

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH LAS KARBIT DAN LIMBAH KACA SEBAGAI BAHAN PENYUSUN TERHADAP KUALITAS *PAVING BLOCK*

***(THE EFFECT OF SUBSTITUTION CARBIDE WASTE
AND GLASS WASTE AS SUBSTANCE MATERIAL ON
THE QUALITY OF PAVING BLOCK)***

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



**Dovita Jointina
18511132**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH LAS KARBIT DAN LIMBAH KACA SEBAGAI BAHAN PENYUSUN TERHADAP KUALITAS *PAVING BLOCK*

*(THE EFFECT OF SUBSTITUTION CARBIDE WASTE
AND GLASS WASTE AS SUBSTANCE MATERIAL ON
THE QUALITY OF PAVING BLOCK)*

Disusun Oleh

Dovita Jointina

18511132

Telah diterima sebagai salah satu syarat untuk
Memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal
12 Juni 2023

Oleh Dewan Penguji:

Penguji I

Penguji II

Pembimbing


far, S.T., MURP. M.T.
IK: 185111305


Mochamad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.
NIK: 855110201


Astriana Hardawati S.T., M.Eng.
NIK: 165111301



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Yunalia Muntali S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat sarjana di Program Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya yang saya buat sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penelitian laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan kaidah penulisan karya ilmiah. Apabila kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir saya terdapat plagiasi pada bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 26 Juni 2023

Yang membuat pernyataan,



Dovita Jointina

(18511132)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Substitusi Limbah Las Karbit dan Limbah Kaca Sebagai Bahan Penyusun Terhadap Kualitas *Paving Block*”**. Laporan Tugas Akhir ini merupakan syarat memenuhi persyaratan memperoleh derajat sarjana di Program Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini banyak rintangan yang dihadapi, namun berkat dukungan, motivasi, saran, dan kritik yang diberikan oleh berbagai pihak membuat laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Alm. Bapak dan Mama, Alm. Mirhan Ibrahim dan Emilia Gustina dan Kakak-Kakak, Deko, Deci, Dandi, Delta, dan Dinda yang selalu memberikan semangat, motivasi, serta materi hingga selesainya laporan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi., S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil,
3. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP selaku Dosen Pembimbing,
4. Bapak Mochamad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D. selaku Dosen Penguji I,
5. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II,
6. Bapak Vendie Abma S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik serta seluruh Dosen Teknik Sipil UII yang sudah membantu penulis selama masa studi di Universitas Islam Indonesia,
7. Teman-teman penulis, Kak Laun dan Dinda yang telah memberikan semangat, motivasi, dan masukan kepada penulis,
8. Teman-teman Teknik Sipil UII, Alm. Ricky, Topik, Kenzta, Afi, Fariza, Fadhil, Mista, dan Farrah yang telah banyak memberikan dukungan, masukan, dan kritikan kepada penulis.

9. Teman-teman kerja (Hannmart), Mbak Heba, Nasywa, Damas, Aldi, Leo, dan Mbak Oca yang sangat membantu dalam memberikan dukungan dan menemani penulis selama pembuatan laporan tugas akhir ini, dan
10. Pak Suluk, Mas Andi, Pak Daru, Pak Warno, Mas Zaki, dan semua staff Lab BKT UII yang ikut membantu proses penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap agar laporan Tugas Akhir ini bisa membantu dan bermanfaat untuk berbagai pihak.

**“you’re on your own, kid
you always have been”**

- Taylor Swift -

ABSTRAK

Paving block merupakan produk konstruksi yang banyak digunakan sebagai perkerasan, trotoar, dan taman. Pasir dan semen adalah material utama penyusun *paving block*. Pada penelitian ini dilakukan inovasi penggantian sebagian material semen menggunakan limbah las karbit dan pasir menggunakan limbah kaca guna menjadi solusi terhadap masifnya penambahan material serta untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan dengan memanfaatkan limbah. Kemiripan limbah karbit dan semen terletak pada unsur kimianya yang mengandung CaO dan SiO₂ yang berperan menghasilkan zat perekat tambahan, tidak hanya itu butiran limbah karbit juga berbentuk serbuk yang lolos ayakan no.100. Limbah kaca dari segi kehalusan butirannya mampu dijadikan sebagai pengganti pasir dikarenakan butirannya lolos ayakan no. 4 (4,75 mm) sesuai dengan ketentuan agregat halus pada SNI. Bahan kaca juga merupakan bahan dengan durabilitas yang tinggi dan kedap air, sehingga akan meningkatkan mutu *paving block*. Penelitian ini dilakukan dengan mengganti limbah kaca sebagai pasir secara konstan pada persentase 20% sebagai variabel terikat, sedangkan limbah karbit sebagai pengganti semen pada persentase 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% sebagai variabel bebas, dimana limbah dicampurkan secara bersamaan pada campuran *paving*. Dari hasil pengujian, nilai yang paling optimal terjadi di *paving block* kontrol dengan kuat tekan rata-rata, daya serap air rata-rata, dan keausan rata-rata sebesar 37,028 MPa, 7,633%, dan 0,268 mm/menit, diikuti *paving block* dengan penggantian 2,5% limbah karbit terhadap semen dengan kuat tekan rata-rata, daya serap air rata-rata, dan keausan rata-rata sebesar 22,180 MPa, 10,413%, dan 0,580 mm/menit, dan *paving block* dengan penggantian 5% limbah karbit terhadap semen dan penggantian 20% limbah kaca terhadap pasir dengan kuat tekan rata-rata, daya serap air rata-rata, dan keausan rata-rata sebesar 14,910 MPa, 10,844%, dan 0,620 mm/menit. Disimpulkan dari hasil pengujian adanya penurunan mutu saat ditambahkan kedua limbah dibandingkan dengan *paving kontrol* dan mutu *paving* yang dihasilkan tidak sesuai syarat berdasarkan ketiga parameter SNI 03-0691-1996.

Kata kunci: *Paving block*, Limbah, Las karbit, Kaca

ABSTRACT

Paving block is a construction product used for pavements, sidewalks, and parks. Sand and cement are the main materials used in the composition of paving blocks. This research aims to innovate by partially replacing cement with carbide waste and sand with glass waste as a solution to decrease mining of materials and to reduce the impact of environmental damage by utilizing waste materials. The similarity between carbide waste and cement are in their chemical composition such as CaO and SiO_2 , which is as additional adhesive properties. Moreover, carbide waste particles are in the form of powder that passes through a sieve with a mesh size of no.100. Glass waste can be used as substitution for sand in terms of particle fineness, because its particles pass through a sieve with a mesh size of no.4 (4.75 mm), complying with the requirements for fine aggregates in the national standard (SNI). Glass is also material with high durability and water impermeability, thereby enhancing the quality of the paving block. This research was conducted by consistently replacing sand with glass waste at a percentage of 20% as the dependent variable, while carbide waste was used to replace cement at percentages of 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% as the independent variable. The waste materials were mixed together in the paving mixture. Based on the test results, it can be concluded that the optimal values were obtained in the control paving block, with an average compressive strength, average water absorption, and average abrasion of 37.028 MPa, 7.633%, and 0.268 mm/minute, respectively. The paving block with a 2.5% replacement of carbide waste to cement showed an average compressive strength, average water absorption, and average abrasion of 22.180 MPa, 10.413%, and 0.580 mm/minute, respectively. Meanwhile, the paving block with a 5% replacement of carbide waste to cement and a 20% replacement of glass waste to sand exhibited an average compressive strength, average water absorption, and average abrasion of 14.910 MPa, 10.844%, and 0.620 mm/minute, respectively. It can be concluded from the test results that the quality of the paving blocks decreased when both waste materials were added compared to the control paving block, and the quality of the paving blocks produced did not attain the requirements based on the three parameters in the national standard (SNI 03-0691-1996).

Keywords: *Paving block, Waste, Carbide, Glass.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN DEDIKASI	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Keaslian Penelitian	21
BAB III LANDASAN TEORI	22
3.1 <i>Paving Block</i>	22
3.1.1 Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	23
3.2 Komposisi Campuran <i>Paving Block</i>	24
3.2.1 Semen <i>Portland</i>	24
3.2.2 Agregat Halus	26
3.2.3 Air	32
3.3 Bahan Pengganti	33

3.3.1	Limbah Kaca	33
3.3.2	Limbah Las Karbit	36
3.4	Campuran <i>Paving Block (Mix Design)</i>	37
3.5	Pengujian <i>Paving Block</i>	40
3.5.1	Kuat Tekan	40
3.5.2	Keausan	42
3.5.3	Daya Serap Air	42
3.6	Uji Statistik	43
3.6.1	Normalitas	43
3.6.2	Homogenitas	43
BAB IV METODE PENELITIAN		44
4.1	Umum	44
4.2	Persiapan Alat dan Bahan	46
4.2.1	Alat	46
4.2.2	Bahan	51
4.3	Pelaksanaan Penelitian	53
4.3.1	Pemeriksaan Bahan	54
4.3.2	Perencanaan Komposisi Benda Uji (<i>Mix Design</i>)	58
4.3.3	Pembuatan Benda Uji	59
4.3.4	Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji	60
4.3.5	Pemotongan Benda Uji	60
4.3.6	Pengujian Benda Uji	60
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		63
5.1	Umum	63
5.2	Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	63
5.2.1	Semen <i>Portland</i>	63
5.2.2	Limbah Las Karbit	63
5.2.3	Pasir	63
5.2.4	Limbah Kaca	80
5.2.5	Air	103
5.3	Kebutuhan Campuran (<i>Mix Design</i>)	103
5.4	Pengujian <i>Paving Block</i>	105

5.4.1	Kuat Tekan	106
5.4.2	Daya Serap Air	118
5.4.3	Keausan	126
5.5	Pengaruh Substitusi Limbah Karbit dan Limbah Kaca Terhadap Mutu <i>Paving Block</i>	136
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		138
6.1	Kesimpulan	138
6.2	Saran	139
DAFTAR PUSTAKA		140
LAMPIRAN		144
Lampiran 1 Gambar Bahan yang Digunakan		145
Lampiran 2 Gambar Alat yang Digunakan		147
Lampiran 3 Proses Pemeriksaan Bahan		153
Lampiran 4 Proses Pembuatan Benda Uji		157
Lampiran 5 Proses Pengujian Kuat Tekan		159
Lampiran 6 Proses Pengujian Daya Serap Air		160
Lampiran 7 Proses Pengujian Keausan		161
Lampiran 8 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Bahan		162
Lampiran 9 Laporan Sementara Hasil Pengujian Benda Uji		176
Lampiran 10 Hasil Uji Statistika Pada SPSS Versi 26		191

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	15
Tabel 2. 2 Skema Penelitian yang akan dilakukan	20
Tabel 3. 1 Syarat Kualitas <i>Paving Block</i> Berdasarkan Nilai Kuat Tekan, Ketahanan Aus, dan Penyerapan Air Rerata dan Minimal	23
Tabel 3. 2 Unsur-Unsur Utama Semen <i>Portland</i>	25
Tabel 3. 3 Jenis Agregat Halus Berdasarkan Gradasinya	27
Tabel 3. 4 Kandungan Kimia Limbah Kaca	34
Tabel 3. 5 Kandungan Kimia Limbah Las Karbit	37
Tabel 4. 1 Variasi Substitusi Limbah Terhadap Bahan Campuran dan Jumlah Sampel Pengujian	58
Tabel 5. 1 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Pasir	69
Tabel 5. 2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir	73
Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Pasir	78
Tabel 5. 4 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Pasir	78
Tabel 5. 5 Hasil Pemeriksaan Kandungan Lumpur Pada Pasir	80
Tabel 5. 6 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Limbah Kaca	86
Tabel 5. 7 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Limbah Kaca dan Pasir (20:80)	92
Tabel 5. 8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Kaca	96
Tabel 5. 9 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Limbah Kaca	101
Tabel 5. 10 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Limbah Kaca	101
Tabel 5. 11 Hasil Pemeriksaan Kandungan Lumpur Limbah Kaca	103
Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Kebutuhan <i>Mix Design</i>	105
Tabel 5. 13 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTA (G0C0)	108
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTA (G0C0)	108
Tabel 5. 15 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTB (G20C0)	108
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTB (G0C0)	109
Tabel 5. 17 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTC (G0C2,5)	109
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTC (G0C2,5)	109

Tabel 5. 19 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTD (G20C2,5)	110
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTD (G20C2,5)	110
Tabel 5. 21 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTE (G20C5)	111
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTE (G20C5)	111
Tabel 5. 23 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTF (G20C7,5)	111
Tabel 5. 24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTF (G20C7,5)	112
Tabel 5. 25 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTG (G20C10)	112
Tabel 5. 26 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTG (G20C10)	112
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tekan dan Klasifikasinya Terhadap Mutu <i>Paving Block</i>	113
Tabel 5. 28 Hasil Uji Normalitas Kuat Tekan	115
Tabel 5. 29 Hasil Uji Homogenitas Kuat Tekan	115
Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAA (G0C0)	119
Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAB (G20C0)	119
Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAC (G0C2,5)	120
Tabel 5. 33 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAD (G20C2,5)	120
Tabel 5. 34 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAE (G20C5)	121
Tabel 5. 35 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAF (G20C7,5)	121
Tabel 5. 36 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAG (G20C10)	122
Tabel 5. 37 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Daya Serap Air Terhadap Mutu <i>Paving Block</i>	122
Tabel 5. 38 Hasil Uji Normalitas Daya Serap Air	124
Tabel 5. 39 Hasil Uji Homogenitas Daya Serap Air	124
Tabel 5. 40 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSA (G0C0)	128
Tabel 5. 41 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSB (G20C0)	128
Tabel 5. 42 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSC (G0C2,5)	129
Tabel 5. 43 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSD (G20C2,5)	129
Tabel 5. 44 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSE (G20C5)	130
Tabel 5. 45 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSF (G20C7,5)	130
Tabel 5. 46 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSG (G20C10)	131

Tabel 5. 47 Rekapitulasi Perhitungan Keausan dan Klasifikasinya Terhadap Mutu <i>Paving Block</i>	131
Tabel 5. 48 Hasil Uji Normalitas Keausan	133
Tabel 5. 49 Hasil Uji Homogenitas Keausan	133
Tabel 5. 50 Mutu <i>Paving Block</i> Berdasarkan Hasil Tiga Pengujian	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Terhadap Persentase Limbah Las Karbit Pada Beton	9
Gambar 2. 2 Hasil Pengujian Absorpsi Terhadap Persentase Limbah Las Karbit Pada Beton	9
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan dan Persentase Daya Serap Air	11
Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan dan Nilai Keausan	11
Gambar 2. 5 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Substitusi Limbah Kaca	12
Gambar 2. 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Substitusi Limbah Las Karbit	14
Gambar 3. 1 Sampel Ukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm	39
Gambar 3. 2 Sampel Ukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm	39
Gambar 4. 1 Bagan Alir	44
Gambar 4. 2 Timbangan	46
Gambar 4. 3 Jangka Sorong	46
Gambar 4. 4 Oven	47
Gambar 4. 5 Piknometer	47
Gambar 4. 6 Sekop/Cetok	48
Gambar 4. 7 Sieve	48
Gambar 4. 8 Kerucut Terpancung dan Penumbuk	48
Gambar 4. 9 Cetakan Silinder	49
Gambar 4. 10 Mesin Cetak	49
Gambar 4. 11 Alat Pemotong	50
Gambar 4. 12 Mesin Penguji Kuat Tekan	50
Gambar 4. 13 Mesin Penguji Keausan	51
Gambar 4. 14 Semen <i>Portland</i>	51

Gambar 4. 15 Agregat Halus (Pasir)	52
Gambar 4. 16 Air	52
Gambar 4. 17 Limbah Karbit	53
Gambar 4. 18 Limbah Kaca	53
Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Pasir Daerah II	70
Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Limbah Kaca Daerah III	87
Gambar 5. 3 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II	93
Gambar 5. 4 Proses Pengujian Kuat Tekan	106
Gambar 5. 5 Grafik Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Terhadap Mutunya	114
Gambar 5. 6 Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan Rata-Rata <i>Paving</i> Dengan Variasi Limbah Terhadap <i>Paving</i> Kontrol	114
Gambar 5. 7 Proses Pengujian Daya Serap Air	118
Gambar 5. 8 Grafik Hasil Daya Serap Air Rata-Rata Terhadap Mutunya	123
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Hasil Daya Serap Air Rata-Rata Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata	123
Gambar 5. 10 Proses Pengujian Keausan	126
Gambar 5. 11 Grafik Hasil Keausan Rata-Rata Terhadap Mutunya	132
Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Hasil Keausan Rata-Rata Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata	132

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L-1. 1 Pasir Merapi	145
Lampiran L-1. 2 Semen <i>Portland</i> Tiga Roda	145
Lampiran L-1. 3 Air	145
Lampiran L-1. 4 Limbah Karbit	146
Lampiran L-1. 5 Limbah Karbit Lolos Saringan #100	146
Lampiran L-1. 6 Limbah Kaca	146
Lampiran L-2. 1 Cetok	147
Lampiran L-2. 2 Ember	147
Lampiran L-2. 3 Pan	147
Lampiran L-2. 4 Jangka Sorong	148
Lampiran L-2. 5 Kerucut Terpancung	148
Lampiran L-2. 6 Piknometer	148
Lampiran L-2. 7 Satu Set Saringan	149
Lampiran L-2. 8 Oven	150
Lampiran L-2. 9 Mesin Pemotong	151
Lampiran L-2. 10 Mesin Pencetak <i>Paving Block</i>	151
Lampiran L-2. 11 Alat Penguji Kuat Tekan	151
Lampiran L-2. 12 Alat Penguji Keausan	152
Lampiran L-3. 1 Penyaringan Limbah Kaca	153
Lampiran L-3. 2 Penghancuran Butiran Limbah Karbit	153
Lampiran L-3. 3 Limbah Karbit Lolos Saringan #100	153
Lampiran L-3. 4 Pemeriksaan Analisis Saringan	154
Lampiran L-3. 5 Pemeriksaan Berat Isi	154
Lampiran L-3. 6 Penumbukan Untuk Pemeriksaan Berat Isi	154
Lampiran L-3. 7 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air	155
Lampiran L-3. 8 Penimbangan Benda Uji Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air	155

Lampiran L-3. 9 Pengovenan Benda Uji Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air	155
Lampiran L-3. 10 Pemeriksaan Kadar Lumpur	156
Lampiran L-3. 11 Sampel Kadar Lumpur Setelah Dicuci	156
Lampiran L-3. 12 Pengovenan Sampel Kadar Lumpur	156
Lampiran L-4. 1 Pemadatan dan Pencetakan <i>Paving Block</i>	157
Lampiran L-4. 2 <i>Paving Block</i> Setelah Dicitak	157
Lampiran L-4. 3 Perendaman <i>Paving Block</i>	157
Lampiran L-4. 4 Pengeringan <i>Paving Block</i> Setelah Proses Perendaman	158
Lampiran L-4. 5 Pengukuran Benda Uji	158
Lampiran L-4. 6 Pemotongan	158
Lampiran L-5. 1 Pengukuran Dimensi Benda Uji Kuat Tekan	159
Lampiran L-5. 2 Pengujian Kuat Tekan	159
Lampiran L-5. 3 Benda Uji Setelah Pengujian	159
Lampiran L-6. 1 Perendaman Benda Uji Daya Serap Air	160
Lampiran L-6. 2 Pengovenan Benda Uji	160
Lampiran L-7. 1 <i>Proses</i> Pengujian Keausan	161
Lampiran L-7. 2 Benda Uji Setelah Pengujian	161
Lampiran L-8. 1 <i>Form</i> Pengujian Analisis Saringan Pada Pasir	162
Lampiran L-8. 2 <i>Form</i> Grafik Pengujian Analisis Saringan Pada Pasir	163
Lampiran L-8. 3 <i>Form</i> Pengujian Berat Isi Padat Pada Pasir	164
Lampiran L-8. 4 <i>Form</i> Pengujian Berat Isi Gembur Pada Pasir	165
Lampiran L-8. 5 <i>Form</i> Pengujian Butiran Lolos Ayakan No. 200 Pada Pasir	166
Lampiran L-8. 6 <i>Form</i> Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Pasir	167
Lampiran L-8. 7 <i>Form</i> Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca	168
Lampiran L-8. 8 <i>Form</i> Grafik Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca	169
Lampiran L-8. 9 <i>Form</i> Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca : Pasir (20:80)	170
Lampiran L-8. 10 <i>Form</i> Grafik Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca : Pasir (20:80)	171
Lampiran L-8. 11 <i>Form</i> Pengujian Berat Isi Padat Pada Limbah Kaca	172

Lampiran L-8. 12 <i>Form</i> Pengujian Berat Isi Gembur Pada Limbah Kaca	173
Lampiran L-8. 13 <i>Form</i> Pengujian Butiran Lolos Ayakan No. 200 Pada Limbah Kaca	174
Lampiran L-8. 14 <i>Form</i> Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Limbah Kaca	175
Lampiran L-9. 1 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTA	176
Lampiran L-9. 2 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTA dan KTB	177
Lampiran L-9. 3 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTC	178
Lampiran L-9. 4 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTD	179
Lampiran L-9. 5 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTE	180
Lampiran L-9. 6 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTF	181
Lampiran L-9. 7 <i>Form</i> Pengujian Kuat Tekan Sampel KTG	182
Lampiran L-9. 8 <i>Form</i> Pengujian Daya Serap Air Sampel SAA	183
Lampiran L-9. 9 <i>Form</i> Pengujian Daya Serap Air Sampel SAB dan SAC	184
Lampiran L-9. 10 <i>Form</i> Pengujian Daya Serap Air Sampel SAD dan SAE	185
Lampiran L-9. 11 <i>Form</i> Pengujian Daya Serap Air Sampel SAF dan SAG	186
Lampiran L-9. 12 <i>Form</i> Pengujian Keausan Sampel AUSA	187
Lampiran L-9. 13 <i>Form</i> Pengujian Keausan Sampel AUSB dan AUSC	188
Lampiran L-9. 14 <i>Form</i> Pengujian Keausan Sampel AUSD dan AUSE	189
Lampiran L-9. 15 <i>Form</i> Pengujian Keausan Sampel AUSF dan AUSG	190
Lampiran L-10. 1 <i>Descriptive</i> Uji Normalitas Kuat Tekan	191
Lampiran L-10. 2 Uji Normalitas Nilai Kuat Tekan	193
Lampiran L-10. 3 Grafik Uji Normalitas Sampel KTA dan KTB	194
Lampiran L-10. 4 Grafik Uji Normalitas Sampel KTC dan KTD	195
Lampiran L-10. 5 Grafik Uji Normalitas Sampel KTE dan KTF	196
Lampiran L-10. 6 Grafik Uji Normalitas Sampel KTG	197
Lampiran L-10. 7 <i>Descriptive</i> Uji Normalitas Daya Serap Air	198
Lampiran L-10. 8 Uji Normalitas Nilai Daya Serap Air	200
Lampiran L-10. 9 Grafik Uji Normalitas Sampel SAA dan SAB	201
Lampiran L-10. 10 Grafik Uji Normalitas Sampel SAC dan SAD	202
Lampiran L-10. 11 Grafik Uji Normalitas Sampel SAE dan SAF	203

Lampiran L-10. 12 Grafik Uji Normalitas Sampel SAG	204
Lampiran L-10. 13 <i>Descriptive</i> Uji Normalitas Keausan	205
Lampiran L-10. 14 Uji Normalitas Nilai Keausan	207
Lampiran L-10. 15 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSA dan AUSB	208
Lampiran L-10. 16 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSE dan AUSF	209
Lampiran L-10. 17 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSE dan AUSF	210
Lampiran L-10. 18 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSG	211
Lampiran L-10. 19 Uji Homogenitas Nilai Kuat Tekan	211
Lampiran L-10. 20 Uji Homogenitas Nilai Keausan	211
Lampiran L-10. 21 Uji Homogenitas Nilai Daya Serap Air	212

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

°C	= Derajat Celcius
γ_{pasir}	= Berat Volume Padat Pasir
A	= Berat <i>Paving Block</i> Basah
A	= Berat Agregat Halus Setelah Dioven
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
Al ₂ O ₃	= <i>Alumunium Trioxide</i>
ASR	= <i>Alkali Silica Reaction</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Material</i>
AUS	= Keausan
B3	= Bahan Berbahaya dan Beracun
B	= Berat <i>Paving Block</i> Kering
B	= Berat Agregat Halus Setelah Dicuci, Dioven, dan Didiamkan
B	= Berat Agregat Halus Kering
B	= Berat Piknometer Berisi Air
Bk	= Berat Pasir Kering
Blk	= Berat Lolos Kumulatif
Bt	= Berat Tertinggal
Bt	= Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air
Btk	= Berat Tertinggal Kumulatif

C_2S	= <i>Dikalsium Silikat</i>
C_3A	= <i>Trikalsium Aluminat</i>
C_3S	= <i>Trikalsium Silikat</i>
C_4AF	= <i>Tetrakalsium Aluminoferrit</i>
Ca	= <i>Calcium</i>
CaO	= <i>Calcium Oxide</i>
$Ca(OH)_2$	= <i>Calcium Hidroksida</i>
Cm^2	= <i>Centimeter Square</i>
Cm	= <i>Centimeter</i>
D	= <i>Diameter Silinder</i>
D	= <i>Keausan</i>
Dm	= <i>Keausan Rata-Rata</i>
fas	= <i>Faktor Air Semen</i>
F_c'	= <i>Kuat Tekan</i>
$F_c'm$	= <i>Kuat Tekan Rata-Rata</i>
Fe_2O_3	= <i>Ferum (III) Trioxide</i>
FTS	= <i>Fakultas Teknik Sipil</i>
G	= <i>Kehilangan Berat/Waktu</i>
Gr	= <i>Gram</i>
H_0	= <i>Data Terdistribusi Normal atau Data Varian Sama</i>
H_1	= <i>Data Tidak Terdistribusi Normal atau Data Varian Tidak Sama</i>
Kg	= <i>Kilogram</i>

KT	= Kuat Tekan
L	= Luas Bidang Tekan
MgO	= <i>Magnesium Oxide</i>
MgSO ₄	= <i>Magnesium Sulfat</i>
MHB	= Modulus Halus Butiran
Mm ²	= <i>Milimeter Square</i>
Mm	= <i>Milimeter</i>
MPa	= <i>Megapascal</i>
n%	= Variasi Persentase Limbah
N	= Newton
Na ₂ SO ₄	= <i>Natrium Sulfat</i>
NaOH	= <i>Natrium Hidroksida</i>
P	= Beban Tekan
p	= Taraf Signifikansi
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
PP	= Peraturan Pemerintah
Ps	= Faktor Perbandingan Pasir Terhadap Semen
SA	= Serap Air
Si	= <i>Silica</i>
SiO ₂	= <i>Silicon Dioxide</i>
SK	= Surat Keputusan
SNI	= Standar Nasional Indonesia

SO ₃	= <i>Sulfur Trioksida</i>
SSD	= Berat Pasir Jenuh Kering Muka
t	= Tinggi Silinder
V	= Volume Silinder
V _{Paving Block}	= Volume <i>Paving Block</i>
W3	= Berat Agregat Halus
W2	= Berat Silinder dan Agregat Halus
W1	= Berat Silinder
XRF	= <i>X-ray Fluorescence</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material utama yang dipakai di bidang konstruksi, khususnya di Indonesia. Laju pertumbuhan yang pesat di Indonesia sejalan dengan pembangunan yang tinggi dan kebutuhan jumlah produk konstruksi yang juga meningkat. Salah satu produk konstruksi yang banyak diminati adalah *paving block*. *Paving block* merupakan produk konstruksi yang digunakan sebagai penutup permukaan tanah, sehingga banyak dimanfaatkan untuk perkerasan jalan, halaman rumah, serta perkantoran. *Paving block* merupakan produk konstruksi pra-cetak dengan pengerjaan yang mudah dilakukan karena *paving block* terdiri atas blok-blok yang disatukan. Selain itu, komponen blok-blok ini juga memaksimalkan penyerapan air hujan, sehingga menjaga konservasi air tanah, tidak hanya itu blok-blok ini juga lebih fleksibel terhadap pemuaian maupun penyusutan yang disebabkan oleh cuaca.

Menurut SNI 03-0691-1996, bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrasi sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bahan beton itu. Semen dan agregat halus berfungsi sebagai pengikat dan pengisi pada *paving block*. Jika permintaan produk konstruksi ini meningkat, bahan penyusun utamanya juga akan semakin tinggi penggunaannya. Hal ini menyebabkan pertambahan terhadap kapur sebagai bahan utama semen dan pasir (agregat halus) tentu akan semakin masif juga kedepannya.

Semen tersusun dari beberapa unsur senyawa berupa senyawa kalsium (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi (Fe_2O_3). Semen didapatkan dari penambangan batu kapur, sehingga penambangan yang masif tentu akan berdampak pada kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, lahirlah inovasi untuk melakukan analisis terhadap limbah yang dapat menggantikan peranan semen sebagai bahan utama dari *paving block*, salah satunya limbah las karbit. Limbah las

karbit merupakan limbah yang dihasilkan dari residu pembakaran karbit yang berasal dari reaksi antara air dan karbit. Menurut PP RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Pemerintah Indonesia, limbah las karbit termasuk dalam daftar limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) karena memiliki kandungan zat beracun, sehingga butuh pengolahan yang tidak membahayakan lingkungan maupun makhluk hidup di sekitarnya.

Menurut Taufik, dkk (2017) berdasarkan hasil penelitian di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian Yogyakarta pada tahun 2014, limbah las karbit mengandung CaO sebesar 46,79%, SiO₂ sebesar 13,25%. Menurut Asward (2013) dalam Aprida, dkk (2018) kandungan SiO₂ pada limbah las karbit akan mewujudkan reaksi *pozzolanic* saat berikatan dengan Ca(OH)₂ dari semen yang membentuk kalsium silikat hidrat dengan peran sebagai perekat, peran perekat ini serupa dengan ikatan yang dihasilkan semen. Hal ini menjadikan limbah las karbit berpotensi untuk diolah sebagai pengganti semen guna memaksimalkan pemanfaatan limbah las karbit dan juga mengurangi penambangan kapur untuk kebutuhan semen di bidang konstruksi. Menurut penelitian yang pernah dilakukan oleh Kusuma (2011) substitusi persentase limbah las karbit terhadap semen secara konstan dapat menaikkan kuat tekan *paving* yaitu substitusi limbah las karbit 47% terhadap semen menghasilkan kuat tekan paving optimum sebesar 170,22 kg/cm² dibandingkan substitusi 0% limbah las karbit karena kuat tekan yang dihasilkan hanya sebesar 126,44 kg/cm².

Selain semen, agregat halus juga merupakan bahan utama *paving block*. Agregat halus didapatkan dari hasil penambangan pasir di dataran tinggi maupun daerah sungai. Ketersediaannya yang terbatas akan membuat sumber daya pasir semakin lama akan semakin berkurang dan dapat segera habis, sehingga dibutuhkan inovasi untuk menggantikan ketersediaan bahan utama dari *paving block* ini. Salah satu inovasi yang bisa dilakukan adalah penggantian agregat halus ke limbah kaca. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kesehatan, Direktorat Penanganan Sampah (2021) berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional periode 2021, jumlah limbah kaca berada di persentase 2,4% dari total seluruh limbah di Indonesia per tahun yaitu sebanyak 31 juta ton. Limbah kaca merupakan

salah satu limbah yang sulit diuraikan oleh proses biologi (*non-biodegradable*) hal ini tentu cukup berpengaruh pada kerusakan lingkungan.

Berdasarkan sifat fisiknya, kaca dianggap sebagai alternatif yang layak karena butirnya yang memenuhi syarat agregat halus yaitu lolos saringan no. 4 (berukuran maksimal 4,80 mm), sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tamanna, dkk (2020) yang mana limbah kaca yang digunakan memiliki ukuran butiran sebesar 3 mm. Menurut Arivalagan dan Sethuraman (2020), bahan kaca merupakan bahan dengan durabilitas yang tinggi, kedap terhadap air, serta bahannya kuat, sehingga mampu meningkatkan kuat tekan. Selain itu, kaca merupakan bahan yang tidak mudah menyerap air, sehingga nantinya akan mempengaruhi persentase daya serap *paving*.

Menurut Islam, dkk (2017), limbah kaca bening memiliki persentase senyawa silika (SiO_2) sebesar 68,1% sedangkan untuk limbah kaca berwarna memiliki persentase senyawa silika (SiO_2) sebesar 68,7%. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Nadia dan Fauzi (2011), semakin banyak kadar SiO_2 di dalam pasir akan cukup meningkatkan kuat tekan beton hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian dari pasir yang mengandung kadar SiO_2 sebanyak 50,4% menghasilkan kuat tekan sebesar 259,31 kg/cm^2 sedangkan pasir dengan kandungan 13,12% SiO_2 hanya menghasilkan kuat tekan sebesar 251 kg/cm^2 , walaupun hasil dari penelitian ini mengatakan bawah SiO_2 tidak terlalu memberikan pengaruh yang signifikan. Penelitian mengenai *paving block* dengan substitusi limbah kaca juga pernah dilakukan oleh Valdi, dkk (2022) dari hasil penelitian tersebut didapatkan substitusi limbah kaca sebesar 15% menghasilkan kuat tekan pada *paving block* sebesar 55,66 MPa sedangkan *paving block* dengan 0% substitusi limbah kaca hanya menghasilkan kuat tekan sebesar 36,26 MPa.

Berdasarkan penjelasan, maka dapat disimpulkan bahwa limbah las karbit maupun limbah kaca bisa dijadikan alternatif sebagai komponen utama pembentuk *paving block*. Belum adanya penelitian mengenai substitusi dari kedua limbah secara bersamaan pada bahan penyusun *paving block* dan pengaruhnya terhadap mutu dari *paving block* yang melatarbelakangi penelitian ini. Penelitian ini akan dilakukan dengan substitusi variasi limbah las karbit sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%,

dan 10% terhadap semen merujuk pada penelitian Taufik, dkk (2017) dan Makmur, (2022) yang menghasilkan kuat tekan optimum *paving* pada kadar 5% dan 10% terhadap semen. Substitusi limbah kaca dilakukan sebesar 0% dan 20% terhadap pasir merujuk pada penelitian Ismail dan AL-Hashmi (2009) yang menghasilkan kuat tekan mortar optimal pada kadar 20% terhadap pasir, dan penelitian Malik (2013) yang menghasilkan kuat tekan beton optimal pada kadar 20% terhadap pasir dibandingkan kuat tekan beton normal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah las karbit sebagai substitusi semen dan limbah kaca sebagai substitusi pasir pada nilai kuat tekan rata-rata, persentase daya serap air, dan keausan *paving block*?
2. Berapa persentase optimum dari substitusi limbah las karbit menjadi semen pada kuat tekan rata-rata, daya serap air, dan keausan *paving block*?
3. Bagaimana perbandingan antara *paving block* yang bahan utamanya dilakukan penggantian dengan limbah dan *paving block* yang bahan utamanya tidak dilakukan penggantian dengan limbah berdasarkan nilai kuat tekan rata-rata, daya serap air, dan nilai keausan *paving block*?
4. Apakah mutu dari *paving block* yang dihasilkan sudah sesuai dengan mutu syarat SNI 03-0691-1996?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh penggunaan limbah las karbit dan limbah kaca terhadap nilai kuat tekan rata-rata, persentase daya serap air, dan keausan *paving block*,
2. Persentase optimum dari substitusi limbah las karbit menjadi semen pada kuat tekan rata-rata, daya serap air, dan nilai keausan *paving block*,

3. Perbandingan antara *paving block* yang bahan utamanya dilakukan penggantian dengan limbah dan *paving block* yang bahan utamanya tidak dilakukan penggantian dengan limbah berdasarkan nilai kuat tekan rata-rata, daya serap air, dan nilai keausan *paving block*, dan
4. Mutu *paving block* yang dihasilkan sudah sesuai dengan mutu syarat SNI 03-0691-1996.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang diharapkan adalah sebagai berikut ini.

1. Menjadi solusi untuk pemerintah dan masyarakat dalam penanggulangan limbah las karbit dan limbah kaca.
2. Menjadi inovasi dalam pemanfaatan limbah las karbit dan limbah kaca yang berdampak pada kerusakan lingkungan.
3. Menjadi alternatif dalam mengurangi penambangan pasir dan kapur sebagai komposisi utama penyusun *paving block*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan tujuan mencari nilai optimum dari kuat tekan, daya serap air, dan nilai keausan pada persentase pengganti limbah las karbit terhadap semen dan limbah kaca terhadap pasir.
2. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan, daya serap air, dan keausan *paving block* sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996.
3. Limbah kaca yang digunakan merupakan limbah kaca yang sudah diolah di pabrik penggilingan beling yang berbentuk butiran yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm). Bahan kaca yang dipakai berasal dari kaca botol dan kaca bening.
4. Limbah las karbit yang digunakan merupakan limbah dengan butiran yang lolos saringan no. 100. Limbah las karbit didapatkan dari limbah bengkel las yang berada di daerah Yogyakarta dan sekitarnya.
5. Pasir yang digunakan merupakan pasir dengan butiran yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan berasal dari gunung Merapi.

