TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN CANGKANG KELAPA SAWIT DAN *SILICA FUME* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PADA CAMPURAN BATA RINGAN *CELLULAR LIGHT-WEIGHT CONCRETE* (CLC)

(THE EFFECT OF USING PALM KERNEL SHELL AND SILICA FUME AS A SUBSTITUTION MATERIAL IN CELLULAR LIGHT-WEIGHT CONCRETE (CLC) MIXTURES)

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

Fariza Aulia Rahmanto
18511139

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2023

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN CANGKANG KELAPA SAWIT DAN *SILICA FUME* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PADA CAMPURAN BATA RINGAN *CELLULAR LIGHT-WEIGHT CONCRETE* (CLC)

(THE EFFECT OF USING PALM KERNEL SHELL AND SILICA FUME AS A SUBSTITUTION MATERIAL IN CELLULAR LIGHT-WEIGHT CONCRETE (CLC) MIXTURES)

Disusun oleh

Fariza Aulia Rahmanto
18511139

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

Diuji pada tanggal 26 Mei 2023
Oleh Dewan Penguji

Dosen Pembimbing	Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Jafar, S.T., M.T., MURP	**Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D.**	**Elvis Saputra, S.T., M.T.**
NIK: 185111305	**NIK: 845110101**	**NIK: 205111302**

21/06/2023

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 26 Mei 2023
Yang membuat pernyataan,

Fariza Aulia Rahmanto
(18511139)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit dan Silica Fume Sebagai Bahan Subtitusi Pada Campuran Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC).* Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik SIpil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan serta rintangan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak Alhamdulillah dengan izin Allah SWT, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut, banyak rasa terimakasih sampaikan kepada segenap pihak-pihak yang telah membantu dan terlibat memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

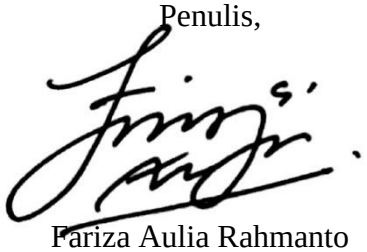
1. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir atas segala bimbingan, nasihat, saran, semangat, serta dukungan yang diberikan selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan beberapa masukan serta perbaikan terkait penulisan naskah tugas akhir ini.
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan beberapa perbaikan serta masukan terkait penyusunan dan penulisan naskah tugas akhir ini.
4. Mas wawan selaku pemilik dari Bota Bata yang telah menyediakan tempat serta meminjamkan fasilitas sehingga dapat membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

5. Orang tua penulis, Bapak Suranto serta Ibu Dwi Rahma Suswanti, S.Pd., yang senantiasi memanjatkan doa, memberikan nasihat, semangat, dan materi kepada penulis sehingga proses penyelesaiian Tugas Akhir ini.
6. Muhammad Fadhil Amr A, dan Huzan Rafi Athallah, yang selalu ikut membantu dalam menyusun serta menyelesaikan rangkaian Tugas Akhir ini.
7. Seluruh teman-teman dari DPA 4 Teknik Sipil 2018 selaku teman-teman pertama yang ditemui dalam masa perkuliahan yang senantiasi memberikan semangat dan membantu selama perkuliahan.
8. Teman-teman angkatan 2018 jurusan Teknik Sipil yang ikut serta dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada Tugas Akhir yang telah disusun ini dan jauh dari kata sempurna. Untuk itu, saran dan kritikan yang diberikan sangat membantu dalam menyempurnakan penelitian ini kedepannya. Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan di negara ini. Akhir kata Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 26 Mei 2023

Penulis,



Fariza Aulia Rahmanto

18511139

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL I
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xiii
ABSTRAK xv
ABTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Bata Ringan dengan Subtitusi Cangkang Kelapa Sawit 7
2.2 Penelitian Terdahulu 7
2.2.1 Variasi komposisi cangkang kelapa sawit sebagai subtitusi agregat halus 7
2.2.2 Variasi kadar *silica fume* pada campuran bata ringan 11
2.3 Perbandingan Penelitian 12
2.4 Keaslian Penelitian 20
BAB III LANDASAN TEORI 21
3.1 Bata Ringan 21
3.2 Jenis Bata Ringan 25
3.2.1 Bata Ringan CLC (Celullar Lightweight Concrete) 25

3.2.2 Bata Ringan AAC (Autoclave Aerated Concrete) 26
3.3 Bahan Penyusun Bata Ringan 27
3.3.1 Semen *portland* 27
3.3.2 Agregat Halus 28
3.3.3 Air 30
3.3.4 *Foam Agent* 31
3.3.5 Cangkang Kelapa Sawit 33
3.3.6 Silica Fume 35
3.4 Pengujian Bata Ringan Dengan Campuran Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica Fume* 36
3.4.1 Pengujian Kuat Tekan 36
3.4.2 Pengujian Bobot isi 37
3.4.3 Pengujian Penyerapan Air 38
BAB IV METODE PENELITIAN 39
4.1 Umum 39
4.2 Lokasi Penelitian 39
4.3 Alat dan Bahan 39
4.3.1 Alat 40
4.3.2 Bahan 47
4.4 Sampel Penelitian 50
4.5 Perencanaan Komposisi 50
4.6 Tahap Persiapan Penelitian 54
4.6.1 Persiapan material 54
4.6.3 Pengujian Material 56
4.7 Tahap Penelitian 59
4.7.1 Pembuatan benda uji 59
4.7.2 Perawatan benda uji 61
4.7.3 Pengujian benda uji 61
4.8 Tahap Olah Data 63
4.9 Tahap Analisis dan Pembahasan 63
4.10 Tahap Kesimpulan dan Saran 63

4.11 Bagan Alir Peneltitian 64
BAB V PEMBAHASAN 67
5.1 Hasil Pemeriksaan Material Penyusun 67
5.1.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air 67
5.1.2 Pengujian berat isi padat dan gembur 70
5.1.3 Pengujian lolos saringan No.200 71
5.1.4 Pengujian analisa saringan 72
5.2 Perhitungan *Mix Design* Bata Ringan CLC 76
5.3 Pengujian Bata Ringan 80
5.3.1 Pengujian Bobot Isi 81
5.3.2 Pengujian Penyerapan Air 85
5.3.3 Pengujian Kuat Tekan 89
5.3.4 Pengujian Statistika 95
5.3.5 Analisis & Pembahasan Kuat Tekan 97
5.4 Hubungan Kuat Tekan, Bobot Isi, dan Penyerapan Air 100
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 104
6.1 Kesimpulan 104
6.2 Saran 105
DAFTAR PUSTAKA 106
LAMPIRAN 111
Lampiran 1 Rencana Jadwal Penelitian 112
Lampiran 2 Pemeriksaan Agregat Halus 113
Lampiran 3 Hasil Pengujian Bata Ringan 117
Lampiran 4 Proses Pembuatan Bata Ringan 137
Lampiran 5 Proses Pengujian Bata Ringan 141
Lampiran 6 Hasil Pengujian Statistika SPSS 145

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 perbandingan penelitian terdahulu 13
Tabel 3. 1 ukuran umum bata ringan 23
Tabel 3. 2 kategori berat bata ringan 23
Tabel 3. 3 syarat fisis bata ringan 24
Tabel 3. 4 keuntungan dan kerugian bata ringan clc dan aac 25
Tabel 3. 5 kandungan cangkang kelapa sawit 34
Tabel 3. 6 kandungan unsur kimia silica fume 36
Tabel 4. 1 komposisi campuran pembuatan bata ringan dengan variasi cangkang kelapa sawit dan silica fume 52
Tabel 4. 2 komposisi campuran bata ringan cangkang kelapa sawit dan silica fume 53
Tabel 5. 1 hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pasir 67
Tabel 5. 2 hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air cangkang kelapa sawit (cks) 68
Tabel 5. 3 hasil pengujian berat isi pasir 70
Tabel 5. 4 hasil pengujian berat isi cangkang kelapa sawit (cks) 70
Tabel 5. 5 hasil pengujian lolos saringan no.200 pasir 71
Tabel 5. 6 hasil pengujian lolos saringan no.200 cangkang kelapas sawit (cks) 71
Tabel 5. 7 hasil pengujian analisa saringan agregat halus pasir 73
Tabel 5. 8 hasil pengujian analisa saringan agregat halus cangkang kelapa sawit (cks) 73
Tabel 5. 9 komposisi campuran bata ringan clc 77
Tabel 5. 10 hasil pengujian bobot isi bata ringan cangkang kelapa sawit 82
Tabel 5. 11 hasil pengujian bobot isi bata ringan cangkang kelapa sawit dan silica fume 83
Tabel 5. 12 hasil pengujian penyerapan air bata ringan dengan cangkang kelapa sawit 86

