TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *FIBERGLASS* DAN *SILICA FUME* TERHADAP MUTU DAN HARGA PRODUKSI PAVING BLOCK (*THE EFFECT OF FIBERGLASS AND SILICA FUME ADDITION ON QUALITY AND PRICE OF PAVING BLOCK PRODUCTION*)

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

DADUNG HARIYO BISMO
20511110

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

2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *FIBERGLASS* DAN *SILICA FUME* TERHADAP MUTU DAN HARGA PRODUKSI PAVING BLOCK
(*THE EFFECT OF FIBERGLASS AND SILICA FUME ADDITION ON QUALITY AND PRICE OF PAVING BLOCK PRODUCTION*)

Disusun oleh

DADUNG HARIYO BISMO
20511110

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

Diuji pada tanggal 23 September 2024
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I
Jafar, S.T., M.T., MURP
NIK : 185111305
Tanggal : 23/09/24

Penguji I :
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301
Tanggal : 23.09.24.

Penguji II :
Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.
NIK : 885110105
Tanggal : 25/09/24.

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

25/9/2024

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 16 Mei 2024

Yang membuat pernyataan



Dadung Hariyo Bismo

(20511110)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,

Segala puji bagi Tuhan semesta alam. Dengan penuh syukur, saya mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan kemampuan kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan program studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai hambatan. Namun, dengan bantuan kritik, saran, dan semangat dorongan dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikannya. Sehubungan dengan hal ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan berdoa semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D. selaku ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Jafar S.T., M.T., MURP. selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak Hardi Suparno dan Ibu Nurhamsiyah yang selalu mendoakan, mendidik, dan selalu memotivasi dengan penuh kasih sayang kepada penulis.
4. Vega Erita, Vika Arini, dan Danang Hariyo Seto selaku saudara penulis yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
5. Seseorang yang sempat menemani penulis selama 4 tahun dan selalu memberi semangat serta motivasi.
6. Teman-teman penulis yang menemani selama perkuliahan di Teknik Sipil UII
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat dijadikan referensi demi perkembangan kearah yang lebih baik. Semoga Allah SWT. senantiasa melimpahkan rahmat dan Ridha-Nya kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 16 Mei 2024
Penulis



Dadung Hariyo Bismo
(20511110)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xii
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Umum 5
2.1.1 Pengaruh Penambahan Serat Ijuk dan *Silica fume* Pada Karakteristik *Paving Block* 5
2.1.2 Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Dan Substitusi Fly Ash Terhadap Pengujian Self Compacting Concrete 6
2.1.3 Pengaruh Campuran *Silica fume* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Pembuatan *Paving Block* Dengan Metode Tekanan 6
2.1.4 Pengaruh Campuran *Silica fume* Terhadap Kuat Tekan *Paving Block* Dengan Berbagai Varian Bentuk 7
2.1.5 Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Dan Kuat Tarik Belah Beton 7

2.2 Perbedaan dari Penelitian Sebelumnya 8
BAB III LANDASAN TEORI 11
3.1 *Paving Block* 11
3.1.1 Syarat dan Mutu *Paving Block* 11
3.2 Semen Portland 12
3.3 Agregat Halus 14
3.4 Air 16
3.5 *Fiberglass* 17
3.6 *Silica fume* 17
3.7 Pengujian *Paving Block* 17
3.7.1 Kuat Tekan *Paving Block* 17
3.7.2 Kuat Tarik *Paving Block* 18
3.7.3 Penyerapan Air *Paving Block* 18
3.7.4 Keausan *Paving Block* 19
3.8 Pengujian Statistik 19
3.8.1 Uji Normalitas 20
3.8.2 Uji Z-Score 20
BAB IV METODE PENELITIAN 21
4.1 Tinjauan Umum 21
4.2 Bahan Penelitian 21
4.3 Peralatan Penelitian 22
4.4 Benda Uji 25
4.5 Pelaksanaan Penelitian 26
4.5.1 Persiapan Penelitian 26
4.5.2 Pengujian Agregat 26
4.5.3 Pembuatan Benda Uji 28
4.5.4 Perawatan Benda Uji 29
4.5.5 Pengujian Benda Uji 29
4.6 Harga Pokok Produksi *Paving Block* Dengan *Fiberglass* Dan *Silica fume* 32
4.6.1 Penentuan Harga Pokok Produksi 32

4.7 Bagan Alir Penelitian 33
4.8 Tahap Analisis dan Pembahasan 35
4.9 Penarikan Kesimpulan 35
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 36
5.1 Tinjauan Umum 36
5.2 Hasil Pengujian Bahan 36
5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus 36
5.3 Perhitungan Komposisi Campuran 40
5.4 Hasil Pengujian *Paving Block* 42
5.4.1 Pengujian Kuat Tekan 42
5.4.2 Pengujian Kuat Tarik 51
5.4.3 Pengujian Keausan 58
5.4.4 Pengujian Penyerapan Air 63
5.4.5 Klasifikasi Mutu Paving Block 68
5.5 Perbandingan Biaya Pokok Produksi *Paving Block* 69
5.5.1 Harga Pokok Produksi *Paving Block* 70
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 77
6.1 Kesimpulan 77
6.2 Saran 78
DAFTAR PUSTAKA 79
LAMPIRAN 81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 9
Tabel 3.1 Persyaratan Mutu *Paving Block* 12
Tabel 3.2 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland* 12
Lanjutan Tabel 3.3 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland* 13
Tabel 3.4 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland* 13
Tabel 3.5 Komposisi Senyawa Semen *Portland* 13
Tabel 3.6 Batas-batas Gradasi Agregat Halus 15
Lanjutan Tabel 3.7 Batas-batas Gradasi Agregat Halus 16
Tabel 3.8 Nilai Faktor Koreksi k 18
Tabel 4.1 Proporsi Campuran Bahan Tambah 25
Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji 26
Tabel 4.3 Ukuran Benda Uji 26
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus 37
Tabel 5.2 Daerah Gradasi Agregat Halus 38
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus 39
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 39
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur 40
Tabel 5.6 Komposisi Campuran *Paving Block* 41
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal 44
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi I 44
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi II 45
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi III 45
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi VI 46
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi V 46
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi VI 47
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal 47
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal 48
Tabel 5.16 Nilai Kuat Tekan *Paving Block* 50

Tabel 5.17 Persentase Peningkatan Kuat Tekan *Paving Block* 50
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Normal 52
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi I 52
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi II 52
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi III 53
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi IV 54
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi V 54
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi VI 55
Tabel 5. 25 Hasil Pengujian Regresi Linear Kuat Tarik 55
Tabel 5.26 Hasil Pengujian Z-Score Kuat Tarik 56
Tabel 5.27 Rata-rata Kuat Tarik Dan Persentase Peningkatan Kuat Tarik 57
Tabel 5.28 Hasil Pengujian Keausan Variasi Normal 58
Tabel 5.29 Hasil Pengujian Keausan Variasi I 59
Tabel 5.30 Hasil Pengujian Keausan Variasi II 59
Tabel 5.31 Hasil Pengujian Keausan Variasi III 59
Tabel 5.32 Hasil Pengujian Keausan Variasi IV 60
Tabel 5.33 Hasil Pengujian Keausan Variasi V 60
Tabel 5.34 Hasil Pengujian Keausan Variasi VI 60
Tabel 5.35 Hasil Pengujian Regresi Linear Keausan 61
Tabel 5.36 Hasil Pengujian Z-Score Keausan 61
Tabel 5.37 Rata-rata Keausan Pada *Paving Block* 62
Tabel 5.38 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi Normal 64
Tabel 5.39 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi I 64
Tabel 5.40 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi II 64
Tabel 5.41 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi III 65
Tabel 5.42 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi IV 65
Tabel 5.43 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi V 65
Tabel 5.44 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi VI 66
Tabel 5.45 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi Normal 66
Tabel 5.46 Hasil Pengujian Z-Score Penyerapan Air 67
Tabel 5.47 Daya Serap Air Rata-Rata *Paving Block* 67

Tabel 5.48 Klasifikasi Mutu *Paving Block* 68
Tabel 5.49 Rekapitulasi Harga Pokok Produksi *Paving Block* 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Dimensi *Paving Block* 11
Gambar 3.2 Sketsa Roda Jarum 19
Gambar 4.1 Timbangan 22
Gambar 4.2 Cetok 22
Gambar 4.3 Mesin Cetak *Paving Block* 23
Gambar 4.4 Alat Pemotong 23
Gambar 4.5 Oven 24
Gambar 4.6 *Compression Testing Machine* 25
Gambar 4.7 Prinsip Kerja Metode Mekanis 28
Gambar 4.8 Prinsip Kerja Metode Mekanis 29
Gambar 4.9 Prinsip Kerja Metode Mekanis 29
Gambar 4.10 Pengujian Kuat Tekan *Paving block* 30
Gambar 4.11 Pengujian Kuat Tekan *Paving block* 31
Gambar 4.12 Pengujian Kuat Tekan *Paving block* 31
Gambar 4.13 Pengujian Kuat Tekan *Paving block* 31
Gambar 4.14 Diagram Alir Penelitian 34
Gambar 5.1 Nilai Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III 38
Gambar 5.2 Perbandingan Jumlah *Fiberglass* Setiap Variasi *Paving Block* 42
Gambar 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal 48
Gambar 5.4 Grafik Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* 49
Gambar 5.5 Grafik Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* 49
Gambar 5.6 Nilai Pengujian Normalitas Kuat Tarik 56
Gambar 5.7 Grafik Pengujian Kuat Tarik *Paving Block* 57
Gambar 5.8 Nilai Pengujian Normalitas Keausan 61
Gambar 5.9 Grafik Pengujian Keausan *Paving Block* 62
Gambar 5.10 Nilai Pengujian Normalitas Penyerapan Air 66
Gambar 5.11 Grafik Rata-rata Penyerapan Air *Paving Block* 68
Gambar 5.12 Perbandingan Harga Pokok Produksi *Paving Block* 76

ABSTRAK

Paving block adalah salah satu teknologi dalam konstruksi sebagai salah satu alternatif pilihan lapis perkerasan yang bersifat pracetak, yang memiliki keunggulan seperti pemasangan yang mudah, perawatan yang ekonomis, waktu pelaksanaan yang cepat, dan harga yang terjangkau. Pembuatan paving block dapat melibatkan penambahan bahan lain selama tidak memengaruhi kualitas sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. Penambahan serat *fiberglass* diharapkan dapat meningkatkan kuat lentur pada paving block, hal ini berdasarkan sifat serat *fiberglass* yang memilki kuat tarik yang cukup baik. *Silica fume* memiliki diameter yang halus sehingga *silica fume* dapat dijadikan sebagai filler yang baik pada campuran paving block, dengan demikian pembahan *silica fume* diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan, Keausan pada paving block serta mengurangi penyerapan air.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui peningkatan mutu serta harga pokok produksi pada paving block dengan bahan tambah. Dalam penelitian ini, peneliti akan melakukan pengujian paving block penambahan *fiberglass* dengan interval 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15% dan *silica fume* sebesar 5% dari berat semen ditinjau dari nilai kuat tekan, nilai kuat tarik, tingkat keausan, daya serap air. Penelitian ini juga mempertimbangkan harga produksi paving block sesuai dengan mutu yang ditetntukan.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai peningkatan mutu optimum pada variasi 6 dengan penambahan 5% *silica fume* dan 15% *fiberglass* dengan kuat tekan 18,4463 MPa, kuat tarik belah 1,5318 Mpa, Keausan 0,3527 mm/menit, dan penyerapan air sebesar 7,4799 %. Mutu pada variasi tersebut diperoleh dari proporsi bahan tambah yang sesuai sehingga mendapatkan mutu terbaik.

ABSTRACT

Paving blocks are a construction technology used as an alternative choice for precast pavement layers. They offer advantages such as easy installation, cost-effective maintenance, quick implementation, and affordability. The production of paving blocks may involve the addition of other materials as long as it does not affect quality, in accordance with SNI 03-0691-1996 standards. Adding fiberglass is expected to improve the flexural strength of the paving blocks due to the good tensile strength properties of fiberglass. Silica fume, with its fine particle size, can serve as an effective filler in the paving block mixture. Therefore, the addition of silica fume is anticipated to enhance compressive strength, abrasion resistance, and reduce water absorption. This study aims to evaluate the improvement in quality and production cost of paving blocks with additives.

The research will test paving blocks with fiberglass additions at intervals of 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, and 15%, and 5% silica fume by weight of cement, assessing compressive strength, tensile strength, abrasion resistance, water absorption. This research also considers the production price of paving blocks according to the specified quality.

Based on the test results, the optimum quality improvement was achieved with a 6% variation, incorporating 5% silica fume and 15% fiberglass, resulting in a compressive strength of 18.4463 MPa, split tensile strength of 1.5318 MPa, abrasion resistance of 0.3527 mm/min, and water absorption of 7.4799%. This quality was obtained from the appropriate proportion of additives, leading to the best performance

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paving block merupakan teknologi pracetak dalam konstruksi sebagai salah satu alternatif pilihan lapis perkerasan permukaan tanah yang memiliki kelebihan diantaranya yaitu pemasangan yang mudah, perawatan yang murah, waktu pelaksanaan yang lebih cepat dan harga beli yang terjangkau. Secara komposisi *paving block* merupakan bahan yang dihasilkan dari campuran antara semen portland, air dan agregat dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah lainnya. Pembuatan *paving block* dapat menggunakan penambahan bahan lain yang tidak mengurangi mutu sesuai dengan SNI 03-0691-1996. *Paving block* untuk perkerasan jalan harus sesuai persyaratan, seperti memilki kekuatan yang memadai untuk menopang beban dari kendaraan beroda.

Secara struktural *paving block* memiliki kekuatan yang cukup besar kuat tekannya, akan tetapi memilki kelemahan yaitu memiliki kuat tarik yang rendah dan bersifat getas. Peningkatan kualitas *paving block* dapat dilakukan dengan menggunakan bahan tambah lainnya untuk menyusun komposisi campuran sehingga adanya perubahan karakteristik dari *paving block*. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan dengan penambahan *fiberglass* dan *silica fume*.

Fiberglass merupakan kaca cair yang ditarik hingga menjadi serat tipis berdiameter 0,005 mm hingga 0,1 mm. *Fiberglass* memiliki bobot yang ringan serta memiliki sifat yang kuat terhadap tarik dan ketahanan lebih tinggi yang dibandingkan dengan baja (Kushartomo & Ivan, 2017). Penambahan serat *fiberglass* diharapkan dapat meningkatkan kuat lentur pada *paving block*, hal ini berdasarkan sifat serat *fiberglass* yang memilki kuat tarik yang cukup baik. Selain itu *fiberglass* juga memiliki ketahan terhadap air sehingga dapat digunakan pada *paving block* yang sering tergenang air. Namun, penambahan *fiberglass* secara berlebihan dapat menyebabkan kesulitan dalam pemadatan. Hal ini menurunkan kuat tekan beton (Jemima, 2017). Berdasarkan dari kelemahan penggunaan

fiberglass yang ada maka diperlukannya proporsi variasi panjang *fiberglass* yang tepat agar tidak menyebabkan pengumpalan dan mengakibatkan kesulitan dalam pemadatan.

Silica fume merupakan serbuk halus dengan diameter 0,1 micron meter hingga 1,0 micron meter. *Silica fume* memiliki diameter yang halus sehingga *silica fume* dapat dijadikan sebagai filler yang baik pada campuran *paving block*, dengan demikian pembahan *silica fume* diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan, Keausan pada *paving block* serta mengurangi penyerapan air. Neville (1997) dalam Kusumo (2013) menyebutkan penggunaan *silica fume* dengan jumlah yang rendah (dibawah 5% dari berat semen) tidak menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari beton karena jumlah *silica fume* tidak akan mencukupi untuk menutupi permukaan seluruh partikel dari agregat, namun penggunaan *silica fume* yang menguntungkan juga terbatas tidak lebih dari 10% dari berat semen yang digunakan, hal ini disebabkan oleh penggunaan *silica fume* yang berlebih tidak akan dapat menutupi permukaan agregat. Penggunaan *silica fume* secara berlebihan dapat menyebabkan kesulitan dalam pemadatan yang disebabkan oleh sifat dari *silica fume* yang sulit menyerap air sehingga pencampuran menjadi sulit homogen, maka diperlukan komposisi yang tepat agar penambahan *silica fume* tidak menyebabkan kesulitan dalam pemadatan. Berdasarkan penjelasan diatas peneliti menggunakan penambahan *silica fume* sebanyak 5% dari berat semen.