6. Semen yang digunakan merupakan semen *portland composite* (PCC), merk Tiga Roda yang terdapat pada Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi.
7. Air yang digunakan adalah air yang terdapat pada Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi.
5. Campuran perbandingan antara semen dan pasir yang digunakan adalah 1 pc:3 ps sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Klarens, dkk (2015) didasarkan dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan *paving block* pada umur 28 hari sebesar 41,77 Mpa dimana telah memenuhi persyaratan *paving block* mutu A sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
8. Rasio perbandingan antara air dan semen (fas) sebesar 0,4 sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Tulloh, 2019), dari pengujian tersebut dihasilkan sampel yang tidak mengalami retakan pada fas 0,4.
9. Pengujian yang dilakukan menggunakan *paving block* tipe *holland* dengan detail ukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm dan kemudian bahan uji dipotong menjadi berbentuk kubus dengan ukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm disesuaikan dengan tebal ukuran asli *paving block*.
10. Sampel yang digunakan berjumlah 35 buah sampel (200 mm x 100 mm x 60 mm).
11. Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 5 buah untuk setiap komposisi campuran.
12. Persentase substitusi limbah kaca terhadap pasir dilakukan sebesar 0% dan 20% sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Malik (2013).
13. Persentase substitusi limbah las karbit terhadap semen dilakukan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Taufik, dkk (2017) yang menghasilkan kuat tekan beton optimum pada variasi 5% dan penelitian oleh Makmur, dkk (2022) yang menghasilkan kuat tekan beton optimum pada variasi 10%.
14. Pembuatan sampel dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi.
15. Perawatan sampel dilakukan dengan merendam permukaan sampel selama 21 hari lalu setelahnya dibiarkan di suhu ruang selama 7 hari, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Prestika dan Adha (2016) dengan hasil kuat

tekan *paving block* sebesar 9,65 MPa yang telah memenuhi persyaratan mutu *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

16. Pengujian dilakukan pada *paving block* umur 28 hari dikarenakan pada umur 28 hari kuat tekan *paving* dianggap sudah optimum dan kenaikan kuat tekan setelahnya tidak terlalu signifikan (Tjokrodinuljo, 2007).
17. Pengujian properties bahan dan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

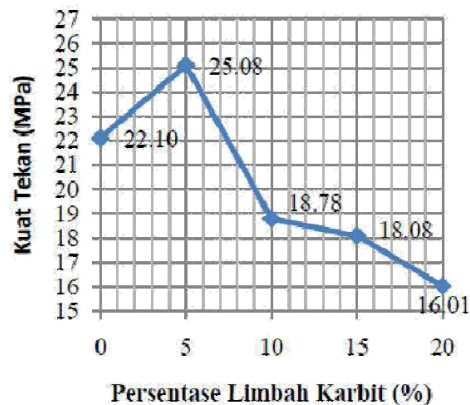
2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan terdapat beberapa kesamaan dan juga perbedaan dari penelitian terdahulu. Kesamaan maupun perbedaan terdapat dari metode penelitian, objek yang diteliti, maupun variabel yang diteliti. Penelitian terdahulu diperlukan sebagai referensi dan juga acuan untuk menghindari kegagalan dari penelitian yang sudah ada. Adapun penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan referensi pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh Substitusi Limbah Las Karbit Terhadap Karakteristik Beton oleh Taufik, dkk (2017)

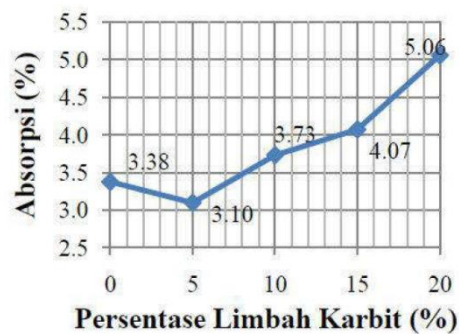
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis limbah las karbit sebagai bahan alternatif beton pengganti semen dengan cara mencari persentase substitusi yang menghasilkan kuat tekan optimum, menganalisis porositas pada beton dengan substitusi limbah las karbit, menganalisis kemampuan beton dalam menahan air yang masuk, dan menganalisis daya penyerapan air pada beton. Variasi substitusi limbah las karbit dimulai dari 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Sampel yang digunakan pada penelitian ini secara keseluruhan berjumlah 40 buah serta perawatan sampel dilakukan hingga berumur 28 hari sebelum dilakukan pengujian. Dari hasil pengujian didapatkan kuat tekan optimum berada pada kadar limbah las karbit sebesar 5% dengan hasil kuat tekan sebesar 25,08 MPa. Kuat tekan beton yang dihasilkan pada kadar 5% lebih besar daripada hasil beton normal dengan kuat tekan sebesar 22,10 MPa. Hal ini dikarenakan kandungan SiO_2 pada limbah las karbit bereaksi dengan senyawa pada semen (kalsium silikat) dan air yang menghasilkan kalsium silikat hidrat, sehingga ikatan antar butiran menjadi lebih kuat. Namun, pada variasi substitusi diatas 5% terjadi penurunan kuat tekan pada beton. Hasil pengujian absorpsi saling berhubungan dengan hasil pengujian kuat tekan sebelumnya, Berdasarkan grafik hasil pengujian, semakin besar kuat tekan yang dihasilkan

maka semakin kecil nilai absorpsi yang didapatkan. Hal ini dikarenakan banyaknya pori-pori membuat air yang masuk pada beton juga lebih banyak, sehingga daya serap beton akan meningkat mengakibatkan nilai absorpsi menjadi besar. Adapun nilai hasil pengujian absorpsi dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.1. dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Terhadap Persentase Limbah Las Karbit Pada Beton

(Sumber: Taufik, dkk 2017)



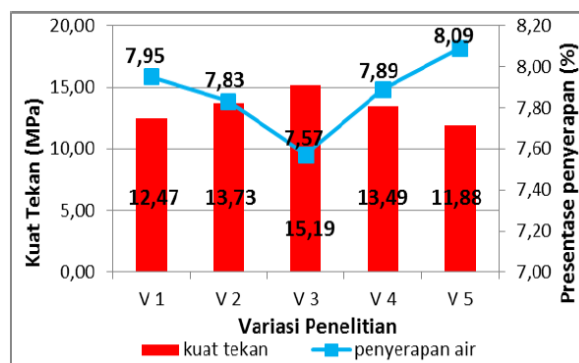
Gambar 2. 2 Hasil Pengujian Absorpsi Terhadap Persentase Limbah Las Karbit Pada Beton

(Sumber: Taufik, dkk 2017)

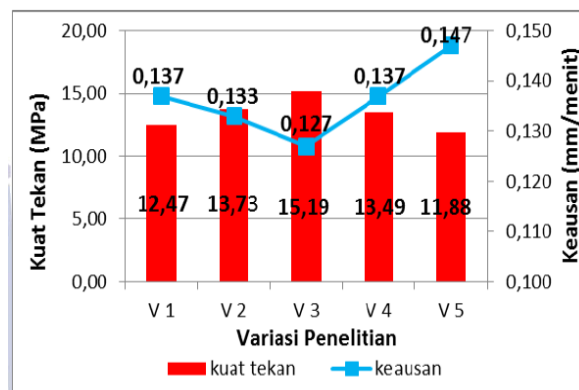
2. Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* Batu Bara dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran *Paving Block* oleh Tokede dan Wardhono (2018)

Penelitian ini dilakukan guna untuk melihat pengaruh dari substitusi semen dengan bahan serbuk limbah karbit dan bahan *additive* berupa *bottom ash* sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Limbah las karbit merupakan limbah yang kurang pemanfaatannya, biasanya limbah ini hanya dijadikan bahan untuk timbunan. Pemanfaatan yang kurang optimal inilah yang melatarbelakangi penelitian ini dan diharapkan dengan penelitian ini limbah las karbit mampu dimanfaatkan lebih optimal. Berdasarkan hasil dari uji kandungan kimia, diketahui jika limbah ini memiliki kandungan Ca sebesar 97,21% dan Si sebesar 0,37%, dimana kandungan ini mirip seperti kandungan kimia yang terdapat pada semen, sehingga diharapkan peranan semen pada *paving block* mampu digantikan oleh limbah ini. Variasi substitusi limbah las karbit yang dilakukan sebesar 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17% dari volume total semen pada campuran. Perbandingan campuran antara semen dan agregat halus yang dipakai sebesar 1:3 dan ditambahkan 0,3 *bottom ash* pada *paving* kontrol dengan fas sebesar 30%. Perawatan sampel dilakukan selama 7 hari dengan cara menyirami permukaan satu kali dalam sehari. Pengujian yang dilakukan terhadap sampel meliputi pengujian kuat tekan, daya serap air, dan pengujian ketahanan aus sesuai dengan prosedur pada SNI 0691-1996. Dari hasil pengujian didapatkan kuat tekan *paving* mengalami kenaikan seiring dengan penambahan limbah las karbit hingga 15%, namun setelahnya pada variasi ke 4 dan ke 5 secara konstan kuat tekan mengalami penurunan, sehingga didapatkan kuat tekan paling optimal berada pada variasi 15% yaitu sebesar 15,19 MPa. Untuk hasil pengujian daya serap air dan keausan saling berhubungan dengan hasil pengujian kuat tekan, semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan maka daya serap air dan keausan yang dihasilkan juga akan semakin rendah. Daya serap air dan keausan yang paling minimum dihasilkan pada variasi 15% substitusi limbah las karbit terhadap semen yaitu sebesar 7,57% dan 0,127 mm/menit. Jika dilihat, hasil nilai kuat tekan dan persentase daya serap air ini juga saling berhubungan dikarenakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka pori-pori dalam satu kesatuan *paving* akan semakin kecil, sehingga air yang masuk juga akan semakin sukar mengakibatkan nilai

persentase daya serap air menjadi kecil. Hasil nilai persentase daya serap dan nilai keausan juga memiliki keterkaitan satu sama lain dikarenakan semakin banyak pori-pori dalam satu kesatuan *paving* maka keausan akan semakin besar karena semakin lama gesekan dikenai pada *paving*, hal ini tentu akan berdampak pada rendahnya nilai kuat tekan yang dihasilkan. Grafik hubungan antara nilai kuat tekan, nilai persentase daya serap air, dan nilai keausan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



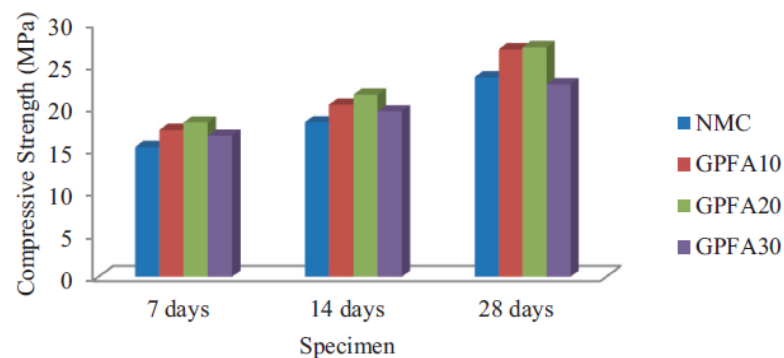
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan dan Persentase Daya Serap Air
(Sumber: Tokede dan Wardhono, 2018)



Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan dan Nilai Keausan
(Sumber: Tokede dan Wardhono, 2018)

3. *Experimental Study on The Mechanical Properties of Concrete Partial Replacement of Glass Powder as Fine Aggregate: An Environmental Friendly Approach* oleh Arivalagan dan Sethuraman (2020)

Pada penelitian ini dilakukan alternatif dengan substitusi agregat halus dengan kaca. Hal ini dilatarbelakangi karena bahan kaca memiliki durabilitas tinggi, kedap terhadap air dan juga bahannya yang kuat, sehingga diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan dari beton. Variasi substitusi agregat halus dengan limbah kaca dilakukan pada persentase 0%, 10%, 20%, dan 30%. Metode *mix design* pada penelitian ini mengacu pada IS: 10262-1982 dan IS: 456-2000 dengan perbandingan campuran antara semen, agregat kasar dan agregat halus adalah 1:1,5:3 dan fas sebesar 0,45. Pengujian sampel dilakukan di umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil kuat tekan optimal terjadi di umur 28 hari dengan persentase limbah kaca sebanyak 20% terhadap pasir menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 27,11 MPa sedangkan pada persentase 30% terjadi penurunan kuat tekan. Adapun untuk detail hasil pengujian kuat tekan bisa dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Substitusi Limbah Kaca

(Sumber: Arivalagan dan Sethuraman, 2020)

4. *Pengaruh Penambahan Kawat Bendrat dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Paving* oleh Valdi, dkk (2022)

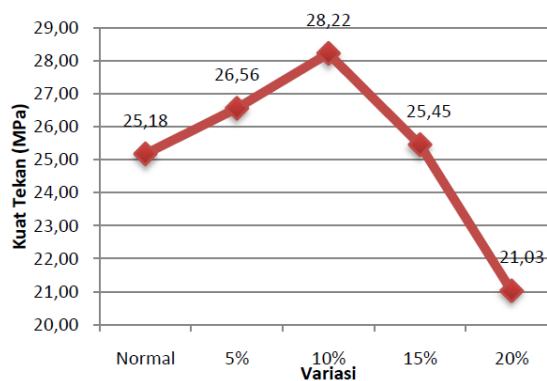
Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kaca dan kawat bendrat sebagai pengganti dari pemakaian agregat halus pada *paving block* dengan

beberapa variasi persentase substitusi limbah guna mencari kuat tekan yang paling optimum. Variasi substitusi limbah yang dilakukan pada penelitian ini sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% dari volume keseluruhan agregat halus yang dipakai. Dalam pembuatan *paving block* digunakan perencanaan *mix design* dengan metode ACI (*American Concrete Institute*), metode ini mencakup penentuan variabel yang direncanakan, penyusunan material, dan data material. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara menyiram sampel selama 7 hari, setelahnya dibiarkan di ruangan terbuka hingga berumur 28 hari lalu dilakukan pengujian kuat tekan. Dari hasil pengujian, kuat tekan bertambah secara konsisten, terhadap penambahan variasi limbah kaca dan kawat bendrat. Kuat tekan yang paling optimum didapatkan pada persentase limbah kaca dan kawat bendrat 15% dengan hasil kuat tekan sebesar 55,66 MPa dimana angka ini lebih besar dari hasil kuat tekan *paving* kontrol yang hanya menghasilkan angka sebesar 36,26 MPa.

5. Analisa Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Limbah Las Karbit Sebagai Pengganti Sebagian Semen oleh Makmur, dkk (2022)

Penelitian ini bertujuan untuk mencari spesifikasi beton yang dapat digunakan dengan menggunakan semen substitusi limbah las karbit. Limbah las karbit merupakan limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) yang mengandung senyawa SiO_2 dan CaO dimana senyawa CaO ini merupakan senyawa yang berperan pada semen sebesar 60%-65%, sehingga penelitian ini diharapkan mampu mengoptimalkan limbah las karbit sekaligus meningkatkan kualitas beton. Variasi substitusi limbah las karbit dilakukan pada kadar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap semen dengan jumlah keseluruhan sampel sebanyak 15 sampel dan mutu rencana 25 MPa. Pengujian kuat tekan beton dilakukan saat beton berumur 28 hari. Dari hasil pengujian didapatkan kuat tekan beton optimum terjadi pada variasi limbah las karbit 10% terhadap semen dengan kuat tekan sebesar 28,22 MPa, hasil ini sudah mencapai mutu rencana beton sebesar 25 MPa. Penambahan kadar substitusi limbah las karbit ini menaikkan nilai kuat tekan hingga kadar 10% terhadap semen, namun setelahnya mengalami penurunan yang konsisten hingga kadar 20%, dimana didapatkan

nilai kuat tekan di luar mutu rencana yaitu sebesar 21,03 MPa. Peningkatan mutu beton dengan substitusi limbah las karbit ini disebabkan karena limbah ini berperan sebagai bahan yang bersifat *pozzoland* karena mengandung silika, sehingga meningkatkan mikro struktur pada komposisi campuran beton yang dapat menutup celah-celah pada beton, selain itu juga meningkatkan ikatan antar partikel yang membuat beton menjadi lebih kuat. Adapun nilai hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Substitusi Limbah Las Karbit

(Sumber: Makmur, 2022)

Adapun penjelasan mengenai penelitian terdahulu secara lebih ringkas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti dan Tahun Pengarang	Taufik, dkk (2017)	Tokede dan Wardhono (2018)	Arivalagan dan Sethuraman (2020)	Valdi, dkk (2022)	Makmur (2022)
1.	Judul Penelitian	Pengaruh Substitusi Limbah Karbit Terhadap Karakteristik Beton	Pengaruh Penggunaan <i>Bottom Ash</i> Batu Bara dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran <i>Paving Block</i>	<i>Experimental Study on The Mechanical Properties of Concrete Partial Replacement of Glass Powder as Fine Aggregate: An Environmental Friendly Approach</i>	Pengaruh Penambahan Kawat Bendrat dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan <i>Paving</i>	Analisa Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Las Karbit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen
2.	Tujuan Penelitian	Menganalisis kadar substitusi limbah karbit yang menghasilkan kuat tekan optimum dan nilai absorpsi minimum.	Memanfaatkan sumber daya lingkungan seperti limbah, guna memenuhi kebutuhan produk konstruksi.	Melakukan alternatif terhadap pemakaian agregat halus dengan limbah kaca.	Mengoptimalkan pemanfaatan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dan kawat bendrat pada <i>paving</i> yang	Memanfaatkan limbah las karbit sebagai wujud mengatasi permasalahan lingkungan.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

2.	Tujuan Penelitian		Selain itu, menganalisis kuat tekan, penyerapan air, dan keausan dari <i>paving block</i> terhadap substitusi limbah las karbit dan penambahan <i>bottom ash</i>		diharapkan mampu mengatasi permasalahan lingkungan dan meningkatkan kuat tekan <i>paving</i> .	Selain itu, menganalisis peran limbah las karbit sebagai semen terhadap kuat tekan beton.
3.	Metode Penelitian	Penelitian ini melakukan variasi substitusi limbah las karbit terhadap semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengujian kuat tekan	Pembuatan <i>paving block</i> dilakukan dengan perbandingan antara semen dan pasir sebesar 1:3 dengan fas yang dipakai sebesar 30%.	Metode pembuatan sampel (<i>mix design</i>) dilakukan dengan mengacu pada IS: 10262-1982 dan IS: 456-2000 dengan	Metode penelitian yang dipakai adalah metode eksperimen dengan metode <i>mix design</i> pembuatan sampel menggunakan	Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan pada beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Variasi substitusi kadar

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

3.	Metode Penelitian	dan absorpsi dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.	Variasi substitusi limbah las karbit terhadap semen dilakukan pada kadar 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17% serta penambahan <i>bottom ash</i> sebesar 0,3. Perawatan beton dilakukan selama 7 hari dengan menyirami beton sehari satu kali selama 7 hari berturut-turut. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan,	fas sebesar 0,45 dan perbandingan campuran antara semen, agregat kasar, dan agregat halus sebesar 1:1,5:3. Variasi substitusi limbah kaca terhadap pasir dilakukan pada kadar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pengujian sampel dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.	metode ACI. Variasi substitusi kaca dan kawat bendrat terhadap pasir dilakukan pada kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Perawatan dilakukan dengan menyiram sampel selama 7 hari dan meletakkan sampel pada ruang terbuka hingga berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat sampel berumur 28 hari.	limbah las karbit terhadap semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Mutu rencana beton sebesar 25 Mpa.
----	-------------------	---	--	---	--	--

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

3.	Metode Penelitian		daya serap air, dan ketahanan aus dari <i>paving block</i> .			
4.	Hasil Penelitian	Hasil pengujian kuat tekan maksimal didapatkan pada variasi limbah las karbit sebanyak 5% yaitu sebesar 25,08 MPa dimana hasil ini lebih daripada hasil pengujian untuk beton normal dengan kuat tekan sebesar 22,10 MPa.	Pengujian kuat tekan beton yang paling optimum didapatkan pada variasi limbah las karbit sebesar 15% dengan penambahan <i>bottom ash</i> sebesar 0,3 yaitu 15,19 MPa. Untuk hasil pengujian daya serap air dan keausan berbanding terbalik	Hasil pengujian kuat tekan optimum didapatkan pada kadar 20% limbah kaca dengan umur beton 28 hari. Nilai kuat tekan optimum didapatkan sebesar 27,11 MPa.	Penggunaan substitusi limbah kaca dan kawat bendrat yang paling optimum terjadi pada kadar 15% dengan nilai kuat tekan sebesar 55,66 MPa dimana hasil ini lebih besar daripada hasil pengujian kuat tekan beton normal sebesar 36,26 MPa.	Pengujian kuat tekan di umur 28 hari menghasilkan kuat tekan optimum pada kadar 10% limbah las karbit yaitu sebesar 28, 22 MPa lebih besar dari mutu yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

4.	Hasil Penelitian	Sedangkan hasil pengujian nilai absorpsi minimum didapatkan pada kadar 5% yaitu sebesar 3,10%.	dengan hasil kuat tekan. Hasil pengujian daya serap air dan keausan minimum didapatkan pada variasi limbah las karbit sebesar 15% dengan penambahan <i>bottom ash</i> sebesar 0,3 yaitu 7,57% dan 0,127 mm/menit.			
----	------------------	--	---	--	--	--

Tabel 2. 2 Skema Penelitian yang akan dilakukan

Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian
Pengaruh Substitusi Limbah Las Karbit dan Limbah Kaca Sebagai Bahan Penyusun Terhadap Kualitas <i>Paving Block</i>	Memanfaatkan limbah kaca dan limbah las karbit yang berperan dalam merusak lingkungan, selain itu juga sebagai upaya dalam mengurangi sumber daya alam yang dijadikan sebagai bahan penyusun produk konstruksi seperti kapur dan pasir.	Penelitian ini dilakukan dengan campuran antara semen dan agregat halus sebesar 1:3 dan fas 0,4. Variasi substitusi limbah las karbit terhadap semen dilakukan pada kadar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%, sedangkan variasi substitusi limbah kaca terhadap pasir pada kadar 0% dan 20%. Pengujian yang dilakukan merupakan pengujian kuat tekan, daya serap air, dan keausan serta dilakukan pada saat <i>paving block</i> berumur 28 hari.

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya sesuai pada Tabel 2.1, penelitian ini akan dilakukan beberapa perbedaan yang terlampir pada Tabel 2.2 diantaranya pemakaian limbah pada penelitian ini merupakan substitusi limbah las karbit terhadap semen dan limbah kaca terhadap pasir dilakukan secara bersamaan pada campuran *paving block* dengan variasi 2,5%, 5%, 7,5%, 10% untuk limbah las karbit sebagai semen dan 20% untuk limbah kaca sebagai pasir. Pengujian yang dilakukan merupakan pengujian kuat tekan, daya serap air, dan keausan pada *paving block* yang berumur 28 hari.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 *Paving Block*

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrasi sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bahan beton itu (SNI 03-0691-1996). Secara umum *paving block* digunakan sebagai penutup tanah, namun berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* memiliki fungsi sesuai dengan peruntukannya berdasarkan mutu. Fungsinya sebagai penutup tanah digunakan pada berbagai lahan seperti jalan, halaman rumah, trotoar, maupun lahan parkir.

Paving block merupakan produk konstruksi yang tersusun atas komponen blok-blok dengan pola susunan disesuaikan dengan peruntukannya. Pemasangan yang terdiri atas komponen blok-blok ini membuat *paving block* lebih ramah lingkungan daripada penggunaan aspal maupun beton sebagai penutup tanah. Blok-blok ini juga memungkinkan air meresap ke dalam tanah lebih baik yang membuat pasokan air tanah lebih banyak serta dapat mengurangi limpasan air, dikarenakan *paving block* merupakan produk konstruksi yang komponennya terpisah, pemasangannya dapat dilakukan dengan mudah, tidak memerlukan alat-alat berat dan apabila ada kerusakan, perbaikan dapat dilakukan tanpa mempengaruhi komponen *paving block* di bagian yang lain. Tidak hanya itu, komponen *paving block* juga lebih fleksibel terhadap penyusutan maupun pemuaian yang diakibatkan oleh cuaca.

Kualitas *paving block* dipengaruhi dari hasil nilai kuat tekan, daya serap air, serta nilai keausannya. Semakin tinggi nilai kuat tekan semakin bagus kualitas *paving*, semakin rendah persentase daya serap air serta nilai kehausan maka semakin baik kualitas *paving*. Hasil nilai kuat tekan dengan persentase daya serap air mempunyai hubungan satu sama lain, semakin banyak pori-pori pada *paving* maka akan semakin banyak air yang diserap, sehingga daya serap menjadi tinggi,

pori-pori yang banyak tentu akan mempengaruhi kepadatan *paving*, semakin banyak porinya, kepadatan akan berkurang yang mana akan mempengaruhi hasil kuat tekan.

3.1.1 Syarat Mutu *Paving Block*

Ada beberapa syarat mutu sebagai standar *paving block* dapat digunakan sebagai produk konstruksi berdasarkan SNI 03-0691-1996. Adapun syarat-syaratnya adalah sebagai berikut.

1. Syarat mutu berdasarkan sifat tampak

Paving block yang digunakan memiliki permukaan yang rata, tidak terdapat retakan maupun cacat serta tidak mudah diluruhkan dengan jari tangan. Adapun untuk warnanya bebas digunakan guna menambah estetika pada pemakaian *paving block*, namun warna yang tersedia di pasaran umumnya berwarna hitam, merah, dan abu-abu.

2. Syarat mutu berdasarkan ukuran dan bentuk

Ukuran dari *paving block* harus paling tidak mempunyai ketebalan sebesar 60 mm dengan batas toleransi $\pm 8\%$, namun pada umumnya ketebalan *paving block* yang tersedia adalah sebesar 60 cm, 80 cm, dan 100 cm. Sedangkan berdasarkan bentuknya, menurut SK SNI T-04-1990-F *paving block* yang tersedia adalah *paving block* dengan bentuk segi empat dan segi banyak.

3. Syarat mutu berdasarkan kekuatan dan ketahanan.

Kekuatan, ketahanan, dan daya serap air dari *paving block* harus memenuhi syarat sesuai dengan Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Syarat Kualitas *Paving Block* Berdasarkan Nilai Kuat Tekan, Ketahanan Aus, dan Penyerapan Air Rerata dan Minimal

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

Sumber: SNI 03-0691-1996

Dimana mutu A diperuntukkan untuk jalan, mutu B diperuntukkan untuk peralatan parkir, mutu C diperuntukkan untuk pejalan kaki, dan mutu D diperuntukkan untuk taman dan penggunaan lainnya. Sedangkan ketahanan *paving block* diuji dengan larutan natrium sulfat dimana selisih berat paving sebelum dan setelah direndam larutan sulfat tidak boleh lebih dari 1% serta *paving block* tidak boleh cacat.

3.2 Komposisi Campuran *Paving Block*

Campuran *paving block* menurut SNI 03-0691-1996 tersusun atas semen, pasir, air serta dengan atau tanpa bahan *additive*. Persentase dari masing-masing campuran ini akan mempengaruhi kualitas dari *paving block*, karena masing-masing campuran memiliki perannya tersendiri. Adapun penjelasan mengenai campuran *paving block* yang akan digunakan adalah sebagai berikut ini.

3.2.1 Semen *Portland*

Semen merupakan bahan aktif pada campuran *paving block*, dimana berperan sebagai perekat atau pengikat bahan pasif pada campuran *paving block*. Semen pada campuran akan bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi dalam hal mengikat agregat, sehingga campuran menjadi satu kesatuan, selain itu juga berfungsi dalam mengisi pori-pori antar agregat pada *paving block*.

Salah satu semen yang paling banyak digunakan di dunia konstruksi adalah semen *portland*. Semen *portland* merupakan semen yang berjenis hidrolis, dimana semen jenis ini adalah semen yang tahan terhadap air, bisa bereaksi dengan air, dan stabil di dalam air. Material utama pembentuk semen adalah kapur, silika, dan alumina, dimana kapur sebagai kandungan yang mendominasi semen ini didapatkan dari pegunungan kapur. Proses pembuatan semen dilakukan dengan cara material utama dibakar bersamaan pada suhu 1550°C lalu digiling hingga menjadi bubuk yang sangat halus (Tjokrodimuljo, 2007).

Semen *portland* terdiri atas unsur-unsur utama dengan masing-masing persentasenya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Unsur-Unsur Utama Semen *Portland*

Oksidasi	Persen
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	17-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Soda/Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5-1

Sumber: Tjokrodinuljo (2007)

Dari unsur-unsur utama yang berinteraksi, akan menghasilkan 4 senyawa kimia utama pada semen yaitu Trikalسيوم Silikat (C₃S), Dikalسيوم Silikat (C₂S), Trikalسيوم Aluminat (C₃A), dan Tetrakalسيوم Aluminoferrit (C₄AF). 4 senyawa ini memiliki masing-masing sifat dan perannya, namun senyawa C₃S dan C₂S merupakan senyawa yang mendominasi sifat semen dengan persentase mencapai 70%-80%. Senyawa C₃S berkontribusi dalam proses pembentukan kekuatan awal hingga berumur 14 hari, senyawa ini akan ber-hidrasi serta mengeluarkan panas apabila terkena air yang mana hal ini akan mempengaruhi kecepatan pengerasan. Senyawa C₂S mempunyai peran yang berkebalikan dengan C₃S dimana senyawa C₂S ini berkontribusi pada pengerasan semen setelah berumur 7 hari dan kekuatan akhir semen, dikarenakan senyawa ini bereaksi lambat dengan air. Senyawa C₂S juga berpengaruh dalam hal mengurangi penyusutan pengeringan serta membuat semen terhindar dari serangan kimia. Senyawa C₃A merupakan senyawa yang dalam prosesnya mengeluarkan energi panas, senyawa ini berkontribusi dalam memberikan kekuatan setelah 24 jam, serta 40% senyawa C₃A akan bereaksi dengan air namun karena persentase kandungannya yang sedikit pada semen maka tidak terlalu mempengaruhi jumlah air pada campuran. Adapun untuk senyawa C₄AF tidak terlalu berpengaruh pada sifat semen dikarenakan persentase kandungan senyawa ini sangat sedikit.

Sifat fisik semen akan mempengaruhi kualitas dari *paving block* nantinya. Adapun sifat-sifat semen yang penting untuk dilakukan pemeriksaannya adalah sebagai berikut.

1. Kehalusan butir semen merupakan hal yang penting dikarenakan reaksi pertama yang terjadi adalah reaksi antara air dan butir-butir semen. Semakin halus butir semen maka kekuatan semen akan lebih maksimal karena meningkatkan kohesi (ikatan antar partikel) dan mengurangi bleeding (air maupun semen yang terpisah dari campuran) (Tjokrodimuljo, 2007).
2. Waktu ikatan merupakan waktu dimana perubahan massa *paving block* dari yang awalnya berbentuk gel hingga kehilangan sifat keplastisannya menjadi massa dengan bentuk yang keras dan kaku. Waktu ikatan terdiri atas waktu ikatan awal yang mana tidak boleh lebih dari 60 menit dan waktu ikatan akhir dimana tidak boleh lebih dari 8 jam. Secara umum, waktu ikatan dipengaruhi oleh jumlah air dan suhu udara sekitar.
3. Panas hidrasi merupakan reaksi dimana unsur silika dan alumina pada semen bereaksi dengan air dan mengeluarkan energi panas yang menghasilkan bahan perekat.

Semen *portland* berdasarkan jenis dan penggunaannya dibagi menjadi beberapa tipe, dimana tipe-tipe ini dibuat dengan cara memodifikasi persentase 4 material utama pada semen. Adapun tipe-tipe semen *portland* menurut SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut ini.

1. Tipe I, semen yang diperuntukkan untuk pekerjaan konstruksi umum yang tidak membutuhkan ketentuan ataupun syarat-syarat khusus.
2. Tipe II, semen yang diperuntukkan untuk pekerjaan konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dengan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen yang diperuntukkan untuk pekerjaan konstruksi dengan kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV, semen yang diperuntukkan untuk pekerjaan konstruksi dengan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, semen yang diperuntukkan untuk pekerjaan konstruksi yang sangat tahan terhadap lingkungan sulfat

3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus atau pasir merupakan mineral alami yang dipakai pada campuran *paving block*. Pasir merupakan sumber daya alam yang didapatkan dari

hasil penambangan di dataran tinggi, daerah sungai, maupun daerah pantai. Agregat halus pada campuran *paving block* berperan sebagai bahan pasif yaitu sebagai bahan pengisi dari campuran. Salah satu kandungan dari agregat halus ini adalah unsur SiO_2 , walaupun peran agregat halus hanya sebagai bahan pengisi, namun kandungan agregat halus juga cukup mempengaruhi kuat tekan dari beton. Sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Nadia dan Fauzi (2011), agregat halus dengan kandungan SiO_2 yang lebih banyak cukup menghasilkan kuat tekan yang lebih besar daripada agregat halus dengan kandungan SiO_2 yang lebih sedikit. Tidak hanya berpengaruh pada kuat tekan, namun agregat juga berkontribusi dalam sifat beton yaitu pada kestabilan volume, ketahanan abrasi, maupun ketahanan umum atau durabilitas beton (Nugraha dan Antoni, 2004).

Agregat halus memiliki bermacam-macam ukuran butiran, dimana semakin beragamnya ukuran agregat pada komposisi *paving block* maupun produk beton lainnya maka akan semakin tinggi kepadatannya karena ikatan antar partikelnya akan semakin kuat. Agregat halus (pasir) merupakan agregat dengan butiran yang lolos ayakan 4,80 mm (saringan no. 4), sedangkan berdasarkan gradasi kekasaran butirannya, agregat halus terbagi menjadi 4 jenis yaitu pasir kasar, agak kasar, agak halus, dan halus (Tjokrodimuljo, 2007). Adapun batasan untuk jenis-jenis agregat halus berdasarkan lubang ayakannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Jenis Agregat Halus Berdasarkan Gradasinya

Lubang Ayakan (mm)	Persentase Berat Butir Agregat Halus yang Lewat Ayakan (%)			
	Gradasi I (Kasar)	Gradasi II (Agak Kasar)	Gradasi III (Agak Halus)	Gradasi IV (Halus)
9,60	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Berdasarkan Tabel 3.3, maka persentase agregat halus yang lewat ayakan tidak boleh lebih halus dari jenis pasir halus karena pasir dianggap terlalu halus untuk dipakai sebagai bahan campuran.

Pasir sebagai agregat halus memiliki batasan-batasan sebagai persyaratan. Persyaratan ini digunakan untuk melakukan pengawasan terhadap kualitas *paving* yang akan dipengaruhi oleh agregat halus. Adapun persyaratan pasir sebagai campuran *paving block* atau produk beton lainnya menurut SK SNI S-04-1989-F adalah sebagai berikut.

1. Pasir beton harus memiliki butiran yang lewat ayakan 0,060 mm (kadar lumpur) maksimal 5% dari berat keseluruhan.
2. Modulus halus butir (MHB) untuk pasir beton harus berada di *range* antara 2,5 – 3,8 dibuktikan dengan pengujian menggunakan 1 set ayakan.
3. Zat – zat organik yang dapat mengganggu kualitas beton tidak diperbolehkan, hal ini dibuktikan dengan hasil perendaman pasir beton menggunakan larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari larutan pembanding.
4. Butirannya bersifat kekal artinya tidak mudah hancur serta tajam, kuat, dan keras.
5. Pasir beton yang diuji dengan larutan Na_2SO_4 fraksinya tidak boleh hancur lebih dari 10% berat keseluruhan, begitupun dengan larutan MgSO_4 fraksinya tidak boleh hancur dari 15% berat keseluruhan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan pasir beton terhadap larutan Na_2SO_4 dan MgSO_4 .

Pasir sebagai agregat halus harus melewati beberapa pemeriksaan sebelum digunakan sebagai bahan campuran guna mengetahui kualitas dari bahan yang dipakai sudah sesuai standar. Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Analisis Saringan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui gradasi dari butiran-butiran agregat halus yang dipakai serta Modulus Halus Butiran (MHB) yang dipakai sudah memenuhi syarat. Metode pemeriksaan yang dilakukan berlandaskan pada SNI 03-1968-1990. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Berat Tertinggal

$$\text{Berat Tertinggal (Bt)} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\text{Jumlah}} \times 100\% \quad (3.1)$$

b. Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Berat Tertinggal Kumulatif (Btk)} = \text{Bt1} + \text{Bt2} \quad (3.2)$$

Dengan:

Bt1 = Berat tertinggal 1 (%)

Bt2 = Berat tertinggal 2 (%)

c. Berat Lolos Kumulatif

$$\text{Berat Lolos Kumulatif (Blk)} = 100\% - \text{Btk} \quad (3.3)$$

Dengan:

Btk = Berat tertinggal kumulatif (%)

d. Modulus Halus Butiran (MHB)

$$\text{Modulus Halus Butiran (MHB)} = \frac{\sum \text{Btk}}{100} \quad (3.4)$$

Dengan:

Btk = Berat tertinggal kumulatif (%)

2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis dari agregat halus yang dipakai serta kemampuan agregat halus dalam menyerap air. Metode pemeriksaan disesuaikan dengan SNI 03-1970-1990. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{B + SSD - Bt} \quad (3.5)$$

Dengan:

- Bk = Berat pasir kering (gr)
 B = Berat piknometer beserta air (gr)
 Bt = Berat piknometer beserta pasir dan air (gr)
 SSD = Berat pasir jenuh kering muka (gr)

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Muka} = \frac{SSD}{B+SSD-Bt} \quad (3.6)$$

Dengan:

- B = Berat piknometer beserta air (gr)
 Bt = Berat piknometer beserta pasir dan air (gr)
 SSD = Berat pasir jenuh kering muka (gr)

c. Berat Jenis Semu

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.7)$$

Dengan:

- Bk = Berat pasir kering (gr)
 B = Berat piknometer beserta air (gr)
 Bt = Berat piknometer beserta pasir dan air (gr)

d. Penyerapan Air Agregat Halus

$$\text{Penyerapan Air Agregat Halus} = \frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.8)$$

Dengan:

- Bk = Berat pasir kering (gr)
 SSD = Berat pasir jenuh kering muka (gr)

3. Pemeriksaan Berat Isi Padat dan Gembur

Pemeriksaan berat isi padat dan gembur dilakukan untuk mengetahui berat isi dan gembur dari agregat halus yang mana hasilnya dipakai dalam perhitungan *mix design*. Metode pemeriksaan disesuaikan dengan SNI 03-4804-1998. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Volume Silinder

$$\text{Volume Silinder (V)} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \quad (3.9)$$

Dengan:

D = Diameter silinder (cm)

t = Tinggi silinder (cm)

b. Berat Agregat Halus

$$\text{Berat Agregat Halus (W3)} = W2 - W1 \quad (3.10)$$

Dengan:

W2 = Berat silinder berisi agregat halus (gr)

W1 = Berat silinder (gr)

c. Berat Isi Padat/Gembur

$$\text{Berat Isi Padat/Gembur} = \frac{W3}{V} \quad (3.11)$$

Dengan:

W3 = Berat agregat halus di dalam silinder (gr)

V = Volume silinder (cm³)

4. Pemeriksaan Kandungan Lumpur

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur yang terdapat dalam agregat halus dimana menurut SK SNI S-04-1989-F, kandungan lumpur pada agregat halus tidak boleh lebih dari 5%. Agregat halus yang diperiksa merupakan agregat yang lolos saringan no. 200 dengan metode pemeriksaan mengacu pada SNI 03-4142-1996. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Berat Agregat Halus

$$\text{Berat Agregat Halus Mula-Mula (A)} = W2 - W1 \quad (3.12)$$

Dengan:

W1 = Berat cawan (gr)

W2 = Berat cawan + berat agregat halus kering oven (gr)

b. Berat Agregat Halus Kering

$$\text{Berat Agregat Halus Kering (B)} = W4 - W3 \quad (3.13)$$

Dengan:

W3 = Berat cawan (gr)

W4 = Berat cawan + berat agregat halus kering oven yang sudah didiamkan di *dessicator* (gr)

c. Kadar Lumpur Agregat Halus

$$\text{Kadar Lumpur Agregat Halus} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3.14)$$

Dengan:

A = Berat agregat halus mula-mula setelah dioven

B = Berat agregat halus yang sudah dicuci, dioven, dan didiamkan di *dessicator*

3.2.3 Air

Air merupakan salah satu komponen utama pada campuran produk beton. Air berperan sebagai bahan aktif seperti semen yaitu sebagai zat perekat. Bahan perekat pada produk beton disebut dengan pasta semen dimana terdiri atas campuran semen dan air dalam kadar tertentu yang disebut dengan faktor air semen atau fas.

Air sebagai bahan campuran harus dilakukan pengawasan terhadap kualitasnya. Air harus terhindar dari kotoran-kotoran karena akan mempengaruhi kualitas produk beton. Secara spesifik air akan mempengaruhi waktu ikat awal, proses pengerasan, kekuatan, dan kekedapan air pada produk beton. Adapun syarat air bisa dijadikan campuran untuk produk beton menurut SNI 03-2847-2002 adalah sebagai berikut ini.

1. Air yang dijadikan komponen pada campuran beton harus bersih serta terhindar dari adanya bahan-bahan yang bersifat merusak seperti oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan sejenisnya.

2. Air yang dijadikan komponen pada campuran beton pra-tegang atau beton yang terdapat logam aluminium di dalamnya tidak boleh mengandung ion klorida termasuk air yang terkandung pada agregat.
3. Air yang dijadikan komponen pada campuran beton tidak boleh air yang tidak bisa diminum kecuali hal-hal dibawah ini terpenuhi.
 - a. Proporsi campuran beton yang dipakai didasarkan pada campuran beton dengan sumber air yang sama.
 - b. Hasil pengujian beton dengan umur 7 hari dan 28 hari pada sampel uji kubus mortar yang menggunakan air tidak dapat diminum menghasilkan kekuatan paling tidak 90% dari hasil uji kubus mortar yang memakai air yang bisa diminum dengan ketentuan adukan yang dipakai serupa kecuali air pencampur yang dibuat dan diuji sesuai dengan prosedur ASTM C 109 “Metode Uji Kuat Tekan Untuk Mortar Semen Hidrolis (Menggunakan Spesimen Kubus Ukuran Sisi 50 mm).

3.3 Bahan Pengganti

Selain komposisi utama berupa semen, pasir, dan air, terdapat pula bahan pengganti komponen penyusun *paving block* dengan variasi dan persentase campuran tertentu. Bahan pengganti dari penelitian ini berupa limbah kaca dan limbah las karbit yang bertujuan untuk menggantikan peran dari semen maupun pasir.

3.3.1 Limbah Kaca

Kaca merupakan salah satu bahan yang banyak dipakai pada industri pembuatan kaca dan kemasan produk makanan maupun minuman dikarenakan sifatnya yang tidak bereaksi dengan produk yang dikemas. Banyaknya penggunaan bahan kaca ini membuat limbahnya cukup menumpuk karena kaca juga merupakan salah satu limbah yang sulit terurai, sehingga limbah kaca akan berdampak negatif untuk lingkungan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kesehatan, Direktorat Penanganan Sampah (2021) berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional Periode 2021, jumlah limbah kaca berada di

persentase 2,4% dari total seluruh limbah di Indonesia per tahun yaitu sebanyak 31 juta ton.