Tabel 5. 13 hasil pengujian penyerapan air bata ringan dengan cangkang kelapa sawit dan silica fume 87
Tabel 5. 14 pengujian kuat tekan iindividu bata ringan cangkang kelapa sawit 90
Lanjutan tabel 5. 15 pengujian kuat tekan iindividu bata ringan cangkang kelapa sawit 91
Lanjutan tabel 5. 16 pengujian kuat tekan iindividu bata ringan cangkang kelapa sawit 92
Tabel 5. 17 pengujian kuat tekan individu bata ringan cangkang kelapa sawit & silica fume 92
Lanjutan tabel 5. 18 pengujian kuat tekan individu bata ringan cangkang kelapa sawit & silica fume 93
Tabel 5. 19 hasil pengujian kuat tekan bata ringan cankang kelapa sawit dan silica fume 98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Bata Ringan 22
Gambar 3. 2 Ilustrasi Cara Kerja Foam Generator 32
Gambar 3. 3 Limbah Padat Cangkang Kelapa Sawit 34
Gambar 4. 1 Timbangan 40
Gambar 4. 2 Sekop 41
Gambar 4. 3 Gelas Ukur 41
Gambar 4. 4 Wadah atau Ember 42
Gambar 4. 5 Hand Mixer Beton 42
Gambar 4. 6 Foam Generator 43
Gambar 4. 7 Compressor Udara 43
Gambar 4. 8 Ayakan Mesh 44
Gambar 4. 9 Jangka Sorong 44
Gambar 4. 10 Oven 45
Gambar 4. 11 Cetakan Bata RIngan 45
Gambar 4. 12 Mesin Uji Tekan atau UTM 46
Gambar 4. 13 Mesin Gerinda Potong 46
Gambar 4. 14 Agregat Halus Pasir 47
Gambar 4. 15 Semen Portland 48
Gambar 4. 16 Foam Agent 48
Gambar 4. 17 Cangkang Kelapa Sawit 49
Gambar 4. 18 Silica Fume 49
Gambar 4. 19 Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit 55
Gambar 4. 20 Hasil Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit 55
Gambar 4. 21 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan 62
Gambar 4. 22 Bagan Alir Penelitian 65
Gambar 5. 1 Gradasi Agregat Halus Pasir 75
Gambar 5. 2 Gradasi Agregat Halus Cangkang Kelapa Sawit 75

Gambar 5. 3 Penampakan Bata Ringan 80
Gambar 5. 4 Bata Ringan Dikeringkan Didalam Oven 81
Gambar 5. 5 Bobot Isi Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit 85
Gambar 5. 6 Bobot Isi Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit dan Silica Fume 85
Gambar 5. 7 Perendaman Bata Ringan 86
Gambar 5. 8 Penyerapan Air Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit 88
Gambar 5. 9 Penyerapan Air Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit & Silica Fume 88
Gambar 5. 10 Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan 89
Gambar 5. 11 Kondisi Bata Ringan Setelah Pengujian Kuat Tekan 90
Gambar 5. 12 Persebaran Kuat Tekan Bata Ringan Secara Individu Bata Ringan CKS 94
Gambar 5. 13 Persebaran Kuat Tekan Bata Ringan Secara Individu Bata Ringan CKS & SF 95
Gambar 5. 14 Pengaruh Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit & Silica Fume Terhadap Kuat Tekan 99
Gambar 5. 15 Hubungan Kuat Tekan & Penyerapan Air Pada Campuran Bata Ringan CKS 101
Gambar 5. 16 Hubungan Kuat Tekan & Penyerapan Air Pada Campuran Bata Ringan CKS & SF 101
Gambar 5. 17 Hubungan Kuat Tekan & Bobot isi Pada Campuran Bata Ringan CKS 102
Gambar 5. 18 Hubungan Kuat Tekan & Penyerapan Air Pada Campuran Bata Ringan CKS & SF 103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rencana Jadwal Penelitian 105
Gambar L-1. 1 Rencana Jadwal Penelitian 112
Lampiran 2 Pengujian Agregat Halus 119
Tabel L 2. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Air Pasir 113
Tabel L 2. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Air CKS 113
Tabel L 2. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pasir 114
Tabel L 2. 4 Hasil Pengujian Analisa Saringan CKS 114
Tabel L 2. 5 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Pasir 115
Tabel L 2. 6 Hasil Pengujian Berat Isi Padat CKS 115
Tabel L 2. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 Pasir 115
Tabel L 2. 8 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 CKS 116
Lampiran 3 Hasil Pengujian Bata Ringan 123
Tabel L 3. 1 Hasil Pengujian Bobot isi & Penyerapan Air variasi Normal 117
Tabel L 3. 2 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 4% CKS 118
Tabel L 3. 3 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 6% CKS 119
Tabel L 3. 4 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 8% CKS 120
Tabel L 3. 5 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 10% CKS 121
Tabel L 3. 6 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% 122
Tabel L 3. 7 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 4% 123
Tabel L 3. 8 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 6% 124
Tabel L 3. 9 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 8% 125
Tabel L 3. 10 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 10% 126
Tabel L 3. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi Normal 127
Tabel L 3. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 4% 128

Tabel L 3. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 6% 129
Tabel L 3. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 8% 130
Tabel L 3. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 10% 131
Tabel L 3. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% 132
Tabel L 3. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% CKS 4% 133
Tabel L 3. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% CKS 6% 134
Tabel L 3. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% CKS 8% 135
Tabel L 3. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Varias SF 10% CKS 10% 136
Lampiran 4 Proses Pembuatan Bata Ringan 143
Gambar L 4. 1 Persiapan Alat dan Material 137
Gambar L 4. 2 Instalasi Compressor Udara Dengan Foam Generator 137
Gambar L 4. 3 Penimbangan Material 137
Gambar L 4. 4 Pengolesan pelumas serta menyiapkan cetakan 138
Gambar L 4. 5 Pengadukan campuran pasir, semen, CKS, & silica fume 138
Gambar L 4. 6 Pengadukan Campuran Pasta Bata Ringan 138
Gambar L 4. 7 Busa Dimasukkan Kedalam Campuran Pasta Bata Ringan 139
Gambar L 4. 8 Aduk Campuran Hingga Homogen 139
Gambar L 4. 9 Penuangan Campuran Bata Ringan Kedalam Cetakan 139
Gambar L 4. 10 Pelepasan Cetakan Bata Ringan 140
Gambar L 4. 11 Bata Ringan Diletakkan Ditempat Yang Disediakan 140
Gambar L 4. 12 Proses Curing Bata Ringan 140
Lampiran 5 Proses Pengujian Bata Ringan 148
Gambar L 5. 1 Penimbangan & Pengukuran Benda Uji Sebelum Dipotong 141
Gambar L 5. 2 Pemotongan Benda Uji 141
Gambar L 5. 3 Proses Penimbangan Benda Uji 141
Gambar L 5. 4 Proses Pengeringan Benda Uji Dengan Oven 142
Gambar L 5. 5 Proses Perendaman Benda Uji 142
Gambar L 5. 6 Penimbangan Benda Uji Setelah Direndam & Dikeringkan 143
Gambar L 5. 7 Persiapan Peletakaan Benda Uji Pada Alat Uji Kuat Tekan 143
Gambar L 5. 8 Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Hingga Kuat Tekan Maksimum 144

ABSTRAK

Salah satu bagian penting dalam konstruksi gedung adalah dinding. Bata ringan merupakan inovasi pengembangan beton ringan atau *lighweight concrete*. Berat jenis bata ringan yang berkisar 500-1600 kg/m^3 sehingga memberikan keuntungan dalam mengurangi beban struktur bangunan. Penggunaan bata ringan dianggap lebih efisien serta memberikan dampak yang baik terhadap lingkungan. Sebagai solusi penggunaan material dari alam secara berlebih yang dapat menyebabkan terbatasnya material dari alam, maka pemanfaatan limbah untuk kebutuhan bahan konstruksi menjadi solusi alternatif untuk mencegah kerusakan lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan studi eksperimental terhadap bata ringan berjenis *Cellular Lighweight Concrete* dengan mengganti sebagian agregat halus pasir dengan limbah cangkang kelapa sawit hasil pengolahan pabrik untuk mengetahui pengaruh terhadap sifat mekanis dan fisis pada bata ringan. Serta untuk meningkatkan kekuatan antar ikatan pada campuran bata ringan ditambahkan *silica fume* yang sudah banyak dikaji dapat meningkatkan kekuatan ikatan pada campuran beton.

Bata ringan akan dibuat dengan komposisi penggunaan campuran cangkang kelapa sawit sebesar 4%, 6%, 8%, 10% dari berat agregat halus. Penggunaan *silica fume* sebanyak 10% dari berat semen yang digunakan pada setiap campuran dengan cangkang kelapa sawit. Bobot isi kering rencana sebesar 700 kg/m^3. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian bobot isi, penyerapan air, serta pengujian kuat tekan yang berpedoman pada SNI 8640-2018.

Didapatkan bahwa seiring dengan penambahan kadar cangkang kelapa sawit dan *silica fume* sebesar 10%, kuat tekan dan bobot isi akan terus menurun, tetapi kadar penyerapan air pada bata ringan akan terus naik. Hal ini bisa diakibatkan dari sifat dasar cangkang kelapa sawit yang berbeda dengan pasir sehingga memperngaruhi sifat fisik dan mekanis dari bata ringan.

Kata kunci: Bata ringan, *Cellular Lightweight Concrete*, Cangkang kelapa sawit, *Silica fume*

ABTRACT

One important aspect in building construction is the wall. Lightweight brick is an innovation in the development of lightweight concrete. The density of lightweight brick ranges from 500-1600 kg/m3, which provides advantages in reducing the structural load of the building. The use of lightweight brick is considered more efficient and has a positive impact on the environment. As a solution to excessive use of natural materials which can lead to limited availability, utilizing waste for construction material needs is an alternative solution to prevent environmental damage. In this study, an experimental study was conducted on Cellular Lightweight Concrete brick by partially replacing fine sand aggregate with waste from processed oil palm shells to determine the effects on the mechanical and physical properties of the brick. In addition, silica fume was added to improve the bond strength of the brick mixture, which has been shown to increase the bond strength of concrete mixtures.

The lightweight brick will be made with a composition of 4%, 6%, 8%, 10% of the weight of fine aggregate from oil palm shells. Silica fume will be added at 10% of the weight of cement used in each mixture with oil palm shells. The planned dry density is 700 kg/m3. The tests conducted include density, water absorption, and compressive strength testing in accordance with SNI 8640-2018.

