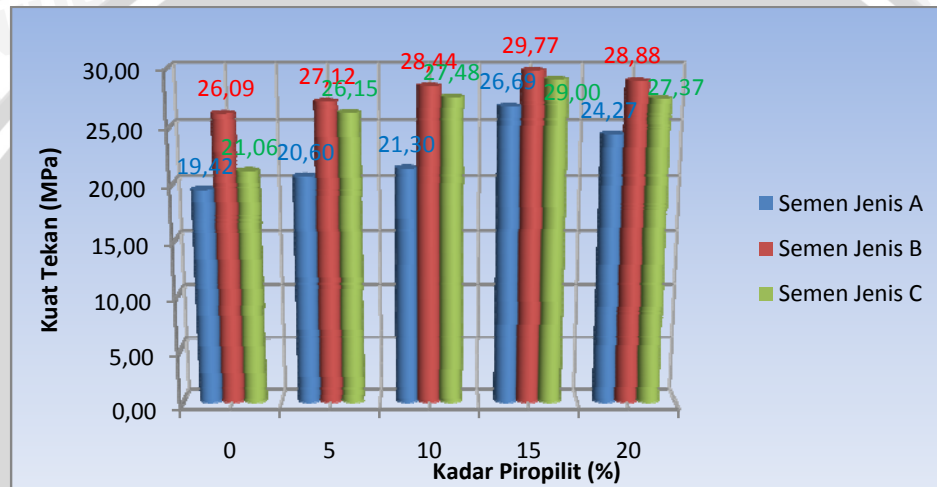
Gambar 4.16 Hubungan kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 14 hari.

Pada gambar **Gambar 4.16** Untuk jenis semen A nilai kuat tekan yang dihasilkan untuk setiap variasi kadar piropilit memiliki nilai paling kecil dibandingkan dengan semen B dan C. Hal ini dikarenakan spesifikasi pada setiap jenis semen yang berbeda-beda.

Pada umur 14 hari penambahan kadar piropilit memberikan kontribusi terhadap spesifikasi jenis semen. Hal ini dikarenakan komposisi piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi. Namun pada prosentase penambahan yang dilakukan hingga 15% terlihat mampu meningkatkan kuat tekan paving dari penambahan kadar piropilit sebelumnya.

4.2.5 Kuat tekan Paving piropilit umur 28 hari

Kuat tekan merupakan kekuatan tekan material pada benda uji paving yang dibebani sampai hancur dibagian luas penampang bagian permukaan benda uji paving tersebut. Hubungan antara penggunaan piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan pada paving dapat dilihat pada **Tabel 4.9**, sedangkan grafik diagram hubungan antara kadar piropilit dan variasi jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 7 hari disajikan pada **Gambar 4.17**



Gambar 4.17 Hubungan rata-rata kuat tekan dengan variasi jenis semen dan piropilit pada umur 28 hari.

Berdasarkan **Gambar 4.17** dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai kuat tekan dengan penggunaan piropilit dan variasi jenis semen. Untuk pembuktiannya digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut

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

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

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

Tabel 4.13 Data kuat tekan paving piropilit umur 28 hari

Kadar piropilit (%)	Luas (cm ²)			F (KN)			P (MPa)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	202,00	202,00	202,00	444,00	526,00	400,00	21,980	26,040	19,802
	195,02	195,02	195,02	368,00	546,00	406,00	18,870	27,997	20,818
	199,00	199,00	199,00	328,00	534,00	430,00	16,482	26,834	21,608
5	198,00	198,00	198,00	464,00	548,00	522,00	23,434	27,677	26,364
	198,00	198,00	198,00	434,00	570,00	518,00	21,919	28,788	26,162
	203,01	203,01	203,01	438,00	530,00	526,00	21,575	26,107	25,910
10	200,00	200,00	200,00	392,00	560,00	520,00	19,600	28,000	26,000
	198,00	198,00	198,00	466,00	556,00	488,00	23,535	28,081	24,646
	199,00	199,00	199,00	400,00	582,00	550,00	20,101	29,246	27,638
15	198,00	198,00	198,00	518,00	578,00	592,00	26,162	29,192	29,899
	198,00	198,00	198,00	564,00	612,00	590,00	28,485	30,909	29,798
	203,01	203,01	203,01	516,00	572,00	554,00	25,417	28,176	27,289
20	200,00	200,00	200,00	524,00	566,00	536,00	26,200	28,300	26,800
	198,00	198,00	198,00	438,00	562,00	544,00	22,121	28,384	27,475
	203,01	203,01	203,01	494,00	608,00	526,00	24,334	29,949	25,910

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

Analisa Varian 2 arah
Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$\begin{aligned}
 db_{\text{baris}} &= r - 1 &= 5 - 1 &= 4 \\
 db_{\text{kolom}} &= k - 1 &= 3 - 1 &= 2 \\
 db_{\text{interaksi}} &= db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} &= 4 \times 2 &= 8 \\
 db_{\text{galat}} &= (r \times k) \times (n - 1) &= 15 \times 2 &= 30
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned}
 \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\
 &= [(21,980)^2 + (18,870)^2 + \dots + (25,910)^2] - \frac{1150,5203^2}{45}
 \end{aligned}$$

$$= 29940,769 - 29415,4876$$

$$= 525,2814$$

$$\text{JK Baris (JKB)} = \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(200,4318)^2 + (227,9359)^2 + \dots + 239,4729^2]}{3 \times 3} - \frac{1150,5203^2}{45}$$

$$= 2958,3169 - 29415,4876$$

$$= 182,8293$$

$$\text{JK Kolom (JKK)} = \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} - \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(340,2161)^2 + (423,1747)^2 + (387,1295)^2]}{5 \times 3} - \frac{1150,5203^2}{45}$$

$$= 29646,2045 - 29415,4876$$

$$= 230,7168$$

$$\text{JK Baris Kolom (JKBK)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} + \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{[(57,3325)^2 + (66,9288)^2 + \dots + (63,2359)^2]}{3} - 29598,3169$$

$$- 29646,2045 + \frac{1150,5203^2}{45}$$

$$= 47,0516$$

$$\text{JK Galat (JKG)} = \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK}$$

$$= 525,2814 - 182,8293 - 230,7168 - 47,0516$$

$$= 64,684$$

Kuadrat Tengah

$$KT \text{ Baris (KTB)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{182,8293}{4} = 45,7073$$

$$KT \text{ Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{230,7168}{2} = 115,3584$$

$$KT \text{ Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{47,0516}{8} = 5,8814$$

$$KT \text{ Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{64,6837}{30} = 2,1561$$

Nilai f_{Hitung}

$$F \text{ Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{45,7073}{2,1561} = 21,1988$$

$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{115,3584}{2,1561} = 53,5027$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{5,8814}{2,1561} = 2,7278$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran 6-1

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	182,8293	4	45,7073	21,1988	2,6896
Nilai tengah kolom	230,7168	2	115,3584	53,5027	3,3158
Interaksi	47,0516	8	5,8814	2,7278	2,2662
Galat	64,6837	30	2,1561		

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

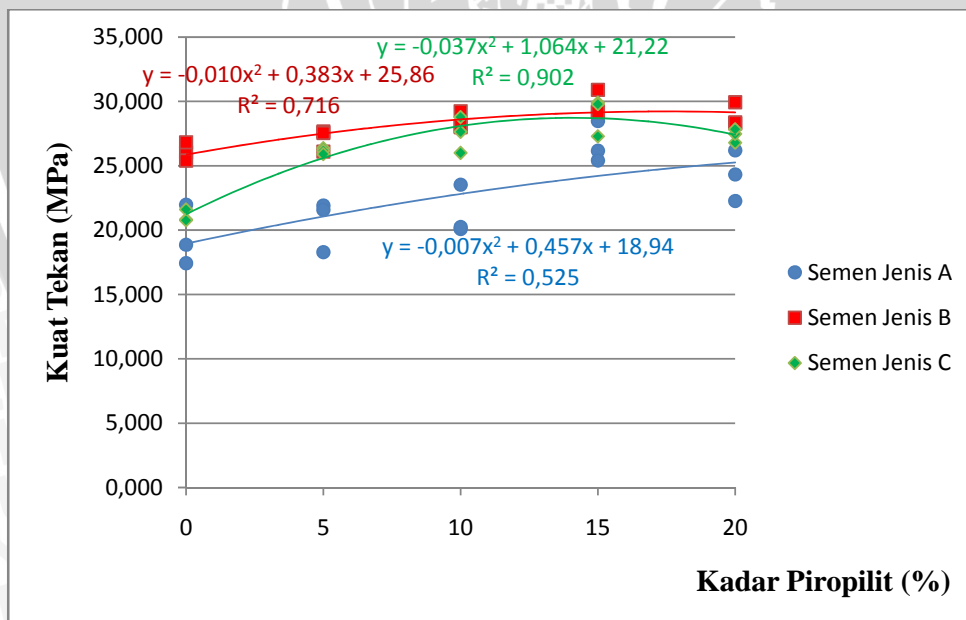
1. Untuk kuat tekan paving piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit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

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

4.2.6 Analisis regresi paving piropilit umur 28 hari

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

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



Gambar 4.18 Hubungan kadar piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 28 hari.