Bahan utama pembuat kaca adalah pasir silika yang dicampur dengan sodium oksida dan kalsium oksida atau kapur yang diuraikan dan mengalami proses pendinginan. Salah satu solusi untuk mengatasi kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah kaca ini adalah dengan mendaur ulang kaca menjadi bentuk yang sesuai dengan yang diinginkan. Pengubahan bentuk kaca menjadi butiran dapat menjadi solusi karena limbah kaca dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan konstruksi, salah satunya sebagai pengganti bahan utama *paving block* yaitu agregat halus guna mengurangi penambangan pasir sekaligus membantu mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat dari limbah kaca, karena tekstur dan ukuran butiran kaca ini serupa dengan pasir.

Perubahan bentuk kaca menjadi butiran dapat dilakukan di pabrik penggilingan kaca atau beling dengan ukuran yang bervariasi dari 0,15 mm hingga 6 mm, sehingga bisa didapatkan gradasi yang beragam dari limbah kaca sesuai kebutuhan. Agregat halus merupakan agregat dengan ukuran yang lolos ayakan no.4 (Tjokrodinuljo, 2007) dikarenakan limbah kaca bisa diproses dengan berbagai ukuran, maka kaca dianggap bisa dijadikan sebagai agregat halus untuk campuran *paving block*.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium FTS Universitas Baturaja (Azwar, 2020), kandungan kimia limbah kaca dapat dilihat pada Tabel 3.4. Berdasarkan data tersebut diketahui jika limbah kaca mengandung 91,008% kadar SiO_2 sama seperti kandungan yang terdapat di dalam pasir alam, namun dengan persentase kadar silika yang berbeda.

Tabel 3. 4 Kandungan Kimia Limbah Kaca

Kandungan Kimia	Persentase Kandungan
SiO_2	91,008%
Al_2O_3	0,1273%
CaO	0,0026%
Fe_2O_3	0,1084%

Sumber: Azwar (2020)

Silika merupakan bahan kimia yang mampu meningkatkan kualitas produk beton seperti *paving block*, hal ini dikarenakan adanya reaksi antara silika dan kapur bebas yang ada pada semen saat proses hidrasi. Namun silika ini juga membawa pengaruh negatif pada produk beton apabila silikanya reaktif alkali yang terkandung pada semen karena akan membentuk silika gel yang mengembang saat terpapar keadaan yang lembap, reaksi ini disebut dengan *Alkali – Silica Reaction* (ASR) dan menyebabkan ekspansi pada produk beton lalu akan mengalami keretakan, sehingga menyebabkan masalah pada kuat dan daya tahan produk beton (Malik, 2013).

Studi yang pernah dilakukan, semakin besar ukuran butiran kaca yang dipakai maka akan semakin besar pula pengaruh dari ekspansi ASR ini. Menurut Rajabipour, dkk (2010) dalam Tamanna, dkk (2020) ekspansi dari ASR ini akan lebih menonjol saat limbah kaca yang dipakai berukuran $>4,5$ mm atau saat limbah kaca digunakan sebagai pengganti agregat kasar, hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Rahma, dkk (2017) dalam Tamanna, dkk (2020) yang mengatakan saat butiran kaca yang lebih halus digunakan sebagai pengganti semen terlihat tidak adanya ASR yang ekspansif. Penelitian yang dilakukan oleh Idir, dkk (2011) mengatakan bahwa penggunaan butiran limbah kaca dengan ukuran 1,18 mm – 2,36 mm menghasilkan ekspansi tertinggi, namun penggunaan dengan butiran yang lebih halus membuat ekspansi yang terjadi menjadi lebih rendah., penelitian ini juga didukung oleh Malik (2013) yang mengatakan untuk meminimalisir ASR maka dapat digunakan ukuran butiran limbah kaca sebesar 0 mm – 1,18 mm, sehingga agar bisa memaksimalkan kandungan dari SiO_2 pada kaca, bisa dilakukan dengan menjadikannya sebagai pengganti agregat halus dengan rentang ukuran 0 mm – 1,18 mm, karena dengan butiran yang lebih halus dapat meminimalisir ASR pada kaca dan semen sekaligus dapat memanfaatkan kandungan *pozzoland*-nya terhadap kualitas *paving block*.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Malik (2013) adalah melakukan substitusi pada agregat halus menggunakan limbah kaca dengan variasi persentase dari 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Dari hasil penelitiannya, didapatkan

peningkatan f_c' beton pada persentase kadar limbah kaca sebesar 20% dibandingkan dengan M-25 beton normal. Dengan meningkatnya nilai kuat tekan, penyerapan air juga menjadi rendah, sehingga *durability* dari beton ikut meningkat.

Pada penelitian ini bahan limbah kaca yang digunakan berasal dari limbah botol kaca dan kaca bening. Persentase penggantian limbah kaca terhadap pasir dilakukan pada kadar 20% dengan ukuran butirannya 0,15 mm – 1,18 mm. Limbah kaca sebagai pengganti pasir juga dilakukan pengawasan terhadap mutunya dengan melakukan beberapa pemeriksaan antara lain analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat isi padat dan gembur, serta kandungan lumpur dengan perhitungan menggunakan persamaan 3.1 sampai 3.14.

3.3.2 Limbah Las Karbit

Limbah las karbit dihasilkan dari gas hasil pengelasan yang mengandung air, namun pada waktu 3-7 hari gas akan menguap dan lama kelamaan akan berbentuk seperti serbuk dengan ukuran yang sangat halus serta berwarna abu-abu jika dalam keadaan basah dan berwarna putih jika dalam keadaan kering serta tidak bisa dilarutkan. Menurut PP RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (2021), limbah las karbit merupakan salah satu jenis limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Limbah B3 merupakan salah satu limbah yang turut andil dalam kerusakan lingkungan karena mengandung senyawa yang beracun, sehingga limbah ini harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dilakukan pembuangan.

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh Tokede dan Wardhono (2018) didapatkan dalam sehari bengkel yang menggunakan las karbit menghasilkan limbah sebanyak 4 kg, sehingga jika dijumlahkan dalam satu tahunnya akan menghasilkan jumlah limbah yang cukup banyak. Dalam pemanfaatannya, limbah las karbit kurang optimal, biasanya hanya dilakukan pembuangan begitu saja, padahal kandungan dari limbah ini bisa dimanfaatkan, salah satunya sebagai bahan pengganti sebagai semen pada produk konstruksi.

Persentase kandungan dari limbah ini pernah dilakukan hasil uji XRF-nya oleh Aprida, dkk (2018) dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Kandungan Kimia Limbah Las Karbit

Kandungan Kimia	Persentase Kandungan
CaO	95,37
MoO ₃	2,1
SiO ₂	0,94
Al ₂ O ₃	0,61
Fe ₂ O ₃	0,48
SO ₃	0,3
Y ₂ O ₃	0,25

Sumber: Aprida, dkk (2018)

Menurut Asward (2013) dalam Aprida, dkk (2018) penggunaan limbah ini merupakan upaya dalam hal untuk mewujudkan reaksi *pozzolanic* dalam campuran yang menghasilkan ikatan hidrat bila tercampur dengan SiO₂ yang terkandung dalam limbah las karbit. Kalsium hidrat ini merupakan ikatan yang mempunyai sifat sama dengan ikatan yang dihasilkan selama proses hidrasi semen dimana akan menghasilkan massa dengan wujud yang kaku dan keras.

Penelitian mengenai substitusi penggunaan limbah las karbit sebagai semen sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Makmur (2022) dengan kadar variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, dimana dari hasil penelitian ini didapatkan hasil kuat tekan *paving block* maksimal terjadi pada variasi substitusi limbah las karbit kadar 10% terhadap semen dengan nilai kuat tekan sebesar 28,22 MPa lebih besar dari hasil kuat tekan *paving block* normal yang hanya menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 25,18 MPa.

Pada penelitian ini limbah las karbit dipakai hasil dari bengkel las karbit daerah Sleman, DIY. Butiran limbah berukuran lolos ayakan no.100 yang berbentuk serbuk. Persentase limbah las karbit terhadap semen dilakukan pada kadar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%.

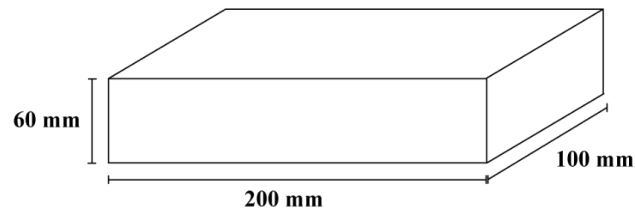
3.4 Campuran *Paving Block* (Mix Design)

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang direncanakan yang disesuaikan dengan penelitian-penelitian terdahulu. Adapun hal-hal tersebut adalah sebagai berikut.

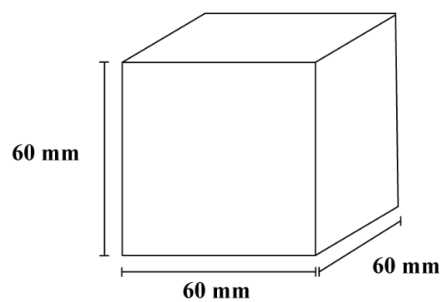
1. Perbandingan antara semen dan pasir yang digunakan adalah 1:3 yang merujuk pada penelitian Klarens, dkk (2015) dimana rasio 1pc:3ps menghasilkan kuat tekan *paving block* yang paling optimal.
2. Faktor air semen (fas) yang digunakan merujuk pada percobaan yang dilakukan oleh Tulloh (2019), dimana campuran kadar air terhadap semen yang tepat digunakan sebesar 0,4 karena menghasilkan sampel yang tidak terdapat retakan secara fisik.
3. Faktor pemadatan mesin hidrolis yang dipakai sebesar 1,3 hal ini merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Yahya (2018) dimana penelitiannya menghasilkan *paving block* dengan kuat tekan paling optimal.
4. Variasi substitusi limbah kaca terhadap pasir yang digunakan merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Ismail dan AL-Hashmi (2009) dimana dari hasil pengujian, variasi limbah kaca sebesar 20% terhadap pasir menghasilkan kuat tekan mortar yang lebih besar daripada mortar kontrol. Penelitian ini juga didukung oleh penelitian oleh Malik (2013) dimana variasi limbah kaca 20% terhadap pasir menghasilkan kuat tekan beton yang paling optimal dibandingkan dengan beton normal, sehingga variasi substitusi limbah kaca terhadap pasir yang digunakan pada penelitian sebesar 20% dan 0% sebagai *paving block* kontrol.
5. Variasi substitusi limbah las karbit terhadap semen yang dipilih merujuk pada penelitian oleh Taufik, dkk (2017), pada penelitian ini digunakan substitusi variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% limbah las karbit terhadap semen dan pada variasi 5% menghasilkan kuat tekan optimum. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Makmur (2022) dimana substitusi variasi limbah las karbit terhadap semen yang digunakan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dan pada variasi 10% menghasilkan kuat tekan yang paling optimum, sehingga dari dua rujukan ini, variasi substitusi limbah las karbit terhadap semen yang dipakai sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%.
6. Sampel yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 35 sampel dengan ukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm dan kemudian 1 sampel dibagi menjadi 3 bagian berbentuk kubus dengan masing-masing berukuran 60 mm x 60 mm x

60 mm, sehingga secara keseluruhan jumlah sampel yang dibuat sebanyak 105 sampel.

Adapun sketsa ukuran sampel yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Sampel Ukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm



Gambar 3. 2 Sampel Ukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm

Dalam penentuan komposisi campuran *paving block* ada beberapa persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan kebutuhan dari material. Adapun persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{array}{l} \text{Kebutuhan pasir dalam 1} \\ \text{benda uji} \end{array} = \frac{ps}{(ps + 1)} \times \gamma_{Pasir} \times V_{Paving\ Block} \times 1,3 \quad (3.15)$$

$$\begin{array}{l} \text{Kebutuhan semen dalam 1} \\ \text{benda uji} \end{array} = \frac{\text{Kebutuhan pasir}}{3} \quad (3.16)$$

$$\begin{array}{l} \text{Kebutuhan limbah kaca n\%} \\ \text{dalam 5 benda uji} \end{array} = \begin{array}{l} \text{n\% x kebutuhan pasir dalam 5} \\ \text{sampel} \end{array} \quad (3.17)$$

$$\frac{\text{Kebutuhan limbah las karbit}}{\text{n\% dalam 5 benda uji}} = \frac{\text{n\% x kebutuhan semen dalam 5}}{\text{sampel}} \quad (3.18)$$

Keterangan:

P_s = Faktor perbandingan pasir terhadap semen

γ_{Pasir} = Berat volume padat pasir

$V_{Paving\ Block}$ = Volume *paving block*

1,3 = Faktor pemadatan mesin hidrolis

n% = Variasi persentase limbah kaca atau limbah las karbit

3.5 Pengujian *Paving Block*

Pengujian *paving block* dilakukan guna mengetahui kualitas dan kemampuan dari *paving block* itu sendiri. Metode pengujian dan perhitungan dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996. Adapun pengujian adalah sebagai berikut ini.

3.5.1 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan memberikan beban maksimum merata pada sampel guna mengetahui kuat tekan maksimum yang bisa ditahan oleh sampel. Perhitungan nilai kuat tekan dapat menggunakan persamaan 3.19.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L} \quad (3.19)$$

Dengan:

P = Beban tekan (N)

L = Luas bidang tekan (mm²)

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), ada beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan dari produk beton seperti *paving block*. Adapun faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Umur Beton

Semakin bertambahnya umur dari beton, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan dari suatu produk. Kenaikan kuat tekan beton ini mula-mula berlangsung sangat cepat, namun semakin lama pertambahan kuat tekan akan semakin kecil. Secara umum, kuat tekan ini dianggap akan mencapai nilai maksimal saat sudah berumur 28 hari (Tjokrodinuljo, 2007).

2. Faktor Air Semen (fas)

Faktor air semen merupakan rasio antara air dan semen yang digunakan dalam suatu campuran. Secara umum, beton hanya membutuhkan 0,3 air dari total keseluruhan campuran, namun pada kenyataannya proporsi air ini membuat adukan menjadi tidak *workability*, sehingga fas yang disarankan berkisar antara 0,4 – 0,6. Menurut Amelia, dkk (2021), hubungan antara fas dan kuat tekan adalah semakin rendah fas yang digunakan maka nilai kuat tekan beton akan semakin tinggi, hal ini dikarenakan kandungan air yang rendah membuat rongga-rongga beton menjadi lebih sedikit, sehingga beton menjadi lebih padat. Namun, penggunaan fas yang rendah juga membuat adukan sulit untuk dikerjakan, sehingga nilai fas yang digunakan juga tidak boleh terlalu rendah.

3. Jumlah Pasta Semen

Pasta semen berfungsi merekatkan antar butir agregat dalam campuran, sehingga semakin banyak jumlahnya akan semakin maksimal kerekatan antar butir agregat. Pasta semen juga berfungsi dalam mengisi pori-pori yang ada pada campuran, sehingga membuat beton menjadi lebih padat dan akan mempengaruhi nilai kuat tekan beton nantinya. Namun sama halnya dengan nilai fas, jumlah pasta semen ini juga harus dilakukan pengawasan, walaupun semakin banyak jumlah pasta semen akan semakin meningkatkan nilai kuat tekan, tapi beton tidak boleh kekuatannya secara keseluruhan didominasi oleh pasta semen, karena secara umum kekuatan agregat yang harus mendominasi.

4. Sifat Agregat

Agregat merupakan pengisi material dengan proporsi yang paling mendominasi, sehingga sifatnya akan sangat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Menurut Amelia, dkk (2021), nilai abrasi dari agregat dapat

mempengaruhi kuat tekan beton, hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi nilai kuat tekan beton maka daya tahan beton terhadap kikisan juga semakin besar.

3.5.2 Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menahan gesekan terhadap mesin aus, hal ini dilihat dari hasil perbandingan antara berat sebelum dan sesudah dilakukan pengujian keausan. Jika hasil pengujian keausan rendah maka kualitas *paving* yang dihasilkan akan baik berdasarkan nilai keausannya. Adapun perhitungan yang dilakukan dalam mencari nilai keausan menurut Laboratorium Bahan Bangunan UGM adalah sebagai berikut.

$$D = 1,26G + 0,024 \quad (3.20)$$

Dengan:

D = Keausan (mm/menit)

G = Kehilangan berat sampel/lama pengausan (gr/menit)

3.5.3 Daya Serap Air

Pengujian daya serap air merupakan pengujian yang dilakukan guna mengetahui kemampuan pori-pori pada *paving block* dalam menyerap air. Jika kemampuan *paving* dalam menyerap air semakin rendah maka kualitas beton akan semakin baik karena pori-pori yang terdapat dalam komponen *paving* semakin sedikit, sehingga daya lekat antar butir agregat semakin bagus maka kuat tekan akan semakin tinggi. Persentase daya serap air didapatkan dengan melakukan perbandingan terhadap berat sampel basah dan berat sampel kering. Perhitungan nilai daya serap air dapat menggunakan persamaan 3.21.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3.21)$$

Dengan:

A = Berat *paving block* basah

B = Berat *paving block* kering

3.6 Uji Statistik

Pada penelitian ini uji statistik dilakukan menggunakan bantuan aplikasi SPSS versi 26 untuk menguji data hasil pengujian *paving block*. Uji statistik yang dilakukan terdiri atas dua pengujian yaitu normalitas dan homogenitas.

3.6.1 Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui sebaran data yang dipakai sebagai acuan terdistribusi normal atau tidak (Rahman, 2014). Pengujian dilakukan dengan metode *Shapiro Wilk* dan taraf signifikansi (p) yang dipakai adalah 0,05.

Kriteria pengujian adalah apabila data terdistribusi normal maka $\text{Sig.} > p = 0,05$ (H_0 diterima), begitu juga sebaliknya data dikatakan terdistribusi tidak normal apabila $\text{Sig.} \leq p = 0,05$ (H_0 ditolak) (Rahman, 2014). Adapun hipotesis statistik yang digunakan adalah sebagai berikut.

H_0 : Data terdistribusi normal

H_1 : Data tidak terdistribusi normal

3.6.2 Homogenitas

Uji homogenitas merupakan uji statistik lanjutan dari uji normalitas. Uji homogenitas merupakan uji statistika yang bertujuan untuk mengetahui dua atau lebih kelompok data yang diambil adalah kelompok data dari populasi dengan varian atau karakteristik yang sama.

Kriteria pengujian adalah H_0 diterima jika $\text{Sig.} > p = 0,05$, dan H_0 ditolak apabila $\text{Sig.} \leq p = 0,05$ dengan hipotesis statistik yang digunakan adalah sebagai berikut (Kurniadi & Purwaningrum, 2018).

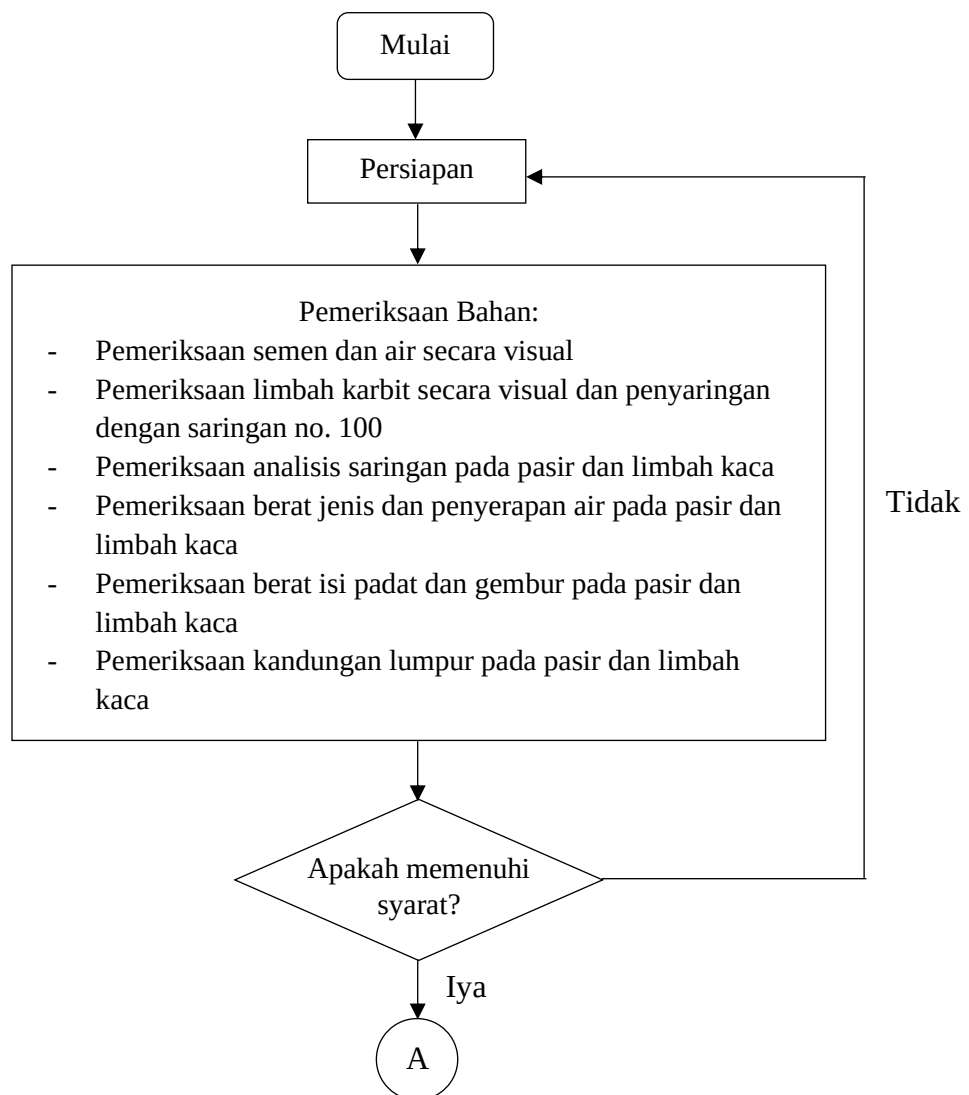
H_0 : Data dengan varian yang sama

H_1 : Data dengan varian yang berbeda

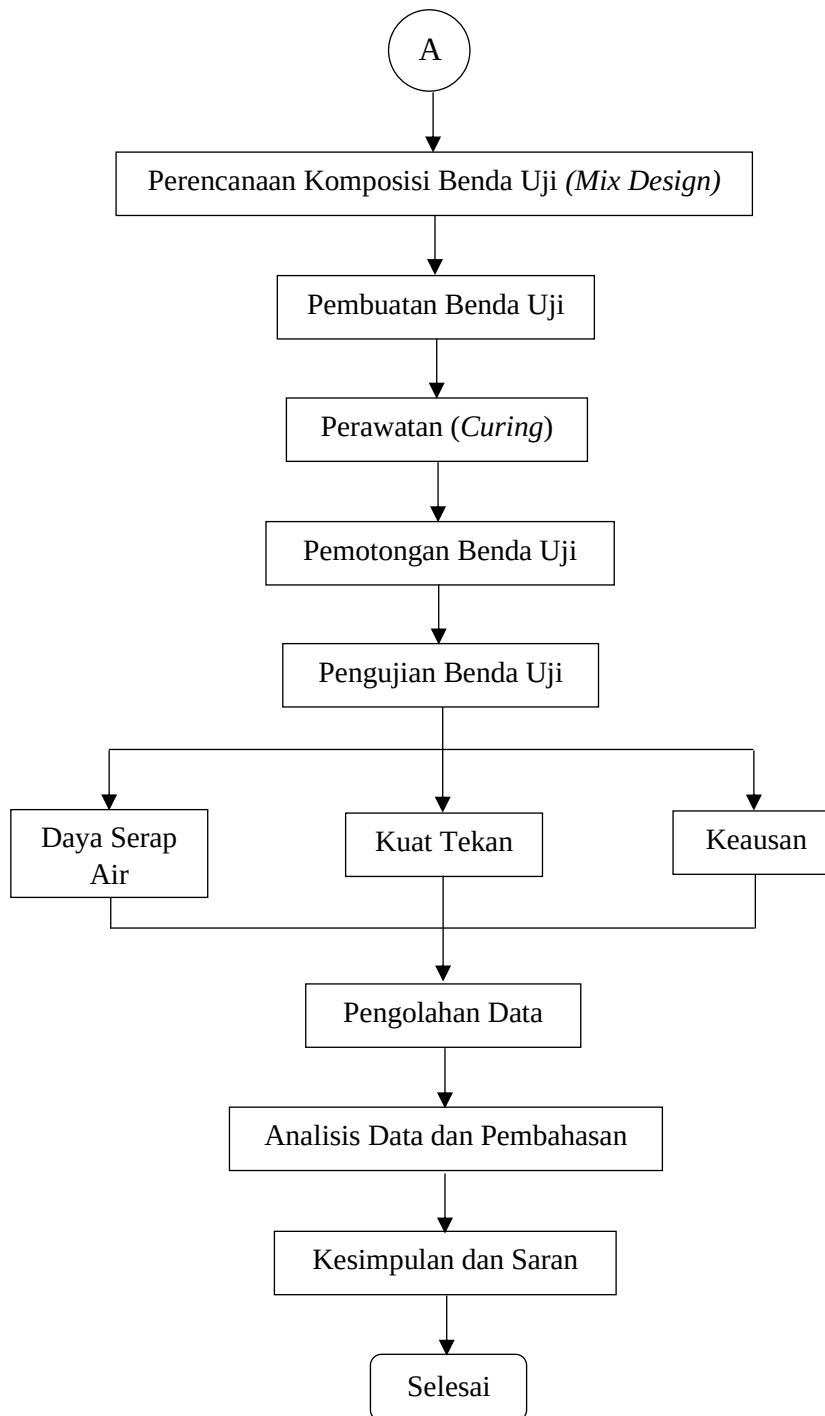
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari limbah las karbit dan limbah kaca sebagai bahan pengganti dari semen dan pasir. Skema dari penelitian secara singkat dijelaskan pada bagan alir di Gambar 4.1. Adapun bagan alir penelitian akan dijelaskan pada subbab-subbab berikut ini.



Gambar 4. 1 Bagan Alir



Lanjutan Gambar 4.1 Bagan Alir

4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan meliputi persiapan alat-alat dan bahan-bahan yang digunakan selama penelitian. Adapun alat dan bahan yang dipakai adalah sebagai berikut ini.

4.2.1 Alat

Alat-alat yang dipakai selama penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Timbangan

Timbangan digunakan dalam semua tahapan penelitian yang berfungsi untuk menimbang semua alat dan bahan serta sampel penelitian. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan dengan ketelitian 0,5 gr. Adapun untuk gambar timbangan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Timbangan

2. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur panjang dengan ketelitian mencapai 0,01 cm. Pada penelitian ini, jangka sorong digunakan untuk mengukur alat dan sampel penelitian. Adapun untuk gambar jangka sorong dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Jangka Sorong

3. Oven

Pada penelitian ini oven digunakan dalam pemeriksaan penyerapan air pada pasir dan limbah kaca selain itu juga digunakan dalam pengujian daya serap air *paving block*. Adapun untuk gambar oven dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Oven

4. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur berat jenis. Pada penelitian ini, piknometer digunakan dalam pemeriksaan berat jenis pasir dan limbah kaca. Adapun untuk gambar piknometer dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Piknometer

5. Sekop/Cetok

Sekop atau cetok digunakan untuk mengambil bahan campuran dan juga mencampurkannya. Adapun untuk gambar sekop atau cetok dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Sekop/Cetok

6. Saringan

Pada penelitian digunakan 1 set saringan dari no.1 hingga no.200. Saringan ini digunakan saat pemeriksaan analisis saringan pada pasir dan juga limbah kaca. Khusus untuk saringan no. 200 digunakan pada pemeriksaan kadar lumpur. Adapun untuk gambar saringan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Satu Set Saringan

7. Kerucut Terpancung dan Penumbuk

Kerucut terpancung dan penumbuk merupakan alat yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis agregat halus. Alat ini digunakan untuk memastikan apakah agregat halus sudah mencapai keadaan kering permukaan jenuh. Adapun untuk gambar kerucut terpancung dan penumbuk dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Kerucut Terpancung dan Penumbuk

8. Cetakan Silinder

Cetakan silinder dipakai pada saat pengujian berat isi dan gembur pada pasir dan limbah kaca. Adapun untuk gambar cetakan silinder dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Cetakan Silinder

9. Mesin Cetak

Mesin cetak yang dipakai merupakan mesin dengan sistem hidrolis dan getar. Mesin ini membuat proses pembuatan *paving block* menjadi lebih efisien, efektif, dan praktis serta ukuran yang dihasilkan juga menjadi presisi. Adapun untuk gambar mesin cetak dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Mesin Cetak

10. Alat Pemotong

Alat pemotong berfungsi untuk memotong *paving block* menjadi 3 bagian yang berbentuk kubus. Alat ini mempermudah pekerjaan pemotongan serta

menghindarkan hasil pemotongan dari keretakan dan hal yang tidak diinginkan. Alat pemotong yang dipakai merupakan alat yang ada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Adapun untuk gambar alat pemotong dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Alat Pemotong

11. Mesin Kuat Tekan

Mesin kuat tekan digunakan untuk mengukur kekuatan sampel dalam menahan beban. Mesin yang dipakai adalah mesin yang terdapat pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia dengan merek Shimadzu. Adapun untuk gambar mesin kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Mesin Penguji Kuat Tekan

12. Mesin Keausan

Mesin keausan digunakan untuk mengukur kemampuan sampel dalam menahan gesekan terhadap mesin aus, Mesin yang dipakai adalah mesin dengan merek Alba Teknika yang terdapat di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Adapun untuk gambar mesin keausan dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Mesin Penguji Keausan

4.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dipakai selama penelitian adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen *Portland Composite* (PCC) merek Tiga Roda yang terdapat di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi. Adapun untuk gambar semen dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Semen Portland

2. Agregat Halus (Pasir)

Pada penelitian ini, agregat halus yang dipakai merupakan pasir yang berasal dari Gunung Merapi yang telah lolos uji pemeriksaan bahan. Adapun untuk gambar agregat halus (pasir) dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Agregat Halus (Pasir)

3. Air

Pada penelitian ini air yang digunakan merupakan air yang berasal dari sumur di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi. Air yang dipakai adalah air yang lolos dari uji pemeriksaan bahan berupa air yang jernih, tidak terdapat kotoran atau benda-benda asing serta tidak berbau. Adapun untuk gambar air dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Air

4. Limbah Las Karbit (Substitusi Semen)

Pada penelitian ini, limbah las karbit dijadikan sebagai substitusi semen, sehingga pemeriksaannya diperlakukan sama seperti semen dan disaring dengan saringan no. 100. Adapun untuk gambar limbah karbit dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Limbah Karbit

5. Limbah Kaca (Substitusi Pasir)

Limbah kaca yang dipakai pada penelitian ini merupakan kaca botol minuman dan kaca bening dengan ukuran lolos ayakan 0,15 mm – 1,18 mm. Limbah kaca pada penelitian ini dijadikan sebagai substitusi dari pasir, sehingga pemeriksaan bahan yang dilakukan sama seperti pemeriksaan pada pasir. Adapun untuk gambar limbah kaca dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Limbah Kaca

4.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini meliputi proses pemeriksaan bahan yang digunakan, perencanaan komposisi benda uji (*mix design*), proses pembuatan bahan, perawatan (*curing*), lalu proses pengujian benda uji. Adapun untuk lebih detailnya dapat dilihat berikut ini.

4.3.1 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan bertujuan untuk mengetahui bahan yang digunakan adalah kualitas yang memenuhi standar SNI. Adapun pemeriksaan bahan yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Semen

Pemeriksaan semen yang harus dipastikan adalah semen memiliki butiran yang halus, tidak bergumpal, dan tidak basah maupun lembab.

2. Limbah Las Karbit

Pemeriksaan limbah las karbit yang harus dipastikan adalah limbah memiliki butiran yang halus, tidak bergumpal, tidak basah maupun lembab. Apabila serbuk bergumpal dan basah, maka dilakukan proses pengeringan dengan cara dijemur terlebih dahulu lalu dihaluskan dengan penghalus, agar butiran serbuk menjadi halus sesuai dengan ketentuan untuk dijadikan substitusi semen dalam campuran. Serbuk juga harus disaring dengan saringan no. 100 untuk memastikan butiran yang dipakai sudah memenuhi kriteria ukuran butiran semen.

3. Air

Pemeriksaan air yang harus dipastikan sebelum air dijadikan bahan campuran adalah memastikan air jernih, tidak terdapat kotoran atau benda asing secara visual, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mengandung lumpur.

4. Pasir

Pada pasir ada beberapa hal yang dilakukan dalam pemeriksaan bahan. Dalam penelitian ini hal yang diperiksa adalah sebagai berikut.

- a. Analisis Saringan

Pemeriksaan analisis saringan ini bertujuan untuk mengetahui letak gradasi butiran pasir yang dipakai. Ada 4 gradasi yang dijadikan sebagai acuan berdasarkan Modulus Halus Butiran (MHB). Apabila pasir yang diuji tidak masuk pada kriteria keempat gradasi, maka pasir dinyatakan tidak layak untuk dipakai. Langkah-langkah dalam pemeriksaan analisis saringan dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Adapun langkah-langkah pemeriksaan sebagai berikut ini.

- 1) Mengeringkan benda uji di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hingga berat tetap (berat yang tidak mengalami perubahan kadar air lebih dari 0,1% apabila ditimbang), lalu menimbang benda uji sebanyak 2000 gram.
 - 2) Menyiapkan 1 set saringan dari ukuran $9,60 - 0,15 \text{ mm}$ dan menyusunnya dari ukuran yang terbesar, lalu mengguncang pasir yang telah diletakkan di atas saringan dengan mesin pengguncang selama 15 menit.
 - 3) Menimbang pasir yang berada di setiap ukuran saringan dan mencatatnya setelah proses pengguncangan pasir selesai.
 - 4) Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.
- b. Berat Jenis dan Penyerapan Air
- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat halus serta kemampuan agregat halus dalam menyerap air. Langkah-langkah dalam pemeriksaan dilakukan berdasarkan SNI 03-1970-1990. Adapun langkah-langkah pemeriksaan sebagai berikut ini.
- 1) Mengeringkan sampel berupa pasir dengan oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hingga berat tetap, lalu mendinginkan pasir dalam suhu ruang dan merendamnya kedalam air selama $(24 \pm 4) \text{ jam}$.
 - 2) Kemudian menebar sampel pada talam dan mengeringkannya di udara yang panas hingga keadaan kering permukaan jenuh tercapai.
 - 3) Untuk memastikan sampel sudah mencapai keadaan kering permukaan jenuh, digunakan alat bernama kerucut terpancung. Mengisikan sampel ke dalam kerucut terpancung lalu menumbuk sebanyak 25 kali, setelahnya angkat kerucut. Apabila sampel sudah mencapai keadaan kering permukaan jenuh maka sampel akan mengalami keruntuhan namun masih dalam bentuk yang tercetak saat kerucut diangkat.
 - 4) Menimbang sampel yang sudah dalam keadaan kering permukaan jenuh sejumlah 500 gram dan memasukkan ke dalam piknometer, lalu mengisi air pada piknometer dari bagian pinggir piknometer hingga

tidak adanya gelembung yang terlihat. Mengisikan air sebanyak 90% dari volume piknometer.

- 5) Merendam piknometer di dalam air, lalu mengukur suhunya untuk menyesuaikan perhitungan dengan suhu standar 25 °C.
 - 6) Menimbang piknometer yang berisi air dan sampel dan mencatat beratnya (Bt).
 - 7) Mengeluarkan sampel yang berada di dalam piknometer lalu mengeringkannya di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hingga berat tetap, setelahnya mendinginkan sampel ke dalam desikator. Terakhir menimbang dan mencatat berat sampel (Bk).
 - 8) Menimbang berat piknometer yang berisi air penuh (B).
 - 9) Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.
- c. Berat Isi Padat dan Gembur

Pemeriksaan berat isi padat dan gembur ini bertujuan untuk mengetahui berat isi dan gembur dari agregat halus yang mana hasilnya dipakai dalam perhitungan *mix design*. Langkah-langkah dalam pemeriksaan dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998 dengan langkah-langkah pemeriksaan sebagai berikut ini.

- 1) Melakukan pengeringan benda uji yang dipakai dengan oven hingga berat tetap pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
 - 2) Menimbang berat silinder sebelum menuangkan benda uji (W1) dan menghitung volumenya (V).
 - 3) Memasukkan benda uji kering oven secara bertahap dengan kedalaman 1/3 bagian, 1/2 bagian, dan 1 bagian pada silinder, lalu menumbuknya pada masing-masing bagian sebanyak 25 kali secara merata untuk pengujian berat isi padat, sedangkan untuk berat isi gembur tidak dilakukan penumbukan.
 - 4) Menimbang berat silinder yang telah berisi agregat halus dengan volume penuh (W2).
 - 5) Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.
- d. Kandungan Lumpur

Pemeriksaan kandungan lumpur bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung di dalam agregat halus, dimana apabila agregat halus mengandung lumpur lebih dari 5%, maka sesuai persyaratan pada SK SNI S-04-1989-F, agregat halus tersebut tidak dapat dijadikan campuran untuk produk beton. Agregat halus yang diperiksa merupakan agregat yang lolos saringan no. 200. Langkah-langkah dalam pemeriksaan kandungan lumpur dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996 dengan langkah-langkah pemeriksaan sebagai berikut ini.

- 1) Menimbang dan mencatat berat wadah kosong tanpa sampel
- 2) Menempatkan sampel dengan keadaan kering oven kedalam wadah, lalu timbang (A).
- 3) Merendam sampel di dalam air pencuci dengan bahan pembersih hingga sampel terendam.
- 4) Mengaduk sampel yang terendam hingga butiran kasar dan halus menjadi terpisah dan mengusahakan butiran halus yang lolos saringan no. 200 melayang di larutan pencuci.
- 5) Menuangkan air pencuci yang berisi sampel diatas saringan no. 16 dan di bawahnya dipasang saringan no. 200.
- 6) Mengulangi pekerjaan hingga mencapai keadaan air menjadi jernih.
- 7) Meletakkan semua sampel yang lolos saringan no. 16 dan no. 200 ke dalam wadah, lalu mengeringkannya dengan oven pada suhu (110 ± 5) °C hingga berat tetap, dan mendinginkan sampel ke dalam desikator, terakhir menimbang dan mencatat beratnya (B).
- 8) Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.

5. Limbah Kaca

Pada penelitian ini, limbah kaca dijadikan sebagai substitusi sebagian pasir, sehingga pemeriksaan bahan yang dilakukan sama persis seperti yang dilakukan pada pasir. Pemeriksaan pada limbah kaca antara lain analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat isi padat dan gembur, serta kandungan lumpur. Pemeriksaan dilakukan dengan tujuan mengetahui limbah kaca layak dan dapat menggantikan peran pasir sebagai agregat halus.