It has been found that with the increase of the percentage of palm kernel shell and silica fume up to 10%, the compressive strength and density of the lightweight concrete block will continue to decrease, while the water absorption rate will continue to increase. This can be attributed to the different inherent properties of palm kernel shell compared to sand, which affects the physical and mechanical properties of the lightweight concrete block.

Keywords: *Lightweight brick, Cellular Lightweight Concrete, Palm kernel shell, Silica fume*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan dunia konstruksi terus menerus berkembang sehingga banyak infrastruktur baru berdiri setiap waktunya. Terlebih pembangunan gedung-gedung baru yang setiap tahunnya terus bertambah begitu pesat yang mengakibatkan laju perkembangan material konstruksi turut mengalami peningkatan untuk memenuhi kebutuhan akan material yang efisien serta efektif dalam pembangunan infrastruktur. Salah satu bagian penting dalam konstruksi gedung adalah pasangan dinding yang difungsikan sebagai partisi antar ruangan.

Seperti yang diketahui, dinding sebagai salah satu konstruksi non-struktural yang terdiri umumnya dari pasangan bata merah yang memiliki berat jenis yang cukup besar, yaitu sebesar 1900 kg/m^3, sehingga menjadi beban yang cukup berat untuk struktur bangunan (Siagian, 2021). Selain itu, bata merah diproses dengan cara yang menimbulkan dampak kerusakan lingkungan, karena bahan penyusun bata merah sendiri menggunakan tanah liat yang dimana tanah liat bisa didapatkan dari penggalian lahan perbukitan dan sejenisnya. Hal itu juga yang mempengaruhi kurangnya penggunaan bata merah pada bangunan infrastruktur dan mencari inovasi lain dalam penggunaan material pada pasangan dinding.

Salah satu penggunaan material yang inovatif untuk gedung-gedung adalah bata ringan. Apabila membandingankan bata merah dengan bata ringan, maka bata ringan lebih ramah lingkungan, karena mengurangi dampak dari penggalian untuk mengambil tanah liat serta mengurangi tingkat polusi udara yang disebabkan asap dari hasil pembakaran pada tungku batu bata merah. Bata ringan sendiri merupakan salah satu inovasi pengembangan beton ringan atau *lightweight concrete* pada dunia konstruksi yang memiliki nilai efesiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bata merah pada umumnya. Bata ringan

adalah material konstruksi yang memiliki berat jenis lebih ringan, yaitu sekitar 500-1600 kg/m^3 (Siagian, 2021) sehingga apabila bata ringan digunakan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) akan dapat secara signifikan mengurangi berat sendiri bangunan (Arita dkk., 2017). Selain karena keunggulan dari berat jenis yang lebih ringan, bata ringan juga memiliki keunggulan redaman suara yang baik, sehingga jika digunakan sebagai material dinding dapat mengurangi tingkat kebisingan yang data dari luar dinding (Prasetya & Kusuma, 2017). Bata ringan sendiri tersusun dari campuran material seperti semen, air, pasir dan *foaming agent*. Tetapi pada saat ini penggunaan pasir yang terus menurus mengikuti laju perkembangan konstruksi dapat menyebabkan terbatasnya material yang ada di alam. Oleh karena itu diperlukan alternatif untuk mengurangi penggunaan material alam yang terus menerus seperti pasir kedepannya, salah satunya adalah memanfaatkan salah satu limbah padat dari hasil industri kelapa sawit, yaitu cangkang kelapa sawit (*palm kerenl shell*).

Disamping itu, Indonesia merupakan negara dengan perkebunan dan penghasil kelapa sawit terbesar didunia. Industri ini menjadi salah satu unggulan dan memberikan kontribusi yang terhadap ekspor nonmigas nasional cukup besar. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Indonesia yang diterbitkan dalam ("Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2020," 2021) mencatat pada tahun 2020 luas areal perkebunan kelapa sawit yang ada di Indonesia sebesar 14 juta hektar. Dimana luas areal kelapa sawit tersebut dapat memproduksi CPO (*Crude palm oil*) sebesar 44 juta ton pada tahun 2020. Menurut data yang diterbitkan dari (USDA-FAS, 2020), pada tahun 2019 minyak kelapa sawit menempati urutan pertama pada produksi kebutuhan minyak nabati dunia dengan presentase 36,7 %. Hal ini disebabkan karena produktivitas yang tinggi dan biaya produksi yang rendah membuat harga minyak kelapa sawit relatif lebih murah.

Tingkat produksi dan kosumsi CPO (*Crude palm oil*) yang tinggi dapat meningkatkan efek negatif terhadap lingkungan dengan adanya produksi limbah sebagai produk sampingan minyak kelapa sawit. Dalam prosesnya, limbah yang dihasilkan berwujud limbah cair, gas, dan padat. Salah satu limbah padat dihasilkan dari industri ini adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit

atau *palm kernel shell* merupakan tempurung kelapa sawit yang bertekstur keras yang berfungsi untuk melindungi isi dari buah sawit tersebut (Prasetyo & Oddang, 2019). Berkembangnya industri minyak kelapa sawit menyebabkan meningkatnya limbah cangkang kelapa sawit yang merupakan salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar, yaitu mencapai 60% dari produksi minyak kelapa sawit (Oktarina & Natalina, 2018). Penggunaan material cangkang kelapa sawit saat ini masih minim dalam dunia konstruksi akan tetapi Indonesia sebagai negara dengan industri kelapa sawit terbesar didunia, memiliki potensi untuk menjadikan limbah cangkang kelapa sawit ini sebagai salah satu material alternatif yang dapat digunakan menggantikan pasir terutama pada pembuatan bata ringan nonstruktural.

Menurut (Oktarina & Natalina, 2018) dalam penelitian mengenai penggunaan cangkang kelapa sawit untuk bata beton ringan, komposisi cangkang kelapa sawit sebesar 3% dan 6% dari berat pasir yang digunakan mampu meningkatkan kuat tekan dari bata ringan sebesar 9,59% dan 18,64. Penyerapan yang terjadi juga terus meningkat seiring dengan pertambahan kadar presentase CKS. Berat jenis yang dihasilkan didapatkan dari presentase 12% CKS, yaitu sebesar 202,308 kg/m^3. Melihat dari hal tersebut, potensi untuk memanfaatkan limbah cangkang kelapa sawit disamping mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, juga meningkatkan nilai guna dari cangkang kelapa sawit yang dapat dinovasikan sebagai alternatif pengganti bahan bangunan untuk campuran pembuatan bata ringan. Tetapi untuk mendapatkan mutu bata ringan yang baik, perlu dilakukan rekayasa lebih lanjut seperti penambahan bahan tambah (*admixture*).

Salah satu bahan tambah (*admixture*) yang dapat digunakan adalah *Silica fume*. *Silica fume* sendiri merupakan material *pozzolanic* yang dihasilkan dari produksi sampingan reduksi kuarsa murni (SiO_2) dengan batu bara di tanur listrik ketika pembuatan silikon. Ditinjau dari sifat mekaniknya, *Silica fume* ini dapat mengisi rongga-rongga yang ada di antara campuran bahan semen, sehingga dapat berdampak pada peningkatan kuat tekan campuran pada beton (Suryanita, 2020). Menurut (Y. Subagiono dkk., 2020) dalam penelitian perilaku mekanik bata ringan dengan *silica fume*, mengganti sebagian semen dengan *silica* fume pada

komposisi optimal sebesar 10% dari berat semen dapat meningkatkan kuat tekan pada bata ringan bertipe CLC (*celullar lightweight concrete*) pada umur 28 hari sebesar 87,46% dari kuat tekan normal.

Berdasarkan dari beberapa penjelasan diatas, penelitian ini akan mengkaji mengenai pemanfaatan penggunaan cangkang kelapa sawit yang digunakan untuk menggantikan agregat halus sebagai bahan penyusun bata ringan dan *silica fume* sebagai bahan pengganti semen. Serta mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik bata ringan berupa kuat tekan. Dan juga mengkaji pengaruhnya terhadap sifat fisik bata ringan berupa absorpsi air, bobot isi dan redaman suara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang dapat dicakup dalam penelitian ini, yaitu bagaimana pengaruh penggunaan Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica Fume* terhadap kuat tekan, bobot isi, serta tingkat penyerapan air pada bata ringan CLC (*Cellular Lighweight Concrete*) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan Cangkang Kelapa Sawit dan *silica fume* terhadap kuat tekan, bobot isi, serta tingkat penyerapan air pada bata ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diperoleh sebagai berikut.

1. Menghasilkan komposisi campuran bata ringan dengan memanfaatkan penggunaan cangkang kelapa sawit dan *silica fume* yang optimum untuk pembuatan bata ringan,
2. Meningkatkan nilai guna dari cangkang kelapa sawit yang merupakan limbah dari pengolahan industri kelapa sawit sebagai bahan campuran pada bata ringan

3. Mengetahui kelayakan bata ringan dengan menggunakan cangkang kelapa sawit dan *silica fume* sebagai material konstruksi.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan benda uji yang dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Adapun untuk memperjelas batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Material yang digunakan sebagai berikut.
   a. Air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
   b. Bahan baku cangkang kelapa sawit didapatkan dari limbah pabrik kelapa sawit dari PT.Pucuk Jaya, Kalimantan Timur.
   c. Agregat halus (pasir) didapatkan dari Kali Progo, Kulonprogo, DIY.
   d. *Foaming agent* yang digunakan bermerk ADT
   e. Semen yang digunakan adalah semen tipe 1 berjenis PCC (*Portland Composit Cement*) merek Tiga Roda.
   f. *Silica fume* produksi dari PT. Sika Indonesia.
2. Variasi kadar penggunaan cangkang kelapa sawit yang digunakan adalah sebesar 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap berat agregat halus.
3. Kadar bahan tambah *silica fume* yang digunakan adalah sebesar 10% dari berat semen yang digunakan, didasarkan dari penelitian (Y. Subagiono dkk., 2020) yang telah dilakukan sebelumnya.
4. Pembuatan bata ringan menggunakan proses CLC (*Cellular Lightwight Concrete*).
5. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 20 cm, tebal 10 cm.
6. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
7. Sedangkan, pembuatan benda uji dilakukan pada pabrik bata ringan CLC dari Bota Bata.

