PENGARUH LIMBAH SERBUK KACA (*GLASS POWDER*) TERHADAP KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*

SKRIPSI

NURAINUN BR PASARIBU
NIM: 0705163019

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA
MEDAN
2022

PENGARUH LIMBAH SERBUK KACA (*GLASS POWDER*) TERHADAP KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Mencapai Gelar Sarjana Sains (S.Si.)

NURAINUN BR PASARIBU
NIM: 0705163019

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA
MEDAN
2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

Hal : Surat Persetujuan Skripsi
Lamp: -

Kepada Yth,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah membaca, meneliti, memberi petunjuk, mengoreksi dan melakukan perbaikan, kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama	: Nurainun Br Pasaribu
Nomor Induk Mahasiswa	: 0705163019
Program Studi	: Fisika
Judul	: Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (*Glass Powder*) Terhadap Karakteristik *Paving Block*

dapat disetujui untuk segera di*munaqasyah*kan. Atas perhatiannya kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 1 Desember 2021 M
25 Rabiul Akhir 1443 H

Komisi Pembimbing,

Pembimbing Skripsi I,	Pembimbing Skripsi II,
Dr. Abdul Halim Daulay, S.T., M.Si.	Ratni Sirait, M.Pd.
NIP. 198111062005011003	NIB. 1100000071

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Nurainun Br Pasaribu
Nomor Induk Mahasiswa	:	0705163019
Program Studi	:	Fisika
Judul	:	Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (*Glass Powder*) Terhadap Karakteristik *Paving Block*

Saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan asli karya sendiri, terkecuali terhadap tulisan dan rangkuman yang sudah dicantumkan referensinya. Jika di kemudian hari skripsi ini terbukti sebagai hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Medan, 01 Desember 2021

Nurainun Br Pasaribu
NIM. 0705163019

KEMENTRIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA MEDAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Lapangan Golf, Desa Durian Jangak, Kecamatan Pancur Batu,
Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara, Kode Pos 20353
Website : https://www.saintek.uinsu.ac.id E-mail : saintek@uinsu.ac.id

PENGESAHAN SKRIPSI

Nomor : B.054/ST/ST.V2/PP.01.1/03/2022

Judul	: Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (*Glass Powder*) Terhadap Karakteristik *Paving Block*
Nama	: Nurainun Br Pasaribu
Nomor Induk Mahasiswa	: 0705163019
Program	: Fisika
Fakultas	: Sains dan Teknologi

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Skripsi Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan dan dinyatakan **LULUS**.

Pada hari/ tanggal : Jumat / 25 Februari 2022
Tempat : Ruang Sidang Fakultas Sains dan Teknologi

Tim Ujian Munaqasyah,
Ketua,

Nazzaruddin Nasution, M.Pd.
NIB. 1100000070

Dewan Penguji,

Penguji I,	Penguji II,
Mulkan Iskandar Nasution, M.Si.	Masthura, M.Si
NIB. 1100000120	NIB. 1100000069
Penguji III,	Penguji IV,
Dr. Abdul Halim Daulay, S.T., M.Si.	Ratni Sirait, M.Pd.
NIP. 198111062005011003	NIB. 1100000071

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sumatera Utara Medan

Dr. Mhd. Syahnan, M.A.
NIP. 196609051991031002

PENGARUH LIMBAH SERBUK KACA (*GLASS POWDER*) TERHADAP KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*

ABSTRAK

Dilakukannya penelitian ini dengan tujuan untuk (1) mengetahui pengaruh serbuk kaca terhadap karakteristik *paving block*. (2) mengetahui variasi komposisi pencampuran serbuk kaca, semen, pasir, dan air untuk menghasilkan karakteristik yang optimum. Variasi komposisi campuran semen, serbuk kaca, dan pasir adalah: 0%:30%:70%, 2,5%:30%:67,5%, 5%:30%:65%, 7,5%:30%:62,5%, 10%:30%:60% dengan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,5 pada semua variasi. Karakterisasi yang dilakukan meliputi sifat fisis (densitas, daya serap air) dan mekanis (kuat tekan, kuat lentur). Hasil penelitian yang dilakukan pada nilai daya serap air dan kuat tekan pada sampel A yaitu 8,14% dan 9,22 MPa, sampel B yaitu 9,07% dan 9,91 MPa, sampel C yaitu 9,64% dan 10,12 MPa, sampel D yaitu 11,70% dan 10,39 MPa, dan sampel E yaitu 12,51% dan 10,97 MPa. Sampel uji yang sudah memenuhi syarat mutu D yang ditetapkan oleh standar SNI 03- 0691-1996 yaitu sampel A, B dan C. Komposisi pencampuran serbuk kaca, semen, pasir, dan air untuk menghasilkan *paving block* dengan karakteristik yang optimum adalah 5%:30%:65% pada sampel C dengan nilai daya serap air sebesar 9,64% dan nilai kuat tekan sebesar 10,12 MPa. Hal ini disebabkan karena pada komposisi ini *paving block* yang dihasilkan memiliki nilai daya serap air terendah dan nilai kuat tekan tertinggi.

Kata-kata kunci: Serbuk Kaca, Sifat Fisis, Sifat Mekanis, dan *Paving Block*

THE EFFECT OF WASTE GLASS POWDER ON PAVING BLOCK CHARACTERISTICS

ABSTRACT

Research has been carried out that aims to (1) determine the effect of glass powder on the characteristics of paving blocks. (2) knowing the variation of the composition of the mixing of glass powder, cement, sand, and water to produce optimum characteristics. Variations in the composition of the mixture of cement, glass powder, and sand are: 0%:30%:70%, 2,5%:30%:67,5%, 5%:30%:65%, 7,5%:30%:62,5%, 10%:30%:60% with Water Cement Factor (FAS) of 0,5 in all variations. Characterization carried out includes physical properties (density, water absorption) and mechanical (compressive strength, flexural strength). The results of research conducted on the value of water absorption and compressive strength in sample A are 8,14% and 9,22 MPa, sample B is 9,07% and 9,91 MPa, sample C is 9,64% and 10,12 MPa, sample D was 11,70% and 10,39 MPa, and sample E was 12,51% and 10,97 MPa, respectively. The test samples that have met the D quality requirements set by the SNI standard 03-0691-1996 are samples A, B and C. The composition of mixing glass powder, cement, sand, and water to produce paving blocks with optimum characteristics is 5%:30 %:65% in sample C with a water absorption value of 9,64% and a compressive strength value of 10,12 MPa. This is because in this composition the paving blocks produced have the lowest water absorption value and the highest compressive strength value.

Keywords: *Glass Powder, Physical Properties, Mechanical Properties, and Paving Block*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji diucapkan kepada Allah SWT yang telah mengkaruniakan petunjuk dan kasih sayangnya kepada penulis. Sholawat beriringkan salam penulis hadiahkan kepada Baginda Rasulullah, Nabi Muhammad SAW yang telah membawakan risalah ilmu pengetahuan kepada umat manusia yang dengan ilmu pengetahuan tersebut telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dengan judul "Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (*Glass Powder*) Terhadap Karakteristik *Paving Block*".

Atas terselesaikannya penyusunan skripsi ini dengan baik, tidak lepas dari bantuan dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan ribuan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Syahrin Harahap, M.A., sebagai Rektor UINSU Medan.
2. Bapak Dr. Mhd. Syahnan, M.A., sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UINSU Medan.
3. Bapak Muhammad Nuh, S.Pd., M.Pd., sebagai Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UINSU Medan.
4. Ibu Miftahul Husnah, S.Pd., M.Si., sebagai Sekretaris Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UINSU Medan.
5. Bapak Dr. Abdul Halim Daulay, S.T., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah banyak membagi waktu, memberikan bimbingan, dan saran-sarannya, sehingga penyusunan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik.
6. Ibu Ratni Sirait, M.Pd., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi II yang senantiasa membimbing, mendampingi dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
7. Ibu Masthura, M.Si., sebagai dosen Penasihat Akademik yang senantiasa menasehati, mengarahkan, memotivasi, dan memberikan saran, serta arahan kepada penulis.

8. Seluruh Guru Besar Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi UINSU Medan yang telah mendukung setiap upaya penulis dalam menempuh pendidikan.
9. Ayahanda Alm. Mulkan Tinaro Pasaribu dan Ibunda Nurasima Hasibuan, penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah mencintai, menyayangi dan mendoakan tiada henti-hentinya, nasihat, motivasi, memberikan dukungan baik moril maupun materilnya selama penulis menempuh studi di UIN Sumatera Utara. Dan terima kasih juga kepada saudara kandung penulis juga semua anggota keluargaku yang sudah mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.

Semoga ini memberikan manfaat, menambah ilmu, dapat dijadikan referensi untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini.

Aamiin Ya Rabbal Alaamiin.

Medan, 1 Desember 2021

Penulis

Nurainun Br Pasaribu
NIM. 0705163019

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN SKRIPSI ..... **i**
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **ii**
PENGESAHAN SKRIPSI ..... **iii**
ABSTRAK ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Limbah Kaca 5
2.2 *Paving Block* 8
2.3 Semen *Portland* 11
2.4 Agregat 13
2.5 Faktor Air Semen (FAS) 15
2.6 Sifat Fisis *Paving Block* 15
2.6.1. Densitas 15
2.6.2. Daya Serap Air 16
2.7 Sifat Mekanis *Paving Block* 16
2.7.1 Kuat Tekan (*Compressive Strength*) 16
2.7.2 Kuat Lentur 17
2.8 Penelitian yang Relevan 17
2.9 Hipotesis Penelitian 18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 19
3.1.1 Tempat Penelitian 19
3.1.2 Waktu Penelitian 19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 19
3.2.1 Alat-alat Penelitian 19
3.2.2 Bahan Penelitian 20
3.3 Diagram Alir Penelitian 21
3.3.1 Tahap Pembuatan Serbuk Kaca 21
3.3.2 Tahap Pembuatan dan Karakterisasi *Paving Block* 22
3.4 Prosedur Penelitian 23
3.4.1. Pembuatan Serbuk Kaca 23
3.4.2. Pembuatan *Paving Block* 23
3.5 Metode Karakterisasi Fisis 24
3.5.1 Densitas 24
3.5.2 Daya Serap Air 24
3.6 Metode Karakterisasi Mekanis 25
3.6.1 Pengujian Kuat Tekan 25
3.6.2 Pengujian Kuat Lentur 26
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 27
4.1. Karakterisasi Sifat Fisis 27
4.1.1. Densitas 27
4.1.2. Daya Serap Air 28
4.2. Karakteristik Sifat Mekanis 30
4.2.1. Kuat Tekan 30
4.2.2. Kuat Lentur 32
4.3. Pembahasan Penelitian 34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 36
5.1. Kesimpulan 36
5.2. Saran 36
DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN-LAMPIRAN 40

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul Tabel	Halaman
2.1	Kandungan Kimia Serbuk Kaca	6
2.2	Kandungan Kaca	6
2.3	Sifat-Sifat Fisis *Paving Block* Berdasarkan SNI 03-0691-1996	9
2.4	Komposisi Kimia Semen	12
3.1	Komposisi Bahan Baku Pembuatan *Paving Block*	23
4.1	Data Hasil Pengukuran Densitas *Paving Block*	27
4.2	Data Hasil Pengukuran Daya Serap Air *Paving Block*	29
4.3	Data Hasil Pengukuran Kuat Tekan *Paving Block*	31
4.4	Data Hasil Pengukuran Kuat Lentur *Paving Block*	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Limbah Kaca	5
3.1	Tahap Pembuatan Serbuk Kaca	21
3.2	Tahap Pembuatan dan Karakterisasi *Paving Block*	22
3.3	Sampel *Paving Block* untuk Uji Kuat Lentur	25
3.4	Sampel *Paving Block* untuk Uji Daya Serap Air, Densitas, dan Kuat Tekan	25
3.5	*Universal Testing Machine* (UTM)	26
4.1	Grafik Hasil Pengukuran Densitas *Paving Block*	28
4.2	Grafik Hasil Pengukuran Daya Serap Air *Paving Block*	29
4.3	Grafik Hasil Pengukuran Kuat Tekan *Paving Block*	31
4.4	Grafik Hasil Pengukuran Kuat Lentur *Paving Block*	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul Lampiran	Halaman
1	Gambar Alat-Alat Percobaan	40
2	Gambar Bahan Percobaan	42
3	Gambar Sampel *Paving Block*	43
4	Data Pengukuran Densitas	44
5	Data Pengukuran Daya Serap Air	51
6	Data Pengujian Kuat Tekan	57
7	Data Pengujuan Kuat Lentur	58
8	SNI-03-0691-1996 tentang Bata Beton (*Paving Block*)	59
9	SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung	67
10	Surat Keterangan Pengujian	69

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Era sekarang ini sudah banyak dikembangkan material konstruksi dengan komposisi semen, air dan pasir, di antaranya; *Paving block*, blok kerucut, bangunan beton, dan penutup atap. *Paving block* adalah bahan bangunan yang dikembangkan dari mortar (semen instan) yang telah diproses selama pembuatan, seperti; pemadatan (metode pengepresan yang paling umum), getaran dan/atau keduanya. *Paving block* banyak digunakan untuk trotoar, taman bermain/taman, pengaspalan jalan ringan dan pelapis permukaan lainnya yang penggunaannya masih mampu menahan air di permukaan.

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang didasarkan pada campuran semen *portland* atau bahan pengikat sejenis, air dan agregat halus, dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak menurunkan mutu beton.

Segala macam bentuk dan ukuran lantai, dimana lantai tersebut dijual, semua ini biasanya tergantung dari pabrik yang mencetaknya, deviasi yang terjadi pada lantai dan deviasi yang diijinkan ±3 mm, dalam hal ini lantai juga mengutamakan kualitas perkerasan (Rommel, 2009).