4.3.2 Perencanaan Komposisi Benda Uji (*Mix Design*)

Dalam penelitian ini, proses pencampuran dilakukan dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:3, nilai fas sebesar 0,4, serta variasi campuran untuk limbahnya masing-masing sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% untuk limbah las karbit terhadap semen, 0% dan 20% untuk limbah kaca terhadap pasir. Adapun jumlah sampel dan variasi limbah yang dipakai pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Variasi Substitusi Limbah Terhadap Bahan Campuran dan Jumlah Sampel Pengujian

Kode	Persentase Limbah Kaca Terhadap Pasir	Persentase Limbah Las Karbit Terhadap Semen	Jumlah Sampel (200 mm x 100 mm x 60 mm)	Jumlah Sampel Pengujian (60 mm x 60 mm x 60 mm)		
				Kuat Tekan	Daya Serap Air	Keausan
G0C0	0%	0%	5	5	5	5
G20C0	20%	0%	5	5	5	5
G0C2,5	0%	2,5%	5	5	5	5
G20C2,5	20%	2,5%	5	5	5	5
G20C5	20%	5%	5	5	5	5
G20C7,5	20%	7,5%	5	5	5	5
G20C10	20%	10%	5	5	5	5
Jumlah Sampel			35	105		

Keterangan:

G0C0 = Kadar limbah kaca 0% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 0% terhadap semen

G20C0 = Kadar limbah kaca 20% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 0% terhadap semen

G0C2,5	=	Kadar limbah kaca 0% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 2,5% terhadap semen
G20C2,5	=	Kadar limbah kaca 20% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 2,5% terhadap semen
G20C5	=	Kadar limbah kaca 20% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 5% terhadap semen
G20C7,5	=	Kadar limbah kaca 20% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 7,5% terhadap semen
G20C10	=	Kadar limbah kaca 20% terhadap pasir dan kadar limbah karbit 10% terhadap semen

4.3.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan sampel dilakukan setelah tahap pencampuran selesai. Pada tahapan ini, adukan material dituangkan ke dalam mesin pencetak yang dilengkapi dengan sistem hidrolis dan sistem getar. Faktor pemadatan mesin hidrolis yang dipakai sebesar 1,3. Sampel yang dibuat berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm yang berjumlah 35 sampel. Adapun langkah pembuatan sampel dengan menggunakan mesin pencetak dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Menyiapkan material sesuai dengan kebutuhan yang sudah diperhitungkan, lalu mencampurkan material penyusun dalam satu wadah.
2. Mencampur material dengan lamanya waktu pencampuran kurang lebih 10 menit hingga material terlihat sudah menjadi satu kesatuan (homogen).
3. Menuangkan adukan material ke dalam mesin pencetak saat material dirasa sudah menyatu dan tingkat kelecakan nya sudah sesuai.
4. Meletakkan triplek sebagai alas dengan tebal kurang lebih 20 mm pada mesin pencetak.
5. Meletakkan adukan material yang sudah lacak kedalam pencetak dengan posisi pencetak mesin terbuka (posisi stempel diatas bagian *form*).
6. Menyalakan sistem getar dengan waktu kurang lebih 10 detik
7. Mematikan sistem getar, lalu mengisinya dengan adukan material pada cetakan yang turun hingga cetakannya penuh.

8. Melakukan proses pemadatan dengan menekan tuas hingga bagian stempelnya menjadi turun.
9. Mengangkat bagian cetakan setelah proses pemadatan selesai, dengan cara menekan tuas.

4.3.4 Perawatan (*Curing*) Benda Uji

Saat benda uji sudah dicetak, benda uji didiamkan selama 1 hari hingga dirasa sudah mampu mengangkat beban sendiri. Setelahnya dilakukan perawatan (*curing*) benda uji dengan tujuan untuk mengurangi dampak dari hidrasi (panas) semen yang dapat mengakibatkan terjadinya *crack* di permukaan. Pada proses ini, benda uji yang sudah mengeras direndam selama 21 hari, lalu setelahnya didiamkan pada suhu ruang hingga berumur 28 hari untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

4.3.5 Pemotongan Benda Uji

Benda uji yang sudah berumur 28 hari kemudian dilakukan pemotongan menjadi 3 bagian berbentuk kubus, masing-masing berukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm, sehingga didapatkan jumlah keseluruhan benda uji setelah dilakukan pemotongan sebanyak 105 sampel. Proses pemotongan dilakukan dengan mesin, sehingga pemotongan menjadi lebih presisi dan efisien serta menghindarkan dari keretakan akibat pemotongan. Adapun untuk kebutuhan jumlah benda uji dari masing-masing pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

4.3.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji bertujuan untuk mengetahui kemampuan benda uji dalam menahan kuat tekan dan gesekan serta untuk mengetahui kemampuan benda uji dalam menyerap air, sehingga dari pengujian ini diketahui hasil dari kualitas *paving block*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia berdasarkan SNI 03-0691-1996. Ada tiga pengujian yang dilakukan pada penelitian, dimana masing-masing pengujian dilakukan untuk 5 sampel dengan ukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm pada umur sampel 28 hari. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan merupakan pengujian yang dilakukan guna mengetahui kemampuan maksimum benda uji dalam menahan beban. Pada penelitian ini,

pengujian dilakukan pada 5 sampel yang berukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm. Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut.

- a. Menyiapkan 5 benda uji yang sudah berumur 28 hari, lalu membersihkan permukaannya dari kotoran.
- b. Mengukur dimensi benda uji dengan menggunakan jangka sorong. Pengukuran dilakukan pada 3 tempat berbeda dan diambil nilai rata-rata.
- c. Meletakkan benda uji di mesin penguji kuat tekan tepat berada di tengahnya.
- d. Melakukan pembebanan dengan mesin hingga beban terus meningkat. Pembebanan dihentikan saat beban mulai turun, lalu mencatat beban maksimum yang terjadi selama pembebanan.
- e. Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.

2. Keausan

Pengujian keausan merupakan pengujian yang dilakukan guna mengetahui kemampuan benda uji dalam menahan gesekan, hal ini dilihat dari perbandingan antara berat benda uji sebelum dan setelah dikenai gesekan. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada 5 sampel yang berukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm. Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut.

- a. menyiapkan 5 benda uji yang sudah berumur 28 hari, lalu membersihkan permukaannya dari kotoran.
- b. Mengukur dan menimbang benda uji sebelum proses pengujian.
- c. Meletakkan benda uji pada mesin aus lalu memberikannya beban tambah sebesar $3\frac{1}{3}$ kg, terakhir menghidupkan mesin pengaus.
- d. Memutar-mutar benda uji 90° setiap 1 menit dengan total pengujian selama 5 menit (5 x 1 menit) atau sampai adanya permukaan yang habis selama pengujian. Apabila dalam waktu 5 menit belum ada permukaan yang terlihat habis maka lanjutkan pengujian hingga menit ke-15 dimana setiap 1 menit benda uji diputar 90° .
- e. Mematikan mesin, lalu membersihkan benda uji dari serpihan-serpihan sisa pengujian, setelahnya menimbang benda uji.
- f. Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.

3. Daya Serap Air

Pengujian daya serap air merupakan pengujian yang dilakukan guna mengetahui kemampuan benda uji dalam menyerap air, hal ini dilihat dari perbandingan antara berat benda uji basah dan kering. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada 5 sampel yang berukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm. Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut.

- a. Menyiapkan 5 benda uji yang sudah berumur 28 hari, lalu membersihkannya dari kotoran.
- b. Merendam benda uji di dalam air selama 24 jam (keadaan jenuh air), lalu mengeluarkannya, setelahnya menimbang berat dalam keadaan basah (berat basah).
- c. Mengeringkan benda uji pada oven dengan lama pengeringan selama 24 jam dengan suhu 105°C hingga berat tetap.
- d. Setelahnya, menimbang benda uji dalam keadaan kering.
- e. Lalu menuliskan data pada *form* untuk dilakukan pengolahan data.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Data hasil pengujian dilakukan perhitungan dan analisis untuk selanjutnya dilakukan pembahasan guna mengetahui hasil penelitian sudah sesuai dengan tujuan. Adapun perhitungan dari hasil pengujian dapat dilihat pada subbab-subbab berikut ini.

5.2 Bahan Penyusun *Paving Block*

Material-material yang digunakan pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan bahan dengan langkah dan ketentuan masing-masing. Adapun material yang dilakukan pemeriksaan berupa semen, limbah las karbit, air, pasir, dan limbah kaca.

5.2.1 Semen *Portland*

Semen yang digunakan pada penelitian berupa semen PCC (*Portland Composite Cement*) merk Tiga Roda. Hasil pemeriksaan menunjukkan semen yang dipakai tidak bergumpal, tidak basah maupun lembab, serta butirannya halus.

5.2.2 Limbah Las Karbit

Limbah las karbit yang digunakan berasal dari limbah bengkel las yang ada di daerah Sleman, Yogyakarta. Hasil pemeriksaan menunjukkan limbah yang dipakai butirannya halus, tidak bergumpal, dan tidak basah, serta ukuran butirannya sudah lolos saringan no. 100.

5.2.3 Pasir

Pasir yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Merapi dengan ukuran butiran lolos saringan no. 4 (4,75 mm). Hasil pemeriksaan pasir adalah sebagai berikut.

1. Analisis Saringan

Pemeriksaan analisis saringan ini bertujuan untuk mengetahui letak gradasi butiran pasir yang dipakai. Ada 4 gradasi yang dijadikan sebagai acuan berdasarkan kekasaran butirannya.

a. Perhitungan Analisis Saringan Sampel 1

Perhitungan analisis saringan mengacu pada persamaan 3.1 sampai 3.4.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm = 0 gram

Lubang ayakan 4,8 mm = 33 gram

Lubang ayakan 2,4 mm = 208 gram

Lubang ayakan 1,2 mm = 432 gram

Lubang ayakan 0,6 mm = 510 gram

Lubang ayakan 0,3 mm = 372 gram

Lubang ayakan 0,15 mm = 248 gram

Pan = 195 gram

Σ Berat tertinggal = 1998 gram

2) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm = $\frac{0}{1998} \times 100\% = 0\%$

Lubang ayakan 4,8 mm = $\frac{33}{1998} \times 100\% = 1,65\%$

Lubang ayakan 2,4 mm = $\frac{208}{1998} \times 100\% = 10,41\%$

Lubang ayakan 1,2 mm = $\frac{432}{1998} \times 100\% = 21,62\%$

Lubang ayakan 0,6 mm = $\frac{510}{1998} \times 100\% = 25,53\%$

Lubang ayakan 0,3 mm = $\frac{372}{1998} \times 100\% = 18,62\%$

Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{248}{1998} \times 100\% = 12,41\%$

Pan = $\frac{195}{1998} \times 100\% = 9,76\%$

Σ Berat tertinggal = 100%

3) Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 9,6 mm	= 0 %	
Lubang ayakan 4,8 mm	= 0% + 1,65%	= 1,65%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 1,65% + 10,41%	= 12,06%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 12,06% + 21,62%	= 33,68%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 33,68% + 25,53%	= 59,21%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 59,21% + 18,62%	= 77,83%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 77,83% + 12,41%	= 90,24%
Pan	= 90,24% + 9,76%	= 100%
Σ Berat tertinggal	= 374,67%	

4) Persen Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 9,6 mm	= 100% - 0 %	= 100%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 1,65%	= 98,35%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 12,06%	= 87,94%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 33,68%	= 66,32%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 59,21%	= 40,79%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 77,83%	= 22,17%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 90,24%	= 9,76%
Pan	= 100% - 100%	= 0%

b. Perhitungan Analisis Saringan Sampel 2

Perhitungan analisis saringan mengacu pada persamaan 3.1 sampai 3.4.
Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm	= 0 gram
Lubang ayakan 4,8 mm	= 29 gram
Lubang ayakan 2,4 mm	= 206 gram

Lubang ayakan 1,2 mm = 435 gram

Lubang ayakan 0,6 mm = 518 gram

Lubang ayakan 0,3 mm = 368 gram

Lubang ayakan 0,15 mm = 243 gram

Pan = 199 gram

Σ Berat tertinggal = 1998 gram

2) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm = $\frac{0}{1998} \times 100\% = 0\%$

Lubang ayakan 4,8 mm = $\frac{29}{1998} \times 100\% = 1,45\%$

Lubang ayakan 2,4 mm = $\frac{206}{1998} \times 100\% = 10,31\%$

Lubang ayakan 1,2 mm = $\frac{435}{1998} \times 100\% = 21,77\%$

Lubang ayakan 0,6 mm = $\frac{518}{1998} \times 100\% = 25,93\%$

Lubang ayakan 0,3 mm = $\frac{368}{1998} \times 100\% = 18,42\%$

Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{243}{1998} \times 100\% = 12,16\%$

Pan = $\frac{199}{1998} \times 100\% = 9,96\%$

Σ Berat tertinggal = 100%

3) Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 9,6 mm = 0 %

Lubang ayakan 4,8 mm = 0% + 1,45% = 1,45%

Lubang ayakan 2,4 mm = 1,45% + 10,31% = 11,76%

Lubang ayakan 1,2 mm = 11,76% + 21,77% = 33,53%

Lubang ayakan 0,6 mm = 33,53% + 25,93% = 59,46%

Lubang ayakan 0,3 mm = 59,46% + 18,42% = 77,88%

Lubang ayakan 0,15 mm = 77,88% + 12,16% = 90,04%

$$\text{Pan} = 90,04\% + 9,96\% = 100\%$$

$$\sum \text{Berat tertinggal} = 274,12\%$$

4) Persen Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 100\% - 0\% = 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 100\% - 1,45\% = 98,55\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 100\% - 11,76\% = 88,24\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 100\% - 33,53\% = 66,47\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 100\% - 59,46\% = 40,54\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 100\% - 77,88\% = 22,12\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 100\% - 90,04\% = 9,96\%$$

$$\text{Pan} = 100\% - 100\% = 0\%$$

c. Perhitungan Analisis Saringan Rata - Rata

Perhitungan analisis saringan rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Persen Lolos Kumulatif Rata-Rata

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = \frac{100\% + 100\%}{2} = 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{98,35\% + 98,55\%}{2} = 98,45\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{87,94\% + 88,24\%}{2} = 88,09\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{66,32\% + 66,47\%}{2} = 66,39\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = \frac{40,79\% + 40,54\%}{2} = 40,67\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = \frac{22,17\% + 22,12\%}{2} = 22,15\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{9,76\% + 9,96\%}{2} = 9,86\%$$

$$\text{Pan} = \frac{0\% + 0\%}{2} = 0\%$$

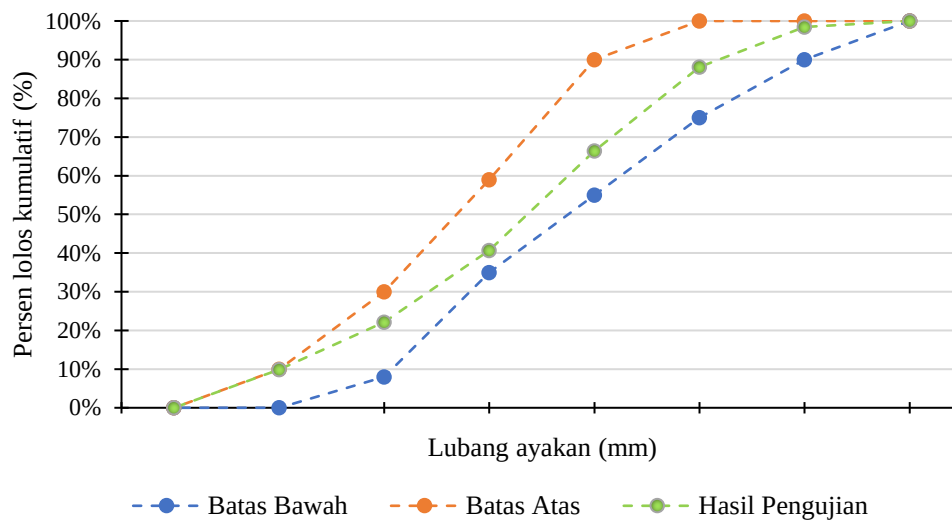
2) Modulus Halus Butiran (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{374,67\% + 274,12\%}{2} \\
 &= \frac{324,399\%}{100} \\
 &= 3,244
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan MHB (modulus halus butiran) dari pasir yang dipakai sebesar 3,244 dimana hasilnya sesuai dengan syarat MHB yang terlampir di SK SNI S-04-1989-F yaitu berada di-*range* 2,5-3,8. Dari hasil perhitungan persen lolos kumulatif rata-rata, disimpulkan pasir yang dipakai masuk ke dalam daerah II (agak kasar) berdasarkan gradasi butirannya. Adapun hasil pemeriksaan analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 5.1, sedangkan untuk grafik gradasi hasil analisis saringan dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,6	0	0	0	0	0	0	100	100	100
4,8	33	29	1,65	1,45	1,65	1,45	98,35	98,55	98,45
2,4	208	206	10,41	10,31	12,06	11,76	87,94	88,24	88,09
1,2	432	435	21,62	21,77	33,68	33,53	66,32	66,47	66,39
0,6	510	518	25,53	25,93	59,21	59,46	40,79	40,54	40,67
0,3	372	368	18,62	18,42	77,83	77,88	22,17	22,12	22,15
0,15	248	243	12,41	12,16	90,24	90,04	9,76	9,96	9,86
Pan	195	199	9,76	9,96	100	100	0	0	0
Jumlah	1998	1998	100	100	374,67	274,12	Daerah II (Agak Kasar)		



Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Pasir Daerah II

2. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara massa pasir terhadap massa air serta kemampuan pasir dalam menyerap air.

a. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Sampel 1

Perhitungan berat jenis dan penyerapan air mengacu pada persamaan 3.5 sampai 3.8. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Pasir Kering Mutlak

Berat pasir kering mutlak (B_k) = 486 gram

2) Berat Pasir Kondisi Jenuh Kering Muka

Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) = 500 gram

3) Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air

Berat piknometer berisi pasir dan air (B_t) = 1002 gram

4) Berat Piknometer Berisi Air

Berat piknometer berisi air (B) = 688 gram

5) Berat Jenis Curah

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B + SSD - B_t}$$

$$= \frac{486}{688 + 500 - 1002}$$

$$= 2,613$$

6) Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} = \frac{SSD}{B + SSD - Bt}$$

$$= \frac{500}{688 + 500 - 1002}$$

$$= 2,688$$

7) Berat Jenis Semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$$

$$= \frac{486}{688 + 486 - 1002}$$

$$= 2,826$$

8) Penyerapan Air

$$\text{Penyerapan air} = \frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{500 - 486}{486} \times 100\%$$

$$= 2,88\%$$

b. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Sampel 2

Perhitungan berat jenis dan penyerapan air mengacu pada persamaan 3.5 sampai 3.8. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Pasir Kering Mutlak

Berat pasir kering mutlak (Bk) = 488 gram

2) Berat Pasir Kondisi Jenuh Kering Muka

Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) = 500 gram

3) Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air

Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) = 1006 gram

4) Berat Piknometer Berisi Air

Berat piknometer berisi air (B) = 692 gram

5) Berat Jenis Curah

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B + SSD - Bt}$$

$$= \frac{488}{692 + 500 - 1006}$$

$$= 2,624$$

6) Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{SSD}{B + SSD - Bt} \\ &= \frac{500}{692 + 500 - 1006} \\ &= 2,688\end{aligned}$$

7) Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \\ &= \frac{488}{688 + 488 - 1006} \\ &= 2,805\end{aligned}$$

8) Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 488}{488} \times 100\% \\ &= 2,46\%\end{aligned}$$

c. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Rata-Rata

Perhitungan berat jenis dan penyerapan air rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut ini.

1) Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\ &= \frac{2,613 + 2,624}{2} \\ &= 2,618\end{aligned}$$

2) Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\ &= \frac{2,688 + 2,688}{2} \\ &= 2,688\end{aligned}$$

3) Berat Jenis Semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

$$= \frac{2,826 + 2,805}{2}$$

$$= 2,815$$

4) Penyerapan Air

$$\text{Penyerapan air} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

$$= \frac{2,88\% + 2,46\%}{2}$$

$$= 2,67\%$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan berat jenis jenuh kering muka dari pasir sebesar 2,688 dan penyerapan air sebesar 2,67%, dimana hasil pemeriksaan ini sudah sesuai dengan syarat agregat halus sebagai bahan campuran beton dengan berat jenis berkisar di angka 2,5-2,7 dan penyerapan air maksimal 5% (Tjokrodinuljo, 2007). Adapun hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Pasir Kering Mutlak, <i>B_k</i> (gr)	486	488	-
Berat Pasir Kondisi Jenuh Kering Muka, <i>SSD</i> (gr)	500	500	
Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air, <i>B_t</i> (gr)	1002	1006	
Berat Piknometer Berisi Air, <i>B</i> (gr)	688	692	
Berat Jenis Curah	2,613	2,624	2,618
Berat Jenis Jenuh Kering Muka, <i>SSD</i>	2,688	2,688	2,688
Berat Jenis Semu	2,826	2,805	2,815
Penyerapan Air (%)	2,88	2,46	2,67

3. Berat Isi Padat dan Gembur

Pemeriksaan berat isi padat dan gembur ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat pasir terhadap volumenya dimana hasil dari pemeriksaan ini akan digunakan sebagai data dalam penentuan rencana *mix design*. Perbandingan hasil pemeriksaan dari berat isi padat harus lebih besar daripada berat isi gembur dikarenakan pada proses pemeriksaan isi padat dilakukan pemadatan dengan penumbuk, sehingga pori-pori menjadi terisi.

a. Perhitungan Berat Isi Padat Sampel 1

Perhitungan berat isi padat mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

Berat tabung (W1) = 9863 gram

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

Berat tabung dan agregat halus SSD (W2) = 19365 gram

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19365 - 9863 \\ &= 9502 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned}\text{Diameter tabung (D)} &= \frac{15,07+15,055+15,1}{3} \\ &= 15,075 \text{ cm} \\ \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,18+30,19+30,2}{3} \\ &= 30,190 \text{ cm} \\ \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,075)^2 \times (30,190) \\ &= 5388,50 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

5) Berat Isi Padat

$$\begin{aligned}\text{Berat isi padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{9502}{5388,50}\end{aligned}$$

$$= 1,763 \text{ gram/cm}^3$$

b. Perhitungan Berat Isi Gembur Sampel 1

Perhitungan berat isi gembur mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

$$\text{Berat tabung (W1)} = 5871 \text{ gram}$$

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

$$\text{Berat tabung dan agregat halus SSD (W2)} = 14323 \text{ gram}$$

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 14323 - 5871 \\ &= 8452 \text{ gram} \end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned} \text{Diameter tabung (D)} &= \frac{14,71+14,89+14,75}{3} \\ &= 14,783 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,06+30,09+30,105}{3} \\ &= 30,085 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (14,783)^2 \times (30,085) \\ &= 5163,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

5) Berat Isi Gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat isi gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8452}{5163,98} \\ &= 1,637 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Berat Isi Padat Sampel 2

Perhitungan berat isi padat mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

$$\text{Berat tabung (W1)} = 12498 \text{ gram}$$

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

Berat tabung dan agregat halus SSD (W2) = 22123 gram

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 22123 - 12498 \\ &= 9625 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned}\text{Diameter tabung (D)} &= \frac{15,20+15,25+15,30}{3} \\ &= 15,250 \text{ cm} \\ \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,03+30,05+30,01}{3} \\ &= 30,030 \text{ cm} \\ \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,250)^2 \times (30,030) \\ &= 5485,10 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

5) Berat Isi Padat

$$\begin{aligned}\text{Berat isi padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{9625}{5485,10} \\ &= 1,755 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

d. Perhitungan Berat Isi Gembur Sampel 2

Perhitungan berat isi gembur mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

Berat tabung (W1) = 5871 gram

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

Berat tabung dan agregat halus SSD (W2) = 14072 gram

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 14072 - 5871 \\ &= 8201 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tabung (D)} &= \frac{14,71+14,89+14,75}{3} \\
 &= 14,783 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,06+30,09+30,105}{3} \\
 &= 30,085 \text{ cm} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (14,783)^2 \times (30,085) \\
 &= 5163,98 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

5) Berat Isi Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat isi gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8201}{5163,98} \\
 &= 1,588 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Berat Isi Rata-Rata

Perhitungan berat isi rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Isi Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Isi Padat} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{1,763 + 1,755}{2} \\
 &= 1,759 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat Isi Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Isi Gembur} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{1,637 + 1,588}{2} \\
 &= 1,612 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan berat isi padat sebesar 1,759 gram/cm³ dan berat isi gembur 1,612 gram/cm³. Hasil data pemeriksaan ini digunakan sebagai data awal untuk perhitungan *mix design* dari *paving block*. Adapun

hasil pemeriksaan berat isi padat dan gembur dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Pasir

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung, W_1 (gr)	9863	12498
Berat Tabung dan Agregat Halus SSD, W_2 (gr)	19365	22123
Berat Agregat Halus, W_3 (gr)	9502	9625
Volume Tabung, V (gr)	5388,50	5485,10
Berat Isi Padat (gr/cm ³)	1,763	1,755
Berat Isi Padat Rata-Rata (gr/cm ³)	1,759	

Tabel 5. 4 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Pasir

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung, W_1 (gr)	5871	5871
Berat Tabung dan Agregat Halus SSD, W_2 (gr)	14323	14072
Berat Agregat Halus, W_3 (gr)	8452	8201
Volume Tabung, V (gr)	5163,98	5163,98
Berat Isi Gembur (gr/cm ³)	1,637	1,588
Berat Isi Gembur Rata-Rata (gr/cm ³)	1,612	

4. Kandungan Lumpur (Lolos Saringan No.200)

Pemeriksaan kandungan lumpur dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan lumpur pada pasir yang dipakai. Lumpur yang dimaksud adalah pasir yang butirannya lolos saringan no.200.

a. Perhitungan Kandungan Lumpur Sampel 1

Perhitungan kandungan lumpur mengacu pada persamaan 3.12 sampai 3.14. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Agregat SSD

Berat agregat SSD (W_1) = 500 gram

2) Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci

Berat agregat kering oven setelah dicuci (W_2) = 475 gram

3) Berat Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Berat lumpur (W3)} &= W_1 - W_2 \\ &= 500 - 475 \\ &= 25 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Kadar Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{W_3}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{25}{500} \times 100\% \\ &= 5 \%\end{aligned}$$

b. Perhitungan Kandungan Lumpur Sampel 2

Perhitungan kandungan lumpur mengacu pada persamaan 3.12 sampai 3.14. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Agregat SSD

Berat agregat SSD (W_1) = 500 gram

2) Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci

Berat agregat kering oven setelah dicuci (W_2) = 478 gram

3) Berat Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Berat lumpur (W3)} &= W_1 - W_2 \\ &= 500 - 478 \\ &= 22 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Kadar Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{W_3}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{22}{500} \times 100\% \\ &= 4,4 \%\end{aligned}$$

c. Perhitungan Kadar Lumpur Rata-Rata

Perhitungan kandungan lumpur rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur rata-rata} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{5\% + 4,4\%}{2} \\
 &= 4,7\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan kadar lumpur dari pasir yang dipakai sebesar 4,7% dimana hasilnya sesuai dengan syarat agregat halus yang terlampir pada SK SNI S-04-1989-F yaitu kadar lumpur yang terkandung maksimal sebesar 5%. Adapun hasil pemeriksaan kandungan lumpur dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil Pemeriksaan Kandungan Lumpur Pada Pasir

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Halus Kering Oven, W1 (gr)	500	500
Berat Agregat Halus Kering Oven Setelah Dicuci, W2 (gr)	475	478
Berat Lumpur, W3 (gr)	25	22
Kadar Lumpur, (%)	5	4,4
Kadar Lumpur Rata-Rata (%)	4,7	

5.2.4 Limbah Kaca

Limbah kaca yang digunakan merupakan hasil dari penggilingan botol kaca dan kaca bening menjadi butiran dengan ukuran lolos ayakan 0,15 mm -1,18 mm. Adapun hasil pemeriksaannya sebagai berikut.

1. Analisis Saringan

Pemeriksaan analisis saringan ini bertujuan untuk mengetahui letak gradasi butiran yang dipakai. Ada 4 gradasi yang dijadikan sebagai acuan berdasarkan kekasaran butirannya.

a. Perhitungan Analisis Saringan Sampel 1

Perhitungan analisis saringan mengacu pada persamaan 3.1 sampai 3.4. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm = 0 gram

Lubang ayakan 4,8 mm = 0 gram

Lubang ayakan 2,4 mm = 0 gram

Lubang ayakan 1,2 mm = 3 gram

Lubang ayakan 0,6 mm = 717 gram

Lubang ayakan 0,3 mm = 761 gram

Lubang ayakan 0,15 mm = 379 gram

Pan = 140 gram

Σ Berat tertinggal = 2000 gram

2) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm = $\frac{0}{2000} \times 100\% = 0\%$

Lubang ayakan 4,8 mm = $\frac{0}{2000} \times 100\% = 0\%$

Lubang ayakan 2,4 mm = $\frac{0}{2000} \times 100\% = 0\%$

Lubang ayakan 1,2 mm = $\frac{3}{2000} \times 100\% = 0,15\%$

Lubang ayakan 0,6 mm = $\frac{717}{2000} \times 100\% = 35,85\%$

Lubang ayakan 0,3 mm = $\frac{761}{2000} \times 100\% = 38,05\%$

Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{379}{2000} \times 100\% = 18,95\%$

Pan = $\frac{140}{2000} \times 100\% = 7\%$

Σ Berat tertinggal = 100%

3) Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 9,6 mm = 0 %

Lubang ayakan 4,8 mm = 0% + 0% = 0%

Lubang ayakan 2,4 mm = 0% + 0% = 0%

Lubang ayakan 1,2 mm	= 0% + 0,15%	= 0,15%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 0,15% + 35,85%	= 36%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 36% + 38,05%	= 74,05%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 74,05% + 18,95%	= 93%
Pan	= 93% + 7%	= 100%
Σ Berat tertinggal	= 303,20%	

4) Persen Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 9,6 mm	= 100% - 0 %	= 100%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 0%	= 100%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 0%	= 100%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 0,15%	= 99,85%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 36%	= 64%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 74,05%	= 25,95%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 93%	= 7%
Pan	= 100% - 100%	= 0%

b. Perhitungan Analisis Saringan Sampel 2

Perhitungan analisis saringan mengacu pada persamaan 3.1 sampai 3.4.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm	= 0 gram
Lubang ayakan 4,8 mm	= 0 gram
Lubang ayakan 2,4 mm	= 0 gram
Lubang ayakan 1,2 mm	= 3 gram
Lubang ayakan 0,6 mm	= 807 gram
Lubang ayakan 0,3 mm	= 736 gram
Lubang ayakan 0,15 mm	= 337 gram

$$\text{Pan} = 116 \text{ gram}$$

$$\Sigma \text{ Berat tertinggal} = 1999 \text{ gram}$$

2) Berat Tertinggal

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = \frac{0}{1999} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{0}{1999} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{0}{1999} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{3}{1999} \times 100\% = 0,15\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = \frac{807}{1999} \times 100\% = 40,37\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = \frac{736}{1999} \times 100\% = 36,82\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{337}{1999} \times 100\% = 16,86\%$$

$$\text{Pan} = \frac{116}{1999} \times 100\% = 5,80\%$$

$$\Sigma \text{ Berat tertinggal} = 100\%$$

3) Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 0 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 0\% + 0\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 0\% + 0\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 0\% + 0,15\% = 0,15\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 0,15\% + 40,37\% = 40,52\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 40,52\% + 36,82\% = 77,34\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 77,34\% + 16,86\% = 94,20\%$$

$$\text{Pan} = 94,20\% + 5,80\% = 100\%$$

$$\Sigma \text{ Berat tertinggal} = 212,21\%$$

4) Persen Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 100\% - 0 \% = 100\%$$

Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 0%	= 100%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 0%	= 100%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 0,15%	= 99,85%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 40,52%	= 59,48%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 77,34%	= 22,66%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 94,20%	= 5,80%
Pan	= 100% - 100%	= 0%

c. Perhitungan Analisis Saringan Rata - Rata

Perhitungan analisis saringan rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Persen Lolos Kumulatif Rata-Rata

Lubang ayakan 9,6 mm	= $\frac{100\%+100\%}{2}$	= 100%
Lubang ayakan 4,8 mm	= $\frac{100\%+100\%}{2}$	= 100%
Lubang ayakan 2,4 mm	= $\frac{100\%+100\%}{2}$	= 100%
Lubang ayakan 1,2 mm	= $\frac{99,85\%+99,85}{2}$	= 99,85%
Lubang ayakan 0,6 mm	= $\frac{64\%+59,48\%}{2}$	= 61,74%
Lubang ayakan 0,3 mm	= $\frac{25,95\%+22,66\%}{2}$	= 24,31%
Lubang ayakan 0,15 mm	= $\frac{7\%+5,80\%}{2}$	= 6,40%
Pan	= $\frac{0\%+0\%}{2}$	= 0%

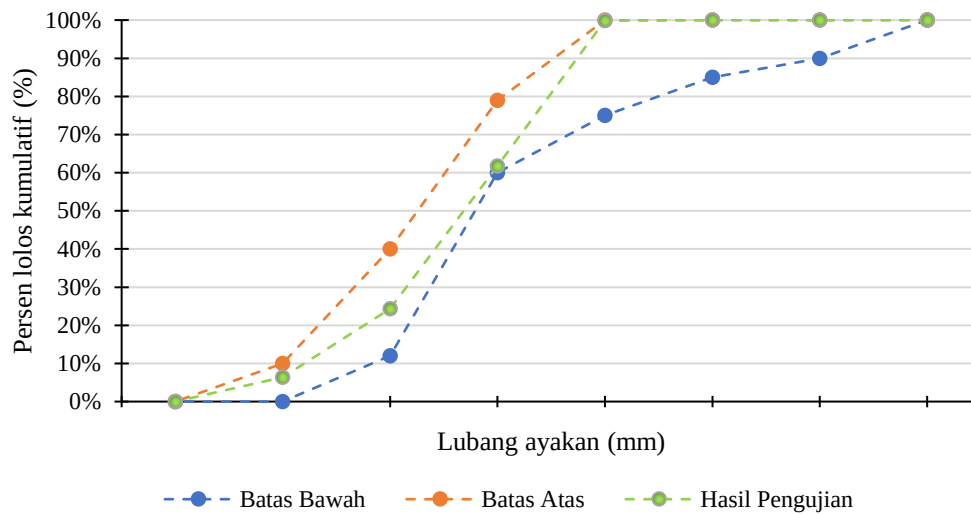
2) Modulus Halus Butiran (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{303,20\%+212,21\%}{2} \\
 &= \frac{515,41\%}{100} \\
 &= 2,577
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan MHB (modulus halus butiran) dari limbah kaca sebesar 2,577 dimana hasilnya sesuai dengan syarat MHB yang terlampir di SK SNI S-04-1989-F yaitu berada di-*range* 2,5-3,8. Dari hasil perhitungan persen lolos kumulatif rata-rata, disimpulkan limbah kaca yang dipakai masuk ke dalam daerah III (agak halus) berdasarkan gradasi butirannya. Adapun hasil pemeriksaan analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 5.6, sedangkan untuk grafik gradasi analisis saringan dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Tabel 5. 6 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Limbah Kaca

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,6	0	0	0	0	0	0	100	100	100
4,8	0	0	0	0	0	0	100	100	100
2,4	0	0	0	0	0	0	100	100	100
1,2	3	3	0,15	0,15	0,15	0,15	99,85	99,85	99,85
0,6	717	807	35,85	40,37	36	40,52	64	59,48	61,74
0,3	761	736	38,05	36,82	74,05	77,34	25,95	22,66	24,31
0,15	379	337	18,95	16,86	93	94,20	7	5,80	6,40
Pan	140	116	7	5,80	100	100	0	0	0
Jumlah	2000	1999	100	100	303.20	212,21	Daerah III (Agak Halus)		



Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Limbah Kaca Daerah III

2. Analisis Saringan Limbah Kaca dan Pasir (20:80)

Pemeriksaan analisis saringan ini bertujuan untuk mengetahui letak gradasi pada agregat halus yang telah dicampur antara pasir dan limbah kaca dengan perbandingan 80:20. Ada 4 gradasi yang dijadikan sebagai acuan berdasarkan kekasaran butirannya.

a. Perhitungan Analisis Saringan Sampel 1

Perhitungan analisis saringan mengacu pada persamaan 3.1 sampai 3.4. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm = 0 gram

Lubang ayakan 4,8 mm = 24 gram

Lubang ayakan 2,4 mm = 119 gram

Lubang ayakan 1,2 mm = 302 gram

Lubang ayakan 0,6 mm = 558 gram

Lubang ayakan 0,3 mm = 479 gram

Lubang ayakan 0,15 mm = 318 gram

$$\text{Pan} = 199 \text{ gram}$$

$$\sum \text{Berat tertinggal} = 1999 \text{ gram}$$

2) Berat Tertinggal

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = \frac{0}{1999} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{24}{1999} \times 100\% = 1,2\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{119}{1999} \times 100\% = 5,95\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{302}{1999} \times 100\% = 15,11\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = \frac{558}{1999} \times 100\% = 27,91\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = \frac{479}{1999} \times 100\% = 23,96\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{318}{1999} \times 100\% = 15,91\%$$

$$\text{Pan} = \frac{199}{1999} \times 100\% = 9,95\%$$

$$\sum \text{Berat tertinggal} = 100\%$$

3) Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 0 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 0\% + 1,2\% = 1,2\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 1,2\% + 5,95\% = 7,15\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 7,15\% + 15,11\% = 22,26\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 22,26\% + 27,91\% = 50,18\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 50,18\% + 23,96\% = 74,14\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 74,14\% + 15,91\% = 90,05\%$$

$$\text{Pan} = 90,05\% + 9,95\% = 100\%$$

$$\sum \text{Berat tertinggal} = 344,97\%$$

4) Persen Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 100\% - 0\% = 100\%$$

Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 1,20%	= 98,80%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 7,15%	= 92,85%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 22,26%	= 77,74%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 50,18%	= 49,82%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 74,14%	= 25,86%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 90,05%	= 9,95%
Pan	= 100% - 100%	= 0%

b. Perhitungan Analisis Saringan Sampel 2

Perhitungan analisis saringan mengacu pada persamaan 3.1 sampai 3.4.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm	= 0 gram
Lubang ayakan 4,8 mm	= 32 gram
Lubang ayakan 2,4 mm	= 156 gram
Lubang ayakan 1,2 mm	= 341 gram
Lubang ayakan 0,6 mm	= 553 gram
Lubang ayakan 0,3 mm	= 448 gram
Lubang ayakan 0,15 mm	= 275 gram
Pan	= 195 gram
Σ Berat tertinggal	= 2000 gram

2) Berat Tertinggal

Lubang ayakan 9,6 mm	= $\frac{0}{2000} \times 100\% = 0\%$
Lubang ayakan 4,8 mm	= $\frac{32}{2000} \times 100\% = 1,60\%$
Lubang ayakan 2,4 mm	= $\frac{156}{2000} \times 100\% = 7,80\%$
Lubang ayakan 1,2 mm	= $\frac{341}{2000} \times 100\% = 17,05\%$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = \frac{553}{2000} \times 100\% = 27,65\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = \frac{448}{2000} \times 100\% = 22,40\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{275}{2000} \times 100\% = 13,75\%$$

$$\text{Pan} = \frac{195}{2000} \times 100\% = 9,75\%$$

$$\Sigma \text{ Berat tertinggal} = 100\%$$

3) Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 0 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 0\% + 1,6\% = 1,6\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 1,6\% + 7,80\% = 9,40\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 9,40\% + 17,05\% = 26,45\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 26,45\% + 27,65\% = 54,10\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 54,10\% + 22,40\% = 76,50\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 76,50\% + 13,75\% = 90,25\%$$

$$\text{Pan} = 90,25\% + 9,75\% = 100\%$$

$$\Sigma \text{ Berat tertinggal} = 258,30\%$$

4) Persen Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = 100\% - 0 \% = 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 100\% - 1,60\% = 98,40\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 100\% - 9,40\% = 90,60\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 100\% - 26,45\% = 73,55\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 100\% - 54,10\% = 45,90\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 100\% - 76,50\% = 23,50\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 100\% - 90,25\% = 9,75\%$$

$$\text{Pan} = 100\% - 100\% = 0\%$$

c. Perhitungan Analisis Saringan Rata - Rata

Perhitungan analisis saringan rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Persen Lolos Kumulatif Rata-Rata