Pada gambar **Gambar 4.18** Untuk jenis semen A nilai kuat tekan yang dihasilkan untuk setiap variasi kadar piropilit memiliki nilai paling kecil dibandingkan dengan semen B dan C. Hal ini dikarenakan spesifikasi pada setiap jenis semen yang berbeda-beda.

Pada umur 28 hari penambahan kadar piropilit memberikan kontribusi terhadap spesifikasi jenis semen. Hal ini dikarenakan komposisi piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi. Namun pada persentasi penambahan yang dilakukan hingga 15% mampu meningkatkan kuat tekan paving dari penambahan piropilit sebelumnya.

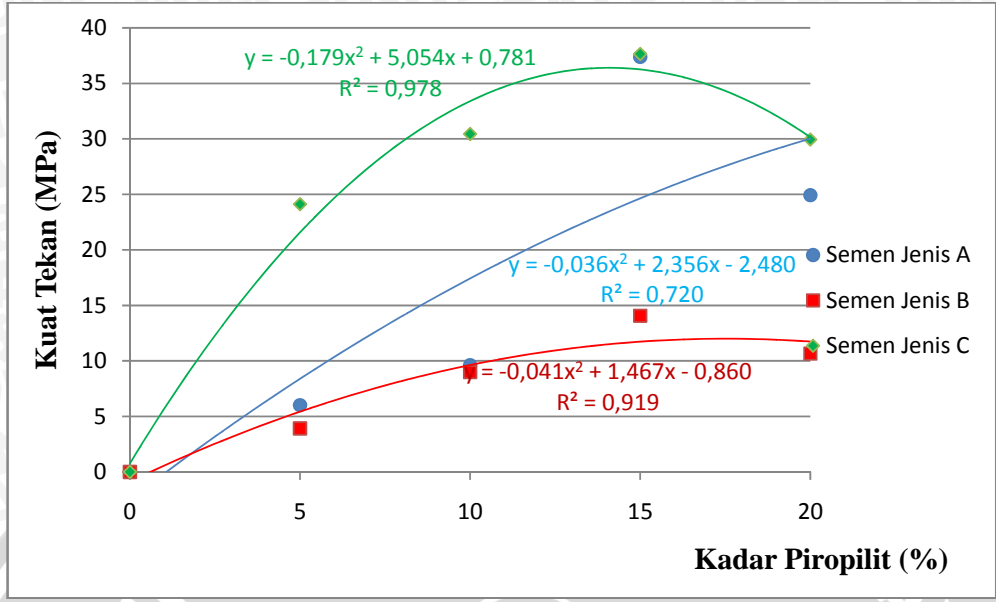
4.2.7 Analisis regresi pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap kuat tekan paving umur 28 hari

Pada **Tabel 4.14** dibawah ini merupakan persentase pengaruh piropilit terhadap rata-rata kuat tekan paving normal dan variasi piropilit umur 28 hari. Terlihat bahwa kadar piropilit sebesar 15% mampu mempengaruhi kuat tekan sehingga menyebabkan peningkatan kuat tekan paving. Penambahan kadar piropilit yang dihasilkan cukup besar pengaruhnya terhadap kuat tekan paving dapat dilihat dari nilai persentase pengaruh.

Tabel 4.14 Persentase piropilit terhadap kuat tekan umur 28 hari

Kadar piropilit (%)	Umur Paving	Kuat Tekan (σ) (Mpa)			Persentase Pengaruh (%)		
		A	B	C	A	B	C
0	28	19,425	26,093	21,065	0	0	0
5	28	20,595	27,115	26,145	6,026	3,920	24,119
10	28	21,296	28,442	27,475	9,634	9,005	30,434
15	28	26,688	29,766	28,995	37,391	14,077	37,651
20	28	24,269	28,878	27,371	24,938	10,674	29,940

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



Gambar 4.19 Hubungan Persentase pengaruh paving umur 28 hari.

Dari **Gambar 4.19** terlihat bahwa kuat tekan paving umur 28 hari terdapat pengaruh penambahan persentase piropilit. Pada semen jenis C terjadi pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan semen jenis A dan B. Hal ini dikarenakan spesifikasi pada setiap jenis semen yang berbeda-beda.

4.2.8 Hasil porositas paving piropilit

Porositas paving adalah kadar pori tertutup pada sebuah paving, dimana paving yang baik adalah paving yang memiliki nilai porositas yang kecil. Untuk pembuktian adanya pengaruh porositas pada paving piropilit digunakan analisis statistik metode ANOVA 2 arah, terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut :

- Ho_A : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap porositas beton piropilit.
- Ho_B : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap porositas beton piropilit.
- Ho_{AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penambahan kadar piropilit dan penggunaan variasi 3 jenis semen.

Tabel 4.15 Nilai porositas paving piropilit

kadar piropilit (%)	Umur Beton (hari)	Porositas (%)		
		A	B	C
0	28	17,329	17,416	15,364
	28	16,835	18,519	11,667
	28	17,034	15,178	10,119
5	28	17,034	15,254	6,848
	28	12,985	17,765	19,772
	28	15,000	16,667	10,000
10	28	15,408	8,475	8,475
	28	11,419	17,765	16,477
	28	13,201	21,452	8,418
15	28	13,115	16,476	16,476
	28	11,234	16,210	9,726
	28	11,785	15,152	6,601
20	28	13,401	11,785	13,333
	28	9,836	16,559	8,280
	28	11,475	13,181	8,156

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

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

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

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

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

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

- Jumlah Kuadrat

$JK \text{ Total (JKT)} = \sum X_{r^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn}$

$$= \left[(0,179)^2 + (0,171)^2 + \dots + (0,136)^2 \right] - \frac{46,649^2}{45}$$

$$= 1,0465 - 1,036634541$$

$$= 0,009908$$

$$\text{JK Baris (JKB)} = \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{\left[(1,4735)^2 + (1,4216)^2 + \dots + (1,3947)^2 \right]}{3 \times 3} - \frac{46,649^2}{45}$$

$$= 0,0046$$

$$\text{JK Kolom (JKK)} = \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} - \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{\left[(2,4140)^2 + (2,2393)^2 + (2,1767)^2 \right]}{3 \times 3} - \frac{46,649^2}{45}$$

$$= 0,0020$$

$$\text{JK Baris Kolom (JKBK)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)Bn)^2}{kxn} - \frac{(\sum X)kn)^2}{rxn} + \frac{(\sum X)T)^2}{rxkxn}$$

$$= \frac{\left[(0,5137)^2 + (0,5046)^2 + \dots + (0,400)^2 \right]}{3 \times 3} - 1,0413 - 1,0387 + \frac{46,649^2}{45}$$

$$= 0,0004$$

$$\text{JK Galat (JKG)} = \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK}$$

$$= 0,009908383 - 0,0046 - 0,0020 + 0,0004$$

$$= 0,003$$

Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTB)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{0,0046}{4} = 0,0012$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{0,0020}{2} = 0,0010$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{0,0004}{8} = 0,4672$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{0,0029}{30} = 0,0001$$

Nilai f_{Hitung}

$$F \text{ Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{0,0012}{0,0001} = 12,0827$$

$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{0,0010}{0,0001} = 10,4922$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{0,000045}{0,000096} = 0,4672$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran 6-1

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	0,0139	4	0,0035	2,8350	2,6896
Nilai tengah kolom	0,0209	2	0,0105	8,5363	3,3158
Interaksi	0,0076	8	0,0010	0,7798	2,2662
Galat	0,0368	30	0,0012		

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

1. Untuk modulus elastisitas paving piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh yang signifikan antara penambahan kadar piropilit terhadap porositas paving piropilit umur 28 hari.