Kemudahan pemasangan dan perawatan menjadi tolak ukur mengapa *paving block* lebih banyak diminati. *Paving block* memiliki lebih banyak variasi dalam hal bentuk, ukuran, warna, pola, dan tekstur permukaan, serta ketahanan. Guna meningkatkan ketahanan *paving block* maka perlu ditambahkan variasi komposisi campuran yang memakai silika sebagai *filler* dan pelebur dalam pembuatan *paving block*, salah satunya menggunakan bahan kaca.

Bahan kaca adalah salah satu bahan anorganik yang terbuat dari proses pencampuran berbagai macam bahan dasar salah satunya pasir silika yang kemudian didinginkan hingga fasa padat. Secara umum unsur kimia yang terkandung pada kaca, yaitu *silica*, *kalsium oksida*, dan *natrium oksida* (Kusuma, 2012).

Bahan kaca paling terkenal yang sudah dipergunakan selama berabad-abad sebagai jendela dan gelas minum adalah gelas soda-*lime*, yang terbuat dari 75% silika (SiO_2) ditambahkan Na_2O, CaO, dan beberapa aditif lainnya. Dari sudut pandang kimia, kaca merupakan kombinasi dari berbagai oksida anorganik nonvolatil, yang diproses dari penguraian dan pencairan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir, dan berbagai kelompok keramik lainnya. Kekhususan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pencetakannya.

Limbah kaca adalah kotoran yang kebanyakan diproduksi dari kehidupan masyarakat khususnya di kota-kota besar. Limbah kaca semakin hari semakin meningkat volumenya disebabkan banyak aktivitas manusia yang memproduksi kaca, kebanyakan limbah kaca tersebut terbuang di lapangan terbuka, hal ini tentunya dapat mengotori lingkungan, karena kaca merupakan bahan yang tidak dapat didaur ulang secara alami. Oleh sebab itu, inovasi harus dilakukan guna meminimalisasi limbah kaca, salah caranya dengan menggunakan limbah kaca yang ada untuk diolah menjadi salah satu bahan campuran *paving block* (Sejati & Gunawan, 2019).

Mutu *paving block* yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan bisa memenuhi salah satu syarat mutu beban sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Oleh karena itu, perlu diupayakan uji kualitas yang terdiri dari: Uji kuat tekan, kuat lentur, densitas, dan daya serap air. Dalam mencapai kualitas *paving block* yang baik, dilakukan perbandingan komposisi campuran bahan dalam pembuatan *paving block*, dengan campuran semen, pasir dan kaca.

Dengan adanya penelitian "Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (*Glass Powder*) Terhadap Karakteristik *Paving Block*" diharapkan diperoleh *paving block* dengan sifat mekanik dan sifat fisis yang lebih baik serta memberikan solusi dalam meminimalisasi limbah kaca yang telah banyak mengotori lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang sebelumnya, ditetapkanlah beberapa permasalahan penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh serbuk kaca terhadap karakteristik *paving block*?

2. Bagaimana variasi komposisi pencampuran serbuk kaca, semen, pasir, dan air untuk menghasilkan *paving block* dengan karakteristik yang optimum?

1.2 Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan permasalahan penelitian ini, maka perlu dilakukan pembatasan agar focus pada penyelesaian yang akan dibahas dalam penelitian ini, adapun keterbatasan pertanyaan penelitian ini, yaitu:

1. Serbuk kaca yang dipakai pada penelitian ini bersumber dari limbah kaca atau tempat pembuangan sampah.
2. Semen yang dipakai dalam penelitian ini adalah semen berjenis *portland* tipe 1.
3. Pasir ang dipakai dalam penelitian ini yaitu pasir yang diperjual-belikan.
4. Air menggunakan air yang bersih.
5. Variasi bahan-bahan pencampuran serbuk kaca, semen, pasir, dengan FAS 0,5 adalah:
   A. 0% : 30% : 70%
   B. 2,5% : 30% : 67,5%
   C. 5% : 30% : 65%
   D. 7,5% : 30% : 62,5 %
   E. 10% : 30% : 60%
6. Cetakan:
   a) Kubus (3x3x3) cm^3 yang fungsinya sebagai media cetak pada sampel pengujian kuat tekanan, densitas, dan kemampuan menyerap air.
   b) Balok (10x3x3) cm^3 berguna sebagai media cetak pada sampel pengujian kekuatan lentur.
7. Sampel dipress menggunakan mesin *Hot Press* pada suhu 95 ˚C dengan durasi waktu selama 30 menit dan pembebanan sebesar 40 kg/cm^2.
8. Waktu pengeringan *paving block* adalah 28 hari.
9. Karakteristik yang diterapkan pada *paving block* menggunakan uji mekanik dan fisis terhadap sampel yang sudah tercetak dan dijemur. Proses pengujian ini terdiri dari: uji kemampuan menerima tekanan, uji kemampuan melentur, densitas, dan uji kemampuan menyerap air.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh serbuk kaca terhadap karakteristik *paving block*.
2. Untuk mengetahui variasi komposisi pencampuran bahan serbuk kaca, bahan pasir, bahan semen, dan air dalam pembuatan *paving block* dengan spesifikasi yang optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan/penggunaan limbah serbuk kaca dalam pembuatan *paving block.*
2. Mengurangi dampak buruk limbah serbuk kaca terhadap lingkungan.
3. Sebagai referensi bagi mahasiswa/i lain yang akan meneliti objek yang sama dengan penelitian ini.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Kaca

Kaca merupakan salah satu produk industri kimia yang merupakan gabungan beberapa oksida anorganik yang memiliki tingkat penguapan rendah, yang diproduksi dari penguraian dan pencairan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir dan berbagai bahan lainnya. Dari sudut pandang fisika, kaca adalah cairan yang sangat dingin. Kondisi demikian disebabkan oleh struktur partikel yang menyusunnya saling berjauhan seperti dalam zat cair, tetapi kaca itu sendiri adalah benda padat. Hal ini terjadi karena proses pendinginan yang sangat cepat, sehingga partikel silika tidak sempat mengatur dirinya sendiri secara teratur. Kaca merupakan hasil pengayaan senyawa organik yang telah mendingin tanpa mengkristal. Unsur utama kaca adalah silika.

Gambar 2.1 Limbah Kaca

Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya.

Kaca memiliki ciri-ciri yang khas dibandingkan dengan kelompok keramik lainnya. Kekhususan ciri-ciri kaca ini utamanya disebabkan oleh uniknya silika (SiO_2) serta siklus terbentuknya. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam pembentukan kaca secara singkat dapat dipahami sebagai berikut:

$Na_2CO_3 + a.SiO_2$ $Na_2O.aSiO_2 + CO_2$

$CaCO_3 + b.SiO_2$ $CaO.bSiO_2 + CO_2$

$Na_2SO_4 + c.SiO_2 + C\ Na_2O.cSiO_2 + SO_2 + SO_2 + CO$

Beberapa sifat umum kaca adalah:

1. Padatan amorf (urutan peringkat pendek);
2. Padat, tetapi susunan atom-atomnya seperti susunan cairan;
3. Tidak memiliki titik leleh yang ditentukan dalam kisaran tertentu;
4. Transparan, tahan terhadap serangan kimia, selain dari *hidrogen fluorida*. Itulah sebabnya kaca banyak dipakai pada peralatan laboratorium;
5. Efektif sebagai isolator;
6. Mampu menahan vakum tetapi rapuh pada benturan (Nursyamsi, Indrawan, & Hastuty, 2016).

Kaca merupakan bahan padat yang bening, transparan (tembus cahaya), namun rapuh. Jenis yang paling banyak dipakai selama ratusan tahun adalah untuk jendela dan wadah minum. Kaca terdiri dari 75% silikon dioksida (SiO_2), ditambah Na_2O, CaO dan beberapa zat aditif.

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Serbuk Kaca

Unsur	Kandungan (%)
SiO_2	61,72
Al_2O_3	3,45
Fe_2O_3	0,18
CaO	2,59

Sumber: (Purnomo & Hisyam, 2014)

Isi kaca ada bermacam-macam tergantung jenis kacanya, yaitu: *clear glass, amber glass, green glass, pyrex glass,* dan *fused silica*. Kandungan dalam jenis kaca tersebut akan dijelaskan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kandungan Kaca

Jenis Kaca	*Clear Glass*	*Amber Glass*	*Green Glass*	*Pyrex Glass*	*Fused Silica*
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SiO_2	73,2 – 73,5	71,0 – 72,4	71,27	81	99,87
Al_2O_3	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
Na_2O+K_2O	13,6 – 14,1	13,8 – 14,4	13,06	4	-
CaO+MgO	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-
SO_3	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe_2O_3	0,04 – 0,05	0,3	0,599	3,72	-
Cr_2O_3	-	0,01	0,43	12,0 – 13,0	-

Sumber: (Wibowo, 2013)

Manusia dapat memanfaatkan alam sekitar untuk kelangsungan hidupnya, tetapi tidak boleh merusaknya agar manusia dapat hidup sejahtera terus menerus dari generasi ke generasi. Oleh karena itu, Allah SWT secara tegas melarang umat Islam untuk berbuat kerusakan di muka bumi. Dalam Al-Qur'an, Allah SWT berfirman dalam surah Al-Qashash, ayat 77:

...وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِى الْاَرْضِ ۗاِنَّ اللّٰهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِيْنَ (الـ ق صص : ٧٧)

Artinya: "...dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi. Sungguh, Allah tidak menyukai orang yang berbuat kerusakan." (QS. Al-Qashash [28]: 77)

Sehingga kerusakan alam terjadi dimana-mana, baik di darat maupun di laut. Dalam Al-Qur'an, Allah SWT berfirman dalam Surat Ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)." (QS. Ar-Rum [30]: 41)

Dalam hal ini Al-Qur'an memaknai kerusakan yang terjadi di darat dan di laut sebagai akibat perbuatan manusia. Kerusakan lahan terjadi tidak hanya dari upaya manusia untuk menebang hutan atau mengeksplorasi sumber daya alam lainnya, tetapi juga dari limbah yang dibuang oleh manusia sebelum diolah menjadi polutan yang dapat berbahaya untuk kelangsungan hidup manusia. Salah satunya adalah limbah kaca.

Limbah kaca dalam jumlah besar dari industri dan rumah tangga merupakan sumber masalah lingkungan. Pemanfaatan limbah kaca untuk digunakan kembali merupakan salah satu solusi yang tepat untuk pengelolaan limbah. Masalah lingkungan juga ditemukan di industri semen. Proses produksi bahan baku semen menjadi semen dibutuhkan proses batu bara yang dibakar yang menyebabkan emisi gas karbondioksida dalam jumlah yang relatif besar untuk meningkatkan pemanasan global. Untuk mengurangi dampak ini, peneliti telah mencoba mengganti sebagian semen dengan bahan pozzolan atau bahan semen

lainnya, tanpa mengurangi kualitas beton yang dihasilkan secara signifikan. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan sisa serbuk kaca sebagai serbuk sekaligus mengurangi penggunaan semen pada beton yang dapat memadat sendiri. Serbuk kaca diharapkan dapat berfungsi sebagai *filler* dan *binder* karena berpotensi sebagai material pozzolan (Herbudiman & Januar, 2011).

2.2 *Paving Block*

Paving block adalah material pengerasan dan penutup permukaan tanah yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan, dari kebutuhan sederhana hingga aplikasi yang membutuhkan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat digunakan untuk mengeraskan dan memperindah trotoar di perkotaan, mengaspal kawasan pemukiman, mempercantik taman, mengeraskan area parkir, area perkantoran, bahkan digunakan di area khusus seperti pelabuhan, terminal peti kemas, bandara, terminal bus, dan stasiun (Handayasari & Artiani, 2019).

Paving block sendiri merupakan produk bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, agregat dan air atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mengurangi kualitas *paving block* dan dipergunakan sebagai alternatif untuk menutupi atau mengeraskan permukaan tanah. *Paving block* juga dikenal sebagai balok beton atau balok kerucut. Sebagai bahan pengeras dan penutup permukaan tanah, *paving block* banyak digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari kebutuhan yang sederhana hingga aplikasi yang membutuhkan spesifikasi khusus. (Handayasari, Artiani, & Putri, 2018).

Klasifikasi *Paving Block* menurut (Standar, 1996) SNI 03-0691-1996, *paving Block*, diklasifikasikan menjadi 4 jenis menurut mutu dan kegunaannya, yaitu:

1. *Paving block* kualitas A: dipakai untuk jalan
2. *Paving block* kualitas B: dipakai untuk pelataran parkir
3. *Paving block* kualitas C: dipakai untuk pejalan kaki
4. *Paving block* kualitas D: dipakai untuk taman dan manfaat lainnnya.

Paving block yang berkualitas baik adalah yang memiliki nilai kuat tekan (satuan MPa) yang tinggi dan nilai serapan yang rendah (persentase penyerapan

air) (%). Semakin tinggi nilai tekanan, semakin baik *paving block*. Untuk presentase penyerapan air (absorbsi), semakin rendah nilai absorbsi maka produk *paving block* semakin kuat. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* dengan kualitas terendah (mutu D) memiliki kuat tekan minimal 8,5 MPa dan persentase penyerapan air rata-rata maksimum 10% (Nuhun, 2019).

Menurut (Wijaya C. , 2019), mengenai persyaratan kualitas *paving block*, ada beberapa hal yang perlu dipahami dalam menetapkan kualitas *paving block*. Menurut SN-03-0691-1996, persyaratan mutu yang harus dipenuhi *paving block* antara lain:

1. Sifat tampak

   Paving block harus memiliki permukaan yang rata, tidak ada retak atau cacat, sudut dan rusuk tidak mudah dipatahkan oleh kekuatan jari.
2. Ukuran

   Paving block harus memiliki ketebalan minimal 60 mm dengan toleransi 8%.
3. Batu bata beton harus memiliki sifat fisik seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3. Sifat-sifat fisis *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996

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

Keterangan:

a. *Paving block* grade A dipakai untuk pengaspalan jalan. Kualitas sebuah bata beton di atas membutuhkan kuat tekan minimal 35 MPa dan rata-rata 40 MPa.
b. Untuk areal parkir digunakan *paving block* grade B. *Paving block* grade B di atas membutuhkan kuat tekan minimal 17 MPa dan rata-rata 20 MPa.
c. *Paving block* grade C dipakai untuk trotoar. *Paving block* grade C di atas membutuhkan kuat tekan minimal 12,5 MPa dan rata-rata 15 MPa.
d. *Paving block* grade D digunakan untuk pertamanan dan sejenisnya. *Paving block* grade D di atas membutuhkan kuat tekan minimal 8,5 MPa dan rata-rata 10 MPa.