8. Pengujian dilakukan ketika bata ringan berumur 28 hari.
9. Cangkang kelapa sawit sebelum digunakan akan digiling pada penggilingan batu dengan ukuran butiran maksimal 4,75 mm.
10. Berat basah campuran adonan bata ringan sebesar 700 gram/liter hingga 850 gram/liter.
11. *Foam agent* dibuat dengan perbandingan 1 liter *foam agent* dicampur dengan 40 liter air.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bata Ringan dengan Subtitusi Cangkang Kelapa Sawit

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, bata ringan atau beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3. Bahan penyusun dari bata ringan sendiri terdiri dari semen, agregat halus (pasir), air dan *foaming agent.* Untuk mengembangkan bata ringan agar mendapatkan efektivitas dan efisiensi yang baik, banyak bahan tambah digunakan pada bata ringan hingga mensubtitusi sebagian dari bahan penyusun bata ringan dengan bahan penyusun lain untuk mengoptimalkan kegunaan bata ringan. Salah satu bahan subtitusi untuk pada ringan adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang sawit sebagai limbah padat hasil indsutri kelapa sawit dapat digunakan sebagai material penyusun pengganti dari pasir untuk meningkatkan daya guna dari limbah cangkang kelapa sawit.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian mengenai penggunaan cangkang sawit sebagai bahan subtitusi pada campuran bata ringan CLC (*Cellular Lightwight Concrete*) yang pernah diteliti sebelumnya sebagai penunjang serta informasi pendukung dalam menyelesaikan penelitian ini. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan.

2.2.1 Variasi komposisi cangkang kelapa sawit sebagai subtitusi agregat halus

1. Analisis Kuat Tekan Beton K-225 Menggunakan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar (Syarifudin dkk., 2020).

   Penelitian ini dilakukan dengan bertujuan untuk mengkaji pengaruh dari kuat tekan beton dengan mengganti sebagian dari agregat kasar kerikil menggunakan cangkang kelapa sawit pada campuran beton sehingga dapat mengahasilkan kuat tekan beton yg optimum. Variasi presentase cangkang sawit yang digunakan untuk mensubtitusi kerikil pada campuran beton di

penelitian ini adalah 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat agregat kasar pada campuran beton. Pada penelitian ini digunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15x15x15 cm yang akan di uji pada umur masing-masing benda uji adalah 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dengan pengujian kuat tekan beton. Di rencanakan mutu beton yang digunakan adalah beton mutu K-225. Dari hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan di penelitian ini didapatkan pada campuran beton normal didapatkan kuat tekan sebesar 231,73 kg/cm^2, pada campuran variasi 5% dengan umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 217,39 kg/cm^2, pada variasi 10% dengan umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 164,55 kg/cm^2, dan pada variasi 15% dengan umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 153,98 kg/cm^2. Dari hasil pengujian kuat tekan pada penelitian ini, penggunaan limbah cangkang kelapa sawit tidak mempunyai kuat tekan yang melebihi dari kuat tekan beton normal. Penurunan kuat tekan ini bisa disebabkan oleh material cangkang kelapa sawit yang kurang baik, serta kemungkinan masih ada bagian sisa-sisa dari inti kelapa sawit yang bisa bersifat membusuk yang dapat mengurangi kekuatan beton.

2. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan (Prasetyo & Oddang, 2019).

   Penelitian ini menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti sebagian berat agregat halus (pasir). Penelitian ini bertujuan untuk mencoba memanfaatkan penggunaan limbah cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*) sebagai pengganti agregat dalam pembuatan bata ringan yang terbaik. Penelitian ini menggunakan variasi cangkang kelapa sawit sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat pasir yang kemudian akan dikaji dari kuat tekan bata ringan dan berat jenis bata ringan yang dihasilkan. Benda uji yang digunakan setiap variasi berjumlah 5 buah benda uji. Hasil dari penelitian ini didapatkan kuat tekan bata ringan sesuai penambaran variasi cangkang kelapa sawit, yaitu sebesar 12,15 MPa, 13,08 MPa, 10,98 MPa, 8,6 MPa, 5,38 MPa dan 3,33 MPa dimana pada variasi 5% CKS terdapat kenaikan kuat tekan sebesar 7,59%

dari bata ringan variasi 0%. Berat jenis yang diapatkan sesuai penambahan variasi sebesar 2015 kg/m^3, 1890 kg/m^3, 1900 kg/m^3, 1760 kg/m^3, 1680 kg/m^3, 1570 kg/m^3 dimana berat jenis terendah pada variasi penambahan 25% CKS. Dari penelitian ini didapatkan simpulan bahwa penambahan cangkang kelapa sawit sebesar 5% dapat menaikkan kuat tekan bata beton ringan sebesar 7,59% dari 12,15 MPa tanpa penambahan cangkang kelapa sawit menjadi 13,08 MPa dengan penambahan 5% cangkang kelapa sawit. Didapatkan juga berat jenis terendah pada bata beton ringan di penambahan cangkang kelapa sawit sebesar 25%, yaitu 1570 kg/m^3.

3. Analisis Batako dengan Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis (Oddang, 2019).

   Penelitian ini menggunakan limbah tempurung kelapa sawit atau cangkang kelapa sawit untuk menggantikan sebagian agregat halus pada batako. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh indutri kelapa sawit berupa limbah padat cangkang kelapa sawit. Batako yang dibuat pada penelitian ini menggunakan komposisi 1 semen : 6 pasir dengan variasi cangkang kelapa sawit 0%, 5%, 10%, 15%dan 20% dari berat pasir. Pada penelitian ini dilakukan metode pengujian berupa uji mekanis batako, yaitu dengan kuat tekan dan pengujian fisik batako dengan berat jenis pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 25 buah benda uji. Dari hasil pengujian kuat tekan batako didapatkan kuat tekan untuk variasi 0% sebesar 11,03 MPa. untuk variasi 5%, 10%, 15% dan 20% diperoleh kuat tekan berurutan sebesar 12,08 MPa, 9,88 MPa, 7,40 MPa dan 3,38 MPa. Pada hasil pengujian berat jenis didapat kan untuk variasi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% sebesar 2010 kg/m^3, 1880 kg/m^3, 1910 kg/m^3, 1750 kg/m^3 dan 1670 kg/m^3. Dari hasil yang telah didapatkan dari penelitian ini, pada kuat tekan variasi 5% cangkang kelapa sawit, mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 8,53% dari mutu normal.

4. Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit Untuk Bata Beton Ringan (Oktarina & Natalina, 2018).

   Penelitian ini menggunakan limbah cangkang kelapa sawit untuk menggantikan sebagian berat pasir dengan kadar variasi sebesar 0%, 3%, 6%, 9% dan 12%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti sebagian pasir dalam campuran bata beton ringan. Beton ringan pada penelitian ini akan dibuat dengan diberi tambahan cangkang kelapa sawit sebagai bahan tambah dengan mengurangi jumlah presentase dari berat pasir. Sehingga campuran yang digunakan sebanyak 5 variasi. Benda uji yang digunakan setiap variasi berjumlah 6 buah. Hasil dari penelitian ini menunjukan penambahan cangkang kelapa sawit berpengaruh terhadap kuat tekan bata beton ringan. Bata beton ringan dengan variasi kadar 3% dan 6% cangkang kelapa sawit memiliki kuat tekan sebesar 27,47 kg/cm^2 dan 29,76 kg/cm^2 dimana mengalami peningkatan sebesar 9,49% dan 16,64% dari bata beton normal dengan kuat tekan sebesar 25,09 kg/cm^2. Hasil kuat tekan ini melampaui kuat tekan mutu bata beton pejal IV dan berdasarkan PUBI 1989 melampaui kuat tekan mutu beton pejal A1. Dari penelitian ini juga didapatkan hasil penyerapan air yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan variasi CKS, yaitu di variasi 12% CKS dengan nilai penyerapan air sebesar 14,97 %. Nilai ini masih dibawah persyaratan maksimum yang diisyaratkan oleh SNI 03-0349-1989 dan PUBI 1989, yaitu sebesar 25%. Berat jenis dari penambahan CKS pada penelitian ini didapatkan nilai maksimum pada variasi 12% dengan berat jenis sebesar 202,308 kg/m^3.

5. Cangkang Kelapa Sawit sebagai pengganti sebagian aggregat kasar pada beton normal (Philips dkk., 2017)

   Pada penelitian ini, cangkang kelapa sawit digunakan untuk menggantikan sebagian dari aggregat kasar yang digunakan pada beton normal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek dari cangkang kelapa sawit terhadap beton normal. Efek dari penggunaan cangkang kelapa sawit

terhadap beton normal seperti *workability*, kepadatan, kuat tekan, kuat lentru serta penyerapan air. Pencampuran dilakukan berdasarkan dari volume serta komposisi cangkang kelapa sawit sebagai aggregat kasar sebesar 0%, 25%, dan 50%. Dalam penelitian ini, diamati bawah kuat tekan, kuat lentur, *workability*, serta kepadatan dari beton menggunakan cangkang kelapa sawit .cenderung menurun seiring dengan penambahan cangkang kelapa sawit. Serta penyerapan air meningkat seiring dengan penambahan cangkang kelapa sawit. Meskipun begitu, pada penelitian ini beton dengan menggunakan cangkang kelapa sawit masih memenuhi standar untuk penggunaan beton.