2. F_{hitung} antar group (B) $>$ F_{Tabel} antar group (B), ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara penggunaan variasi 3 jenis semen terhadap porositas paving piropilit umur 28 hari.
3. F_{hitung} antar group (AB) $<$ F_{Tabel} antar group (AB), ini menunjukkan bahwa H_{0AB} diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi antara penggunaan piropilit dan variasi 3 jenis semen terhadap porositas paving piropilit umur 28 hari.

4.2.9 Persentase pengaruh piropilit dan jenis semen terhadap porositas paving piropilit

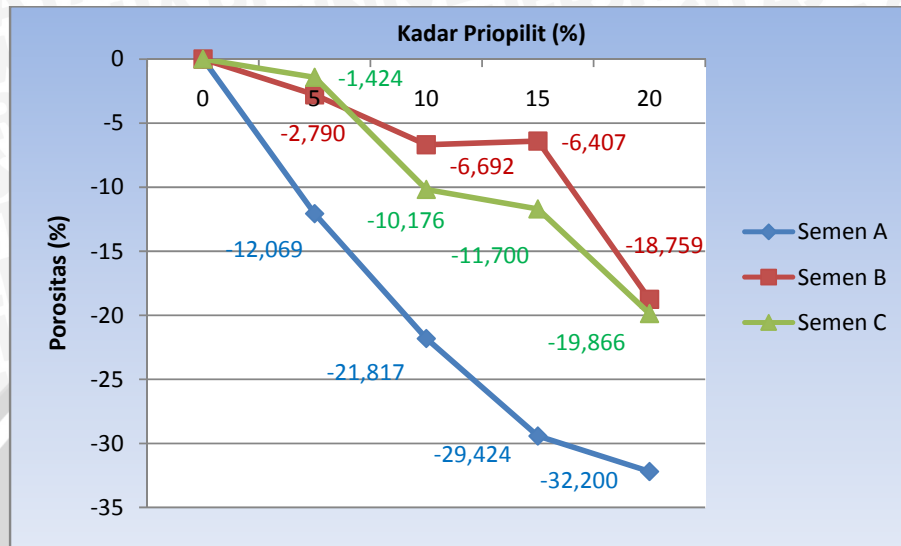
Adanya perbedaan nilai porositas yang dihasilkan pada setiap variasi penambahan piropilit dapat dicari besar persentase pengaruh perubahan nilai porositas pada masing-masing varian. Untuk prosentase pengaruh nilai porositas dapat dilihat pada **Tabel 4.16**

Tabel 4.16 Persentase pengaruh nilai porositas

Kadar piropilit (%)	Umur Paving	Porositas rata-rata (%)			Persentase Pengaruh (%)		
		A	B	C	A	B	C
0	28	17,066	17,037	12,383	0	0	0
5	28	15,006	16,562	12,207	-12,069	-2,790	-1,424
10	28	13,343	15,897	11,123	-21,817	-6,692	-10,176
15	28	12,044	15,946	10,934	-29,424	-6,407	-11,700
20	28	11,571	13,841	9,923	-32,200	-18,759	-19,866

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

Hubungan persentase pengaruh nilai porositas dengan penambahan piropilit pada semen A, semen B, dan semen C dapat dilihat pada **Gambar 4.20**



Gambar 4.20 Hubungan persentase pengaruh nilai porositas dengan penambahan piropilit

Dari grafik diatas dapat dilihat pada saat menggunakan variasi penambahan piropilit mampu menurunkan nilai porositas paving piropilit pada jenis semen A, B dan C. variasi penambahan piropilit dari 5% sampai dengan 20% mampu menurunkan nilai porositas dari paving non piropilit.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pembahasan Kuat Tekan Paving

Pada penelitian ini, berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian hipotesis diketahui bahwa penggunaan piropilit memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan paving normal. Pengaruh dari penggunaan piropilit terhadap kuat tekan paving normal cenderung bersifat positif. Hal ini terlihat dari hasil pengujian untuk tiap-tiap variasinya. Nilai kuat tekan paving dengan campuran berbagai komposisi piropilit apabila dibandingkan dengan kuat tekan paving normal adalah:

- Paving normal (kadar piropilit 0%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **19,425 MPa**, untuk jenis semen B **26,093 MPa** dan semen C **21,065 MPa**.
- Paving piropilit (kadar piropilit 5%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **20,595 MPa**, untuk jenis semen B **27,115 MPa** dan semen C **26,145 MPa**.
- Paving piropilit (kadar piropilit 10%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **21,296 MPa**, untuk jenis semen B **28,442 MPa** dan semen C **27,475 MPa**.
- Paving piropilit (kadar piropilit 15%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **26,688 MPa**, untuk jenis semen B **29,766 MPa** dan semen C **28,995 MPa**.
- Paving piropilit (kadar piropilit 20%) menghasilkan kuat tekan rata-rata pada jenis semen A **24,269 MPa**, untuk jenis semen B **28,878 MPa** dan semen C **27,878 MPa**.

Pada penelitian sebelumnya mengenai piropilit. Untuk mengenai aktivasi piropilit dimana peningkatan kekuatan tersebut dikarenakan proses aktifasi mineral piropilit telah dicapai. Aktifasi mineral piropilit yang mempunyai kemampuan sebagai adsorben maupun penukar anion dan kation dapat dilakukan dengan kalsinasi (cara fisik) atau dengan menggunakan larutan asam atau basa (cara kimia). Dimana secara kimia piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi yaitu sekitar 75,53% dan alumina sekitar 15,76%.

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

Dari ketiga jenis semen, pada jenis semen B memiliki kuat tekan paling optimum diantara semen jenis A dan C. Unsur kimia pada semen B memiliki kadar (SiO_2) sebanyak 20% dan Al_2O_3 sebesar 5,2%, sedangkan pada semen A dan C memiliki kadar SiO_2 dan Al_2O_3 lebih besar. Sehingga proses pengerasan paving semen jenis B lebih cepat mengeras dikarenakan kadar kandungan silika dan alumina yang lebih rendah dari semen A dan C. Dari hasil analisa di atas penambahan piropilit sebanyak 5%,10%, dan 15% sebagai pengganti sebagian semen meningkatkan kuat tekan paving yang ada. Sedangkan Kandungan piropilit 20% mengurangi jumlah semen untuk proses hidrasi paving sehingga nilai rata-rata kuat tekan paving menurun.

Paving dengan tanpa pencampuran piropilit menghasilkan paving dengan Mutu jenis III, tapi setelah diberi piropilit dengan kadar yang sudah ditentukan menghasilkan paving dengan kekuatan rata-rata diatas paving normal sehingga diklasifikasikan paving Mutu II .

Dari hasil analisa di atas pencampuran kadar piropilit 5% hingga 15% piropilit yang digunakan sebagai pengganti pengurangan semen pada pembuatan paving tidak mengganggu proses hidrasi sampai berumur 28 hari sehingga semen terhidrasi sempurna dan piropilit yang memberikan kontribusi silika mampu meningkatkan kuat tekan paving. Dikarenakan rongga yang kosong diantara partikel semen akan diisi oleh silika sehingga berfungsi sebagai bahan penguat paving dan meningkatkan daya tahan.

Namun pada penambahan piropilit 20% dapat mengganggu hidrasi semen dikarenakan banyaknya kandungan silika dan alumina yang memperlama proses hidrasi, piropilit yang menggantikan pengurangan semen pada paving ternyata menurunkan kuat tekan dari penambahan kadar piropilit sebelumnya.