Penambahan bahan tambah pada *paving block* diharapkan dapat menaikan mutu tetapi memungkinkan adanya peningkatan biaya. Untuk mengetahui kenaikan atau penurunan harga *paving block* diperlukan adanya analisis dan perhitungan harga pokok produksi maupun harga jual. Harga pokok produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan suatu produk pada suatu perusahaan manufaktur (Haryono, 2005). Melihat ramainya penggunaan *paving block* sebagai salah satu penunjang infrastruktur terutama pada perkerasan, perusahaan produsen *paving block* dituntut untuk meningkatkan kualitas produk tetapi dengan harga jual yang ekonomis.

Dalam penelitian ini, peneliti telah melakukan pengujian *paving block* dengan penambahan *fiberglass* dengan persentase 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15% yang

digunakan berdasarkan asumsi peneliti dan *silica fume* sebesar 5% dari berat semen ditinjau dari nilai kuat tekan, nilai kuat tarik, tingkat keausan, daya serap air dan harga produksi *paving block*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik pada *paving block*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap Keausan pada *paving block*?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap daya serap air pada *paving block*?
4. Bagaimana pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap nilai ekonomis *paving block*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik *paving block*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap Keausan pada *paving block*.
3. Mengetahui pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap daya serap air *paving block*.
4. Mengetahui pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap nilai ekonomis *paving block*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk menambah pemahaman dan dapat mengetahui secara eksperimental mengenai pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap mutu dan biaya.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian sebagai tinjauan agar penelitian terarah dan mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan penelitian sebagai berikut.

1. Agregat halus dalam penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari daerah kawasan Gunung Merapi, Sleman, Yogyakarta.

2. *Fiberglass* yang digunakan menggunakan jenis *fiberglass* roving.
3. Ukuran panjang *fiberglass* yang digunakan yaitu antara 1,0 cm sampai dengan 2,0 cm.
4. *Silica fume* yang digunakan menggunakan produk dari Sika dengan nama produk Sikafume.
5. *Fiberglass* yang digunakan dengan persentase 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat semen.
6. Semen yang dipakai menggunakan semen portland tipe I.
7. Persentase penambahan *silica fume* yang digunakan yaitu 5% dari berat semen.
8. Proporsi campuran semen dan pasir menggunakan 1pc : 6ps dengan faktor air semen (fas) 0,40.
9. Pembuatan *paving block* menggunakan metode mekanis.
10. Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
    a. Pengujian Kuat Tekan (SNI 03-0691-1996)
    b. Pengujian Kuat Tarik (British Standart EN 1338 2003)
    c. Pengujian Keausan (SNI 03-0691-1996)
    d. Pengujian Daya Serap Air (SNI 03-0691-1996)
11. *Paving block* yang dicetak berbentuk bata dengan panjang 20 cm, lebar 10 cm dan tebal 6 cm.
12. Penelitian ini memperhitungkan biaya pokok produksi dari *paving block* yang dihasilkan.
13. Pengujian dilakukan pada *paving block* dengan usia 28 hari.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka merupakan rangkuman pandangan, pendapat, dan hasil penelitian atau perancangan yang didapatkan dari berbagai sumber yang ada, di mana sumber tersebut memiliki topik yang sejenis dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis. Dengan adanya tinjauan pustaka ini dapat menjadikan sebuah acuan dalam melakukan penelitian dan dapat memberikan gambaran terhadap penelitian yang kelak akan dilakukan. Tinjauan pustaka juga dapat menjadi sebuah pembanding pada saat akan melakukan penelitian, dengan adanya pembanding ini diharapkan penelitian dapat meningkatkan kualitas dari penelitian sebelumnya. Pada bab ini penelitian-penelitian terdahulu yang serupa akan ditinjau kembali dan diuraikan sehingga terdapat perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Dengan adanya tinjauan umum penulis dapat mengetahui perbedaan dari masing-masing acuan sehingga tidak terjadi kesamaan.

2.1.1 Pengaruh Penambahan Serat Ijuk dan *Silica fume* Pada Karakteristik *Paving Block*

Revano (2018) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan serat ijuk dan *silica fume* pada karakteristik *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan *paving block* dengan menggunakan penambahan serat ijuk dan *silica fume* dalam keadan kering maupun basah serta mengetahui peningkatan kuat tarik *paving block*, mengetahui kemaampuan daya serap air menggunakan bahan tambah serat ijuk dan *silica fume*, mengetahui keausan *paving block* menggunakan campuran serat ijuk dan *silica fume*, dan diharapkan penelitian ini menjadi inovasi baru yang lebih baik berdasarkan SNI 03-0691-1996. Metode pada penelitian ini menggunakan benda uji dengan dimensi ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm, campuran yang akan digunakan 1pc : 3ps dengan tambahan *silica fume* sebesar 5% dari berat semen serta serat ijuk sebesar 3%. Hasil dari penelitian ini mengalami peningkatan terhadap Keausan variasi sebesar 16%, 14%, 13% dari

paving block normal, dan masuk dalam kategori mutu *paving block* A berdasarkan SNI 03-0691-1996.

2.1.2 Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Dan Substitusi Fly Ash Terhadap Pengujian Self Compacting Concrete

Siniapar (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi dampak penambahan *fiberglass* terhadap sifat mekanis dan karakteristik beton SCC, serta untuk menentukan jumlah optimal penambahan serat. Tujuan lainnya adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik awal dan mengurangi kecenderungan retak pada beton, serta mengurangi sifat getasnya. Metode melibatkan penggunaan fly ash sebagai pengganti semen sebanyak 10%, dan penambahan *fiberglass* dalam beton SCC sebanyak 0%, 0,1%, 0,4%, dan 0,8% dari volume beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada umur beton 7, 28, dan 56 hari, nilai maksimum kekuatan tekan beton dicapai dengan variasi 0% *fiberglass*, yaitu 43,93 MPa, 47,33 MPa, dan 49,97 MPa. Sementara itu, nilai kekuatan tarik belah optimum terjadi pada variasi 0,1% *fiberglass* dengan nilai 3,59 MPa, 5,76 MPa, dan 6,28 MPa. Pada pengujian umur 28 hari, kekuatan lentur tertinggi adalah 8,61 MPa dengan variasi 0,1%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penambahan serat kaca (*fiberglass*) dapat meningkatkan kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur beton, tetapi menurunkan kekuatan tekan pada beton SCC.

2.1.3 Pengaruh Campuran *Silica fume* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Pembuatan *Paving Block* Dengan Metode Tekanan

Adilah (2020) melakukan penelitian pada *paving block* menggunakan alat tekanan momen yang ditambahkan dengan tumbukan. Variasi pembebanan yang diberikan untuk pemadatan *paving block* yaitu 500 kg dan 5 kali tumbukan, 500 kg dan 10 kali tumbukan, 600 kg dan 5 kali tumbukan, 600 kg dan 10 kali tumbukan. Komposisi pasir dan semen yang digunakan 1:5 dengan bahan tambah *silica fume* sebanyak 5%. Benda uji dibuat dengan dimensi (20 x 10 x 6) cm2 sebanyak 32 benda uji untuk kuat tekan dan 32 benda uji untuk penyerapan air. Hasil pengujian kuat tekan optimum pada *paving block* normal dan *paving block* campuran didapatkan sebesar 9,861 MPa dan 10,833 MPa pada pembebanan 600 kg dan 10

kali tumbukan. Sedangkan hasil persentase penyerapan air terkecil pada *paving block* normal 11,180% dan *paving block* campuran 8,206% pada pembebanan 600 kg dan 10 kali tumbukan.

2.1.4 Pengaruh Campuran *Silica fume* Terhadap Kuat Tekan *Paving Block* Dengan Berbagai Varian Bentuk

Alfianto (2020) melakukan penelitian menggunakan metode eksperimental dengan penambahan *silica fume* sebesar 7%, 10% dan 13% dari berat semen dengan percobaan pada *paving block* pada umur 28 hari dan mencari hasil nilai kuat tekan pada *paving block* dengan cara pembuatan dan pengujian sesuia prosedur pada SNI 03-0691-1989. Pengaruh penambahan *silica fume* pada *paving block* dengan bentuk persegi panjang, segi enam dan kubus dengan hasil yang didapat yaitu mengambil nilai rata-rata dari setiap persentase. Dari ketiga bentuk *paving block* diambil nilai persentase kenaikan terbaik dari nilai normal yaitu bentuk kubus dengan hubungan persamaan pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat tekan paving block, dan diperoleh hasil nilai kuat tekan 0% (98,96 kg/cm^2), 7% (140,63 kg/cm^2), 10% (145,83 kg/cm^2), 13% (177,08 kg/cm^2), dan untuk nilai kenaikan prosentase terbaik dari kuat tekan normal yaitu 7% (42,1%), 10% (47,36%) dan 13% (78,94%).

2.1.5 Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Dan Kuat Tarik Belah Beton

Fadhlurrohman (2022) melakukan penelitian dengan penambahan serat dalam campuran beton. Serat *fiberglass* merupakan inovasi yang dilakukan sebagai bahan penambahan substitusi agregat. Kadar serat *fiberglass* yang digunakan yaitu sebesar 0%; 0,3%; 0,6%; 0,9%; 1,2%; dan 1,5% dari berat agregat. Selain penambahan serat, terdapat bahan tambah yang memiliki fungsi dapat mengurangi penggunaan air yaitu superplasticizer. Superplasticizer yang digunakan yaitu sebesar 0,6% dari berat semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar optimum penambahan serat *fiberglass* pada kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton serta pengaruhnya. Benda uji dalam penelitian menggunakan silinder berukuran 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 49 sampel dengan umur beton 28 hari. Perhitungan perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 2834-2000 dengan kuat rencana 25 MPa. Hasil penelitian ini

menunjukkan bahwa campuran beton dengan penambahan serat *fiberglass* sebesar 0,9% didapatkan kuat tekan optimum yaitu sebesar 24,91 MPa, modulus elastisitas optimum dengan penambahan serat *fiberglass* 0,9% yaitu sebesar 32540,484 MPa, dan kuat Tarik belah optimum dengan penambahan serat *fiberglass* 0,6% yaitu sebesar 2,75 MPa. Pengaruh penambahan *fiberglass* pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Untuk nilai kuat tekan beton hasilnya tidak mencapai mutu rencana, namun nilai yang didapatkan meningkat.

2.2 Perbedaan dari Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan tijauan dari penelitian sebelumnya yang telah dijelaskan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut ini.

1. Pada penelitian yang telah dilakukan, *paving block* menggunakan bahan tambah *fiberglass* dengan variasi penambahan 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, dan penambahan *silica fume* sebesar 5% dari berat semen dan faktor air semen 0,40, sedangkan pada penelitian Revano (2018) menggunakan serat ijuk dan *silica fume* dengan campuran 1pc : 6ps tambahan *silica fume* 5% dari berat semen serta ijuk sebesar 3%.
2. Pada penelitian yang telah dilakukan menggunakan *paving block* sebagai benda uji dan pada penelitian Fadhlurrohman (2022) menggunakan beton sebagai benda uji dalam penelitian.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					
Peneliti	Revano (2018)	Adilah (2020	Alfianto (2020)	Siniapar (2021)	Fadlurrohman (2021)
Judul	Pengaruh Penambahan Serat Ijuk dan *Silica fume* Pada Karakteristik *paving block*	Pengaruh Campuran *Silica fume* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Pembuatan *Paving Block* Dengan Metode Tekanan	Pengaruh Campuran *Silica fume* Terhadap Kuat Tekan *Paving Block* Dengan Berbagai Varian Bentuk	Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Dan Substitusi Fly Ash Terhadap Pengujian Self Compacting Concrete	Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Dan Kuat Tarik Belah Beton
Tujuan	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan dengan keadan kering maupun basah dan mengetahui peningkatan kuat tarik *paving block*.	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan dan daya serap air pada *paving block* dengan menggunakan silica fume sebanyak 0% dan 5% sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan metode tekanan momen.	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan *silica fume* pada *paving block* apakah ada kenaikan atau penurunan terhadap kuat tekan *paving block* tersebut.	Untuk mengetahui bagaimana penambahan *fiberglass* mempengaruhi terhadap sifat mekanis dan karakteristik beton SCC serta penambahan serat optimum.	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kadar maksimum penggunaan *fiberglass* pada beton.
Hasil Penelitian	Hasil penelitian dari penelitian ini menunjukkan peningkatan Keausan variasi sebesar 16%, 14%, 13% dari *paving block* normal dan masuk dalam kategori mutu *paving block*	Hasil pengujian kuat tekan optimum pada *paving block* normal dan paving block campuran didapatkan sebesar 9,861 MPa dan 10,833 MPa pada pembebanan 600 kg dan 10	Pengaruh penambahan *silica fume* pada *paving block* dengan bentuk persegi panjang, segi enam dan kubus dengan hasil yang didapat yaitu mengambil nilai ratarata dari setiap prosentase. Dari ketiga	Pengujian kuat tekan beton umur 7, 28, 56 hari dengan setiap variasi *fiberglass* didapatkan nilai optimum kuat tekan beton dengan variasi 0% sebesar 43,93 Mpa, 47,33 Mpa, dan 49,97 Mpa. Untuk pengujian	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran beton dengan penambahan serat *fiberglass* sebesar 0,9% didapatkan kuat tekan optimum yaitu sebesar 24,91 MPa, modulus elastisitas

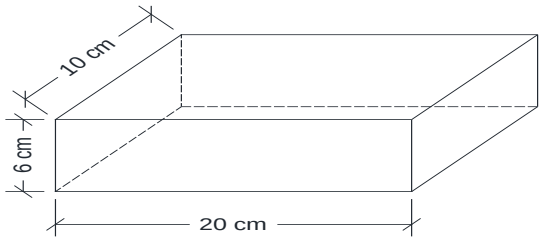
	berdasarkan SNI 03-0691-1996.	kali tumbukan. Sedangkan hasil persentase penyerapan air terkecil pada *paving block* normal 11,180% dan *paving block* campuran 8,206% pada pembebanan 600 kg dan 10 kali tumbukan.	bentuk *paving block* diambil nilai prosentase kenaikan terbaik dari nilai normal yaitu bentuk kubus dengan hubungan persamaan pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat tekan *paving block*, Dan diperoleh hubungan persamaan $y = 0{,}1432x^3 - 2{,}8663x^2 + 18{,}971x + 98{,}96$ dengan nilai $R^2 = 1$, Dengan hasil nilai kuat tekan 0% (98,96 kg/cm²), 7% (140,63 kg/cm²), 10% (145,83 kg/cm²), 13% (177,08 kg/cm²), dan untuk nilai kenaikan prosentase terbaik dari kuat tekan normal yaitu 7% (42,1%), 10% (47,36%) dan 13% (78,94%).	kuat tarik belah didapatkan nilai optimum pada variasi 0,1% dengan nilai optimum sebesar 3,59 Mpa, 5,76 Mpa, dan 6,28 Mpa.	optimum dengan penambahan serat *fiberglass* 0,9% yaitu sebesar 32540,484 MPa, dan kuat tarik belah optimum dengan penambahan serat *fiberglass* 0,6% yaitu sebesar 2,75 MPa. Pengaruh penambahan *fiberglass* pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Untuk nilai kuat tekan beton hasilnya tidak mencapai mutu rencana, namun nilai yang didapatkan meningkat.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 *Paving Block*

Menurut Badan Standarisasi Nasional *paving block* merupakan suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis atau sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton itu.

Dalam penelitian ini benda uji yang digunakan adalah *paving block* dengan jenis holland atau bentuk persegi panjang (bata) adapun gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Dimensi *Paving Block*

3.1.1 Syarat dan Mutu *Paving Block*

1. Sifat tampak

   Bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Ukuran

   Bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi + 8%.

3. Sifat fisika

   Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persyaratan Mutu *Paving Block*

Mutu	Kuat tekan (MPa)		Keausan (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks.
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

3.2 Semen Portland

Semen berdasarkan SNI 15-2049-2015 adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Arti dari bahan pengikat adalah suatu reaksi semen mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

Definisi semen *portland* merupakan bahan perekat hidrolis yang sangat penting dalam konstruksi beton. Bahan perekat hidrolis yaitu dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker*, terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan pembantu untuk membentuk pasta semen atau *grout* bila bersenyawa dengan air dapat mengeras dan jika bereaksi dengan agregat halus biasa disebut dengan mortar (Tjokrodimuljo, 2007).