2.2.2 Variasi kadar *silica fume* pada campuran bata ringan

1. Perilaku Mekanik Bata Ringan dengan Penambahan *Silica Fume* (Y. Subagiono dkk., 2020).

   Penelitian ini menggunakan *silica fume* untuk mengsubtitusi sebagi semen yang ada pada campuran bata ringan untuk mendapatkan hasil optimal pada pada campuran bata ringan. Penetilian ini bertujuan untuk menganalisi komposisi campuran optimal pada bata ringan yang bertipe *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) dengan melakukan penambahan *silica fume*. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji dengan ukuran 10 cm x 20 cm x 60 cm dengan tiap variasi dengan 3 sampel benda uji. Ada 5 variasi yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen yang digunakan dalam campuran. Dilakukan pengujian sifat mekanik setelah umur benda uji 28 hari. Dari penelitian ini didapatkan hasil uji mekanis kuat tekan pada umur 28 hari, yaitu sebesar 0,47 MPa untuk komposisi 1, 0,82 MPa untuk komposisi 2, 0,87 MPa untuk komposisi 3, 0,70 MPa untuk komposisi 4 dan 0,61 MPa untuk komposisi 5. Komposisi yang optimal didapatkan pada komposisi 3 dengan tambahan 10% *silica fume* dari berat semen. Peningkatan kuat tekan yang terjadi pada komposisi 3 hingga 87,46% pada umur 28 hari. Ini memberitahu bawah penambahan *silica fume* dapat meningkatakan kuat

tekan dari bata ringan. Penelitian ini juga menghasilkan uji mekanis modulus elastis sebesar 527,62 kg/m^3.

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penelitian	**Syarifudin dkk (2020)**	**Prasetyo dkk (2019)**	**Oddang (2019)**	**Oktarina dkk (2018)**	**Philips dkk., (2017)**
Judul	Analisis Kuat Tekan Beton K-225 Menggunakan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar	Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan	Analisis Batako dengan Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis	Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit Untuk Bata Beton Ringan	Cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian aggregat kasar pada beton normal
Tujuan Penelitian	Mengkaji pengaruh dari kuat tekan beton dengan mengganti sebagian dari agregat kasar kerikil menggunakan	Penelitian ini bertujuan untuk mencoba memanfaatkan penggunaan limbah cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*) sebagai	Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan cangkang kelapa	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari cangkang kelapa sawit ada beton normal

Lanjutan Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

	cangkang kelapa sawit pada campuran beton sehingga dapat mengahasilkan kuat tekan beton yg optimum.	pengganti agregat dalam pembuatan bata ringan yang terbaik	indutri kelapa sawit berupa limbah padat cangkang kelapa sawit	sawit sebagai bahan pengganti sebagian pasir dalam campuran bata beton ringan	
Metode Penelitian	Presentase variasi CKS yang digunakan 0%,5%,10% dan 15% berat agregat kasar. Digunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15x15x15 cm	Penelitian ini menggunakan variasi cangkang kelapa sawit sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat	Batako yang dibuat pada penelitian ini menggunakan komposisi 1 semen : 6 pasir dengan variasi cangkang kelapa sawit 0%, 5%, 10%, 15%dan 20% dari	Beton ringan pada penelitian ini akan dibuat dengan perbandingan 1 Pc : 7 Ps, dimana campuran akan diberi tambahan cangkang kelapa sawit	Beton yang dibuat pada penelitian ini menggunakan perbandingan 1:2:3 untuk semen, aggregat halus, serta aggregat kassr.

Lanjutan Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Terdahulu

	yang akan di uji pada umur masing-masing benda uji adalah 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dengan pengujian kuat tekan beton. Di rencanakan mutu beton yang digunakan adalah beton mutu K-225.	pasir yang kemudian akan dikaji dari kuat tekan bata ringan dan berat jenis bata ringan yang dihasilkan. Benda uji yang digunakan setiap variasi berjumlah 5 buah benda uji.	berat pasir. Pada penelitian ini dilakukan metode pengujian berupa uji mekanis batako, yaitu dengan kuat tekan dan pengujian fisik batako dengan berat jenis pada umur 28 hari dengan	sebagai bahan tambah dengan mengurangi jumlah presentase dari berat pasir. Sehingga campuran yang digunakan sebanyak 5 variasi. Benda uji yang digunakan setiap variasi berjumlah 6 buah. terhadap kuat tekan bata beton ringan. jumlah benda uji sebanyak 25 buah benda uji	Dengan penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian dari aggregat kasar dengan komposisi 25% dan 50% dari berat aggregat kasar.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Hasil Penelitian	Hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan di penelitian ini pada umur 28 hari sesuai dengan PBI 1974 didapatkan pada campuran beton normal didapatkan kuat tekan sebesar 231,73 kg/cm^2,	Hasil dari penelitian ini didapatkan kuat tekan bata ringan sesuai penambaran variasi cangkang kelapa sawit, yaitu sebesar 12,15 MPa, 13,08 MPa, 10,98 MPa, 8,6 MPa, 5,38 MPa dan 3,33 MPa dimana pada variasi 5% CKS terdapat kenaikan kuat tekan	Dari hasil pengujian kuat tekan batako didapatkan kuat tekan untuk variasi 0% sebesar 11,03 MPa. untuk variasi 5%, 10%, 15% dan 20% diperoleh kuat tekan berurutan sebesar 12,08 MPa, 9,88 MPa, 7,40 MPa dan 3,38 MPa.	Hasil dari penelitian ini menunjukan penambahan cangkang kelapa sawit berpengaruh terhadap kuat tekan bata beton ringan. Bata beton ringan dengan variasi kadar 3% dan 6% cangkang kelapa sawit memiliki kuat tekan sebesar 27,47 kg/cm^2	Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa seiring dengan penambahan cangkang kelapa sawit pada beton akan membuat penurunan kuat tekan, kuat lentur, serta kepadatan. Juga terjadi kenaikan tingkat penyerapan air.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

	pada campuran variasi 5% didapatkan kuat tekan sebesar 217,39 kg/cm^2, pada variasi 10% didapatkan kuat tekan sebesar 164,55 kg/cm^2, dan pada variasi 15% didapatkan kuat tekan sebesar 153,98 kg/cm^2.	sebesar 7,59% dari bata ringan variasi 0%. Berat jenis yang diapatkan sesuai penambahan variasi sebesar	Pada hasil pengujian berat jenis didapat kan untuk variasi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% sebesar 2010 kg/m^3, 1880 kg/m^3, 1910 kg/m^3, 1750 kg/m^3 dan 1670 kg/m^3.	dan 29,76 kg/cm^2 dimana mengalami peningkatan sebesar 9,49% dan 16,64% dari bata beton normal dengan kuat tekan	Akan tetapi, penggunaan cangkang kelapa sawit pada beton masi memenuhi standar untuk beton.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

	Dari hasil pengujian kuat tekan pada penelitian ini, penggunaan limbah cangkang kelapa sawit tidak mempunyai kuat tekan yang melebihi dari kuat tekan beton normal.	2015 kg/m^3, 1890 kg/m^3, 1900 kg/m^3, 1760 kg/m^3, 1680 kg/m^3, 1570 kg/m^3 dimana berat jenis terendah pada variasi penambahan 25% CKS.	Dari hasil yang telah didapatkan dari penelitian ini, pada kuat tekan variasi 5% cangkang kelapa sawit, mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 8,53% dari mutu normal.	sebesar 25,09 kg/cm^2. Hasil kuat tekan ini melampaui kuat tekan mutu bata beton pejal IV dan berdasarkan PUBI 1989 melampaui kuat tekan mutu beton pejal A1. Dari penelitian ini juga didapatkan hasil penyerapan air yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

				penambahan variasi CKS, yaitu di variasi 12% CKS dengan nilai penyerapan air sebesar 14,97 %. Berat jenis dari penambahan CKS pada penelitian ini didapatkan nilai maksimum pada variasi 12% dengan berat jenis sebesar 202,308 kg/m^3.	

2.4 Keaslian Penelitian

Berdasarkan beberapa data dari penelitian yang telah dilakukan seperti pada Tabel 2.1 di atas. Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai subtitusi dari agregat halus pada bata ringan menggunakan metode *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Presentase penggunaan cangkang kelapa sawit adalah sebesar 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat agregat halus. Selain itu, digunakan bahan tambah berupa *silica fume* yang menggantikan sebagian semen yang digunakan sebagai variabel terikat dengan presentase pengganti 10% dari berat semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, bobot isi, dan penyerapan air. Benda uji akan dibuat dengan bentuk balok dengan ukuran 60 x 20 x 10 cm. Pengujian akan dilakukan pada bata ringan berumur 28 hari.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Bata Ringan

Beton merupakan material bahan konstruksi yang sudah umum digunakan pada dunia konstruksi untuk pembangunan segala macam infrastruktur. Material ini merupakan bahan campuran yang tersusun dari beberapa macam material antara lainnya adalah semen, agregat halus, agregat kasar, air serta bahan tambahan lainnya. Dikarenakan beton bersifat material komposit yang artinya kualitas beton sangat bergantung dengan kualitas dari masing-masing bahan penyusun beton.