Oleh karena itu penambahan piropilit sebanyak 5%,10%, dan 15% sebagai pengganti pengurangan semen meningkatkan kuat tekan paving yang ada. Sedangkan Kandungan piropilit 20% mengurangi jumlah semen untuk proses hidrasi paving sehingga nilai rata-rata kuat tekan paving menurun dari penambahan kadar piropilit sebelumnya pada umur yang sama.

4.3.2 Pembahasan Porositas Paving

Dari hasil perhitungan statistika diketahui bahwa pengaruh penggunaan piropilit terhadap porositas paving mendapatkan hasil yang semakin menurun. Besar pengaruh dari penggunaan piropilit terhadap porositas paving terlihat dari hasil pengujian untuk tiap-tiap komposisi. Nilai porositas campuran berbagai komposisi piropilit apabila dibandingkan dengan porositas paving normal adalah

- Paving normal (variasi 0% penambahan piropilit) menghasilkan nilai Porositas rata-rata pada jenis semen A **17,066 %**, untuk jenis semen B **17,037 %** dan semen C **12,383 %**.
- Paving piropilit (variasi 5% penambahan piropilit) menghasilkan nilai Porositas rata-rata pada jenis semen A **15,006 %**, untuk jenis semen B **16,562 %** dan semen C **12,207 %**.
- Paving piropilit (variasi 10% penambahan piropilit) menghasilkan nilai Porositas rata-rata pada jenis semen A **13,343 %**, untuk jenis semen B **15,897 %** dan semen C **11,123 %**.
- Paving piropilit (variasi 15% penambahan piropilit) menghasilkan nilai Porositas rata-rata pada jenis semen A **12,044 %**, untuk jenis semen B **15,946 %** dan semen C **10,934 %**.
- Paving piropilit (variasi 20% penambahan piropilit) menghasilkan nilai Porositas rata-rata pada jenis semen A **11,571 %**, untuk jenis semen B **13,841 %** dan semen C **9,923 %**.

Dari hasil analisa di atas sehingga dapat diketahui bahwa nilai porositas pada paving piropilit mengalami penurunan paling maksimum pada masing-masing jenis semen saat penambahan variasi piropilit 20%, sehingga adanya penambahan piropilit pada paving berpengaruh terhadap nilai porositasnya.

Apabila disusun urutan nilai porositas paling tinggi dan paling kecil di setiap variasi penambahan piropilit pada masing-masing jenis semen maka :

- Pada saat penambahan variasi piropilit 0% nilai porositas paving paling tinggi pada jenis semen A dan paling kecil pada jenis semen C.
- Pada saat penambahan variasi piropilit 5% nilai porositas paving paling tinggi pada jenis semen B dan paling kecil pada jenis semen C.
- Pada saat penambahan variasi piropilit 10% nilai porositas paving paling tinggi pada jenis semen B dan paling kecil pada jenis semen C.
- Pada saat penambahan variasi piropilit 15% nilai porositas paving paling tinggi pada jenis semen B dan paling kecil pada jenis semen B.
- Pada saat penambahan variasi piropilit 20% nilai porositas paving paling tinggi pada jenis semen B dan paling kecil pada jenis semen B.

Hal ini membuktikan hipotesis awal bahwa piropilit dapat menurunkan tingkat porositas paving. Selain mengurangi biaya produksi pada paving, bahan mineral piropilit mampu memperhalus perbedaan-perbedaan pada campuran paving dengan memberikan ukuran agregat yang tidak sama dalam pencampuran agregat lainnya. Sehingga saat penambahan kadar piropilit dari 5% hingga penambahan 20% terbukti menurunkan nilai porositas, dikarenakan pori-pori pada paving terisi oleh piropilit.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan uji statistik, penambahan variasi campuran piropilit berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tekan paving. variasi campuran piropilit 0%, 5%, 10%, dan 15% mampu meningkatkan kuat tekan paving sebesar 37,651%. Paving dengan piropilit 15% memiliki kuat tekan paling tinggi yaitu 29,766 MPa. Sedangkan pada penambahan piropilit 20% terbukti menurunkan nilai kuat tekan 7,711% dari penambahan piropilit 15% yaitu sebesar 28,878 MPa. Sedangkan untuk uji statistik variasi campuran jenis semen A, B dan C berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tekan pada paving. Paving dengan campuran semen jenis B memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan penggunaan semen jenis A dan C yaitu sebesar 29,766 MPa pada umur 28 hari. Hasil Uji kuat tekan menunjukkan bahwa paving jenis ini adalah paving dengan Mutu III sesuai dengan standar SNI.
2. Berdasarkan uji statistik, penambahan variasi campuran piropilit berpengaruh nyata terhadap nilai porositas paving. Variasi campuran piropilit 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% mampu menurunkan nilai porositas paving sebesar 32,2%. Paving dengan piropilit 20% memiliki nilai porositas paling kecil dibandingkan penambahan kadar piropilit sebelumnya yaitu 9,923%. Sedangkan untuk uji statistik variasi campuran jenis semen A, B dan C terbukti berpengaruh terhadap nilai porositas pada paving. Paving dengan campuran semen jenis C memiliki nilai porositas paling kecil dibandingkan dengan penggunaan semen jenis A dan B yaitu sebesar 9,923% pada umur 28 hari.

5.2 Saran

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

- a) Hendaknya perlu diperhatikan konversi antara perbandingan volume dilapangan dengan perbandingan berat di laboratorium.
- b) Perlu dilakukan Uji Q untuk membuang data yang menyimpang sehingga koefisien determinasi regresi mendekati 1.
- c) Hendaknya proses *curing* pada paving piropilit disesuaikan pada suhu yang lebih tinggi atau tidak pada suhu rendah.
- d) Perlu diperhatikan mengenai perbandingan volume dilapangan saat proses pembuatan paving.
- e) Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai pengaktifan piropilit.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 2009. *The Mineral Pyrophyllite*. [Amethyst Galleries, Inc.http://www.galleries.com/minerals/silicate/pyrophyll/pyrophyll.htm](http://www.galleries.com/minerals/silicate/pyrophyll/pyrophyll.htm). (diakses 25 September 2011).
- Anonimus. 2011. *Piropilit*. <http://bumi-is-earth.blogspot.com/2011/05/piropilit.html>. (diakses 27 September 2011).
- Anonimus. 2011. *Paving Block*. <http://momoteknik.blogspot.com/2011/03/teknologi-paving-block.html>. (diakses 30 September 2011).
- Anonimus. 2011. *Paving Block*. <http://www.scribd.com/doc/23042744/Bahan-Baku>. (diakses 30 September 2011).
- [Kelompok Program Teknologi Informasi Pertambangan](#). 2005. *Informasi Mineral dan Batubara*. <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Phiropilit/ulasan.asp?xdir=Phiropilit&commlid=28&comm=Phiropilit>. (diakses 27 September 2011)
- Nuansa Masel. 2011. *Piropilit- $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$* .
- Drapto, H. 1997. *Penelitian Skala Laboratorium Potensi Batu Piropilit di Desa Karanggede, Kec. Arjosari, Kab. Pacitan, Propinsi Jawa Timur dan Prospek Pengembangannya*. Jakarta: Media Teknik.
- SNI 03-0691-19. *Bata Beton (paving block)*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-6825-2002. *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil*. Badan Standarisasi Nasional
- Winner, F. 2010. *Pyrophyllite – Support Material*. <http://winnerfirmansyah.wordpress.com/2010/01/03/pyrophyllite-support-material/>. (diakses 8 Juli 2011).
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Jakarta : Andi
- Nugraha, Paul. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta:Andi.
- <http://www.paving.indonetwork.co.id>, diakses 28 September 2011

<http://www.repository.usu.ac.id>, diakses 29 September 2011

<http://www.en.wikipedia.org> diakses tanggal 24 juli 2011

yoppynfo.blogspot.com, diakses 23 September 2011

<http://semen.web44.net/v.2.0/layananpelanggan/spesifikasi.swf>, diakses 25 September 2011

<http://www.bi.go.id/sipuk/id/?id=4&no=51410&idrb=45601>, Diakses 27 September 2011

<http://pavingbloc.wordpress.com/2011/04/10/jenis-paving-sni/>, diakses 27 September 2011

<http://dwifatrinapputeri.ngeblogs.com/2009/12/02/pyrophylite>, diakses 27 September 2011