Selain itu juga semen *portland* mempunyai sifat-sifat kimia yang mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen *portland*. Kandungan oksida, unsur penyusun, dan komposisi senyawa semen *portland* akan ditunjukkan pada Tabel 3.2-3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland*

Oksida	**Kandungan (%)**
Kalsium (CaO)	60 – 65
Silika (SiO_2)	17 – 25

Lanjutan Tabel 3.3 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland*

Oksida	Kandungan (%)
Aluminium (AI_2O_3)	3 – 8
Ferik (Fe_2O_3)	0,5 – 0,6
Magnesium (MgO)	0,5 – 0,4
Sulfur (SO_3)	1 – 2
Sodium (Na_2O+K_2O)	0,5 – 1

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Tabel 3.4 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland*

Nama Unsur	Komposisi Oksida	Simbol
Tricalcium Silicate	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dicalcium SIlicate	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tricalcium Aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetracalcium Aluminoferrite	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Tabel 3.5 Komposisi Senyawa Semen *Portland*

Senyawa	Kandungan (%)
C_3S	40 – 65
C_2S	10 – 25
C_3A	7 – 12
C_4AF	5 – 11

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Ketika dicampur dengan air, senyawa-senyawa kimia di atas akan mengalami reaksi hidrasi. Demikian untuk membentuk produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen tentunya berbeda-beda. Penggolongan komposisi kimia (*manufacturing*) semen dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen agar menghasilkan 5 semen tipe umum (PUBI, 1982). Di mana penggolongan ini dimaksudkan agar penggunaan semen sesuai dengan tujuan pemakaian dan spesifik, penggolongan ini mengacu pada SNI 15-2049-2015 dan *American Society for Testing and Material* (ASTM) C-150, yaitu sebagai berikut.

1. Jenis I (untuk keperluan umum)

   Digunakan pada air dan tanah yang mengandung 0,01%-0,10% sulfat. Dapat digunakan untuk konstruksi yang tidak memerlukan adanya persyaratan khusus untuk panas hidrasi dan kekuatan tekan awal (konstruksi umum) seperti perumahan, gedung, gudang, dan lain sebagainya.
2. Jenis II (untuk konstruksi dengan ketahanan sulfat sedang)

   Digunakan pada air dan tanah yang mengandung 0,10%-0,20% sulfat serta panas hidrasi yang rendah. Dapat digunakan untuk konstruksi yang membutuhkan massa beton tebal dan ketahanan sulfat seperti saluran irigasi, bekas rawa, bangunan yang berada di pinggir laut, dan dam.
3. Jenis III (untuk konstruksi dengan kekuatan awal tinggi)

   Penggunaan semen *portland* dengan kekuatan awal yang tinggi (cepat mengeras) digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kuat tekan awal tinggi pada fase awal setelah terjadinya pengikatan. Kuat tekan yang dapat dicapai oleh beton yang menggunakan semen *portland* jenis III selama 24 jam akan sama hasilnya dengan kuat tekan beton dari semen biasa selama 7 hari. Semen *portland* tipe ini dapat digunakan pada bangunan-bangunan yang terletak di dalam air yang tidak memiliki kandungan sulfat yang tinggi, bangunan tingkat tinggi, dan pembuatan jalan dari beton.
4. Jenis IV (untuk konstruksi dengan panas hidrasi rendah)

   Jenis ini dalam penggunaannya memiliki panas hidrasi rendah dan biasanya digunakan untuk pekerjaan pengecoran dengan volume yang besar.
5. Jenis V (untuk konstruksi dengan ketahanan sulfat tinggi)

   Digunakan pada air dan tanah yang mengandung lebih dari 0,20% kadar sulfat. Dapat digunakan pada konstruksi instalasi limbah dari limbah pabrik dan pembangkit tenaga nuklir.

3.3 Agregat Halus

Menurut SNI 1970-2016, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4).

Agregat halus adalah agregat yang terbuat dari penghancuran agregat kasar atau murni dari alam. Agregat halus mempunyai peran penting sebagai pembentuk beton dalam pengendalian *workability*, kekuatan (*strength*), dan keawetan (*durability*). Pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan.

Syarat-syarat agregat halus (pasir) sebagai bahan material pembuatan beton sesuai dengan ASTM C 33 adalah sebagai berikut.

1. Material dari bahan alami dengan kekasaran permukaan yang optimal sehingga kuat tekan beton besar.
2. Butiran tajam, keras, awet (*durable*) dan tidak bereaksi dengan material beton lainnya.
3. Berat jenis agregat tinggi yang berarti agregat padat sehingga beton yang dihasilkan padat dan awet.
4. Gradasi sesuai spesifikasi dan hindari *gap graded aggregate* karena akan membutuhkan semen lebih banyak untuk mengisi rongga.
5. Bentuk yang baik adalah bulat, karena akan saling mengisi rongga dan jika ada bentuk yang pipih dan lonjong dibatasi 15% berat total agregat.

Pemakaian agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi dengan tujuan untuk menambah kekuatan, mengurangi penyusutan, dan mengurangi pemakaian bahan pengikat (semen). Sifat dan karakteristik agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan adukan dalam pembuatan beton. Pemeriksaan agregat halus perlu dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan yang akan digunakan dan juga dilakukan untuk mengetahui apakah agregat halus telah memenuhi persyaratan atau tidak.

Berikut merupakan batas-batas gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.6 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	**Persentase Berat Butir Lolos Saringan**			
	Zona I	**Zona II**	**Zona III**	**Zona IV**
10,00	100	100	100	100

Lanjutan Tabel 3.7 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Butir Lolos Saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Keterangan tabel:

Zona I = Pasir kasar

Zona II = Pasir agak kasar

Zona III = Pasir agak halus

Zona IV = Pasir halus

3.4 Air

Air merupakan bahan dasar yang sangat penting dalam pembuatan konstruksi bangunan khususnya pembuatan beton. Air berfungsi sebagai pelarut semen sehingga membentuk pasta dan mengikat seluruh agregat yang berukuran besar hingga kecil. Dalam pembuatan beton apabila air yang digunakan berlebihan maka mengakibatkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 syarat air yang digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Bersih, tidak mengandung benda terapung yang terlihat secara visual (minyak, lumpur, dan lain sebagainya).
2. Tidak mengandung benda yang tersuspensi > 2gr/lt.
3. Tidak mengandung garam yang larut dan dapat merusak beton.
4. Tidak mengandung kandungan klorida > 0,50 gr/lt.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gr/lt.
6. Penurunan kekuatan beton tidak lebih dari 10%.

3.5 *Fiberglass*

Fiberglass adalah serat kaca yang ditarik menjadi serat tipis dengan diameter antara 0,005 mm hingga 0,01 mm. Glass Reinforced Plastic (GRP) adalah bahan komposit yang terbuat dari serat *fiberglass* ini. Menurut ACI Committee 544-1982 dalam Sianipar (2021), serat untuk bahan komposit dapat berupa baja, plastik, kaca, dan serat alami. Serat-serat ini dapat meningkatkan sifat beton yang mengarah pada peningkatan ketahanan terhadap retak awal. Dalam penelitian ini, serat *fiberglass* digunakan dengan variasi penambahan 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat agregat. Penambahan serat *fiberglass* bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, yang mana serat digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak awal.

3.6 *Silica fume*

Silica fume adalah sebuah bahan pozzolan yang diperoleh dari sisa produksi silikon yang memiliki kandungan silica yang tinggi. Dengan kadar silicon dioxide berkisar antara 85-95%, silika pada *silica fume* akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada semen yang belum bereaksi sepenuhnya dengan air.

3.7 Pengujian *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* harus memiliki sifat-sifat fisika yang berupa kuat tekan, Keausan, dan penyerapan air. Dalam pengujian kuat lentur pada *paving block* menggunakan British Standard EN 1338 2003 sebagai acuan dalam penelitian ini. Berikut penjelasan masing-masing pengujian:

3.7.1 Kuat Tekan *Paving Block*

Kuat tekan *paving block* merupakan besaran beban yang dapat ditahan dalam satuan luasan bidang pada benda uji hingga benda uji tersebut hancur.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 benda uji dalam pengujian kuat tekan benda uji yang digunakan berbentuk kubus.

Untuk memperoleh nilai kuat tekan *paving block* menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L}$$

Keterangan :

P = beban tekan, N

L = luas bidang tekan, mm²

3.7.2 Kuat Tarik *Paving Block*

Paving block memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun kekuatan tarik yang rendah dan cenderung rapuh. Oleh karena itu, peningkatan dan peningkatan efisiensi dalam menahan gaya tarik dapat dicapai dengan menambahkan bahan tambahan pada *paving block*.

Pada British Standard EN 1338 2003 pengujian tarik belah dilakukan dengan standar seperti rumus dibawah ini:

$$T = (0{,}637).k.\frac{P}{S}$$

Keterangan :

k = faktor koreksi tebal, mm

P = beban tekan, N

S = luas bidang kerusakan, mm

Tabel 3.8 Nilai Faktor Koreksi k

k = faktor koreksi ketebalan	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

3.7.3 Penyerapan Air *Paving Block*

Penyerapan air adalah komparasi pori-pori pada bahan dengan total volume bahan. Hasil penyerapan air dapat diperoleh melalui perbandingan berat saat kondisi kering dan basah (setelah perendaman di dalam air).

Untuk memperoleh nilai daya serap *paving block* menurut SNI 03-0691-1996 menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$DSA = \frac{Wb-Wk}{Wk} \times 100\%$

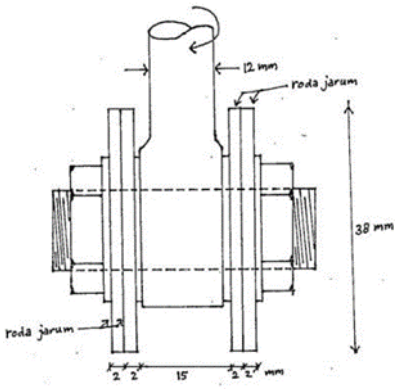
Keterangan :

Wb = berat basah *paving block*, gr

Wk = berat kering *paving block*, gr

3.7.4 Keausan *Paving Block*

Keausan mengacu pada kemampuan *paving block* untuk menahan gaya gesek yang dapat mengakibatkan penipisan permukaan benda tersebut. Kekuatan aus menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam konstruksi jalan karena adanya gesekan berulang, sehingga memerlukan pengujian yang cermat. Pengujian keausan pada *paving block* dilakukan menggunakan mesin roda jarum, di mana permukaan *paving block* digerus selama beberapa menit. Sketsa dan gambar mesin pengujian keausan terlampir pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sketsa Roda Jarum
(Sumber: Kardiyono,1989)

Nilai keausan menggunakan mesin roda jarum pada *paving block* dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

D = 1,26G + 0,0246

Keterangan :

G = kehilangan berat, gram/menit

3.8 Pengujian Statistik

Pengujian statistik adalah besaran yang diperoleh dari sampel untuk pengujian hipotesis statistic.

3.8.1 Uji Normalitas

Uji normalitas adalah sebuah uji yang dilakukan dengan tujuan untuk menilai sebaran data pada sebuah kelompok data atau variabel, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Dalam pengujian ini uji normalitas yang dilakukan dengan metode Kologorov Smirnov. Untuk uji normalitas Kolmogorov Smirnov manggunakan nilai signifikansi 0,05.

3.8.2 Uji Z-Score

Z-Score adalah ukuran statistik yang mengukur jarak antara titik data dan rata-rata kumpulan data yang dinyatakan dalam standar deviasi, ini menunjukan berapa banyak standar deviasi suatu titik data dari rata-rata distribusi. Untuk pengujian Z-Score dengan jumlah sampel < 80 dinyatakan outlier apabila nilai Z-Score yang dihasilkan lebih besar atau sama dengan 2,5.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Metode penelitian bertujuan untuk merencanakan langkah-langkah kerja suatu penelitian mulai dari pengenalan masalah, pengumpulan data, pembuatan benda uji, pengujian, analisis data, dan kesimpulan dan saran. Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara beban dan perpindahan yang terjadi pada balok beton bertulang berdasarkan tipe keruntuhannya dan mengetahui perilaku retak yang terjadi pada tiap balok berdasarkan tipe keruntuhannya. Maka diperlukan sebuah studi eksperimental dengan melakukan percobaan di laboratorium. Bab ini akan menjelaskan proses dan tahapan dalam melakukan studi eksperimental pada penelitian ini.

4.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus

   Agregat halus pada penelitian ini berasal dari kawasan lereng Gunung Merapi, Sleman dengan dilakukan analisis saringan agregat halus terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat.

2. Semen *portland*

   Semen *porland* pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengikat. Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen *portland* tipe I.

3. Air

   Air pada penelitian ini menggunakan air yang berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan secara visual bersih dan tidak mengandung benda-benda lain didalamnya.

4. *Fiberglass*

   Fiberglass yang digunakan pada penelitian ini berjenis *Fiberglass* Roving.

5. *Silica fume*

   Silica fume pada penelitian ini menggunakan merek Sika dengan nama Sikafume.

4.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam proses persiapan, pembuatan, dan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

   Timbangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur berat atau massa suatu benda atau substansi. Timbangan memiliki berbagai jenis dan digunakan dalam berbagai macam aplikasi, dari aplikasi kecil seperti mengukur berat bahan penelitian. Berikut adalah gambar timbangan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Timbangan
(Sumber : Data Pribadi)

2. Cetok

   Cetok digunakan untuk mengambil atau mfemindahkan bahan penyusun *paving block*. Berikut adalah gambar cetok dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Cetok
(Sumber : Data Pribadi)

3. Mesin cetak *paving block*

   Cetakan digunakan untuk mencetak *paving block* pada mesin pencetak, cetakan *paving block* menggunkan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm. Berikut adalah gambar mesin cetak *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Mesin Cetak *Paving Block*
(Sumber : Data Pribadi)

4. Alat pemotong

   Alat pemotong digunakan untuk memotong *paving block* sesuai dengan ukuran benda uji yang telah ditentukan. Berikut adalah gambar alat pemotong *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Alat Pemotong
(Sumber : Data Pribadi)

5. Oven

   Oven merupakan alat yang digunakan untuk mengeringkan sampel beton atau bahan beton lainnya pada suhu dan waktu yang ditentukan sebelum melakukan pengujian fisik dan mekanik pada bahan tersebut. Oven digunakan untuk

memastikan bahwa sampel beton dalam kondisi kering dan stabil sebelum pengujian dilakukan, sehingga hasil pengujian dapat lebih akurat dan konsisten. Pengeringan dengan oven bertujuan untuk menghilangkan kelembaban dari sampel beton dan membantu mengurangi pengaruh kelembaban dalam pengujian yang dapat memengaruhi keakuratan hasil. Berikut adalah gambar oven dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Oven
(Sumber : Data Pribadi)

6. Ember

   Ember yang digunakan adalah ember cor yang berfungsi untuk mengangkut semen, air. Agregat atau lainnya serta dapat dimanfaatkan untuk menampung material.

7. Compression testing machine (CTM)

   Compression Testing Machine (CTM) adalah perangkat yang digunakan untuk menguji kekuatan tekan beton. Mesin ini biasanya digunakan dalam laboratorium atau pengujian material untuk menentukan kualitas beton yang dibuat dan memastikan bahwa beton memenuhi standar yang ditetapkan. Berikut adalah gambar alat *Compression Testing Machine* (CTM) dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Compression Testing Machine*
(Sumber : Data Pribadi)

4.4 Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji *paving block* dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm. Benda uji pada penelitian ini menggunakan campuran 1pc : 6p dengan menggunakan factor air semen sebesar 0,40. *Fiberglass* dan *silica fume* digunakan sebagai bahan tambah dalam penelitian ini. Digunakan 6 variasi penambahan *fiberglass* dengan interval 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% serta *silica fume* sebesar 5% dari berat semen. Pemeliharaan benda uji dilakukan dengan melakukan perendaman hingga benda uji *paving block* mencapai umur 28 hari.

Pengujian kuat tekan, kuat tarik, daya serap air, dan keausan pada penelitian ini dilakukan pada setiap variasi benda uji, sehingga membutuhkan 196 buah benda uji. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.1 – 4.3 berikut ini.