Sedangkan beton ringan adalah campuran mortar beton yang mempunyai berat jenis yang lebih rendah dari beton pada umumnya. menurut SNI 03-3449-2002, berat isi mortar beton ringan tidak boleh melebihi 1850 kg/m^3. Keunggulan pada berat jenis yang kecil pada beton ringan ini dapat dimanfaatkan untuk digunakan pada bangunan *high rise building*, karena dapat mengurangi berat struktur sendiri bangunan tersebut secara signifikan. Beton ringan yang digunakan pada material pasangan dinding dimanfaatkan sebagai bata ringan.

Menurut SNI 8640- 2018 bata ringan adalah suatu jenis unsur bangunan yang berbentuk prisma siku dengan ukuran yang lebih besar dari bata merah dan memiliki bobot isi yang lebih ringa dari bahan bangunan beton atau bata beton pada umumnya. memiliki bobot isi sebesar 400 kg/m^3 hingga 1400 kg/m^3. Bata ringan sendiri merupakan alternatif dari penggunaan bata merah yang sekarang tidak relevan karena dianggap tidak ekonomis karena memiliki dimensi yang kecil. Selain hal tersebut, pembuatan bata merah cenderung relatif lebih lama dan menimbulkan polusi dari pembakaran pada pembuatan bata merah. Menurut Monica dkk., (2021) keuntungan lain dari menggunakan bata ringan adalah dapat mengefisiensi biaya dan waktu, tahan terhadap panas dan rembesan, serta dapat meredam suara dari luar.

Bata ringan memiliki kepadatan yang rendah yang didapatkan dari menciptakan rongga-rongga di antara morta, serta juga didapatkan dengan menggunakan agregat dengan pori-pori besar. Karena tingkat kepadatan yang lebih rendah, nilai kuat tekan yang dihasilkan dari bata ringan juga rendah dari rata-rata beton normal. Karena memiliki kuat tekan yang cenderung sedang, bata ringan banyak digunakan untuk partisi dalam konstruksi bangunan.

Gambar 3. 1 Bata Ringan

Sumber: Dokumen pribadi

Dalam prakteknya, produksi bata ringan dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu dengan menghilangkan agregat kasar yang digantikan dengan agregat ringan dalam campuran bata ringan atau dengan pembentukan rongga udara dalam campuran adukan mortar pada bata ringan dengan menambahkan bahan tertentu yang akan menimbulkan busa yang menyebabkan adanya rongga udara pada campuran bata ringan.

Bata ringan sendiri memiliki klasifikasi berdasarkan fungsi struktural maupun non-struktural. Penggunaan bata ringan pada pasangan dinding pada umumnya adalah pasangan bata ringan non-struktural yang dapat digunakan pada bangunan konstruksi baja maupun beton. Bata ringan juga memiliki klasifikasi

berdasarkan lingkungan yang dihadapi pada penggunaan yang terekspos (*outdoor*) dan tidak terekspos (*indoor*). Kondisi terekspos adalah dimana bata ringan terkena langsung dengan kondisi luar lingkungan seperti kondisi basah pada kamar mandi, sedangkan kondisi tidak terekspos adalah penggunaan bata ringan pada bagian lainnya yang tidak langung berhubungan dengan lingkungan luar atau kondisi basah atau kering.

Dalam SNI 8640-2018 telah diatur menganai persyaratan bata ringan untuk penggunaan pasangan dinding, mulai dari pesryatan fisik berupa ukuran dimensi bata ringan dan bobot isi bata ringan hingga persyatan mutu untuk bata ringan baik struktural maupun nonstruktural. Berikut merupakan syarat ukuran dan berat bata ringan sesuai dengan SNI 8640-2018 yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Ukuran umum bata ringan

Ukuran (mm)			**Toleransi (mm)**
Panjang	**Lebar**	**Tebal**	
600 + 3 600 - 5	200 + 3 200 - 5	75 100 125 150	± 2

Sumber: SNI 8640-2018

Tabel 3. 2 Kategori berat bata ringan

	Kategori Berat	**Bata Struktural**		**Bata Nonstruktural**	
		Terekspos lingkungan (*outdoor*)	**Tidak terekspos lingkungan (in*door*)**	**Terekspos lingkungan (*outdoor*)**	**Tidak terekspos lingkungan (in*door*)**
Kelas		IA	IB	IIA	IIB
Bobot isi kering oven (kg/m^3)	500			400-600	
	700		600-800	600-800	
	900	800-1.000	800-1.000	800-1.000	
	1.100	1.000-1.200	1.000-1.200	1.000-1.200	
	1.300	1.200-1.400	1.200-1.400	1.200-1.400	

Sumber: SNI 8640-2018

Adapun syarat mutu yang telah disyaratkan oleh SNI 8640-2018 mengenai mutu bata ringan untuk pasangan dinding. Permukaan luar pada bata ringan harus terhindar dari kecacatan dengan toleransi masih dapat ditutup oleh mortar serta rusuk dari bata ringan harus siku terhadap yang lain dan tidak mudah rusak oleh tangan. Sedangkan syarat fisis bata ringan dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Syarat fisis bata ringan

Syarat fisis	**Satuan**	**Bata Struktural**		**Bata Nonstruktural**	
		Terekspos lingkungan (*outdoor*)	**Tidak terekspos lingkungan (in*door*)**	**Terekspos lingkungan (*outdoor*)**	**Tidak terekspos lingkungan (in*door*)**
Kelas	-	IA	IB	IIA	IIB
Kuat tekan rata-rata	MPa	6	4	2	
kuat tekan individu	MPa	5,4	3,6	1,8	
Penyerapan air maks	%vol	25	-	25	-
Tebal min	mm	98		98	73

Sumber: SNI 8640-2018

Berdasarkan dari klasifikasinya, bata ringan dibagi menjadi 2 kelas, yaitu bata kelas I dan bata kelas II dengan kondisi tertentu sebagai berikut.

1. Bata ringan kelas IA merupakan bata ringan struktural yang terekspos dengan lingkungan luar.
2. Bata ringan kelas IB merupakan bata ringan struktural yang tidak terekspos dengan lingkungan luar.
3. Bata ringan kelas IIA merupakan bata ringan nonstruktural yang terekspos dengan lingkungan luar.
4. Bata ringan kelas IIB merupakan bata ringan nonstruktural yang tidak terekspos dengan lingkungan luar.

Sebagai catatan, penggunaan bata ringan kelas I dapat digunakan sebagai pengganti bata ringan kelas II, tetapi tidak sebaliknya.

3.2 Jenis Bata Ringan

Umumnya sering dijumpai dua jenis bata ringan yang digunakan sebagai material pasangan dinding, yaitu *Celullar Lightweight Concrete* (CLC) dan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC). Perbedaan dari bata ringan CLC dan AAC adalah dari metode pembuatan yang dilakukan. Bata ringan CLC dibuat dengan menambahkan busa yang dicampurkan kedalam adukan, sedangkan bata ringan AAC memiliki gelembung udara yang mengembang setelah *mixing*. Menurut Suryanita, (2020) bata ringan AAC memiliki kuat tekan yang lebih baik dan penyusutan yang lebih rendah dari bata ringan CLC, tetapai bata ringan CLC bisa dibuat dengan biaya lebih rendah yang kuat tekannya menyamai bata ringan AAC.

Adapun keuntungan dan kerugian penggunaan bata ringan CLC dan AAC menurut (Suryanita, 2020) pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Keuntungan dan kerugian bata ringan CLC dan AAC

	Celullar Lightweight Concrete	*Autoclaved Aerated Concrete*
Keuntungan	Air yang diserap oleh agregat halus atau berpori saat proses *mixing* akan memberikan tambahan air saat proses *curing* pada campuran bata ringan.	1. Memberikan kemampuan meredam panas dan suara yang baik. 2. Mempunyai resistensi terhadap kelembapan 3. Ramah lingkungan
Kerugian	Masih menggunakan pasir dalam proses pembuatan bata ringan.	Untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang tinggi, kandungan semen yang dibutuhkan haruslah tinggi juga

Sumber: (Suryanita, 2020)

3.2.1 Bata Ringan CLC (*Celullar Lightweight Concrete*)

Bata ringan berjenis CLC atau *Celullar Lightweight Concrete* merupakan salah satu jenis bata ringan yang memiliki banyak pori-pori udara yang disebabkan oleh gelembung udara yang ditambahkan selama proses *mixing* berlangsung pada adonan mortar dan dapat mengalami proses *curing* secara

alami. Pada proses pembuatannya, *foam agent* digunakan sebagai bahan untuk menghasilkan pori-pori udara dengan mencampurkan *foam agent* dengan air yang akan menghasilkan gelembung udara yang akan berfungsi sebagai pengganti agregat kasar. Penggunaan *foaming agent* menghasilkan gelembung yang dapat berfungsi sebagai media untuk membungkus gelembung-gelembung udara agar terperangkap didalam campuran bata ringan.

Pada prakteknya, penggunaan bata ringan jenis CLC sering digunakan untuk material pada pasangan dinding. Dari segi biaya produksi, bata ringan jenis CLC relatif lebih terjangkau ketimbang bata ringan AAC karena tidak memerlukan *curing* dengan menggunakan oven *autoclave*. Proses *curing* bata ringan dapat dilakukan secara alami dengan melakuka penyiraman dan didiamkan pada udara terbuka.