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = \frac{100\%+100\%}{2} = 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{98,80\%+98,40}{2} = 98,60\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{92,85\%+90,60\%}{2} = 91,72\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{77,74\%+73,55\%}{2} = 75,64\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = \frac{49,82\%+45,90\%}{2} = 47,86\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = \frac{25,86\%+23,50\%}{2} = 24,68\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{9,95\%+9,75\%}{2} = 9,85\%$$

$$\text{Pan} = \frac{0\%+0\%}{2} = 0\%$$

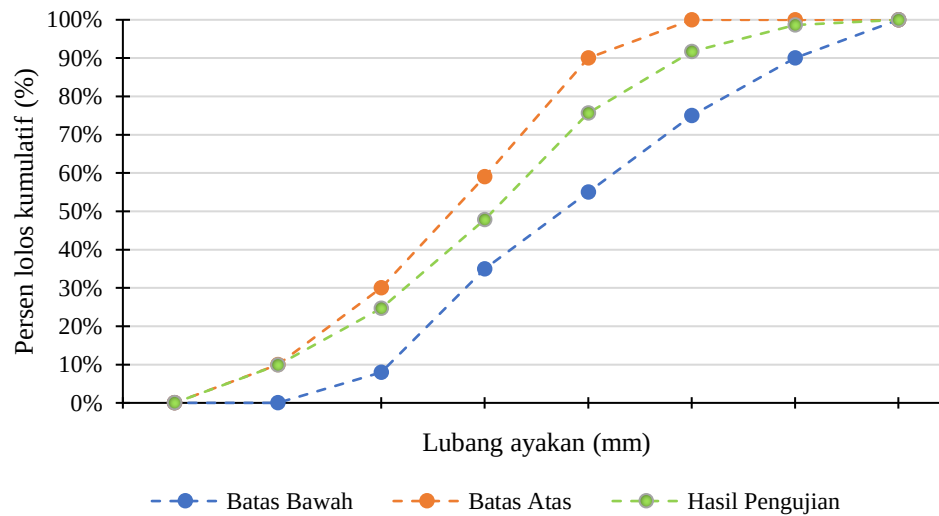
2) Modulus Halus Butiran (MHB)

$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{344,97\%+258,30\%}{2} \\ &= \frac{603,27\%}{100} \\ &= 3,016 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan MHB (modulus halus butiran) dari agregat halus yang dipakai sebesar 3,016 dimana hasilnya sesuai dengan syarat MHB yang terlampir di SK SNI S-04-1989-F yaitu berada di-range 2,5-3,8. Dari hasil perhitungan persen lolos kumulatif rata-rata, disimpulkan agregat halus campuran antara limbah kaca dan pasir (20:80) yang dipakai masuk ke dalam daerah II (agak kasar) berdasarkan gradasi butirannya. Adapun hasil pemeriksaan analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 5.7, sedangkan untuk grafik gradasi analisis saringan dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Tabel 5. 7 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Limbah Kaca dan Pasir (20:80)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,6	0	0	0	0	0	0	100	100	100
4,8	24	32	1,20	1,60	1,20	1,60	98,80	98,40	98,60
2,4	119	156	5,95	7,80	7,15	9,40	92,85	90,60	91,72
1,2	302	341	15,11	17,05	22,26	26,45	77,74	73,55	75,64
0,6	558	553	27,91	27,65	50,18	54,10	49,82	45,90	47,86
0,3	479	448	23,96	22,40	74,14	76,50	25,86	23,50	24,68
0,15	318	275	15,91	13,75	90,05	90,25	9,95	9,75	9,85
Pan	199	195	9,95	9,75	100	100	0	0	0
Jumlah	1999	2000	100	100	344,97	258,30	Daerah II (Agak Kasar)		



Gambar 5. 3 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II

3. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara massa agregat halus terhadap massa air serta kemampuan limbah kaca dalam menyerap air.

a. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Sampel 1

Perhitungan berat jenis dan penyerapan air mengacu pada persamaan 3.5 sampai 3.8. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Limbah Kaca Kering Mutlak

Berat limbah kaca kering mutlak (B_k) = 494 gram

2) Berat Limbah Kaca Kondisi Jenuh Kering Muka

Berat limbah kaca kondisi jenuh kering muka (SSD) = 500 gram

3) Berat Piknometer Berisi Limbah Kaca dan Air

Berat piknometer berisi limbah kaca dan air (B_t) = 1018 gram

4) Berat Piknometer Berisi Air

Berat piknometer berisi air (B) = 717 gram

5) Berat Jenis Curah

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B + SSD - B_t}$$

$$= \frac{494}{717 + 500 - 1018}$$

$$= 2,482$$

6) Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} = \frac{SSD}{B + SSD - Bt}$$

$$= \frac{500}{717 + 500 - 1017}$$

$$= 2,513$$

7) Berat Jenis Semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$$

$$= \frac{494}{717 + 494 - 1018}$$

$$= 2,560$$

8) Penyerapan Air

$$\text{Penyerapan air} = \frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{500 - 494}{494} \times 100\%$$

$$= 1,21\%$$

b. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Sampel 2

Perhitungan berat jenis dan penyerapan air mengacu pada persamaan 3.5 sampai 3.8. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Limbah Kaca Kering Mutlak

Berat limbah kaca kering mutlak (Bk) = 492 gram

2) Berat Limbah Kaca Kondisi Jenuh Kering Muka

Berat limbah kaca kondisi jenuh kering muka (SSD) = 500 gram

3) Berat Piknometer Berisi Limbah Kaca dan Air

Berat piknometer berisi limbah kaca dan air (Bt) = 1017 gram

4) Berat Piknometer Berisi Air

Berat piknometer berisi air (B) = 717 gram

5) Berat Jenis Curah

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B + SSD - Bt}$$

$$= \frac{492}{717 + 500 - 1017}$$

$$= 2,460$$

6) Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{SSD}{B + SSD - Bt} \\ &= \frac{500}{717 + 500 - 1017} \\ &= 2,50\end{aligned}$$

7) Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \\ &= \frac{492}{717 + 492 - 1017} \\ &= 2,562\end{aligned}$$

8) Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 492}{492} \times 100\% \\ &= 1,63\%\end{aligned}$$

d. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Rata-Rata

Perhitungan berat jenis dan penyerapan air rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\ &= \frac{2,482 + 2,460}{2} \\ &= 2,471\end{aligned}$$

2) Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\ &= \frac{2,513 + 2,50}{2} \\ &= 2,506\end{aligned}$$

3) Berat Jenis Semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

$$= \frac{2,560 + 2,563}{2}$$

$$= 2,561$$

4) Penyerapan Air

$$\text{Penyerapan air} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

$$= \frac{1,21\% + 1,63\%}{2}$$

$$= 1,42\%$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan berat jenis jenuh kering muka dari limbah kaca sebesar 2,506 dan penyerapan air sebesar 1,42%, dimana hasil pemeriksaan ini sudah sesuai dengan syarat agregat halus sebagai bahan campuran beton dengan berat jenis berkisar di angka 2,5-2,7 dan penyerapan air maksimal 5% (Tjokrodinuljo, 2007). Adapun hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Kaca

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Limbah Kaca Kering Mutlak, <i>B_k</i> (gr)	494	492	-
Berat Limbah Kaca Kondisi Jenuh Kering Muka, <i>SSD</i> (gr)	500	500	
Berat Piknometer Berisi Limbah Kaca dan Air, <i>B_t</i> (gr)	1018	1017	
Berat Piknometer Berisi Air, <i>B</i> (gr)	717	717	
Berat Jenis Curah	2,482	2,46	2,471
Berat Jenis Jenuh Kering Muka, <i>SSD</i>	2,513	2,50	2,506
Berat Jenis Semu	2,560	2,563	2,561
Penyerapan Air (%)	1,21	1,63	1,42

4. Berat Isi Padat dan Gembur

Pemeriksaan berat isi padat dan gembur ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat limbah kaca terhadap volumenya. Perbandingan

hasil pemeriksaan dari berat isi padat harus lebih besar daripada berat isi gembur dikarenakan pada proses pemeriksaan isi padat dilakukan pemadatan dengan penumbuk, sehingga pori-pori menjadi terisi. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

a. Perhitungan Berat Isi Padat Sampel 1

Perhitungan berat isi padat mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11.

Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

$$\text{Berat tabung (W1)} = 10834 \text{ gram}$$

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

$$\text{Berat tabung dan agregat halus SSD (W2)} = 18464 \text{ gram}$$

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 10834 - 18464 \\ &= 7630 \text{ gram} \end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned} \text{Diameter tabung (D)} &= \frac{15,14+15,17+15,05}{3} \\ &= 15,120 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,24+30,27+30,30}{3} \\ &= 30,270 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,120)^2 \times (30,270) \\ &= 5435,08 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

5) Berat Isi Padat

$$\begin{aligned} \text{Berat isi padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7630}{5435,08} \\ &= 1,404 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Berat Isi Gembur Sampel 1

Perhitungan berat isi gembur mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

$$\text{Berat tabung (W1)} = 11194 \text{ gram}$$

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

$$\text{Berat tabung dan agregat halus SSD (W2)} = 17096 \text{ gram}$$

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 17096 - 11194 \\ &= 5902 \text{ gram} \end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned} \text{Diameter tabung (D)} &= \frac{15,05+15,04+15,085}{3} \\ &= 15,058 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,075+30,10+30,30}{3} \\ &= 30,158 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,058)^2 \times (30,158) \\ &= 5370,95 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

5) Berat Isi Gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat isi gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{5902}{5370,95} \\ &= 1,099 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Berat Isi Padat Sampel 2

Perhitungan berat isi padat mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

$$\text{Berat tabung (W1)} = 10847 \text{ gram}$$

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

$$\text{Berat tabung dan agregat halus SSD (W2)} = 18371 \text{ gram}$$

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18371 - 10847 \\
 &= 7524 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tabung (D)} &= \frac{15,075+15,04+15,11}{3} \\
 &= 15,075 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,17+30,255+30,31}{3} \\
 &= 30,245 \text{ cm} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,075)^2 \times (30,245) \\
 &= 5398,31 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

5) Berat Isi Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat isi padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7524}{5398,31} \\
 &= 1,394 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Berat Isi Gembur Sampel 2

Perhitungan berat isi gembur mengacu pada persamaan 3.9 sampai 3.11.
Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Tabung

$$\text{Berat tabung (W1)} = 11194 \text{ gram}$$

2) Berat Tabung dan Agregat Halus SSD

$$\text{Berat tabung dan agregat halus SSD (W2)} = 17417 \text{ gram}$$

3) Berat Agregat Halus

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat halus (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 17417 - 11194 \\
 &= 6223 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

4) Volume Tabung

$$\text{Diameter tabung (D)} = \frac{15,05+15,04+15,085}{3}$$

$$\begin{aligned}
 &= 15,058 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tabung (t)} &= \frac{30,075+30,10+30,30}{3} \\
 &= 30,158 \text{ cm} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,058)^2 \times (30,158) \\
 &= 5370,95 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

5) Berat Isi Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat isi gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{6223}{5370,95} \\
 &= 1,159 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Berat Isi Rata-Rata

Perhitungan berat isi rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Isi Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Isi Padat} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{1,404+1,394}{2} \\
 &= 1,399 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat Isi Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Isi Gembur} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{1,099+1,159}{2} \\
 &= 1,129 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan berat isi padat sebesar 1,399 gram/cm³ dan berat isi gembur 1,129 gram/cm³. Adapun hasil perhitungan berat isi padat dan gembur dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

Tabel 5. 9 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Limbah Kaca

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung, W_1 (gr)	10834	10847
Berat Tabung dan Agregat Halus SSD, W_2 (gr)	18464	18371
Berat Agregat Halus, W_3 (gr)	7630	7524
Volume Tabung, V (gr)	5435,08	5398,31
Berat Isi Padat (gr/cm ³)	1,404	1,394
Berat Isi Padat Rata-Rata (gr/cm ³)	1,399	

Tabel 5. 10 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Limbah Kaca

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung, W_1 (gr)	11194	11194
Berat Tabung dan Agregat Halus SSD, W_2 (gr)	17096	17417
Berat Agregat Halus, W_3 (gr)	5902	6223
Volume Tabung, V (gr)	5370,95	5370,95
Berat Isi Gembur (gr/cm ³)	1,099	1,1586
Berat Isi Gembur Rata-Rata (gr/cm ³)	1,129	

5. Kandungan Lumpur (Lolos Saringan No.200)

Pemeriksaan kandungan lumpur dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan lumpur pada limbah kaca yang dipakai. Lumpur yang dimaksud adalah limbah kaca yang butirannya lolos saringan no. 200. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

a. Perhitungan Kandungan Lumpur Sampel 1

Perhitungan kandungan lumpur mengacu pada persamaan 3.12 sampai 3.14. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Agregat SSD

Berat agregat SSD (W_1) = 500 gram

2) Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci

Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2) = 489 gram

3) Berat Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Berat lumpur (W3)} &= W1 - W2 \\ &= 500 - 489 \\ &= 11 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Kadar Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{W3}{W1} \times 100\% \\ &= \frac{11}{500} \times 100\% \\ &= 2,2 \%\end{aligned}$$

b. Perhitungan Kandungan Lumpur Sampel 2

Perhitungan kandungan lumpur mengacu pada persamaan 3.12 sampai 3.14. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1) Berat Agregat SSD

Berat agregat SSD (W1) = 500 gram

2) Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci

Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2) = 486 gram

3) Berat Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Berat lumpur (W3)} &= W1 - W2 \\ &= 500 - 486 \\ &= 14 \text{ gram}\end{aligned}$$

4) Kadar Lumpur

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{W3}{W1} \times 100\% \\ &= \frac{14}{500} \times 100\% \\ &= 2,8 \%\end{aligned}$$

c. Perhitungan Kadar Lumpur Rata-Rata

Perhitungan kandungan lumpur rata-rata adalah hasil dari perhitungan yang didapatkan dari sampel 1 dan sampel 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\text{Kadar lumpur rata-rata} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

$$= \frac{2,2\% + 2,8\%}{2}$$

$$= 2,5\%$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan kadar lumpur dari limbah kaca yang dipakai sebesar 2,5% dimana hasilnya sudah sesuai syarat agregat halus sebagai bahan campuran yang terlampir pada SK SNI S-04-1989-F yaitu kadar lumpur yang terkandung maksimal sebesar 5%. Adapun hasil pemeriksaan kandungan lumpur dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Hasil Pemeriksaan Kandungan Lumpur Limbah Kaca

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Halus Kering Oven, W_1 (gr)	500	500
Berat Agregat Halus Kering Oven Setelah Dicuci, W_2 (gr)	489	486
Berat Lumpur, W_3 (gr)	11	14
Kadar Lumpur, (%)	2,2	2,8
Kadar Lumpur Rata-Rata (%)	2,5	

5.2.5 Air

Hasil pemeriksaan menunjukkan air yang digunakan jernih, tidak berbau, tidak mengandung kotoran ataupun lumpur, dan tidak berwarna.

5.3 Kebutuhan Campuran (*Mix Design*)

Kebutuhan *mix design* dihitung berdasarkan ketentuan komposisi yang telah ditetapkan sebelumnya. Ketentuan perhitungan adalah sebagai berikut.

1. Perbandingan semen dan pasir = 1:3
2. Faktor pemadatan hidrolis = 1,3
3. Berat volume padat pasir = 1,7591 gr/cm³
4. Volume benda uji = 20 cm x 10 cm x 6 cm
= 1200 cm³

Perhitungan kebutuhan pasir dan semen pada campuran benda uji mengacu pada persamaan 3.15 dan 3.16. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1. Kebutuhan Pasir Untuk 1 Benda Uji

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan pasir} &= \frac{ps}{(ps + 1)} \times \gamma_{Pasir} \times V_{Paving\ Block} \times 1,3 \\ &= \frac{3}{(3 + 1)} \times 1,7591 \times 1200 \times 1,3 \\ &= 2058,147 \text{ gr}\end{aligned}$$

2. Kebutuhan Pasir Untuk 5 Benda Uji

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan pasir} &= 5 \times \text{Kebutuhan agregat untuk 1 benda uji} \\ &= 5 \times 2058,147 \\ &= 10290,735 \text{ gr}\end{aligned}$$

3. Kebutuhan Semen Untuk 1 Benda Uji

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan semen} &= \frac{\text{Kebutuhan pasir untuk 1 benda uji}}{3} \\ &= \frac{2058,147}{3} \\ &= 686,049 \text{ gr}\end{aligned}$$

4. Kebutuhan Semen Untuk 5 Benda Uji

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan semen} &= 5 \times \text{Kebutuhan semen untuk 1 benda uji} \\ &= 5 \times 686,049 \\ &= 3430,245 \text{ gr}\end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan limbah kaca dan karbit pada campuran benda uji mengacu pada persamaan 3.17 dan 3.18. Berdasarkan ketentuan sebelumnya, penambahan limbah kaca dilakukan pada persentase 20% terhadap pasir, sedangkan limbah las karbit dilakukan pada beberapa variasi yaitu 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap semen. Adapun contoh perhitungan untuk persentase limbah kaca sebanyak 20% dan limbah las karbit sebanyak 2,5% dapat dilihat berikut ini.

1. Kebutuhan semen tanpa limbah = 3430,245 gr (5 benda uji)
2. Kebutuhan limbah las karbit 2,5% = n% x Kebutuhan semen
= 2,5% x 3430,245
= 85,7561 gr (5 benda uji)
3. Kebutuhan semen dengan limbah karbit 2,5% = Kebutuhan semen tanpa

$$\begin{aligned}
 & \text{limbah} - \text{Kebutuhan limbah} \\
 & \text{karbit 2,5\%} \\
 & = 3430,245 \text{ gr} - 85,7561 \text{ gr} \\
 & = 3344,49 \text{ gr (5 benda uji)}
 \end{aligned}$$

4. Kebutuhan pasir tanpa limbah = 10290,735 gr (5 benda uji)
5. Kebutuhan limbah kaca 20% = $n\% \times \text{Kebutuhan pasir}$
 $= 20\% \times 10290,735$
 $= 2058,15 \text{ gr (5 benda uji)}$
6. Kebutuhan pasir dengan limbah kaca 20% = Kebutuhan pasir tanpa limbah –
 Kebutuhan limbah kaca 20%
 $= 10290,735 \text{ gr} - 2058,15 \text{ gr}$
 $= 8232,59 \text{ gr (5 benda uji)}$

Hasil perhitungan kebutuhan campuran untuk masing-masing variasi persentase limbah dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Kebutuhan Mix Design

Kode Variasi	Persentase		Semen (gr)	Limbah Karbit (gr)	Pasir (gr)	Limbah Kaca (gr)
	Limbah Karbit Terhadap Semen (%)	Limbah Kaca Terhadap Pasir (%)				
G0C0	0	0	3430,25	0	10290,74	0
G20C0	0	20	3430,25	0	8232,59	2058,15
G0C2,5	2,5	0	3344,49	85,76	10290,74	0
G20C2,5	2,5	20	3344,49	85,76	8232,59	2058,15
G20C5	5	20	3258,73	171,51	8232,59	2058,15
G20C7,5	7,5	20	3172,98	257,27	8232,59	2058,15
G20C10	10	20	3087,22	343,02	8232,59	2058,15
Jumlah Kebutuhan			23068,40	943,32	61744,41	10290,74

5.4 Pengujian Paving Block

Pengujian yang dilakukan pada *paving block* terdiri atas tiga pengujian yaitu kuat tekan yang bertujuan untuk mengetahui beban maksimal yang mampu ditahan

oleh benda uji, daya serap air untuk mengetahui persentase air yang dapat diserap oleh benda uji, dan keausan guna mengetahui ketahanan benda uji dalam menahan abrasi. Benda uji yang dipakai merupakan benda uji dengan ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm untuk masing-masing jenis pengujian dan umur benda uji adalah 28 hari.

5.4.1 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji dengan 7 variasi yang disesuaikan dengan persentase limbah yang disubstitusi, dimana untuk masing-masing variasi berjumlah 5 benda uji, sehingga jumlah keseluruhan sampel yang dilakukan pada pengujian kuat tekan sebanyak 35 sampel. Proses pengujian kuat tekan pada benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Proses Pengujian Kuat Tekan

Batas toleransi dimensi ketebalan *paving block* yang mengacu pada SNI 03-0691-1996 adalah $\pm 8\%$ dengan ketebalan minimal sebesar 60 mm. Perhitungan toleransi ketebalan, batas minimal toleransi ketebalan, dan batas maksimal toleransi sebagai berikut.

1. Toleransi Ketebalan = $60 \text{ mm} \times 8\%$
= $4,8 \text{ mm}$
2. Batas Min. Toleransi = $60 \text{ mm} - 4,8 \text{ mm}$
= $55,2 \text{ mm}$
3. Batas Maks. Toleransi = $60 \text{ mm} + 4,8 \text{ mm}$
= $64,8 \text{ mm}$

Perhitungan hasil pengujian kuat tekan dihitung dengan persamaan 3.19. Adapun contoh perhitungan untuk persentase limbah kaca 20% terhadap pasir dan limbah karbit 2,5% terhadap semen untuk variasi D, kode sampel KTD1 sebagai berikut.

1. Dimensi Benda Uji

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (P)} &= \frac{59,1 \text{ mm} + 60,7 \text{ mm} + 62 \text{ mm}}{3} \\
 &= 60,600 \text{ mm} \\
 \text{Lebar (L)} &= \frac{66,75 \text{ mm} + 67,5 \text{ mm} + 68 \text{ mm}}{3} \\
 &= 67,417 \text{ mm} \\
 \text{Luas} &= P \times L \\
 &= 60,600 \text{ mm} \times 67,417 \text{ mm} \\
 &= 4085,450 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Kuat Tekan Benda Uji

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang (L)} &= 4085,450 \text{ mm}^2 \\
 \text{Beban Maksimal (P)} &= 56094,038 \text{ N} \\
 \text{Kuat Tekan (Fc')} &= \frac{P}{L} \\
 &= \frac{56094,038 \text{ mm}^2}{4085,450 \text{ N}} \\
 &= 13,730 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan kuat tekan untuk sampel dengan kode KTD1, KTD2, KTD3, KTD4, dan KTD5 kemudian dihitung nilai rata-rata kuat tekan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Fc'_m &= \frac{\sum Fc'}{n} \\
 &= \frac{13,730 \text{ MPa} + 15,456 \text{ MPa} + 13,943 \text{ MPa} + 14,567 \text{ MPa} + 13,251 \text{ MPa}}{5} \\
 &= 14,190 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan langkah yang sama, maka dilakukan perhitungan nilai kuat tekan dan nilai kuat tekan rata-rata untuk semua variasi limbah. Hasil pengujian kuat tekan dan batas toleransi ketebalan *paving* dapat dilihat pada Tabel 5.13 – Tabel 5.26.

Tabel 5. 13 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTA (G0C0)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan ±8% (mm)	Ket.
KTA1	58.250	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTA2	59.583	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTA3	59.633	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTA4	60.133	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTA5	57.400	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTA (G0C0)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTA1	61,433	63,600	3907,160	139940,896	35,817
KTA2	62,833	61,483	3863,203	154160,538	39,905
KTA3	63,467	61,950	3931,760	141411,893	35,967
KTA4	60,867	62,050	3776,777	143471,290	37,988
KTA5	64,300	61,367	3945,877	139940.896	35,465
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					37,028
Kuat Tekan Minimum (MPa)					35,465
Mutu					B

Tabel 5. 15 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTB (G20C0)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan ±8% (mm)	Ket.
KTB1	59,833	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTB2	60,733	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTB3	59,217	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTB4	60,300	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTB5	59,283	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTB (G0C0)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTB1	62,717	62,750	3935,471	62958,693	15,998
KTB2	64,567	64,017	4133,343	64429,691	15,588
KTB3	64,400	64,700	4166,680	56584,371	13,580
KTB4	63,000	62.300	3924,900	67371,686	17,165
KTB5	65,887	62.067	4089,366	48739,051	11,918
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					14,850
Kuat Tekan Minimum (MPa)					11,918
Mutu					D

Tabel 5. 17 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTC (G0C2,5)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan $\pm 8\%$ (mm)	Ket.
KTC1	59.400	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTC2	59.750	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTC3	59.383	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTC4	58.917	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTC5	58.133	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTC (G0C2,5)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTC1	63,283	64,200	4062,790	86004,321	21,169
KTC2	61,000	59,033	3601,033	76197,671	21,160
KTC3	64,117	63,150	4048,968	101694,961	25,116
KTC4	61,267	64,100	3927,193	91888,311	23,398

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTC (G0C2,5)

KTC5	62,400	62,833	3920,800	78649,333	20,060
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					22,180
Kuat Tekan Minimum (MPa)					20,060
Mutu					B

Tabel 5. 19 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTD (G20C2,5)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan ±8% (mm)	Ket.
KTD1	60,117	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTD2	58.733	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTD3	59.683	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTD4	59.117	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTD5	60.067	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTD (G20C2,5)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTD1	60,600	67,417	4085,450	56094,038	13,730
KTD2	63,383	64,767	4105,127	63449,026	15,456
KTD3	62,000	59,217	3671,433	51190,713	13,943
KTD4	64,167	62,633	4018,972	58545,701	14,567
KTD5	63,417	60,333	3826,139	50700,381	13,251
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					14,190
Kuat Tekan Minimum (MPa)					13,251
Mutu					D

Tabel 5. 21 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTE (G20C5)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan ±8% (mm)	Ket.
KTE1	60.700	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTE2	60.483	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTE3	60.567	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTE4	59.117	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTE5	59.800	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTE (G20C5)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTE1	64,750	63,033	4081,408	49719,716	12,182
KTE2	65,217	66,883	4361,908	66881,353	15,333
KTE3	64,383	63,850	4110,876	59526,366	14,480
KTE4	64,767	63,367	4104,048	61487,696	14,982
KTE5	62,083	64,000	3973,333	69823,348	17,573
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					14,910
Kuat Tekan Minimum (MPa)					12,182
Mutu					D

Tabel 5. 23 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTF (G20C7,5)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan ±8% (mm)	Ket.
KTF1	57.883	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTF2	57.500	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTF3	57.200	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTF4	57.983	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTF5	58.950	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTF (G20C7,5)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTF1	63,133	66,550	4201,523	49719,716	11,834
KTF2	62,917	63,633	4003,597	48739,051	12,174
KTF3	62,933	66,700	4197,653	49719,716	11,845
KTF4	64,017	65,033	4163,217	56584,371	13,592
KTF5	63,700	62,467	3979,127	53642,376	13,481
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					12,585
Kuat Tekan Minimum (MPa)					11,834
Mutu					D

Tabel 5. 25 Batas Toleransi Ketebalan Kode Sampel KTG (G20C10)

Kode	Tebal (mm)	Toleransi Ketebalan $\pm 8\%$ (mm)	Ket.
KTG1	61,317	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTG2	61.133	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTG3	61.967	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTG4	61.717	55.2 - 64.8	Memenuhi
KTG5	61.533	55.2 - 64.8	Memenuhi

Tabel 5. 26 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTG (G20C10)

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks. (N)	Kuat Tekan (MPa)
KTG1	60,633	65,383	3964,409	59526,366	15,015
KTG2	64,400	64,117	4129,113	49719,716	12,041
KTG3	63,483	64,600	4101,023	50700,381	12,363
KTG4	59,850	63,317	3789,503	39913,066	10,533

**Lanjutan Tabel 5.26 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kode Sampel KTG
(G20C10)**

KTG5	62,383	67,367	4202,557	50210,048	11,947
Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)					12,380
Kuat Tekan Minimum (MPa)					10,533
Mutu					D

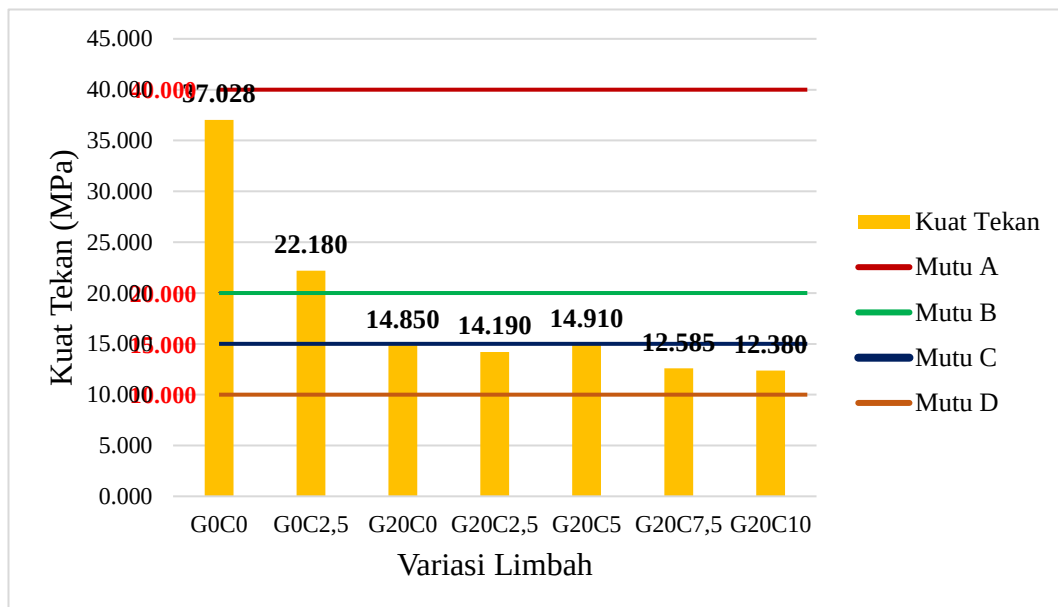
Berdasarkan Tabel 5.13 - Tabel 5.26, didapatkan hasil rekapitulasi kuat tekan dari masing-masing variasi limbah yang disesuaikan dengan peruntukannya berdasarkan hasil kuat tekan yang terlampir pada SNI 03-0691-1996. Adapun hasil dari rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.27.

**Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tekan dan Klasifikasinya
Terhadap Mutu *Paving Block***

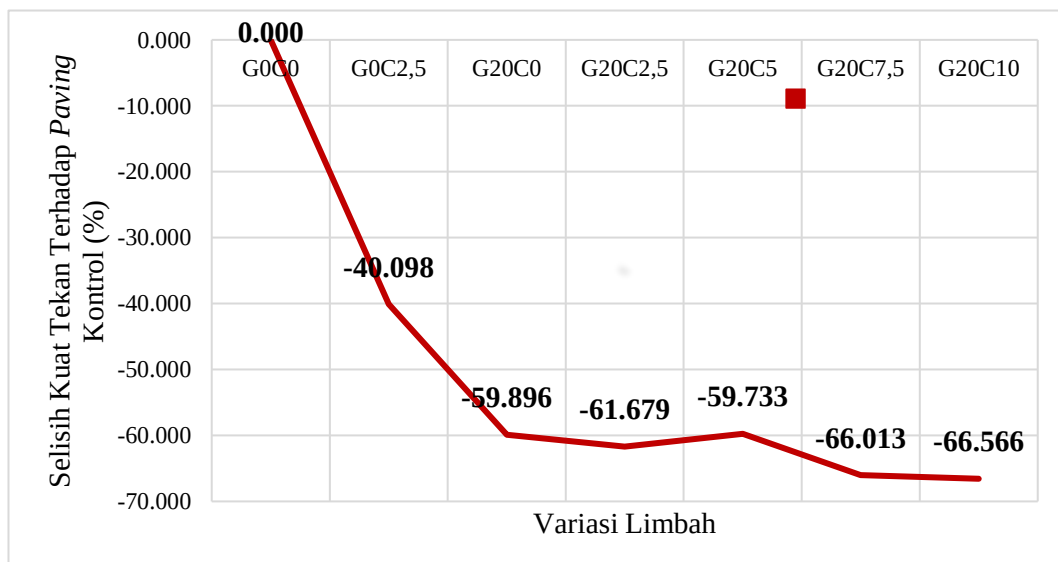
Persentase Limbah Kaca (%)	Persentase Limbah Karbit (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan Min. (MPa)	Mutu Benda Uji	Klasifikasi Benda Uji
0	0	37,028	35,465	B	Peralatan Parkir
20	0	14,850	11,918	D	Taman dan Penggunaan Lain
0	2,5	22,180	20,060	B	Peralatan Parkir
20	2,5	14,190	13,251	D	Taman dan Penggunaan Lain
20	5	14,910	12,182	D	Taman dan Penggunaan Lain
20	7,5	12,585	11,834	D	Taman dan Penggunaan Lain
20	10	12,380	10,533	D	Taman dan Penggunaan Lain

Untuk grafik hasil perhitungan kuat tekan rata-rata untuk masing-masing variasi limbah dan batasannya terhadap mutu *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada Gambar 5.5, sedangkan grafik hubungan hasil kuat

tekan rata-rata dengan variasi limbah terhadap hasil kuat tekan rata-rata *paving block* kontrol (normal) dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5. 5 Grafik Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Terhadap Mutunya



Gambar 5. 6 Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan Rata-Rata *Paving* Dengan Variasi Limbah Terhadap *Paving* Kontrol

Setelah dilakukan perhitungan data hasil uji kuat tekan, selanjutnya data hasil perhitungan dilakukan pengawasan dengan melakukan uji statistik berupa uji normalitas dan homogenitas. Dari hasil uji statistik diketahui data yang dipakai adalah data yang normal dan homogen (H_0 diterima). Hasil uji statistik normalitas dan homogenitas dapat dilihat pada Tabel 5.28 dan Tabel 5.29. Untuk grafik uji normalitas dapat dilihat pada Lampiran L-10. 3 sampai Lampiran L-10.6.

Tabel 5. 28 Hasil Uji Normalitas Kuat Tekan

Variasi	Kode	<i>Shapiro Wilk</i>				Ket.
		Statistik	df	Sig.	Ket.	
G0C0	KTA	0,848	5	0,189	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C0	KTB	0,951	5	0,743	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G0C2,5	KTC	0,913	5	0,487	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C2,5	KTD	0,959	5	0,802	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C5	KTE	0,963	5	0,831	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C7,5	KTF	0,789	5	0,066	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C10	KTG	0,890	5	0,356	H_0 diterima	Data terdistribusi normal

Tabel 5. 29 Hasil Uji Homogenitas Kuat Tekan

Pengujian	<i>Levene Statistic</i>	df1	df2	Sig.	Ket.	Ket.
Kuat Tekan	1,146	6	28	0,362	H_0 diterima	Data dengan varian yang sama

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis kuat tekan, didapatkan kuat tekan rata-rata *paving block* dengan substitusi limbah untuk semua variasi mengalami penurunan yang cukup signifikan terhadap hasil kuat tekan rata-rata *paving block* normal. Namun, secara umum hasil dari pengujian dapat dikatakan tidak terlalu buruk berdasarkan nilai kuat tekan dikarenakan *paving block* yang dihasilkan sudah sesuai dengan SNI 03-0691-1996 yaitu permukaannya rata dan tidak ada tepian yang hancur maupun retak.

Sesuai dengan grafik pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata *paving block* dengan substitusi limbah kaca terhadap pasir (G20C0) lebih kecil daripada hasil kuat tekan rata-rata *paving block* normal, nilai penurunannya sebesar 59,896%. Kuat tekan rata-rata *paving block* dengan limbah karbit tanpa limbah kaca (G0C2,5) juga mengalami penurunan dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata *paving block* normal namun penurunannya tidak sebesar *paving block* dengan substitusi limbah kaca terhadap pasir (G20C0) yaitu sebesar 40,098%. Penurunan hasil kuat tekan rata-rata kembali terjadi pada saat limbah kaca ditambahkan yaitu pada benda uji dengan kode G20C2,5.

Untuk keseluruhan, hasil kuat tekan rata-rata paling maksimal terjadi sebelum *paving block* ditambahkan variasi limbah yaitu sebesar 37,028 MPa, lalu diikuti dengan *paving block* variasi limbah karbit 2,5% pengganti semen yaitu sebesar 22,180 MPa. *Paving block* dengan variasi limbah kaca pengganti pasir untuk semua benda uji mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan *paving block* kontrol maupun *paving block* dengan variasi limbah karbit saja. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan *paving block* dengan penggunaan dua variasi limbah yang paling optimal hasilnya berdasarkan nilai kuat tekan adalah sampel dengan kode G20C5 yaitu sebesar 14,910 MPa dengan mutu D yang diperuntukkan untuk pejalan kaki berdasarkan SNI 03-0691-1996.

Penurunan nilai kuat tekan terjadi saat dilakukan substitusi limbah kaca terhadap pasir maupun limbah karbit terhadap semen, hal ini dikarenakan kandungan SiO_2 pada limbah kaca tidak dapat bereaksi dengan maksimal pada Ca(OH)_2 yang terkandung pada limbah karbit seperti yang diharapkan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Safira (2016), senyawa SiO_2 pada limbah kaca yang

tidak termanfaatkan akhirnya berdampak negatif menimbulkan *Alkali – Silica Reaction* (ASR). ASR terjadi dikarenakan adanya silika yang reaktif terhadap alkali pada semen yang mengakibatkan terbentuknya silika gel yang membuat pasta semen menjadi retak atau pecah, sehingga *paving block* menjadi rapuh yang berdampak pada penurunan kuat tekan beton. Pernyataan ini juga didukung hasil penelitian oleh Dabiri, dkk (2018), penelitian yang dilakukan juga mengalami hal yang serupa yaitu mengalami penurunan nilai kuat tekan saat dilakukan penambahan limbah kaca dibandingkan dengan beton kontrol. Penurunan terjadi juga disebabkan oleh ASR dari kandungan limbah kaca dan alkali pada semen.

Penambahan limbah las karbit terhadap benda uji ternyata cukup membantu dalam menaikkan hasil kuat tekan dibandingkan tanpa adanya penambahan limbah las karbit, hal ini dikarenakan SiO_2 pada limbah tersebut bereaksi dengan residu Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari ikatan antara semen dan air yang berperan menjadi perekat (Rompas, dkk 2013). Akan tetapi, limbah karbit ternyata tidak cukup membantu menaikkan hasil kuat tekan dibandingkan dengan hasil kuat tekan *paving block* kontrol. Penurunan nilai kuat tekan salah satunya disebabkan oleh kandungan Ca(OH)_2 pada limbah karbit yang tidak termanfaatkan dengan semestinya, dimana Ca(OH)_2 menjadi sisa (residu) yang dilepaskan saat *paving block* sudah mengeras, hal ini mengurangi kepadatan dari partikel penyusun benda uji, sehingga ikut andil dalam penurunan nilai kuat tekan (Hambali, dkk 2013).

Sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Taufik, dkk (2017), terdapat kesamaan hasil dengan penelitian yang sedang dilakukan yaitu batas maksimal kenaikan hasil kuat tekan terjadi di variasi 5% substitusi limbah karbit terhadap semen dan penurunan hasil kuat tekan rata-rata terjadi di variasi lebih dari 5%. Penurunan yang terjadi pada substitusi limbah karbit diatas 5% dikarenakan jumlah senyawa residu dari ikatan semen dan air yang akan diikat oleh SiO_2 yang terkandung pada limbah karbit akan semakin berkurang, sehingga SiO_2 yang dihasilkan menjadi berlebihan dan menjadi salah satu faktor pendukung terjadinya ASR yang akan mengurangi kuat tekan benda uji.

5.4.2 Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan dengan melakukan perendaman pada benda uji selama 24 jam lalu dilakukan pengovenan selama 24 jam juga. Jumlah benda uji yang dilakukan pengujian sebanyak 35 sampel dengan 7 variasi. Adapun proses pengujian daya serap air dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Proses Pengujian Daya Serap Air

Perhitungan hasil pengujian daya serap air dihitung dengan persamaan 3.21. Adapun contoh perhitungan untuk kode sampel SAF1 yaitu persentase limbah kaca 20% terhadap pasir dan karbit 10% terhadap semen sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat basah (A)} &= 413 \text{ gram} \\
 \text{Bera kering (B)} &= 365 \text{ gram} \\
 \text{Penyerapan air} &= \frac{A-B}{B} \times 100\% \\
 &= \frac{413-365}{365} \times 100\% \\
 &= 13,151\%
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan semua perhitungan daya serap air untuk sampel SAF1, SAF2, SAF3, SAF4, dan SAF5 kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air}_m &= \frac{\sum \text{Penyerapan air}}{n} \\
 &= \frac{13,151\% + 13,821\% + 11,828\% + 11,335\% + 12,598\%}{5} \\
 &= 12,547\%
 \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, maka dilakukan perhitungan nilai penyerapan air dan nilai penyerapan air rata-rata untuk semua variasi limbah, sehingga didapatkan hasil perhitungan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.30 – Tabel 5.36.

Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAA (G0C0)

Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAA1	468	435	7,586
SAA2	476	441	7,937
SAA3	475	442	7,466
SAA4	467	433	7,852
SAA5	425	396	7,323
Penyerapan Air Rata-Rata			7,633
Mutu			C

Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAB (G20C0)

Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAB1	454	402	12,935
SAB2	450	404	11,386
SAB3	465	418	11,244
SAB4	428	382	12,042
SAB5	503	454	10,793
Penyerapan Air Rata-Rata			11,680
Mutu			-

Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAC (G0C2,5)

Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAC1	449	407	10,319
SAC2	446	405	10,123
SAC3	438	399	9,774
SAC4	463	416	11,298
SAC5	482	436	10,550
Penyerapan Air Rata-Rata			10,413
Mutu			-

Tabel 5. 33 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAD (G20C2,5)

Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAD1	415	367	13,079
SAD2	422	381	10,761
SAD3	457	413	10,654
SAD4	453	406	11,576
SAD5	446	397	12,343
Penyerapan Air Rata-Rata			11,683
Mutu			-

Tabel 5. 34 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAE (G20C5)

Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAE1	465	415	12,048
SAE2	450	405	11,111
SAE3	442	400	10,500
SAE4	422	381	10,761
SAE5	493	449	9,800
Penyerapan Air Rata-Rata			10,844
Mutu			-

Tabel 5. 35 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAF (G20C7,5)

Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAF1	413	365	13,151
SAF2	420	369	13,821
SAF3	416	372	11,828
SAF4	442	397	11,335
SAF5	429	381	12,598
Penyerapan Air Rata-Rata			12,547
Mutu			-

Tabel 5. 36 Hasil Pengujian Daya Serap Air Kode Sampel SAG (G20C10)

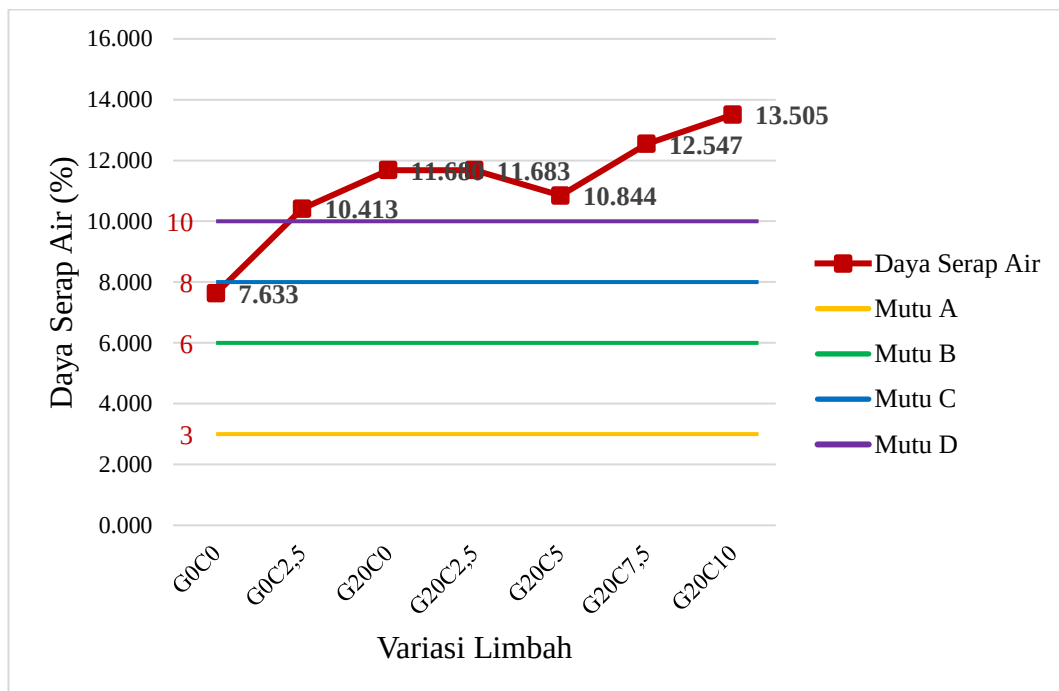
Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)
SAG1	424	376	12,766
SAG2	473	419	12,888
SAG3	460	407	13,022
SAG4	445	391	13,811
SAG5	436	379	15,040
Penyerapan Air Rata-Rata			13,505
Mutu			-

Berdasarkan Tabel 5.30 - Tabel 5.36, didapatkan hasil rekapitulasi perhitungan daya serap air untuk setiap variasi limbah yang dapat dilihat pada Tabel 5.37.

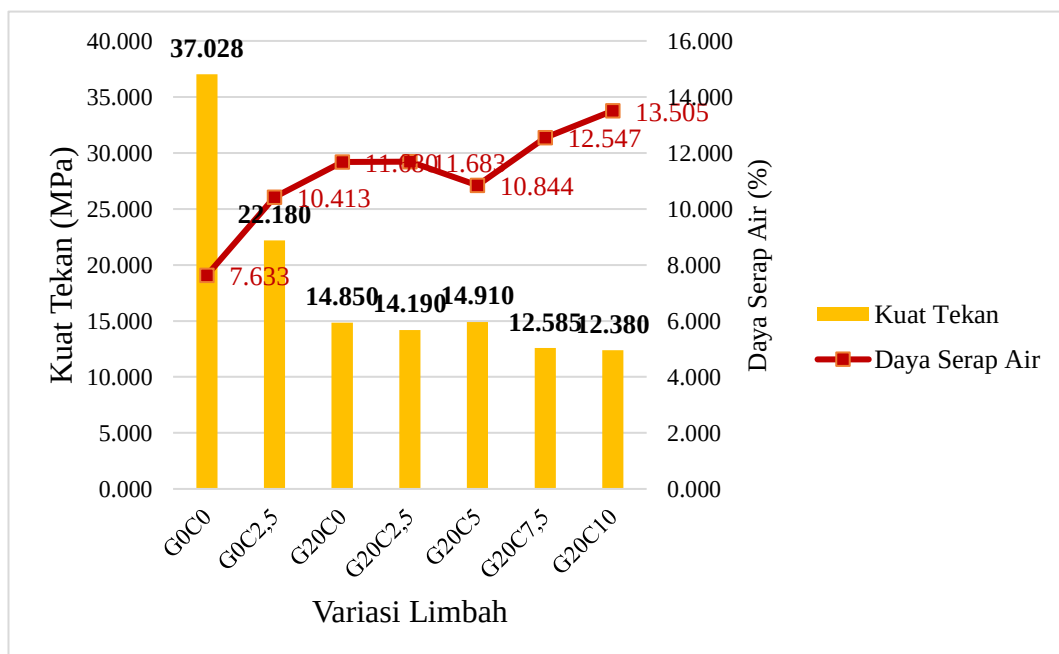
**Tabel 5. 37 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Daya Serap Air Terhadap Mutu
*Paving Block***

Persentase Limbah Kaca (%)	Persentase Limbah Karbit (%)	Daya Serap Air Rata- Rata (%)	Mutu Benda Uji	Klasifikasi Benda Uji
0	0	7,633	C	Pejalan Kaki
20	0	11,680	-	-
0	2,5	10,413	-	-
20	2,5	11,683	-	-
20	5	10,844	-	-
20	7,5	12,547	-	-
20	10	13,505	-	-

Untuk grafik hasil pengujian daya serap air rata-rata terhadap mutu *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan grafik hubungan hasil daya serap air rata-rata terhadap kuat tekan rata-rata dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 8 Grafik Hasil Daya Serap Air Rata-Rata Terhadap Mutunya



Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Hasil Daya Serap Air Rata-Rata Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata

Setelah dilakukan perhitungan data hasil uji daya serap air, selanjutnya data hasil perhitungan dilakukan pengawasan dengan melakukan uji statistik berupa uji normalitas dan homogenitas. Dari hasil uji statistik diketahui data yang dipakai adalah data yang normal dan homogen (H_0 diterima). Hasil uji statistik normalitas dan homogenitas dapat dilihat pada Tabel 5.38 dan Tabel 5.39. Untuk grafik uji normalitas dapat dilihat pada Lampiran L-10.9 sampai Lampiran L-10.12.

Tabel 5. 38 Hasil Uji Normalitas Daya Serap Air

Variasi	Kode	Shapiro Wilk				Ket.
		Statistik	df	Sig.	Ket.	
G0C0	SAA	0,943	5	0,684	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C0	SAB	0,943	5	0,689	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G0C2,5	SAC	0,956	5	0,777	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C2,5	SAD	0,923	5	0,551	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C5	SAE	0,985	5	0,959	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C7,5	SAF	0,978	5	0,921	H_0 diterima	Data terdistribusi normal

Tabel 5. 39 Hasil Uji Homogenitas Daya Serap Air

Pengujian	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Ket.	Ket.
Daya Serap Air	1,345	6	28	0,271	H_0 diterima	Data dengan varian yang sama

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis daya serap air, didapatkan nilai daya serap air yang meningkat dibandingkan dengan *paving block* kontrol untuk

semua substitusi variasi limbah. Kenaikan yang dihasilkan cukup signifikan dimana hasilnya berbanding lurus dengan hasil penurunan pada pengujian kuat tekan sebelumnya.

Pada grafik di Gambar 5.8, diketahui kenaikan daya serap air terjadi pada variasi G20C0, kenaikannya cukup signifikan yaitu sebesar 11,680% dibandingkan *paving* kontrol dengan nilai daya serap air yang hanya sebesar 7,633%. Lalu, pada variasi G0C2,5 terjadi penurunan daya serap air yaitu sebesar 10,413% dibandingkan dengan variasi limbah sebelumnya, walaupun dibandingkan dengan *paving* kontrol tetap mengalami kenaikan. Pada variasi G20C2,5 nilai daya serap air mengalami kenaikan yaitu sebesar 11,683%, namun saat ditambahkan variasi limbah karbit sebanyak 5% terhadap semen (G20C5) mengalami penurunan lagi sebesar 10,844%. Hasil daya serap air seterusnya berbanding lurus antara besar persentase limbah karbit yang ditambahkan dengan kenaikan nilai daya serap airnya.

Hasil daya serap air yang paling minimum terjadi saat persentase limbah tidak ditambahkan yaitu menghasilkan nilai 7,633%, diikuti dengan *paving block* substitusi limbah karbit sebesar 2,5% terhadap semen yaitu menghasilkan nilai 10,413%. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan *paving block* dengan penggunaan dua variasi limbah yang paling minimum hasilnya berdasarkan nilai daya serap air adalah sampel dengan kode G20C5 yaitu sebesar 10,844%. Sama seperti hasil nilai pengujian kuat tekan pada grafik di Gambar 5.9, *paving block* dengan variasi limbah kaca untuk semua benda uji mengalami kenaikan nilai daya serap air yang signifikan dibandingkan dengan *paving block* kontrol maupun *paving block* dengan variasi limbah karbit tanpa adanya substitusi pasir dengan limbah kaca.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9, hasil pengujian kuat tekan dengan hasil pengujian daya serap air merupakan hasil yang saling berkaitan, dimana berdasarkan grafik tersebut semakin kecil hasil nilai kuat tekan maka semakin besar hasil daya serap air yang dihasilkan, hasil pengujian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Tokede dan Wardhono (2018) sebelumnya. Menurut Tokede dan Wardhono (2018), keterkaitan antara hasil kuat tekan dengan

daya serap air disebabkan oleh pori-pori yang ada pada benda uji, semakin banyak pori-pori akan semakin tinggi juga kemampuan benda uji dalam menyerap air, sehingga daya serap air yang dihasilkan akan semakin tinggi, tidak hanya itu semakin banyak pori-pori ini juga akan membuat permukaannya menjadi tidak satu kesatuan, sehingga akan mengakibatkan nilai kuat tekan menjadi rendah.

Hasil dari pengujian daya serap air ini juga dipengaruhi oleh adanya penambahan substitusi limbah kaca terhadap pasir dan limbah las karbit terhadap semen. Menurut penelitian Dabiri, dkk (2018), silika yang terkandung pada limbah kaca membuat adanya aktivitas ASR (alkali silika reaksi), sehingga menyebabkan pembentukan gel alkali yang menyelimuti butiran agregat dimana gel ini dikelilingi oleh pasta semen, akibatnya saat terjadi pemuatan, gel akan menjadi retak dan pecah, sehingga menyebabkan benda uji menjadi berpori dan kemampuan dalam menyerap air menjadi tinggi (Herlina, 2005). Tidak hanya itu, penelitian yang dilakukan oleh Dewi, dkk (2016) mendapatkan hasil penelitian yang mengalami penurunan saat ditamapkannya limbah las karbit, dimana hal ini disebabkan oleh kemampuan limbah las karbit yang mudah menyerap air, sehingga menurunkan kuat tekan dan menaikkan nilai daya serap airnya.

5.4.3 Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan membandingkan berat sebelum dan setelah benda uji dilakukan pengausan menggunakan mesin. Jumlah benda uji yang dilakukan pengujian adalah berjumlah 35 sampel dengan 7 variasi. Adapun proses pengausan dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Proses Pengujian Keausan

Perhitungan hasil uji keausan dihitung dengan persamaan 3.20. Adapun contoh perhitungan untuk kode sampel AUSD5 yaitu persentase limbah kaca 20% terhadap pasir dan karbit 2,5% terhadap semen sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat awal (A)} &= 458,45 \text{ gram} \\
 \text{Berat akhir (B)} &= 446,66 \text{ gram} \\
 \text{Kehilangan berat} &= A-B \\
 &= 458,45 \text{ gram} - 446,66 \text{ gram} \\
 &= 11,79 \text{ gram} \\
 \text{Waktu} &= 15 \text{ menit} \\
 G &= \frac{\text{Kehilangan berat}}{\text{Waktu}} \\
 &= \frac{11,79 \text{ gram}}{15 \text{ menit}} \\
 &= 0,786 \text{ gram/menit} \\
 \text{Keausan (D)} &= 1,26 G + 0,0246 \\
 &= (1,26 \times 0,786) + 0,0246 \\
 &= 1,015 \text{ mm/menit}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan semua perhitungan uji keausan untuk sampel AUSD1, AUSD2, AUSD3, AUSD4, AUSD5 kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D_m &= \frac{\sum \text{Keausan}}{n} \\
 &= \frac{0,893 \frac{\text{mm}}{\text{menit}} + 1,002 \frac{\text{mm}}{\text{menit}} + 0,684 \frac{\text{mm}}{\text{menit}} + 0,647 \frac{\text{mm}}{\text{menit}} + 1,015 \frac{\text{mm}}{\text{menit}}}{5} \\
 &= 0,848 \text{ mm/menit}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama seperti sebelumnya, didapatkan hasil perhitungan uji keausan untuk semua variasi dapat dilihat pada Tabel 5.40 – Tabel 5.46.

Tabel 5. 40 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSA (G0C0)

Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSA1	441.88	439.37	2.51	15	0,167	0,235
AUSA2	497.07	493.87	3.20	15	0,213	0,293
AUSA3	499.28	495.06	4.22	15	0,281	0,379
AUSA4	471.89	469.46	2.43	15	0,162	0,229
AUSA5	504.16	502.06	2.10	15	0,140	0,201
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						0,268
Keausan Minimum (mm/menit)						0,379
Mutu						-

Tabel 5. 41 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSB (G20C0)

Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSB1	439,20	433,05	6,15	15	0,410	0,541
AUSB2	419,87	408,47	11,40	15	0,760	0,982
AUSB3	459,13	447,17	11,96	15	0,797	1,029
AUSB4	449,75	438,73	11,02	15	0,735	0,950
AUSB5	428,87	424,14	4,73	15	0,315	0,422
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						0,785
Keausan Minimum (mm/menit)						1,029
Mutu						-

Tabel 5. 42 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSC (G0C2,5)

Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSC1	433.96	425.01	8.95	15	0.597	0.776
AUSC2	428.99	424.48	4.51	15	0.301	0.403
AUSC3	449.68	443.29	6.39	15	0.426	0.561
AUSC4	425.47	420.61	4.86	15	0.324	0.433
AUSC5	424.95	416.58	8.37	15	0.558	0.728
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						0,580
Keausan Minimum (mm/menit)						0,776
Mutu						-

Tabel 5. 43 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUD (G20C2,5)

Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSD1	401,70	391,36	10,34	15	0,689	0,893
AUSD2	411,58	399,94	11,64	15	0,776	1,002
AUSD3	424,08	416,23	7,85	15	0,523	0,684
AUSD4	448,29	440,88	7,41	15	0,494	0,647
AUSD5	458,45	446,66	11,79	15	0,786	1,015
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						0,848
Keausan Minimum (mm/menit)						1,015
Mutu						-

Tabel 5. 44 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSE (G20C5)

Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSE1	405.64	396.48	9.16	15	0.611	0.794
AUSE2	427.34	422.14	5.20	15	0.347	0.461
AUSE3	422.54	415.52	7.02	15	0.468	0.614
AUSE4	412.81	405.06	7.75	15	0.517	0.676
AUSE5	464.49	458.19	6.30	15	0.420	0.554
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						0,620
Keausan Minimum (mm/menit)						0,794
Mutu						-

Tabel 5. 45 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSF (G20C7,5)

Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSF1	389,00	372,16	16,84	15	1,123	1,439
AUSF2	388,89	381,22	7,67	15	0,511	0,669
AUSF3	428,50	419,81	8,69	15	0,579	0,755
AUSF4	394,74	383,63	11,11	15	0,741	0,958
AUSF5	374,35	361,54	12,81	15	0,854	1,101
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						0,984
Keausan Minimum (mm/menit)						1,439
Mutu						-

Tabel 5. 46 Hasil Pengujian Keausan Kode Sampel AUSG (G20C10)

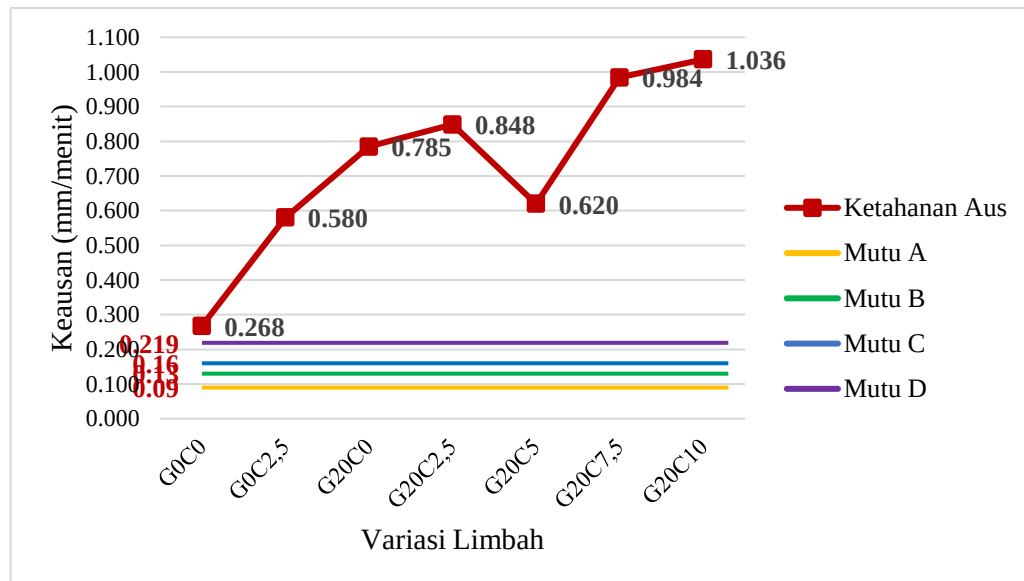
Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Kehilangan Berat/Waktu (G)	Keausan (D) (mm/menit)
	Awal (gram)	Akhir (gram)				
AUSG1	429,85	418,48	11,37	15	0,758	0,980
AUSG2	411,25	403,53	7,72	15	0,515	0,673
AUSG3	413,02	398,44	14,58	15	0,972	1,249
AUSG4	406,40	394,73	11,67	15	0,778	1,005
AUSG5	402,35	387,48	14,87	15	0,991	1,274
Keausan Rata-Rata (mm/menit)						1,036
Keausan Minimum (mm/menit)						1,274
Mutu						-

Berdasarkan Tabel 5.40 - Tabel 5.46, didapatkan hasil rekapitulasi perhitungan keausan rata-rata untuk setiap variasi limbah yang dapat dilihat pada Tabel 5.47.

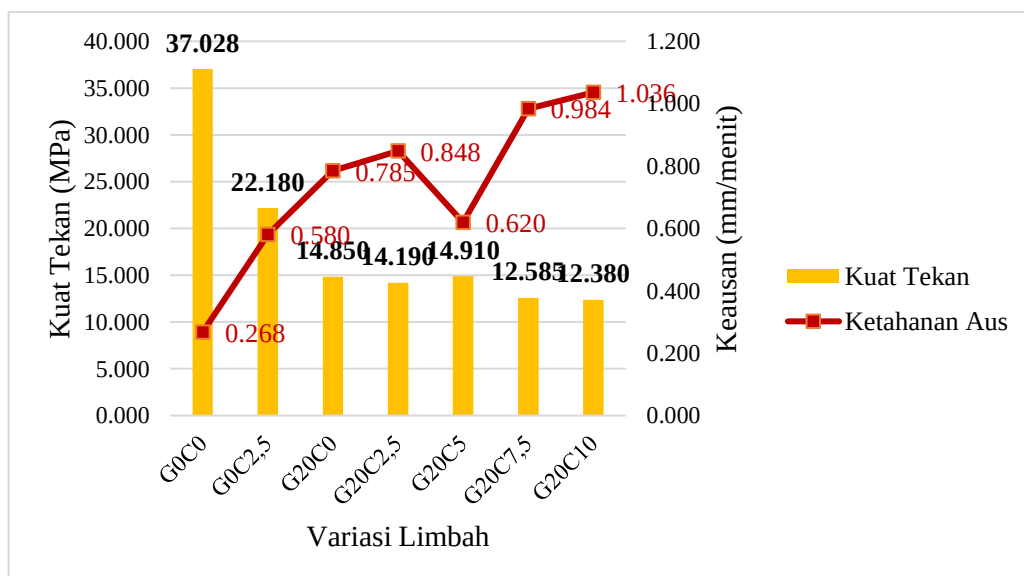
Tabel 5. 47 Rekapitulasi Perhitungan Keausan dan Klasifikasinya Terhadap Mutu Paving Block

Persentase Limbah Kaca (%)	Persentase Limbah Karbit (%)	Keausan Rata-Rata (mm/menit)	Keausan Min. (mm/menit)	Mutu Benda Uji	Klasifikasi Benda Uji
0	0	0,268	0,379	-	-
20	0	0,785	1,029	-	-
0	2,5	0,580	0,776	-	-
20	2,5	0,848	1,015	-	-
20	5	0,620	0,794	-	-
20	7,5	0,984	1,439	-	-
20	10	1,036	1,274	-	-

Grafik hasil perhitungan keausan rata-rata untuk setiap variasi limbah terhadap mutu sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada Gambar 5.11, sedangkan grafik hubungan hasil keausan rata-rata terhadap kuat tekan rata-rata dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 11 Grafik Hasil Keausan Rata-Rata Terhadap Mutunya



Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Hasil Keausan Rata-Rata Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata

Setelah dilakukan perhitungan data hasil uji keausan, selanjutnya data hasil perhitungan dilakukan pengawasan dengan melakukan uji statistik berupa uji normalitas dan homogenitas. Dari hasil uji statistik diketahui data yang dipakai adalah data yang normal dan homogen (H_0 diterima). Hasil uji statistik normalitas dan homogenitas dapat dilihat pada Tabel 5.48 dan Tabel 5.49. Untuk grafik uji normalitas dapat dilihat pada Lampiran L-10. 15 sampai Lampiran L-10.18.

Tabel 5. 48 Hasil Uji Normalitas Keausan

Variasi	Kode	<i>Shapiro Wilk</i>				Ket.
		Statistik	df	Sig.	Ket.	
G0C0	AUSA	0,893	5	0,370	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C0	AUSB	0,820	5	0,118	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G0C2,5	AUSC	0,896	5	0,390	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C2,5	AUSD	0,854	5	0,207	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C5	AUSE	0,997	5	0,997	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C7,5	AUSF	0,950	5	0,736	H_0 diterima	Data terdistribusi normal
G20C10	AUSG	0,907	5	0,447	H_0 diterima	Data terdistribusi normal

Tabel 5. 49 Hasil Uji Homogenitas Keausan

Pengujian	<i>Levene Statistic</i>	df1	df2	Sig.	Ket.	Ket.
Keausan	2,436	6	28	0,051	H_0 diterima	Data dengan varian yang sama

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sebelumnya, diketahui nilai keausan dengan substitusi limbah menghasilkan nilai yang meningkat secara signifikan dibandingkan dengan *paving block* kontrol. Kenaikan yang dihasilkan pada uji keausan berbanding lurus dengan hasil penurunan pada pengujian kuat tekan sebelumnya.

Pada grafik di Gambar 5.11, dapat dilihat kenaikan terjadi pada variasi G20C0 dimana nilai keausan yang dihasilkan sebesar 0,785 mm/menit, kenaikan ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan nilai keausan *paving block* kontrol yaitu hanya sebesar 0,268 mm/menit. Pada variasi G0C2,5 terjadi penurunan nilai keausan yaitu sebesar 0,580 mm/menit jika dibandingkan dengan variasi sebelumnya, namun apabila dibandingkan dengan *paving block* kontrol tetap mengalami kenaikan nilai keausan. Lalu, pada variasi G20C2,5 terjadi kenaikan nilai keausan kembali karena adanya penambahan jenis limbah yaitu substitusi limbah kaca sebesar 20% terhadap pasir, nilai keausan yang dihasilkan sebesar 0,848 mm/menit dimana hasil ini lebih besar dibandingkan substitusi variasi limbah kaca tanpa limbah karbit. Hasil nilai keausan untuk variasi selanjutnya mengalami kenaikan yang berbanding lurus dengan besarnya pertambahan persentase limbah karbit. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan *paving block* dengan penggunaan dua variasi limbah yang paling rendah nilai keausannya adalah sampel dengan kode G20C5 yaitu sebesar 0,620 mm/menit.

Berdasarkan Gambar 5.11, penambahan limbah kaca dan karbit menghasilkan nilai keausan yang lebih besar dibandingkan dengan *paving block* kontrol. Hal ini disebabkan oleh senyawa SiO_2 pada limbah kaca yang menimbulkan terbentuknya ASR (alkali silika reaksi), dimana ASR ini memicu terbentuknya gel alkali yang menyebabkan retak dan pecahnya pasta semen, sehingga benda uji menjadi lebih rapuh, berpori dan ikatan partikelnya lemah yang menyebabkan permukaan benda uji menjadi lebih aus (Herlina, 2005). Kandungan pada limbah karbit juga turut serta dalam meningkatkan nilai keausan benda uji dikarenakan limbah karbit mengandung Ca(OH)_2 dengan persentase yang cukup tinggi namun tidak bereaksi secara maksimal terhadap SiO_2 yang sebelumnya diharapkan akan membentuk perekat dan menambah kualitas dari *paving block*.

Senyawa Ca(OH)_2 dari limbah karbit ini hanya menjadi residu yang dilepas, hal ini ditandai dengan munculnya bintik-bintik putih yang cukup banyak pada permukaan *paving block* saat proses pengangkatan benda uji dari perendaman, dimana jika dibandingkan dengan permukaan *paving block* kontrol tidak terdapat bintik-bintik putih sisa Ca(OH)_2 sama sekali (Rompas, dkk 2013).

Menurut Safira (2016), nilai keausan juga dipengaruhi oleh gradasi dari butiran agregat yang dipakai, apabila gradasi didominasi oleh butiran halus maka nilai keausan akan semakin tinggi. Berdasarkan hasil dari pemeriksaan kadar lumpur untuk pasir didapatkan kadar lumpur rata-rata sebesar 4,7%, sehingga dapat dikatakan butiran yang lolos saringan no.200 pada pasir cukup besar persentasenya, sehingga hal ini akan mempengaruhi permukaan benda uji yang menjadi mudah terkikis karena bahan penyusunnya merupakan agregat dengan butiran yang halus. Selain itu, butiran limbah kaca sebagai substitusi pasir juga memiliki gradasi yang tidak terlalu beragam, limbah kaca yang dipakai adalah limbah dengan ukuran butiran lolos ayakan 0,15 mm - 1,18 mm yang mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Tamanna, dkk (2020) dan Malik (2013). Dari hasil pengujian, didapatkan nilai keausan yang cukup tinggi serta tidak memenuhi mutu *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996 berdasarkan dari nilai keausannya.

Adapun hubungan antara hasil nilai keausan dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 5.12, dimana semakin tinggi nilai kuat tekan yang dihasilkan maka nilai keausannya akan semakin rendah. Hasil pengujian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Tokede dan Wardhono (2018). Menurut Tokede dan Wardhono (2018), keterkaitan antara hasil kuat tekan dengan keausan disebabkan oleh porositas benda uji. Semakin banyak pori-pori membuat benda uji menjadi tidak padat dan satu kesatuan, sehingga saat dikenai gesekan, partikelnya akan mudah untuk terlepas, sehingga nilai keausan menjadi tinggi dan kuat tekan menjadi rendah.

5.5 Pengaruh Substitusi Limbah Karbit dan Limbah Kaca Terhadap Mutu *Paving Block*

Dari hasil analisis data dari tiga parameter pengujian *paving* yaitu kuat tekan, daya serap air, dan keausan, diketahui adanya pengaruh saat dilakukan substitusi limbah kaca sebagai pasir dan limbah las karbit sebagai semen terhadap mutu *paving*. Hasil rekapitulasi mutu *paving* dari tiga parameter pengujian pada masing-masing substitusi variasi limbah kaca dan limbah las karbit dapat dilihat pada Tabel 5.50.

Tabel 5. 50 Mutu *Paving Block* Berdasarkan Hasil Tiga Pengujian

Kode	Variasi Limbah Kaca (%)	Variasi Limbah Karbit (%)	Mutu Pengujian			Mutu Dari Tiga Aspek Pengujian
			Kuat Tekan	Daya Serap Air	Keausan	
G0C0	0	0	B	C	-	-
G20C0	20	0	D	-	-	-
G0C2,5	0	2,5	B	-	-	-
G20C2,5	20	2,5	D	-	-	-
G20C5	20	5	D	-	-	-
G20C7,5	20	7,5	D	-	-	-
G20C10	20	10	D	-	-	-

Mutu *paving* yang paling baik dihasilkan pada *paving* kontrol tanpa substitusi limbah dengan kuat tekan mutu B dan daya serap air mutu C, lalu *paving* dengan kode sampel G0C2,5 dengan kuat tekan mutu B. Namun berdasarkan parameter pengujian keausan, *paving* kontrol maupun *paving* G0C2,5 tidak mencapai nilai yang disyaratkan, sehingga jika dilihat dari ketiga aspek pengujian, *paving* kontrol dan *paving* G0C2,5 tidak masuk ke dalam mutu karena tidak mencapai syarat mutu berdasarkan SNI 03-0691-1996.

Mutu *paving* dengan kode G20C0, G20C2,5, G20C5, G20C7,5, dan G20C10 merupakan *paving* yang masuk ke dalam mutu D dari nilai kuat tekannya. Berdasarkan nilai kuat tekan, daya serap air, dan keausannya, *paving* G20C5 merupakan *paving* yang paling baik hasil nilai pengujiannya dibandingkan *paving*

G20C0, G20C2,5, G20C7,5, dan G20C10. Namun dikarenakan ada dua parameter syarat mutu yang tidak dapat terpenuhi yaitu pengujian daya serap air dan keausan, maka *paving* dengan variasi-variasi ini tidak masuk kedalam mutu yang disyaratkan di SNI 03-0691-1996.

Dari hasil pengujian dapat diketahui substitusi limbah kaca sebagai pasir dan limbah las karbit sebagai semen mempengaruhi hasil kualitas dari *paving* untuk ketiga parameter pengujian, dimana saat ditambahkan limbah, kualitas *paving* menjadi turun jika dibandingkan dengan *paving* tanpa limbah. Semua variasi *paving* tidak ada yang mencapai mutu yang disyaratkan dikarenakan parameter keausan tidak ada yang masuk mutu, hal ini disebabkan karena pasir yang dipakai memiliki persentase butiran yang lolos ayakan no. 200 cukup banyak.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang dimulai dari tahapan pemeriksaan bahan, pembuatan benda uji, tahapan *curing*, pengujian benda uji, serta analisis hasil pengujian, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Substitusi limbah las karbit terhadap semen dan limbah kaca terhadap pasir mempengaruhi penurunan kualitas *paving block* ditinjau dari parameter kuat tekan, daya serap air, dan keausan. Pengaruh substitusi limbah ini menurunkan nilai kuat tekan, menaikkan nilai daya serap air dan keausan *paving*.
2. *Paving* dengan kode G20C5 (substitusi limbah kaca 20% terhadap pasir dan limbah karbit 5% terhadap semen) menghasilkan nilai pengujian yang paling baik saat substitusi limbah kaca dan limbah las karbit digunakan secara bersamaan dibandingkan variasi kedua limbah lainnya. Nilai kuat tekan yang dihasilkan sebesar 14,910 MPa, daya serap air sebesar 10,844%, dan keausan sebesar 0,620 mm/menit.
3. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, daya serap air, dan keausan, *paving* dengan kualitas optimal terjadi pada *paving* kontrol yang belum ditambahkan limbah dengan hasil pengujian sebesar 37,028 MPa untuk kuat tekan, 7,633% untuk daya serap air, 0,268 mm/menit untuk keausan. Jika dibandingkan dengan *paving* variasi limbah, nilai pengujian *paving* kontrol jauh lebih optimal karena terjadinya penurunan nilai kuat tekan, kenaikan nilai daya serap air, dan keausan cukup signifikan saat dilakukan substitusi limbah.
4. Semua variasi *paving block* yang dihasilkan pada penelitian ini tidak mencapai syarat mutu sesuai SNI 03-0691-1996 dikarenakan nilai keausannya yang terlalu tinggi dari yang disyaratkan. Variasi paving G20C0, G20C2,5, G20C5, G207,5, dan G20C10 dari hasil kuat tekan masuk kedalam mutu D, namun dari hasil pengujian daya serap air dan keausan tidak ada yang masuk kedalam

mutu, sedangkan variasi G0C0 dan G0C2,5 berdasarkan nilai kuat tekan masuk ke dalam mutu B, nilai daya serap air masuk kedalam mutu C untuk variasi G0C0, namun untuk nilai keausan kedua variasi ini juga tidak ada yang masuk mutu.

6.2 Saran

Ditinjau dari hasil penelitian yang didapatkan, maka saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Perlu dicoba penambahan bahan seperti mikrosilika dan agregat plastik guna meminimalisir ASR (alkali silika reaksi) yang terjadi selama penambahan limbah kaca pada *paving block*.
2. Ukuran limbah kaca bisa dicoba menjadi lebih beragam, tidak hanya pada ukuran 1,18 mm - 0,15 mm.
3. Bahan kaca yang dipakai dapat dicoba dengan bahan kaca pyrex.
4. Diperlukan percobaan substitusi persentase yang lebih beragam pada limbah kaca dan limbah las karbit.
5. Diperlukan perhatian lebih pada penggunaan agregat pasir, butiran pada pasir yang digunakan diharapkan tidak terlalu halus.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, R., Suhendra, S., & Amalia, K. R. (2021). Hubungan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(2), 225.
- Aprida, L. F., Dermawan, D., & Bayuaji, R. (2018). Identifikasi Potensi Pemanfaatan Limbah Karbit dan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 4(2), 13–16.
- Arivalagan, S., & Sethuraman, V. S. (2020). Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach. *Materials Today: Proceedings*, 45(xxxx), 6035–6041.
- Asward, N. H. (2013). Penggunaan Limbah Las Karbit dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Paving Block. *Metropilar*, 11(3), 244252.
- Azwar, A. (2020). Analisa Pemanfaatan Limbah *Bottom Ash* dan Serbuk Pecahan Kaca Terhadap Konstruksi *Paving Block*. *Jurnal Tekno Global UGM Fakultas Teknik*, 8(2).
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SK SNI S-04-1989-F. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SK SNI T-04-1990-F. Tata Cara Pemasangan Blok Beton Terkunci Untuk Permukaan Jalan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-0691-1996 Bata Beton (Paving Block)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-4142-1996. Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). *SNI 03-4804-1998. Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Dabiri, H., Sharbatdar, M. K., Kavyani, A., & Baghdadi, M. (2018). The Influence of Replacing Sand with Waste Glass Particle on the Physical and Mechanical Parameters of Concrete. *Civil Engineering Journal*, 4(7), 1646.
- Dewi, N. R., Dermawan, D., & Ashari, M. L. (2016). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit Dan Fly Ash Sebagai Bahan Campuran Beton Siap Pakai (Bsp) (Studi Kasus : Pt. Varia Usaha Beton). *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(1), 34.
- Hambali, M., Lesmania, I., & Midkasna, A. (2013). Paving Block Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Airnya. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(4), 14–21.
- Herlina F., S. (2005). *Kajian Pemanfaatan Abu Sekam Padi Untuk Stabilisasi Tanah dalam Sistem Pondasi di Tanah Ekspansi*.
- Idir, R., Cyr, M., & Tagnit-Hamou, A. (2011). Pozzolanic properties of fine and coarse color-mixed glass cullet. *Cement and Concrete Composites*, 33(1), 19–29.
- Islam, G. M. S., Rahman, M. H., & Kazi, N. (2017). Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 37–44.
- Ismail, Z. Z., & AL-Hashmi, E. A. (2009). Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 29(2), 655–659.
- Kevin Klarens, Michael Indranata, Antoni, D. H. (2015). *Pemanfaatan Bottom Ash Dan Fly Ash Tipe C Sebagai Pengganti Dalam Pembuatan Paving Bock*. 1–8.
- Kurniadi, G., & Purwaningrum, J. P. (2018). Kemampuan Pemahaman Matematis Siswa melalui Discovery Learning Berbantuan Asesmen Hands on Activities. *ANARGYA: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 1(1), 8–13.
- Kusuma, D. (2011). *Pemanfaatan Limbah Las Karbit Sebagai Campuran Pembuatan Paving Block*. Universitas Jember, Jember.
- Makmur, et. al. (2022). *Analisa kuat tekan beton dengan menggunakan limbah las karbit sebagai pengganti sebagian semen*. 5(1), 96–106.