Tabel 4.1 Proporsi Campuran Bahan Tambah

Metode	Variasi	Komposisi		Penambahan	
		Semen	Pasir	*Fiberglass*	*Silica fume*
Mekanis	MN	1	6	0%	0%
	M1	1	6	0%	5%
	M2	1	6	3%	5%
	M3	1	6	6%	5%
	M4	1	6	9%	5%
	M5	1	6	12%	5%
	M6	1	6	15%	5%

(Sumber : SNI 03-0691-1996 dan British Standard EN 1338 2003)

Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji

Metode	Variasi	Jumlah Benda Uji			
		Kuat Tekan	Kuat Tarik	Keausan	Daya Serap Air
Mekanis	MN	10	8	5	5
	M1	10	8	5	5
	M2	10	8	5	5
	M3	10	8	5	5
	M4	10	8	5	5
	M5	10	8	5	5
	M6	10	8	5	5
Total Benda Uji		**70**	**56**	**35**	**35**

(Sumber : SNI 03-0691-1996 dan British Standard EN 1338 2003)

Tabel 4.3 Ukuran Benda Uji

Benda Uji	Jenis Pengujian			
	Kuat Tekan	Kuat Tarik	Keausan	Daya Serap Air
Bentuk	Kubus	*Paving block* utuh	*Paving block* utuh	Balok
Dimensi	6 x 6 x 6 cm	20 x 10 x 6 cm	20 x 10 x 6 cm	5 x 5 x 2 cm

(Sumber : SNI 03-0691-1996 dan *British Standard EN* 1338 2003)

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan seecara sistematis serta menggunakan metode pelaksanaan yang sesuai dengan kaidah-kaidah penelitian ilmiah, pelaksanaan penelitian meliputi persiapan, pembuatan benda uji dan pelaksanaan pengujian.

4.5.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian merupakan tahapan awal sebelum melakukan penelitian dilaksanakan seperti studi literatur, penyiapan bahan dan peralatan yang digunakan selama penelitian.

4.5.2 Pengujian Agregat

Menurut SNI 03-1970-2008 tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat halus.

Pengujian agregat merupakan tahapan terhadap agregat halus dan agregat kasar yang memiliki tujuan untuk mengetahui dan menentukan karakteristik agregat yang akan digunakan pada penelitian ini dalam pembuatan beton. Sidat dan

karakteristik agregat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan campuran beton. Adapun pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut.

1. Uji berat jenis curah

Berat jenis curah adalah perbandingan berat agregat termasuk rongga yang permeabel didalam agregat dengan air dalam volume yang sama.

2. Uji berat jenis jenuh kering permukaan

Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan berat agregat pada kondisi penyerapan air maksimum dan tidak terdapat air pada permukaan agregat dengan air dalam volume yang sama.

3. Uji berat jenis semu

Berat jenis semu dalah perbandingan dari berat agregat dalam keadaan kering sehingga tidak terdapat air dalam rongga agregat dengan air dalam volume yang sama.

4. Uji penyerapan air

Penyerapan air adalah persentase dari berat air yang dapat diserap oleh pori-pori suatu agregat terhadap berat kering agregat.

5. Tata Cara Pengujian menurut SNI 03-1970-2008 adalah:

   a. Benda uji dimasukan pada oven dengan suhu (110±5)°C yang berfungsi untuk mengeringkan benda uji sampai dengan berat tetap. Kemudian benda uji direndam dalam air selama 24 jam.
   b. Air rendaman dibuang pelan-pelan agar butiran pasir tidak ada yang terbuang. Kemudian keringkan benda uji di udara yang panas sampai keadaan permukaan jenuh (SSD).
   c. Benda uji dimasukan sebanyak 500 gram kedalam piknometer, kemudian masukan air sampai 90% piknometer, kemudian putar dan guncangkan sampai gelembung didalamnya tidak terlihat.
   d. Air ditambahkan pada piknometer sampai penuh.
   e. Piknometer yang berisi benda uji dan air ditimbang.
   f. Benda uji dikeluarkan dari piknometer, lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ±5)°C sampai berat tetap, lalu benda uji didinginkan dalam desikator.

g. Benda uji lalu ditimbang setelah dingin.
h. Piknometer penuh berisi air ditimbang dan suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C

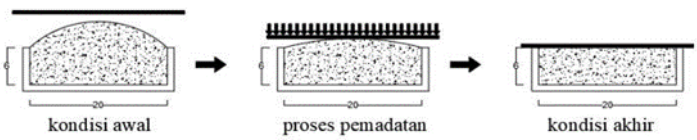
4.5.3 Pembuatan Benda Uji

Bahan penyusun ditimbang sesuai dengan proporsi campuran yang telah dihitung yaitu semenportland, pasir, air, *fiberglass*, dan *silica fume*. Pada penelitian ini menggunakan proporsi volume semen dan pasir 1pc : 6ps dengan faktor air semen 0,40% dengan penambahan *fiberglass* sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% serta *silica fume* sebesar 5% dari berat semen. Setelah dilakukan penimbangan kemudian bahan penyusun dicampur dalam keadaan kering pada mesin pencampuu (mixer) dalam keadaan kering hingga campuran homogen, sedangkan air ditambahkan secara bertahap agar tidak terjadi penggumpalan.

Berikut merupakan proses pencetakan *paving block* menggunakan metode mekanis:

1. Triplek dengan tebal 20 mm diletakan sebagai alas pada meja mesin.
2. Mesin pada posisi cetak membuka sehingga campuran dapat dimasukan kedalam cetakan benda uji.
3. Campuran bahan dimasukan kedalam cetakan sampai penuh.
4. Sistem getar pada mesin dinyalakan.
5. Cetakan diisi kembali dengan campuran untuk menambah campuran yang turun akibat pergetaran mesin.
6. Tuas pemadat ditekan sampai sampel turun dan melakukan proses pemadatan sambal sistem getar mesin di jalankan.
7. Setelah cukup tuas ditekan kembali untuk mengangkat bagian cetakan.

Berikut adalah gambar prinsip kerja metode mekanis yang dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Prinsip Kerja Metode Mekanis



Gambar 4.8 Proses Pembuatan Benda Uji *Paving Block*
(Sumber : Data Pribadi)

4.5.4 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan 1 hari setelah pencetakan *paving block*, perawatan dilakukan dengan perendaman benda uji hingga mencapai umur 28 hari. Perendaman ini dilakukan agar *paving block* terhidrasi dan *paving block* mengalami pemadatan sempurna.



Gambar 4.9 Proses Perawatan Benda Uji *Paving Block*
(Sumber : Data Pribadi)

4.5.5 Pengujian Benda Uji

Untuk mengetahui karakteristik dan kualitas *paving block* yang telah berumur 28 hari, maka harus dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan pada *paving block* adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Kuat Tekan

   Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan *paving block*. Berikut adalah langkah-langkah pengujian kuat tekan sesuai dengan SNI 03-0691- 1996.

   a. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel.
   b. Benda uji lalu ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
   c. Dimensi benda uji diukur menggunakan jangka sorong.
   d. Benda uji diletakan di tengah alat uji.
   e. Mesin dihidupkan dengan memberikan beban yang terus meningkat.
   f. Pembebanan dilakukan sampai beban turun dan catat hasil dari beban maksimum yang terjadi.



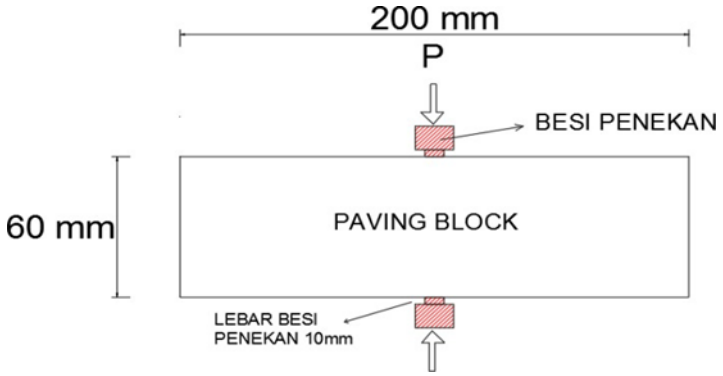
Gambar 4.10 Pengujian Kuat Tekan *Paving block*
(Sumber : Data Pribadi)

2. Pengujian Kuat Tarik

   Pada BS EN 1338 2003 (British Standard) pengujian tarik belah pada *paving block* dilakukan dengan cara yang sama seperti pengujian kuat tekan, akan tetapi dalam pengujian kuat tarik diberikan tambahan besi penekan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.11 Tampak Atas Pengujian Kuat Tarik *Paving block*
(Sumber : Data Pribadi)



Gambar 4.12 Tampak Samping Pengujian Kuat Tarik *Paving block*
(Sumber : Data Pribadi)



Gambar 4.13 Pengujian Kuat Tarik *Paving block*
(Sumber : Data Pribadi)

3. Pengujian Penyerapan Air

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *paving block* terhadap penyerapan air melalui pori-pori. Langkah-langkah pengujian penyerapan air *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut ini.

a. Benda uji direndam didalam air selama 24 jam, lalu timbang dalam keadaan basah.
b. Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu 115℃ selama 24 jam, lalu timbang dalam keadaan kering oven.

4. Pengujian Keausan

Pengujian Keausan dilakukan setelah umur benda uji mencapai 28 hari. Berikut adalah langkah – langkah pengujian keausan sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

a. Permukaan benda uji dibersihkan dari kotoran yang menampel.
b. Benda uji di potong berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 20 mm.
c. Benda uji di uji pada mesin aus dengan cara megaus – aus serta cari berat jenis yang dikerjakan sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
d. Mesin dinyalakan dalam keadan hidup selama 5 menit.
e. Benda uji dibersihkan dengan sikat pada bagian permukaan yang dilakukan keausan dan dilakukan penimbangan kembali.

4.6 Harga Pokok Produksi *Paving Block* Dengan *Fiberglass* Dan *Silica fume*

Perhitungan harga pokok produksi *paving block* dilakukan untuk mengetahui nilai jual *paving block* normal tanpa bahan tambah dengan *paving block* yang menggunakan bahan tambah berupa *fiberglass* dan *silica fume*. Perhitungan dilakukan dengan input semua biaya produksi atau hanya dengan menggunakan biaya variabel.

4.6.1 Penentuan Harga Pokok Produksi

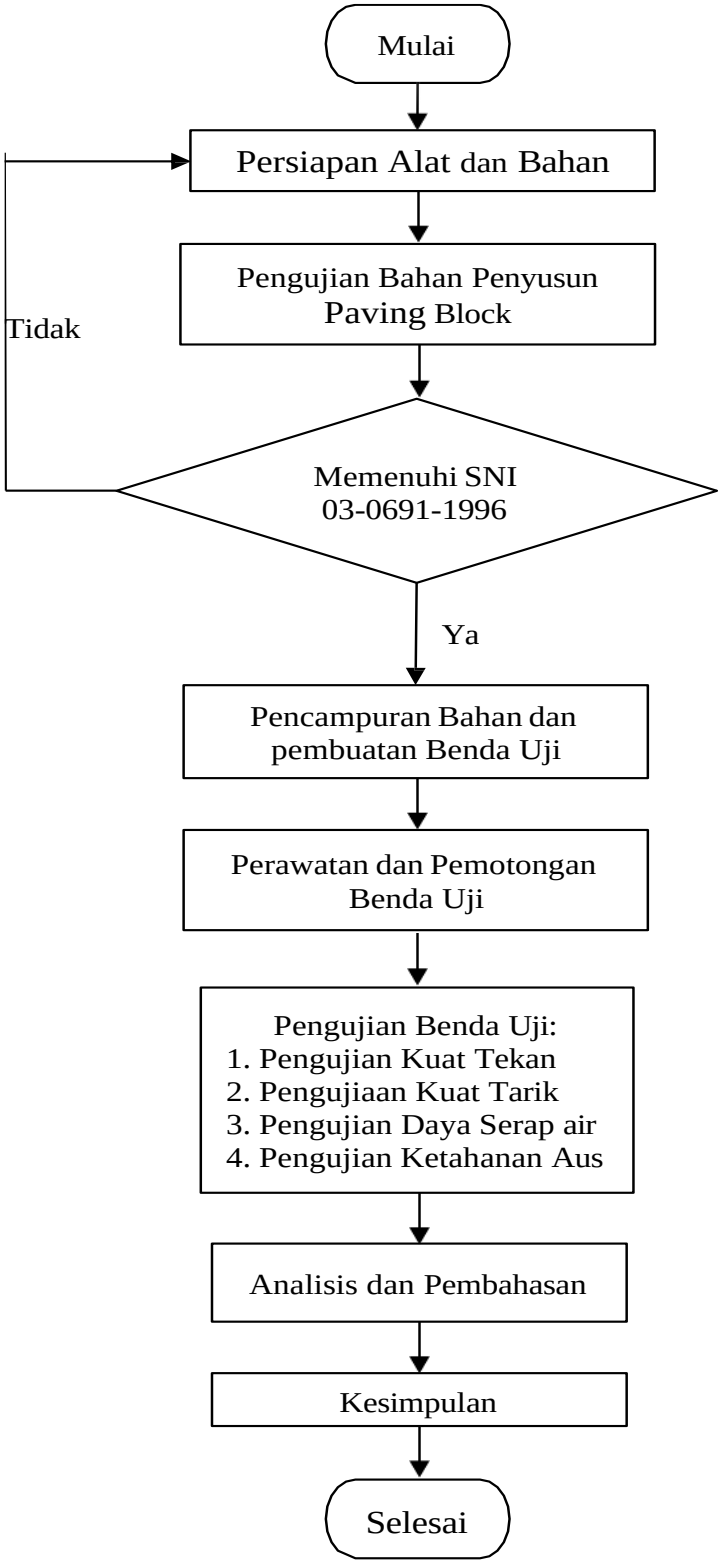
Menentukan harga pokok produksi dapat dilakukan dengan cara menghitung harga suatu produk, yang dapat dilakukan dengan memasukan variabel biaya produksi saja.

Data yang diperlukan untuk menentukan harga pokok produksi adalah sebagai berikut :

a. Data harga *paving block* di pasaran.
b. Produktivitas tukang.
c. Data biaya produksi.

4.7 Bagan Alir Penelitian

Suatu penelitian ilmiah dilaksanakan dalam sistematika yang jelas dan teratur, sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan. Dari uraian di atas dapat dibuat bagan alir (*flowchart*). Berikut adalah bagan alir pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Diagram Alir Penelitian

4.8 Tahap Analisis dan Pembahasan

Setelah proses pengujian selesai dan hasilnya didapatkan, dilakukan tahap analisis. Pada tahap ini, peneliti melakukan pengolahan data untuk menentukan dampak penambahan *fiberglass* dan *silica fume* pada *paving block* dalam hal kekuatan tekan, kekuatan tarik, daya serap air, tingkat keausan, dan juga pengaruhnya terhadap harga produksi *paving block*.

4.9 Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini, peneliti membuat kesimpulan berdasarkan analisis dan diskusi yang telah dilakukan. Kesimpulan tersebut mencakup evaluasi terhadap pengaruh penambahan *fiberglass* dan *silica fume* terhadap *paving block*, baik dalam hal kekuatan tekan, kekuatan tarik, penyerapan air, dan tingkat keausan setelah penambahan bahan-bahan tersebut pada campuran *paving block*, serta implikasi terhadap harga produksi *paving block*.