3.2.2 Bata Ringan AAC (*Autoclave Aerated Concrete*)

Bata ringan berjenis AAC adalah bata ringan yang pembuatan gelembung udara memanfaatkan proses reaksi kimiawi, berbeda dengan bata ringan CLC yang proses pembuatan gelembung secara alami. Dalam SNI 8640-2018 dijelaskan mengenai bata ringan AAC, yaitu bata ringan yang dibuat dengan penambahan bahan kimia yang berekasi menghasilkan gelembung udara kedalam campuran bata ringan sesuai proporsi perencanaan awal, yang kemudian proses *curing* pada beton ringan menggunakan bejana dengan tekanan dan temperatur tinggi.

Menurut Siagian, (2021) Umumnya bata ringan AAC tersusun dari pasir kwarsa, semen, kapur, sedikit gypsum, air dan alumunium pasta sebagai bahan pengisi udara secara alami (pengembang). Bata ringan AAC dimasukkan kedalam oven *autoclave*, dimana bata ringan nantinya akan diberi tekanan uap yang sanga tinggi, sehingga akan terjadi reaksi pada campuran bata ringan. Dengan metarial penyusun serta perawatan yang menggunakan oven tersebut, membuat bata ringan AAC memiliki berat yang lebih ringan tetapi tidak mengurangi kekuatan yang dihasilkan.

3.3 Bahan Penyusun Bata Ringan

Pada dasarnya material penyusun bata ringan tidak jauh berbeda dengan material penyusun beton, tetapi agregat kasar pada beton digantikan dengan menggunakan *foaming agent* untuk menghasilkan berat bata ringan yang rendah. Adapun bahan tambah atau *admixture* yang dapat ditambahkan untuk membuat bata ringan sesuai sifat-sifat tertentu.

3.3.1 Semen *portland*

Semen merupakan material bahan konstruksi yang sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi sipil. Semen adalah material konstruksi yang dapat mengeras jika bereaksi dengan air, dan dihasilkan dari industri batu kapur berpadu dengan tanah liat sebagai bahan pengganti lainnya. Semen sendiri berfungsi sebagai bahan pengikat antar butir-butir agregat hingga membentuk suatu material padat dan juga berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga kosong diantara butiran agregat. Pada umumnya, kadar semen yang terkandung dalam campuran beton sekitar kurang lebih 10% dari volume beton.

Semen terbagi menjadi dua jenis, yaitu semen hidrolik dan semen non-hidrolik. Semen hidrolik merupakan jenis semen yang akan mengeras jika bereaksi dengan air dan dapat mengikat partikel-partikel penyusun seperti butiran agregat, contohnya adalah semen *portland*. Sementara, semen non-hidrolik adalah jenis semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras jika bereaksi dengan air, tetapi dapat mengeras jika terkena udara, contohnya adalah kapur. Dalam SNI 15-2049-2015, semen *portland* dibagi menjadi lima tipe berdasarkan jenis dan penggunaannya sebagai berikut.

1. Tipe I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum dimana dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis yang lain.
2. Tipe II, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Tipe III, merupakan jenis semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4. Tipe IV, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Tipe V, yaitu jenis semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tiggi terhadap sulfat.

3.3.2 Agregat Halus

Penggunaan agregat halus sebagai material penyusun beton maupun beton ringan dapat berupa pasir alam yang berasal dari disintegerasi batuan alam, maupun dari olahan yang dihasilkan dari pemecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi. Pada SNI 03-6820-2002 mendefinisikan agregat halus sebagai agregat yang memiliki besar butiran dengan ukuran maksimal 4,76 mm yang berasal dari alam maupun hasil olahan

Pasir sendiri merupakan bahan konstruksi yang bisa didapatkan dari hasil penggalian lapisan tanah pada kerak bumi yang berbentuk butiran, merupakan hasil pelapukan batuan atau letusan gunung berapi yang telah terpengaruh cuaca. Karakteristik dari penggunaan agregat halus atau pasir harus diketahui terlebih dahulu dengan cara melakukan pengujian propertis agregat halus. Pengujian propertis agregat halus dapat dilakukan dengan beberapa pengujian seperti kadar lumpur, kardar organik, kadar air, berat volume, serta analisa saringan.

Dalam SNI 03-6820-2002 dijelaskan mengenai persyaratan teknis penggunaan agregat halus dalam campuran adukan beton harus memenuhi beberapa persyaratan mengenai unsur perusak yang terkandung didalam agregat halus sebagai berikut.

1. Partikel yang mudah pecah memiliki kandungan maksimum 1%,
2. Agregat halus tidak mengundang zat organik,
3. Partikel ringan yang terapung pada cairan dengan berat jenis 2,0 maksimum 0,5%,
4. Agregat halus bebas dari kotoran yang dapat merusak warna, dan
5. Kandungan lumpur pada agregat halus maksimum sebesar 5%.

Sebelum dilakukan pencampuran, agregat halus perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik agregat halus sehingga pada saat digunakan sesuai dengan standar. Adapun tahapan dalam pengujian agregat halus sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis mutlak, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan nilai penyerapan air pada agregat haus. Adapun perhitungan yang digunakan pada persamaan berikut.

   Berat jenis mutlak $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$ (3.1)

   Berat jenis SSD $= \frac{500}{B+500-Bt}$ (3.2)

   Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$ (3.3)

   Penyerapan air $= \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$ (3.4)

   Keterangan :

   Bk = berat pasir kering mutlak (gram),

   Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

   B = berat piknometer berisi air (gram).

2. Pengujian berat isi padat

   Pengujian berat isi padat dilakukan untuk mengetahui berat isi padat agregat halus yang digunakan dengan membandingkan dalam keadaan padat dengan volume silinder yang digunakan saat pengujian. Adapun perhitungan yang digunakan pada persamaan berikut.

   Berat isi padat $= \frac{W}{v}$ (3.5)

   Keterangan :

   W = berat agregat (gram),

   v = volume silinder (cm^3).

3. Pengujian lolos saringan No. 200

   Pengujian ini digunakan untuk mengetahui banyaknya agregat yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) setelah agregat dicuci. Pengujian ini juga dapat mengetahui tingkat kadar lumpur yang terkandung pada agregat halus. Kadar lumpur yang telah disyaratkan menurut SK SNI S-04-1989-F maksimal adalah

5%. Kandungan lumpur yang melebihi syarat teknis dapat menyebabkan ikatan antara semen dan agregat halus terganggu. Adapun perhitungan yang digunakan pada persamaan berikut.

Kadar lumpur $= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$ (3.6)

Keterangan :

W1 = berat agregat halus kering oven (gram),

W2 = berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram).

4. Pengujian analisa saringan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan saringan. Modulus halus dari agregat halus dapat diketahui dari pengujian ini. Modulus halus adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan dari butir-butir agregat, semakin kecil nilai dari modulus halus, maka semakin kecil ukuran butir agregat tersebut. Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut.

Presentase berat hilang $= \frac{a-b}{a} \times 100\%$ (3.7)

Modulus halus butir $= \frac{\Sigma(\%kumulatif)-100}{100}$ (3.8)

Keterangan :

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram)

b = berat agregat kering mutlak setelah diayak (gram)

Σ(*%kumulatif*) = berat tertinggal kumulatif (%).

3.3.3 Air

Air adalah salah satu material penyusun campuran beton maupun mortar yang sangat penting namun paling mudah didapatkan dan paling murah. Dalam pembuatan bata ringan,air digunakan untuk memicu proses kimiawi semen untuk pengikatan antar butir-butir agregat dan proses pengerasan pada bata ringan, serta untuk meningkatkan kelecakan (*workability*).

Air yang digunakan untuk campuran pada beton juga harus memenuhi persyaratan yang ditentukan. Menurut (Tjokrodimuljo, 1996) tentang Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan dalam Produksi Beton Semen Hidraulis, menjelaskan mengenaik ketentuan tersebut sebagai berikut.

1. Air harus bersih.
2. Air tidak mengandung lumpur, minyak, dan material terapung yang dapat dilihat secara visual
3. Air bebas dari benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter, karena dapat menyebabkan berkurangnya daya lekat beton.
4. Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari bahan yang merusak seperti mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, dan lain-lainnya yang merugikan terhadap campuran beton lebih dari 15 gram/liter.
5. Air yang digunakan pencampur tidak mengundang ion klorida dalam jumlah yang membahayakan, yaitu melebihi dari 0,5 gram/liter.
6. Air yang digunakan harus bebas dari kandungan senyawa sulfat (SO3) lebih dari 1 gram/liter.

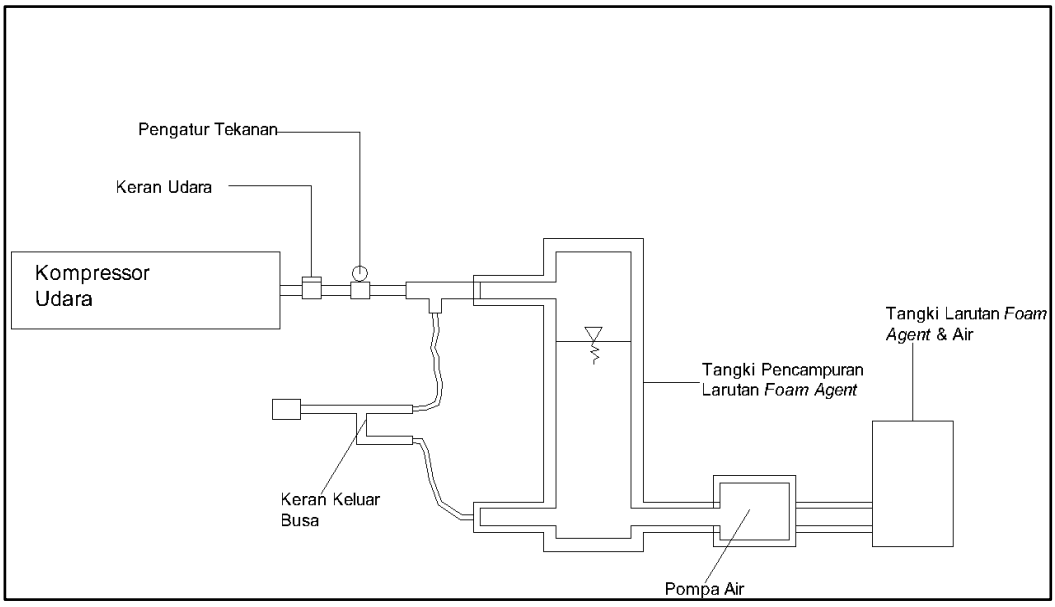
3.3.4 *Foam Agent*

Foam Agent merupakan suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, yang dimana apabila akan digunakan harus dilarutkan dengan air terlebih dahulu. Surfaktan sendiri merupakan zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. *Foam agent* dapat memperbesar volume bata ringan CLC tanpa menaikkan berat dari bata ringan tersebut. Hou dkk., (2021) menjelaskan bahwa *Foam agent* memiliki efek yang berpengaruh terhadap ukuran pori, persebaran pori, serta hubungan pori dengan campuran beton ringan.