<http://wwwnuansamasel.blogspot.com/2011/06/piropilit-al2si4o10oh2.html>

<http://www.galleries.com/minerals/silicate/pyrophyl/pyrophyl.htm>, diakses 29 September 2011

<http://www.alibaba.com>, diakses tanggal 11 Agustus 2011

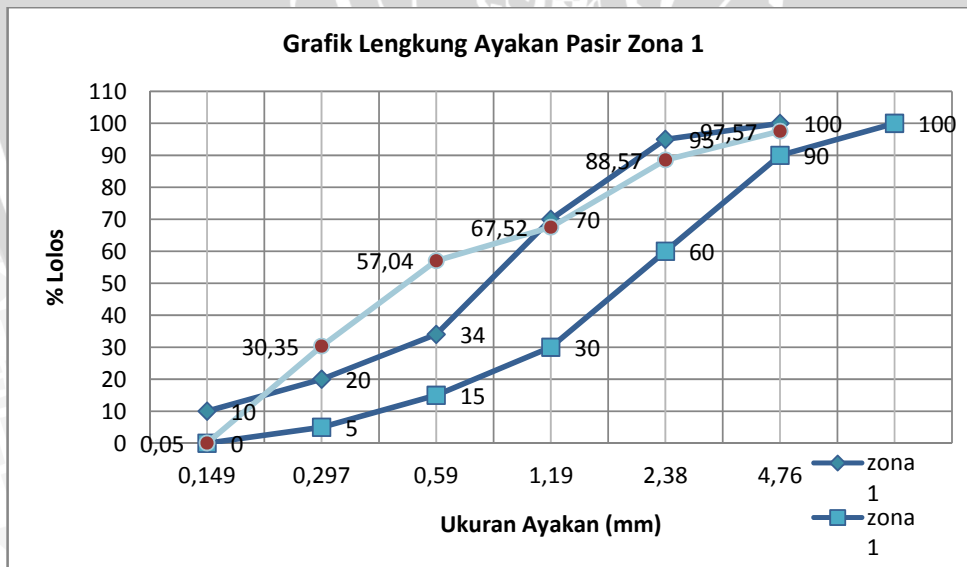
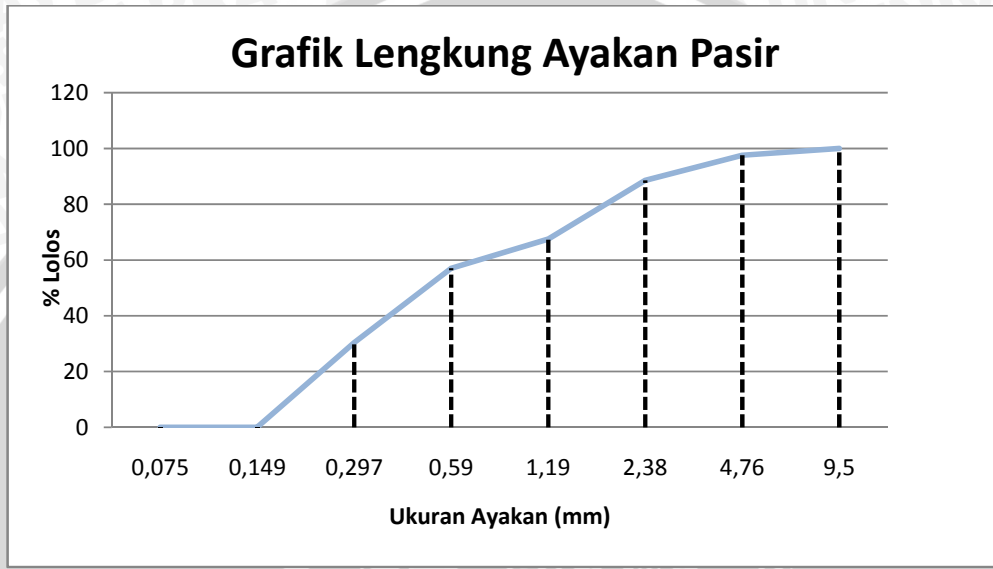


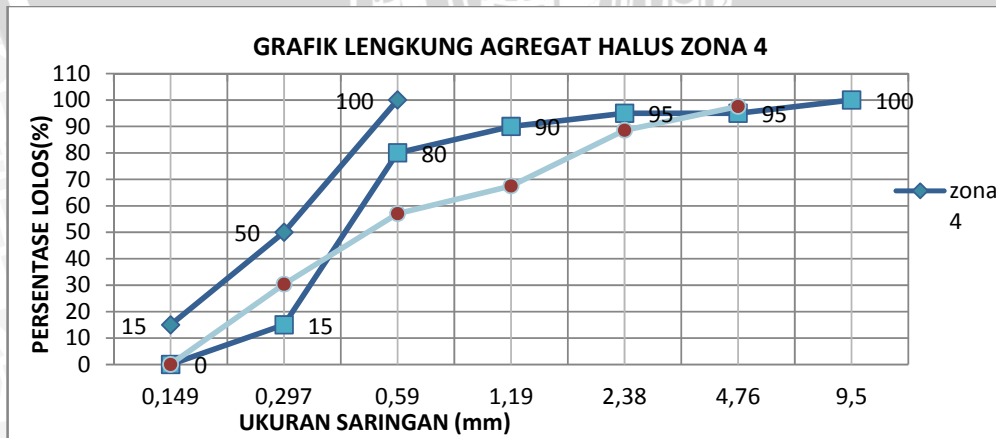
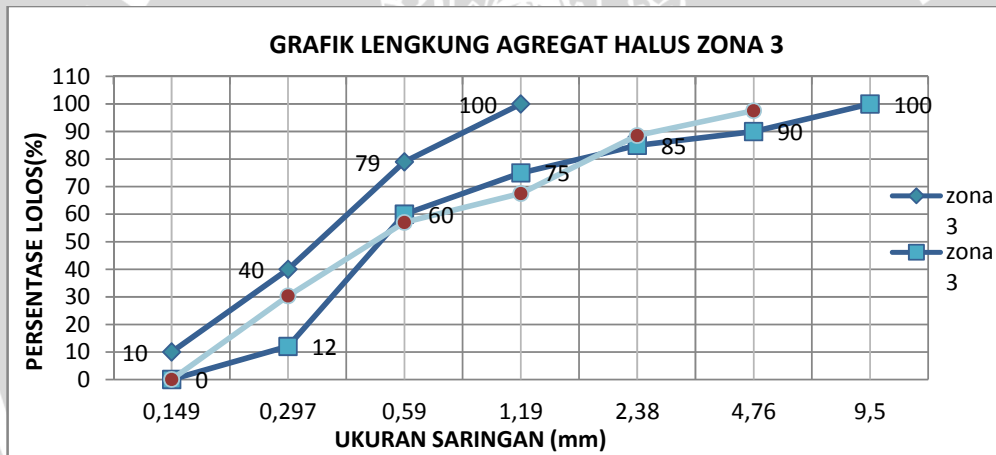
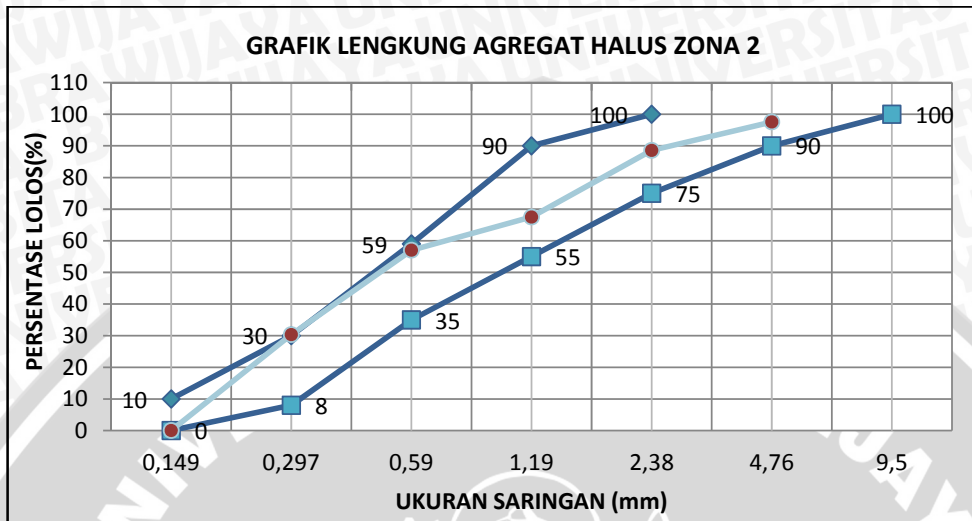
Lampiran 1 Analisis gradasi agregat halus