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Hasil dan pembahasan merujuk pada penjelasan hasil dari pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh penguji. Proses ini melibatkan analisis data untuk mencapai hasil yang telah direncanakan sebelumnya. Pengujian yang dimaksud mencakup pengujian kuat tekan, kuat lentur, Keausan, dan penyerapan air sebagai bagian dari perencanaan *paving block.*

5.2 Hasil Pengujian Bahan

Hasil pengujian bahan penyusun *paving block* dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia mencakup data mengenai modulus halus butir, berat volume padat dan gembur, serta kandungan lumpur. Data tersebut sedang diperiksa kembali untuk memastikan bahwa mereka memenuhi standar sebagai bahan dasar *paving block*. Hal ini penting agar *paving block* yang dihasilkan sesuai dengan rencana awal yang telah disusun sebelumnya.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus menggunakan pasir dari Merapi melibatkan pengujian modulus halus butir, volume padat dan gembur, serta kandungan lumpur. Berikut ini adalah hasil pengujian tersebut :

1. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

   Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai modulus halus butir sesuai dengan prosedur yang dijelaskan dalam SNI 03-1968-1990. Hasil dari pengujian tersebut tersaji dalam tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	2	0,1	0,1	99,9
2,40	140	7	7,1	92,9
1,20	255	12,75	19,85	80,15
0,60	415	20,75	40,6	59,4
0,30	382	19,1	59,7	40,3
0,15	310	15,5	75,2	24,8
Sisa	496	24,8	100	0
Jumlah	2000	100	302,55	

Berdasarkan tabel diatas dapat menghitung nilai modulus halus butir dengan persamaan berikut ini

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

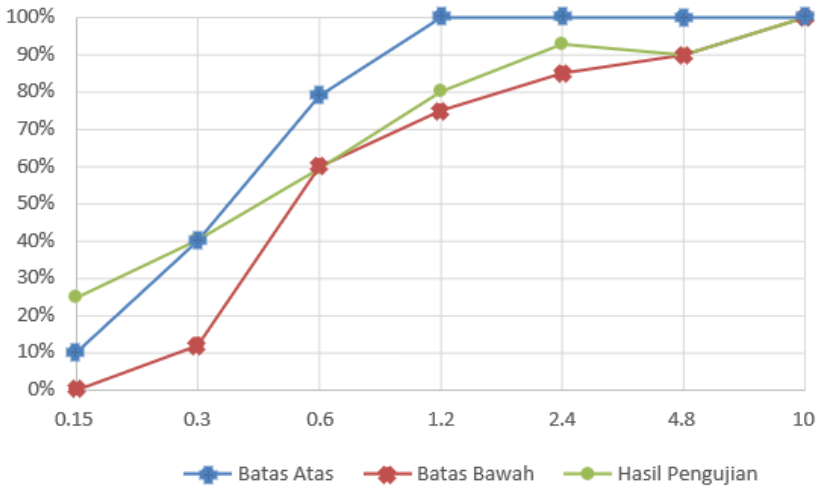
$$= \frac{202.55}{100}$$

$$= 2{,}0255$$

Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir agregat halus adalah 2,03, yang sesuai dengan rentang yang ditetapkan oleh standar SNI 03-1750-1990, yakni antara 1,5 hingga 3,8. Selain itu, dilakukan juga pengujian analisis saringan untuk menentukan gradasi agregat halus. Detail daerah gradasi agregat halus terdapat dalam Tabel 5.2, sementara perhitungan persentase lolos kumulatif direpresentasikan dalam Grafik Gradasi pada Gambar 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.2 Daerah Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir			
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)		
	Batas bawah	Hasil pengujian	Batas atas
10,00	100	100	100
4,80	90	99,9	100
2,40	85	92,9	100
1,20	75	80,15	100
0,60	60	59,4	79
0,30	12	40,3	40
0,15	0	24,8	10



Gambar 5.1 Nilai Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III

Dari hasil pengujian modulus halus butir, terdapat beberapa hasil ayakan yang melampaui batas atas, terutama pada ayakan dengan ukuran 0,15 dan 0,30. Grafik gradasi yang dihasilkan dari analisis saringan agregat halus memenuhi persyaratan untuk kategori daerah III, yang menandakan bahwa jenis pasir tersebut termasuk dalam kategori pasir agak halus.

2. Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Pada pengujian ini didapatkan berat volume padat pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gram	10712	10712	10712
Berat Tabung + Pasir, gram	19170	19172	19171
Berat Pasir, gram	8458	8460	8459
Volume Tabung, cm^3	6012,021	6012,021	6012,021
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,407	1,407	1,407

Berdasarkan tabel 5.3 didapatkan berat volume padat agregat halus dengan nilai rata-rata sebesar 1,407 $gram/cm^3$.

3. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Pada pengujian ini didapatkan berat volume gembur pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gram	10712	10712	10712
Berat Tabung + Pasir, gram	17695	17693	17694
Berat Pasir, gram	6955	6953	6954
Volume Tabung, cm^3	6012,021	6012,021	6012,021
Berat Volume Gembur, $gram/cm^3$	1,157	1,157	1,157

Berdasarkan tabel 5.4 didapatkan berat volume gembur agregat halus dengan nilai rata-rata sebesar 1,157 $gram/cm^3$.

4. Pengujian Kandungan Lumpur

Pengujian kandungan lumpur dilakukan untuk menentukan presentase kandungan lumpur pada agregat halus menggunakan saringan No. 200, sesuai

dengan standar SNI 03-4142-1996. Berikut adalah hasil pengujian kandungan lumpur yang terdokumentasikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci, gram	484	481	482,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200, %	3,20%	3,80%	3,50%

Dari hasil pengujian yang disebutkan sebelumnya, rata-rata nilai kandungan kadar lumpur dalam agregat halus dari dua sampel adalah 3,5%. Hasil ini telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh SK SNI S-04-1989-F, di mana batas maksimum kadar lumpur adalah 5%.

5.3 Perhitungan Komposisi Campuran

Dalam penelitian ini, digunakan *paving block* dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm. *Paving block* dibuat dengan komposisi campuran semen : pasir sebesar 1 : 6, dengan tambahan *silica fume* sebanyak 5%, dan tambahan *fiberglass* sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat semen. Perhitungan kebutuhan bahan untuk setiap benda uji adalah seperti berikut :

Volume *paving block* = 20 x 10 x 6 cm

= 1200 cm³

Berat volume padat pasir = 1,407 gram/cm³

Faktor pemadatan = 1,3

Faktor air semen = 0,40

Kebutuhan pasir untuk 1 *paving block* $= \frac{6}{7}$ x V. pasir x V. *paving block* x 1,3

$= \frac{6}{7}$ x 1,407 x 1200 x 1,3

= 1881,360 gram

Kebutuhan pasir untuk 28 *paving block* = 28 x 1881,360 gram

= 52678,080 gram

Kebutuhan semen untuk 1 *paving block* $= \frac{1}{6}$ x kebutuhan pasir 1 *paving block*

$= \frac{1}{6}$ x 1881,360 gram

= 313,560 gram

Kebutuhan semen untuk 28 *paving block* = 28 x 313,560 gram

= 8779,680 gram

Kebutuhan air untuk 28 *paving block* = 0,4 x kebutuhan semen

= 0,4 x 8779,680 gram

= 3511,872 gram

Contoh perhitungan penambahan *fiberglass* 5% dari berat semen

Kebutuhan *fiberglass* 5% = 5% x 8779,680 gram

= 438,984 gram

Kebutuhan komposisi pasir, semen, *fiberglass* dan *silica fume* dalam pembuatan *paving block* pada penelitian ini dapat ditampilkan pada tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Komposisi Campuran *Paving Block*

Variasi	**Semen**	**Pasir**	***Fiberglass***	***Silica fume***	**Jumlah Benda Uji**
(%)	**(gr)**	**(gr)**	**(gr)**	**(gr)**	**(buah)**
0	8779,680	52678,080	0,000	0,000	28
0	8779,680	52678,080	0,000	438,984	28
3	8779,680	52678,080	263,390	438,984	28
6	8779,680	52678,080	526,781	438,984	28
9	8779,680	52678,080	790,171	438,984	28
12	8779,680	52678,080	1053,562	438,984	28
15	8779,680	52678,080	1316,952	438,984	28
Total	61457,760	368746,560	3950,856	2633,904	196



Gambar 5.2 Perbandingan Jumlah *Fiberglass* Setiap Variasi *Paving Block*
(Sumber : Data Pribadi)

5.4 Hasil Pengujian *Paving Block*

Pengujian *paving block* dijalankan empat kali untuk menguji kekuatan tekan, kekuatan tarik, Keausan, dan penyerapan air. Pengujian dilakukan setelah *paving block* direndam selama 28 hari untuk memastikan mencapai umur optimum kekuatan. Setiap variasi diuji dengan 10 sampel untuk kekuatan tekan, 8 sampel untuk kekuatan tarik, 5 sampel untuk Keausan, dan 5 sampel untuk penyerapan air.

5.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kekuatan desak pada *paving block* dilakukan setelah *paving block* mencapai umur 28 hari, dengan menggunakan 10 sampel untuk setiap variasi *silica fume* 5% dan berat *fiberglass* 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Selain itu, 10 sampel *paving block* tanpa variasi juga diuji sebagai pembanding. Dimensi benda uji yang digunakan pada pengujian ini menggunakan tebal 60 mm dengan toleransi ±8% yaitu minimum 55,2 mm dan maksimum 64,8 mm.

Contoh perhitungan kuat tekan pada *paving block* kode KT 70 :

Panjang = 65 mm

Lebar = 63 mm

Tebal = 57 mm

Luas = P x L

= 65 mm x 63 mm

= 4095 mm^2

Beban Maksimum = 85317,855 N

Kuat Tekan (f'c) $= \frac{P}{A}$

$= \frac{85317,855}{4095}$

= 20,835 MPa

Perhitungan kekuatan tekan dilakukan dengan metode yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil rata-rata kekuatan tekan diperoleh dengan menjumlahkan hasil perhitungan kekuatan tekan dari kesepuluh benda uji untuk setiap variasi, kemudian hasil tersebut dibagi dengan jumlah benda uji untuk setiap variasi. Berikut adalah perhitungan hasil rata-rata kekuatan tekan.

Kuat Tekan (f'c) rerata $= \frac{14,91+21,43+20,89+18,22+16,77+20,93+15,86+24,52+21,88+20,83}{10}$

= 18,4463 MPa

Persentase perubahan nilai $= \frac{Variasi\ I - Variasi\ normal}{Variasi\ normal} x100$

$= \frac{13,4429-11,2661}{11,2661} x100$

= 19,3212%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan desak *paving block* mengalami peningkatan pada variasi 1 dan 2, kemudian mengalami penurunan pada variasi 3, namun kembali meningkat pada variasi 4 hingga variasi 6. Detail hasil pengujian kekuatan tekan *paving block* dapat ditemukan dalam Tabel 5.7 hingga Tabel 5.13 pada halaman berikutnya.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 1	60	60	58	3600	29419,95	8,172
KT 2	65	64	58	4160	76982,2025	18,505
KT 3	60	62	60	3720	38491,10125	10,347
KT 4	62	63	60	3906	49033,25	12,553
KT 5	65	62	60	4030	27213,45375	6,753
KT 6	62	63	58	3906	61536,72875	15,754
KT 7	60	60	60	3600	38736,2675	10,760
KT 8	62	65	60	4030	48542,9175	12,045
KT 9	62	65	60	4030	56878,57	14,114
KT 10	60	65	58	3900	50504,2475	12,950
Rerata						11,2661

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi I

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 11	63	63	60	3969	46581,5875	11,736
KT 12	65	60	58	3900	56388,2375	14,459
KT 13	65	65	60	4225	43394,42625	10,271
KT 14	64	65	60	4160	53446,2425	12,848
KT 15	63	60	60	3780	67665,885	17,901
KT 16	63	60	60	3780	49033,25	12,972
KT 17	62	58	58	3596	62272,2275	17,317
KT 18	65	60	60	3900	58839,9	15,087
KT 19	65	60	60	3900	47807,41875	12,258
KT 20	63	58	58	3654	58594,73375	16,036
Rerata						13,4429

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi II

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 21	65	65	54	4225	101253,6613	23,965
KT 22	65	64	55	4160	76246,70375	18,329
KT 23	62	64	55	3968	72324,04375	18,227
KT 24	63	65	58	4095	61291,5625	14,967
KT 25	63	63	56	3969	72814,37625	18,346
KT 26	63	65	58	4095	79679,03125	19,458
KT 27	65	63	58	4095	122092,7925	29,815
KT 28	65	65	58	4225	110079,6463	26,054
KT 29	65	64	57	4160	73549,875	17,680
KT 30	63	63	58	3969	75511,205	19,025
Rerata						18,7668

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi III

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 31	65	65	54	4225	71588,545	16,944
KT 32	63	63	55	3969	46826,75375	11,798
KT 33	63	63	55	3969	55897,905	14,084
KT 34	65	55	54	3575	55897,905	15,636
KT 35	64	62	53	3968	59820,565	15,076
KT 36	62	65	55	4030	55407,5725	13,749
KT 37	63	63	53	3969	68891,71625	17,357
KT 38	63	65	55	4095	52465,5775	12,812
KT 39	64	67	52	4288	81885,5275	19,096
KT 40	64	62	52	3968	73795,04125	18,598
Rerata						14,7075

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi VI

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 41	65	65	55	4225	53936,575	12,766
KT 42	65	65	53	4225	69382,04875	16,422
KT 43	60	63	48	3780	99292,33125	26,268
KT 44	65	65	55	4225	40207,265	9,517
KT 45	63	63	54	3969	65214,2225	16,431
KT 46	63	65	50	4095	82375,86	20,116
KT 47	63	65	52	4095	88505,01625	21,613
KT 48	65	65	58	4225	65459,38875	15,493
KT 49	65	63	53	4095	65949,72125	16,105
KT 50	65	65	55	4225	86543,68625	20,484
Rerata						16,2806

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi V

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 51	65	60	53	3900	89240,515	22,882
KT 52	65	65	58	4225	81395,195	19,265
KT 53	65	65	50	4225	60556,06375	14,333
KT 54	60	65	58	3900	69136,8825	17,727
KT 55	65	67	53	4355	52465,5775	12,047
KT 56	65	65	50	4225	87524,35125	20,716
KT 57	63	65	50	4095	70117,5475	17,123
KT 58	63	63	50	3969	102724,6588	25,882
KT 59	65	63	50	4095	78943,5325	19,278
KT 60	65	63	50	4095	71833,71125	17,542
Rerata						17,2509

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi VI

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 61	65	65	55	4225	63007,72625	14,913
KT 62	63	63	55	3969	85072,68875	21,434
KT 63	64	64	57	4096	85563,02125	20,889
KT 64	65	65	55	4225	76982,2025	18,221
KT 65	62	62	55	3844	64478,72375	16,774
KT 66	60	65	55	3900	81640,36125	20,933
KT 67	65	63	53	4095	64969,05625	15,865
KT 68	63	63	57	3969	97331,00125	24,523
KT 69	65	65	55	4225	92427,67625	21,876
KT 70	65	63	57	4095	85317,855	20,835
Rerata						18,4463

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal

Normal	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5	Variasi 6	Regresi
8,17	11,74	23,97	16,94	12,77	22,88	14,91	-1,88321
18,51	14,46	18,33	11,80	16,42	19,27	21,43	3,96378
10,35	10,27	18,23	14,08	26,27	14,33	20,89	-1,42323
12,55	12,85	14,97	15,64	9,52	17,73	18,22	1,13536
6,75	17,90	18,35	15,08	16,43	12,05	16,77	-3,13291
15,75	12,97	19,46	13,75	20,12	20,72	20,93	0,42049
10,76	17,32	29,82	17,36	21,61	17,12	15,87	3,08677
12,05	15,09	26,05	12,81	15,49	25,88	24,52	-2,56870
14,11	12,26	17,68	19,10	16,11	19,28	21,88	1,50686
12,95	16,04	19,03	18,60	20,48	17,54	20,84	-1,10521

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan nilai regresi linear yang nantinya akan dijadikan sebagai nilai untuk menentukan signifikansi dari pengujian normalitas.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			Unstandardized Residual
N			10
Normal Parameters[a,b]	Mean		.0000000
	Std. Deviation		2.40792752
Most Extreme Differences	Absolute		.177
	Positive		.177
	Negative		-.100
Test Statistic			.177
Asymp. Sig. (2-tailed)[c]			.200[d]
Monte Carlo Sig. (2-tailed)[e]	Sig.		.503
	99% Confidence Interval	Lower Bound	.490
		Upper Bound	.516

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

e. Lilliefors' method based on 10000 Monte Carlo samples with starting seed 2000000.

Gambar 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal

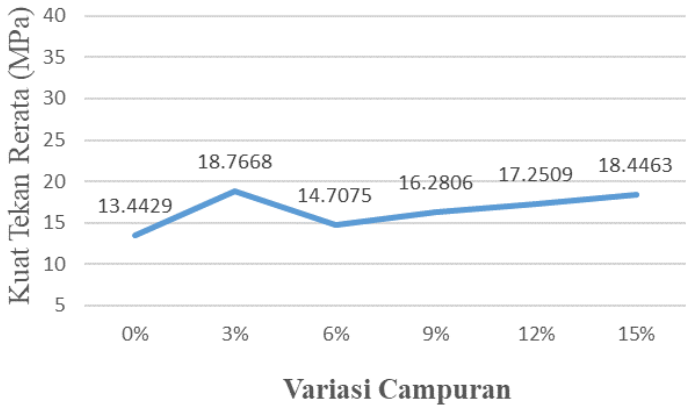
Berdasarkan pengujian menunjukan bahwa hasil signifikansi melebihi dari nilai signifikansi yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,05.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal

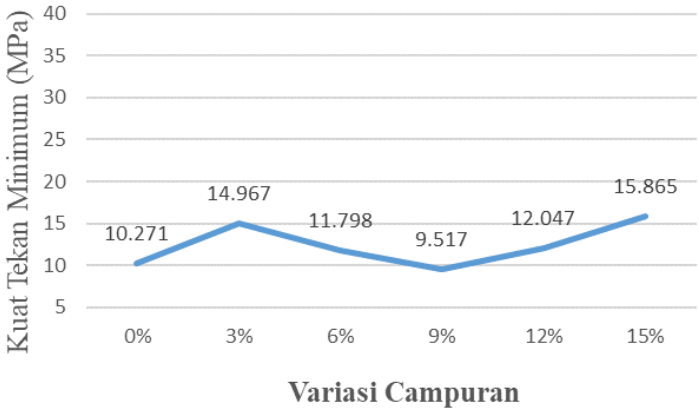
Z-Score Normal	Z-Score Variasi 1	Z_Score Variasi 2	Z Score Variasi 3	Z-Score Variasi 4	Z-Score Variasi 5	Z-Score Variasi 6
-1,16057	-0,94201	0,74336	0,58199	-0,99896	1,05840	-1,54701
1,82011	0,14836	-0,49675	-1,51382	-0,23097	0,14746	0,59333
-0,53316	-1,52864	-0,51919	-0,58280	1,83733	-1,09467	0,41445
0,10318	-0,49673	-1,23650	0,04928	-1,68146	-0,23989	-0,46125
-1,56989	1,52664	-,49301	-,17879	-,22908	-1,67040	-0,93619
1,02655	-0,44708	-0,24833	-0,71924	0,54501	0,51289	0,42889
-0,41403	1,29279	2,03055	0,75019	0,85948	-0,39201	-1,23454
-0,04336	0,39983	1,20301	-1,10085	-0,42612	1,81396	1,60720
0,55347	-0,73299	-0,63955	1,45844	-0,29756	0,15073	0,73840
0,21770	0,77984	-0,34360	1,25561	0,62232	-0,28648	0,39672

Berdasarkan hasil pengujian normalitas dan Z-Score dari data hasil pengujian kuat tekan *paving block* dapat disimpulkan bahwa hasil masih sesuai dengan nilai signifikansi yang telah ditentukan tidak didapati outlier pada data hasil pengujian kuat tekan *paving block* setiap variasi.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan grafik nilai kuat tekan pada *paving block*. Berikut adalah grafik dari pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar 5.4 pada halaman berikutnya.