4. Ketahanan terhadap natrium sulfat

   Bata beton saat diuji tidak boleh berubah bentuk, dan penurunan berat yang dikenakan maksimal 1%.

Adapun beberapa macam bentuk *paving block* yang diproduksi, namun diambil secara garis besar bentuk *paving block* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

Ada beberapa jenis *paving block* yang diproduksi, namun secara garis besar *paving block* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. *Paving block* bentuk segiempat (*rectangular*)
b. *Paving block* bentuk segi banyak
c. *Paving block* persegi empat (persegi panjang)
d. *Paving block* berbentuk persegi banyak.

Sedangkan untuk penggunaan bentuk *paving block* itu sendiri bisa disesuaikan dengan kebutuhan. Baik kebutuhan konstruksi pengerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang hingga padat (misalnya: jalan raya, kawasan industri, jalan umum lainnya), sehingga penggunaan *paving block* persegi panjang lebih cocok.

Paving block ini mempunyai ketahanan yang bervariasi dari 250 kg/cm^2 sampai 450 kg/cm^2 tergantung dari penggunaan lapisan pengerasan. Pada umumnya *Paving block* yang telah dibentuk memiliki ciri-ciri kuat tekanan antara 300 kg/cm^2 sampai dengan 350 kg/cm^2.

Dari segi ketahanan dan dampak terhadap lingkungan, terbukti *paving block* lebih ramah lingkungan, diyakini dengan memanfaatkan ruang-ruang yang ada pada susunan *conblok* terpasang sebagai resapan air dibandingkan dengan alternatif pilihan pengerasan lainnya, seperti pengaspalan jalan atau pengecoran beton. Struktur *paving block* telah dimanfaatkan di Eropa mulai tahun 1950, sedangkan di Indonesia baru dikenal pada tahun 1977, khususnya dalam pembuatan trotoar di Jalan Thamrin dan Terminal Bus Pulo Gadung, Jakarta. Sejak itu, *paving block* telah digunakan di tempat parkir, trotoar, peralatan konstruksi, jalan masuk pada permukaan bangunan, dan trotoar di area tertentu.

1. Keunggulan *Paving Block*
   a. *Paving block* memiliki daya serap air yang baik sehingga dapat mengurangi genangan air dan mencegah banjir.
   b. Pemasangan *paving block* sangat mudah, tidak menggunakan spesi pemasangan, pengikat antara masing-masing *paving block* cukup menggunakan pasir sebagai bahan pengisi.
   c. Pemasangan *paving block* sangat mudah, tidak memakai spesifikasi pemasangan, pengikat antar masing-masing *paving block* cukup menggunakan pasir sebagai bahan pengisi.
   d. Dapat diproduksi secara massal, kualitas tinggi membutuhkan tekanan pada saat pencetakan.
   e. Menahan beban vertikal dan horizontal yang disebabkan oleh kecepatan kendaraan berat atau rem.
   f. Adanya pori-pori pada *paving block* bisa meminimalkan aliran permukaan dan meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah.
   g. Pada saat bekerja tidak menarik gangguan kebisingan dan debu.
   h. Memiliki nilai estetika yang unik, terutama jika dirancang dengan cara warna yang indah.
2. Kekurangan Penggunaan *Paving block*
   a. Pasangan *paving block* mudah bergelombang jika pondasi tidak dipasang dengan kuat.
   b. *Paving block* juga tidak cocok untuk dipasang di area yang dilewati kendaraan dengan kecepatan tinggi. Oleh karena itu, *paving block* hanya cocok dipasang di lahan yang dilalui kendaraan berkecepatan rendah, misalnya di kawasan pemukiman, taman kota, tempat parkir, dan kawasan perkotaan yang padat.

Dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan *paving block*, maka penggunaannya harus disesuaikan dengan kebutuhan. Jika ingin memakai *paving block*, pakailah *paving block* yang berkualitas baik. *Paving block* yang baik dan layak untuk dipakai adalah *paving block* yang bentuknya sempurna, tidak retak atau melengkung, dan sudut rusuknya tidak mudah patah dengan tangan (Azwar, 2019).

2.3 Semen *Portland*

Semen *portland* semen hidrolik yang diproduksi dengan penyemprotan klinker, terutama terdiri dari kalsium silikat hidrolik dan gipsum sebagai bahan pembantu. Semen *portland* merupakan bahan pengikat yang penting dan banyak digunakan dalam konstruksi fisik (Purnomo & Hisyam, 2014).

Semen berfungsi sebagai pengikat pada rongga-rongga udara antar agregat. Semen merupakan bahan yang memiliki sifat perekat dan kohesif yang dibutuhkan sebagai pengikat agregat menjadi massa padat. Semen dapat dibedakan menjadi dua, yaitu semen non-hidrolik dan semen hidrolik. Semen non-hidrolik merupakan semen yang bisa mengeras namun tidak stabil dalam air, misalnya kapur. Semen hidrolik merupakan semen yang mengeras jika berinteraksi dengan air dan memiliki sifat tahan air, misalnya semen *portland*.

Bahan baku pembuatan semen *portland* adalah kapur, silika, alumina, besi dan gipsum. Tahapan produksi semen *portland* dibagi menjadi dua proses, yaitu proses kering dan proses basah. Proses produksinya terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Penambangan di tambang.
2. Pemecahan di pabrik penghancur.
3. *Grinding* (pencampuran).
4. Campur bahan.
5. Pembakaran (tungku).
6. Penggilingan produk pembakaran.
7. Penambahan bahan tambahan (gibum).
8. *Holding* (pabrik pengepakan).

Tabel di bawah ini menunjukkan komposisi kimia dari semen.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Semen

No	Komposisi Kandungan	(%)
1	CaO	60 – 67
2	SiO_2	17 – 25
3	Al_2O_3	3 – 8
4	Fe_2O_3	0,5 – 6,0
5	MgO	0,1 – 4,0
6	K_2O, Na_2O, SO_3	0,4 – 3,0

Senyawa utama dari semen *Portland* terdiri dari Trikalsium Silikat ($3CaO.SiO_2$) atau (C_3S), Dikalsium Silikat ($2CaO.SiO_2$) atau (C_2S), Trikalsium Aluminat ($3CaO.Al_2O_3$) atau (C_3A), dan Tetrakalsium Aluminoferrit ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$), atau (C_4AF) yang memiliki sifat berbeda. Senyawa C_3S dan C_2S merupakan senyawa yang memiliki sifat perekat. C_3A adalah senyawa yang paling reaktif. C_4AF berguna sebagai katalis (*fluxing agent*) yang menurunkan temperatur pembakaran di dalam tungku untuk pembentukan kalsium silikat. Selain keempat senyawa tersebut juga terdapat *gypsum* yang berguna untuk mengantisipasi terjadinya pengurangan kecelakaan pada saat proses hidrasi semen. Proses hidrasi terjadi ketika air ditambahkan ke dalam campuran semen dan dihasilkan senyawa terhidrasi. Fungsi dari proses hidrasi semen adalah untuk mengisi rongga antar agregat atau mengikat agregat menjadi suatu massa padat.

Bentuk-bentuk semen *portland* berdasarkan standar ASTM C.150 yaitu :

a. Tipe I merupakan semen *portland* yang diperuntukkan untuk keperluan umum, biasanya tidak membutuhkan sifat-sifat khusus, misalnya gedung, trotoar, jembatan dan lain-lain.
b. Tipe II merupakan semen *portland* yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sulfat, penggunaannya pada pir (dinding di dermaga laut), dinding tebal yang tahan terhadap tanah dan lain-lain.
c. Tipe III merupakan semen *portland* ketahanan awal tinggi. Ketahanan biasanya dicapai dalam waktu seminggu. Biasanya digunakan ketika acuan perlu dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur perlu segera digunakan.
d. Tipe IV adalah semen *Portland* dengan panas hidrasi rendah. Ini digunakan untuk kondisi di mana laju dan jumlah panas yang dihasilkan harus dijaga agar tetap minimum. Misalnya, di gedung-gedung besar, seperti bendungan gravitasi besar. Perkembangan kekuatannya lebih lambat dari kelas I.
e. Tipe V merupakan semen *portland* tahan sulfat, digunakan untuk beton yang terkena aksi sulfat panas. Umumnya dimana tanah atau air tanah mengandung kandungan sulfat yang tinggi (Wijaya J. , 2018).

2.4 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi untuk *paving block*. Cara paling umum untuk membedakan jenis agregat adalah berdasarkan ukuran butir. Agregat yang memiliki ukuran butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat dengan ukuran butir kecil disebut agregat halus. Sebagai batas ukuran butir dengan diameter 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang diameternya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar dan agregat yang diameternya kurang dari 4,80 mm disebut agregat halus.

Agregat kasar umumnya dikenal sebagai kerikil parsial, kericak, batu pecah. Sedangkan agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alam yang didapatkan langsung dari sungai atau tanah galian, maupun dari hasil pemecahan batuan (Rismayasari, 2012).

Menurut Rangkuti (2016), agregat terdiri atas:

1. Agregat Halus

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam hasil disintegrasi alami batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Persyaratan agregat halus:

a. Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam dan keras. Butiran agregat halus harus bersifat permanen, artinya tidak rusak atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti panas matahari dan hujan.
b. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali seperti yang diarahkan oleh lembaga inspeksi bahan yang diakui.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil hasil penguraian alami batuan atau berupa batu pecah yang didapatkan dari pemecahan batuan dengan ukuran butir lebih besar dari 5 mm. Kerikil dalam pemakaiannya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a. Butir keras yang tidak berpori dan permanen, artinya tidak rusak karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
b. Tidak boleh mengandung zat yang bisa menghancurkan batuan, seperti zat yang bersifat alkali-reaktif.

Bentuk agregat berperan dalam kualitas beton yang diproduksi. Secara umum, bentuk agregat terbaik untuk kelecakan adalah bulat. Sedangkan untuk tahanan tinggi sifatnya bersudut, karena memiliki luas permukaan yang lebih besar (Wijaya J. , 2018).

2.5 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen (FAS) adalah rasio antara jumlah air yang digunakan dan jumlah semen yang digunakan (*w/c*) dalam campuran mortar atau beton. Faktor Air Semen (FAS) atau *water cement ratio* (*wcr*) merupakan indikator penting dalam perancangan campuran beton, karena FAS merupakan perbandingan antara jumlah air dengan jumlah semen dalam campuran beton. Jadi bisa ditentukan:

$$FAS = \frac{Berat\ air}{Berat\ semen} \quad \text{.....(2.1)}$$

(Dewi N. R., 2016)

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS maka semakin rendah kuat tekan beton tersebut. Namun, semakin rendah nilai FAS tidak berarti kuat tekan beton semakin tinggi. Ada batasan dalam hal ini, nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pekerjaan yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menimbulkan kesulitan dalam kualitas pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menjadi menurun. Nilai FAS antara 0,25-0,65 untuk campuran beton umum. FAS dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 0,5 dengan asumsi campuran semen dan air (pasta beton) tidak terlalu cair dan tidak terlalu kental (Jumiati, 2009).

2.6 Sifat Fisis *Paving Block*

Sifat fisis yang terdapat pada *paving block* yaitu:

2.6.1 Densitas

Densitas adalah pengukuran massa setiap volume benda. Pada beton normal menurut SNI 03-2847-2002 memiliki densitas sekitar 2,2-2,5 g/cm^3. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi

akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki densitas lebih rendah. Massa jenis rata-rata setiap *paving block* merupakan total massa *paving block* dibagi dengan total volume *paving block*.

Densitas merupakan ukuran massa setiap volume suatu benda. Pada Beton normal menurut SNI 03-2847-2002 memiliki berat jenis sekitar 2,2-2,5 g/cm^3. Semakin tinggi massa jenis (densitas) suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda adalah massa total dibagi volume total. Sebuah benda dengan massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda dengan massa yang sama yang memiliki massa jenis yang lebih rendah. Kepadatan rata-rata setiap *paving block* adalah massa total *paving block* dibagi dengan volume total *paving block*.

Untuk menghitung besarnya densitas dipergunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{.....(2.2)}$$

dengan:

ρ = densitas (g/cm^3)

m = massa (g)

v = volume (cm^3)

2.6.2 Daya Serap Air

Untuk pengujian daya serap air, semua komposisi *paving block* memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving stone*). *Paving block* dengan kualitas kelas A wajib memiliki daya serap air maksimal 3%, kualitas kelas B maksimum 6%, kualitas kelas C maksimum 8% dan kelas kualitas D maksimum 10%. Uji penyerapan air dilakukan pada benda uji utuh yang direndam dalam air selama 24 jam. Setelah direndam, ditimbang berat basahnya.

Penyerapan air dihitung sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\% \quad \text{.....(2.3)}$$

dengan:

A = berat bata beton basah (g)

B = berat bata beton kering (g)

2.7 Sifat Mekanis *Paving Block*

Sifat mekanis yang terdapat pada *paving block* yaitu:

2.7.1 Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Uji kuat tekan ini diatur dalam SNI 03-0691-1996. Ambil sampel uji, masing-masing dipotong menjadi kubus, dan rusuknya sesuai dengan ukuran sampel uji. Contoh uji yang telah disiapkan ditekan hingga digerus dengan mesin press yang dapat diatur kecepatannya. Kecepatan pengepresan dari awal pemuatan hingga sampel uji hancur diatur ke 1 hingga 2 menit. Arah penekanan pada sampel uji disesuaikan dengan arah tekanan beban yang digunakan.

Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L} \quad \text{.....(2.4)}$$

dengan:

P = Beban tekan (N)

L = Luas bidang tekan (mm^2)

Kuat tekan rata-rata dari contoh bata beton dihitung dari jumlah kuat tekan dibagi jumlah contoh uji.

2.7.2 Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan sesuai standar SNI 03-4431-1997. Dimensi benda uji yang diperkeras diukur dengan penggaris, kemudian pembebanan diberikan pada dua titik yang membagi 3 jarak beban secara merata, pembebanan dilakukan secara terus menerus hingga terjadi keruntuhan. Untuk pengujian dimana patahan benda uji berada pada daerah tengah 1/3 jarak dari titik penempelan ke elemen tarik beton. R adalah modulus keruntuhan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad \text{.....(2.5)}$$

dengan:

R = Kuat benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang dilanjutkan oleh mesin uji (kg)

L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (cm)

b = Lebar tampak lintang benda uji (cm)

d = Tinggi tampak lintang benda uji (cm)

2.8 Penelitian yang Relevan

Menurut (Syafi'urroziq, Cahyo, & Krisnawati, 2018) dengan judul "*Pemanfaatan Serbuk Kaca dari Jenis Kaca Bening dengan Ketebalan 3-4 mm sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Batako"*. Penyerapan mortar dipengaruhi oleh volume serbuk kaca dalam campuran mortar. Semakin besar volume serbuk kaca maka semakin besar pula serapan yang dihasilkan. Nilai rata-rata penyerapan air dari *glass powder* 8,01%, 10,53%, 10,67%, 10,70% dan 11,19% campuran mortar 0%, 10%, 15%, 20% dan 25%.

Menurut (Punusingon, 2019) dengan judul *"Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang dengan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Serbuk Kaca Sebagai Subsitusi Parsial Semen"*. Pengujian kuat tekan beton daur ulang dengan *fly ash* sebagai pengganti semen menunjukkan nilai kuat tekan optimum 20% *fly ash* adalah 18,6 MPa. Dengan penambahan *glass powder* sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15%, maka kuat tekan beton meningkat sampai penambahan 5% serbuk kaca. Namun dengan penambahan serbuk kaca 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% maka kuat tekannya menurun.

Menurut (Dewi & Mahyudin, 2018) dengan judul *"Analisis Sifat Fisis dan Ketahanan Atas Natrium Sulfat Paving block dengan Variasi Serbuk Cangkang Langkitang (Faunus ater) dan penambahan Serat Ijuk (Arrenge pinnata)"*. Serat ijuk dapat meningkatkan kekuatan lentur *paving block.* Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi penambahan *faunus ater* 0% dan 10% memiliki kekuatan lentur yang sama. Jika ditambahkan serat 3% dengan variasi serbuk sekam 0%, 10% dan 20% maka kuat lentur *paving block* konstan dengan ukuran 3,515 Mpa.

2.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah terdapat pengaruh limbah serbuk kaca (*glass powder*) terhadap karakteristik *paving block.*

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Pengambilan dan pengujian sampel dalam penelitian ini dilakukan di tempat-tempat berikut ini:

1. Laboratorium Riset Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara Jl almamater Padang Bulan Kec. Medan Baru, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.
2. Laboratorium Teknologi Hasil Hutan (THH), Fakultas Kehutanan, Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Maret-September 2021.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Ayakan 100 mesh.
   Ayakan dipergunakan guna mengaya serbuk kaca.
2. Jangka sorong.
   Jangka sorong dipergunakan guna pengukuran tebal *paving block*.
3. Mistar/penggaris.
   Mistar/penggaris dipergunakan guna mengukur panjang *paving block*.
4. Ember/wadah.
   Ember dipergunakan tempat perendaman *paving block* pada tahapan uji daya serap air.
5. Lesung Batu
   Sebagai alat penghancur limbah kaca.
6. Sendok Semen.
   Sendok semen dipergunakan guna melebur campuran semen, pasir, air, dan serbuk kaca.

7. Neraca Digital.

   Timbangan dipergunakan guna mengukur massa *paving block*.

8. UTM (*Universal Testing Machine*).

   Ini berfungsi sebagai alat untuk memeriksa kekuatan tekan dan kekuatan patah sampel.

9. Cetakan:

   a. Kubus (3x3x3) cm^3 dipergunakan sebagai cetakan guna sampel pengujian kekuatan tekanan, densitas, dan kemampuan menyerap air.

   b. Balok (10x3x3) cm^3 berguna sebagai pencetak sampel uji kekuatan lentur.

10. Mesin *HotPress*

    Mesin *hotpress* digunakan untuk membuat sampel menjadi padat.

11. Gelas ukur 500 ml

    Gelas ukur digunakan sebagai tempat untuk mengukur jumlah air dan zat lainnya.

3.2.2 Bahan Penelitian

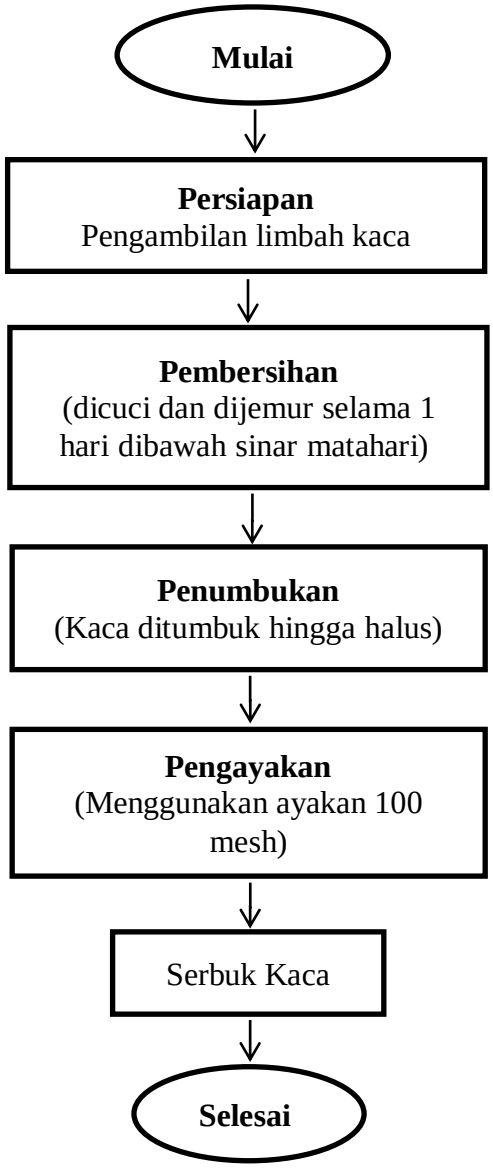
Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Serbuk kaca
2. Semen *Portland* tipe 1
3. Pasir (Agregat halus)
4. Air

3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Tahap Pembuatan Serbuk Kaca

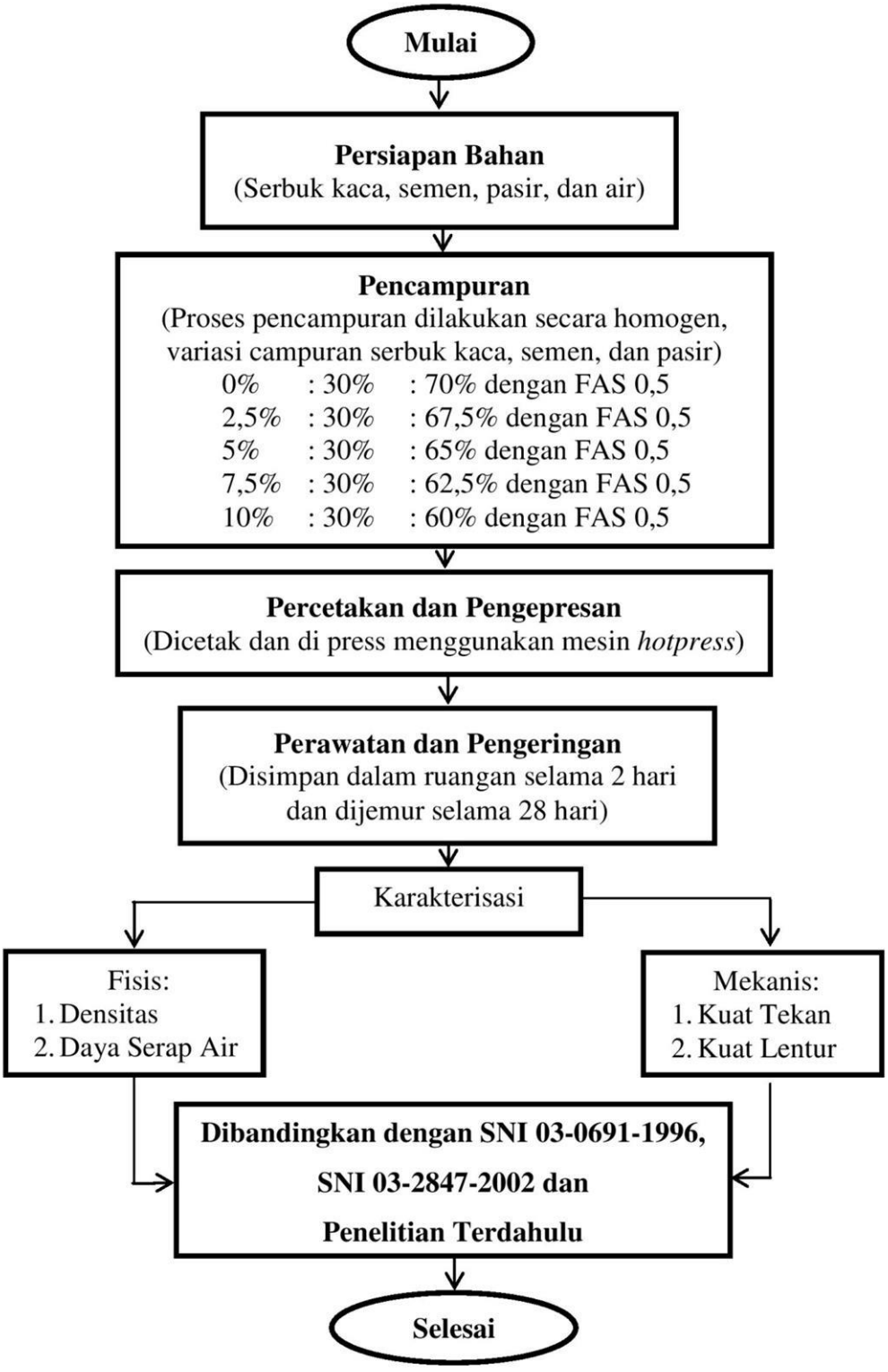
Diagram alir tahap produksi serbuk kaca sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahap Pembuatan Serbuk Kaca

3.3.2 Tahap Pembuatan dan Karakterisasi *Paving Block*

Diagram alir tahap pembuatan dan karakterisasi *paving block* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Tahap Pembuatan dan Karakterisasi *Paving Block*

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Serbuk Kaca

Proses membuat serbuk kaca dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Limbah gelas disiapkan.
2. Bersihkan dan cuci sisa kaca agar tidak ada komponen lain yang terlibat.
3. Jemur di bawah terik matahari selama 1 hari.
4. Limbah kaca digerus dengan mortar untuk dijadikan serbuk kaca.
5. Diayak serbuk kaca dengan menggunakan ayakan 100 mesh.

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan *paving block* berbahan dasar pasir dengan berbagai campuran serbuk kaca yang kemudian diuji sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. Parameter yang diuji terdiri dari: kuat tekan, kuat lentur, densitas dan penyerapan air. Perancangan pencampuran bahan dasar dengan bubuk kaca dapat dilihat pada 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi bahan baku pembuatan *paving block*

Kode uji sampel	Komposisi pencampuran serbuk kaca, semen, dan pasir			FAS
	Serbuk kaca	Semen	Pasir	
A	0%	30%	70%	0,5
B	2,5%	30%	67,5%	
C	5%	30%	65%	
D	7,5%	30%	62,5%	
E	10%	30%	60%	

3.4.2 Pembuatan *Paving Block*

Proses pembuatan paving stone dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Sediakan campuran *paving block* yaitu serbuk kaca, semen, pasir dan air.
2. Bersihkan semua alat yang akan dipergunakan supaya campuran *paving block* tidak terpengaruh oleh bahan-bahan yang dapat mengurangi kualitas *paving block.*
3. Dilakukan pencampuran bahan-bahan yang telah disiapkan dan diaduk secara merata, denga presentase bahan yang telah ditetapkan.
4. Tuang adonan ke dalam cetakan yang telah disediakan.
5. Tekan cetakan dengan alat press sambil meratakan permukaan cetakan *paving block.*

6. Cetakan yang telah diisi dengan campuran bahan *paving block* disimpan di ruang perawatan selama 2 hari sampai *paving block* mengeras dan dijemur selama 28 hari hingga kering.

3.5 Metode Karakterisasi Fisis

3.5.1 Densitas

Uji densitas dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

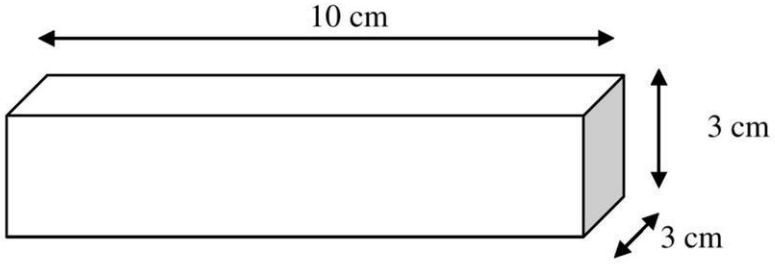
1. Siapkan benda uji.
2. Timbang massa benda uji.
3. Ukur volume setiap variasi benda uji.
4. Hitung nilai kerapatan masing-masing benda uji dari data yang dihasilkan.
5. Catat nilai kerapatan yang dihasilkan.

