TUGAS AKHIR

PENGARUH BUTIRAN KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN HARGA PRODUKSI PAVING BLOCK

(THE EFFECTS OF CERAMIC GRANULES AS SUBSTITUTION OF CEMENT TO COMPRESSIVE STRENGTH AND PRODUCTION COST OF PAVING BLOCK)

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

Wahyu Wibowo
11511228

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018

TUGAS AKHIR

PENGARUH BUTIRAN KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN HARGA PRODUKSI PAVING BLOCK (*THE EFFECTS OF CERAMIC GRANULES AS SUBSTITUTION OF CEMENT TO COMPRESSIVE STRENGTH AND PRODUCTION COST OF PAVING BLOCK*)

Disusun oleh

Wahyu Wibowo
11511228

Telah diterima sebagai persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 23 Oktober 2018

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
Tuti Sumarningsih, Dr., Ir., M.T.	**Albani Musyafa', S.T., M.T., Ph.D.**	**Vendie Abma, S.T., M.T.**
NIK: 875110101	**NIK: 955110102**	**NIK: 155111310**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Sri Amini Yuni Astuti, Dr., Ir., M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di 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 yang 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, 31 Agustus 2018
Yang membuat pernyataan,

Wahyu Wibowo
(11511228)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya. Tak lupa shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, Karena keridhaan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Penambahan Butiran Keramik Terhadap Kuat Tekan Dan Harga Produksi Paving Block.* Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam memyelesaikan studi tingkat strata satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

a. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr., Ir., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
b. Ibu Tuti Sumarningsih, Dr., Ir., M.T. selaku dosen pembimbing satu Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir,
c. Bapak Albani Musyafa', S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji I, dan
d. Bapak Vendie Abma, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 31 Agustus 2018
Penulis,

Wahyu Wibowo
11511228

Halaman Persembahan

Ku persembahkan Skripsi ini teruntuk :

Ayah dan Ibuku tercinta yang telah membesarkan dan membiayai studiku dari Taman Kanak-kanak hingga ke Perguruan Tinggi, Terimakasih atas doa dan motivasi yang telah diberikan.

Keluarga Besarku, Sanak Saudara, dan Adikku yang ku sayangi yang telah menyemangatiku untuk segera menyelesaikan Skripsi ini.

Teman-teman senasib seperjuangan Teknik Sipil UII 2011 yang telah memberikan bantuan agar terselesaikannya Skripsi ini.

dan tak lupa untuk Calon pendamping hidupku yang masih dirahasiakan Allah SWT.

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Lembar Pengesahan ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DEDIKASI v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Batasan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Umum 5
2.2 Penelitian Sebelumnya 5
2.2.1 *Paving block* dengan Bahan Tambah Butiran Keramik 5
2.2.2 Bata Beton Berlubang dengan bahan Butiran Keramik sebagai pengganti Agregat Kasar 6
2.2.3 Beton Ringan dengan bahan Butiran Keramik sebagai pengganti Agregat Kasar 6
2.3 Perbedaan Dari Penelitian Sebelumnya 7

BAB III LANDASAN TEORI
3.1 Umum 10
3.2 *Paving Block* 10
3.3 Bahan Pembuatan *Paving Block* 12
3.3.1 Semen Portland 13
3.3.2 Agregat Halus 15
3.3.3 Air 19
3.3.4 Butiran Keramik sebagai Pozzolan 20
3.4 Kuat Tekan *Paving Block* 21
3.5 Daya Serap Air *Paving Block* 24
3.6 Mix Design 25
3.7 Harga Pokok Produksi 25
BAB IV METODELOGI PENELITIAN 29
4.1 Tinjauan Umum 29
4.2 Bahan Dan Benda Uji 29
4.2.1 Bahan 29
4.2.2 Benda Uji 30
4.3 Peralatan Penelitian 32
4.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian 38
4.4.1 Tahap Persiapan Bahan 38
4.4.2 Tahap Pengujian Bahan 39
4.4.3 Proses Pembuatan Adukan 45
4.4.4 Proses Pembuatan Benda Uji 45
4.4.5 Proses Perawatan Benda Uji 46
4.4.6 Proses Pengujian *Paving Block* 46
4.5 Harga Pokok Produksi 47
4.5.1 Penentuan Harga Pokok Produksi 47
4.5.2 Data Yang Diperlukan Dalam Penelitian 47
4.5.3 Analisis Kelayakan Usaha 48
4.6 Bagan Alir Penelitian 48

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 50
5.1 Umum 50
5.2 Pengujian Properties Bahan 50
5.2.1 Pengujian Analisa Saringan Butiran Keramik 50
5.2.2 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus 52
5.2.3 Pengujian Kadar Lumpur Dalam Pasir 53
5.2.4 Pengujian Berat Volume Padat Dan Gembur Pasir 54
5.2.5 Pengujian Gradasi Pasir Atau Modulus Halus Butir Agregat 56
5.3 Perhitungan Kebutuhan Campuran 58
5.4 Data Hasil Pengujian 60
5.4.1 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* 60
5.4.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tekan 66
5.4.3 Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* 67
5.4.4 Pembahasan Hasi Uji Penyerapan Air 67
5.5 Perhitungan Harga Pokok Produksi 71
5.6 Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Sebelumnya 78
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 80
6.1 Kesimpulan 80
6.2 Saran 81
DAFTAR PUSTAKA 83
LAMPIRAN 85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	8
Tabel 3.1	Sifat-Sifat Fisika *Paving block*	12
Tabel 3.2	Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	18
Tabel 3.3	Hubungan Antara Komposisi Campuran dengan Kuat Tekan	23
Tabel 3.4	Standart Daya Serap Air Untuk *Paving block*	25
Tabel 4.1	Komposisi Campuran pada *Paving block*	31
Tabel 4.2	Jumlah Benda Uji	31
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Analisa Saringan Butiran Keramik	50
Tabel 5.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir Halus	52
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Kadar Lumpur	54
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir	55
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pasir	55
Tabel 5.6	Pengujian Gradasi Material Pasir	56
Tabel 5.7	Penggolongan Daerah Gradasi	57
Tabel 5.8	Komposisi Campuran *Paving Block*	59
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* SNI di Pasaran	61
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi 0%	61
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi 2,5 %	62
Tabel 5.12	Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi 5 %	62
Tabel 5.13	Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi 7,5 %	63
Tabel 5.14	Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi 10 %	63
Tabel 5.15	Kuat Desak Rata-rata dan Penggolongan Mutu *Paving Block*	65
Tabel 5.16	Persentase Kenaikan Kuat Desak	65
Tabel 5.17	Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* SNI di Pasaran	68
Tabel 5.18	Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi 0 %	68
Tabel 5.19	Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi 2,5 %	68
Tabel 5.20	Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi 5 %	68
Tabel 5.21	Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi 7,5 %	68

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi 10 % 69
Tabel 5.23 Daya Serap Air Rata-Rata dan Penggolongan Mutu *Paving Block* 69
Tabel 5.24 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu 78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Gradasi Pasir	19
Gambar 3.2	Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton	24
Gambar 4.1	Dimensi *Paving block*	30
Gambar 4.2	Saringan / Ayakan	32
Gambar 4.3	Timbangan	33
Gambar 4.4	Gelas Ukur (*Piknometer*)	33
Gambar 4.5	Oven	34
Gambar 4.6	Sendok Semen	34
Gambar 4.7	Cetakan *Paving Block* Holand	35
Gambar 4.8	Mesin Press *Paving Block*	36
Gambar 4.9	Mixer	36
Gambar 4.10	Alat Kuat Uji Desak	37
Gambar 4.11	Ember, Sikat, Penggaris, Karung	37
Gambar 4.12	Persiapan Bahan	38
Gambar 5.1	Hasil Sebelum dan Sesudah Uji Saringan Butiran Keramik	51
Gambar 5.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	53
Gambar 5.3	Uji Kadar Lumpur	54
Gambar 5.4	Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Pasir	55
Gambar 5.5	Pengujian Gradasi Pasir	57
Gambar 5.6	Gradasi Daerah III Material Pasir Agak Halus	58
Gambar 5.7	Pembagian Komposisi Campuran	60
Gambar 5.8	Grafik Kuat Desak Rata-rata *Paving Block*	65
Gambar 5.9	Pengujian Kuat Desak	66
Gambar 5.10	Grafik Daya Serap Air Rata-Rata	69
Gambar 5.11	Grafik Persentase Kenaikan Serapan Air	70
Gambar 5.12	Pengeringan Benda Uji	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Pengujian Bahan	85
Lampiran 2	Dokumentasi Pribadi	88

ABSTRAK

Dalam upaya untuk mengurangi sampah lingkungan sekitar, salah satu caranya adalah dengan pemanfaatan material bahan bangunan. Sebagai contohnya adalah pecahan keramik, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar (*Paving block*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase penambahan butiran keramik, dan mengetahui nilai kuat tekan dan penyerapan air *paving block* butiran keramik yang memenuhi standar SNI -03-0691-1996, juga untuk mengetahui harga pokok produksi *paving block* yang kompetitif di pasaran.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan benda uji kontrol. Benda uji kontrol dibuat tanpa penambahan butiran keramik, sedangkan benda uji penelitian dibuat dengan penambahan variasi butiran keramik. Komposisi campuran yang digunakan yaitu 1pc : 6ps dengan fas 0,35, sedangkan butiran keramik yang digunakan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Proses pembuatan *paving block* dilakukan dengan menggunakan alat mesin pres hidrolik dan penggetar. Pengujian *paving block* dilakukan pada umur 21 hari setelah proses pembuatan benda uji.

Dari hasil pengujian didapatkan, penggunaan butiran keramik mampu meningkatkan nilai kuat tekan *paving block*, nilai kuat tekan rata-rata optimum didapatkan pada penambahan variasi butiran keramik sebesar 2,5% yaitu sebesar 244,45 kg/cm^2 dengan kenaikan sebesar 14,92 % dari *paving block* normal sebesar 212,72 kg/cm^2. Semakin besar variasi penambahan butiran keramik juga mengakibatkan semakin besar nilai daya serap air pada *paving block*. Hasil penelitian daya serap air *paving block* butiran keramik berturut-turut yaitu sebesar 5,677%, 6,422%, 7,550%, 7,899%, dan 8,528%. Harga produksi *paving block* butiran keramik memiliki harga pokok total sebesar Rp. 909,10 per buah, lebih murah dibandingkan dengan *paving block* di pasaran dan mempunyai keuntungan sebesar 26,03% per buah.

Kata kunci : *paving block*, butiran keramik, kuat tekan, daya serap air, harga produksi *paving block*

ABSTRACT

In effort to reduce surroundings waste, one of the solution is to use of local building materials. An example is ceramic shards, which can be used as a material that can replace cement partially in the production of mortar (Paving Blocks). The purpose of this research is knowing the percentage addition of ceramic granules, and press-strength value and paving block absorption of the ceramic granules that equals to SNI-03-0691-1996, also knowing the competitive main cost of paving blocks production in the market.

This study used an experimental method using control specimens. The control specimens made without the addition of ceramic granules, while the research specimen is made by adding some variations of ceramic granules. The mixture composition that used is 1pc : 6ps with fas 0,35, while the ceramic granules used 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, and 10% by weight of cement. The process of producing paving blocks was done by using a hydraulic pressing machine and vibrator. Testing paving blocks done at age 21 days after the process of making test objects.

From the test result obtained, the use of ceramic granules can improve compressive strength of paving block, the optimum value of average compressive strength obtained on the addition of 2,5% ceramic granules variation which is 244,45 kg/cm^2 with 14,92% gain from normal paving block of 212,72 kg/cm^2. The greater the variation of the addition of ceramic granules is also increase paving block's water absorption capacity. The results of the study of ceramic granules paving block's water absorption capacity are 5,677%, 6,422%, 7,550%, 7,899%, and 8,528%. The total production price of ceramic granules paving blocks is Rp. 909,10 per piece, which cheaper than other commercial paving blocks and has 26,03% profit per piece

Keywords: *Paving Blocks, ceramic granules, compressive strength, water absorption, and production cost of paving blocks*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sisa produksi yang tidak terpakai lagi telah banyak dikembangkan menjadi suatu produk yang lebih bermanfaat. Melalui berbagai inovasi dalam mengolah limbah mampu meningkatkan kualitas barang yang dihasilkan. Salah satunya adalah pecahan keramik. Sisa sisa keramik lantai pasca pembangunan atau renovasi rumah yang berupa potongan potongan kecil jarang sekali di manfaatkan dan cenderung di buang begitu saja sehingga dapat mengotori lingkungan, padahal apabila dimanfaatkan dengan benar dapat menghasilkan sesuatu yang bernilai seperti kerajinan tangan menggunakan pecahan keramik atau pembuatan lantai dengan memasang potongan-potongan keramik yang disusun sedemikian rupa sehingga menghasilkan lantai yang bernilai seni. Pecahan keramik juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block.*

Paving block (bata beton) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI-03-0691-1996). Sekarang ini banyak yang memilih *paving block* dibandingkan perkerasan lain seperti cor beton maupun aspal. Meningkatnya minat konsumen terhadap *paving block* karena kontruksi perkerasan *paving block* ramah lingkungan dimana *paving block* sangat baik dalam membantu konservasi air tanah, pelaksanaannya yang lebih cepat, mudah dalam pemasangannya dan pemeliharaannya, memiliki aneka ragam bentuk yang menambah nilai estetika, serta harganya mudah dijangkau. *Paving block* adalah komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland, air dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu dari beton tersebut.

Keramik secara ilmiah adalah benda-benda yang dibuat dari bahan lunak dari alam yang dijadikan keras dengan cara pemanasan. Bahan baku dalam

pembuatan keramik pada umumnya adalah Kaolin, *Ballclay*, *Feldspar*, dan Kuarsa. *Ballclay* merupakan sejenis tanah liat dengan kadar silika dan alumina tinggi. Silika merupakan unsur kimia pada *pozzolan* yang akan bereaksi dengan *kalsium hidroksida* pada suhu biasa dan membentuk bahan yang memiliki sifat semen, sehingga membuat beton semakin padat dan kuat tekannya bertambah. Namun dengan biaya yang relatif mahal, timbul inovasi untuk mengolah limbah-limbah yang memiliki unsur kimia yang hampir sama dengan *pozzolan* itu sendiri.

Penggunaan limbah pecahan keramik ini bertujuan untuk meningkatkan mutu *paving block* dan memanfaatkan limbah secara optimal. Pemanfaatan pada limbah tersebut kurang optimal, sehingga limbah tersebut banyak ditemukan pada lingkungan sekitar. Oleh sebab itu, perlu diadakan penelitian untuk mengetahui pengaruh nilai kuat tekan paving block akibat penambahan butiran keramik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu upaya untuk memanfaatkan limbah keramik sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block*.

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang muncul dari uraian latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai kuat tekan *Paving Block* yang diberi penambahan butiran keramik?
2. Berapa besar nilai serapan air *Paving Block* yang diberi penambahan butiran keramik?
3. Berapa perbandingan harga pokok produksi *Paving Block* yang diberi penambahan butiran keramik dengan *Paving Block* konvensional?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari rumusan permasalahan yang ada adalah:

1. Mengetahui nilai kuat tekan *Paving Block* yang diberi penambahan butiran keramik.

2. Mengetahui nilai serapan air *Paving Block* yang diberi penambahan butiran keramik.
3. Mengetahui nilai ekonomis *Paving Block* yang diberi penambahan butiran keramik.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semen yang digunakan adalah semen merek Tiga Roda kemasan 40kg.
2. Agregat halus (pasir) berasal dari Merapi.
3. Pengujian dilakukan dengan standar SNI-03-0691-1996 tentang *Paving block* yaitu kinerja kuat tekan, dan penyerapan air pada *paving block* dalam keadaan keras.
4. Dalam penelitian ini butiran keramik diperoleh dari sisa bahan bangunan pada proyek perumahan dan sisa bahan yang ada di toko bangunan.
5. Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari saluran air di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi dan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi (TBK), Universitas Islam Indonesia.
6. Dalam penelitian ini digunakan perbandingan semen dan pasir adalah 1:6 dengan presentase butiran keramik 0%, 2,5%, 5% dan 7,5% dan 10% dari berat semen. Nilai f.a.s yang digunakan adalah 0,35.
7. Pengujian ini menggunakan *paving block* tipe holand dengan panjang 200 mm, lebar 100 mm, dan tebal 60 mm.
8. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini hanya sebatas pengujian kuat tekan dan penyerapan air dalam kondisi *paving block* berumur 21 hari.
9. Penelitian ini dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanik Merapi dan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi (TBK), Universitas Islam Indonesia.
10. Penelitian ini hanya bertujuan untuk menghitung Harga Pokok Produksi suatu *Paving Block* yang dihasilkan, tidak sampai menentukan teknik pemasaran dalam penjualan *Paving Block.*

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan masyarakat diantaranya adalah:

1. Menambah wawasan untuk mengembangkan ilmu teknologi bahan konstruksi.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan butiran keramik.
3. Mengurangi limbah yang dihasilkan dari konstruksi bangunan khususnya rumah.
4. Menjadi bahan alternatif untuk memproduksi *paving block* dengan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh butiran keramik sebagai bahan tambah.
5. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan penelitian yang akan datang mengenai penambahan bahan lain untuk pembuatan *paving block*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Paving block adalah sebuah produk bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen, air, batu, agregat halus dan kasar. Paving block digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. Paving block dikenal juga dengan sebutan bata beton atau concrete block.