Gambar 5.4 Grafik Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*



Gambar 5.5 Grafik Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada *paving block*, dapat dilakukan penilaian kuat tekan untuk setiap variasi sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. Tabel 5.16 menunjukkan nilai kuat tekan untuk *paving block*.

Tabel 5.16 Nilai Kuat Tekan *Paving Block*

No	Variasi	Rerata Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Min. (MPa)
1	normal	11,2661	6,753
2	0%	13,4429	10,271
3	3%	18,7668	14,967
4	6%	14,7075	11,798
5	9%	16,2806	9,517
6	12%	17,2509	12,047
7	15%	18,4463	15,865

Tabel 5.17 Persentase Peningkatan Kuat Tekan *Paving Block*

No	Variasi	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Perubahan Nilai Kuat Tekan (%)
1	normal	11,2661	0
2	0%	13,4429	19,3212
3	3%	18,7668	66,5770
4	6%	14,7075	30,5458
5	9%	16,2806	44,5094
6	12%	17,2509	53,1222
7	15%	18,4463	63,7319

Kekuatan tekan optimal terjadi pada *paving block* KT27 (variasi 2 dengan tambahan *silica fume* dan *fiberglass* sebesar 3%) dengan kekuatan tekan mencapai 29,815 MPa, sementara kekuatan tekan terendah terdapat pada *paving block* KT6 (*paving block* standar) dengan kekuatan tekan sebesar 6,753 MPa. Rata-rata kekuatan tekan pada *paving block* variasi 1 meningkat sebanyak 19,3212%, pada variasi 2 terjadi peningkatan rata-rata kekuatan tekan sebesar 66,5770%, pada variasi 3 terjadi peningkatan rata-rata kekuatan tekan sebesar 30,5458%, pada variasi 4 terjadi peningkatan rata-rata kekuatan tekan sebesar 44,5094%, pada variasi 5 terjadi peningkatan rata-rata kekuatan tekan sebesar 53,1222%, dan pada

variasi 6 terjadi peningkatan rata-rata kekuatan tekan sebesar 63,7319%. Sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996, *paving block* variasi 1, 4, dan 5 masuk dalam kategori mutu C yang cocok untuk penggunaan pejalan kaki, sedangkan *paving block* variasi 2, 5, dan 6 masuk dalam kategori mutu B yang direkomendasikan untuk penggunaan di pelataran parkir. Peningkatan kuat tekan disebabkan oleh penambahan *silica fume* dan *fiberglass* sehingga nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan *paving block* variasi normal. Pada variasi 2 *fiberglass* yang digunakan menggunakan ukuran 1,5 cm sampai dengan 2 cm, sedangkan untuk variasi lainnya menggunakan *fiberglass* ukuran 1cm sampai dengan 1,5 cm.

5.4.2 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik belah *paving block* dilakukan pada waktu *paving block* mencapai umur 28 hari dengan jumlah benda uji 8 buah untuk masing-masing variasi *silica fume* 5% dan berat *fiberglass* 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dan 8 buah *paving block* normal sebagai pembanding.

Contoh perhitungan kuat tarik pada *paving block* kode KTB 20

Lebar = 100 mm

Tebal = 55 mm

Luas = l x t

= 100 mm x 55 mm

= 5500 mm²

Beban Maksimum = 17,505, kN

Kuat Tarik Belah (f'c) $= (0.637).k.\frac{P}{S}$

$= (0{,}637).\ 0{,}83.\frac{17505}{5500}$

= 1,683 MPa

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tarik belah *paving block* mengalami peningkatan pada semua variasi, dengan peningkatan rata-rata terbesar terjadi pada variasi 5 (dengan penambahan *silica fume* 5% dan *fiberglass* 12%).

Berikut merupakan hasil dari pengujian kuat tarik yang dapat dilihat pada tabel 5.19, tabel 5.20, tabel 5.21, tabel 5.22, tabel 5.23, tabel 5.24, tabel 5.25 pada halaman berikutnya.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Normal

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 1	100	60	6000	13141,38	1,214
KTB 2	99	59	5841	11179,98	1,051
KTB 3	100	57	5700	10885,77	1,029
KTB 4	100	58	5800	11376,12	1,067
KTB 5	100	58	5800	10983,84	1,030
KTB 6	100	60	6000	11278,05	1,042
KTB 7	98	58	5684	10787,7	1,032
KTB 8	99	58	5742	11964,54	1,134
Rerata					1,0749

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi I

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 9	98	58	5684	11768,4	1,126
KTB 10	99	59	5841	9365,685	0,880
KTB 11	100	57	5700	17652,6	1,669
KTB 12	98	57	5586	12847,17	1,239
KTB 13	99	58	5742	14318,22	1,357
KTB 14	100	58	5800	15298,92	1,435
KTB 15	100	60	6000	13631,73	1,259
KTB 16	100	59	5900	13827,87	1,287
Rerata					1,2816

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi II

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 17	98	56	5488	16083,48	1,564
KTB 18	100	59	5900	17260,32	1,606
KTB 19	100	57	5700	14906,64	1,409
KTB 20	100	55	5500	17505,495	1,683
KTB 21	100	58	5800	12209,715	1,145
KTB 22	100	57	5700	15789,27	1,493
KTB 23	100	56	5600	16671,9	1,589
KTB 24	98	56	5488	15593,13	1,517
Rerata					1,5008

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi III

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 25	100	57	5700	10199,28	0,964
KTB 26	100	58	5800	12700,065	1,191
KTB 27	100	55	5500	13435,59	1,292
KTB 28	98	56	5488	16720,935	1,626
KTB 29	100	56	5600	12651,03	1,206
KTB 30	100	54	5400	11866,47	1,151
KTB 31	98	55	5390	12356,82	1,212
KTB 32	100	54	5400	12847,17	1,246
Rerata					1,2360

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi IV

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 33	97	57	5529	10836,735	1,056
KTB 34	100	56	5600	13827,87	1,318
KTB 35	100	55	5500	14612,43	1,405
KTB 36	100	55	5500	20751,612	1,995
KTB 37	100	54	5400	14808,57	1,436
KTB 38	100	56	5600	14416,29	1,374
KTB 39	100	54	5400	13631,73	1,322
KTB 40	100	53	5300	13729,8	1,343
Rerata					1,4420

Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi V

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 41	98	58	5684	15396,99	1,474
KTB 42	99	54	5346	24125,22	2,363
KTB 43	99	57	5643	22065,75	2,107
KTB 44	100	54	5400	11964,54	1,160
KTB 45	100	56	5600	13827,87	1,318
KTB 46	100	54	5400	12847,17	1,246
KTB 47	100	54	5400	12651,03	1,227
KTB 48	98	56	5488	14122,08	1,374
Rerata					1,5335

Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Variasi VI

Kode Sampel	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)
KTB 49	100	54	5400	15789,27	1,531
KTB 50	100	60	6000	19319,79	1,784
KTB 51	100	58	5800	17652,6	1,656
KTB 52	100	57	5700	14318,22	1,354
KTB 53	100	55	5500	13827,87	1,329
KTB 54	98	56	5488	16573,83	1,612
KTB 55	100	60	6000	16966,11	1,567
KTB 56	100	56	5600	14906,64	1,421
Rerata					1,5318

Tabel 5. 25 Hasil Pengujian Regresi Linear Kuat Tarik

Normal	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5	Variasi 6	Regresi
1,214	1,126	1,564	0,964	1,056	1,474	1,531	-0,00499
1,051	0,880	1,606	1,191	1,318	2,363	1,784	0,00207
1,029	1,669	1,409	1,292	1,405	2,107	1,656	-0,00326
1,067	1,239	1,683	1,626	1,995	1,160	1,354	-0,00211
1,030	1,357	1,145	1,206	1,436	1,318	1,329	-0,00222
1,042	1,435	1,493	1,151	1,374	1,246	1,612	0,00748
1,032	1,259	1,589	1,212	1,322	1,227	1,567	-0,00830
1,134	1,287	1,517	1,246	1,343	1,374	1,421	0,01133

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan nilai regresi linear yang nantinya akan dijadikan sebagai nilai untuk menentukan signifikansi dari pengujian normalitas.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			Unstandardized Residual
N			8
Normal Parameters[a,b]	Mean		.0000000
	Std. Deviation		.00657308
Most Extreme Differences	Absolute		.251
	Positive		.251
	Negative		-.123
Test Statistic			.251
Asymp. Sig. (2-tailed)[c]			.147
Monte Carlo Sig. (2-tailed)[d]	Sig.		.146
	99% Confidence Interval	Lower Bound	.137
		Upper Bound	.155

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. Lilliefors' method based on 10000 Monte Carlo samples with starting seed 2000000.

Gambar 5.6 Nilai Pengujian Normalitas Kuat Tarik

Berdasarkan pengujian menunjukan bahwa hasil signifikansi melebihi dari nilai signifikansi yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,05.

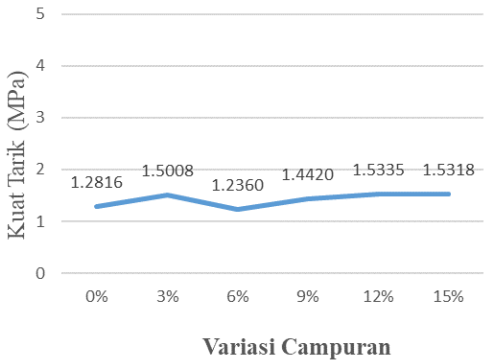
Tabel 5.26 Hasil Pengujian Z-Score Kuat Tarik

Z-Score Normal	Z-Score Variasi 1	Z_Score Variasi 2	Z Score Variasi 3	Z-Score Variasi 4	Z-Score Variasi 5	Z-Score Variasi 6
2,10696	-0,67899	0,38252	-1,46883	-1,32319	-0,13292	-0,00479
-0,36157	-1,75314	0,63653	-0,24300	-0,33304	1,84894	1,61054
-0,69475	1,69201	-0,55489	0,30241	-0,00425	1,27823	0,79330
-0,11926	-0,18558	1,10222	2,10604	2,22548	-0,83293	-1,13488
-0,67960	0,32967	-2,15151	-0,16200	0,11290	-0,48070	-1,29449
-0,49787	0,67025	-0,04687	-0,45901	-0,12141	-0,64121	0,51237
-0,64931	-0,09825	0,53372	-0,12960	-0,31793	-0,68356	0,22506
0,89541	0,02402	0,09828	0,05400	-0,23856	-0,35585	-0,70710

Berdasarkan hasil pengujian normalitas dan Z-Score dari data hasil pengujian kuat tarik belah *paving block* dapat disimpulkan bahwa hasil masih sesuai dengan nilai signifikansi yang telah ditentukan tidak didapati outlier pada data hasil pengujian kuat tarik belah *paving block* setiap variasi.

Tabel 5.27 Rata-rata Kuat Tarik Dan Persentase Peningkatan Kuat Tarik

Variasi	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)	Perubahan Kuat Tarik (%)
Normal	1,0749	0
1	1,2816	19,2317
2	1,5008	39,6321
3	1,2360	14,9897
4	1,4420	34,1531
5	1,5335	42,6715
6	1,5318	42,5101



Gambar 5.7 Grafik Pengujian Kuat Tarik *Paving Block*

Pada *paving block* variasi 1, kekuatan tarik mencapai 1,2816 MPa, meningkat sebesar 19,2317% dari *paving block* standar. Peningkatan kekuatan tarik paling signifikan terjadi pada variasi 5, di mana rata-rata kekuatan tarik mencapai 1,5335 MPa atau meningkat sebesar 42,6715% dari *paving block* standar. Titik tertinggi kekuatan tarik tercatat pada sampel KT42 (variasi 5 dengan *silica fume* 5% dan *fiberglass* 12%) dengan kekuatan tarik mencapai 2,363 MPa. Peningkatan kuat tarik belah disebabkan oleh faktor penambahan *silica fume* dan *fiberglass* sehingga nilai kuat tarik belah meningkat dari variasi normal. Hasil pengujian tarik belah mengalami kenaikan lalu penurunan dikarenakan dikarenakan adanya perbedaan panjang pada variasi 2 dengan variasi lainnya.

5.4.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan *paving block* dilakukan pada waktu *paving block* mencapai umur 28 hari dengan jumlah benda uji 5 buah untuk masing-masing variasi *silica fume* 5% dan berat *fiberglass* 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dan 8 buah *paving block* normal sebagai pembanding.

Contoh perhitungan keausan pada *paving block* kode KA31 :

Berat sebelum pengujian = 134,05 gr

Berat setelah diuji selama 5 menit = 132,75 gr

Pengurangan berat = 134,05-132,75

= 1,3 gr

Kehilangan Berat / Lama Pengausan = 1,3/5

= 0,26 gr/menit

Keausan (D) = 1,2 G + 0,0246

= 0,3522 mm/menit

Berikut merupakan hasil dari pengujian kuat tarik yang dapat dilihat pada tabel 5.29, tabel 5.30, tabel 5.31, tabel 5.32, tabel 5.33, tabel 5.34, tabel 5.35 berikut ini.

Tabel 5.28 Hasil Pengujian Keausan Variasi Normal

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 1	135,69	135,11	0,116	0,17076
KA 2	158,88	158,21	0,134	0,192956
KA3	128,17	127,67	0,1	0,1506
KA4	125,23	124,78	0,09	0,138
KA 5	114,35	113,81	0,108	0,16068
Rata-rata				0,1626

Tabel 5.29 Hasil Pengujian Keausan Variasi I

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 6	122,86	122,54	0,064	0,10524
KA 7	131,98	131,38	0,12	0,1758
KA 8	121,94	121,63	0,062	0,10272
KA 9	115	114,39	0,122	0,17832
KA 10	131	130,4	0,12	0,1758
Rata-rata				0,1476

Tabel 5.30 Hasil Pengujian Keausan Variasi II

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 11	124,50	124,01	0,098	0,14808
KA 12	127,23	126,46	0,154	0,21864
KA 13	130,32	129,88	0,088	0,13548
KA 14	124,90	124,43	0,094	0,14304
KA 15	116,23	115,45	0,156	0,22116
Rata-rata				0,1733

Tabel 5.31 Hasil Pengujian Keausan Variasi III

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 16	111,69	110,92	0,154	0,21864
KA 17	128,59	127,74	0,17	0,2388
KA 18	116,3	115,48	0,164	0,23124
KA 19	120,62	119,91	0,142	0,20352
KA 20	142,69	141,97	0,144	0,20604
Rata-rata				0,2196

Tabel 5.32 Hasil Pengujian Keausan Variasi IV

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 21	124,14	123,31	0,166	0,23376
KA 22	126,99	126,1	0,178	0,24888
KA 23	117,03	116,17	0,172	0,24132
KA 24	127,28	126,45	0,166	0,23376
KA 25	123,45	122,56	0,178	0,24888
Rata-rata				0,2413

Tabel 5.33 Hasil Pengujian Keausan Variasi V

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 26	120,78	119,81	0,194	0,26904
KA 27	141,21	140,38	0,166	0,23376
KA 28	137,02	136,54	0,096	0,14556
KA 29	121,37	119,88	0,298	0,40008
KA 30	124,69	123,58	0,222	0,30432
Rata-rata				0,2706

Tabel 5.34 Hasil Pengujian Keausan Variasi VI

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Keausan (mm/menit)
KA 31	134,05	132,75	0,26	0,3522
KA 32	132,28	131,24	0,208	0,28668
KA 33	122,1	120,98	0,224	0,30684
KA 34	115,35	113,98	0,274	0,36984
KA 35	135,93	134,25	0,336	0,44796
Rata-rata				0,3527

Tabel 5.35 Hasil Pengujian Regresi Linear Keausan

Normal	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5	Variasi 6	Regresi
0,171	0,181	0,148	0,219	0,234	0,269	0,352	0,00000
0,193	0,176	0,143	0,239	0,249	0,234	0,287	0,00000
0,151	0,178	0,135	0,231	0,241	0,146	0,307	0,00000
0,138	0,178	0,143	0,204	0,234	0,400	0,370	0,00000
0,161	0,176	0,146	0,206	0,249	0,304	0,448	0,00000

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan nilai regresi linear yang nantinya akan dijadikan sebagai nilai untuk menentukan signifikansi dari pengujian normalitas. Nilai regresi mendekati angka 0 menunjukan bahwa hasil pengujian sangat signifikan secara statistik.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			Unstandardized Residual
N			5
Normal Parameters[a,b]	Mean		.0000000
	Std. Deviation		.00000000
Most Extreme Differences	Absolute		.213
	Positive		.156
	Negative		-.213
Test Statistic			.213
Asymp. Sig. (2-tailed)[c]			.200[d]
Monte Carlo Sig. (2-tailed)[e]	Sig.		.661
	99% Confidence Interval	Lower Bound	.649
		Upper Bound	.673

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.
c. Lilliefors Significance Correction.
d. This is a lower bound of the true significance.
e. Lilliefors' method based on 10000 Monte Carlo samples with starting seed 2000000.