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

Modulus Kehalusan Pasir, $F_{m-p} =$

Dari Grafik, Zona Gradasi = Zona 2





Lampiran 2 Berat jenis dan penyerapan agregat halus

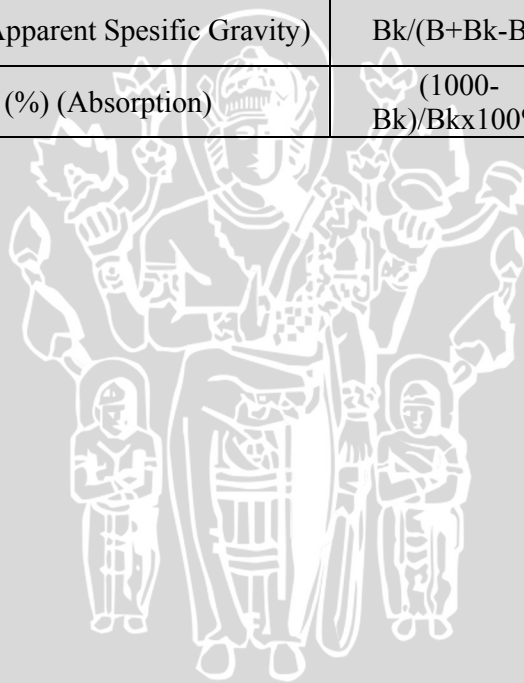
NOMOR CONTOH		A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	1000 (gr)	1000
Berat benda uji kering oven	Bk (gr)	996,6
Berat piknometer di isi air	B (gr)	1389,4
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt (gr)	1962,2

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

Lampiran 3 Pemeriksaan berat isi agregat halus

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

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



Lampiran 4 Kadar air agregat halus

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

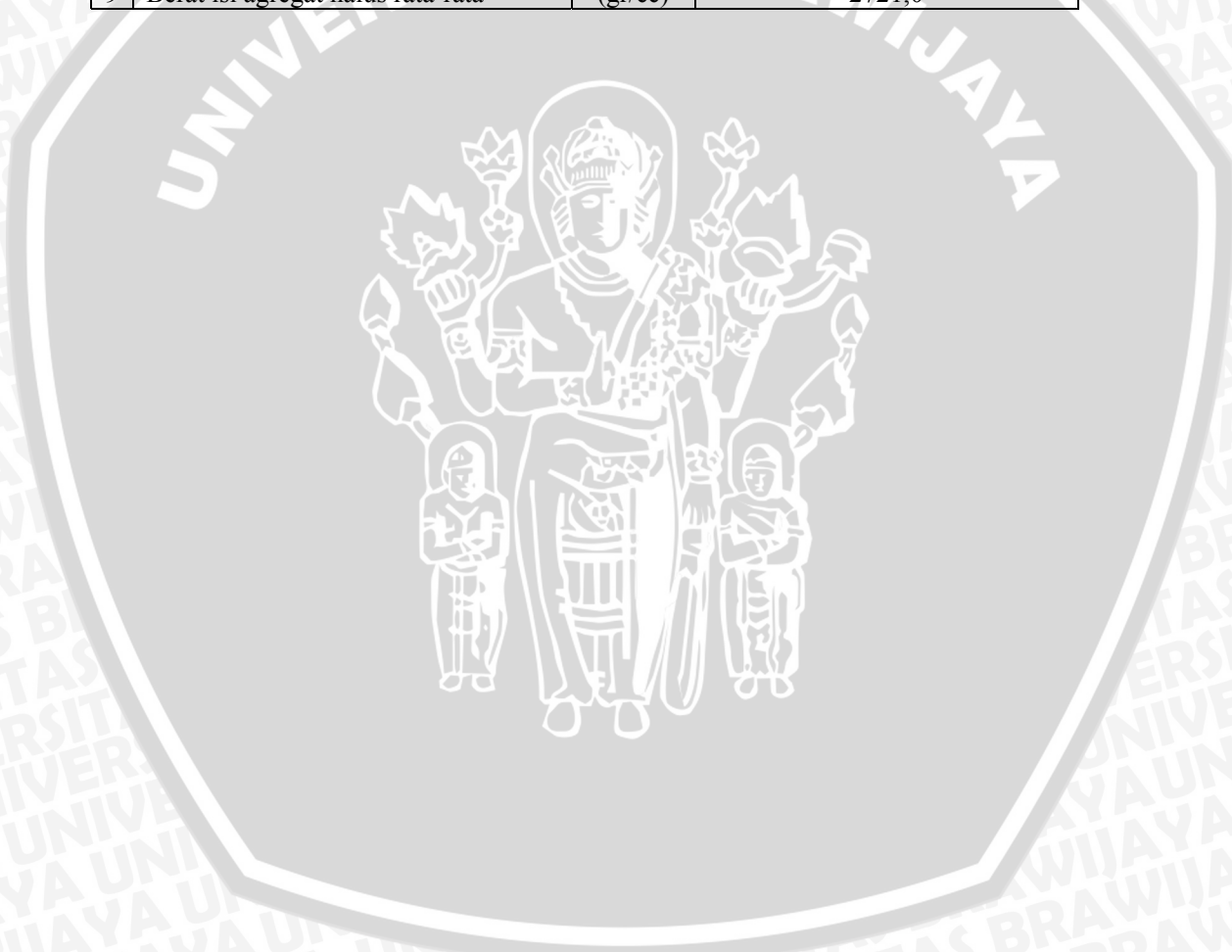
Tabel 4.10 Analisa kadar air agregat kasar

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



Lampiran 5 berat isi agregat halus

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



Lampiran 7 Volume Benda Uji

Volume benda uji = $200 \times 100 \times 60 = 1200 \text{ cm}^3 = 0,0012 \text{ m}^3$

kebutuhan material per $0,0012 \text{ m}^3$ dengan perbandingan 1:4

Material	Kebutuhan (Kg)				
	0%	5%	10%	15%	20%
Semen	0,5	0,475	0,45	0,425	0,4
Pasir	2	2	2	2	2
Air	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Piropilit	0	0,025	0,05	0,075	0,1

Jumlah Benda uji

180

Kebutuhan semen

0%	=	18	kg
5%	=	17,1	kg
10%	=	16,2	kg
15%	=	15,3	kg
20%	=	14,4	kg
Total		81	kg

Kebutuhan Piropilit

0%	=	0	kg
5%	=	0,9	kg
10%	=	1,8	kg
15%	=	2,7	kg
20%	=	3,6	kg
Total		9	kg

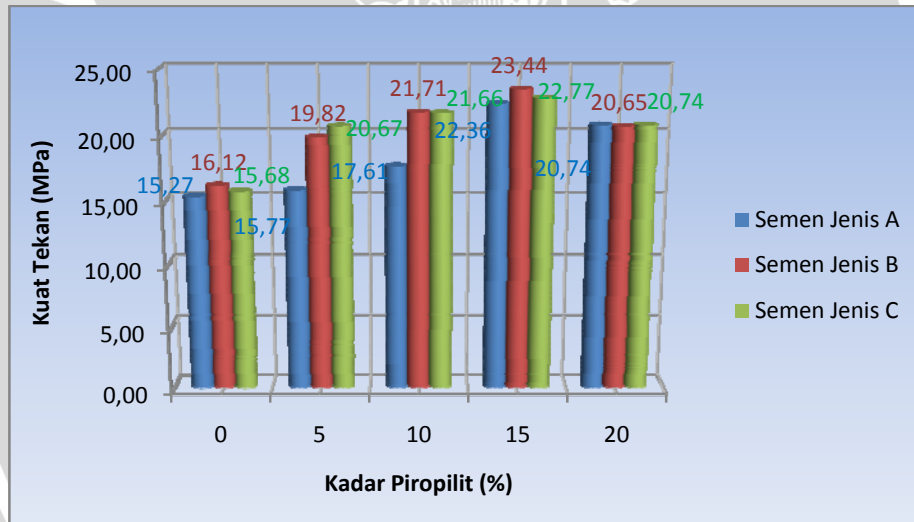
Karena Agregat yang digunakan tidak dikurangi maka
Total kebutuhan