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. (SNI 03-0691-1996).

2.2 Penelitian Sebelumnya

Sebagai referensi data penunjang, penelitian ini mengacu pada beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berkaitan dengan *paving block* atau sejenisnya.

2.2.1 *Paving block* dengan Bahan Tambah Pecahan Keramik

Putri (2017) telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan pecahan keramik untuk pembuatan paving block. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bahan paving block dan mengetahui kuat tekan, serapan air, dan nilai ekonomis akibat penambahan pecahan keramik. Pengujian ini menggunakan variasi campuran pecahan keramik sebesar 0%; 5%; 10%; 15%. Hasil pengujian kuat tekan paving block pada umur 28 hari didapatkan hasil kuat tekan rata-rata sebagai berikut, pada variasi campuran 0% sebesar 424,167 kg/cm2, nilai kuat tekan pada prensentase 5% adalah 436,667 kg/cm2, nilai kuat tekan pada prensentase 10% adalah 465 kg/cm2 dan nilai kuat tekan pada prensentase 15% adalah 523,333 kg/cm2.

Nilai kuat tekan tertinggi pada pecahan keramik sebanyak 15% yaitu 523,333 kg/cm2. Peningkatan kuat tekan terjadi sebesar 23,38% dari presentase pecahan keramik 0% terhadap pecahan keramik 15%. Nilai kuat tekan tersebut memenuhi persyaratan standar mutu kelas I/A dengan kuat tekan rata-rata 400 kg/cm2 dan minimal 350 kg/cm2.

2.2.2 Bata Beton Berlubang dengan bahan Pecahan Keramik sebagai pengganti Agregat kasar

Suwarni (2010) telah melakukan penelitian tentang pengaruh pemanfaatan pecahan keramik sebagai agregat kasar pada pembuatan Bata Beton Berlubang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar ditinjau dari kuat tekan, daya serap air dan nilai ekonomisnya. Pengujian ini menggunakan variasi jumlah semen sebesar 300 kg/m3, 350 kg/cm3, 400 kg/m3, dan 450 kg/m3. Pengujian bata beton berlubang dilaksanakan pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan bata beton berlubang menunjukan bahwa kuat tekan maksimum terdapat pada jumlah semen 400 kg/m3 yaitu sebesar 18,78 Mpa, namun demikian pada perbandingan jumlah semen 450 kg/m3 mengalami penurunan kuat tekan yaitu sebesar 17,87 Mpa. Serap air bata berlubang terus mengalami kenaikan sejalan dengan penambahan jumlah pasta semen. Serap air tertinggi pada jumlah pasta 675 kg/m3 sebesar 9,39%. Dari analisis biaya bata beton dengan agregat pecahan keramik memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Biaya pembuatan bata beton menggunakan pecahan keramik per m3 yaitu Rp 354.416,- sedangkan pembuatan batako adalah Rp 464.380,-.

2.2.3 Beton Ringan dengan bahan Pecahan Keramik sebagai pengganti Agregat Kasar

Rofikatul Karimah (2017) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh pecahan keramik sebagai bahan pengganti agregat kasar (batu pecah/split) pada kuat tekan dan berat jenis beton ringan. Penelitian tentang penggantian agregat kasar dengan agregat pecahan keramik (ALK) pada beton non pasir bertujuan

untuk membuat beton yang dihasilkan menjadi beton ringan ramah lingkungan dengan mengetahui seberapa besar berat jenis, dan kuat tekan yang dihasilkan oleh beton ringan tersebut. Jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 36 buah silinder berukuran 15x30 cm dengan masing-masing variasi prosentase agregat keramik sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari volume agregat kasar. Dari hasil penelitian di dapatkan beton yang menggunakan agregat limbah keramik (ALK) 100% menghasilkan berat jenis yang jauh lebih ringan yaitu sebesar 1353.53 kg/cm3 dari pada beton tanpa ALK yaitu sebesar 1895.98 kg/cm3. Kuat tekan optimum terdapat pada variasi 45.12 % yaitu sebesar 12.99 Mpa lebih besar dibandingkan beton tanpa ALK yaitu sebesar 6.83 Mpa.

2.3 Perbedaan Dari Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini *paving block* menggunakan perbandingan campuran sebesar 1 : 6 lebih besar dari penelitian sebelumnya dengan persentase keramik 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Pada penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan tambah pecahan keramik menggunakan perbandingan campuran sebesar 1 : 5 dengan persentase keramik 0%, 5%, 10%, 15%. Dari hasil penelitian ini diketahui perbedaannya yaitu perbandingan campuran berat semen dan variasi penambahan butiran keramik yang digunakan dalam pembuatan *paving block*.

Dengan penambahan campuran yang lebih besar diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan dan mengurangi daya serap air pada *paving block.* Dari segi biaya, penggunaan butiran keramik mampu menghemat biaya produksi *paving block* karena dapat mengurangi penggunaan semen yang digunakan sebagai campuran *paving block* sehingga biaya produksinya lebih murah.

Adapun perbedaan dan persamaan dengan penelitian sebelumnya disajikan dalam tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Tabel Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Jenis bahan tambah	Hasil penelitian	Persamaan	Perbedaan	
				Penelitian terdahulu	Rencana penelitian
Putri (2017)	Pecahan Keramik	- Nilai kuat tekan akan meningkat seiring dengan penambahan pecahan keramik - Dari segi biaya, *Paving block* tanpa campuran pecahan keramik memiliki nilai ekonomis lebih tinggi dibandingkan *Paving block* dengan campuran pecahan keramik	- Bahan tambah pecahan keramik - Menggunakan *paving block* ukuran 20cm x 10cm x 6cm	- Menghitung kuat tekan paving block dengan penambahan pecahan keramik - Komposisi campuran 1pc : 5ps, dengan persentase keramik 0%, 5%, 10%, 15%	- Menghitung kuat tekan dan daya serapan air paving block dengan penambahan pecahan keramik - Komposisi campuran 1pc : 6ps, dengan persentase keramik 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%
Suwarni (2010)	Pecahan Keramik	- Kuat tekan dan daya serap air akan semakin tinggi jika jumlah semen semakin banyak dan pecahan keramik dalam proporsi campuran semakin sedikit. - Dari perhitungan harga produksi dengan agregat pecahan keramik mempunyai nilai ekonomis lebih tinggi dibandingkan dengan Batako pada umumnya.	- Memiliki persamaan bahan tambah berupa pecahan keramik.	- Menggunakan bata beton berlubang sebagai benda uji penelitian - Pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar	- Menggunakan *paving block* sebagai benda uji penelitian - Pecahan keramik sebagai campuran semen

Peneliti (Tahun)	Jenis bahan tambah	Hasil penelitian	Persamaan	Penelitian terdahulu	Rencana penelitian
Rofikatul Karimah (2017)	Pecahan Keramik	- Berat jenis pada Beton yang menggunakan agregat limbah keramik 100% jauh lebih ringan dari pada beton tanpa ALK - Kuat tekan optimum yang menggunakan ALK lebih besar dibandingkan beton tanpa ALK	- Memiliki persamaan bahan tambah berupa pecahan keramik.	- Menggunakan beton sebagai benda uji penelitian - Pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar	- Menggunakan *paving block* sebagai benda uji penelitian - Pecahan keramik sebagai campuran semen

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Pada umumnya material pembuatan *paving block* hampir sama dengan beton yaitu semen, pasir dan air. Yang membedakan adalah fungsi, cara pembuatan atau percetakan, gradasi atau ukuran agregatnya. *Paving block* banyak digunakan sebagai perkerasan permukaan jalan, baik untuk keperluan pelataran, parkir kendaraan, jalan raya, ataupun untuk keperluan dekoratif pada pembuatan taman. Dalam perkembangannya bahan susun *paving block* tidak hanya terdiri dari pasir dan semen, namun berbagai variasi penambahan telah di lakukan dalam penelitian.

Paving block yang bagus dan layak dipasang adalah yang mempunyai permukaan yang rata, tidak retak-retak atau cacat, dan bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dihancurkan dengan kekuatan tangan. (SNI-03-0691-1996).

3.2 *Paving Block*

Paving block adalah batu cetak berbentuk tertentu yang dipakai sebagai bahan penutup permukaan tanah tanpa memakai aduk pasangan (mortar). Pengikatan terjadi karena masing – masing batu cetak saling mengunci satu sama lain, sehingga daya serap air dari tanah dibawahnya tetap terjamin dan kemungkinan menggenangnya air di permukaan tanah dapat dikurangi. (Kusmara 1997, dalam Pramuji 2007).

Paving Block memiliki beberapa jenis sesuai dengan ukuran dan kebutuhan pada umumnya, salah satunya tipe *Holland. Paving Block* tipe *Holland* sering disebut juga *Paving Block* persegi panjang dengan ukuran 21 x 10,5 cm dan tebal 6 cm, 8 cm & 10 cm. Tipe *Paving Block* ini paling sering digunakan dan juga mudah ditemukan. Digunakan untuk melapisi jalan yang dilalui oleh kendaraan di perkantoran maupun di perumahan.

Kekuatan *paving block* yang terpasang di atas permukaan tanah ditentukan oleh dua hal, yaitu ;

1. Kuat tekan masing-masing elemen *paving block* yang terbuat dari beton dengan mutu tertentu.
2. Gesekan antar elemen paving block yang dapat terjadi dengan adanya pasir sebagai bahan pengisi di antara sela-sela *paving block*.

Menurut *(Spesifications for Precast Concrete Paving Block, 1980)*, persyaratan ketebalan paving block pada umumnya adalah sebagai berikut :

1. 6 cm, digunakan untuk beban lalu lintas ringan dengan frekuensi terbatas, misalnya : sepeda motor, pejalan kaki.
2. 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas sedang atau berat dan padat frekuensinya, misalnya : mobil, pick up, truk, bus.
3. 10 cm, digunakan untuk beban lalu lintas super berat, misalnya : tronton, loader, crano.

Menurut SNI-03-0691-1996, syarat mutu bata beton (*paving block*) sebagai berikut :

1. Sifat tampak

   Bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapuhkan 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 dibawah ini :

Tabel 3.1 Sifat-Sifat Fisika *Paving Block*

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Kuat Tekan (kg/cm^2)		Ketahanan aus (mm/menit)		Serapan air rata-rata maks.
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	Rata-rata	Maks	%
A	40	35	400	350	0,090	0,103	3
B	20	17	200	170	0,130	0,149	6
C	15	12,5	150	125	0,160	0,184	8
D	10	8,5	100	85	0,219	0,251	10

Sumber : Bata Beton (*Paving block*), SNI 03-0691-1996

4. Ketahanan terhadap natrium sulfat

   Bata beton apabila diuji dengan larutan natrium sulfat tidak boleh cacat dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%.

3.3 Bahan Penyusun Paving Block

Paving block tersusun dari campuran pasir, semen dan air, campuran tersebut disebut juga sebagai mortar (non plesteran). Mortar adalah campuran yang terdiri dari pasir, bahan perekat serta air dan diaduk secara homogen. Pasir sebagai bahan bangunan dasar harus direkatkan dengan bahan perekat. Bahan perekat dapat berupa tanah liat, kapur, semen merah, maupun semen portland (Tjokrodimulyo, 1996 dalam Pramuji 2007).

Untuk menghasilkan *paving block* yang berkualitas ditentukan oleh bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan, dan alat yang digunakan. Semakin baik mutu bahan, komposisi campuran, dan proses pencetakan maka *paving block* yang dihasilkan akan semakin baik pula.

Mortar dapat dibedakan menjadi 4 macam (Tjokrodimulyo,1996), yaitu :

1. Mortar lumpur
2. Mortar kapur
3. Mortar semen
4. Mortar khusus

Mortar yang baik harus mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

1. Murah dan tahan lama
2. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang dan diratakan)
3. Melekat dengan baik dengan bata, batu dan sebagainya
4. Cepat kering dan mengering serta tahan terhadap rembesan air.

Pada penelitian ini mortar yang dipakai adalah jenis mortar semen yakni dibuat dari campuran pasir, butiran keramik, semen portland dan air dalam perbandingan yang tepat.

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah sebagai berikut:

3.3.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan (SK SNI S-04-1989, 1989: 1). Prosentase dari oksida – oksida yang terkandung didalam semen portland adalah sebagai berikut :

1. Kapur *(CaO)* : 60 – 66 %
2. Silika (SiO_2) : 16 – 25 %
3. Alumina (Al_2O_3) : 3 – 8 %
4. Besi : 1 - 5 %
5. Magnesia : 0,5 - 4%
6. Sulfur : 1 - 2%
7. Soda/potash : 0,5 - 1%

Fungsi semen adalah untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu pasta semen juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat (Indriyanto N, 2008 dalam Rohman 2016).

Semen *portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-

sifatnya yang khusus. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, Semen *Portland* di Indonesia (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam, SK SNI S-04-1989-F) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I : Semen *portland* untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis lain.
2. Jenis II : Semen *portland* untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen *portland* untuk kontruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV : Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V : Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara campuran-campurannya. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Ada empat macam senyawa yang paling penting yaitu :

1. Trikalsium Aluminate (C3 Al), senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas yang menyebabkan pengerasan awal, tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas, kurang ketahanannya terhadap agresi kimiawi, paling mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan tendensinya sangat besar untuk retak-retak oleh perubahan volume.
2. Tricalsium Silikat (C3 S), senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari pertama.
3. Dikalsium Silikat (C2S), senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 sampai 28 hari, dan seterusnya mempunyai ketahanan terhadap agresi yang relatif tinggi penyusutan kering yang relatif rendah.

4. Tetra Calsium Aluminoferrite (C4AF), senyawa ini kurang tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen.

Jumlah kandungan semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika jumlah semen terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit, sehingga adukan beton sulit dipadatkan dan kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan maka jumlah air juga berlebihan, sehingga beton mempunyai banyak pori dan akibatnya kuat tekan beton rendah (SNI 03-2834-1992).

3.3.2 Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir. Pasir atau agregat halus merupakan bahan pengisi yang dipakai bersama bahan pengikat dan air untuk membentuk campuran yang padat dan keras. Dapat berasal letusan gunung berapi, sungai, dalam tanah dan pantai. Agregat halus mempunyai ukuran dibawah 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (ASTM). Agregat halus mempunyai peran penting sebagai pembentuk beton dalam pengendalian *workability*, kekuatan (*strength*), dan keawetan beton (*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 maksimal 15% berat total agregat.

Pemakaian agregat halus (pasir) dalam bangunan berfungsi sebagai bahan pengisi atau *filler* 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 beton dalam pembuatan *paving block* . Pemeriksaan agregat halus meliputi:

1. Kadar Lumpur

   Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5 % dari berat kering, jika kadar lumpur lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci. Rumus untuk mencari nilai kadar lumpur :

   Berat yang lewat saringan no. 200 = $\left\{\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right\} \times 100\%$ ……..... (3.1)

   Keterangan:

   W1 = Berat pasir kering oven (gram)

   W2 = Berat pasir kering setelah dicuci (gram)

2. Berat Jenis Agregat Halus

   Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat agregat dan masa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Karena butir agregat umumnya mengandung pori-pori yang ada dalam butiran dan tertutup tidak saling berhubungan, maka berat agregat dibedakan menjadi dua istilah, yaitu:

   a. Berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori
   b. Berat jenis semu (berat jenis tampak) jika volume benda padatnya termasuk pori tertutupnya.