Gambar 5.8 Nilai Pengujian Normalitas Keausan

Berdasarkan pengujian menunjukan bahwa hasil signifikansi melebihi dari nilai signifikansi yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,05.

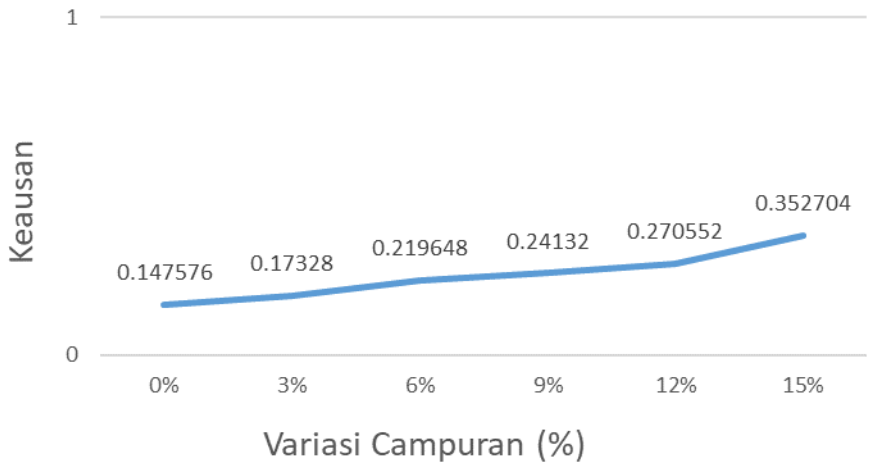
Tabel 5.36 Hasil Pengujian Z-Score Keausan

Z-Score Normal	Z-Score Variasi 1	Z_Score Variasi 2	Z Score Variasi 3	Z-Score Variasi 4	Z-Score Variasi 5	Z-Score Variasi 6
0,39118	1,43427	1,06904	-0,06549	-1,00000	-0,01619	-0,00801
1,45511	-0,95618	0,00000	1,24440	1,00000	-0,39390	-1,04951
-0,57517	0,23905	-1,60357	0,75319	0,00000	-1,33820	-0,72905
-1,17913	0,23905	0,00000	-1,04791	-1,00000	1,38676	0,27239
-0,09199	-0,95618	0,53452	-0,88418	1,00000	0,36153	1,51418

Berdasarkan hasil pengujian normalitas dan Z-Score dari data hasil pengujian keausan *paving block* dapat disimpulkan bahwa hasil masih sesuai dengan nilai signifikansi yang telah ditentukan tidak didapati outlier pada data hasil pengujian keausan paving block setiap variasi.

Tabel 5.37 Rata-rata Keausan Pada *Paving Block*

No	Variasi	Keausan rata-rata (mm/detik)	Keausan minimum (mm/detik)	Persentase Kenaikan Keausan (%)
1	Normal	0,1625992	0,192956	0
2	0%	0,147576	0,17832	9,239
3	3%	0,17328	0,22116	-6,569
4	6%	0,219648	0,2388	-35,086
5	9%	0,24132	0,24888	-48,414
6	12%	0,270552	0,40008	-66,392
7	15%	0,352704	0,44796	-116,916



Gambar 5.9 Grafik Pengujian Keausan *Paving Block*

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan Keausan pada variasi 1 sebesar 9,239%, sementara terdapat penurunan berturut-turut pada setiap variasi, yaitu sebesar 6,569%, 35,086%, 48,414%, 66,392%, dan 116,916% dari *paving block* normal. Peningkatan keausan pada variasi 1 disebabkan oleh partikel silika fume yang sangat halus mampu mengisi celah-celah pada permukaan *paving block*, membuatnya lebih padat. Sementara itu, penambahan *fiberglass* berdampak signifikan pada penurunan Keausan *paving block* dikarenakan penambahan *fiberglass* dapat mengurangi daya tahan terhadap keausan.

5.4.4 Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air pada *paving block* dijalankan setelah 28 hari dengan total 5 sampel untuk setiap variasi, termasuk 5 *paving block* normal sebagai pembanding. Contoh perhitungan dilakukan pada penyerapan air untuk variasi dengan tambahan *silica fume* 5% dan *fiberglass* 9%.

Contoh perhitungan penyerapan air pada *paving block* kode PA23 :

Berat basah (Wb) = 2203 gr

Berat kering (Wk) = 2033 gr

Serapan air (%) $= \frac{Wb-Wk}{Wk} x100\%$

$= \frac{2203-2033}{2033} x100\%$

= 8,3620%

Untuk nilai daya serap air rata-rata variasi penambahan *silica fume* 5% dan *fiberglass* 9% adalah sebagai berikut :

Serapan air rata-rata $= \frac{\Sigma Serapan\ air}{n}$

$= \frac{9,5380+9,9077+8,3620+1,3435+5,9558}{5}$

= 7,0214%

Berikut merupakan hasil dari pengujian kuat tarik yang dapat dilihat pada tabel 5.39, tabel 5.40, tabel 5.41, tabel 5.42, tabel 5.43, tabel 5.44, tabel 5.45 pada halaman berikutnya.

Tabel 5.38 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi Normal

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air (%)
PA 1	2475	2255	9,7561
PA 2	2556	2400	6,5000
PA 3	2537	2373	6,9111
PA 4	2490	2238	11,2601
PA 5	2490	2250	10,6667
Rata-rata			9,0188

Tabel 5.39 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi I

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
PA 6	2395	2281	4,9978
PA 7	2463	2277	8,1686
PA 8	2446	2292	6,7190
PA 9	2503	2266	10,4590
PA 10	2418	2282	5,9597
Rata-rata			7,2608

Tabel 5.40 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi II

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
PA 11	2328	2207	5,4826
PA 12	2352	2190	7,3973
PA 13	2425	2188	10,8318
PA 14	2364	2164	9,2421
PA 15	2413	2268	6,3933
Rata-rata			7,8694

Tabel 5.41 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi III

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
PA 16	2285	2154	6,0817
PA 17	2267	2156	5,1484
PA 18	2260	2100	7,6190
PA 19	2149	2078	3,4167
PA 20	2266	2075	9,2048
Rata-rata			6,2941

Tabel 5.42 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi IV

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
PA 21	2205	2013	9,5380
PA 22	2263	2059	9,9077
PA 23	2203	2033	8,3620
PA 24	2263	2233	1,3435
PA 25	2206	2082	5,9558
Rata-rata			7,0214

Tabel 5.43 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi V

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
PA 26	2539	2412	5,2653
PA 27	2050	1870	9,6257
PA 28	2375	2271	4,5795
PA 29	2184	1948	12,1150
PA 30	2264	2118	6,8933
Rata-rata			7,6958

Tabel 5.44 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi VI

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
PA 31	2276	2149	5,9097
PA 32	2332	2152	8,3643
PA 33	2441	2337	4,4501
PA 34	2344	2108	11,1954
PA 35	2368	2222	6,5707
Rata-rata			7,4799

Tabel 5.45 Hasil Penyerapan Air Pada Variasi Normal

Normal	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5	Variasi 6	Regresi
9,756	4,998	5,483	6,082	9,538	5,265	5,910	0,00000
6,500	8,169	7,397	5,148	9,908	9,626	8,364	0,00000
6,911	6,719	10,832	7,619	8,362	4,580	4,450	0,00000
11,260	10,459	9,242	3,417	1,344	12,115	11,195	0,00000
10,667	5,960	6,393	9,205	5,956	6,893	6,571	0,00000

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan nilai regresi linear yang nantinya akan dijadikan sebagai nilai untuk menentukan signifikansi dari pengujian normalitas.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			Unstandardized Residual
N			5
Normal Parameters[a,b]	Mean		.0000000
	Std. Deviation		.00000000
Most Extreme Differences	Absolute		.244
	Positive		.203
	Negative		-.244
Test Statistic			.244
Asymp. Sig. (2-tailed)[c]			.200[d]
Monte Carlo Sig. (2-tailed)[e]	Sig.		.422
	99% Confidence Interval	Lower Bound	.409
		Upper Bound	.435

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.
c. Lilliefors Significance Correction.
d. This is a lower bound of the true significance.
e. Lilliefors' method based on 10000 Monte Carlo samples with starting seed 2000000.

Gambar 5.10 Nilai Pengujian Normalitas Penyerapan Air

Berdasarkan pengujian menunjukan bahwa hasil signifikansi melebihi dari nilai signifikansi yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,05.

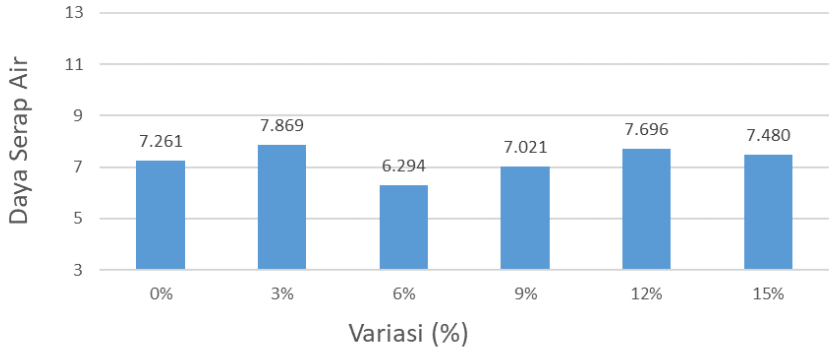
Tabel 5.46 Hasil Pengujian Z-Score Penyerapan Air

Z-Score Normal	Z-Score Variasi 1	Z_Score Variasi 2	Z Score Variasi 3	Z-Score Variasi 4	Z-Score Variasi 5	Z-Score Variasi 6
0,33768	-1,06208	-1,10217	-0,09532	0,71298	-0,77327	-0,53543
-1,15360	0,42604	-0,21801	-0,51412	0,81772	0,61402	0,41121
-0,96532	-0,25429	1,36795	0,59452	0,37981	-0,99146	-1,09834
1,02651	1,50097	0,63387	-1,29120	-1,60860	1,40601	1,50306
0,75473	-0,61064	-0,68163	1,30612	-0,30189	-0,25531	-0,28051

Berdasarkan hasil pengujian normalitas dan Z-Score dari data hasil pengujian penyerapan air *paving block* dapat disimpulkan bahwa hasil masih sesuai dengan nilai signifikansi yang telah ditentukan tidak didapati outlier pada data hasil pengujian penyerapan air *paving block* setiap variasi.

Tabel 5.47 Daya Serap Air Rata-Rata *Paving Block*

No	Variasi	Penyerapan Air (%)
1	Normal	9,0188
2	1	7,2608
3	2	7,8694
4	3	6,2941
5	4	7,0214
6	5	7,6958
7	6	7,4799



Gambar 5.11 Grafik Rata-rata Penyerapan Air *Paving Block*

Dari tabel diatas diketahui rata-rata persentase penyerapan air pada *paving block* pada semua variasi lebih baik dibandingkan *paving block* normal.

Berdasarkan hasil pengujian secara keseluruhan, penurunan penyerapan air optimal terdapat pada *paving block* variasi I (5% *Silica fume*, 0% *Fiberglass*). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* dapat meningkatkan mutu *paving block*. Sementara itu, penggunaan *fiberglass* hanya terbukti mampu meningkatkan nilai kuat tekan dan tarik belah, seperti yang terlihat pada variasi II (5% *Silica fume*, 3% *Fiberglass*).

5.4.5 Klasifikasi Mutu Paving Block

Berdasarkan hasil pengujian *paving block* dapat ditentukan klasifikasi mutu sesuai dengan SNI 03-0691-1996, klasifikasi mutu hasil pengujian terdapat pada tabel 5.48 berikut.

Tabel 5.48 Klasifikasi Mutu *Paving Block*

Variasi	Kuat Tekan		Keausan		Penyerapan Air	Mutu
	Rerata	Minimum	Rerata	Minimum		
Normal	11,2661	6,753	0,1625992	0,192956	9,0188	-
1	13,4429	10,271	0,147576	0,17832	7,2608	D
2	18,7668	14,967	0,17328	0,22116	7,8694	D
3	14,7075	11,798	0,219648	0,2388	6,2941	D
4	16,2806	9,517	0,24132	0,24888	7,0214	-
5	17,2509	12,047	0,270552	0,40008	7,6958	-
6	18,4463	15,865	0,352704	0,44796	7,4799	-

Dari tabel 5.48 diatas didapatkan peningkatan mutu dari *paving block* bormal, peningkatan mutu terdapat pada *paving block* variasi I, variasi II, dan variasi III dengan klasifikasi mutu D. Sendangkan pada variasi IV, variasi V, dan variasi VI tidak terdapat peningkatan mutu, hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan tambah yang melebihi batas optimum penambahan pada *paving block.*

5.5 Perbandingan Biaya Pokok Produksi *Paving Block*

Perbandingan biaya produksi ini melibatkan *paving block* standar tanpa tambahan bahan dengan *paving block* yang menggunakan tambahan bahan. Berdasarkan data pengujian, *paving block* standar tanpa tambahan bahan memperoleh mutu D dengan nilai rata-rata kekuatan tekan sebesar 11,2661 MPa. Ini akan dibandingkan dengan *paving block* variasi II yang menggunakan 5% *silica fume* dan 3% *fiberglass* sebagai tambahan bahan semen, yang memiliki nilai rata-rata kekuatan tekan tertinggi sebesar 18,7668 MPa.

Dalam penentuan harga pokok produksi dari *paving block* diperlukannya beberapa data pendukung antara lain :

1. Kapasitas produksi
2. Biaya alat
3. Biaya bangunan
4. Biaya operasional
5. Upah tenaga kerja
6. Biaya konsumsi
7. Biaya tunjangan hari raya
8. Biaya material

Berdasarkan data tersebut dapat diperhitungkan harga pokok produksi lapangan dengan dengan membagi antara total pengeluaran dengan kapasitas produksi.

Biaya produksi *paving block* dihitung berdasarkan informasi yang diperoleh dari studi literatur online, wawancara dengan seorang ahli yang bekerja di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, dan asumsi pribadi terkait harga peralatan dan bahan. Wawancara dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Jalan Degolan, dengan seorang pekerja di sana. Di bawah ini adalah contoh analisis dan

perhitungan biaya produksi *paving block* menggunakan data untuk variasi normal *paving block*.