3.5.2 Daya Serap Air

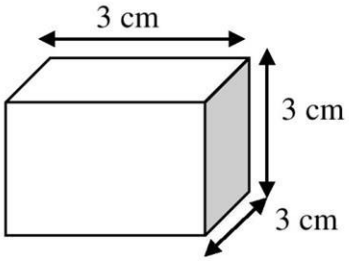
Untuk mengetahui besarnya penyerapan air, maka dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

Prosedur pengukuran penyerapan air adalah sebagai berikut:

1. Disiapkan wadah berisi air dan *paving block* yang akan di uji, setelah dilakukan penjemuran selama 28 hari.
2. Diukur massa *paving block* dan catat hasilnya.
3. Dimasukkan *paving block* kedalam wadah yang berisi air tersebut dan direndam selama 24 jam.
4. Setelah *paving block* direndam selama 24 jam, *paving block* diangkat dari wadah dan dihitung massa *paving block*.
5. Hitung nilai daya serap air masing-masing benda uji dari data yang dihasilkan.
6. Dicatat nilai daya serap air yang di hasilkan.



Gambar 3.3 Sampel *paving block* untuk uji kuat lentur



Gambar 3.4 Sampel *paving block* untuk uji daya serap air, densitas, kuat tekan

3.6 Metode Karakterisasi Mekanis

3.6.1 Pengujian Kuat Tekan

Untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan dari *paving block*, maka perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

Untuk mengetahui nilai kuat tekan *paving block* maka perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

1. Siapkan benda uji *paving block*.
2. Ukur dimensi panjang, lebar, dan tinggi masing-masing sampel yang akan diuji kuat tekannya.
3. Masukkan benda uji (3x3x3) cm^3 ke dalam alat uji kuat tekan yaitu UTM.
4. Atur jarum alat kuat tekan ke nol.
5. Nyalakan tombol power kemudian perhatikan indikator penunjuk beban, sambil memberikan tekanan (F) dari atas secara perlahan hingga *paving block* hancur.
6. Catat nilai beban kompresi maksimum yang terbaca pada jarum.
7. Ulangi kegiatan tersebut 3 kali dengan menggunakan sampel uji untuk mengkode sampel dengan komposisi yang berbeda.

Gambar 3.5 *Universal Testing Machine* (UTM)

3.6.2 Pengujian Kuat Lentur

Untuk menentukan nilai kekuatan lentur *paving block*, perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

1. Siapkan benda uji.
2. Mengukur dan mencatat setiap benda uji.
3. Ditimbang dan dicatat setiap benda uji.
4. Tempatkan benda uji pada alas.
5. Dimuat dengan kecepatan 8 kg/cm^2-10 kg/cm^2 per menit.
6. Kecepatan beban berkurang sebelum menekuk benda uji.
7. Angkat benda uji yang telah selesai di uji, turunkan plat untuk meletakkan benda uji atau angkat alat pembebanan.
8. Diukur dan dicatat lebar dan tinggi penampang patahan terdekat 0,25 mm minimal pada 3 lokasi dan diambil nilai rata-ratanya.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Preparasi *paving block* menggunakan serbuk kaca (*Glass Powder*) sebagai bahan campuran pada penelitian ini. Sifat fisis dan mekanik meliputi: (densitas, penyerapan air, kuat tekan dan kuat lentur). Data dan hasil analisis diperoleh dari pengujian yang dilakukan terhadap sampel *paving block* dengan campuran serbuk kaca.

4.1. Karakterisasi Sifat Fisis

Sifat fisis dari komposisi yang berbeda dari campuran yang berbeda dengan mengukur massa jenis dan penyerapan air.

4.1.1. Densitas

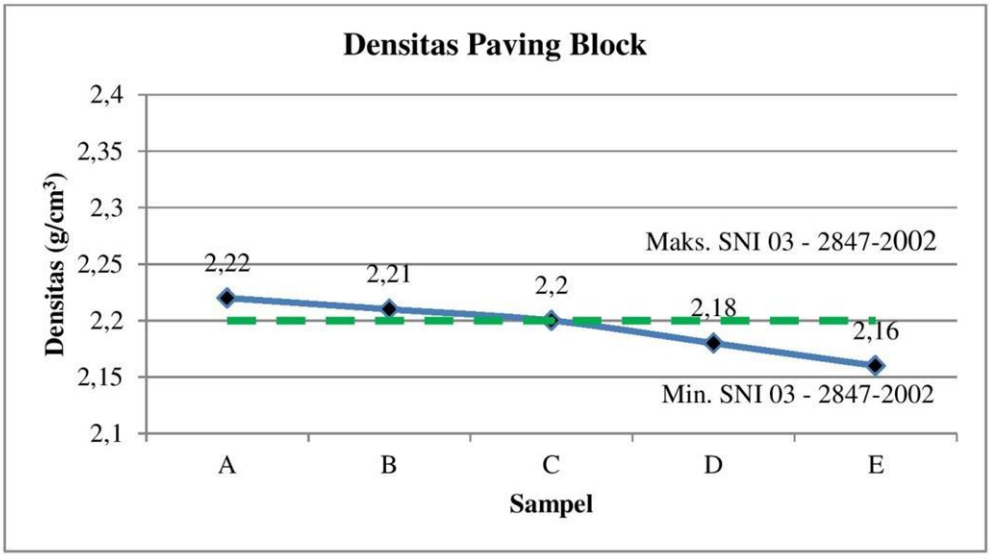
Dari hasil pembuatan *paving block* dengan mencampurkan limbah serbuk kaca *(glass powder)* diperoleh hasil pengukuran densitas *paving block* seperti pada Tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Densitas *Paving Block*

Sampel	Kode Sampel	Densitas (g/cm^3)	Densitas rata-rata (g/cm^3)	SNI 03-2847-2002 (g/cm^3)
	A_1	2,21		
A	A_2	2,22	2,22	
	A_3	2,22		
	B_1	2,22		
B	B_2	2,21	2,21	
	B_3	2,20		
	C_1	2,20		
C	C_2	2,20	2,20	2,20 – 2,50
	C_3	2,20		
	D_1	2,19		
D	D_2	2,15	2,18	
	D_3	2,20		
	E_1	2,14		
E	E_2	2,20	2,16	
	E_3	2,14		

Seperti terlihat pada Tabel 4.1 di atas, nilai densitas *paving block* pada campuran serbuk kaca 0%, serbuk kaca 2,5% dan serbuk kaca 5% (sampel A, B dan C) adalah sebesar 2,22 g/cm^3, 2,21 g/cm^3 dan 2,20 g/cm^3 sudah memenuhi standar minimal 2,20 g/cm^3 yang ditetapkan oleh SNI 03-2847-2002. Sedangkan

pencampuran serbuk kaca 7,5% dan serbuk kaca 10% (sampel D dan E) yaitu 2,18 g/cm^3 dan 2,16 g/cm^3 tidak memenuhi nilai standar minimal yang ditetapkan SNI 03-2847-2002 yaitu 2,20 g/cm^3. Grafik pengukuran densitas untuk variasi campuran serbuk kaca disajikan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran Densitas *Paving Block*

Dari Gambar 4.1 di atas terlihat bahwa nilai densitas tertinggi pada sampel uji yang mengandung serbuk kaca 0% (sampel A) adalah 2,22 g/cm^3 dan nilai densitas terendah pada sampel uji yang mengandung serbuk kaca 10% (sampel E), yaitu 2,16 g/cm^3. Penurunan densitas dipengaruhi oleh banyaknya variasi campuran kaca. Campuran serbuk kaca paling sedikit, kepadatan *paving block* memenuhi standar SNI 03 - 2847 - 2002.

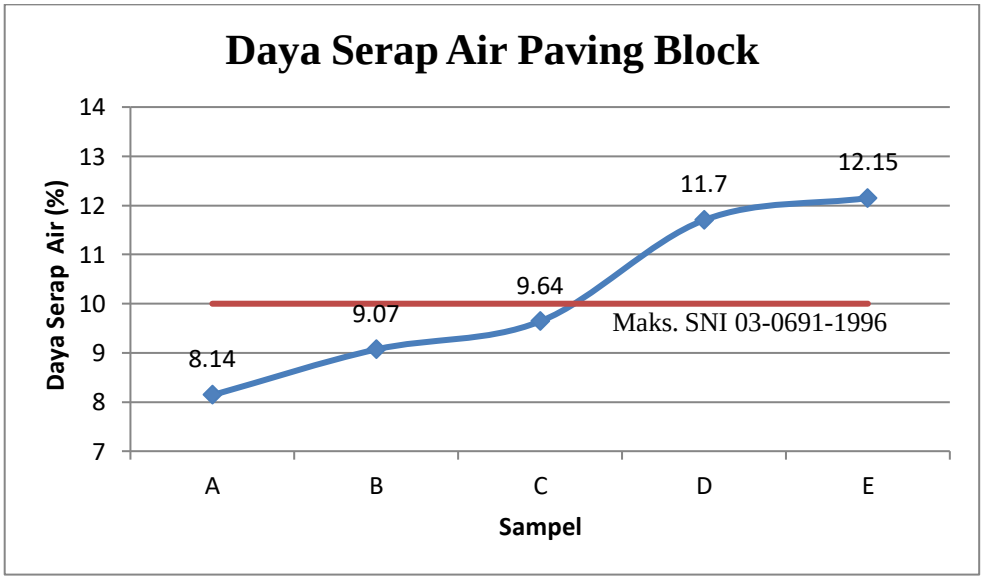
4.1.2. Daya Serap Air

Berdasarkan hasil pembuatan *paving block* dengan cara mencampur serbuk kaca diperoleh hasil pengukuran daya serap air *paving block* seperti terlihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Daya Serap Air *Paving Block*

Sampel	Kode Sampel	Daya Serap Air (%)	Daya Serap Air rata-rata (%)	SNI 03-0691-1996 (%) Mutu D
	A_1	7,67		
A	A_2	8,06	8,14	
	A_3	8,70		
	B_1	8,38		
B	B_2	9,05	9,07	
	B_3	9,78		
	C_1	9,54		
C	C_2	9,53	9,64	Maks 10
	C_3	9,84		
	D_1	11,29		
D	D_2	12,61	11,70	
	D_3	11,19		
	E_1	12,91		
E	E_2	12,04	12,15	
	E_3	11,50		

Seperti terlihat pada Tabel 4.2 nilai serapan air pada variasi campuran serbuk kaca 0%, serbuk kaca 2,5% dan serbuk kaca 5% (sampel A, B dan C) adalah 8,14%, 9,07%, 9,64% telah memenuhi SNI 03-0691-1996. Sedangkan pada variasi campuran serbuk kaca 7,5% dan serbuk kaca 10% (sampel D dan E), 11,70% dan 12,15% tidak memenuhi SNI 03-0691-1996. Berikut grafik pengukuran serapan air untuk variasi campuran serbuk kaca.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengukuran Daya Serap Air *Paving Block*

Dilihat dari Gambar 4.2 nilai serapan air terendah pada sampel uji yang mengandung serbuk kaca 0% (sampel A) yaitu 8,14%, sedangkan nilai penyerapan air tertinggi terdapat pada variasi campuran serbuk kaca 10% (sampel E) yaitu sebesar 12,15%. Penurunan penyerapan air dipengaruhi variasi campuran oleh serbuk kaca tersebut. Semakin rendah presentase serbuk kaca, semakin rendah daya serap airnya, dan semakin tinggi presentase serbuk kaca, semakin tinggi pula daya serap airnya. Pada penelitian ini serbuk kaca dengan presentase 0%, 2,5% dan 5% telah sesuai dengan SNI 03-0691-1996 untuk *paving block* mutu D untuk taman dan kegunaan lainnya.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Syafi'urroziq, dkk (2018) dengan judul "Penggunaan serbuk kaca transparan dengan ketebalan 3-4 mm sebagai bahan tambahan dalam pembuatan Batako" yang menyatakan bahwa penyerapan air dengan campuran serbuk kaca pada penambahan 25% pada campuran bata menghasilkan daya serap air tertinggi sebesar 11,187% dan terendah sebesar 8,015% bila tidak ditambahkan serbuk kaca. Penyerapan mortar dipengaruhi oleh volume serbuk kaca dalam campuran mortar. Semakin besar volume serbuk kaca maka semakin daya serapnya. Hasil penelitian ini tidak sesuai dengan hasil penelitian ini yaitu serbuk kaca yang digunakan merupakan hasil daur ulang limbah dari botol kaca yang memiliki warna dan jenis yang berbeda-beda, sehingga hasil uji serapan juga akan berbeda.

4.2. Karakteristik Sifat Mekanis

Uji kuat tekan dan kuat lentur digunakan untuk menguji sifat mekanik pada berbagai variasi atau campuran.