   Pengujian berat jenis agregat halus digunakan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus/pasir. Rumus untuk mencari nilai Berat Jenis dan Penyerapan Air :

   1) Berat Jenis Curah $= \frac{Bk}{B + 500 - Bt}$ ……..(3.2)

2) Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan $= \frac{500}{B + 500 - Bt}$ ……...(3.3)

3) Berat Jenis Semu $= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$ .....(3.4)

4) Penyerapan $= \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$ .....(3.5)

Keterangan:

Bk = Berat pasir kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi pasir dan air (gram)

500 = Berat pasir dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

3. Gradasi Pasir

Gradasi pasir adalah distribusi ukuran butir pasir. Bila butir-butir pasir mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirannya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi lebih sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi (Wibowo, 2007). Untuk menyatakan gradasi pasir, dipakai nilai presentase berat butiran yang tertinggal atau lewat dalam susunan ayakan. Susunan ayakan pasir yang dipakai adalah 9,60; 4,80; 2,40; 1,20; 0,60; 0,30; dan 0,15 mm.

4. Modulus Halus Butir Agregat

Modulus halus butir adalah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir–butir agregat. Modulus halus butir ini didefinisikan sebagai jumlah besar komulatif dari butir– butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir–butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1.5 sampai 3.8 (Pramuji, 2007).

$$MHB = \frac{\sum \%Kumulatif\ butir - butir\ yang\ lolos\ ayakan}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.6)$$

SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran pasir dapat dibagi menjadi empat daerah atau zona, yaitu zona I (kasar), zona II (sedang), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), sebagaimana tampak pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

				% Lolos Saringan/Ayakan				
Ukuran Saringan (Ayakan)				SNI 03-2834-2000				ASTM C-33
				Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus	Fine Aggregate
mm	SNI	ASTM	inch	Gradasi No. 1	Gradasi No. 2	Gradasi No. 3	Gradasi No. 4	Sieve Analysis
9,50	9,6	⅜ in	0,3750	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,75	4,8	no. 4	0,1870	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100	95 - 100
2,36	2,4	no. 8	0,0937	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100	80 - 100
1,18	1,2	no. 16	0,0469	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100	50 - 85
0,60	0,6	no. 30	0,0234	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100	25 - 60
0,30	0,3	no. 50	0,0117	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50	5 - 30
0,15	0,15	no. 100	0,0059	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 10
Tabel Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33)								The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve

Sumber: SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33

Gambar 3.1 Grafik Gradasi Pasir
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3.3.2 Air

Air merupakan bahan dasar yang sangat penting dalam pembuatan *paving block*. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan *paving block* akan rendah. Untuk bereaksi dengan semen portland, air yang diperlukan hanya sekitar 25-30% saja dari berat semen, namun dalam kenyataanya jika nilai faktor air semen (berat air dibagi barat semen) kurang dari 0,35 adukan beton akan sulit dikerjakan. Pada pembuatan *paving block*, fas yang biasa digunakan adalah 0,2-0,35 dari berat semen. Karena jika terlalu encer maka akan susah dalam pencetakan *paving block*.

Air untuk campuran mortar atau beton sebaiknya harus memenuhi syarat (SK–SNI-S-04-1989-F) sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari 2 gr/lt.
2. Air harus bersih.
3. Derajat keasaman (pH) normal ± 7.
4. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.

3.3.4 Butiran Keramik sebagai Pozzolan

Keramik adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan untuk melapisi lantai atau dinding yang biasanya berbentuk plat persegi dan tipis yang dibuat dari tanah liat atau campuran tanah liat dan bahan mentah keramik lainnya, dengan cara dibakar sampai suhu tertentu, sehingga mempunyai sifat-sifat fisik khusus. Bahan baku pembuatan keramik terdiri dari Kaolin, *Ballclay*, Feldspar, dan Kuarsa. *Ballclay* merupakan sejenis tanah liat dengan kadar silika dan alumina tinggi. Silika merupakan unsur kimia pada *pozzolan.* Menurut Rudi (2010) pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina, dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida (senyawa hasil reaksi antara semen dan air) pada suhu biasa, membentuk senyawa yang memiliki sifat-sifat seperti semen (kalsium silikat dan kalsium aluminat hidrat). Secara sederhana proses kimianya dapat ditulis sebagai berikut :

$CH + S + H \; C - S - H$.....(3.7)

$CH + A + H \; C - A - H$.....(3.8)

Keterangan :

CH = kalsium hidroksida (kapur bebas)

S = silikon dioksida (SiO_2)

A = alumunium oksida (Al_2O_3)

C-S-H = kalsium silikat hidrat

Pozzolan dibagi menjadi 2 macam yaitu :

1. Pozzolan alam (Natural pozzolan), yaitu pozzolan yang terdapat di alam, seperti abu vilkanis (pumice), tanah diatomae dan tufa.
2. Pozzolan buatan (Sintetis pozzolan), yaitu pozzolan yang didapat dari hasil pembakaran tanah liat, pembakaran batu bara berupa abu terbang (fly ash), silika fume dan abu sekam.

Bila pozzolan dipakai sebagai bahan tambah akan menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air dan lebih tahan terhadap serangan kimia. Pozzolan

dapat mengurangi pemuaian beton yang terjadi akibat proses reaksi alkali-agregat (reaksi alkali dalam semen dengan silika dalam agregat) (Tjokrodimuljo, 1998 dalam Ferry 2017).

Dengan demikian butiran keramik dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti sebagian semen portland. Bila dipakai sebagai pengganti sebagian semen portland, umumnya berkisar antara 10 sampai 35 persen dari berat semen. Bahan tambahan ini dapat membuat beton lebih tahan terhadap garam, sulfat, dan air asam. Penambahan pozzolan dapat mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut.

3.4 Kuat Tekan *Paving Block*

Pada proses pembuatan *paving block*, perlu dilakukan suatu pengujian untuk menentukan mutu dari *paving block* yang dihasilkan, salah satunya yaitu uji kuat tekan. Kuat tekan yakni kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Nilai kuat tekan menunjukkan mutu dari suatu struktur, semakin tinggi nilai kuat tekannya semakin tinggi pula mutu yang didapatkan (Imasuti, 2017).

Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan adalah sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{..... (3.9)}$$

Dimana:

f'c = Kuat tekan/kuat desak *paving block* (kg/cm^2)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

Pada hakekatnya faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan *Paving Block* sama halnya dengan kuat tekan beton, yaitu sebagai berikut :

1. Faktor air semen

   Faktor air semen, faktor air semen adalah perbandingan antara air dengan semen yang dipakai dalam pembuatan adukan. Nilai faktor air semen yang tinggi menyebabkan adukan beton menjadi banyak pori-pori yang berisi air, setelah beton keras akan menimbulkan rongga-rongga sehingga kekuatannya akan rendah. Sedangkan nilai faktor air semen yang rendah menyebabkan adukan akan sulit dipadatkan sehingga menimbulkan banyak rongga udara. Hal ini mengakibatkan beton yang dihasilkan berkualitas rendah dan adukan beton sulit dikerjakan. Fas yang umum digunakan ialah 0,35 dari berat semen (Tjokrodimuljo, 1996 dalam Pramuji 2007).

2. Kepadatan

   Kepadatan adukan beton akan mempengaruhi kekuatan beton setelah mengeras (Tjokrodimuljo, 1996). Tujuan pemadatan beton adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal (Murdock dan Brook, 1991).

3. Umur beton

   Umur beton dihitung sejak beton dibuat, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur. Berdasarkan penelitian umur beton untuk mencapai kuat desak maksimumnya adalah 28 hari, namun umur ini dapat bervariasi (lebih atau kurang dari 28 hari) yang disebabkan oleh jenis material atau bahan tambah dari suatu campuran. Kecepatan kenaikan kekuatan beton dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas maka akan semakin lambat kenaikan kekuatannya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka kenaikan kekuatan beton semakin cepat (Tjokrodimuljo, 1996 dalam Pramuji 2007).

4. Jenis semen

   Setiap jenis semen mempunyai laju kenaikan yang berbeda-beda.

5. Jumlah semen

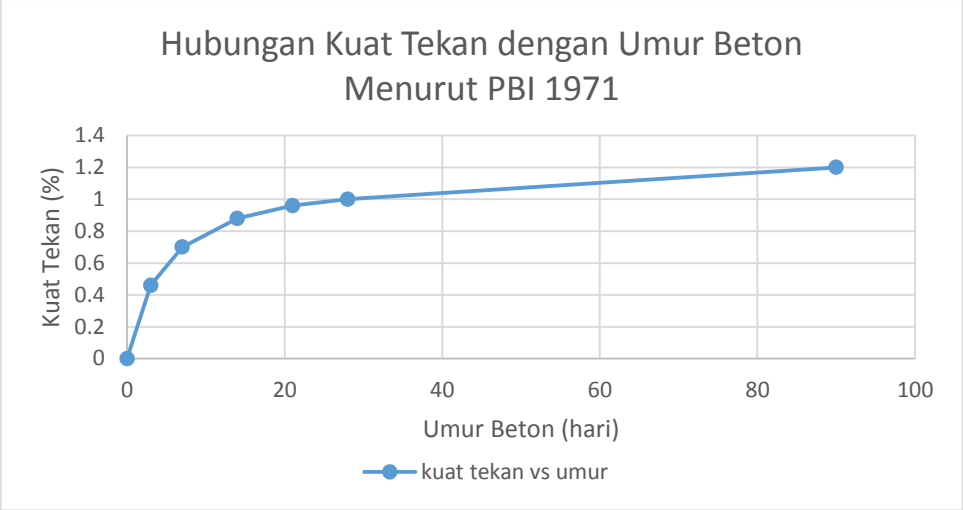
   Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pada faktor air semen sama (nilai slum berubah) beton dengan kandungan jumlah semen tertentu mempunyai kekuatan tekan yang tinggi. Pada jumlah semen yang sedikit dan jumlah air sedikit adukan beton akan sulit dipadatkan sehingga kekuatan tekan beton rendah. Jika jumlah semen berlebihan maka jumlah air juga berlebihan, sehingga beton akan menjadi berpori dan berakibat kekuatan tekan beton rendah. (Tjokrodimuljo, 1996 dalam Suwarni, 2010).

Tabel 3.3. Hubungan antara komposisi campuran dengan kuat tekan

No	Komposisi campuran Pc : Ps	Kuat tekan rata – rata umur 28 hari (Kg/cm^2)
1	1 : 6	70
2	1 : 7	57
3	1 : 8	36
4	1 : 9	26

Sumber: Data Teknis Hasil Percobaan (Puslitbang, DPU, Semarang,1985)

Kekuatan beton akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya umur beton. Pada umur awal, kenaikan mutu beton akan naik secara signifikan, tetapi akan berangsur-angsur mengecil setelah umur 28 hari. Rata-rata beton mencapai kekuatan tekan karakteristik rencananya pada umur 28 hari. Pada umur tersebut kuat tekan karakteristik beton mencapai kekuatan rencananya. Biasanya umur yang digunakan dalam perencanaan adalah umur 28 hari. Dibawah ini adalah grafik hubungan antara umur beton dengan faktor kuat tekannya menurut peraturan beton (PBI 1971).



Gambar 3.2 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton
(Sumber: Peraturan Beton Bertulang Indonesia, 1971)

3.5 Daya Serap Air *Paving Block*

Daya serap air adalah prosentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam dalam air. Pori dalam butiran agregat mempunyai ukuran dengan variasi yang cukup besar. Pori-pori tersebut terdapat di seluruh butiran, beberapa merupakan pori–pori yang tertutup dalam material, beberapa yang lain terbuka terhadap permukaan butiran. Beberapa jenis agregat yang sering dipakai mempunyai volume pori tertutup sekitar 0% sampai 20% volume butirnya.

Daya serap air *paving block* adalah persentase berat air yang mampu diserap melalui pori-pori oleh *paving block*. Hasil ini bisa didapatkan dengan membandingkan berat *paving block* kering dan basah (setelah perendaman didalam air). Berat *paving block* kering didapatkan dari pengovenan benda uji pada suhu ± 105°C dalam waktu 24 jam.

Daya serap air dapat dicari berdasarkan SNI 03-0691-1996 seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \text{ X } 100\ \% \quad \text{.....} \quad (3.10)$$

Keterangan :

A = berat bata beton basah

B = berat bata beton kering

Menurut SNI 03-0691-1996 mutu *paving block* ditinjau dari daya serap air dibagi menjadi 4 bagian, seperti pada Tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.4 Standart Daya Serap Air Untuk *Paving block*

Mutu	Serapan Air Maksimum (%)
A	3
B	6
C	8
D	10

Sumber : Bata Beton (*Paving block*), SNI 03-0691-1996

3.6 Mix Design

Menurut (Shackel, 1990 dalam Ferry 2017) berdasarkan penelitiannya yang digunakan sebagai standar di Amerika, untuk *paving block* dengan ketebalan 60 mm digunakan komposisi campuran 1 : 6 dan untuk ketebalan 80mm digunakan komposisi 1 : 5,5. Faktor air semen yang digunakan adalah 0,35 dari berat semen, nilai tersebut lebih kecil dari fas yang digunakan dalam pencampuran atau *mix design* beton. Dalam pembuatan *paving block*, mortar dalam keadaan tidak terlalu basah atau mempunyai *slump* mendekati nol. Hal ini dimaksudkan agar pada saat pencetakannya, *paving block* tidak mudah berubah bentuk setelah lepas dari cetakannya.

3.7 Harga Pokok Produksi

Harga pokok produksi atau yang biasa dikenal dengan istilah *Cost of Good Manufactured* akan ditemukan dalam laporan laba rugi suatu perusahaan. Dalam akuntansi, harga pokok produksi dipahami sebagai seluruh biaya produksi yang digunakan untuk memperoleh dan mengolah bahan baku hingga bahan baku tersebut menjadi barang jadi yang siap diperjual belikan. Harga pokok produksi

mewakili jumlah biaya barang yang diselesaikan pada periode tersebut. Satu-satunya biaya yang diberikan pada barang yang diselesaikan adalah biaya produksi dari bahan baku langsung, tenaga kerja langsung, dan biaya lain-lain. (Hansen dan Mowen, 2004 dalam Helmina, 2013).

Penentuan harga pokok produksi merupakan hal yang sangat penting mengingat manfaat informasi harga pokok produksi adalah menentukan harga jual produk serta penentuan harga pokok persediaan produk jadi dan produk dalam proses yang akan disajikan dalam neraca. Di dalam penentuan harga pokok produksi, informasi yang dibutuhkan oleh perusahaan adalah informasi mengenai biaya bahan baku, biaya tenaga kerja, dan biaya overhead pabrik. Ketiga jenis kegiatan ini harus ditentukan secara cermat baik dalam pencatatan maupun penggolongannya. Sehingga informasi harga pokok produksi yang dihasilkan dapat diandalkan baik untuk penentuan harga jual produk maupun untuk perhitungan laba rugi periodik.

1. Unsur-unsur harga pokok produksi (Mulyadi, 2003) adalah sebagai berikut:
   a. Biaya Bahan Baku

      Biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh bahan baku yang dipergunakan dalam proses untuk memproduksi suatu produk sebagai obyek biayanya, seperti biaya papan dasar, dan biaya material yang digunakan.

   b. Biaya Tenaga Kerja Langsung

      Biaya yang dibayarkan kepada tenaga kerja yang ikut secara langsung dalam proses pengerjaan suatu produk atau biaya tenaga kerja yang secara langsung dapat diidentifikasi kepada suatu produk sebagai obyek biayanya. Sebagai contoh, upah yang dibayarkan kepada pekerja pabrik *paving block.*

   c. Biaya *Overhead* Pabrik

      Biaya *overhead* pabrik disebut juga biaya produk tidak langsung, yaitu komponen biaya produksi yang tidak memiliki hubungan langsung dengan suatu produk tertentu dengan dan tidak diidentifikasi atau ditelusuri

kepada produk tersebut dengan cara yang ekonomis. seperti biaya konsumsi, biaya THR, biaya pengiriman dan margin keuntungan.