5.5.1 Harga Pokok Produksi *Paving Block*

1. Menghitung biaya alat

   a. Alat Utama

   1) Harga mesin press hidrolik = Rp90.000.000

   2) Harga mesin mixer bahan = Rp20.000.000

   3) Total harga alat = Rp110.000.000

   4) Umur alat = 15 tahun

   5) Nilai sisa alat = 10% x total harga alat utama

   = 10% x Rp110.000.000

   = Rp11.000.000

   6) Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

   7) Nilai penyusutan $= \frac{\text{Total harga alat} - \text{Nilai sisa alat}}{\text{Umur alat} \times \text{Jumlah hari kerja}}$

   $= \frac{110.000.000 - 11.000.000}{15x300}$

   = Rp22.000 /hari

   b. Alat bantu

   Ember (10 buah) = Rp250.000

   Sekop (2 buah) = Rp110.000

   Ayakan 5mm (1 buah) = Rp16.000

   Cetok (2 buah) = Rp36.000

   Cangkul (1 buah) = Rp175.000

   Total harga alat = Rp587.000

   Umur alat = 1 tahun

   Nilai sisa alat = Rp0

   Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

   Nilai penyusutan $= \frac{\text{Total harga alat} - \text{Nilai sisa alat}}{\text{Umur alat} \times \text{Jumlah hari kerja}}$

   $= \frac{587.000 - 0}{1x300}$

   = Rp1.957 /hari

c. Papan kayu sebagai alas

Waktu pengerasan *paving block*	= 1hari
Kapasitas produksi	= 1500 *paving block*/hari
Kebutuhan papan	= 125 papan
Kapasitas 1 papan	= 12 buah *paving block*
Harga satu papan	= Rp15.000
Total harga papan	= Rp1.875.000
Umur papan	= 1 tahun
Nilai sisa papan	= Rp0
Jumlah hari kerja	= 300 hari/tahun
Nilai penyusutan	$= \frac{\text{Total harga alat} - \text{Nilai sisa alat}}{\text{Umur alat} \times \text{Jumlah hari kerja}}$
	$= \frac{1.875.000 - 0}{1x300}$
	= Rp6.250 /hari

2. Menghitung biaya bangunan

Harga bangunan	= Rp20.000.000
Umur bangunan	= 7 tahun
Nilai sisa bangunan	= Rp0
Jumlah hari kerja	= 300 hari/tahun
Nilai penyusutan	$= \frac{\text{Total harga alat} - \text{Nilai sisa alat}}{\text{Umur alat} \times \text{Jumlah hari kerja}}$
	$= \frac{20.000.000 - 0}{7x300}$
	= Rp9.524 /hari

3. Menghitung biaya operasional

Biaya listrik dan air	= Rp600.000 /bulan
	= Rp24.000 /hari

4. Menghitung upah tenaga kerja

Jumlah pekerja	= 2 orang
Upah pekerja	= Rp100.000 /orang perhari
Total upah tenaga kerja	= Rp200.000 /hari

5. Menghitung konsumsi tenaga kerja

Jumlah pekerja = 2 orang

Uang makan = Rp25.000 /orang perhari

Total uang makan pekerja = Rp50.000 /hari

6. Menghitung biaya tunjangan hari raya (THR)

Jumlah pekerja = 2 orang

Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

THR per pekerja = Rp350.000

Total THR pekerja = Rp700.000

Tabungan THR = Rp2.333 /hari

7. Menghitung biaya material

a. Kebutuhan material 1 *paving block* normal tanpa bahan tambah

Perbandingan campuran = 1 semen : 6 Pasir

Kebutuhan pasir $= \frac{6}{7} xV.PavingxB.V.Pasirx1{,}3$

$= \frac{6}{7} x1200x1{,}4070x1{,}36$

= 1881,360 gram

Kebutuhan semen $= \frac{Kebutuhan\ pasir}{6}$

$= \frac{1881{,}360}{6}$

= 313,560 gram

Kebutuhan *silica fume* = Kebutuhan semen x Variasi (%)

= 313,560 x 0%

= 0 gram

Kebutuhan *fiberglass* = Kebutuhan semen x Variasi (%)

= 313,560 x 0%

= 0 gram

Total berat material = 1881,360 + 313,560 + 0 + 0

= 2194,920 gram

b. Biaya semen per hari

Total produksi *paving block* = 1500 *paving block*

Kebutuhan semen $= \frac{berat\ semen}{total\ berat\ material} x1500$

$= \frac{313.560}{2194.920} x1500$

= 215 kg : 40 kg

= 5,375 ≈ 6 zak

Harga semen per zak = Rp56.000

Total biaya semen = Harga semen x Jumlah semen

= Rp56.000 x 6 zak

= Rp336.000 /hari

c. Kebutuhan pasir per hari

Kebutuhan pasir $= \frac{berat\ semen}{total\ berat\ material} x1500$

$= \frac{1881,360}{2194,920} x1500$

= 1268 kg : 1400 kg/m³

= 0,9186 m³

Harga pasir per m³ = Rp137.500

Total biaya pasir = Harga pasir x Kebutuhan pasir

= Rp137.500 x 0,9186

= Rp126.304 /hari

d. Biaya *silica fume* per hari

Kebutuhan *silica fume* $= \frac{berat\ semen}{total\ berat\ material} x1500$

$= \frac{0}{2194,920} x1500$

= 0 gram

Harga *silica fume* per zak = Rp400.000

Total biaya *silica fume* = Harga *silica fume* x Kebutuhan *silica fume*

= Rp400.000x0

=Rp0 /hari

e. Biaya *fiberglass*

Kebutuhan *fiberglass* $= \frac{berat\ semen}{total\ berat\ material} x1500$

$= \frac{0}{2194{,}920} x1500$

= 0 gram

Harga *fiberglass* per kg = Rp29.000

Total biaya *fiberglass* = Harga *fiberglass* x Kebutuhan *fiberglass*

= Rp29.000 x 0

= Rp0 /hari

f. Total biaya kebutuhan material

Total biaya kebutuhan material = Kebutuhan semen + Kebutuhan pasir + Kebutuhan *silica fume* + Kebutuhan *fiberglass*

= 336.000 + 126.304 + 0 + 0

= Rp462.304 /hari

8. Rekapitulasi pengeluaran harian

a. Biaya alat utama = Rp22.000
b. Biaya alat bantu = Rp1.957
c. Biaya papan alas = Rp6.250
d. Biaya bangunan = Rp9.524
e. Biaya upah tenaga kerja = Rp200.000
f. Biaya konsumsi = Rp50.000
g. Biaya operasional = Rp24.000
h. Biaya THR = Rp2.333
i. Biaya material = Rp462.304
j. Total pengeluaran harian = Rp778.368 /hari

9. Menghitung harga produksi lapangan

a. Kapasitas produksi = 1500 paving/hari
b. Total pengeluaran biaya = Rp778.368 /hari
c. Harga pokok produksi lapangan $= \frac{total\ pengeluaran}{kapasitas\ produksi}$

$= \frac{Rp778.368}{1500}$

= Rp519 /buah

d. PPN 11% = harga pokok x 11%
= Rp519 x 11%
= Rp57

e. Harga dasar *paving block* = Harga pokok + PPN 11%
= 519 + 57
= Rp557 /buah

f. Margin perusahaan (50%) = Harga dasar x 50%
= 519 x 50%
= Rp289

g. Harga jual = Harga dasar + Margin
= 519 + 289
= Rp866 /*paving block*

Berdasarkan hitungan diatas *paving block* dengan variasi normal tanpa bahan tambah *silica fume* maupun *fiberglass* didapat harga pokok produksi Rp519 /*paving block*, harga dasar didapat Rp577 /buah, dengan margin perusahaan 50% didapat Rp289, dan harga jual Rp866 /*paving block*. Semua variasi *paving block* dihitung seperti hitungan diatas untuk perbandingan harga pokok produksi. Rekapitulasi hasil perhitungan harga pokok produksi *paving block* dapat dilihat pada Tabel 5.50.

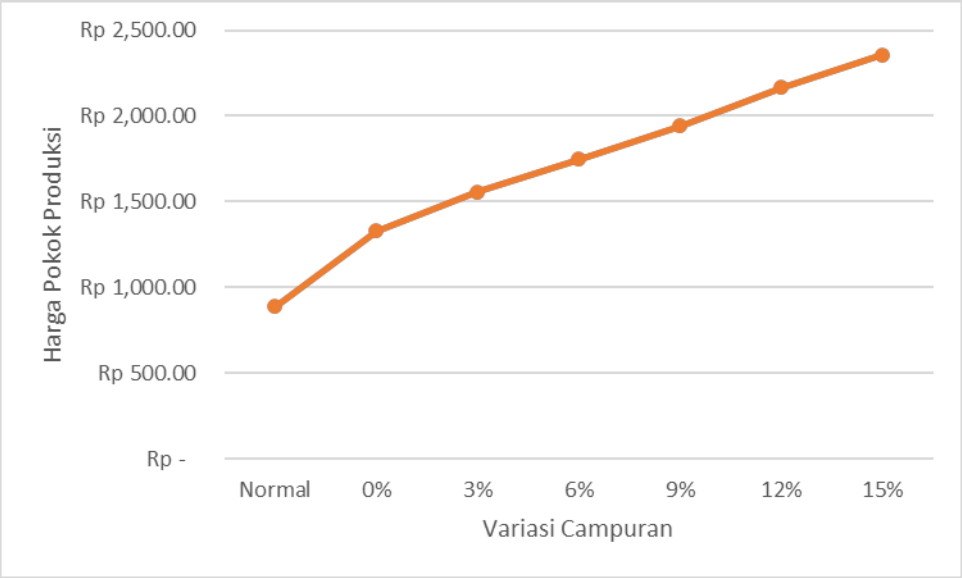
Tabel 5.49 Rekapitulasi Harga Pokok Produksi *Paving Block*

Variasi	*Silica Fume* (%)	*Fiberglass* (%)	Mutu *Paving Block* (MPa)	Harga Pokok Produksi (Rp/Buah)
Normal	0	0	-	866
I	5	0	D	1.308
II	5	3	D	1.533
III	5	6	D	1.725
IV	5	9	-	1.919
V	5	12	-	2.144
VI	5	15	-	2.336

Dari tabel diatas dipatakan peningkatan harga produksi paving block dengan bahan tambah dibandingkan dengan paving block nnormal, hal ini disebabkan

adanya tambahan biaya dengan penggunaan fiberglass dan silica fume. Peningkatan biaya produksi sebanding dengan peningkatan klasifikasi mutu menurut SNI 03-0691-1996 dibandingkan paving block normal yang tidak masuk kedalam klasifikasi mutu.

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat grafik perbandingan harga pokok produksi *paving block* berdasarkan variasinya yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Perbandingan Harga Pokok Produksi *Paving Block*

Dari gambar 5.12, terlihat bahwa nilai biaya produksi *paving block* meningkat seiring dengan penggunaan *Silica fume* dan *Fiberglass* sebagai tambahan bahan semen. Hal ini terjadi karena penambahan biaya untuk *Silica fume* dan *Fiberglass*. Kenaikan biaya produksi pada *paving block* variasi I, yang memenuhi standar mutu klasifikasi D menurut SNI 03-0691-1996, sebanding dengan peningkatan kualitas dibandingkan dengan variasi normal yang tidak masuk dalam klasifikasi mutu. Kenaikan pada *paving block* variasi II juga sebanding dengan kualitas kekuatan tekan yang diperoleh dibandingkan dengan variasi normal. Peningkatan biaya sejalan dengan adanya peningkatan pada kuat tarik paving block, peningkatan mutu dan harga pokok produksi pada variasi 2 merupakan peningkatan paling optimal terhadap nilai kuat tarik *paving block*.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian yang dilakukan mengenai *paving block* dengan *silica fume* dan *fiberglass* sebagai bahan tambah semen menurut SNI 03-0691-1996 mendapatkan kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah sebagai berikut.

Pengaruh *silica fume* dan *fiberglass* sebagai bahan tambah semen pada campuran *paving block* terhadap nilai kuat tekan, tarik belah, Keausan, dan penyerapan air sebagai berikut :

1. Kuat Tekan

   Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *paving block* mencapai nilai kekuatan tekan rata-rata tertinggi pada variasi II, di mana kandungan 5% *silica fume* dan 3% *fiberglass* sebagai tambahan bahan semen menghasilkan kekuatan tekan sebesar 18,7668 MPa. Sedangkan pada variasi I, dengan kandungan 5% *silica fume* tanpa *fiberglass* sebagai tambahan bahan semen, nilai kekuatan tekan rata-rata adalah 13,4429 MPa.

2. Kuat Tarik Belah

   Dari penelitian ini, ditemukan bahwa nilai kekuatan tarik belah rata-rata tertinggi pada *paving block* terdapat pada variasi V. Dengan kandungan 5% *silica fume* dan 12% *fiberglass* sebagai tambahan bahan semen, nilai kekuatan tarik belah mencapai 1,5335 MPa. Penggunaan *fiberglass* sebagai tambahan bahan semen mampu meningkatkan kekuatan tarik belah pada *paving block*. Terdapat peningkatan yang konsisten pada kekuatan tarik belah *paving block* pada setiap variasi dengan penambahan *fiberglass*.

3. Keausan

   Penelitian menemukan bahwa *paving block* menunjukkan nilai Keausan rata-rata terendah pada variasi VI, dengan penambahan 5% *silica fume* dan 15% *fiberglass*, sebesar 0,353 mm/menit. Nilai ini tidak memenuhi standar

mutu yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996. Pada sisi lain, variasi I, dengan penambahan 5% *silica fume* tanpa *fiberglass*, menunjukkan peningkatan dalam Keausan jika dibandingkan dengan *paving block* normal.

4. Penyerapan Air

   Dari penelitian ini, didapati bahwa *paving block* standar menunjukkan nilai penyerapan air rata-rata terendah. Sementara itu, semua variasi dengan bahan tambahan menunjukkan nilai penyerapan air yang lebih baik daripada variasi normal.

5. Perbandingan harga pokok produksi *paving block*

   Dari analisis biaya produksi *paving block* dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *silica fume* dan *fiberglass* sebagai tambahan bahan dapat meningkatkan biaya produksi.

   Penggunaan *silica fume* yang berfungsi sebagai filler dan *fiberglass* sebagai serat dapat mengubah sifat mekanik pada *paving block* sehingga mempengaruhi nilai kuat tekan, kuat tarik belah, Keausan serta penyerapan air

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diperhatikan beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

1. Dalam penelitian mendatang, disarankan untuk menyesuaikan kembali penggunaan kadar *fiberglass* sehingga dapat mencapai Keausan yang sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan.
2. Pada penelitian berikutnya, penting untuk memperhatikan proses pencampuran bahan penyusun *paving block* agar mencapai distribusi yang homogen.

DAFTAR PUSTAKA

ACI SP-081., 2002, Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute.

ASTM C140-12., 2001, Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Mansory Units and Related Units, ASTM.

ASTM C270-02.,2001, Standard Spesification for Mortar for Unit Masonry, ASTM.

ASTM C140-12., 2001, Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Mansory Units and Related Units, ASTM.

BS EN 1338, 2003 "Concrete *Paving Block*s – Requirement and Test, The British Standards.

Badan Standarisasi Nasional., 1996, *Bata Beton (paving block) (SNI 03-0691-1996),* Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional., 2004, *Semen Portland Komposit (SNI 15-7064-2004),* Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional., 2008, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1970:2008),* Badan Standarisasi Nasional.

Gunawan Andi, R., 2017, *Pengaruh Penambahan Serat Ijuk Pada Kuat Tekan Kering Kuat Tekan Basah Kuat Lentur dan Penyerapan Air pada Paving Block*, Universitas Islam Indonesia.

Hajar Aswad, E.G ., 2010, *Pengaruh Penggunaan Berbagai Variasi Panjang Serat Polyethylene Konsentrasi 1,6% Pada Sifat-Sifat Paving Block Dengan Abu Batu dan Silica fume*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.

Munandar I., 2013, *Kekuatan Tarik Serat Ijuk (Arenga Pinnata Merr), Program Studi Teknik Mesin*, Universitas Bandar Lampung.

Perumalsamy dan Surendra., 1992, *Fiber-Reinforced Cement Composites*, NSF Center of Advanced Cemeny-Based Materials Northwestern University Evanson, Illionis.

Satyanegara, L., 2014, *Perbandingan Kuat tekan dan Kuat Lentur Pada Paving Block Normal dan Paving Block Campuran*, Program Diploma Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.

Setiawan, T., 2006, *Pengembangan Paving Block menggunakan Fly Ash sebagai Bahan Bangunan di Bidang Teknik Sipil*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.

Shackle., 1990, *Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavements*, New York, USA.

Sudarmoko., 1993, *Pengaruh Panjang Serat Pada Sifat Struktural Beton Serat*, Media Teknik No. 1 Tahun XV, Yogyakarta

Tjokrodimuljo K., 2007, *Bahan Bangunan*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.

Wiryawan Sarjono dan Agt Wahjono., 2008, *Pengaruh Serat Ijuk Pada Kuat Tarik Campuran Semen – Pasir dan Kemungkinan Aplikasinya*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya

LAMPIRAN