- Malik, M. I. (2013). Study of Concrete Involving Use of Waste Glass as Partial Replacement of Fine Aggregates. *IOSR Journal of Engineering*, 3(7), 08–13.
- Nadia, & Fauzi, A. (2011). Pengaruh Kadar Silika Pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan. *Kontruksi*, 3(1), 35.
- Nugraha, P., dan A. (2004). *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Pemerintah Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta.
- Prestika, M., & Adha, I. (2016). Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Uji Kuat Tekan Paving Block Menggunakan Campuran Tanah dan Semen dengan Alat Pemadat Modifikasi. 4(2), 2303–2314.
- Rahma, A., Naber, N. E., & Ismail, S. I. (2017). Effect of Glass Powder on The Compression Strength and The Workability of Concrete. *Cogent Engineering*, 4, 1373415.
- Rahman, F. A. (2014). *Penerapan Model Pembelajaran Demonstrasi Pada Mata Pelajaran Desain Grafis Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif Siswa*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Rajabipour, F., Maraghechi, & H., Fischer, G. (2010). Investigating The Alkali-Silica Reaction of Recycled Glass Aggregates in Concrete Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(12), 1201–1208.
- Rompas, G. P., Pangouw, J. D., Pandaleke, R., & Mangare, J. B. (2013). Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tarik Lentur Dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*, 1(2), 82–89.
- Safira, A. I. (2016). *Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Jati Terhadap Daya Serap Air, Keausan, dan Kuat Tekan Pada Paving Block*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Sipsn.menlhk.go.id. (2021). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. Diakses pada 17 September 2022, dari <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Tamanna, N., Tuladhar, R., & Sivakugan, N. (2020). Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete. *Construction and Building Materials*, 239, 117804.
- Taufik, H., Djauhari, Z., Sebayang, M., & Muhandis, M. (2017). Pengaruh

- Substitusi Limbah Karbit Terhadap Karakteristik Beton. *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, 5, 5–35.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tokede, B.B.P., Wardhono, A. (2018). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Batu Bara dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Paving Block. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 40–48.
- Tulloh, F. R. . (2019). *Kuat Tekan Mortar dengan Memakai Limbah Las Karbit Sebagai Substitusi Semen*. Universitas Jember, Jember.
- Valdi, E.F., Agustin, Sri, Trisnawati, L. (2022). Pengaruh Penambahan Kawat Bendrat dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Pada Paving. *Nusantara Hasana Journal*, 2(3), 219–224.
- Yahya, A. N. I. (2018). *Pengaruh Variasi Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Karakteristik Paving Block*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Bahan yang Digunakan



Lampiran L-1. 1 Pasir Merapi



Lampiran L-1. 2 Semen *Portland* Tiga
Roda



Lampiran L-1. 3 Air



Lampiran L-1. 4 Limbah Karbit



Lampiran L-1. 5 Limbah Karbit Lolos Saringan #100



Lampiran L-1. 6 Limbah Kaca

Lampiran 2 Gambar Alat yang Digunakan



Lampiran L-2. 1 Cetok



Lampiran L-2. 2 Ember



Lampiran L-2. 3 Pan



Lampiran L-2. 4 Jangka Sorong



Lampiran L-2. 5 Kerucut Terpancung



Lampiran L-2. 6 Piknometer



Lampiran L-2. 7 Satu Set Saringan



Lampiran L-2. 8 Saringan #200



Lampiran L-2. 9 Cetakan Silinder



Lampiran L-2. 10 Timbangan



Lampiran L-2. 11 Alat Penyaring



Lampiran L-2. 8 Oven



Lampiran L-2. 9 Mesin Pemotong



Lampiran L-2. 10 Mesin Pencetak *Paving Block*



Lampiran L-2. 11 Alat Penguji Kuat Tekan



Lampiran L-2. 12 Alat Penguji Keausan

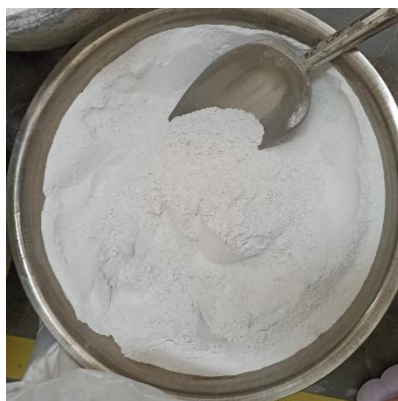
Lampiran 3 Proses Pemeriksaan Bahan



Lampiran L-3. 1 Penyaringan Limbah Kaca



Lampiran L-3. 2 Penghancuran Butiran Limbah Karbit



Lampiran L-3. 3 Limbah Karbit Lolos Saringan #100



Lampiran L-3. 4 Pemeriksaan Analisis Saringan



Lampiran L-3. 5 Pemeriksaan Berat Isi



**Lampiran L-3. 6 Penumbukan Untuk
Pemeriksaan Berat Isi**



Lampiran L-3. 7 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air



Lampiran L-3. 8 Penimbangan Benda Uji Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air



Lampiran L-3. 9 Pengovenan Benda Uji Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air



Lampiran L-3. 10 Pemeriksaan Kadar Lumpur



Lampiran L-3. 11 Sampel Kadar Lumpur Setelah Dicuci



Lampiran L-3. 12 Pengovenan Sampel Kadar Lumpur

Lampiran 4 Proses Pembuatan Benda Uji



Lampiran L-4. 1 Pemadatan dan Pencetakan
Paving Block



Lampiran L-4. 2 *Paving Block* Setelah Dicitak



Lampiran L-4. 3 Perendaman *Paving Block*



**Lampiran L-4. 4 Pengeringan *Paving Block*
Setelah Proses Perendaman**



Lampiran L-4. 5 Pengukuran Benda Uji



Lampiran L-4. 6 Pemotongan

Lampiran 5 Proses Pengujian Kuat Tekan



Lampiran L-5. 1 Pengukuran Dimensi Benda Uji Kuat Tekan



Lampiran L-5. 2 Pengujian Kuat Tekan



Lampiran L-5. 3 Benda Uji Setelah Pengujian

Lampiran 6 Proses Pengujian Daya Serap Air



Lampiran L-6. 1 Perendaman Benda Uji Daya Serap Air



Lampiran L-6. 2 Pengovenan Benda Uji

Lampiran 7 Proses Pengujian Keausan



Lampiran L-7. 1 Pengujian Keausan



Lampiran L-7. 2 Benda Uji Setelah Pengujian

Lampiran 8 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Bahan



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS (SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat	Pasir Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata (%)
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,60	0	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
4,8	33	29	1.65%	1.45%	1.65%	1.45%	98.35%	98.55%	98.45%
2,4	208	206	10.41%	10.31%	12.06%	11.76%	87.94%	88.24%	88.09%
1,2	432	435	21.62%	21.77%	33.68%	33.53%	66.32%	66.47%	66.39%
0,6	510	518	25.53%	25.93%	59.21%	59.46%	40.79%	40.54%	40.67%
0,3	372	368	18.62%	18.42%	77.83%	77.88%	22.17%	22.12%	22.15%
0,15	248	243	12.41%	12.16%	90.24%	90.04%	9.76%	9.96%	9.86%
Pan	195	199	9.76%	9.96%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Jumlah	1998	1998	100.00%	100.00%	374.67%	274.12%			

Modulus Halus Butir = 3,244

GRADASI PASIR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah VI
10,00	100	100	100	100
4,80	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,20	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,60	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Keterangan: Daerah I : Pasir Kasar Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah II : Pasir Agak Kasar Daerah IV : Pasir Halus

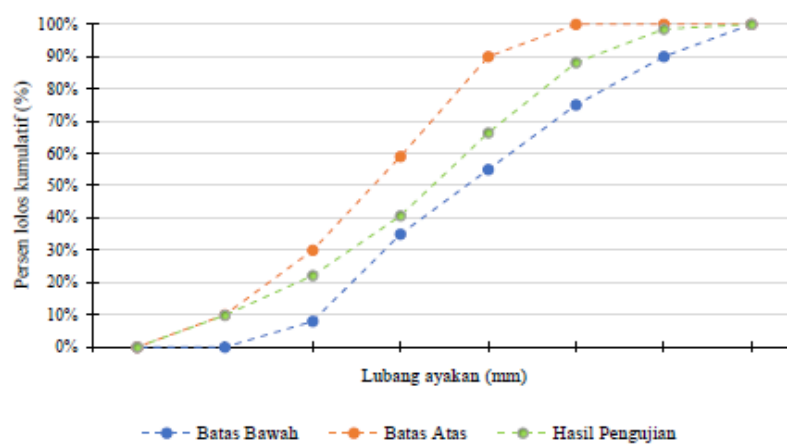
Lampiran L-8. 1 Form Pengujian Analisis Saringan Pada Pasir

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir Masuk Daerah : II
- Jenis Pasir : Agak kasar

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS



Lampiran L-8. 2 Form Grafik Pengujian Analisis Saringan Pada Pasir



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
 (SNI 03-4804-1998)

Asal Agregat	Pasir Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	9863	12498
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	19365	22123
Berat agregat (W3), gram	9502	9625
Volume Silinder (V), cm ³	5388.50	5485.10
Berat isi padat = W3/V, gram/cm ³	1.763	1.755
Berat isi padat rata – rata, gram/cm ³	1.759	

Lampiran L-8. 3 Form Pengujian Berat Isi Padat Pada Pasir



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Asal Agregat	Pasir Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	5871	5871
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	14323	14072
Berat agregat (W3), gram	8452	8201
Volume Silinder (V), cm ³	5163.98	5163.98
Berat isi padat = W3/V, gram/cm ³	1.637	1.588
Berat isi padat rata – rata, gram/cm ³	1.612	

Lampiran L-8. 4 Form Pengujian Berat Isi Gembur Pada Pasir



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BUTIRAN LOLOS AYAKAN NO.200
/ UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Agregat	Pasir Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat halus kering mutlak (W1), gram	500	500
Berat Agregat halus setelah dicuci dan dioven (W2), gram	475	478
Berat lumpur (W3) = (W1-W2), gram	25	22
Kadar lumpur = $W3 \times 100\%$, %	5	4.4
Kadar lumpur rata-rata, %	4.7	

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982), berat bagian yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm):

- a. untuk pasir maksimum 5% (lima persen)
- b. untuk kerikil maksimum 1% (satu persen)

Lampiran L-8. 5 Form Pengujian Butiran Lolos Ayakan No. 200 Pada Pasir



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Agregat	Pasir Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1002	1006	
Berat piknometer berisi air, gram (B)	688	692	
Berat jenis curah,(1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2.6129	2.6237	2.618
Berat jenis jenuh kering muka,(2) $500 / (B + 500 - Bt)$	2.6882	2.6882	2.688
Berat jenis semu,(3) $Bk / (B + Bk - Bt)$	2.8256	2.8046	2.815
Penyerapan air,(4) $(500 - Bk) / Bk \times 100\%, \%$	2.88%	2.46%	2.67%

Keterangan :

500 : berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan, gram

Lampiran L-8. 6 Form Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Pasir



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Agregat	Limbah Kaca
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata (%)
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,60	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4,8	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2,4	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1,2	3	3	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	99,85%	99,85%	99,85%
0,6	717	807	35,85%	40,37%	36,00%	40,52%	64,00%	59,48%	61,74%
0,3	761	736	38,05%	36,82%	74,05%	77,34%	25,95%	22,66%	24,31%
0,15	379	337	18,95%	16,86%	93,00%	94,20%	7,00%	5,80%	6,40%
Pan	140	116	7,00%	5,80%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Jumlah	2000	1999	100,00%	100,00%	303,20%	212,21%			

Modulus Halus Butir = 2,577

GRADASI PASIR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah VI
10,00	100	100	100	100
4,80	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,20	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,60	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Keterangan: Daerah I : Pasir Kasar Daerah III : Pasir Agak Halus
Daerah II : Pasir Agak Kasar Daerah IV : Pasir Halus

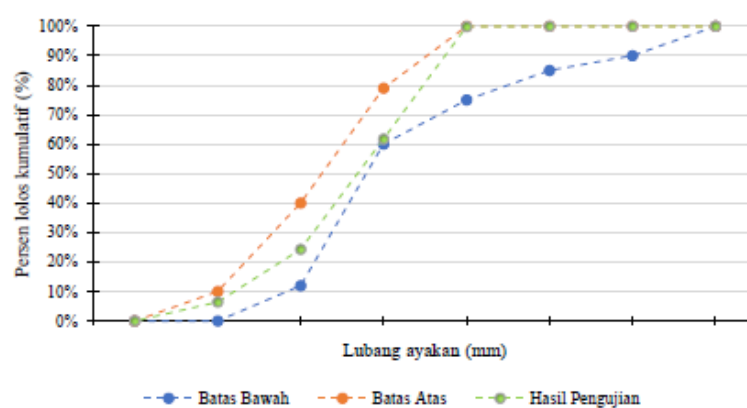
Lampiran L-8. 7 Form Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir Masuk Daerah : III
- Jenis Pasir : Agak halus

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS



Lampiran L-8. 8 Form Grafik Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Agregat	Limbah Kaca : Pasir (20 : 80)
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata (%)
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,60	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4,8	24	32	1,20%	1,60%	1,20%	1,60%	98,80%	98,40%	98,60%
2,4	119	156	5,95%	7,80%	7,15%	9,40%	92,85%	90,60%	91,72%
1,2	302	341	15,11%	17,05%	22,26%	26,45%	77,74%	73,55%	75,64%
0,6	558	553	27,91%	27,65%	50,18%	54,10%	49,82%	45,90%	47,86%
0,3	479	448	23,96%	22,40%	74,14%	76,50%	25,86%	23,50%	24,68%
0,15	318	275	15,91%	13,75%	90,05%	90,25%	9,95%	9,75%	9,85%
Pan	199	195	9,95%	9,75%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Jumlah	1999	2000	100,00%	100,00%	344,97%	258,30%			

Modulus Halus Butir = 3,016

GRADASI PASIR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah VI
10,00	100	100	100	100
4,80	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,20	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,60	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Keterangan: Daerah I : Pasir Kasar Daerah III : Pasir Agak Halus
Daerah II : Pasir Agak Kasar Daerah IV : Pasir Halus

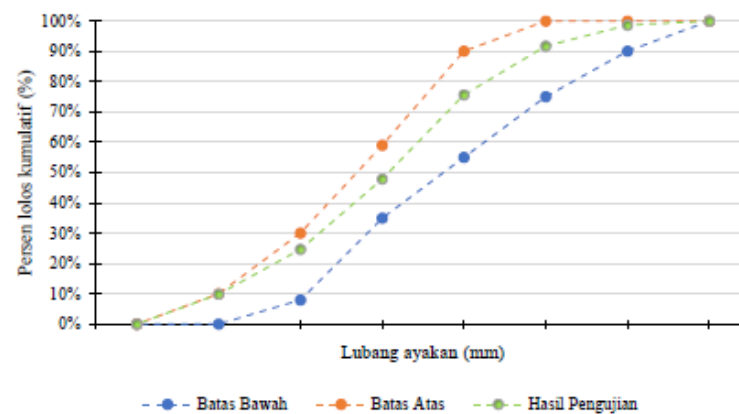
**Lampiran L-8. 9 Form Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca :
Pasir (20:80)**

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir Masuk Daerah : II
- Jenis Pasir : Agak kasar

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS



**Lampiran L-8. 10 Form Grafik Pengujian Analisis Saringan Pada Limbah Kaca :
Pasir (20:80)**



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Agregat	Limbah Kaca
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	10834	10847
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	18464	18371
Berat agregat (W3), gram	7630	7524
Volume Silinder (V), cm ³	5435,08	5398,31
Berat isi padat = $W3/V$, gram/cm ³	1,404	1,394
Berat isi padat rata – rata, gram/cm ³	1,399	

Lampiran L-8. 11 Form Pengujian Berat Isi Padat Pada Limbah Kaca



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Agregat	Limbah Kaca
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	11194	11194
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	17096	17417
Berat agregat (W3), gram	5902	6223
Volume Silinder (V), cm ³	5370,95	5370,95
Berat isi padat = $W3/V$, gram/cm ³	1,099	1,159
Berat isi padat rata – rata, gram/cm ³	1,129	

Lampiran L-8. 12 Form Pengujian Berat Isi Gembur Pada Limbah Kaca



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BUTIRAN LOLOS AYAKAN NO.200
/ UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Agregat	Limbah Kaca
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat halus kering mutlak (W1), gram	500	500
Berat Agregat halus setelah dicuci dan dioven (W2), gram	489	486
Berat lumpur (W3) = (W1-W2), gram	11	14
Kadar lumpur = $W3 \times 100\%$, %	2,2	2,8
Kadar lumpur rata-rata, %	2,5	

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982), berat bagian yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm):

- a. untuk pasir maksimum 5% (lima persen)
- b. untuk kerikil maksimum 1% (satu persen)

**Lampiran L-8. 13 Form Pengujian Butiran Lolos Ayakan No. 200 Pada
Limbah Kaca**



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Agregat	Limbah Kaca
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	494	492	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1018	1017	
Berat piknometer berisi air, gram (B)	717	717	
Berat jenis curah,(1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,4824	2,4600	2,471
Berat jenis jenuh kering muka,(2) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,5126	2,5000	2,506
Berat jenis semu,(3) $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,5596	2,5625	2,561
Penyerapan air,(4) $(500 - Bk) / Bk \times 100\%, \%$	1,21%	1,63%	1,42%

Keterangan :

500 : berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan, gram

**Lampiran L-8. 14 Form Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada
Limbah Kaca**

Lampiran 9 Laporan Sementara Hasil Pengujian Benda Uji



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN *PAVING BLOCK* (SNI 03-0691-1996)

Nama : Dovita Jointina
NIM : 18511132
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (P x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk Kaca 0% Serbuk Karbit 0%	KTA1	61,3	60,65	62,35	61,433	62,4	63,65	64,75	63,600	58,15	58,3	58,3	58,250	3907,160
	KTA2	62,3	627	63,5	62,833	59,7	61,75	63	61,483	59,8	59,5	59,45	59,583	3863,203
	KTA3	61,7	63,55	65,15	63,467	61,7	61,6	62,55	61,950	59,6	59,45	59,85	59,633	3931,760
	KTA4	59,1	60,95	62,55	60,867	62,0	61,7	62,45	62,050	60	60	60,4	60,133	3776,777
	KTA5	64,0	64,25	64,65	64,300	59,8	61,65	62,65	61,367	57,55	57,4	57,25	57,400	3945,877
Kuat Tekan														

Lampiran L-9. 1 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTA

Persentase	Kode	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)	Mutu
Serbuk Kaca 0% Serbuk Karbit 0%	KTA1	3907,160	139940,896	35,817	37,028	A
	KTA2	3863,203	154160,538	39,905		
	KTA3	3931,760	141411,893	35,967		
	KTA4	3776,777	143471,290	37,988		
	KTA5	3945,877	139940,896	35,465		

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (P x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 0%	KTb1	62,9	62,65	62,6	62,717	61,3	62,25	64,7	62,750	60,15	59,75	59,6	59,833	3935,471
	KTb2	64,35	63,7	65,65	64,567	64,0	63,85	64,2	64,017	60,55	60,75	60,9	60,733	4133,343
	KTb3	62,55	64,4	66,25	64,400	64,4	64,4	65,3	64,700	59,8	59,15	58,7	59,217	4166,680
	KTb4	61,0	63,0	65,0	63,000	61,8	62,3	62,8	62,300	60,0	60,1	60,8	60,300	3924,900
	KTb5	65,0	65,66	67,0	65,887	61,5	62,4	62,3	62,067	59,0	59,4	59,45	59,283	4089,366
Kuat Tekan														
Persentase	Kode	Luas Penampang (cm2)			Beban Maksimal (kN)		Kuat Tekan (MPa)		Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)			Mutu		
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 0%	KTb1	3935,471			62958,693		15,998		14,850			C		
	KTb2	4133,343			64429,691		15,588							
	KTb3	4166,680			56584,371		13,580							
	KTb4	3924,900			67371,686		17,165							
	KTb5	4089,366			48739,051		11,918							

Lampiran L-9. 2 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTA dan KTB

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (P x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk Kaca 0%	KTC1	61,45	63,4	65,0	63,283	64,0	64,1	64,5	64,200	59,5	59,7	59,0	59,400	4062,790
	KTC2	61,15	61,1	60,75	61,000	58,0	58,9	60,2	59,033	60,1	59,7	59,45	59,750	3601,033
Serbuk	KTC3	63,2	64,15	65,0	64,117	63,45	63,0	63,0	63,150	59,2	59,4	59,55	59,383	4048,968
Karbit	KTC4	60,0	61,2	62,6	61,267	63,4	64,7	64,2	64,100	58,9	58,85	59,0	58,917	3927,193
2,5%	KTC5	65,0	61,4	60,8	62,400	62,0	63,5	63,0	62,833	57,85	58,2	58,35	58,133	3920,800
Kuat Tekan														
Persentase	Kode	Luas Penampang (cm2)			Beban Maksimal (kN)		Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)			Mutu	
Serbuk Kaca 0%	KTC1	4062,790			86004,321		21,169			22,180			B	
	KTC2	3601,033			76197,671		21,160							
Serbuk	KTC3	4048,968			101694,961		25,116							
Karbit	KTC4	3927,193			91888,311		23,398							
2,5%	KTC5	3920,800			78649,333		20,060							

Lampiran L-9. 3 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTC

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (P x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk Kaca 20%	KTD1	59,1	60,7	62,0	60,600	66,75	67,5	68,0	67,417	60,15	60,2	60,0	60,117	4085,450
	KTD2	62,0	63,15	65,0	63,383	64,3	64,7	65,3	64,767	58,4	58,8	59,0	58,733	4105,127
Serbuk Karbit	KTD3	63,4	62,35	60,25	62,000	59,75	59,2	58,7	59,217	59,6	60,0	59,45	59,683	3671,433
2,5%	KTD4	62,7	64,55	65,25	64,167	62,0	62,7	63,2	62,633	59,5	59,15	58,7	59,117	4018,972
	KTD5	62,2	63,2	64,85	63,417	60,0	60,5	60,5	60,333	60,1	60,1	60,0	60,067	3826,139
Kuat Tekan														
Persentase	Kode	Luas Penampang (cm2)			Beban Maksimal (kN)		Kuat Tekan (MPa)		Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)			Mutu		
Serbuk	KTD1	4085,450			56094,038		13,730		14,190			C		
Kaca 20%	KTD2	4105,127			63449,026		15,456							
Serbuk	KTD3	3671,433			51190,713		13,943							
Karbit	KTD4	4018,972			58545,701		14,567							
2,5%	KTD5	3826,139			50700,381		13,251							

Lampiran L-9. 4 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTD

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (P x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 5%	KTE1	63,8	64,45	66,0	64,750	62,5	62,4	64,2	63,033	61,0	60,7	60,4	60,700	4081,408
	KTE2	64,3	65,15	66,2	65,217	66,25	66,8	67,6	66,883	60,9	60,45	60,1	60,483	4361,908
	KTE3	63,75	64,5	64,9	64,383	62,25	63,7	65,6	63,850	60,3	60,4	61,0	60,567	4110,876
	KTE4	64,3	64,35	65,65	64,767	61,85	63,0	65,25	63,367	58,8	59,15	59,4	59,117	4104,048
	KTE5	60,85	61,6	63,8	62,083	63,0	64,0	65,0	64,000	59,65	59,75	60,0	59,800	3973,333
Kuat Tekan														
Persentase	Kode	Luas Penampang (cm2)		Beban Maksimal (kN)		Kuat Tekan (MPa)		Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)		Mutu				
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 5%	KTE1	4081,408		49719,716		12,182		14,910		C				
	KTE2	4361,908		66881,353		15,333								
	KTE3	4110,876		59526,366		14,480								
	KTE4	4104,048		61487,696		14,982								
	KTE5	3973,333		69823,348		17,573								

Lampiran L-9. 5 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTE

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (I x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk Kaca 20%	KTF1	61,6	63,2	64,6	63,133	65,9	66,75	67,0	66,550	57,8	58,0	57,85	57,883	4201,523
	KTF2	61,5	63,0	64,25	62,917	63,8	64,7	62,4	63,633	57,25	57,5	57,75	57,500	4003,597
Serbuk	KTF3	61,3	63,0	64,5	62,933	65,7	66,85	67,55	66,700	56,0	57,0	58,6	57,200	4197,653
Karbit	KTF4	62,3	63,75	66,0	64,017	64,75	65,35	65,0	65,033	57,8	58,0	58,15	57,983	4163,217
7,5%	KTF5	63,0	64,3	63,8	63,700	61,15	62,35	63,9	62,467	60,0	58,95	57,9	58,950	3979,127
Kuat Tekan														
Persentase	Kode	Luas Penampang (cm2)			Beban Maksimal (kN)		Kuat Tekan (MPa)		Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)			Mutu		
Serbuk Kaca 20%	KTF1	4201,523			49719,716		11,834		12,585			C		
	KTF2	4003,597			48739,051		12,174							
Serbuk	KTF3	4197,653			49719,716		11,845							
Karbit	KTF4	4163,217			56584,371		13,592							
7,5%	KTF5	3979,127			53642,376		13,481							

Lampiran L-9. 6 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTF

Dimensi														
Persentase	Kode	Panjang (cm)				Lebar (cm)				Tebal (cm)				Luas Penampang (P x L)
		Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	Sisi Kiri	Tengah	Sisi Kanan	Rata-Rata	
Serbuk	KTG1	60,7	60,6	60,6	60,633	64,7	65,45	66,0	65,383	61,55	61,4	61,0	61,317	3964,409
Kaca 20%	KTG2	63,2	64,3	65,7	64,400	63,7	64,5	64,15	64,117	61,3	61,2	60,9	61,133	4129,113
Serbuk	KTG3	62,0	63,55	64,9	63,483	64,0	64,7	65,1	64,600	61,75	61,9	62,25	61,967	4101,023
Karbit	KTG4	58,55	60,0	61,0	59,850	63,3	63,0	63,65	63,317	61,85	62,0	61,3	61,717	3789,503
10%	KTG5	61,0	62,45	63,7	62,383	67,0	67,25	67,85	67,367	61,6	61,6	61,4	61,533	4202,557
Kuat Tekan														
Persentase	Kode	Luas Penampang (cm2)			Beban Maksimal (kN)			Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)		Mutu	
Serbuk	KTG1	3964,409			59526,366			15,015			12,380		C	
Kaca 20%	KTG2	4129,113			49719,716			12,041						
Serbuk	KTG3	4101,023			50700,381			12,363						
Karbit	KTG4	3789,503			39913,066			10,533						
10%	KTG5	4202,557			50210,048			11,947						

Lampiran L-9. 7 Form Pengujian Kuat Tekan Sampel KTG



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN DAYA SERAP AIR *PAVING BLOCK*
(SNI 03-0691-1996)

Nama : Dovita Jointina
NIM : 18511132
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 0% Serbuk Karbit 0%	SAA1	468	435	7,586	7,633	C
	SAA2	476	441	7,937		
	SAA3	475	442	7,466		
	SAA4	467	433	7,852		
	SAA5	425	396	7,323		

Lampiran L-9. 8 Form Pengujian Daya Serap Air Sampel SAA

Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 0%	SAB1	454	402	12,935	11,680	-
	SAB2	450	404	11,386		
	SAB3	465	418	11,244		
	SAB4	428	382	12,042		
	SAB5	503	454	10,793		

Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 0% Serbuk Karbit 2,5%	SAC1	449	407	10,319	10,413	D
	SAC2	446	405	10,123		
	SAC3	438	399	9,774		
	SAC4	463	416	11,298		
	SAC5	482	436	10,550		

Lampiran L-9. 9 Form Pengujian Daya Serap Air Sampel SAB dan SAC

Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 2,5%	SAD1	415	367	13,079	11,683	-
	SAD2	422	381	10,761		
	SAD3	457	413	10,654		
	SAD4	453	406	11,576		
	SAD5	446	397	12,343		
Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 5%	SAE1	465	415	12,048	10,844	-
	SAE2	450	405	11,111		
	SAE3	442	400	10,500		
	SAE4	422	381	10,761		
	SAE5	493	449	9,800		

Lampiran L-9. 10 Form Pengujian Daya Serap Air Sampel SAD dan SAE

Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 7,5%	SAF1	413	365	13,151	12,547	-
	SAF2	420	369	13,821		
	SAF3	416	372	11,828		
	SAF4	442	397	11,335		
	SAF5	429	381	12,598		
Persentase	Kode	Berat Basah (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata Penyerapan (%)	Mutu
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 10%	SAG1	424	376	12,766	13,505	-
	SAG2	473	419	12,888		
	SAG3	460	407	13,022		
	SAG4	445	391	13,811		
	SAG5	436	379	15,040		

Lampiran L-9. 11 Form Pengujian Daya Serap Air Sampel SAF dan SAG



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

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KETAHANAN AUS *PAVING BLOCK*
(SNI 03-0691-1996)

Nama : Dovita Jointina
NIM : 18511132
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 0% Serbuk Karbit 0%	AUSA1	441,88	439,37	2,51	15	0,235	0,268	-
	AUSA2	497,07	493,87	3,20	15	0,293		
	AUSA3	499,28	495,06	4,22	15	0,379		
	AUSA4	471,89	469,46	2,43	15	0,229		
	AUSA5	504,16	502,06	2,10	15	0,201		

Lampiran L-9. 12 *Form* Pengujian Keausan Sampel AUSA

Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 0%	AUSB1	439,20	433,05	6,15	15	0,541	0,785	-
	AUSB2	419,87	408,47	11,40	15	0,982		
	AUSB3	459,13	447,17	11,96	15	1,029		
	AUSB4	449,75	438,73	11,02	15	0,950		
	AUSB5	428,87	424,14	4,73	15	0,422		

Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 0% Serbuk Karbit 2,5%	AUSC1	433,96	425,01	8,95	15	0,776	0,580	-
	AUSC2	428,99	424,48	4,51	15	0,403		
	AUSC3	449,68	443,29	6,39	15	0,561		
	AUSC4	425,47	420,61	4,86	15	0,433		
	AUSC5	424,95	416,58	8,37	15	0,728		

Lampiran L-9. 13 Form Pengujian Keausan Sampel AUSB dan AUSC

Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 2,5%	AUSD1	401,70	391,36	10,34	15	0,893	0,848	-
	AUSD2	411,58	399,94	11,64	15	1,002		
	AUSD3	424,08	416,23	7,85	15	0,684		
	AUSD4	448,29	440,88	7,41	15	0,647		
	AUSD5	458,45	446,66	11,79	15	1,015		

Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 5%	AUSE1	405,64	396,48	9,16	15	0,794	0,620	-
	AUSE2	427,34	422,14	5,20	15	0,461		
	AUSE3	422,54	415,52	7,02	15	0,614		
	AUSE4	412,81	405,06	7,75	15	0,676		
	AUSE5	464,49	458,19	6,30	15	0,554		

Lampiran L-9. 14 Form Pengujian Keausan Sampel AUSD dan AUSE

Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 7,5%	AUSF1	389.00	372.16	16.84	15	1,439	0,984	-
	AUSF2	388.89	381.22	7.67	15	0,669		
	AUSF3	428.50	419.81	8.69	15	0,755		
	AUSF4	394.74	383.63	11.11	15	0,958		
	AUSF5	374.35	361.54	12.81	15	1,101		
Persentase	Kode	Berat		Selisih Berat (gram)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	Rata-Rata Keausan (mm/menit)	Mutu
		Awal (gram)	Akhir (gram)					
Serbuk Kaca 20% Serbuk Karbit 10%	AUSG1	429.85	418.48	11.37	15	0,980	1,036	-
	AUSG2	411.25	403.53	7.72	15	0,673		
	AUSG3	413.02	398.44	14.58	15	1,249		
	AUSG4	406.40	394.73	11.67	15	1,005		
	AUSG5	402.35	387.48	14.87	15	1,274		

Lampiran L-9. 15 Form Pengujian Keausan Sampel AUSF dan AUSG

Lampiran 10 Hasil Uji Statistika Pada SPSS Versi 26

Descriptives				
Variasi		Statistic		Std. Error
Kuat_Tekan	KTA	Mean	37.02840	.843621
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	34.68613
			Upper Bound	39.37067
		5% Trimmed Mean	36.95544	
		Median	35.96700	
		Variance	3.558	
		Std. Deviation	1.886395	
		Minimum	35.465	
		Maximum	39.905	
		Range	4.440	
		Interquartile Range	3.305	
		Skewness	1.111	.913
		Kurtosis	-.229	2.000
	KTB	Mean	14.84980	.933576
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	12.25778
			Upper Bound	17.44182
		5% Trimmed Mean	14.88406	
		Median	15.58800	
		Variance	4.358	
		Std. Deviation	2.087540	
		Minimum	11.918	
		Maximum	17.165	
		Range	5.247	
		Interquartile Range	3.832	
		Skewness	-.592	.913
		Kurtosis	-.941	2.000
	KTC	Mean	22.18060	.912703
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	19.64653
			Upper Bound	24.71467
		5% Trimmed Mean	22.13533	
		Median	21.16900	
		Variance	4.165	
		Std. Deviation	2.040866	
		Minimum	20.060	
		Maximum	25.116	

Lampiran L-10. 1 *Descriptive Uji Normalitas Kuat Tekan*

	KTD	Range	5.056	
		Interquartile Range	3.647	
		Skewness	.758	.913
		Kurtosis	-.881	2.000
		Mean	14.18940	.380737
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	13.13230
		Mean	Upper Bound	15.24650
		5% Trimmed Mean	14.17117	
		Median	13.94300	
		Variance	.725	
		Std. Deviation	.851354	
		Minimum	13.251	
		Maximum	15.456	
		Range	2.205	
		Interquartile Range	1.521	
	KTE	Skewness	.775	.913
		Kurtosis	.132	2.000
		Mean	14.91000	.863208
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	12.51335
		Mean	Upper Bound	17.30665
		5% Trimmed Mean	14.91361	
		Median	14.98200	
		Variance	3.726	
		Std. Deviation	1.930192	
		Minimum	12.182	
		Maximum	17.573	
		Range	5.391	
		Interquartile Range	3.122	
		Skewness	-.082	.913
		Kurtosis	1.522	2.000
	KTF	Mean	12.58520	.393534
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	11.49257
		Mean	Upper Bound	13.67783
		5% Trimmed Mean	12.57100	
		Median	12.17400	
		Variance	.774	
		Std. Deviation	.879970	
		Minimum	11.834	

Lanjutan Lampiran L-10. 1 *Descriptive Uji Normalitas Kuat Tekan*

Kuat_Tekan	KTG	Maximum	13.592	
		Range	1.758	
		Interquartile Range	1.697	
		Skewness	.514	.913
		Kurtosis	-3.168	2.000
		Mean	12.37980	.729977
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.35306
			Upper Bound	14.40654
		5% Trimmed Mean	12.33600	
		Median	12.04100	
		Variance	2.664	
		Std. Deviation	1.632279	
		Minimum	10.533	
		Maximum	15.015	
		Range	4.482	
		Interquartile Range	2.449	
		Skewness	1.138	.913
		Kurtosis	2.548	2.000

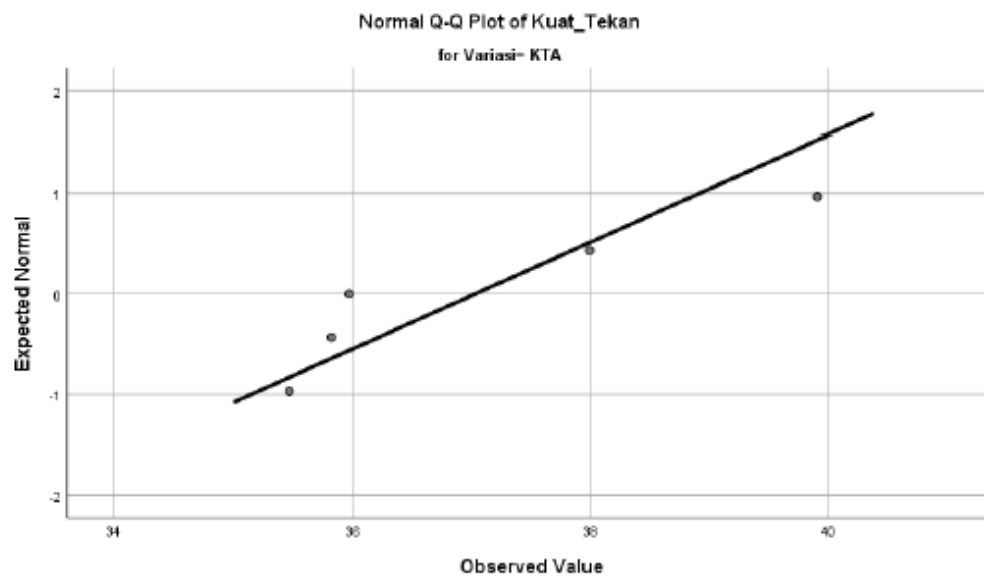
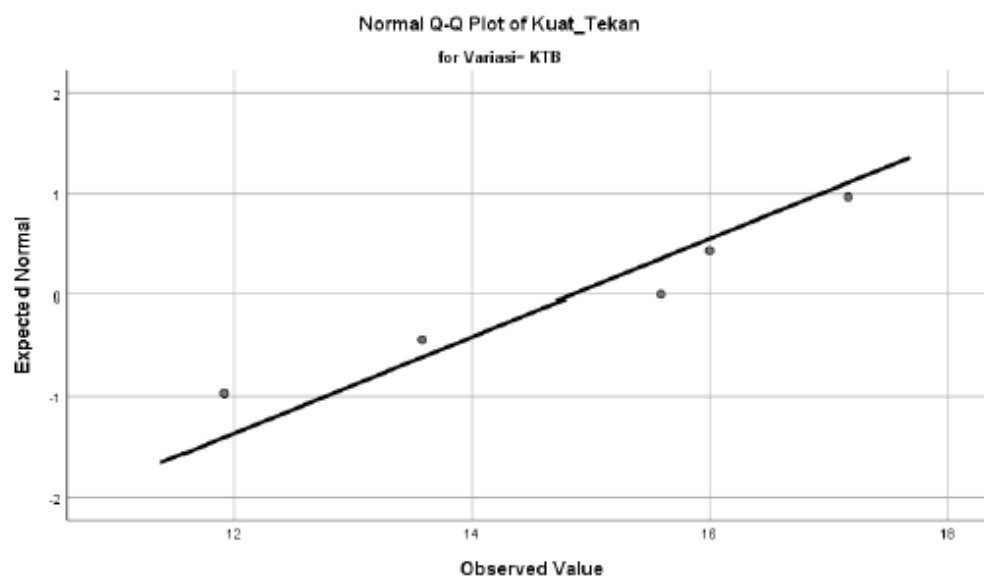
Lanjutan Lampiran L-10. 1 *Descriptive Uji Normalitas Kuat Tekan*

Tests of Normality							
Variasi		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kuat_Tekan	KTA	.313	5	.122	.848	5	.189
	KTB	.238	5	.200 [*]	.951	5	.743
	KTC	.290	5	.197	.913	5	.487
	KTD	.214	5	.200 [*]	.959	5	.802
	KTE	.213	5	.200 [*]	.963	5	.831
	KTF	.280	5	.200 [*]	.789	5	.086
	KTG	.304	5	.147	.890	5	.356

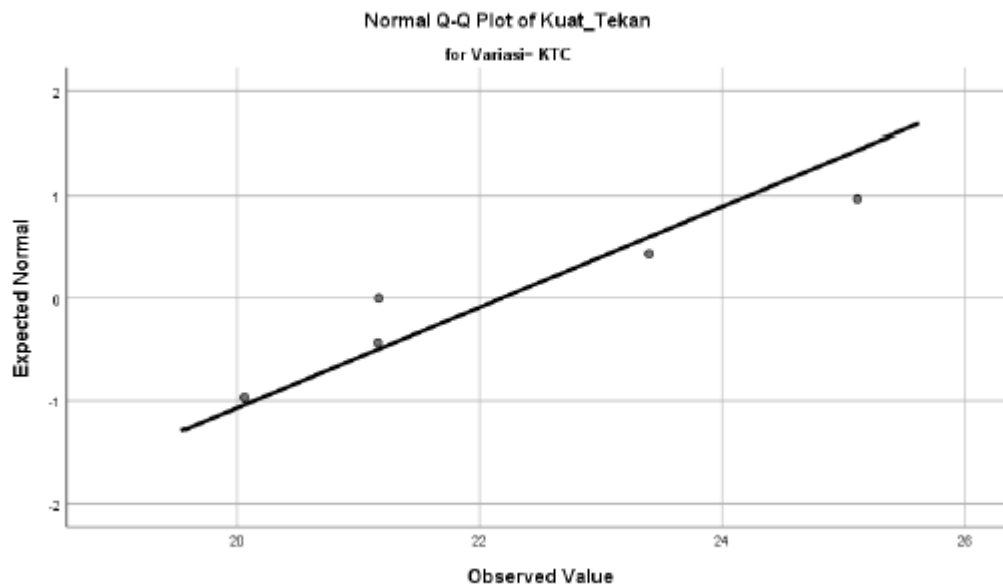
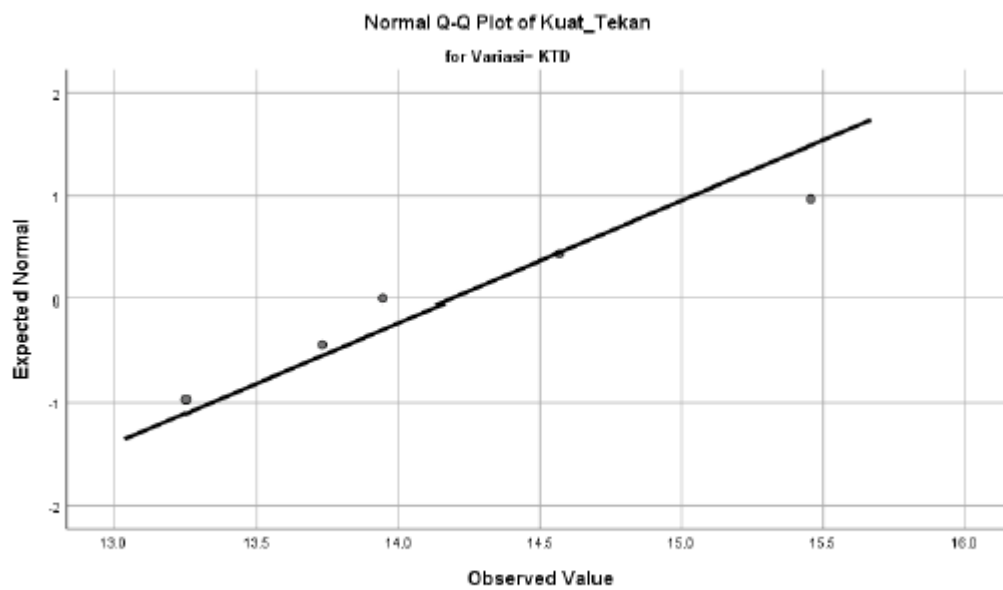
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