2. Pentingnya harga pokok produksi menurut Adikoesoemah (1982) adalah:
   a. Harga pokok sebagai penetapan harga jual

      Dari hasil harga pokok dapat ditentukan nilai harga jual produk yang dihasilkan. Perhitungan harga pokok harus di hitung dengan benar agar memperoleh keuntungan/laba dan mencegah kerugian.

   b. Harga pokok sebagai penetapan biaya yang diserap

      Dengan harga pokok kita akan menentukan biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu produk.

   c. Harga pokok sebagai dasar penilaian efisiensi kerja dan efektifitas biaya

      Harga pokok dapat dijadikan dasar untuk mengontrol pemakaian bahan, upah dan biaya produksi tidak langsung. Hal ini dapat dilakukan dengan menetapkan harga pokok standar terlebih dahulu dan kemudian membandingkan dengan harga pokok yang aktual atau yang sebenarnya terjadi. Apakah terdapat selisih antara perhitungan kedua harga pokok tersebut, apabila ada selisih negatif berarti proses produksi yang dilaksanakan belum efisien dan perusahaan perlu mengetahui penyebab terjadinya selisih tersebut, sehingga dapat diambil tindakan koreksi untuk memperbaiki kesalahan tersebut sedangkan bila ada selisih positif maka perlu ditelusuri terlebih lanjut atas selisih tersebut apakah karena perusahaan telah menjalankan proses produksi secara efisien atau perhitungan harga pokok standar yang kurang tepat.

   d. Harga pokok sebagai dasar pengambilan berbagai keputusan manajemen.

      Harga pokok merupakan suatu pedoman penting sekaligus sebagai suatu dasar untuk pengambilan keputusan khusus perusahaan, misalnya:

      1) Menetapkan perubahan harga penjualan.
      2) Menetapkan penyesuaian proses produksi.

3) Menetapkan strategi persaingan di pasaran luas.
4) Merencanakan ekspansi perusahaan.
5) Pengambilan keputusan-keputusan khusus manajemen, seperti apakah akan membeli atau membuat sendiri suatu suku cadang, apakah menerima suatu pesanan khusus dengan harga khusus atau tidak.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. (Sugiyono, 2013). Metodologi penelitian bertujuan untuk merencanakan langkah-langkah kerja suatu penelitian mulai dari pengenalan masalah, pengumpulan data, pembuatan benda uji, pengujian, analisis data sampai sampai mendapatkan hasil dari analisis data serta kesimpulan dan saran. Prosedur standar pelaksanaan dan pengujian pada penelitian ini menggunakan Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pelaksanaan pembuatan benda uji *paving block* di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi dan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km 14,5 Sleman Yogyakarta.

4.2 Bahan Dan Benda Uji

4.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan untuk pembuatan benda uji penelitian adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

   Bahan pengikat yang digunakan adalah semen Tiga Roda dalam kemasan 40 kg/sak. Pengamatan keadaaan fisik berupa keutuhan kemasan semen dan kehalusan butir semen (butiran berwarna abu-abu, halus, dan tidak menggumpal).
2. Agregat Halus

   Agregat halus berupa pasir yang berasal dari Merapi yang lolos saringan 4,8 mm.

3. Air

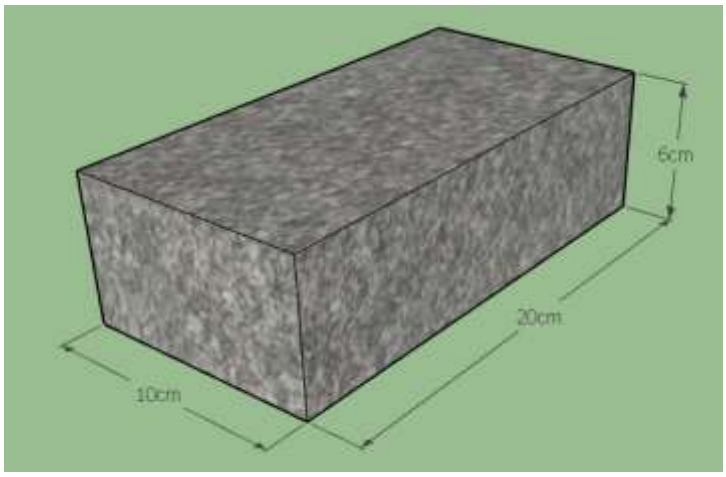
   Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji untuk penelitian ini harus memiliki kriteria secara visual tampak jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna. Air yang digunakan pada pembuatan benda uji ini diambil dari instalasi air yang ada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Program Studi Teknik Sipil FTSP UII.

4. Butiran Keramik

   Butiran Keramik yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang lolos saringan 0,3 mm diperoleh dari sisa-sisa renovasi atau pembongkaran rumah yang tidak terpakai lagi dalam bentuk pecahan-pecahan keramik utuh yang kemudian dihancurkan dengan cara menumbuk dengan palu sampai menjadi butiran halus.

4.2.2 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini adalah *paving block* dengan bahan tambahan butiran keramik tipe holand dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm. Tebal lapisan permukaan ±1 mm, pada bagian permukaan (kepala), agregat yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan 2 mm. Sedangkan untuk bagian badan (kaki) menggunakan pasir yang lolos ayakan dengan diameter 4,75 mm.



Gambar 4.1 Dimensi *Paving block*

Pembuatan benda uji menggunakan campuran dengan perbandingan berat 1pc : 6ps, sedangkan untuk kebutuhan butiran keramik menggunakan perbandingan terhadap berat semen. Faktor air semen yang digunakan sebesar 0,35. Dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Komposisi Campuran pada *Paving block*

Variasi	Komposisi Berat Campuran Setiap Variasi			
	PC	Pasir	Buiran Keramik	Air
I	1	6	0	0,35
II	1	6	0,025	0,35
III	1	6	0.05	0,35
IV	1	6	0,075	0,35
V	1	6	0,1	0,35

Sumber : Data diolah

Pengujian kuat tekan dan penyerapan air membutuhkan 3 buah sampel benda uji untuk masing-masing pengujian, sehingga total benda uji yang dibutuhkan yaitu 30 buah. Selain itu dibutuhkan 3 buah *paving block* SNI konvensional yang dijual di pasaran sebagai pembanding.

Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji

Komposisi	Jumlah Sampel *Paving Block*	
	Uji Kuat Tekan	Penyerapan Air
1 PC : 6 Ps : 0 Bk	3	3
1 PC : 6 Ps : 0,025 Bk	3	3
1 PC : 6 Ps : 0,05 Bk	3	3
1 PC : 6 Ps : 0,075 Bk	3	3
1 PC : 6 Ps : 0,1 Bk	3	3

Sumber : Data diolah

Keterangan:

PC = Portland Semen

Ps = Pasir

Bk = Butiran Keramik

4.3 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai tujuan penelitian. Peralatan-peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Saringan / Ayakan

Saringan berfungsi untuk memisah material berdasarkan gradasinya. Untuk pembuatan benda uji menggunakan saringan dengan diameter 4,75 mm untuk agregat halus dan saringan no. 50 untuk menyaring butiran keramik. Sedangkan untuk pengujian gradasi pasir menggunakan satu set saringan dari 3/8" sampai saringan no. 100.

Gambar 4.2 Saringan / Ayakan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2. Timbangan

Pada penelitian ini menggunakan 2 macam timbangan dengan ketelitian yang berbeda. Yang pertama timbangan merk Kain Chung dengan ketelitian 0,1 kg dan yang kedua timbangan dengan ketelitian 1 gram untuk menimbang bahan susun adukan *paving block.*

Gambar 4.3 Timbangan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3. Gelas Ukur (*Piknometer*)

Gelas ukur volume 500 ml digunakan untuk mengukur volume air yang dibutuhkan untuk adukan mortar semen.

Gambar 4.4 Gelas Ukur (*Piknometer*)
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4. Oven

Oven yang digunakan bermerk Heracus dengan kapasitas panas sampai 250^{o}C. Alat ini digunakan untuk mengeringkan benda uji untuk pengujian daya serap air.

Gambar 4.5 Oven
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5. Sendok Semen

Sendok Semen digunakan untuk mengambil, memindahkan dan mencampur bahan penyusun *paving block*. Sendok semen juga digunakan untuk memasukkan dan meratakan mortar yang dimasukkan pada cetakan *paving block*.

Gambar 4.6 Sendok Semen
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

6. Cetakan *paving block* holand dengan ukuran 20 x 10 x 6 cm^3

Cetakan yang digunakan terbuat dari bahan besi dengan ukuran 70 cm x 90 cm. Dalam satu cetakan mampu memproduksi 12 *paving block* jenis holand dalam

sekali cetak. Cetakan jenis ini memiliki 2 bagian utama, yaitu bagian *stempel* dan bagian *form.* Bagian *stempel* berfungsi sebagai ujung penekanan pada mesin. Sedangkan bagian form berfungsi untuk memberikan bentuk pada sisi-sisi *paving block.*

Gambar 4.7 Cetakan *Paving Block* Holand
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

7. Mesin pres *paving block*

Mesin pres beroperasi dengan system hidrolik dan dilengkapi vibrator (penggetar). Sistem hidrolik digunakan untuk mengangkat cetakan dan memberikan tekanan (pemadatan) pada saat pencetakan. Sedangkan vibrator yang diletakkan dibawah meja mesin berfungsi untuk menggerakkan butir-butir campuran yang sudah dimasukkan pada cetakan sehingga bergerak mengisi celah-celah yang masih kosong. Hal ini dilakukan agar sebelum proses penekanan campuran sudah pada keadaan padat di dalam cetakan.

Gambar 4.8 Mesin Press *Paving Block*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

8. Mixer (alat pengaduk campuran)

Mesin pengadukan campuran beton atau *mixer* atau biasa juga disebut dengan molen berfungsi untuk mencampur material penyusun beton. Mixer yang digunakan adalah mixer dengan diameter 1,5 m yang biasa digunakan untuk mencampur adonan beton pada pembuatan *paving block*. Kapasitas alat ini mampu mencampur campuran sekitar 100 buah *paving block* tipe holand dalam sekali proses (10-15 menit).

Gambar 4.9 Mixer
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

9. Alat uji kuat desak

Alat uji kuat desak menggunakan alat uji kuat desak dengan pembacaan jarum dengan kapasitas tekan 2000 kN. Alat ini bekerja dengan menggunakan system hidrolis.

Gambar 4.10 Alat Uji Kuat Desak
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

10. Peralatan pendukung

Peralatan pendukung yang lain, seperti ember, sikat, penggaris, perekat, karung, selang dan bak perendaman.

Gambar 4.11 Ember, Sikat, Penggaris, Karung
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Terdapat langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian ini, berikut tahapan-tahapannya: tahap persiapan bahan, pengujian bahan, pencampuran bahan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, dan pengujian benda uji.

4.4.1 Tahap persiapan bahan

Dalam tahap ini yang dilakukan adalah mempersiapkan bahan-bahan penyusun *paving block* yang diantaranya, mempersiapkan pasir agregat halus yang lolos ayakan 4.8 mm, semen, air serta keramik yang telah dipecah menjadi butiran lolos ayakan 0,3 mm yang akan digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan *paving block*. Pemeriksaan material perlu dilakukan untuk mengetahui material yang digunakan memenuhi persyaratan sesuai standar yang digunakan atau tidak. Apabila ada material yang tidak memenuhi persyaratan maka dilakukan penggantian material.

Gambar 4.12 Persiapan Bahan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.4.2 Tahap pengujian bahan

Untuk mengetahui karakteristik dari bahan penyusun *paving block* dengan campuran limbah pecahan keramik perlu diteliti bahan penyusunnya, dalam hal ini yang diteliti adalan semen, air, pasir dan limbah pecahan keramik. Pengujian bahan yang dilakukan adalah sebagai berikut (Buku Panduan Pratikum Teknologi Bahan Konstruksi) :

1. Pemeriksaan Gradasi Pasir

   Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pembagian butir (gradasi) pasir dengan saringan dan modulus halus butir (MHB) pasir.

   a. Alat Pengujian
      1) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,2 % dari berat pasir
      2) Satu set saringan 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm pan dan tutup saringan
      3) Alat pemisah pasir
      4) Mesin penggetar saringan
      5) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu (110±5)^{o} C
      6) Talam, kain lap, sikat kawat kuningan halus, kuas dan lain-lain.
   b. Bahan Pengujian
      - Pasir sebanyak 1 kg
   c. Langkah-langkah pemeriksaan gradasi pasir adalah sebagai berikut:
      1) Pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu ± 115^{o} C sampai beratnya tetap.
      2) Pasir dikeluarkan dari dalam oven kemudian dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.
      3) Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan paling atas yaitu: 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm.

4) Pasir dimasukan dalam ayakan paling atas kemudian tutup. Jepit susunan saringan tersebut, kemudian hidupkan mesin penggetar selama 10 menit, kemudian diamkan 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
5) Pasir dikeluarkan pada masing-masing saringan dan masukkan dalam masing-masing talam (jangan sampai ada yang tercecer) kemudian ditimbang.
6) Dihitung berat pasir yang tertahan pada masing-masing ayakan.
7) Gradasi pasir diperoleh dengan menghitung jumlah komulatif persentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan. Nilai modulus halus butir pasir dihitung dengan menjumlahkan persentase komulatif butir yang tertinggal kemudian dibagi seratus.

d. Perhitungan

Berikut rumus yang digunakan dalam pengujian ini:

Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{\text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$ …….. (4.1)

2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian berat jenis pasir dimaksudkan untuk pedoman saat pengujian dalam menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam pasir.

a. Alat Pengujian
   1) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih, dengan ketelitian 0,1 gram
   2) Piknometer kapasitas 500 ml
   3) Kerucut terpancung dan Batang penumbuk
   4) Saringan no 4 (4,75 mm)
   5) Oven
   6) Thermometer
   7) Talam
   8) Bejana tempat air
   9) Desikator

b. Bahan Pengujian
   1) Pasir dalam keadaan SSD
   2) Air

c. Langkah-langkah pengujian berat jenis pasir adalah sebagai berikut:
   1) Pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu ± 115^{o} C sampai beratnya tetap, didinginkan dalam suhu ruang kemudian pasir direndam selama 24 jam.
   2) Setelah 24 jam direndam air, kemudian air rendaman dibuang dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbuang. Menebarkan pasir diatas talam, kemudian dikeringkan di udara dengan cara membolak-balik pasir sampai mencapai keadaan kering permukaan jenuh. Untuk pengujian kondisi jenuh kering muka dilakukan dengan memasukkan pasir pada kerucut terpancung dan dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 25 kali. Pada saat kerucut diangkat, pasir akan runtuh tetapi masih berbentuk kerucut.
   3) Pasir dalam keadaan kering muka dimasukkan ke dalam piknometer sebanyak 500 gram kemudian masukkan air dalam piknometer hingga mencapai 90% isi piknometer atau sampai pada garis batas pada piknometer, putar dan guling-gulingkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
   4) Air ditambahkan kedalam piknometer sampai penuh, kemudian timbang (Bt).
   5) Pasir dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 115^{o} C sampai beratnya tetap lalu dinginkan. Kemudian pasir ditimbang (Bk).
   6) Piknometer dibersihkan, kemudian isi piknometer dengan air sampai pada tanda batas lalu ditimbang (B).

d. Perhitungan

   Berikut rumus yang digunakan dalam pengujian ini:

   5) Berat Jenis Curah $= \dfrac{Bk}{B + 500 - Bt}$ ……..(4.2)

6) Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan $= \frac{500}{B + 500 - Bt}$ ……...(4.3)

7) Berat Jenis Semu $= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$ .....(4.4)

8) Penyerapan $= \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$ .....(4.5)

Keterangan:

Bk = Berat pasir kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi pasir dan air (gram)

500= Berat pasir dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

3. Pengujian Kandungan Lumpur

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Lumpur adalah agregat yang lolos saringan 200 mm. Bila kadar lumpur melebihi 5% maka pasir harus dicuci.

a. Alat Pengujian
   1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
   2) Saringan nomor 200
   3) Tempat air untuk pencucian (kran) atau saluran air mengalir
   4) Cawan
   5) Oven

b. Bahan Pengujian
   1) Pasir dengan ukuran butiran maksimal 4,8 mm sebanyak 500 gram

c. Prosedur Pengujian
   1) Mengambil contoh pasir yang lolos ayakan no. 200 (0,075mm) telah kering oven selama 24 jam dengan suhu $(110\pm5)^0$ c, timbang beratnya
   2) Pasir dialiri dengan air di atasnya
   3) Pasir diratakan dengan air hingga bagian halus menembus saringan dan yang kasar tertinggal di saringan

4) Pekerjaan tersebut diulangi sampai air pencucian menjadi jernih
5) Agregat yang telah dicuci dikeringkan sampai berat tetap di suhu 110 ± 5^{0}c
6) Menimbang dengan ketelitian 0,1 gram

d. Perhitungan

Berikut rumus yang digunakan dalam pengujian ini:

Berat yang lewat saringan no. 200 = $\left\{\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right\} \times 100\%$ ……..... (4.6)

Keterangan:

W1 = Berat pasir kering oven (gram)

W2 = Berat pasir kering setelah dicuci (gram)

4. Pengujian Gradasi Butiran Keramik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi diameter butiran pecahan keramik dan modulus halus butir (MHB) butiran keramik.

a. Alat Pengujian
   1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
   2) Satu set saringan 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm
   3) Mesin penggetar saringan
   4) Talam
   5) Kuas
   6) Sikat kuningan
   7) Sendok

b. Langkah-langkah pemeriksaan gradasi butiran keramik adalah sebagai berikut:
   1) Butiran keramik dikeringkan dalam oven dengan suhu ± 115^{o} C sampai beratnya tetap.
   2) Butiran keramik dikeluarkan dari dalam oven kemudian dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.

3) Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan paling atas yaitu: 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm
4) Butiran keramik dimasukan dalam ayakan paling atas kemudian tutup. Jepit susunan saringan tersebut, kemudian hidupkan mesin penggetar selama 10 menit.
5) Butiran keramik yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ditimbang beserta wadahnya.
6) Dihitung berat butiran keramik yang tertahan pada masing-masing ayakan.
7) Gradasi pasir diperoleh dengan menghitung jumlah komulatif persentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan. Nilai modulus halus butir pasir dihitung dengan menjumlahkan persentase komulatif butir yang tertinggal kemudian dibagi seratus.

c. Perhitungan

Berikut rumus yang digunakan dalam pengujian ini:

Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{\text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$ …….. (4.7)

5. Pemeriksaan Semen

Dalam penelitian ini, pemeriksaan semen hanya dilakukan dengan pemeriksaan *visual* yaitu semen dalam keadaan tertutup rapat dan setelah dibuka diamati warna dan kehalusan butirnya, kemudian jika terdapat gumpalan maka gumpalan semen tersebut dihancurkan sehingga butirannya benar-benar halus.

6. Pemeriksaan Air

Pemeriksaan terhadap air juga dilakukan secara visual yaitu air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan garam sesuai dengan persyaratan air untuk minum.

4.4.3 Proses Pembuatan Adukan

1. Perhitungan dan penimbangan bahan penyusun

   Dalam tahap ini semua bahan dihitung dan kemudian ditimbang sesuai kebutuhan dari masing-masing komposisi campuran yaitu semen portland, pasir, air dan butiran keramik. Komposisi campuran menggunakan perbandingan berat, sehingga kebutuhan bahan ditentukan dengan berat sesuai kebutuhan masing-masing variasi komposisi campuran. Perbandingan volume semen : pasir adalah 1 : 6 dan nilai fas yang digunakan adalah 0,35 dari berat semen dengan variasi penambahan butiran keramik sebesar 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10%.

2. Pembuatan adukan

   Langkah-langkah dalam pembuatan adukan adalah sebagai berikut:

   a. Setelah masing-masing bahan ditimbang, bahan kemudian diaduk dalam keadaan kering hingga homogen dalam bak adukan (Mixer). Langkah ini dilakukan agar pencampuran bahan-bahan tersebut bisa lebih mudah dan merata sehingga diharapkan mendapat hasil yang merata.

   b. Tuangkan air ke dalam bak adukan dengan merata, kemudian aduk hingga didapatkan adukan yang merata selama 10-15 menit.

4.4.4 Proses Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan atau pencetakan benda uji dilakukan dengan mesin pres. Mesin yang digunakan adalah mesin dengan sistem hidrolik dilengkapi sistem vibrator yang biasa digunakan untuk proses produksi *paving block*. Bersamaan dengan itu pada saat pemadatan dilakukan penggetaran sehingga membantu pergerakan agregat untuk saling mengisi celah atau rongga yang ada pada sebuah *paving block*. Maka dengan metode demikian diharapkan memberikan hasil atau kekuatan yang sama pada proses pemadatan pada masing-masing benda uji dan memperkecil terjadinya human error.

Berikut ini adalah langkah-langkah pencetakan atau proses pembuatan benda uji *paving block* dengan menggunakan mesin pres getar:

1. Meletakkan alas (triplek tebal 2 mm) pada meja mesin.
2. Mengatur mesin pada posisi cetakan membuka (bagian stempel diatas bagian form) sehingga campuran bisa dimasukkan kedalam cetakan.
3. Masukkan campuran (kaki) ke dalam cetakan.
4. Menyalakan sistem getar pada mesin sekitar ± 10 detik.
5. Memenuhi kembali isi cetakan yang turun akibat penggetaran dengan campuran kepala
6. Menekan tuas pengepresan atau pemadatan sehingga bagian stempel turun dan melakukan proses pemadatan sambil sistem getar dijalankan.
7. Menekan tuas untuk mengangkat kedua bagian cetakan.

4.4.5 Proses Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan setelah satu hari dari pencetakan *paving block*. Pada umur 1 hari atau benda uji cukup keras dilakukan perendaman dengan durasi 3 jam periode 2 kali sehari selama 2 hari, setelah direndam benda uji disiram dengan ditutupi bagian permukaan *paving block* menggunakan karung goni agar terjaga kelembabannya sampai *paving block* umur 21 hari. Hal ini dimaksudkan agar proses pengeringan dan pengerasan pada *paving block* berjalan dengan sempurna (untuk mencegah tejadinya retak-retak/pecah pada *paving block*).

4.4.6 Proses Pengujian *Paving block*

Pengujian *paving block* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas *paving block* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 21 hari. Adapun pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengujian Kuat Tekan

   Langkah–langkah pengujian tekan paving block adalah sebagai berikut:

   a. Masing–masing paving block diukur panjang, lebar, tinggi dan beratnya.
   b. Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara simetris.

c. Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm2 per detik.
d. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pengujian.

2. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui besarnya kemampuan *paving block* untuk menyerap air melalui pori-porinya. Mengacu pada SNI 03-0691-1996 langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

a. Merendam benda uji kedalam air hingga jenuh selama 24 jam, kemudian menimbang beratnya dalam keadaan basah dengan menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,5 gram.
b. Mengeringkan benda uji dalam oven dengan suhu 115^{o} C selama 24 jam sampai berat pada dua kali penimbangan selisihnya tidak lebih dari 0,2%.
c. Menimbang dalam keadaan kering oven.

4.5 Harga Pokok Produksi *Paving Block* Dengan Butiran Keramik

4.5.1 Penentuan Harga Pokok Produksi

Menentukan harga pokok produksi adalah bagaimana memperhitungkan biaya kepada suatu produk, yang dapat dilakukan dengan cara memasukan seluruh biaya produksi atau hanya memasukan unsur biaya produksi variabel saja.

4.5.2 Data yang diperlukan dalam penelitian

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

1. Data harga *paving block* di pasaran
2. Produktivitas tukang
3. Data biaya produksi, meliputi:
   a. Menghitung Biaya Alat,
   b. Menghitung Biaya Bangunan,
   c. Menghitung Biaya Perawatan Alat,

d. Menghitung Biaya Upah,
e. Menghitung Biaya Material,
f. Menghitung Biaya Konsumsi,
g. Menghitung Biaya THR,
h. Menghitung Pengeluaran Per Hari.

4.5.3 Analisis Kelayakan Usaha *Paving block* dengan Butiran Keramik

Analisis kelayakan usaha dilakukan dengan beberapa metode pengumpulan data, diantaranya adalah sebagai berikut:

1) Studi Pustaka

   Mencari literature yang berhubungan dengan penelitian tentang pembuatan *paving block*.

2) Wawancara

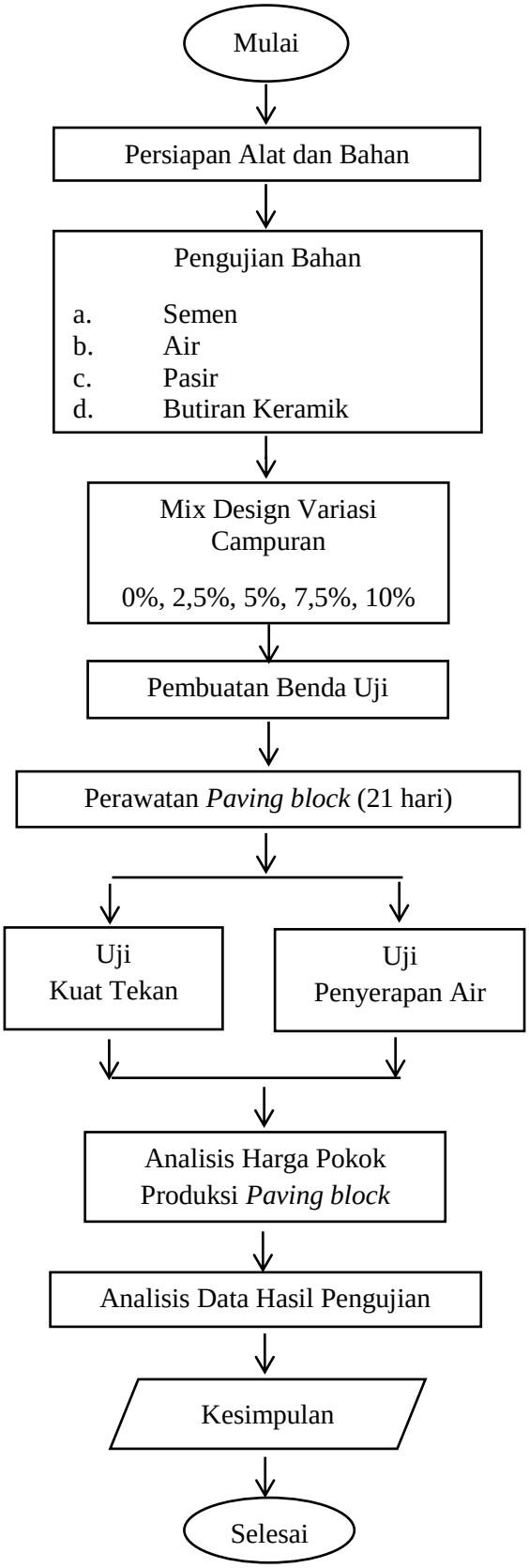
   Dalam penelitian ini penulis mewawancarai pengusaha *paving block* sebagai data untuk menghitung harga pokok produksi.

3) Survei

   Untuk membandingkan harga *paving block* yang ada di pasaran dengan *paving block* dengan bahan tambah butiran keramik maka perlu dilakukan survei langsung ke pabrik atau penjual *paving block* yang berada di sekitar Kota Yogyakarta.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Dari uraian diatas dapat dibuat bagan alir (*flow chart*). Gambar 4.2 berikut adalah *flow chart* pelaksanaan penelitian pembuatan *paving block* dengan bahan tambah butiran keramik yang dimulai dari persiapan alat dan bahan, pengujian, sampai dengan kesimpulan dari penelitian.



Gambar 4.2 Bagan Alir (*Flow Chart*) Pelaksanaan Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan menjelaskan hasil-hasil dari pengujian yang telah dilakukan di laboratorium. Hasil penelitian ini dimulai dari pengujian karakteristik bahan hingga pengujian sampel benda uji yang dianalisis dari segi kuat tekan, penyerapan air, dan harga produksi dengan variasi campuran untuk bahan material *Paving block* dengan perbandingan sesuai pada Tabel 4.1 Komposisi Campuran pada *Paving Block.*

5.2 Pengujian Properties Bahan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan karakteristik bahan yang akan digunakan untuk campuran pembuatan *Paving Block*. Bahan yang digunakan yaitu pasir yang lolos saringan 4,80 mm dan butiran keramik lolos saringan 0,300 mm. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis, pengujian kandungan lumpur, pengujian berat isi padat dan gembur, dan pengujian analisa saringan agregat halus.

5.2.1 Pengujian Analisa Saringan Butiran Keramik

Pada pengujian ini berguna untuk mengetahui modulus halus butir butiran keramik. Metode pengujian yang dilakukan pada pengujian ini sama dengan pengujian pada pasir. Hasil yang diperoleh dapat dilihat dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Butiran Keramik

Nomor Saringan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
3/8"	10	0	0	0	100
4	4.8	0	0	0	100
8	2.36	0	0	0	100

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Butiran Keramik

Nomor Saringan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
16	1.18	0	0	0	100
30	0.6	0	0	0	100
50	0.3	106	20.78	20.78	79.22
100	0.15	118	23.14	43.92	56.08
	sisa	286	56.08	100	0
	jumlah	510	100	164.71	

Sumber : Data Diolah

Gambar 5.1 Hasil Sebelum dan Sesudah Uji Saringan Butiran Keramik
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

$$\text{MHB} = \frac{\text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$\text{MHB} = \frac{164{,}71}{100} = 1{,}65$$

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa nilai MHB yang didapat dari pengujian analisa saringan butiran keramik adalah sebesar 1,65. Angka tersebut menunjukkan bahwa butiran keramik yang digunakan cukup halus untuk menggantikan sebagian semen. Hal ini sesuai dengan syarat modulus halus butir yaitu 1,5-3,8.

5.2.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pasir yang digunakan sebagai agregat dalam campuran pembuatan *Paving Block* adalah pasir merapi yang lolos saringan 4,8 mm. Hasil pengujian tersaji dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	sampel 1	sampel 2	sampel 3	rata-rata
Berat kering pasir mutlak, gram (Bk)	467.3	464.7	468.1	466.7
Berat pasir kondisi kerih jenuh muka (SSD), gram	500	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1007.2	1008.2	1003.9	1006.4
Berat piknometer berisi air, gram (B)	706	706	706	706
Berat jenis curah Bk/(B + 500 - Bt)	2.35	2.35	2.32	2.34
Berat jenis jenuh kering muka 500/(B + 500 - Bt)	2.52	2.53	2.47	2.51
Berat jenis semu Bk/(B + Bk - Bt)	2.81	2.86	2.75	2.81
Penyerapan air (500 - Bk)/Bk x 100% (%)	7.00	7.60	6.81	7.14

Sumber : Data Diolah

Gambar 5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada Tabel 5.2 dapat dilihat hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada pasir. Berdasarkan pengujian berat jenis diatas didapatkan berat jenis curah rerata sebesar 2,34 gram/cm^3, berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,51 gram/cm^3, berat jenis semu sebesar 2,81 gram/cm^3. Berdasarkan pengujian penyerapan air pada agregat halus didapatkan persentase penyerapan air sebesar 7,14 %. Dari hasil pengujian berat jenis tersebut, didapatkan angka berat jenis jenuh kering permukaan 2,51 gram/cm^3. Angka tersebut memenuhi persyaratan berat jenis normal agregat halus 2,5 – 2,8.