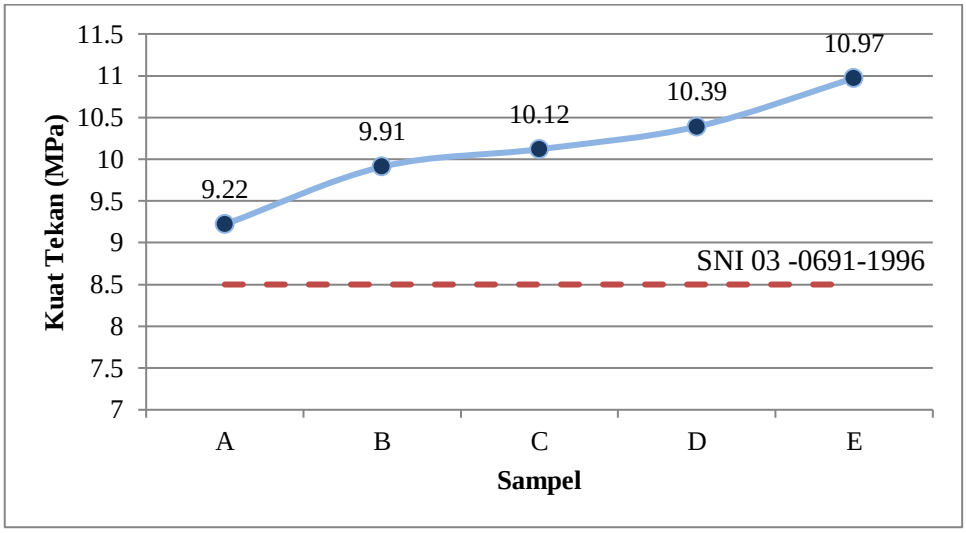
4.2.1. Kuat Tekan

Berdasarkan pengujian yang sudah diterapkan, besarnya kuat tekan *paving block* campuran serbuk kaca dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Kuat Tekan *Paving Block*

Sampel	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	SNI 03-0691-1996 (MPa) Mutu D
	A_1	9,28		
A	A_2	9,13	9,22	
	A_3	9,25		
	B_1	9,70		
B	B_2	10,15	9,91	
	B_3	9,88		
	C_1	10,37		
C	C_2	9,90	10,12	Min 8,5
	C_3	10,08		
	D_1	10,05		
D	D_2	10,65	10,39	
	D_3	10,48		
	E_1	10,84		
E	E_2	11,10	10,97	
	E_3	10,98		

Berdasarkan Tabel 4.3 tersebut nilai kuatnya daya tekan pada bahan campuran serbuk kaca 0%, serbuk kaca 2,5%, serbuk kaca 5%, serbuk kaca 7,5% dan serbuk kaca 10% (sampel A, B, C, D dan E) sebesar 9,22 MPa, 9,91 MPa, 10,12 MPa, 10,39 MPa dan 10,97 MPa sudah memenuhi standar SNI 03-0691-1996.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran Kuat Tekan *Paving Block*

Seperti terlihat pada Gambar 4.3 peningkatan kuat daya tekan pada sampel dengan pencampuran serbuk kaca 2,5%. Kuat tekan tetinggi terjadi pada sampel E dengan nilai 10,97 MPa dan kuat daya tekan terendah terjadi pada sampel A

dengan nilai 9,22 MPa. Hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin banyak serbuk kaca maka kuat tekan *paving block* akan semakin besar sehingga kualitas *paving block* meningkat.

Informasi di atas tidak sejalan dengan penelitian Panusingon (2019) dengan judul "Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang dengan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash)* dan Serbuk Kaca Sebagai Subsitusi Parsial Semen" yang menyatakan bahwa dengan penambahan 2,5% serbuk kaca, 5%, 7,5%, 10% dan 15% kuat tekan beton meningkat hingga penambahan 5% serbuk kaca. Namun seiring dengan penambahan serbuk kaca hanya kekuatan tekannya yang menurun. Hasil yang diperoleh berbeda dengan hasil penyelidikan yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya karena pada penelitian ini komposisi yang ditambahkan dan divariasikan adalah serbuk kaca.

4.2.2. Kuat Lentur

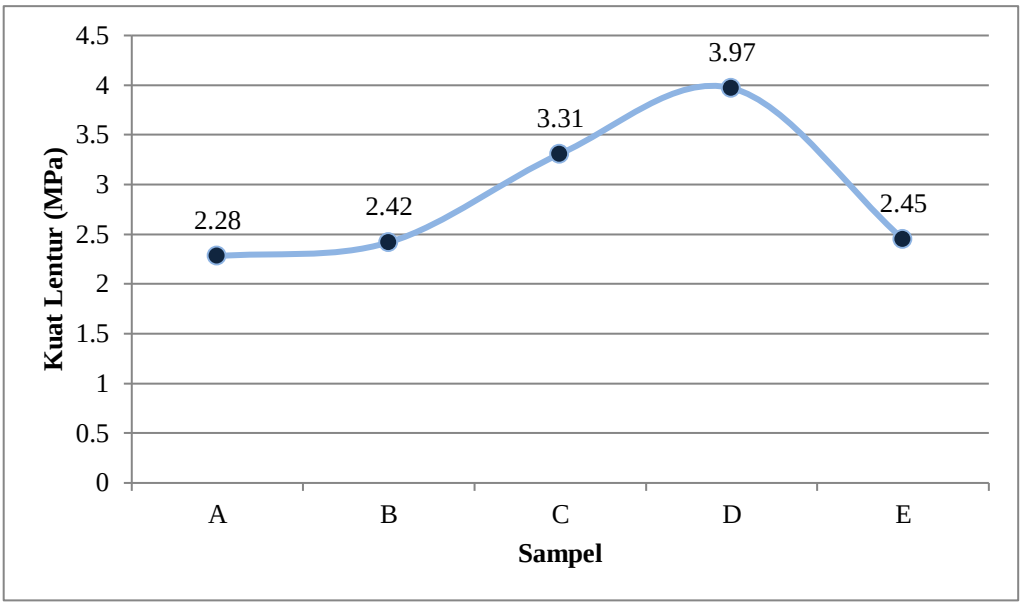
Pengujian kuat lentur diadakan guna untuk mengetahui ketahanan *paving block* terhadap beban lentur titik dan elastisitas material. Berdasarkan pengujian yang diadakan, besarnya kekuatan lentur ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Kuat Lentur *Paving Block*

Sampel	Kode Sampel	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
A	A_1	2,46	2,28
	A_2	2,51	
	A_3	1,87	
B	B_1	1,99	2,42
	B_2	1,40	
	B_3	3,88	
C	C_1	2,13	3,31
	C_2	4,53	
	C_3	3,26	
D	D_1	2,34	3,97
	D_2	4,50	
	D_3	5,06	
E	E_1	2,39	2,45
	E_2	2,20	
	E_3	2,76	

Seperti terlihat pada Tabel 4.4 di atas, nilai kuat lentur sampel campuran A, B, C, D dan E sebagai fungsi dari nilai kuat lentur adalah 2,28 MPa, 2,42 MPa,

3,31 MPa, 3,97 MPa, dan 2,45MPa. Dibawah ini adalah grafik pengujian kekuatan lentur campuran serbuk kaca.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengukuran Kuat Lentur *Paving Block*

Berdasarkan Gambar 4.4 terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat lentur pada sampel pada saat pencampuran 2,5% serbuk kaca dan terjadi penurunan kuat lentur pada campuran 10% serbuk kaca. Kuat lentur terjadi pada sampel D dengan nilai 3,97 MPa dan kuat lentur terendah terjadi pada sampel A dengan nilai 2,28 MPa. Kuat lentur dengan campuran serbuk kaca 10% mengalami penurunan, hal ini dikarenakan kandungan serbuk kaca yang semakin tinggi menyebabkan kelenturan paving block semakin menurun.

Menurut SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*paving block*) tidak ada persyaratan kuat lentur minimum untuk setiap grade. Oleh karena itu, berdasarkan kekuatan lenturnya, perkerasan yang menggunakan campuran serbuk kaca tidak termasuk dalam kategori mutu (SNI 03-0691-1996 Bata Beton/*Paving Block*).

4.3. Pembahasan Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian produksi *paving block* dengan cara mencampurkan serbuk kaca (*glass powder*), maka dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

Serbuk kaca (*glass powder*) bisa digunakan sebagai pencampuran dalam pembuatan *paving block* tersebut. Hal ini dapat ditunjukkan dengan beberapa nilai serapan air dan beberapa nilai kuat tekan yang telah memenuhi syarat mutu D ini

untuk *paving block* yang ditetapkan oleh standar SNI 03-0691-1996. Persyaratan maksimum untuk *paving block* yang diatur oleh standar SNI 03-0691-1996 untuk nilai penyerapan air adalah 10%. Sementara persyaratan minimum untuk *paving block* yang ditentukan oleh standar SNI 03-0691-1996 untuk nilai kuat daya tekan adalah 8,5 MPa.

Karakterisasi *paving block* yang didapatkan melalui uji daya serap air dan kuat daya tekan sampel A sebesar 8,14% dan 9,22 MPa, sampel B sebesar 9,07% dan 9,91 MPa, sampel C sebesar 9,64% dan 10,12 MPa, sampel D sebesar 11,70% dan 10,39 MPa, dan sampel E masing-masing adalah 12,51% dan 10,97 MPa. Nilai serapan air tertinggi pada sampel uji yang mengandung serbuk kaca terdapat pada variasi campuran 10% (sampel E), yaitu 12,15%. Sedangkan nilai kuat daya tekan paling tinggi terdapat pada sampel uji yang menggunakan serbuk kaca dengan variasi campuran 10% (sampel E), yaitu sebesar 10,97 MPa.

Mengacu pada sampel uji yang menggunakan serbuk kaca, maka *paving block* yang memenuhi persyaratan mutu D yang ditentukan oleh standar SNI 03-0691-1996 adalah sampel A, B dan C. Bahan-bahan campuran serbuk kaca (*glass powder*), semen, dan pasir pada sampel C memiliki ciri-ciri yang paling optimal karena daya serap airnya yang rendah dan nilai kuat tekannya yang tertinggi.

Terjadi penurunan nilai densitas pada *paving block* ketika proses pencampuran serbuk kaca *(glass powder)*. Nilai densitasnya *paving block* sebesar 2,16 g/cm^3 s.d. 2,22 g/cm^3 dan nilai tersebut telah mendekati batas standar minimum yang ditentukan SNI 03-2847-2002. Hal ini dikarenakan pencampuran *serbuk kaca (glass powder)* nilai densitasnya sangat kecil.

Terjadi penurunan hasil perhitungan daya serap air pada *paving block* seiring dengan pencampuran serbuk kaca *(glass powder)*. Batas pengukuran daya serap air pada *paving block* yang baik pada variasi campuran 0% s.d. 5% dan telah sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996 dan dapat dikategorikan *paving block* kualitas D yang menerangkan bahwa persyaratan maksimal daya serap air *paving block* adalah 10%.

Hasil pengujian menunjukkan adanya kenaikan nilai kuat tekan pada *paving block* seiring dengan pencampuran serbuk kaca *(glass powder)*. Hasil perhitungan daya kuat tekan pada *paving block* dengan kriteria 9,22 MPa s.d.

10,97 MPa. Berdasarkan sampel A s.d E, kualitas *paving block* yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI 03-0691-1996 dan dapat dikategorikan sebagai *paving block* kualitas D.

Nilai kekuatan lentur *paving block* dengan pencampuran *serbuk kaca (glass powder)* bervariasi. Hasil perhitungan daya kekuatan lentur pada *paving block* dengan kriteria pencampuran serbuk kaca *(glass powder)* 5% (sampel C) adalah yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan faktor banyak persentase serbuk kaca pada *paving block* maka semakin tidak lentur.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, berbagai kesimpulan dapat ditarik dari hasil penelitian tersebut, yaitu:

1. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh serbuk kaca terhadap karakteristik *paving block*. Dengan bertambahnya kandungan serbuk kaca, sehingga menyebabkan terjadi penurunan pada densitas dan daya serap air serta terjadi peningkatan pada kuat tekan dan kuat lentur.
2. Komposisi pencampuran serbuk kaca, semen, pasir, dan air dalam pembuatan *paving block* dengan karakteristik yang optimum adalah sampel C dengan variasi 5%:30%:65% karena pada komposisi ini *paving block* yang dihasilkan memiliki nilai daya serap air paling rendah dan nilai kuat daya tekan paling tinggi. Berdasarkan proses pelaksanaan penelitian ini ditemukan bahwa sampel C sudah memenuhi syarat mutu D pada *paving block* sebagaimana yang telah ditetapkan oleh SNI 03-0691-1996.

5.2. Saran

Mengacu pada temuan penelitian, pembahasan dan kesimpulan dari penelitian ini, maka peneliti memberikan beberapa saran atau rekomendasi, antara lain:

1. Penelitian lebih lanjut mengenai bahan serbuk kaca dengan pembuatan komposisi yang berbeda pada *paving block* diperlukan oleh lebih banyak peneliti untuk mengoptimalkan kualitas *paving block* dan membuatnya lebih optimal.
2. Peneliti selanjutnya dianjurkan untuk lebih berhati-hati pelaksanaan pembuatan dan pencetakan *paving block* sehingga sampel yang dihasilkan lebih berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

Azwar. (2019). Analisa Pemanfaatan Limbah Bottom ASH dan Serbuk Pecahan Kaca terhadap Konstruksi Paving Block. *Jurnal Ilmiah Tekno Global ISSN 2338-6762 , 8* (2), 53-61.

Dewi, M. S., & Mahyudin, A. (2018). Analisis Sifat Fisis dan Ketahan Atas Natrium Sulfat Paving Block dengan Variasi Serbuk Cangkang Langkitang (Faunus ater) dan Penambahan Serat Ijuk (Arrenge pinnata). *Jurnal Fisika Unand , 7* (4), 339-345.

Dewi, N. R. (2016). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit dan Fly Ash sebagai Bahan Campuran Beton Siap Pakai (BSP). *Jurnal Presipitasi , 13* (1), 35-38.

Handayasari, I., & Artiani, G. P. (2019). *Perbandingan Kuat Tekan Paving Block Ramah Lingkungan Berbasis Limbah Botol Plastik Kemasan Air Mineral dengan Limbah Cangkang Kerang dan Limbah Botol Kaca sebagai Bahan Substitusi terhadap Semen Construction and Material Journal e-ISSN 2655-9625 , 1* (1), 21-27.

Handayasari, I., Artiani, G. P., & Putri, D. (2018). *Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan dengan Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Kemasan Air Mineral dan Limbah Kulit Kerang Hijau sebagai Campuran Paving Block Jurnal Konstruksia , 9* (2), 26-27.

Herbudiman, B., & Januar, C. (2011). Pemanfaatan Serbuk Kaca sebagai Powder pada Self-Compacting Concrete. *Isems : Department of Civil Engineering – Parahyangan Catholic University* , 17-18.

Jumiati, E. (2009). Pembuatan Beton Semen Polimer Berbasis Sampah Rumah Tangga dan Karakterisasinya. *Tesis* , 12-13.

Kusuma, E. W. (2012). *Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang sebagai Bahan Campuran Pembuatan Paving Block.* Surabaya: Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional Jatim.