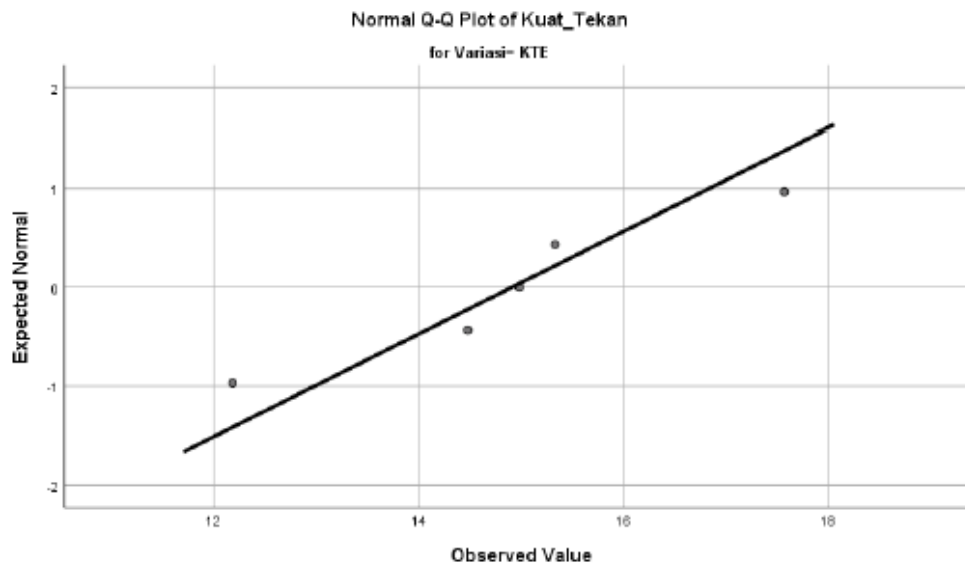
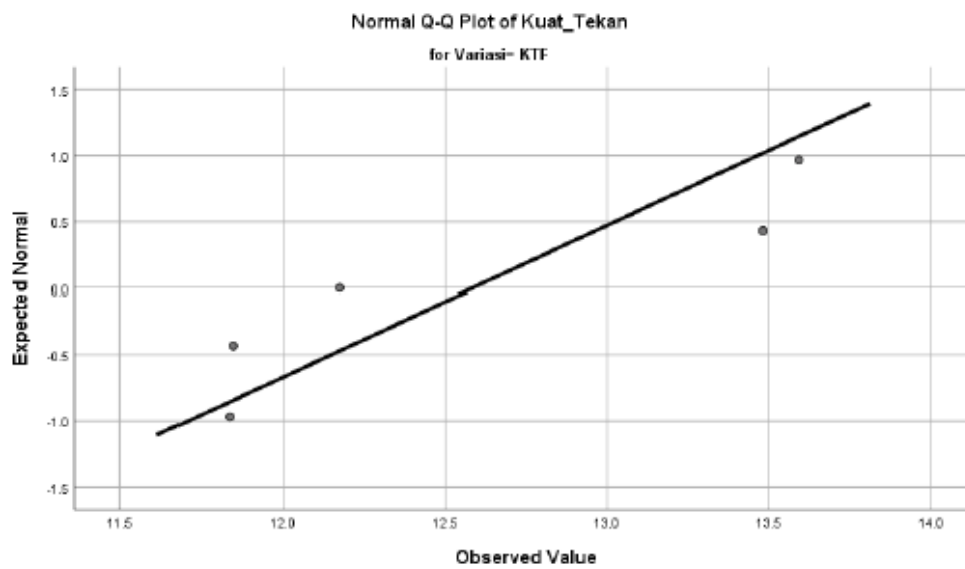
Lampiran L-10. 2 *Uji Normalitas Nilai Kuat Tekan*



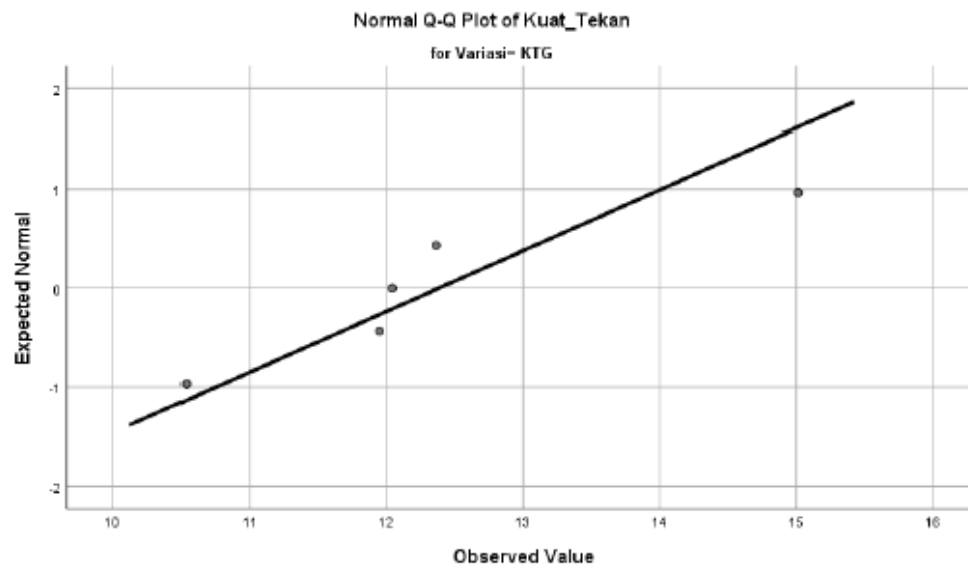
Lampiran L-10. 3 Grafik Uji Normalitas Sampel KTA dan KTB



Lampiran L-10. 4 Grafik Uji Normalitas Sampel KTC dan KTD



Lampiran L-10. 5 Grafik Uji Normalitas Sampel KTE dan KTF



Lampiran L-10. 6 Grafik Uji Normalitas Sampel KTG

Descriptives				
Varian		Statistic		Std. Error
Daya_Serap_Air	SAA	Mean	7.63280	.115450
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.31228
			Upper Bound	7.95334
		5% Trimmed Mean	7.63311	
		Median	7.58600	
		Variance	.067	
		Std. Deviation	.258154	
		Minimum	7.323	
		Maximum	7.937	
		Range	.614	
		Interquartile Range	.500	
		Skewness	.102	.913
		Kurtosis	-2.128	2.000
	SAB	Mean	11.68000	.372114
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.64685
			Upper Bound	12.71315
		5% Trimmed Mean	11.65956	
		Median	11.38600	
		Variance	.692	
		Std. Deviation	.832071	
		Minimum	10.793	
		Maximum	12.935	
		Range	2.142	
		Interquartile Range	1.470	
		Skewness	.881	.913
		Kurtosis	.242	2.000
	SAC	Mean	10.41280	.255270
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	9.70406
			Upper Bound	11.12154
		5% Trimmed Mean	10.39911	
		Median	10.31900	
		Variance	.326	
		Std. Deviation	.570800	
		Minimum	9.774	
		Maximum	11.298	

Lampiran L-10. 7 *Descriptive Uji Normalitas Daya Serap Air*

	Range	1.524	
	Interquartile Range	.976	
	Skewness	.919	.913
	Kurtosis	1.279	2.000
SAD	Mean	11.68260	.463939
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.39450
		Upper Bound	12.97070
	5% Trimmed Mean	11.66217	
	Median	11.57600	
	Variance	1.076	
	Std. Deviation	1.037399	
	Minimum	10.654	
	Maximum	13.079	
	Range	2.425	
	Interquartile Range	2.004	
	Skewness	.425	.913
	Kurtosis	-1.704	2.000
SAE	Mean	10.84400	.369869
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	9.81708
		Upper Bound	11.87092
	5% Trimmed Mean	10.83511	
	Median	10.76100	
	Variance	.684	
	Std. Deviation	.827053	
	Minimum	9.800	
	Maximum	12.048	
	Range	2.248	
	Interquartile Range	1.429	
	Skewness	.431	.913
	Kurtosis	.839	2.000
SAF	Mean	12.54660	.445892
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	11.30860
		Upper Bound	13.78460
	5% Trimmed Mean	12.54311	
	Median	12.59800	
	Variance	.994	
	Std. Deviation	.997045	
	Minimum	11.335	

Lanjutan Lampiran L-10. 7 *Descriptive Uji Normalitas Daya Serap Air*

	SAG	Maximum	13.821	
		Range	2.486	
		Interquartile Range	1.905	
		Skewness	.059	.913
		Kurtosis	-1.432	2.000
		Mean	13.50540	.424851
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	12.32583
			Upper Bound	14.68497
		5% Trimmed Mean	13.46122	
		Median	13.02200	
		Variance	.902	
		Std. Deviation	.949995	
		Minimum	12.766	
		Maximum	15.040	
		Range	2.274	
		Interquartile Range	1.598	
		Skewness	1.404	.913
		Kurtosis	1.290	2.000

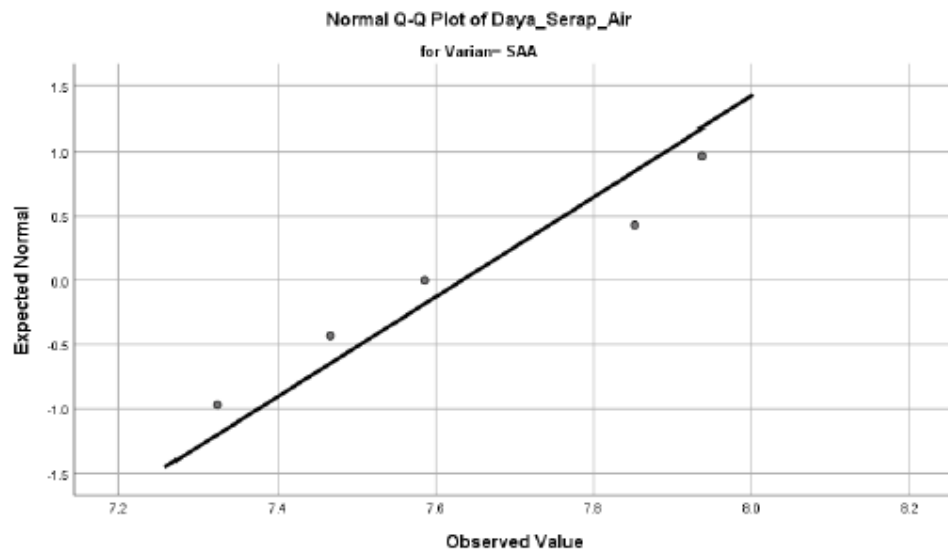
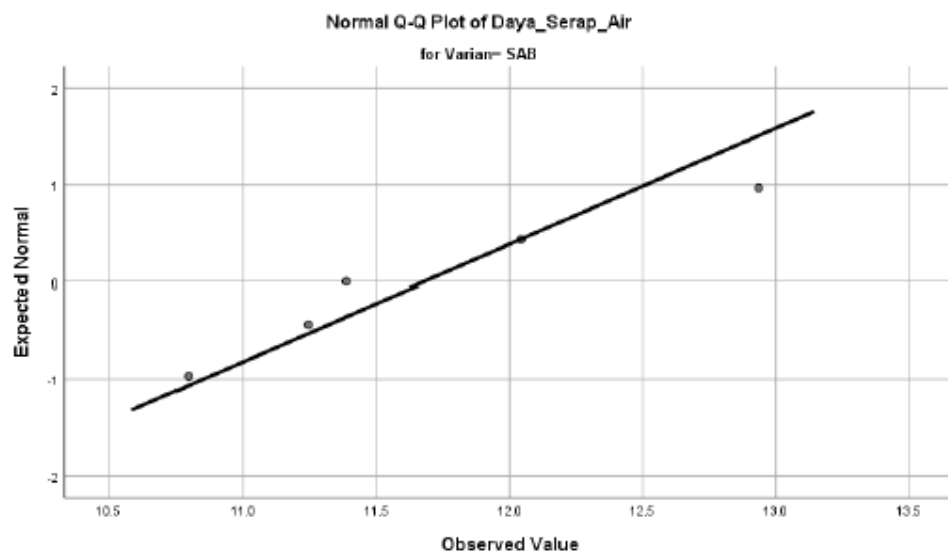
Lanjutan Lampiran L-10. 7 *Descriptive Uji Normalitas Daya Serap Air*

Tests of Normality							
	Varian	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Daya_Serap_Air	SAA	.202	5	.200 [*]	.943	5	.684
	SAB	.238	5	.200 [*]	.943	5	.689
	SAC	.205	5	.200 [*]	.956	5	.777
	SAD	.213	5	.200 [*]	.923	5	.551
	SAE	.173	5	.200 [*]	.985	5	.959
	SAF	.164	5	.200 [*]	.978	5	.921
	SAG	.295	5	.180	.833	5	.147

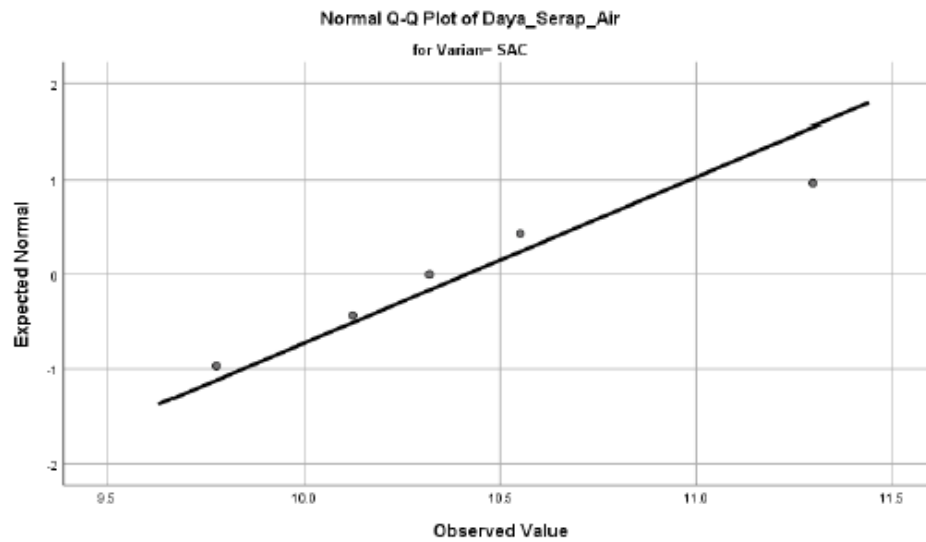
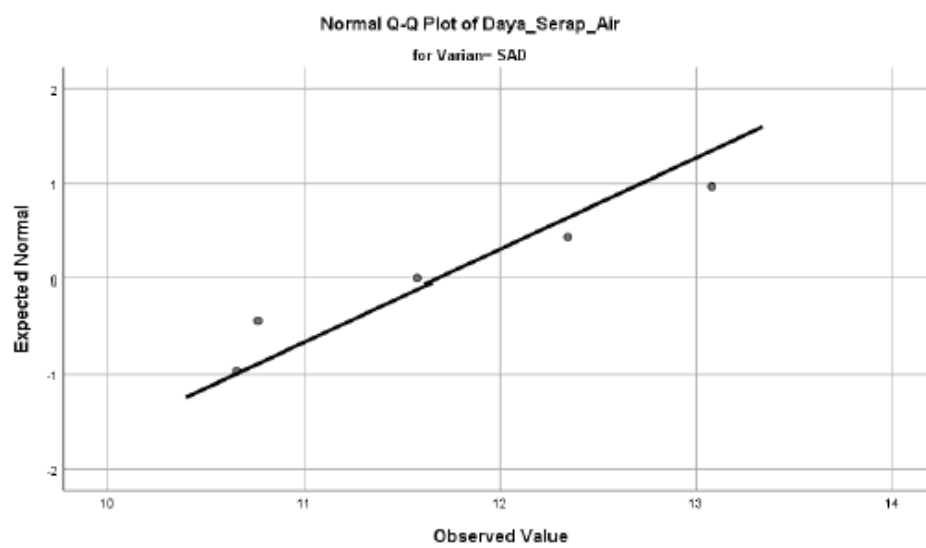
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

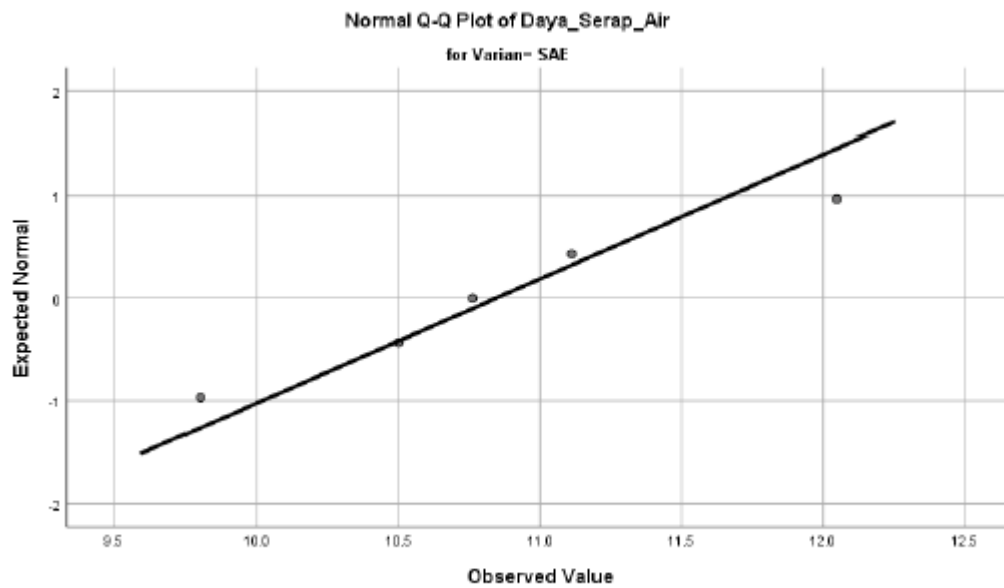
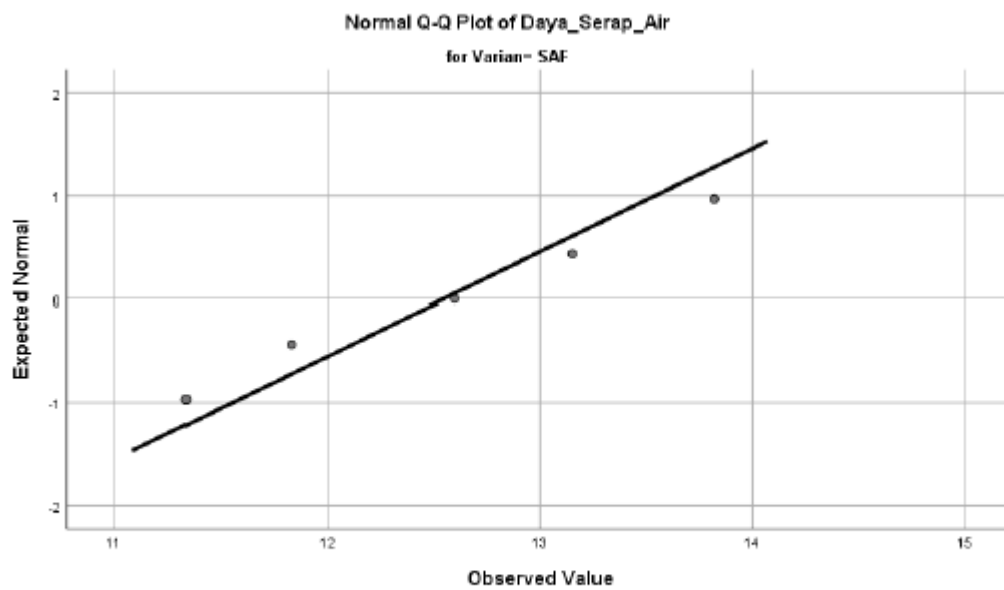
Lampiran L-10. 8 Uji Normalitas Nilai Daya Serap Air



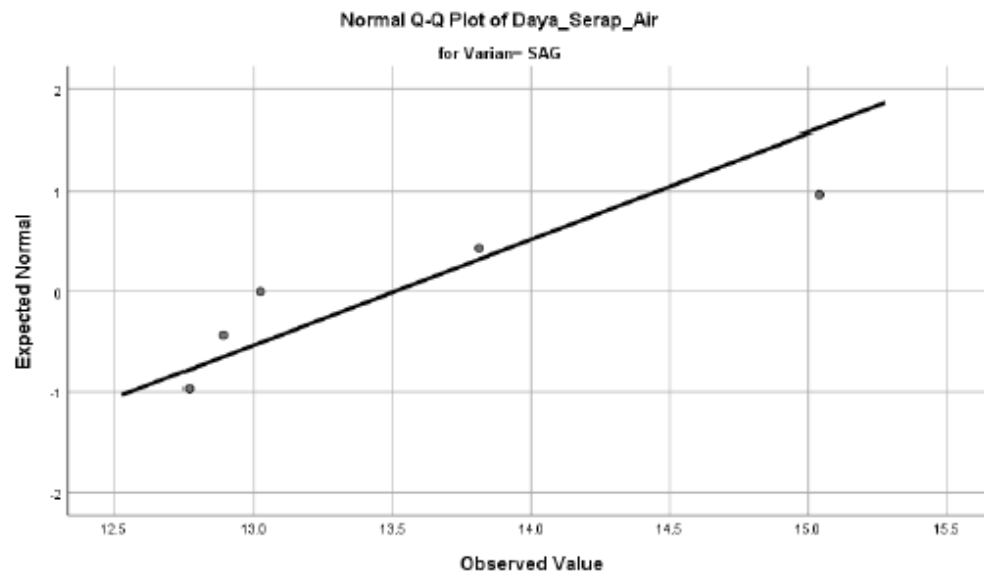
Lampiran L-10. 9 Grafik Uji Normalitas Sampel SAA dan SAB



Lampiran L-10. 10 Grafik Uji Normalitas Sampel SAC dan SAD



Lampiran L-10. 11 Grafik Uji Normalitas Sampel SAE dan SAF



Lampiran L-10. 12 Grafik Uji Normalitas Sampel SAG

Descriptives				
Varian		Statistic		Std. Error
Keausan	AUSA	Mean	.26740	.031657
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.17951
			Upper Bound	.35529
		5% Trimmed Mean		.26489
		Median		.23500
		Variance		.005
		Std. Deviation		.070787
		Minimum		.201
		Maximum		.379
		Range		.178
		Interquartile Range		.121
		Skewness	1.202	.913
		Kurtosis	.875	2.000
	AUSB	Mean	.78480	.125872
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.43532
			Upper Bound	1.13428
		5% Trimmed Mean		.79139
		Median		.95000
		Variance		.079
		Std. Deviation		.281458
		Minimum		.422
		Maximum		1.029
		Range		.607
		Interquartile Range		.524
		Skewness	-.683	.913
		Kurtosis	-2.688	2.000
	AUSC	Mean	.58020	.075372
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.37093
			Upper Bound	.78947
		5% Trimmed Mean		.57917
		Median		.56100
		Variance		.028
		Std. Deviation		.168537
		Minimum		.403
		Maximum		.776

Lampiran L-10. 13 *Descriptive Uji Normalitas Keausan*

	AUSD	Range	.373	
		Interquartile Range	.334	
		Skewness	.172	.913
		Kurtosis	-2.728	2.000
		Mean	.84820	.077758
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	.63231
		Mean	Upper Bound	1.06409
		5% Trimmed Mean	.85011	
		Median	.89300	
		Variance	.030	
		Std. Deviation	.173873	
		Minimum	.647	
		Maximum	1.015	
		Range	.368	
		Interquartile Range	.343	
		Skewness	-.333	.913
		Kurtosis	-2.935	2.000
	AUSE	Mean	.61980	.056163
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	.46387
		Mean	Upper Bound	.77573
		5% Trimmed Mean	.61894	
		Median	.61400	
		Variance	.016	
		Std. Deviation	.125583	
		Minimum	.461	
		Maximum	.794	
		Range	.333	
		Interquartile Range	.228	
		Skewness	.247	.913
		Kurtosis	-.032	2.000
	AUSF	Mean	.98440	.136575
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	.60521
		Mean	Upper Bound	1.36359
		5% Trimmed Mean	.97667	
		Median	.95800	
		Variance	.093	
		Std. Deviation	.305391	
		Minimum	.669	

Lanjutan Lampiran L-10. 13 *Descriptive Uji Normalitas Keausan*

	Maximum	1.439	
	Range	.770	
	Interquartile Range	.558	
	Skewness	.762	.913
	Kurtosis	-.016	2.000
AUSG	Mean	1.03620	.109059
	95% Confidence Interval for	Lower Bound	.73340
	Mean	Upper Bound	1.33900
	5% Trimmed Mean	1.04317	
	Median	1.00500	
	Variance	.059	
	Std. Deviation	.243884	
	Minimum	.673	
	Maximum	1.274	
	Range	.601	
	Interquartile Range	.435	
	Skewness	-.719	.913
	Kurtosis	.009	2.000

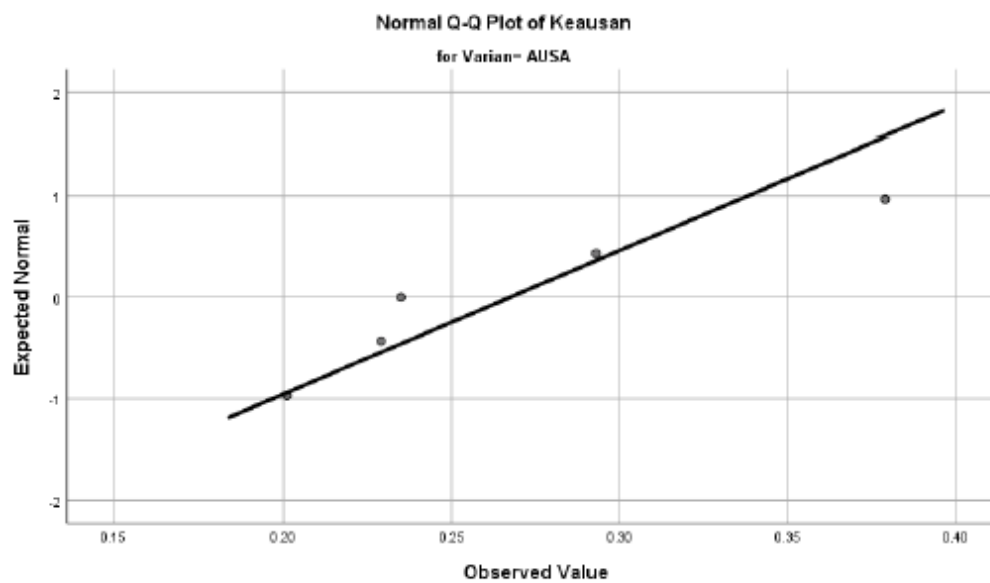
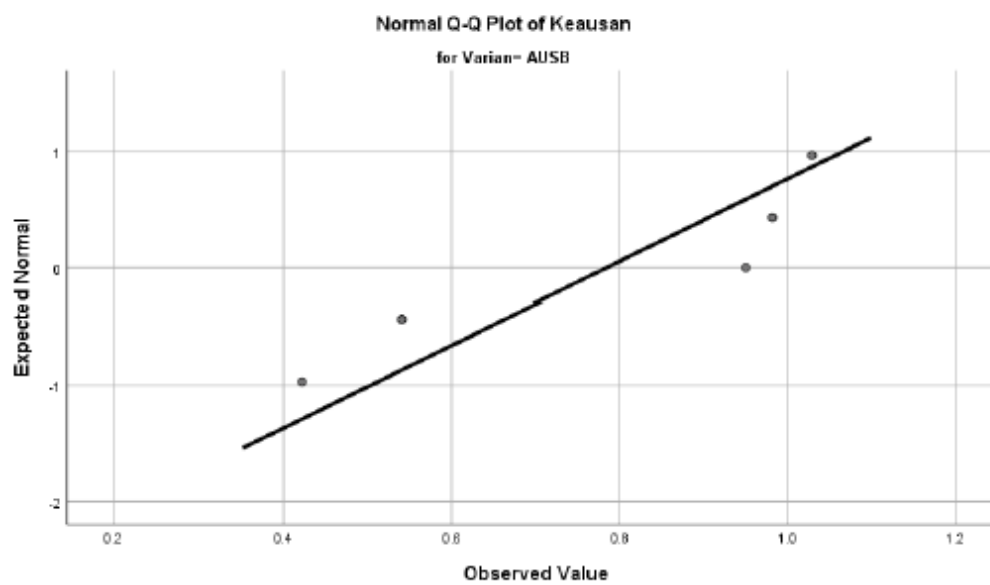
Lanjutan Lampiran L-10. 13 *Descriptive Uji Normalitas Keausan*

Tests of Normality							
Varian	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
Keausan	AUSA	.276	5	.200 [*]	.893	5	.370
	AUSB	.321	5	.100	.820	5	.118
	AUSC	.210	5	.200 [*]	.896	5	.390
	AUSD	.228	5	.200 [*]	.854	5	.207
	AUSE	.127	5	.200 [*]	.997	5	.997
	AUSF	.174	5	.200 [*]	.950	5	.736
	AUSG	.209	5	.200 [*]	.907	5	.447

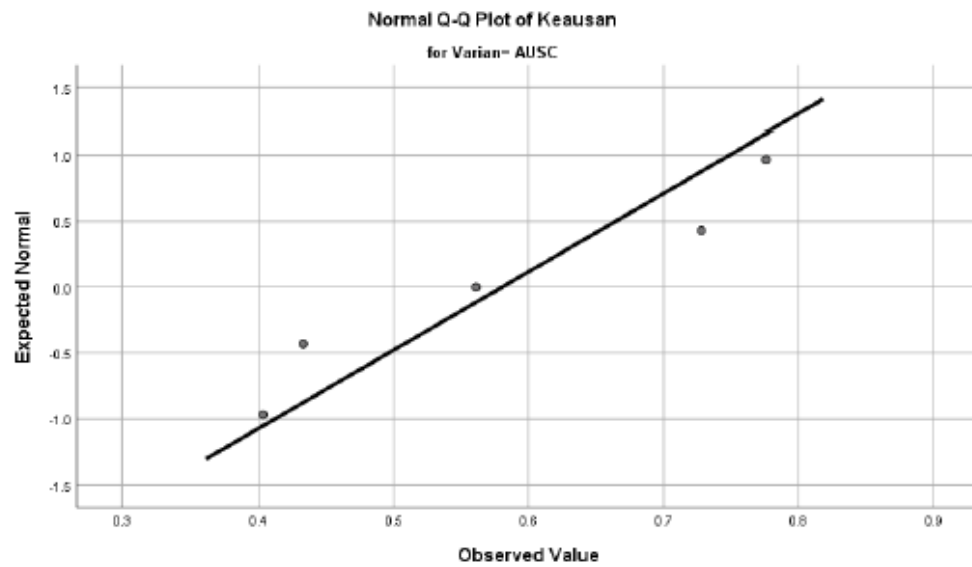
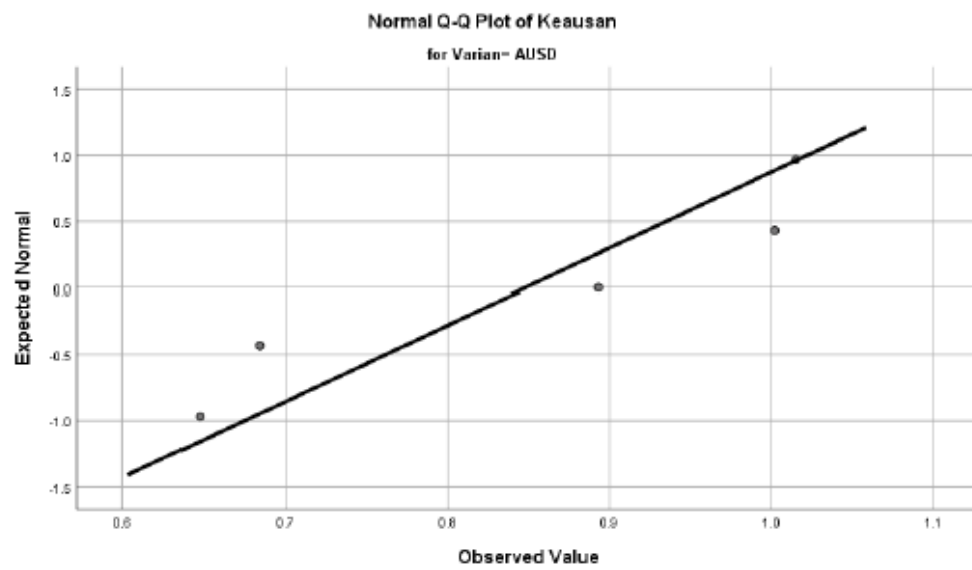
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

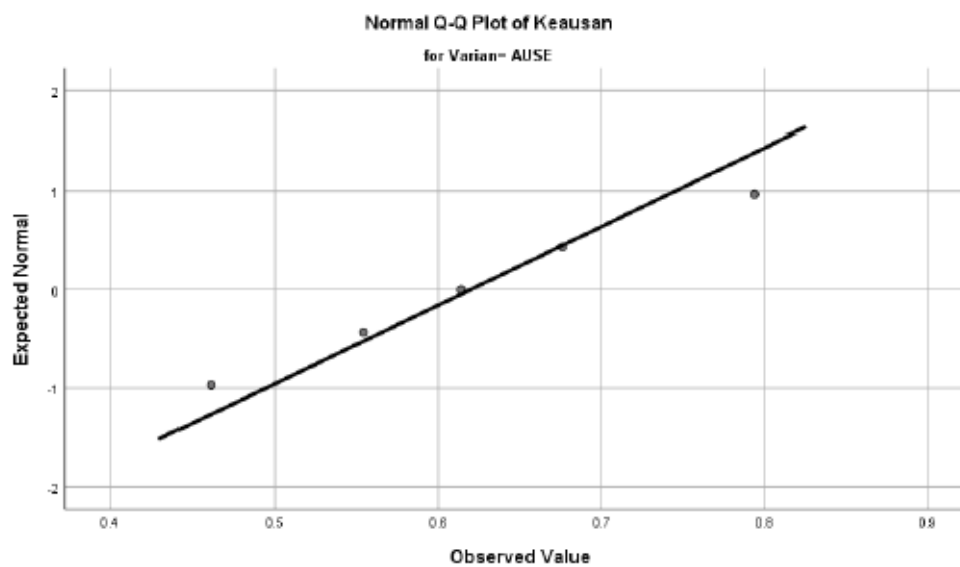
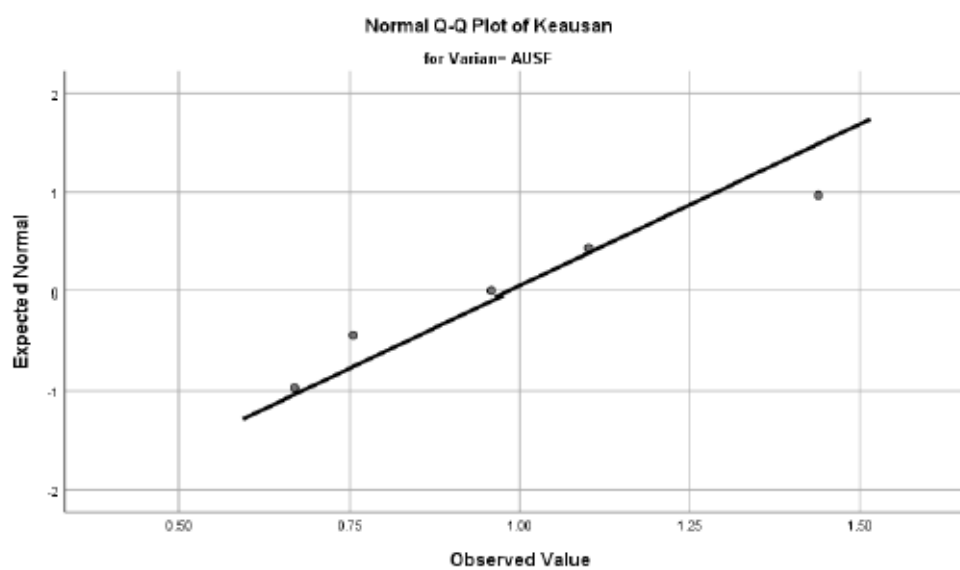
Lampiran L-10. 14 Uji Normalitas Nilai Keausan



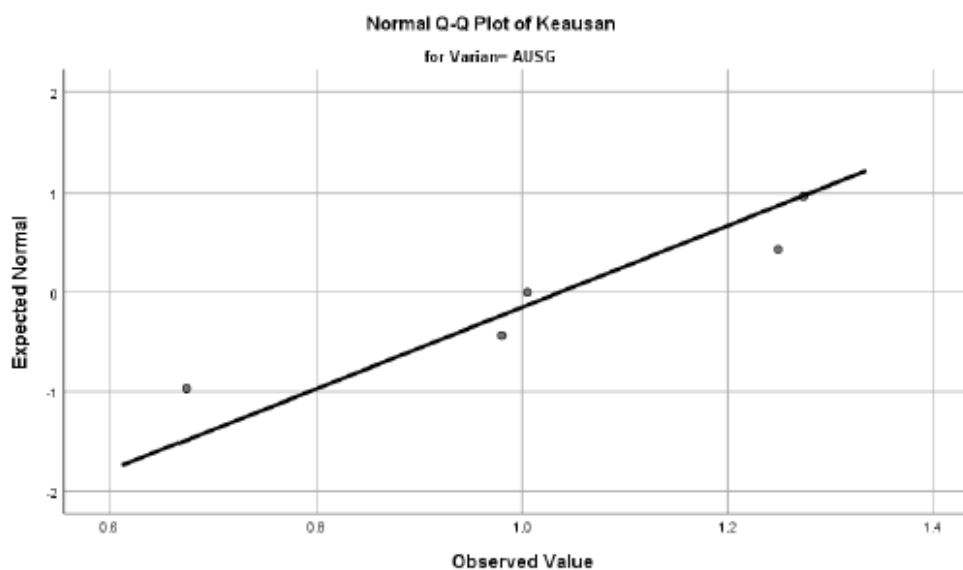
Lampiran L-10. 15 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSA dan AUSB



Lampiran L-10. 16 Grafik Uji Normalitas Sampel AUC dan AUSD



Lampiran L-10. 17 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSE dan AUSEF



Lampiran L-10. 18 Grafik Uji Normalitas Sampel AUSG

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kuat_Tekan	Based on Mean	1.146	6	28	.362
	Based on Median	.405	6	28	.870
	Based on Median and with adjusted df	.405	6	21.483	.868
	Based on trimmed mean	1.097	6	28	.389

Lampiran L-10. 19 Uji Homogenitas Nilai Kuat Tekan

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Keausan	Based on Mean	2.436	6	28	.051
	Based on Median	.998	6	28	.446
	Based on Median and with adjusted df	.998	6	14.827	.462
	Based on trimmed mean	2.360	6	28	.057

Lampiran L-10. 20 Uji Homogenitas Nilai Keausan

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Daya_Serap_Air	Based on Mean	1.345	6	28	.271
	Based on Median	.749	6	28	.616
	Based on Median and with adjusted df	.749	6	19.715	.618
	Based on trimmed mean	1.290	6	28	.294

Lampiran L-10. 21 Uji Homogenitas Nilai Daya Serap Air