5.2.3 Pengujian Kadar Lumpur dalam Pasir

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir yang akan digunakan dalam pembuatan *paving block.* Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan 4,8 mm. Kadar lumpur dalam pasir tidak boleh melebihi 5%. Hasil yang diperoleh dapat dilihat dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1	Berat Pasir Kering Oven (gram) (W1)	500	500	500
2	Berat Pasir Kering Oven Setelah Dicuci (gram) (W2)	481.5	477.6	479.55
3	Persentase Lolos Ayakan No. 200	3.7	4.48	4.09

Sumber : Data Diolah

Gambar 5.3 Uji Kadar Lumpur
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Dari Tabel 5.3 didapatkan hasil pengujian kandungan lumpur sebesar 4,09 %, angka tersebut memenuhi persyaratan persentase kandungan lumpur agregat halus yaitu < 5%

5.2.4 Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume pasir pada kondisi padat dan berat volume pasir dalam keadaan gembur. Hasil dapat dilihat dalam Tabel 5.4 dan 5.5.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1.	Berat Tabung (gram)	10800	10150	10475
2.	Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (gram)	19150	18137	18644
3.	Berat Agregat (gram)	8350	7987	8169
4.	Volume Tabung (cm^3)	5353.02	5334,88	5343,95
5.	Berat Volume Gembur	1,56	1,50	1,53

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pasir

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1.	Berat Tabung (gram)	10800	10150	10475
2.	Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (gram)	21047	20116	20582
3.	Berat Agregat (gram)	10247	9966	10107
4.	Volume Tabung (cm^3)	5353,02	5334,88	5343,95
5.	Berat Volume Gembur	1,91	1,87	1,89

Sumber : Data Diolah

Gambar 5.4 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Pasir
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5.2.5 Pengujian Gradasi Pasir atau Modulus Halus Butir Agregat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi pasir yang digunakan sebagai agregat dalam *paving block*. Dari pengujian ini dapat ditentukan penggolongan pasir pada daerah tertentu. Dari hasil pemeriksaan ini diperoleh data pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Pengujian Gradasi Material Pasir

Nomor Saringan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
3/8"	10	0	0	0	100
4	4.8	0	0	0	100
8	2.36	77	3,88	3,88	96,12
16	1.18	351	17,66	21,54	78,46
30	0.6	423	21,29	42,83	57,17
50	0.3	371	18,67	61,50	38,50
100	0.15	390	19,63	81,13	18,87
	sisa	375	18,87	100	0
	jumlah	1987	100	310,87	

Sumber : Data Diolah

Gambar 5.5 Pengujian Gradasi Pasir
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

$$\text{MHB} = \frac{\text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

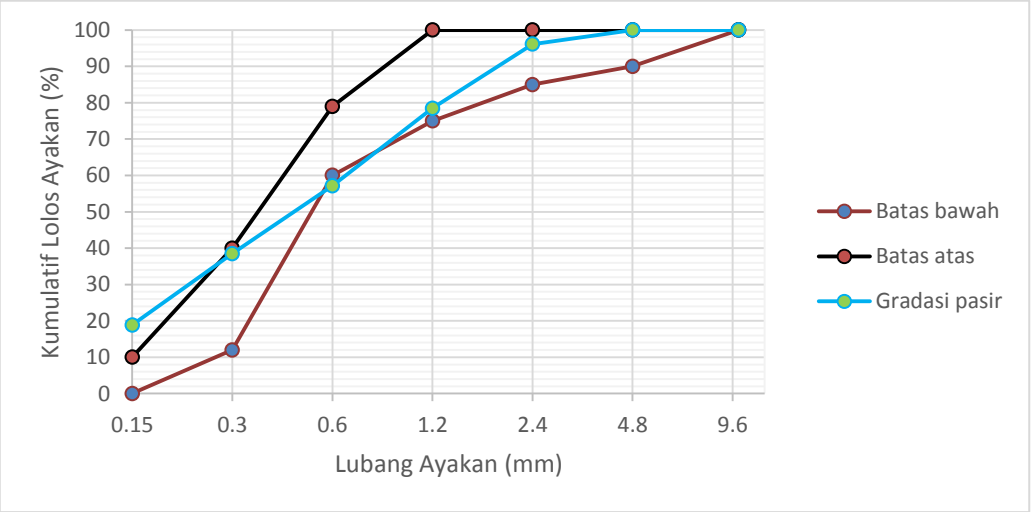
$$\text{MHB} = \frac{310{,}87}{100} = 3{,}2$$

Tabel 5.7 Penggolongan Daerah Gradasi

Nomor Saringan	Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir yang Lolos Ayakan				Hasil Saringan
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV	
3/8"	10	100	100	100	100	100
4	4.8	90-100	90-100	90-100	95-100	100
8	2.4	60-95	75-100	85-100	95-100	96,12
16	1.2	30-70	55-90	75-100	90-100	78,46
30	0.6	15-34	35-59	60-79	80-100	57,17
50	0.3	5-20.	8-30	12-40.	15-50	38,50
100	0.15	0-10	0-10	0-10	0-15	18,87

Sumber : Data Diolah

Dari hasil di atas dapat digambarkan dalam bentuk grafik gradasi, pada Gambar 5.1 berikut



Gambar 5.6 Gradasi Daerah III Material Pasir Agak Halus
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa nilai MHB adalah sebesar 3,2. Angka tersebut sesuai dengan syarat modulus halus butir yaitu 1,5-3,8. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan cukup baik untuk menghasilkan beton mutu tinggi secara optimal.

Gradasi yang dihasilkan dari pengujian gradasi agregat halus berada dalam golongan gradasi III yaitu gradasi dengan jenis pasir agak halus. Jika gradasi agregat halus sesuai dengan persyaratan, maka agregat halus tersebut dapat digunakan sebagai material pada beton.

5.3 Perhitungan Komposisi Campuran

Sebelum membuat campuran adukan untuk pembuatan *paving block*, bahan-bahan material yang digunakan sebagai campuran harus ditimbang sesuai kebutuhan untuk setiap benda uji sebagai berikut:

Berat volume pasir : 1,53 gram/cm^3

Berat volume semen : 2,08 gram/cm^3

Kadar lumpur pasir : 4,09 %

MHB pasir : 3,2

Benda uji yang akan dibuat menggunakan perbandingan campuran 1 pc : 6 ps, sedangkan untuk kebutuhan butiran keramik menggunakan perbandingan terhadap berat semen. Perhitungan kebutuhan bahan adalah sebagai berikut:

Volume 1 benda uji (*paving block*) = 20 x 10 x 6 cm = 1200 cm^3

Faktor pencampuran = 1,2 x 1200 = 1440 cm^3

Kebutuhan 1 *paving block* = 1440 x 1,53 = 2203,2 gram

Kebutuhan 6 *paving block* = 6 x 2203,2 = 13219,2 gram

a. Kebutuhan pasir = $\frac{6}{7}$ x 13219,2 = 11330,7 gram

b. Kebutuhan semen = $\frac{1}{7}$ x 13219,2 = 1888,5 gram

Kebutuhan butiran keramik terhadap volume semen

Untuk: 2,5% = $\frac{2,5}{100}$ x 1888,5 = 47,2 gram

5% = $\frac{5}{100}$ x 1888,5 = 94,4 gram

7,5% = $\frac{7,5}{100}$ x 1888,5 = 141,6 gram

10% = $\frac{10}{100}$ x 1888,5 = 188.8 gram

Tabel 5.8 Komposisi campuran *paving block*

PC (gr)	Pasir (gr)	Variasi (%)	Butiran Keramik (gram)	Jumlah Benda Uji
1888,5	11330,7	0	0	6
1841,2	11330,7	2,5	47,2	6
1794,0	11330,7	5	94,4	6
1746,8	11330,7	7,5	141,6	6
1699,6	11330,7	10	188.8	6

Sumber : Data Diolah

Gambar 5.7 Pembagian Komposisi Campuran
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5.4 Data Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi (TBK) Universitas Islam Indonesia.

5.4.1 Pengujian Kuat Tekan *Paving block*

Pengujian kuat desak *paving block* dilakukan pada waktu *paving block* mencapai umur 21 hari dengan jumlah benda uji 3 buah untuk masing-masing variasi butiran keramik 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen dan 3 buah *paving block* K-225 yang ada dipasaran (Berlian Paving) sebagai pembanding. Hasil pengujian kuat desak *paving block* memperlihatkan bahwa kuat desak *paving block* meningkat pada variasi 2,5% dan 5% kemudian kuat desak *paving block* menurun seiring dengan bertambahnya butiran keramik. Untuk memperoleh nilai kuat desak maksimal maka hasil kuat desak pada umur 21 hari dikonversikan ke umur 28 hari. Data hasil pengujian kuat desak dapat dilihat pada Tabel dan Gambar berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* SNI di Pasaran

No Benda Uji	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Desak 21 hari (Kg/Cm^2)	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28 hari (Kg/cm^2)	Mpa
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)								
SNI 1	20.24	10.13	6.01	205.03	2.22	1801.60	442	219.752	0.95	231.318	21.56
SNI 2	20.26	10.24	5.98	207.46	2.38	1918.39	408	200.471	0.95	211.022	19.67
SNI 3	20.21	10.08	5.81	203.72	2.26	1909.44	410	205.158	0.95	215.956	20.13
Rata - rata							420.000	208.460		**219.432**	**20.45**

Sumber : Data Diolah

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 0%

No Benda Uji	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Desak 21 hari (Kg/Cm2)	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28 hari (Kg/cm^2)	Mpa
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)								
I.1	20.19	10.16	5.67	205.13	2.13	1831.33	402	199.769	0.95	210.283	19.60
I.2	20.25	10.15	5.43	205.54	2.18	1953.28	412	204.332	0.95	215.087	20.05
I.3	20.24	10.14	5.48	205.23	2.21	1965.00	407	202.151	0.95	212.791	19.83
Rata - rata							407.000	202.084		**212.720**	**19.82**

Sumber : Data Diolah

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 2,5%

No Benda Uji	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Desak 21 hari (Kg/Cm2)	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28 hari (Kg/cm^2)	Mpa
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)								
II.1	20.32	10.18	5.51	206.86	2.18	1912.64	405	199.579	0.95	210.083	19.58
II.2	20.22	10.12	5.42	204.63	2.18	1965.60	506	252.069	0.95	265.336	24.73
II.3	20.29	10.19	5.51	206.76	2.22	1948.70	497	245.037	0.95	257.933	24.04
Rata - rata							469.333	232.228		**244.451**	**22.78**

Sumber : Data Diolah

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 5%

No Benda Uji	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Desak 21 hari (Kg/Cm2)	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28 hari (Kg/cm^2)	Mpa
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)								
III.1	20.27	10.16	5.71	205.94	2.29	1947.39	525	259.862	0.95	273.539	25.49
III.2	20.38	10.23	5.81	208.49	2.27	1874.00	370	180.906	0.95	190.427	17.75
III.3	20.31	10.22	5.74	207.57	2.32	1947.22	450	220.995	0.95	232.626	21.68
Rata - rata							448.333	220.588		**232.198**	**21.64**

Sumber : Data Diolah

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 7,5%

No Benda Uji	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Desak 21 hari (Kg/Cm2)	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28 hari (Kg/cm^2)	Mpa
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)								
IV.1	20.3	10.18	5.66	206.65	2.22	1897.98	360	177.578	0.95	186.924	17.42
IV.2	20.24	10.1	5.62	204.42	2.21	1923.64	415	206.941	0.95	217.833	20.30
IV.3	20.19	10.15	5.84	204.93	2.21	1846.62	302	150.223	0.95	158.129	14.74
Rata - rata							359.000	178.247		**187.629**	**17.49**

Sumber : Data Diolah

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 10%

No Benda Uji	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Desak 21 hari (Kg/Cm2)	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28 hari (Kg/cm^2)	Mpa
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)								
V.1	20.22	10.13	5.9	204.83	2.04	1688.06	245	121.929	0.95	128.346	11.96
V.2	20.19	10.19	5.66	205.74	2.08	1786.23	214	106.031	0.95	111.612	10.40
V.3	20.26	10.11	5.57	204.83	2.13	1866.95	292	145.319	0.95	152.968	14.26
Rata - rata							250.333	124.426		**130.975**	**12.21**

Sumber : Data Diolah

Contoh Perhitungan :

Sebagai contoh diambil hasil pengujian *paving block* pada variasi penambahan butiran keramik 2,5% pada sampel pertama.

Panjang (p) = 20,32 cm

Lebar (l) = 10,18 cm

Tinggi (t) = 5,51 cm

Luas (A) = p x l

= 20,32 x 10,18

= 206,86 cm^2

Beban Maksimum (P) = 405 kN

= 405 : (9,81x1000) = 41284,4 kg

Kuat Tekan 21 hari (σ'_b) = $\frac{P}{A}$

= $\frac{41284,4}{206,86}$ = 199,579 kg/cm^2

Angka konversi 28 hari = 0,95

Konversi ke 28 hari = $\frac{199,579}{0,95}$

= 210,083 kg/cm^2

Dari ketiga hasil kuat desak *paving block* pada variasi 2,5% dijumlahkan kemudian dibagi jumlah benda uji untuk mendapatkan kuat desak rata-rata pada setiap variasi. Untuk kuat desak rata-rata dapat dicari dengan persamaan berikut:

Kuat desak rata-rata (σ'_{bm}) = $\frac{\sum \sigma' b}{n}$

= $\frac{210,083+265,336+257,933}{3}$

= 244,451 kg/cm^2

Berikut hasil rata-rata dari perhitungan kuat desak dan persentase kenaikan kuat desak dapat dilihat pada Tabel 5.15, 5.16 dan dapat dilihat pada Gambar 5.7:

Tabel 5.15 Kuat Desak Rata-rata dan Penggolongan Mutu *Paving block*

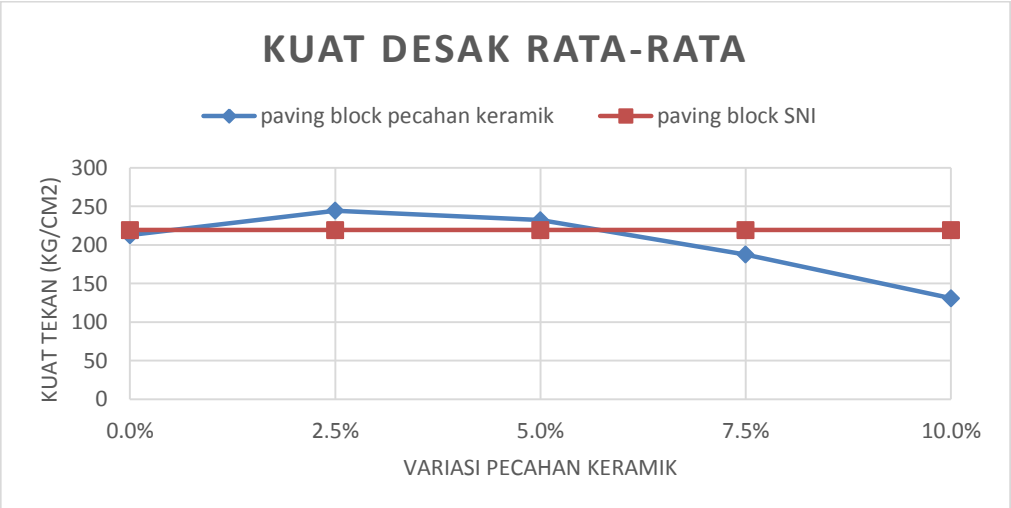
No	Variasi	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm^2)	Mpa	SNI (kg/cm^2)	SNI (Mpa)	Mutu Paving Block (SNI-03-0691-1996)	Keterangan (SNI-03-0691-1996)
1	0.0%	212.72	19.82	219.43	20.45	B	Pelataran Parkir
2	2.5%	244.45	22.78	219.43	20.45	B	Pelataran Parkir
3	5.0%	232.20	21.64	219.43	20.45	B	Pelataran Parkir
4	7.5%	187.63	17.49	219.43	20.45	B	Pelataran Parkir
5	10.0%	130.98	12.21	219.43	20.45	C	Trotoar

Sumber : Data Diolah

Tabel 5.16 Persentase Kenaikan Kuat Desak

No	Variasi	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm^2)	Perubahan Nilai Kuat Tekan (%)
1	0.0%	212.72	0
2	2.5%	244.45	14,92
3	5.0%	232.20	9,16
4	7.5%	187.63	-11,79
5	10.0%	130.98	-38,43

Sumber : Data Diolah



Gambar 5.8 Grafik Kuat Desak Rata-rata *Paving block*
(Sumber : Data Diolah)

Gambar 5.9 Pengujian Kuat Desak

5.4.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tekan

Kandungan senyawa silika yang terdapat pada butiran keramik ternyata dapat memberikan pengaruh yang cukup besar pada kuat desak *paving block*. Limbah pecahan keramik yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran dapat meningkatkan nilai kuat tekan *paving block*. Kuat desak optimum terjadi pada variasi butiran keramik sebesar 2,5%, dan 5% kemudian mengalami penurunan seiring dengan penambahan variasi butiran keramik. Dari hasil diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa butiran keramik tidak dapat sepenuhnya menggantikan fungsi semen sebagai bahan ikat karena tidak semua kandungan senyawa yang ada pada semen terdapat pada butiran keramik, tetapi dengan variasi penambahan yang sedikit mampu meningkatkan nilai kuat tekannya. Butiran keramik lebih cocok dijadikan sebagai bahan tambah (addition) bukan sebagai bahan pengganti.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka alternative limbah pecahan keramik sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan *paving block* dapat memberikan peningkatan yang cukup baik pada nilai kuat

desak *paving block*. *Paving block* dengan penambahan butiran keramik mampu bersaing dengan *paving block* yang berada dipasaran pada kondisi tertentu yaitu pada variasi butiran keramik sebesar 2,5% dan 5% karena memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dari hasil kuat tekan *paving block* SNI. Dan menurut SNI 03 – 0961 – 1996 *paving block* tipe holand dengan ketebalan 6 cm yang dihasilkan tergolong kedalam *paving block* dengan mutu B pada variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5% yang dapat digunakan untuk pelataran parkir dan 10% dengan mutu C yang kegunaanya untuk pejalan kaki (trotoar).