Nuhun, R. (2019). Pengaruh Penambahan Bubuk Sedimen Teluk Kendari Terhadap Kuat Tekan dan Keausan Paving Block. *Seminar Nasional*

Teknologi Terapan Inovasi Dan Rekayasa (SNT2IR). ISBN: 978-602-51407-1-6 , 374-349.

Nursyamsi, Indrawan, I., & Hastuty, I. P. (2016). Pemanfaatan Serbuk Kaca sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Batako. *Media Teknik Sipil ISSN 1693-3095 , 14* (1), 84-95.

Punusingon, M. A. (2019). Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang dengan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Serbuk Kaca sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik , 7* (1), 57-66.

Purnomo, H., & Hisyam, E. S. (2014). Pemanfaatan Serbuk Kaca sebagai Substitusi Parsial Semen pada Campuran Beton di Tinjau dari Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton. *Jurnal Fropil , 2* (1), 45-55.

Rismayasari, Y. (2012). Pembuatan Beton dengan Campuran Limbah Plastik dan Karakterisasinya. *Skripsi* , 5-6.

Rommel, E. (2009). Teknologi Pembuatan Paving Block dengan Material FCA (Fine Coarce Aggregate). *Gamma , IV* (2), 110-116.

Sejati, S. S., & Gunawan, L. I. (2019). Serbuk Kaca sebagai Bahan Tambahan Pembuatan Beton Normal Berdasarkan Gradasi Pasir Zona 3. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS) , 1* (1), 7-10.

Standard Nasional Indonesia SNI. (1996). *Bata Beton (Paving Block). SNI 03-0691-1996. Badan Standardisasi Nasional* .

Standard Nasional Indonesia SNI. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Bata Version). SNI 03-2847-2002. Badan Standarisasi Nasional.*

Syafi'urroziq, A., Cahyo, Y., & Krisnawati, L. D. (2018). Pemanfaatan Serbuk Kaca Dari Jenis Kaca Bening dengan Ketebalan 3-4 mm sebagai Bahan Tambah Dalam Pembutan Batako. *Jurmateks , 1*, 44-54.

Wibowo, L. (2013). *Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca dan Water Reducing High Range Admixtures terhadap Kuat Desak dan Modulus Elastisitas pada Beton.* Yogyakarta: UAJY.

Wijaya, C. (2019). Penentuan Komposisi Lapisan Paving Block untuk Mendapatkan Kuat Tekan Yang Optimal. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik , 17* (1), 62-69.

Wijaya, J. (2018). Pembuatan Beton Modifikasi dengan Polimer dari Limbah Senyawa Lateks Karet Alam dengan Pengisi Serbuk Cangkang Telur Ayam. *Skripsi : Repositori Institusi USU* , 6-8.

LAMPIRAN 1

GAMBAR ALAT-ALAT PERCOBAAN

1. Ayakan 100 mesh

2. Jangka Sorong

3. Mistar/Penggaris

4. Wadah Perendaman

5. Lesung Batu

6. Sendok Semen

7. Neraca Digital

8. UTM (*Universal Testing Machine*)

9. Mesin Hot*Press*

10. Gelas Ukur 500 ml

11. Cetakan Kubus 3x3x3 cm^3

12. Cetakan Balok 10x3x3 cm^3

LAMPIRAN 2

GAMBAR BAHAN PERCOBAAN

1. Serbuk Kaca

2. Semen *Portland*

3. Pasir (Agregat Halus)

4. Air

LAMPIRAN 3

GAMBAR SAMPEL *PAVING BLOCK*

1. Untuk pengujian daya serap air

2. Untuk pengujian densitas dan kuat tekan

3. Untuk pengujian kuat lentur

LAMPIRAN 4
DATA PENGUKURAN DENSITAS

Nilai densitas dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

dimana:

ρ = Massa jenis (g/cm^3)

m = Massa (g)

v = Volume (cm^3)

Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Densitas

Variasi Campuran Serbuk Kaca	Massa Benda	Volume Benda
(0%)	57,58 g	26,01 cm^3
	57,70 g	26,01 cm^3
	57,66 g	26,01 cm^3
(2,5%)	57,75 g	26,01 cm^3
	57,53 g	26,01 cm^3
	57,34 g	26,01 cm^3
(5%)	57,11 g	26,01 cm^3
	57,32 g	26,01 cm^3
	57,23 g	26,01 cm^3
(7,5%)	57,09 g	26,01 cm^3
	56,00 g	26,01 cm^3
	57,12 g	26,01 cm^3
(10%)	57,41 g	26,82 cm^3
	57,33 g	26,01 cm^3
	57,52 g	26,82 cm^3

Hasil uji densitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus di atas dan densitas pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Diketahui:

Untuk variasi campuran normal (0%)

1. Massa benda uji (m) = 57,58 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}58\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}21\ g/cm^3$$

2. Massa benda uji (m) = 57,70 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}70\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}22\ g/cm^3$$

3. Massa benda uji (m) = 57,66 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}66\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}22\ g/cm^3$$

Untuk perhitungan densitas rata-rata:

$$\text{Densitas } (\rho) \text{ rata-rata} = \frac{2{,}21 + 2{,}22 + 2{,}22}{3} = \frac{6{,}65}{3} = 2{,}22\ g\ /\ cm^3$$

Untuk variasi campuran 2,5%

1. Massa benda uji (m) = 57,75 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

   $$\rho = \frac{m}{v}$$

   $$= \frac{57{,}75\,g}{26{,}01\,cm^3}$$

   = 2,22 g/cm^3

2. Massa benda uji (m) = 57,53 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

   $$\rho = \frac{m}{v}$$

   $$= \frac{57{,}53\ g}{26{,}01\,cm^3}$$

   = 2,21 g/cm^3

3. Massa benda uji (m) = 57,34 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}34\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}20\ \text{g/cm}^3$$

Untuk perhitungan densitas rata-rata:

$$\text{Densitas } (\rho) \text{ rata-rata} = \frac{2{,}22 + 2{,}21 + 2{,}20}{3} = \frac{6{,}63}{3} = 2{,}21\ g / cm^3$$

Untuk variasi campuran 5%

1. Massa benda uji (m) = 57,11 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}11\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}20\ \text{g/cm}^3$$

2. Massa benda uji (m) = 57,32 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}32\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}20\ \text{g/cm}^3$$

3. Massa benda uji (m) = 57,23 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}23\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}20\ g/cm^3$$

   Untuk perhitungan densitas rata-rata:

$$\text{Densitas } (\rho) \text{ rata-rata} = \frac{2{,}20 + 2{,}20 + 2{,}20}{3} = \frac{6{,}60}{3} = 2{,}20\ g\ /\ cm^3$$

Untuk variasi campuran 7,5%

1. Massa benda uji (m) = 57,09 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}09\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}19\ g/cm^3$$

2. Massa benda uji (m) = 56,00 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{56{,}00\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}15\ \text{g/cm}^3$$

3. Massa benda uji (m) = 57,12 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}12\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}20\ \text{g/cm}^3$$

Untuk perhitungan densitas rata-rata:

$$\text{Densitas } (\rho) \text{ rata-rata} = \frac{2{,}19 + 2{,}15 + 2{,}20}{3} = \frac{6{,}54}{3} = 2{,}18\ g\ /\ cm^3$$

Untuk variasi campuran 10%

1. Massa benda uji (m) = 57,41 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,99 x 3 x 2,99

   = 26,82 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}41\ g}{26{,}82\ cm^3}$$

$$= 2{,}14\ \text{g/cm}^3$$

2. Massa benda uji (m) = 57,33 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,9 x 3 x 2,99

   = 26,01 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}733\ g}{26{,}01\ cm^3}$$

$$= 2{,}20\ g/cm^3$$

3. Massa benda uji (m) = 57,52 g

   Volume benda uji (v) = s x s x s

   = 2,99 x 3 x 2,99

   = 26,82 cm^3

   Besar densitas (ρ) sampel:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{57{,}52\ g}{26{,}82\ cm^3}$$

$$= 2{,}14\ g/cm^3$$

Untuk perhitungan densitas rata-rata:

$$\text{Densitas } (\rho) \text{ rata-rata} = \frac{2{,}14 + 2{,}20 + 2{,}14}{3} = \frac{6{,}48}{3} = 2{,}16\ g\ /\ cm^3$$

LAMPIRAN 5

DATA PENGUKURAN DAYA SERAP AIR

Penyerapan air dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\%$$

dengan:

A = berat bata beton basah (g)

B = berat bata beton kering (g)

Tabel 4.6 Data Hasil Pengukuran Daya Serap Air

Variasi Campuran Serbuk Kaca	Massa Kering (B_k)	Massa Basah (A_b)
(0%)	57,58 g	62,00 g
	57,70 g	62,35 g
	57,66 g	62,67 g
(2,5%)	57,75 g	62,59 g
	57,53 g	62,74 g
	57,34 g	62,95 g
(5%)	57,11 g	62,56 g
	57,32 g	62,78 g
	57,23 g	62,86 g
(7,5%)	57,09 g	63,53 g
	56,00 g	63,06 g
	57,12 g	63,51 g
(10%)	57,41 g	64,82 g
	57,33 g	64,23 g
	57,52 g	64,14 g

Hasil uji penyerapan air dapat diperoleh dengan menggunakan rumus di atas, dan kapasitas penyerapan air dihitung dari Tabel 4.6 sebagai berikut:

Diketahui:

Untuk variasi campuran normal (0%)

1. Massa basah (A) = 62,00 g

   Massa kering (B) = 57,58 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}00\ g - 57{,}58\ g}{57{,}58\ g} \times 100\%$$

$$= 7{,}67\%$$

2. Massa basah (A) = 62,35 g

   Massa kering (B) = 57,70 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}35\ g - 57{,}70\ g}{57{,}70\ g} \times 100\%$$

$$= 8{,}06\%$$

3. Massa basah (A) = 62,67 g

   Massa kering (B) = 57,66 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}67\ g - 57{,}66\ g}{57{,}66\ g} \times 100\%$$

$$= 8{,}70\%$$

Untuk perhitungan daya serap air rata-rata:

$$\% \text{ rata-rata} = \frac{7{,}67 + 8{,}06 + 8{,}70}{3} = \frac{24{,}43}{3} = 8{,}14\%$$

Untuk variasi campuran 2,5%

1. Massa basah (A) = 62,59 g

   Massa kering (B) = 57,59 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}59\ g - 57{,}59\ g}{57{,}59\ g} \times 100\%$$

$$= 8{,}38\%$$

2. Massa basah (A) = 62,74 g

   Massa kering (B) = 57,53 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}74\ g - 57{,}53\ g}{57{,}53\ g} \times 100\%$$

$$= 9{,}05\%$$

3. Massa basah (A) = 62,95 g

   Massa kering (B) = 57,34 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}95\ g - 57{,}34\ g}{57{,}34\ g} \times 100\%$$

$$= 9{,}78\%$$

Untuk perhitungan daya serap air rata-rata:

$$\% \text{ rata-rata} = \frac{8{,}38 + 9{,}05 + 9{,}78}{3} = \frac{27{,}21}{3} = 9{,}07\%$$

Untuk variasi campuran 5%

1. Massa basah (A) = 62,56 g

   Massa kering (B) = 57,11 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}56\ g - 57{,}11\ g}{57{,}11\ g} \times 100\%$$

$$= 9{,}54\%$$

2. Massa basah (A) = 62,78 g

   Massa kering (B) = 57,32 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}78\ g - 57{,}32\ g}{57{,}32\ g} \times 100\%$$

$$= 9{,}53\%$$

3. Massa basah (A) = 62,86 g

   Massa kering (B) = 57,23 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{62{,}86\ g - 57{,}23\ g}{57{,}23\ g} \times 100\%$$

$$= 9{,}84\%$$

Untuk perhitungan daya serap air rata-rata:

$$\% \text{ rata-rata} = \frac{9{,}54 + 9{,}53 + 9{,}84}{3} = \frac{28{,}91}{3} = 9{,}64\%$$

Untuk variasi campuran 7,5%

1. Massa basah (A) = 63,53 g

   Massa kering (B) = 57,09 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{63{,}53\ g - 57{,}09\ g}{57{,}09\ g} \times 100\%$$

$$= 11{,}29\%$$

2. Massa basah (A) = 63,06 g

   Massa kering (B) = 56,00 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{63{,}06\ g - 56{,}00\ g}{56{,}00\ g} \times 100\%$$

$$= 12{,}61\%$$

3. Massa basah (A) = 63,51 g

   Massa kering (B) = 57,12 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{63{,}51\ g - 57{,}12\ g}{57{,}12\ g} \times 100\%$$

$$= 11{,}19\%$$

Untuk perhitungan daya serap air rata-rata:

$$\% \text{ rata-rata} = \frac{11{,}29 + 12{,}61 + 11{,}19}{3} = \frac{35{,}09}{3} = 11{,}70\%$$

Untuk variasi campuran 10%

1. Massa basah (A) = 64,82 g

   Massa kering (B) = 57,41 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{64{,}82\ g - 57{,}41\ g}{57{,}41\ g} \times 100\%$$

$$= 12{,}91\%$$

2. Massa basah (A) = 64,23 g

   Massa kering (B) = 57,33 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{64{,}23\ g - 57{,}33\ g}{57{,}33\ g} \times 100\%$$

$$= 12{,}04\%$$

3. Massa basah (A) = 64,14 g

   Massa kering (B) = 57,52 g

   Besar nilai daya serap air (% penyerapan air) sampel:

$$\% \text{ Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{64{,}14\ g - 57{,}52\ g}{57{,}52\ g} \times 100\%$$

$$= 11{,}50\%$$

Untuk perhitungan daya serap air rata-rata:

$$\% \text{ rata-rata} = \frac{12{,}91 + 12{,}04 + 11{,}50}{3} = \frac{36{,}45}{3} = 12{,}15\%$$

LAMPIRAN 6

DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN

Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi Campuran Serbuk Kaca	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
(0%)	A_1	9,28	9,22
	A_2	9,13	
	A_3	9,25	
(2,5%)	B_1	9,70	9,91
	B_2	10,15	
	B_3	9,88	
(5%)	C_1	10,37	10,12
	C_2	9,90	
	C_3	10,08	
(7,5%)	D_1	10,05	10,39
	D_2	10,65	
	D_3	10,48	
(10%)	E_1	10,84	10,97
	E_2	11,10	
	E_3	10,98	

LAMPIRAN 7

DATA PENGUJIAN KUAT LENTUR

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Kuat Lentur

Variasi Campuran Serbuk Kaca	Kode Sampel	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
(0%)	A_1	2,46	2,28
	A_2	2,51	
	A_3	1,87	
(2,5%)	B_1	1,99	2,42
	B_2	1,40	
	B_3	3,88	
(5%)	C_1	2,13	3,31
	C_2	4,53	
	C_3	3,26	
(7,5%)	D_1	2,34	3,97
	D_2	4,50	
	D_3	5,06	
(10%)	E_1	2,39	2,45
	E_2	2,20	
	E_3	2,76	

LAMPIRAN 8

Penelitian merujuk pada Standar Nasional Indonesia 03-0691-1996:

SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 03-0691-1996

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

Bata beton *(Paving block)*

ICS 91.100.30

Badan Standardisasi Nasional BSN

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

Daftar Isi

Daftar Isi I
1 Ruang lingkup 1
2 Acuan 1
3 Definisi 1
4 Klasifikasi 1
5 Syarat mutu 1
6 Cara pengambilan contoh 2
7 Cara uji 2
8 Syarat lulus uji 4
9 Syarat penandaan 4

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

Bata beton *(Paving block)*

1 Ruang lingkup

Standar ini meliputi acuan, definisi, klasifikasi, syarat mutu, cara pengambilan contoh, cara uji, syarat lulus uji dan syarat penandaan bata beton.