Pasir = $72 \times 5 = 360 \text{ kg}$

Lampiran 8 Grafik kadar piropilit terhadap semen

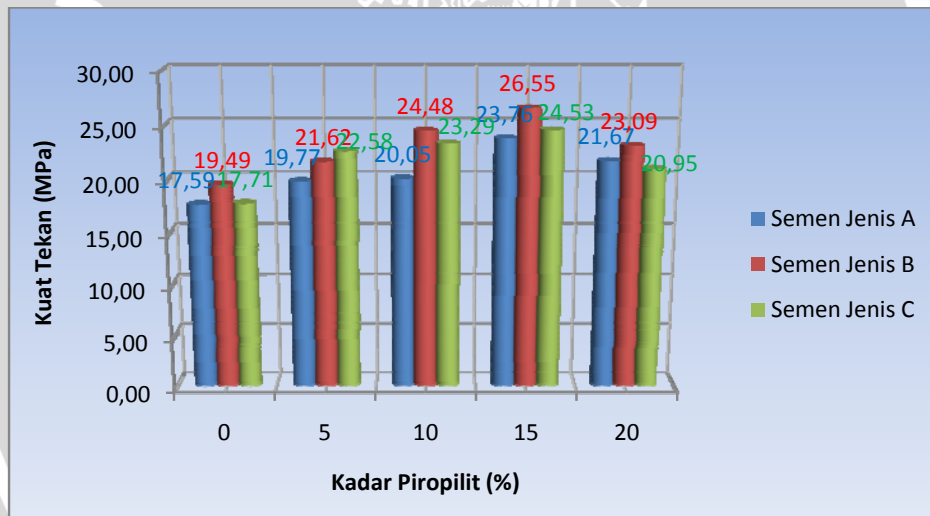
Tabel Hubungan kadar piropilit dan kuat tekan umur 7 hari

kadar piropilit (%)	K rata-rata (MPa)		
	A	B	C
0	15,27	16,12	15,68
5	15,77	19,82	20,67
10	17,61	21,71	21,66
15	22,36	23,44	22,77
20	20,74	20,65	20,74



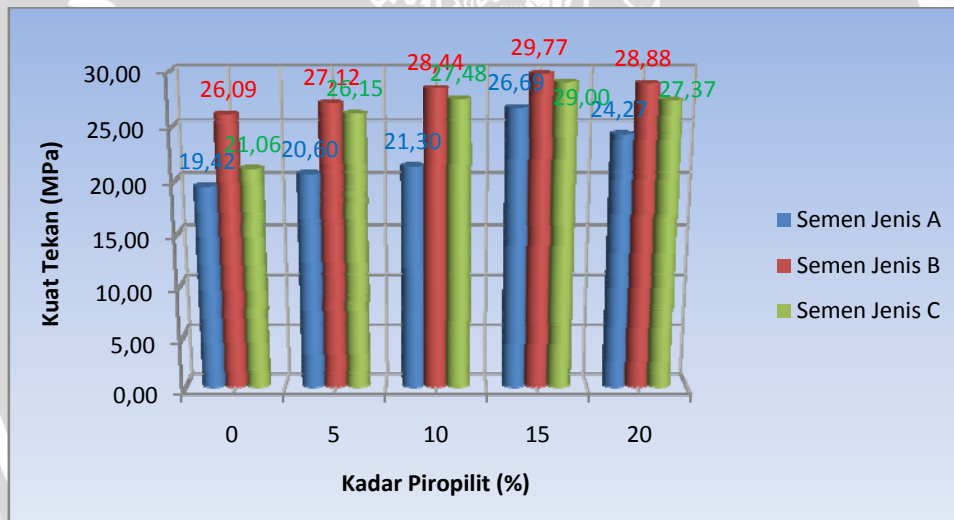
Tabel Hubungan kadar piropilit dan kuat tekan umur 14 hari

kadar piropilit (%)	K rata-rata (MPa)		
	A	B	C
0	17,59	19,49	17,71
5	19,77	21,62	22,58
10	20,05	24,48	23,29
15	23,76	26,55	24,53
20	21,67	23,09	20,95



Tabel Hubungan kadar piropilit dan kuat tekan umur 28 hari

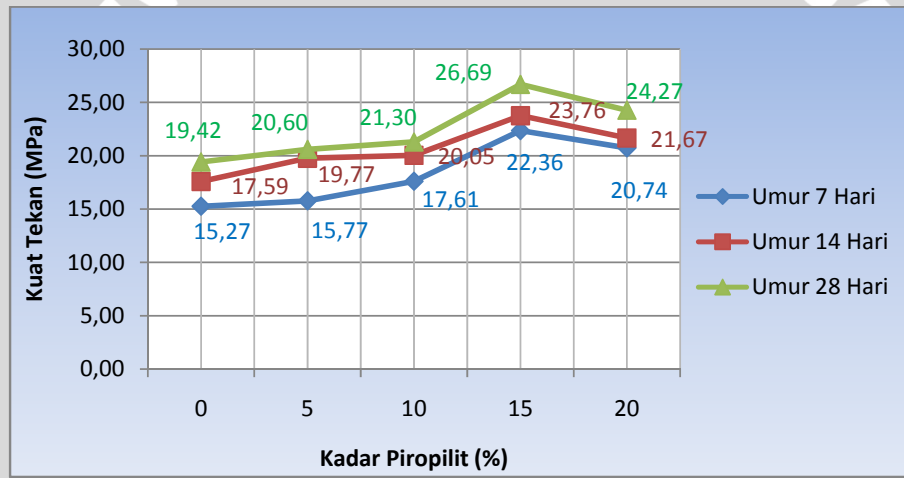
kadar piropilit (%)	K rata-rata (MPa)		
	A	B	C
0	19,42	26,09	21,06
5	20,60	27,12	26,15
10	21,30	28,44	27,48
15	26,69	29,77	29,00
20	24,27	28,88	27,37



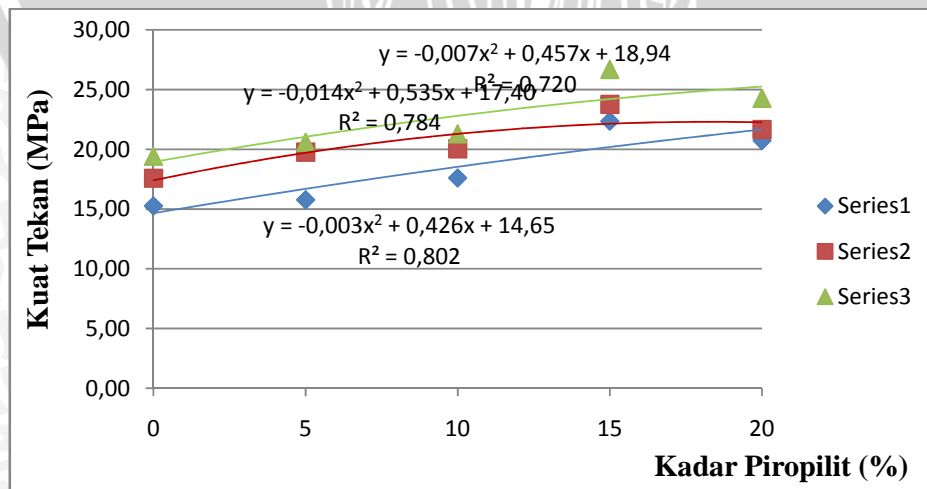
Lampiran 9 Grafik kadar piropilit terhadap variasi Umur

Tabel kuat tekan paving semen jenis A

kadar piropilit (%)	K rata-rata (MPa)		
	A7	A14	A28
0	15,27	17,59	19,42
5	15,77	19,77	20,60
10	17,61	20,05	21,30
15	22,36	23,76	26,69
20	20,74	21,67	24,27