5.4.3 Pengujian Penyerapan Air *Paving Block*

Pengujian penyerapan air benda uji *paving block* dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 2 buah untuk masing-masing variasi penambahan butiran keramik sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dan 2 buah *paving block* yang ada di pasaran sebagai pembanding. Dari hasil pengujian daya serap air pada *paving block* didapatkan daya serap air masing-masing benda uji. Dari kedua sampel tersebut diambil nilai daya serap air rata-ratanya untuk setiap variasi penambahan limbah pecahan keramik. Sebagai contoh perhitungan diambil perhitungan daya serap air variasi penambahan butiran keramik 2,5% sampel pertama.

Contoh perhitungan :

Berat basah (Wb) = 2.310 kg

Berat kering (Wk) = 2.170 kg

Serapan air (%) $= \frac{Wb-Wk}{Wk}$ x 100%

$= \frac{2.310-2.170}{2.170}$ x 100%

= 6.452 %

Untuk nilai daya serap air rata-rata variasi butiran keramik 2,5% adalah sebagai berikut :

Serapan air rata-rata $= \frac{\sum \text{Serapan air}}{n}$

$= \frac{6.452+ 6.393}{2}$ = 6.422 %

Dari setiap variasi penambahan didapatkan daya serap air rata-ratanya yang akan digunakan sebagai acuan dan perbandingan terhadap daya serap air variasi penambahan butiran keramik satu dengan yang lain. Hasil daya serap air rata-rata *paving block* masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel dan Gambar berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* SNI di Pasaran

No Benda Uji	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Rata-Rata
SNI 1	2.472	2.330	6.094	7.162
SNI 2	2.63	2.430	8.230	

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* 0%

No Benda Uji	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Rata-Rata
I.4	2.35	2.230	5.381	5.677
I.5	2.395	2.260	5.973	

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* 2,5%

No Benda Uji	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Rata-Rata
II.4	2.31	2.170	6.452	6.422
II.5	2.33	2.190	6.393	

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* 5%

No Benda Uji	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Rata-Rata
III.4	2.43	2.260	7.522	7.550
III.5	2.442	2.270	7.577	

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* 7,5%

No Benda Uji	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Rata-Rata
IV.4	2.399	2.224	7.869	7.899
IV.5	2.355	2.182	7.929	

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* 10%

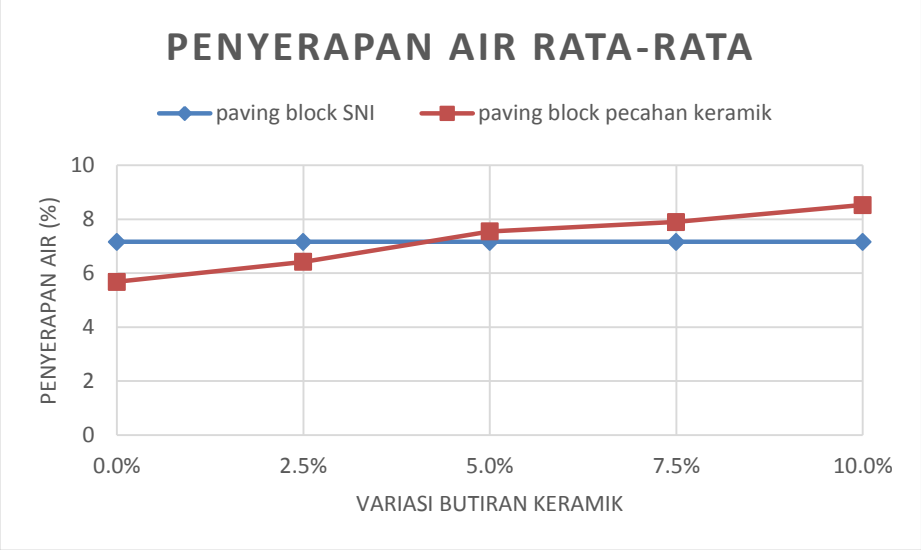
No Benda Uji	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Rata-Rata
V.4	2.345	2.160	8.565	8.528
V.5	2.3	2.120	8.491	

Tabel 5.23 Daya Serap Air Rata-rata dan Penggolongan Mutu *Paving block*

No	Variasi	Penyerapan Air (%)		Mutu Paving Block (SNI-03-0691-1996)
		SNI	Variasi	
1	0.0%	7.162	5.677	B
2	2.5%	7.162	6.422	C
3	5.0%	7.162	7.550	C
4	7.5%	7.162	7.899	C
5	10.0%	7.162	8.528	D

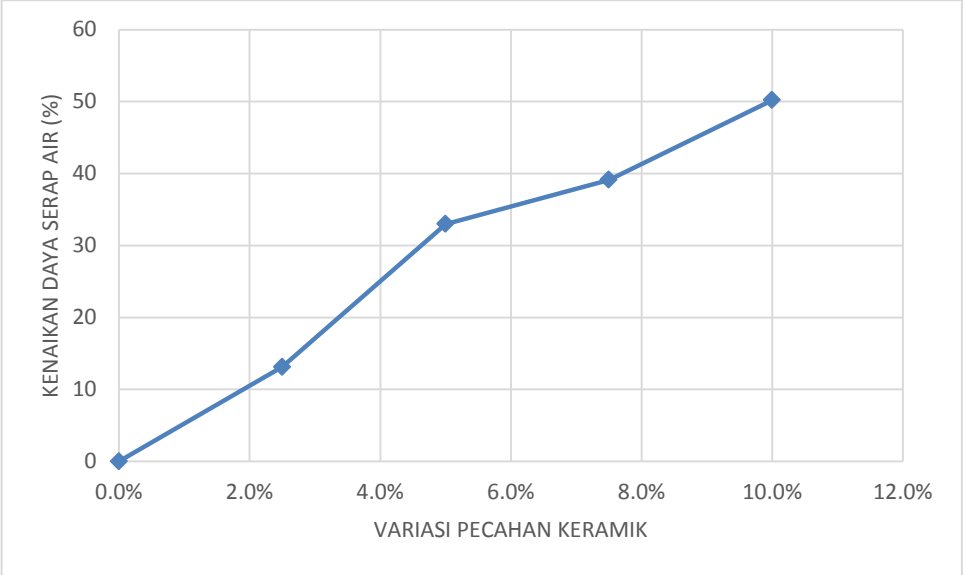
Sumber : Data Diolah

Grafik hasil pengujian daya serap air rata-rata pada masing-masing variasi butiran keramik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.10 Grafik Daya Serap Air Rata-rata
(Sumber : Data Diolah)

Jika kenaikan daya serap air dibandingkan dengan nilai daya serap air *paving block* normal (tanpa variasi butiran keramik) maka didapatkan persentase kenaikannya sebagai berikut.



Gambar 5.11 Grafik Persentase Kenaikan Serapan Air
(Sumber : Data Diolah)

Gambar 5.12 Pengeringan Benda Uji
(Sumber : Data Diolah)

5.4.4 Pembahasan Hasil Uji Penyerapan Air

Dari tabel hasil pengujian penyerapan air (porositas) diketahui bahwa *paving block* SNI di pasaran memiliki persentase penyerapan air kurang dari 8% dan rerata *paving block* butiran keramik memiliki persentase penyerapan air yang terus meningkat sejalan dengan penambahan kadar butiran keramik.

Untuk *paving block* tanpa penambahan butiran keramik memiliki serapan air sebesar 5,677% lebih rendah dari serapan air dengan penambahan 2,5% butiran keramik yang mencapai 6,422%. Serapan air yang lebih tinggi diperoleh dari *paving block* dengan penambahan 5-10% butiran keramik yang mencapai 7,550%, 7,899%, dan 8,528%. Hal ini dikarenakan sifat dari butiran keramik mempunyai daya serap air yang cukup besar, karena keramik mengandung bahan silika yang bersifat pozzolan yaitu menyerap air.

Dari hasil uji kuat tekan dan penyerapan air didapat hasil yang optimum terdapat pada variasi 2,5% dengan mutu kuat tekan B dan penyerapan air C, sehingga *Paving Block* yang dihasilkan lebih cocok digunakan sebagai tempat pejalan kaki, halaman rumah, dan jalan perumahan. Hubungan antara daya serap air dan kuat desak berdasarkan grafik pada gambar 5.8 dan gambar 5.10 menunjukan bahwa semakin besar kuat desaknya maka semakin rendah daya serap air yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin kecil kuat desaknya maka semakin besar daya serap air yang dihasilkan.

5.5 Perhitungan Harga Pokok Produksi *Paving Block*

Setelah didapatkan *paving block* butiran keramik yang memiliki kuat desak dan serapan air sesuai dengan standar SNI-03-0691-1996 maka selanjutnya dilakukan perhitungan analisis kelayakan produksi *paving block* dengan limbah pecahan keramik, dengan analisis perhitungan kelayakan ekonomi pada variasi butiran keramik yang optimum, yaitu pada perbandingan 2,5 % dan 5 %. Data – data biaya yang ada pada perhitungan berdasarkan hasil wawancara. Kapasitas mencetak mesin pres *paving block* sebesar 2400/hari. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

1. Menghitung biaya alat
   a. Alat Utama
      1) Harga alat press *paving block*
         Model : HJM 6 MPP = Rp 68.000.000,-
      4) Alat *Mixer* = Rp 20.000.000,-
      5) Total harga alat = Rp 88.000.000,-
      6) Umur alat = 5 tahun
      7) Nilai sisa alat = Rp 17.600.000,-
      8) Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun
      9) Penyusutan = $\frac{88.000.000 - 17.600.000}{5x300}$
         = Rp 46.933,33,- /hari
   b. Alat Bantu
      1) Ember @10bh = Rp. 100.000,-
      2) Cetok @2bh = Rp. 20.000,-
      c. Sekop kecil @2bh = Rp. 30.000,-
      d. Cangkul @1bh = Rp. 80.000,-
      e. Palu @2bh = Rp. 50.000,-
      f. Harga total alat bantu = Rp 280.000,-
      g. Umur alat = 6 bulan
      h. Nilai sisa alat = 0
      i. Jumlah hari kerja = 150 hari
      j. Penyusutan = $\frac{280000-0}{150}$
         = Rp. 1.866,-/hari
      Total biaya penyusutan alat per hari = Rp 48.799,-

2. Menghitung biaya bangunan
   a. Harga bangunan = Rp 20.000.000,-
   b. Umur bangunan = 5 tahun

c. Nilai sisa bangunan = -

d. Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

e. Penyusutan = $\frac{20.000.000 - 0}{5x300}$

= Rp 13.333,-

3. Menghitung biaya perawatan alat

a. Listrik dan air per bulan = Rp 250.000,-/bulan (25hari)

b. Listrik dan air perhari = $\frac{25.000}{25}$ = Rp 10.000,-

4. Menghitung biaya papan dasar

a. Total pengerasan = 1 hari

b. Kebutuhan *paving block* per hari = 2400 paving

c. Kebutuhan papan = 200 papan

d. Harga satuan papan = Rp 10.000,-

e. Harga total papan = Rp 2.000.000,-

f. Umur papan = 6 bulan

g. Nilai sisa = -

h. Jumlah hari kerja per 6 bulan = 150 hari

i. Penyusutan papan per hari = $\frac{2.000.000 - 0}{150}$

= Rp. 13.333,- /hari

5. Menghitung biaya upah

a. Jumlah perkerja = 5 orang

b. Penghasilan *paving block* per hari = 200 /papan

c. Upah pekerja per papan = Rp 2000,-/papan

d. Upah pekerja per hari = (200 x Rp 2000,-) : 5

= Rp 80.000,-/orang/hari

e. Pimpinan = 1

f. Gaji pimpinan per hari = Rp 85.000,-

g. Total upah per hari = Rp 485.000,-/hari

6. Menghitung biaya material

a. Kebutuhan material pada 1 *paving block* variasi 2,5%

1 PC : 6 PS : 2,5 % PK

0,307 kg + 1,888 kg + 0,00787 = 2,203 kg (Tabel 5.8)

b. Kebutuhan pasir (PS) perhari $= \frac{Berat\ Pasir}{Berat\ Total}$ x 2400

$= \frac{1{,}888}{2{,}203}$ x 2400

= 2057,14 kg

= 2057,14 : 1200

= 1,71 m^3

Harga pasir per m^3 = Rp 125.000,-

Biaya pasir perhari = Rp 213.750,-

Biaya Angkut Pasir/km = Rp 3.000,-

Biaya angkut jarak 5 km = 3000 x 5

= Rp 15.000,-

Total biaya kebutuhan pasir per hari = Rp 228.750,-

c. Kebutuhan semen (PC) perhari $= \frac{Berat\ Semen}{Berat\ Total}$ x 2400

$= \frac{0{,}307}{2{,}203}$ x 2400

= 334,45 kg = 9 sak

Harga semen per 1 sak = Rp 39.000,-

Biaya semen perhari = Rp 351.000,-

Biaya Angkut Semen per km = Rp 3.000,-

Biaya angkut jarak 3 km = Rp 9.000,-

Total biaya kebutuhan semen per hari = Rp 360.000,-

d. Kebutuhan butiran keramik $= \frac{Berat\ Bk}{Berat\ Total}$ x 2400

$= \frac{0{,}00787}{2{,}203}$ x 2400

= 8,57 kg

Berat keramik per dus isi 25 = 15 kg

Harga keramik per dus isi 25 = Rp 40.000,-

Harga per kg = 40000 : 15

= Rp 2.666,7,-

Harga kebutuhan keramik per hari = 2666,7 x 8,57

= Rp 22.853,6,- ≈ Rp 22.900,-

Upah tukang memecah keramik per hari = Rp 10.000/orang

Harga 2 Orang tukang = Rp 20.000

Biaya angkut jarak 3 km = Rp 9.000,-

Total biaya kebutuhan keramik per hari = Rp 51.900,-

e. Total biaya material perhari = Rp 640.650,-

7. Biaya makan minum

a. Makan minum per satu pekerja = Rp 15.000,-

b. Total personil = 6 orang

c. Total biaya konsumsi = 6 x Rp 15.000

= Rp 90.000,- /hari

8. Biaya THR

a. Uang per tahun = Rp 250.000/tahun

b. Jumlah pekerja = 5 orang

c. Jumlah pemimpin = 1 orang

d. Uang per hari = Rp 5.000,- /hari

e. Barang per tahun = Rp 150.000/tahun

f. Barang per hari = Rp 3.000,-/hari

g. Total biaya THR = Rp 8.000,- /hari

9. Rekapitulasi total biaya pengeluaran per hari
   a. Biaya mesin dan alat = Rp 48.799,-
   b. Biaya bangunan = Rp 13.333,-
   c. Biaya operasional dan perawatan = Rp 10.000,-
   d. Biaya papan dasar = Rp 13.333,-
   e. Biaya material = Rp 640.650,-
   f. Biaya tenaga kerja = Rp 485.000,-
   g. Biaya konsumsi = Rp 90.000,-
   h. Biaya tunjangan hari raya = Rp 8.000,-
   i. Total biaya pengeluaran per hari = Rp 1.309.115,-/hari

10. Menghitung harga pokok produksi lapangan
    a. Produksi *paving block* per hari = 2400 paving/hari
    b. Total biaya pengeluaran = Rp 1.309.115,-/hari

    HPP Lapangan $= \frac{1.309.115}{2400}$

    = Rp 545,46,-

    20% Margin perusahaan = 20% x 545,46/100

    = Rp 109,09,-

    PPN 10% = 545,46 x 0,1

    = Rp 54,55-

    Harga dasar paving = HPP + Margin + PPN

    = Rp 709,10-

    Biaya kirim per paving = Rp 200,-

    Harga pokok total = Rp 909,10,-/buah

    Total Pemasukan = 909,10 x 2400

    = Rp 2.181.840,-

11. Menghitung penghasilan produksi per hari
    a. Produksi *paving block* per hari = 2400 paving/hari
    b. Harga jual *paving block* Berlian Paving = Rp 1229,-/buah

Total Pemasukan = 2400 x Rp 1229

= Rp 2.949.600,-/hari

12. Menghitung keuntungan per *paving block*

a. Persentase keuntungan per buah = $\frac{1229-909,10}{1229}$ x 100%

= 26,03%

Keuntungannya = Rp. 1.229 – Rp. 909,10

= Rp. 319,9 /buah

b. Keuntungan per hari

Produksi per hari – keuntungan per *paving block*

= 2400 buah x Rp 319,9

= Rp 767.760,-/hari

c. Keuntungan per bulan

Jumlah hari kerja = 25 hari/bln

Keuntungan 1 bulan = 25 x Rp 767.760,-

= Rp 19.194.000,-/bulan

d. Keuntungan per tahun

Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

Keuntungan 1 tahun = 300 x Rp 767.760

= Rp 230.328.000,-/tahun

Bila harga produksi per hari membutuhkan biaya pengeluaran sebesar Rp 1.309.115,- dengan produksi *paving block* per hari adalah 2400 buah maka harga pokok produksi adalah sebesar Rp 545,46,- per buah pada variasi butiran keramik 2,5% dan Rp 555,30,- pada variasi 5% dengan pengeluaran sebesar Rp 1.332.715,- per hari.