2 Acuan

SNI 03 - 0691 - 1989, Bata beton untuk lantai.

3 Definisi

Bata beton *(paving block)* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

4 Klasifikasi

Bata beton mutu A digunakan untuk jalan
Bata beton mute B digunakan untuk peralatan parkir
Bata beton mutu C digunakan untuk pejalan kaki
Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

5 Syarat mutu

5.1 Sifat tampak

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

5.2 Ukuran

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

5.3 Sifat fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel 1.

Tabel 1
Sifat-sifat fisika

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

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

5.4 Ketahanan terhadap natrium sulfat

Bata beton apabila diuji dengan cara seperti pada butir

6.6 tidak boleh carat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%.

6 Cara pengambilan contoh

6.1 Pengambilan contoh

Contoh harus terdiri dari satuan yang utuh. Pengambilan harus dilakukan oleh pembeli atau badan yang diberi kuasa olehnya.

Contoh harus mencerminkan jumlah seluruh satuan dari kelompok dan diambil secara acak.

Contoh diambil dari beberapa tempat di dalam kelompoknya dan di dalam semua keadaan.

6.2 Jumlah contoh

Untuk partai sampai dengan 500.000 buah bata beton, dari setiap kelompok 50.000 buah diambil contoh rata-rata sebanyak 20 buah. Untuk parti lebih dari 500.000 buah, dari setiap kelompok 100.000 buah diambil contoh sebanyak 5 buah.

7 Cara uji

7.1 Sifat tampak

Semua hal tersebut pada butir 4.1 diperiksa dengan pengamatan yang teliti. Bata disusun di atas permukaan yang rata sebagaimana pada pemasangan yang sebenarnya.

7.2 Ukuran

Digunakan peralatan kaliper atau sejenisnya dengan ketelitian 0,1 mm. Pengukuran tebal dilakukan terhadap tiga tempat yang berbeda dan diambil nilai rata-rata.

Pengujian dilakukan terhadap 10 buah contoh uji.

7.3 Kuat tekan

7.3.1 Ambil 10 buah contoh uji masing-masing dipotong berbentuk kubus dan rusuk-rusuknya disesuaikan dengan ukuran contoh uji.

7.3.2 Contoh uji yang telah siap, ditekan hingga hancur dengan mesin penekan yang dapat diatur kecepatannya. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai contoh uji hancur, diatur dalam waktu 1 sampai 2 menit Arah penekanan pada contoh uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaiannya.

7.3.3 Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

P = beban tekan, N

L = luas bidang tekan mm^2

Kuat tekan rata-rata dari contoh bata beton dihitung dari jumlah kuat tekan dibagi jumlah contoh uji.

7.4 Ketahanan aus

7.4.1 Ambil lima buah contoh uji dipotong berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 50 mm x

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

50 mm dan tebal 20 mm(untuk pengujian ketahanan aus).

7.4.2 Sisa d2ri pemotongan dibuat benda uji persegi dengan ukuran kurang dari 20 mm (untuk penentuan berat jenis).

7.4.3 Mesin aus yang dipergunakan, cara-cara mengaus dan mencari berat jenis dikerjakan sesuai dengan SNI 03 - 0028 - 1987, *Cara uji ubin semen*.

7.5 Penyerapan air

7.5.1 Lima buah benda uji dalam keadaan utuh direndam dalam air hingga jenuh (24 jam), ditimbang beratnya dalam keadaan basah.

7.5.2 Kemudian dikeringkan dalam dapur pengering selama kurang lebih 24 jam, pada suhu kurang lebih 105°C sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0,2% penimbangan yang terdahulu.

7.5.3 Penyerapan air dihitung sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} x100\%$$

Ketengan :

A = berat bata beton basah

B = berat bata beton kering

7.6 Ketahanan terhadap natrium sulfat

7.6.1 Peralatan

a) Larutan jenuh garam natrium sulfat yang jernih dengan berat jenis antara 1,151 - 1,174.

b) Bejana tempat merendam contoh dalam larutan natrium sulfat

7.6.2 Prosedur

a) Dua buah benda uji utuh (bekas pengujian ukuran) dibersihkan dari kotorankotoran yang melekat, kemudian dikeringkan dalam dapur pengering pada suhu (105 + 2)°C hingga berat tetap, lalu didinginkan dalam eksikator.

b) Setelah dingin ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram, kemudian direndam dalam larutan jenuh garam natrium sulfat selama 16 sampai dengan18 jam, setelah itu diangkat dan didiamkan dulu agar cairan yang berlebihan meniris.

c) Selanjutnya masukkan benda uji ke dalam dapur pengering pada suhu 105 ± 2°C selama kurang lebih 2 jam, kemudian dinginkan sampai suhu kamar.

d) Ulangi perendaman dan pengeringan ini sampai 5 kali berturut-turut.

e) Pada pengeringan yang terakhir, benda uji dicuci sampai tidak ada lagi sisa sisa garam sulfat yang tertinggal.

f) Untuk mengetahui bahwa tidak ada lagi garam sulfat yang tertinggal, larutan pencucinya dapat diuji dengan larutan $BaC1_2$.

g) Untuk mempercepat pencucian dapat dilakukan pencucian dengan air panas bersuhu kurang lebih 40 - 50°C.

h) Setelah pencucian sampai bersih, benda uji dikeringkan dalam dapur pengering sampai berat tetap (± 2-4 jam), didinginkan dalam eksikator. kemudian ditimbang lagi sampai ketelitian 0,1 gram.

I) Di samping itu diamati keadaan benda uji apakah setelah perendaman dalam larutan garan sulfat terjadi/nampak adanya retakan, gugusan atas cacat-cacat lainnya.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan."

j) Laporkan keadaan setelah perendaman itu dengan kata-kata :
   - baik/tidak cacat, bila tidak nampak adanya retak-retak atau perubahan lainnya
   - cacat/retak-retak, bila nampak adanya retak-retak (meskipun kecil), rapuh, dan gugus dan lain-lain

k) Apabila selisih penimbangan sebelum perendaman dan setelah perendaman tidak lebih besar dari 1% dan benda uji tidak cacat nyatakan benda-benda uji tadi baik. Bila selisih penimbangan dari 2 di antara 3 benda uji tadi lebih besar dari 1%, sedang benda ujinya baik (tidak cacat) nyatakan bahwa benda uji secara keseluruhan menjadi cacat.

8 Syarat lulus uji

8.1 Kelompok dinyatakan lulus uji, apabila contoh yang diambil dari kelompok tersebut memenuhi ketentuan butir 4.

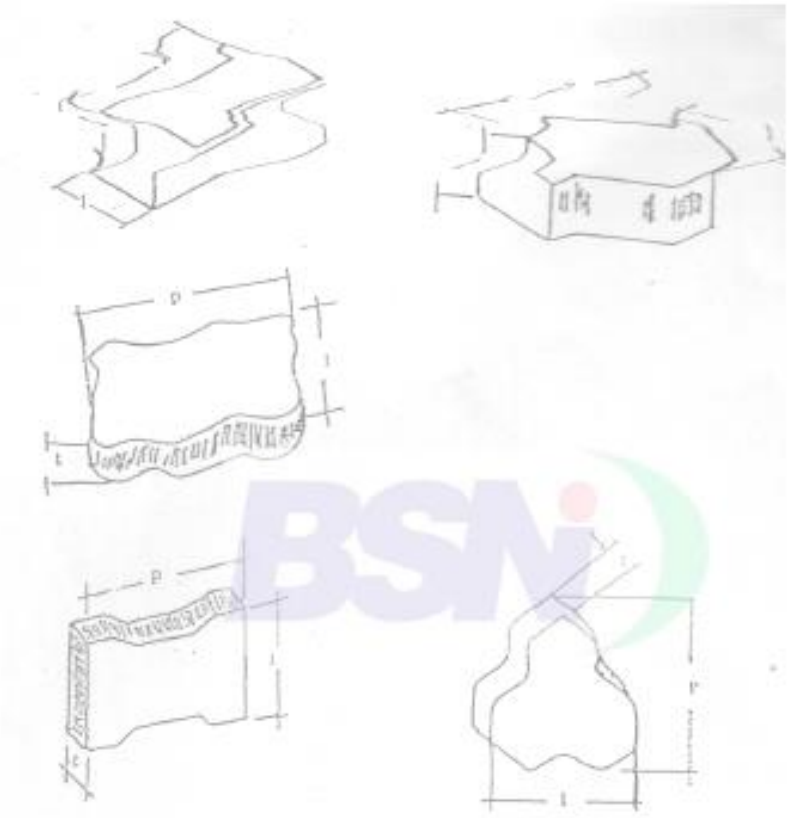
8.2 Apabila sebagian syarat tidak dipenuhi, dapat dilakukan uji ulang dengan contoh uji sebanyak dua kali jumlah contoh semula dan diambil dari kelompok yang sama.

8.3 Apabila pada hasil uji ulang semua syarat dipenuhi kelompok dinyatakan lulus uji. Kelompok dinyatakan tidak lulus uji kalau salah satu syarat mutu tidak dipenuhi pada uji ulang.

9 Syarat penandaan

Klasifikasi dan kode pabrik harus tertera pada setiap bata beton.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"



Gambar contoh bentuk bata beton

Keterangan :
P = Panjang
T = Tebal
L = Lebar

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

LAMPIRAN 9

SNI 03 – 2847 - 2002

SNI STANDAR NASIONAL INDONESIA

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton
Untuk Bangunan Gedung
(Beta Version)

Bandung, Desember 2002

3.12

beton

campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat

3.13

beton bertulang

beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja

3.14

beton-normal

beton yang mempunyai berat satuan 2 200 kg/m^3 sampai 2 500 kg/m^3 dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah

3.15

beton polos

beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tetapi kurang dari ketentuan minimum

3.16

beton pracetak

elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan

3.17

beton prategang

beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UINIVERSITAS NEGERI SUMATERA UTARA MEDAN
FAKULTAS KEHUTANAN
LABORATORIUM TEKNOLOLOGI HASIL HUTAN
Jalan Tri Darma Ujung No. 1 Kampus USU Medan – 20155
Telepon 061-8220605 Fax. 061-8201920

Kepada Yth.
Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
Di Tempat

Dengan hormat,

Menidaklanjutkan surat Bapak/Ibu dengan pengantar surat Izin Pengujian dan Pengambilan data bagi mahasiswa Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, maka dengan ini kami sampaikan bahwa mahasiswa yang namanya tercantum dibawah ini:

Nama : Nurainun Br Pasaribu

NIM : 0705163019

Telah menyelesaikan Penugujian dan Pengambilan Data skripsi dengan penggunaan alat Universal Testing Machine (Tensile Machine) di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan dengan judul skripsi ***"Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (Glass Powder) Terdapat Karakteristik Paving Block".***

Demikian surat keterangan ini dibuat, atas perhatiannnya diucapkan terima kasih.

Medan, 29 Maret 2021
Ketua Laboratorium THH

Ridwanti Batubara, S.Hut, MP
NIP 199760215200112200l

RIWAYAT HIDUP

Nurainun Br Pasaribu, lahir di Rantauprapat pada tanggal 4 September 1998, anak keempat dari 4 bersaudara, anak dari Bapak **Mulkan Tinaro Pasaribu** dan Ibu **Nurasima Hasibuan**. Adapun riwayat pendidikan penulis yaitu memulai pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 112135 Rantauprapat pada tahun 2004 dan tamat pada tahun 2010. Menyelesaikan pendidikan Sekolah Tingkat Pertama (SMP) sederajat di Madrasah Tsanawiyah Negeri 2 Rantauprapat pada tahun 2013. Menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) sederajat di SMA Negeri 2 Rantau Utara pada jurusan IPA dan tamat pada tahun 2016. Menempuh pendidikan ke Perguruan Tinggi di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara (UINSU) Fakultas Sains dan Teknologi Jurusan Fisika dan Alhamdulillah selesai pada tahun 2022.

Atas bimbingan dan karunia Allah SWT, serta motivasi dan doa dari orang tua kepada penulis, akhirnya penulis dapat mengikuti kegiatan akademik dan dapat menyelesaikan tugas akhir berupa skripsi yang berjudul "**Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (*Glass Powder*) Terhadap Karakteristik *Paving Block* **".