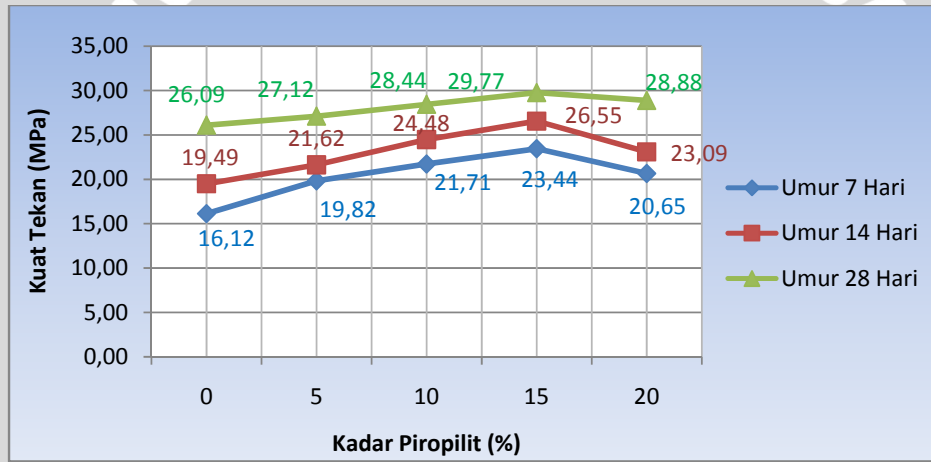


Grafik kuat tekan paving dengan semen jenis A

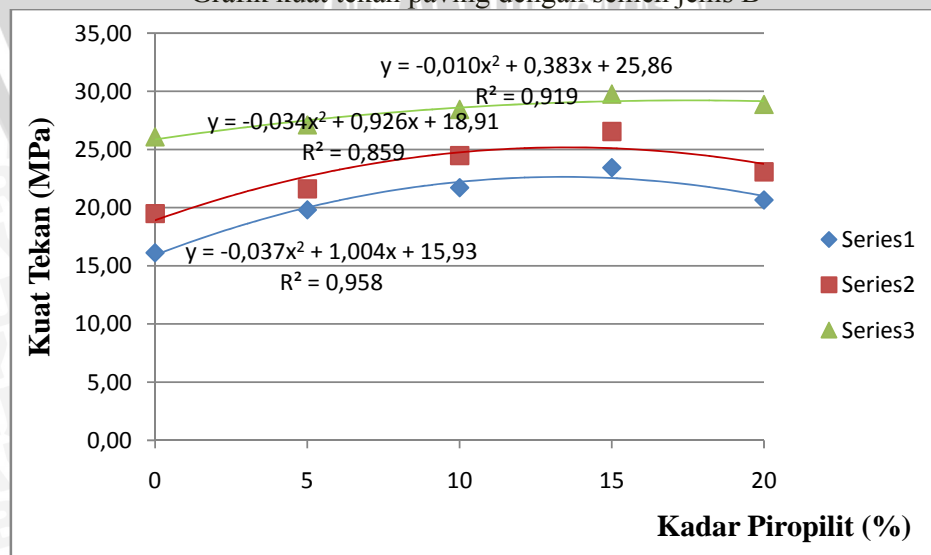


Tabel kuat tekan paving semen jenis B

kadar piropilit (%)	K rata-rata (MPa)		
	B7	B14	B28
0	16,12	19,49	26,09
5	19,82	21,62	27,12
10	21,71	24,48	28,44
15	23,44	26,55	29,77
20	20,65	23,09	28,88

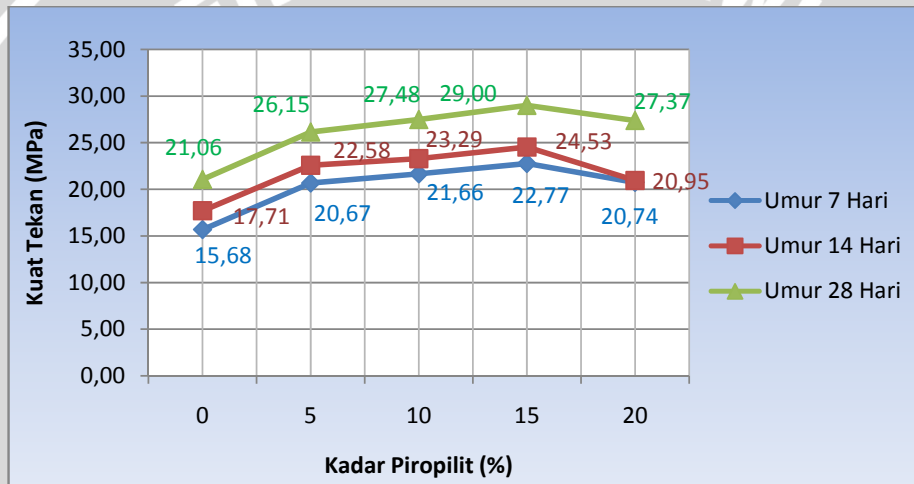


Grafik kuat tekan paving dengan semen jenis B

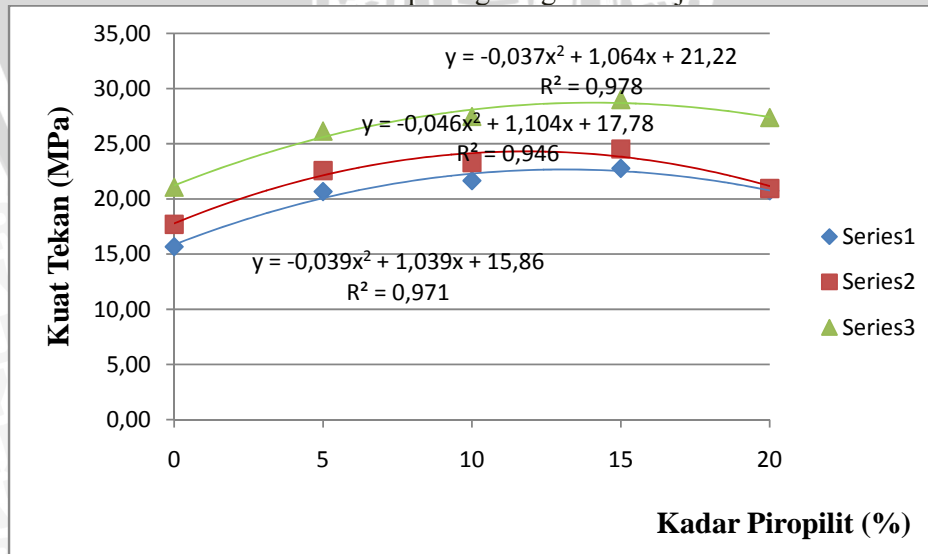


Tabel kuat tekan paving semen jenis C

kadar piropilit (%)	K rata-rata (MPa)		
	C7	C14	C28
0	15,68	17,71	21,06
5	20,67	22,58	26,15
10	21,66	23,29	27,48
15	22,77	24,53	29,00
20	20,74	20,95	27,37



Grafik kuat tekan paving dengan semen jenis C



Lampiran 10 Spesifikasi Unsur Kimia pada Semen Jenis A, B dan C

Komposisi Kimia	Jenis Semen			Piropilit
	A	B	C	
Silikon Dioksida (SiO ₂),%	23,13%	20%	28,5%	75,53%
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃),%	8,76%	5,20%	8,7%	15,76%
Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃),%	4,26%	5,8%	1,8%	0,47%
Magnesium Oksida (MgO),%	9,0%	6%	6%	0,56%
Kalsium Oksida (CaO),%	58,66%	45%	49,5%	0,35%

*Ket : Minimal syarat

Lampiran 11 Foto Penelitian



Gambar paving semen Jenis A, B dan C



Gambar Oven



Gambar Paving yang sudah di oven



Gambar paving yang direndam setelah di oven



Gambar Compression Machine



Gambar Paving semen jenis A yang Hancur setelah di Uji tekan



Gambar Paving semen jenis B yang Hancur setelah di Uji tekan



Gambar Paving semen jenis C yang Hancur setelah di Uji tekan



Gambar Alat penimbang paving