Hasil wawancara dengan salah satu pengusaha *paving block* menunjukkan ongkos kirim ke konsumen sebesar Rp 200,- per buah dengan radius 5 km dan mempunyai margin keuntungan 20% dan dikenakan Pajak Pertambahan Nilai (PPn) sebesar 10% sehingga harga pokok produksi total variasi 2,5% adalah Rp 909,10,- per paving dan pada variasi 5% adalah Rp 921,89,- per paving.

Sehingga diperoleh hasil analisis bahwa usaha produksi pembuatan *paving block* dengan butiran keramik ini menguntungkan bagi para pengusahanya, dengan asumsi bahwa bahan baku bukan berasal dari limbah melainkan dari pembelian pada distributor keramik. Keuntungan bersih pada variasi 2,5% sebesar Rp 319,9,- /buah dan pada variasi 5% sebesar Rp 307,11,- /buah. Dan apabila dijual dengan harga seperti dipasaran (Berlian Paving) sebesar Rp 1.229,- / buah maka diperoleh keuntungan sebesar 26,03 % pada variasi 2,5 % dan pada variasi 5% sebesar 24,99 %. dari penjualan. Dari perbandingan keuntungan didapat keuntungan optimal terdapat pada variasi 2,5 %. Untuk keuntungan per bulan dan tahunnya sebesar Rp 19.194.000,-/bulan dan Rp 230.328.000,-/tahun. Harga tersebut sudah termasuk PPN 10%. Harga ini dianggap dan diyakini bahwa *paving block* dengan butiran keramik dapat bersaing dengan harga dipasaran.

5.6 Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Sebelumnya

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pembuatan *paving block* dengan bahan pecahan keramik, maka jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu tentang pengaruh penambahan pecahan keramik pada pembuatan *paving block* (Putri, 2017) diperoleh perbedaan nilai kuat tekan sebagai berikut:

Tabel 5.24 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Variasi	Penelitian Terdahulu	Variasi	Penelitian Lanjutan
	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm^2)		Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm^2)
0%	424.167	0%	212.72
5%	436.667	2.5%	244.45
10%	465	5%	232.20
15%	523.333	7.5%	187.63
		10%	130.98

Sumber : Data Diolah

Hasil penelitian untuk nilai kuat tekan pada penelitian terdahulu dengan perbandingan 1 : 5 mengalami peningkatan seiring dengan penambahan variasi pecahan keramik, hasil optimum diperoleh pada penambahan variasi pecahan keramik sebesar 15% yaitu sebesar 523,333 kg/cm^2. Sedangkan pada penelitian lanjutan menggunakan perbandingan 1 : 6 nilai kuat tekan optimum diperoleh pada variasi penambahan butiran keramik sebesar 2,5% yaitu sebesar 244,45 kg/cm^2, yang kemudian pada variasi 7,5% sampai dengan 10% nilai kuat tekannya menurun. Pada Penelitian sebelumnya tidak ditinjau dari segi penyerapan air. Perbedaan yang cukup besar pada nilai kuat tekan dikarenakan pada penelitian sebelumnya pecahan keramik digunakan sebagai bahan tambah bukan sebagai bahan pengganti sebagian semen, sehingga nilai kuat tekannya tinggi dan mengalami peningkatan seiring penambahan pecahan keramik. Sedangkan pada penelitian lanjutan butiran pecahan keramik digunakan sebagai pengganti sebagian semen, sehingga berkurangnya fungsi semen sebagai bahan ikat yang digantikan oleh butiran keramik dimana kandungan keramik tidak sepenuhnya sama dengan semen dan ini berdampak pada turunnya nilai kuat tekan pada variasi 7,5%-10%. Dari sini dapat di tarik kesimpulan bahwa butiran keramik baik jika digunakan sebagai pengganti semen namun pada kadar tertentu. Apabila melebihi kadar yang ditentukan maka *paving block* yang akan dihasilkan akan menjadi tidak maksimal.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian kuat tekan, penyerapan air dan harga produksi *paving block* dengan bahan pecahan keramik yaitu sebagai berikut:

a. Hasil penelitian kuat tekan rata-rata *paving block* dengan penambahan 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% pecahan keramik berturut-turut yaitu 212,72 kg/cm^2, 244,45 kg/cm^2, 232,20 kg/cm^2, 187,63 kg/cm^2, dan 130.98 kg/cm^2. *Paving block* dengan variasi 2,5% atau dengan komposisi campuran 1 pc : 6 pasir : 2,5% pecahan keramik memiliki kuat tekan yang paling tinggi yakni 244,45 kg/cm^2 atau setara dengan 22,78 Mpa. Hal ini sesuai Standar SNI-03-0691-1996 kategori *paving block* mutu B dengan kegunaan sebagai pelataran parkir. Penggunaan pecahan keramik sebagai pengganti sebagian semen hanya akan mencapai nilai kuat tekan optimum pada kadar tertentu, namun berbeda hasilnya jika dijadikan bahan tambah yang nilainya akan terus meningkat seiring dengan penambahan variasi.

b. Daya serap air pada *paving block* mengalami peningkatan setiap penambahan limbah pecahan keramik dibandingkan dengan *paving block* normal (tanpa penambahan limbah pecahan keramik). Semakin besar penambahan variasi limbah pecahan keramik semakin meningkat juga kadar daya serap air dari *paving block*. Hasil penelitian daya serap air *paving block* pecahan keramik berturut-turut yaitu sebesar 5,677%, 6,422%, 7,550%, 7,899%, dan 8,528%.

c. Pada perhitungan harga produksi *paving block* pecahan keramik memiliki harga pokok total sebesar Rp. 909,10 per buah, sehingga bila *paving*

block dijual dengan harga seperti yang ada dipasaran (Berlian Paving) sebesar Rp.1.229,- per buah maka *paving block* pecahan keramik lebih murah dibandingkan dengan *paving block* di pasaran dan mempunyai keuntungan sebesar 26,03% per buah.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang diharapkan mampu menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut, diantaranya:

a. Pada penelitian ini didapatkan sampel benda uji yang kurang dari yang direncanakan, dikarenakan adanya *human error* pada saat pengadukan dan pengetaran alat untuk meratakan adukan kedalam cetakan yang berdampak tidak maksimalnya benda uji yang dihasilkan. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan mesin pencampur adukan *paving block* berjenis otomatis, karena adukan dapat tercampur lebih baik daripada yang dilakukan secara manual.

b. Pada penelitian selanjutnya diharapkan pengujian tidak hanya pada kuat tekan dan penyerapan air saja, namun juga nilai kuat lentur, dan ketahanan aus agar dapat lebih memahami sifat dari *paving block* tersebut.

c. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh pecahan keramik pada *paving block* dengan menggunakan perbandingan lain antara semen dan pasir, variasi penambahan pecahan keramik yang lebih besar, atau menggunakan ketebalan *paving block* 8 cm menggunakan metode yang sama dengan penelitian ini yang diharapkan mampu memberikan kekuatan yang maksimal dan daya serap yang lebih kecil.

d. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak sebatas menghitung harga pokok produksi saja, namun juga harga jual dan strategi pemasaran dalam penjualan *paving block* sehingga dapat bermanfaat bagi pembaca yang ingin membuka usaha *paving block* dengan bahan tambah butiran keramik.

e. Melihat hasil penelitian ini diharapkan ada tindak lanjut pemakaian limbah pecahan keramik agar tidak terbuang begitu saja yang hanya akan

mengotori lingkungan, namun dapat dijadikan bahan tambah pembuatan *paving block* yang dapat menaikan nilai kuat tekan dan meningkatkan keuntungan dari penjualan *paving block.*

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2014). *Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik.* Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Anonim. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971),* Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Bandung.

Batubara, Helmina. (2013). *Penentuan Harga Pokok Produksi Berdasarkan Metode Full Costing Pada Pembuatan Etalase Kaca dan Aluminium di UD. Istana Aluminium Manado.* Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Gandhi, Kumala. Chandra. (2010). *Pengaruh Penggunaan Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Aggregat Kasar Terhadap Pembuatan Bata Beton Bertulang,* Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Karimah, Rofikatul. (2017). *Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Berat Jenis dan Kuat Tekan Pada Beton Ringan Ramah Lingkungan,* Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.

Mulyadi. (2003). *Sistem Akuntansi*, Yayasan Keluarga Pahlawan Negara. Yogyakarta.

Pramuji, Anton. Luhur. (2007). *Pengaruh Penambahan Tras Muria Sebagai Bahan Ikat Tambahan Pada Pembuatan Paving Block Ditinjau Terhadap Nilai Kuat Tekan, Ketahanan Aus dan Serapan Air*, Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Putri, Aulia. Zastavia. (2017). *Pengaruh Penambahan Pecahan Keramik Pada Pembuatan Paving Block Ditinjau Dari Nilai Kuat Tekan,* Universitas Katolik Soegipranata. Semarang.

Rohman, Arief. Khabibur. (2016). *Analisa Uji Kuat Tekan Paving Block Dengan Memanfaatkan Tailing Sebagai Pengganti Sebagian Semen,* Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto.

Standar Nasional Indonesia. (1996). *SNI 03-0691-1996 Bata Beton (Paving Block),* Dewan Standarisasi Nasional. Bandung.

Suwarni. (2010). *Pengaruh Pemanfaatan Pecahan Keramik Sebagai Agregat Kasar Pada Pembuatan Bata Beton Bertulang Ditinjau dari Kuat Tekan, Serap Air, dan Nilai Ekonomisnya.* Universitas Negeri Semarang, Semarang.

Tjokrodimuljo, Kardiyono. (1996). *Teknologi Beton, Bahan Ajar Jurusan Teknik Sipil, Terbitan Pertama.* Nafiri. Yogyakarta.

Widodo, Slamet. (2007). *Struktur Beton.* Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

LAMPIRAN 1

HASIL PENGUJIAN BAHAN

Lampiran L-1.1 Analisa Saringan Pecahan Keramik

ANALISA SARINGAN PECAHAN KERAMIK					
Nomor Saringan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
3/8"	10	0	0	0	100
4	4.8	0	0	0	100
8	2.36	0	0	0	100
16	1.18	0	0	0	100
30	0.6	0	0.00	0.00	100
50	0.3	106	20.78	20.78	79.22
100	0.15	118	23.14	43.92	56.08
	sisa	286	56.08	100.00	0.00
	jumlah	510	100.00	164.71	

Lampiran L-1.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS				
Uraian	sampel 1	sampel 2	sampel 3	rata-rata
Berat kering pasir mutlak, gram (Bk)	467.3	464.7	468.1	466.7
Berat pasir kondisi kerih jenuh muka (SSD), gram	500	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1007.2	1008.2	1003.9	1006.4
Berat piknometer berisi air, gram (B)	706	706	706	706
Berat jenis curah Bk/(B + 500 - Bt)	2.35	2.35	2.32	2.34
Berat jenis jenuh kering muka 500/(B + 500 - Bt)	2.52	2.53	2.47	2.51
Berat jenis semu Bk/(B + Bk - Bt)	2.81	2.86	2.75	2.81
Penyerapan air (500 - Bk)/Bk x 100% (%)	7.00	7.60	6.81	7.14

Lampiran L-1.3 Analisa Saringan Agregat Halus

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS				
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
10	0	0	0	100
4.8	0	0	0	100
2.36	77	3.87	3.87	96.13
1.18	351	17.66	21.53	78.47
0.6	423	21.28	42.81	57.19
0.3	371	18.67	61.48	38.52
0.15	390	19.62	81.1	18.9
sisa	375	18.87	100	0
jumlah	1987		310.79	

Lampiran L-1.4 Pengujian Kadar Lumpur

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1	Berat Pasir Kering Oven (gram) (W1)	500	500	500
2	Berat Pasir Kering Oven Setelah Dicuci (gram) (W2)	481.5	478.6	479.9
3	Persentase Lolos Ayakan No. 200	3.7	4.28	4.02

DATA UJI DESAK PAVING BLOCK TYPE HOLLAND

Pemakai : WAHYU WIBOWO
Keperluan : DATA TUGAS AKHIR
Lokasi : LAB. TEKNOLOGI BAHAN KONSTRUKSI

Pembuatan Benda Uji : 25 JULI 2018
Di Uji Tanggal : 24 AGUSTUS 2018

No Benda Uji	Umur Benda Uji (hari)	Dimensi			Luas Penampang (cm^2)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m^3)	Beban Maksimum (kN)	**Kuat Desak (Kg/Cm^2)**	Angka Konversi Umur	Kuat Desak Konversi Umur 28	Rata-rata	Mpa	rata-rata	Mutu paving
		Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)											
SNI 1	21	20.24	10.13	6.01	205.03	2.22	1801.60	442	219.752	0.95	231.318		21.56		
SNI 2	21	20.26	10.24	5.98	207.46	2.38	1918.39	408	200.471	0.95	211.022	**219.432**	19.67	20.45	B
SNI 3	21	20.21	10.08	5.81	203.72	2.26	1909.44	410	205.158	0.95	215.956		20.13		
I.1	21	20.19	10.16	5.67	205.13	2.13	1831.33	402	199.769	0.95	210.283		19.60		
I.2	21	20.25	10.15	5.43	205.54	2.18	1953.28	412	204.332	0.95	215.087	**212.72**	20.05	19.82	B
I.3	21	20.24	10.14	5.48	205.23	2.21	1965.00	407	202.151	0.95	212.791		19.83		
II.1	21	20.32	10.18	5.51	206.86	2.18	1912.64	405	199.579	0.95	210.083		19.58		
II.2	21	20.22	10.12	5.42	204.63	2.18	1965.60	506	252.069	0.95	265.336	**244.451**	24.73	22.78	B
II.3	21	20.29	10.19	5.51	206.76	2.22	1948.70	497	245.037	0.95	257.933		24.04		
III.1	21	20.27	10.16	5.71	205.94	2.29	1947.39	525	259.862	0.95	273.539		25.49		
III.2	21	20.38	10.23	5.81	208.49	2.27	1874.00	370	180.906	0.95	190.427	**232.198**	17.75	21.64	B
III.3	21	20.31	10.22	5.74	207.57	2.32	1947.22	450	220.995	0.95	232.626		21.68		
IV.1	21	20.3	10.18	5.66	206.65	2.22	1897.98	360	177.578	0.95	186.924		17.42		
IV.2	21	20.24	10.1	5.62	204.42	2.21	1923.64	415	206.941	0.95	217.833	**187.629**	20.30	17.49	B
IV.3	21	20.19	10.15	5.84	204.93	2.21	1846.62	302	150.223	0.95	158.129		14.74		
V.1	21	20.22	10.13	5.9	204.83	2.04	1688.06	245	121.929	0.95	128.346		11.96		
V.2	21	20.19	10.19	5.66	205.74	2.08	1786.23	214	106.031	0.95	111.612	**130.975**	10.40	12.21	C
V.3	21	20.26	10.11	5.57	204.83	2.13	1866.95	292	145.319	0.95	152.968		14.26		

Kepala Lab. Teknologi Bahan Konstruksi

an.

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

(Darusalam)

LAMPIRAN 2

DOKUMENTASI PENELITIAN

Gambar L-2.1 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Gambar L-2.2 Proses Pencetakan Benda Uji

Gambar L-2.3 Hasil Percetakan *Paving Block* Variasi 0%

Gambar L-2.4 Hasil Percetakan *Paving Block* Variasi 2,5 %

Gambar L-2.5 Hasil Percetakan *Paving Block* Variasi 5 %

Gambar L-2.6 Hasil Percetakan *Paving Block* Variasi 7,5 %

Gambar L-2.7 Hasil Percetakan *Paving Block* Variasi 10 %

Gambar L-2.8 Perendaman Benda Uji

Gambar L-2.9 Penjemuran Benda Uji