Bahan pembentuk dari *foam agent* sendiri bisa berasal dari bahan alami, yaitu protein dan bahan sintesis. *Foam agent* berbahan dasar sintesis memiliki kepadatan sekitar 40 kg/m^3 dan dapat mengembang sekitar 25 kali dari volume awal. Sedangkan *foam agent* berbahan dasar alami, yaitu protein memiliki kepadatan sekitar 80 kg/m^3 dan dapat mengembang sekitar 12,5 kali dari volume awal (Sari, 2020). Performa dari *foam agent* dapat berbeda-beda tergantung dari

bahan penyusun *foam agent* itu sendiri. Sun dkk., (2018) dalam peneltiannya menyebutkan bahwa penggunaan *foam agent* yang tersusun dari bahan surfaktan sintesis memiliki performa lebih baik dibandingkan *foam agent* yang tersusun dari surfaktan alami. Tetapi Falliano dkk., (2018) menerangkan penggunaan *foam agent* dari surfaktan alami maupun sintesis dapat memiliki hasil yang berbeda-beda tergantung dengan metode pembuatan serta penggunaan beton ringan yang dibuat.

Penggunaan *foam agent* pada bata ringan meghasilkan busa-busa yang kemudian dicampurkan kedalam adonan bata ringan. busa-busa tersebut dihasilkan dari mesin *foam generator* yang mencampurkan larutan *foam agent* dengan air yang kemudian diberi tekanan tinggi dari compressor agar menghasilkan busa. Busa-busa tersebut menghasilkan pori-pori yang mengakibatkan bata ringan mampu mengambang ketika dimasukkan kedalam air dan menjadikan volume bata ringan meningkat lebih besar. Cara kerja dari *foam generator* dapat dilihat dari ilustrasi pada Gambar berikut.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Cara Kerja Foam Generator

3.3.5 Cangkang Kelapa Sawit

Di Indonesia, kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan dan memiliki perkembangan yang pesat. Kelapa sawit sendiri merupakan salah satu tanaman industri yang dapat menghasilkan minyak goreng, minyak industri maupun bahan bakar seperti biodiesel. Menurut data "Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2020,"terbit 2021 dari Badan Pusat Statistik Indonesia tercatat produksi CPO (*Crude Palm Oil*) dari perkebunan yang ada di Indonesia dari seluruh provinsi mengahasilkan kurang lebih 44 juta ton.

Cangkang kelapa sawit sendiri merupakan bagian keras pada buah kelapa sawit yang berfungsi sebagai pelindung bagian isi dari buah sawit tersebut. Cangkang kelapa sawit yang dihasilkan dari industri kelapa sawit bisa mencapai 60% dari produksi minyak kelapa sawit. Menurut Sismantoro, (2017) cangkang kelapa sawit merupakan golongan kayu keras dan secara komposisi kimia, memiliki kemiripan dengan kayu, yaitu cangkang kelapa sawit mengandung komponen seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa dengan komposisi yang berbeda-beda. Dari beberapa studi yang telah dilakukan seperti (Danso & Appiah-Agyei, 2021; Oyejobi dkk., 2020; Philips dkk., 2017), cangkang kelapa sawit memiliki tingkat penyerapan air dan permeabilitas yang tinggi karena bahan alam yang berpori tinggi. Tetapi Alengaram dkk., (2013) menjelaskan tingkat penyerapan air tersebut dapat bervariasi sesuai dengan ukuran cangkang kelapa sawit tersebut. Komposisi kandungan komponen tersebut bervariasi, yaitu selulosa sebesar 26,6 %, lignin sebesar 29,4 %, dan hemiselulosa sebesar 27,7 % Oktarina & Natalina, (2018). Sedangkan Syarifudin dkk., (2020) dalam Widarsi, (2008) menyatakan bahwa cangkang kelapa sawit memiliki komposisi selulosa 26,27 %, hemiselulosa 12,61 %, dan lignin 42,96%. Menurut Subiyanto dkk, (2006) dalam Supriyanto dkk., (2013) komponen kimia pada cangkang kelapa sawit seperti hemiselulosa dan lignin, sebelum dan sesudah dijadikan sebagai beton tidak mengalami perubahan berdasarkan uji statistik. Cangkang kelapa sawit yang telah dihaluskan memiliki ujung yang lebih lancip dibandingkan sebelum dihaluskan. Adapun kandungan senyawa yang dimiliki cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 3.6 dibawah.

Tabel 3. 5 Kandungan Cangkang Kelapa Sawit

No	Komponen	Presentase
1	Selulosa	26,6 %
2	Hemiselulosa	27,7 %
3	Lignin	29,4 %
4	Abu	0,6 %
5	Komponen Akstraktif	4,2 %
6	Uronat anhidrat	3,5 %
7	Nitrogen	0,1 %

Sumber: (Oktarina & Natalina, 2018)

Gambar 3. 3 Limbah Padat Cangkang Kelapa Sawit

Sumber: Dokumen pribadi

Bata ringan dengan campuran cangkang kelapa sawit dapat menjadi alternatif untuk bahan konstruksi bangunan nonstruktural seperti pasangan dinding. (Oktarina & Natalina, 2018) menyatakan bahwa, penggunaan cangkang kelapa sawit pada pembuatan bata ringan dapat mempengaruhi kuat tekan pada bata ringan dan mempengaruhi penyerapan air pada bata ringan.

3.3.6 Silica Fume

Silica Fume adsalah material yang dihasilkan dari produksi sampingan reduksi kuarsa murni (SiO_2) dengan batu bara pada tanur listrik dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silikon. *Silica fume* memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi dan bersifat material pozzolan. *Silica fume* memiliki karakteristik bahan yang sangat halus, berbentuk bulat, dan berdiameter 1/100 diameter semen Zulapriansyah dkk.,(2020). Menurut Widnyana dkk., (2018) penggunaan *silica fume* pada campuran bahan dalam pembuatan beton berpori mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur dari beton berpori tersebut. Sarıdemir, (2013) menyebutkan bahwa, penggunaan *silica fume* pada beton mengakibatkan kebutuhan air meningkat untuk beton. Hal itu bisa disebabkan karena *silica fume* memiliki tingkat kehalusan yang sangat halus, oleh karena itu, superplatisizer digunakan untuk mencapai komposisi yang tepat pada campuran beton. Dalam penelitian yang dilakukan Yue dkk.,(2018) menyebutkan sifat pozzolanik dari *silica fume* dan memberikan efek dalam mengisi pori-pori karena sifat fisiknya membut *silica fume* menjadi bahan tambah semen yang banyak diterima. Karena adanya *silica amorf* yang sangat reaktif, sehingga dapat bereaksi dengan CH untuk membentuk SCH yang merupakan produk hidrasi penting yang menjanjikan sifat pengikatan dan kekuatan pada bahan semen. Ukuran butiran *silica fume* yang sangat kecil dapat mengisi pori-pori antara ikatan semen dan partikel lain, sehingga meningkatkan kekuatan dan kerapatan campuran yang telah mengeras. Dalam penelitian Febrianto, (2016) diketahui bahwa kandungan unsur kimi *silica fume* dari pengujian *X-Ray Flourecence* (XRF) didominasi oleh unsur silika (Si) sebanyak 79,90 %, besi (Fe) sebanyak 8,22 %, dan kapur (Ca) sebanyak 6,32 %. Subagiono dkk., (2021) menyatakan penggunaan *silica fume* pada campuran beton mempunyai kelebihan berupa dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik, ketahanan pada serangan klorida atau asam, abrasi dan korosi. Berikut merupakan kandungan unsur kimia yang terkandung dalam *silica fume* dari hasil pengujian *X-Ray Floureccence* (XRF) dapat dilihat pada Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3. 6 Kandungan Unsur Kimia Silica Fume

Komponen	Konsentrasi (%)	Metode
Si	79	XRF
K	5,05	
Ca	6,32	
Cr	0,074	
Mn	0,35	
Fe	8,22	
Ni	0,18	
Cu	0,20	
Zn	0,91	
As	0,12	
Eu	0,20	
Re	0,20	
Pb	0,20	
Na	4,1	
Ti	0,39	

Sumber: (Lisantono & Kristanto, 2016)

3.4 Pengujian Bata Ringan Dengan Campuran Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica Fume*

Dalam penelitian ini, akan dilakukan beberapa pengujian terhadap bata ringan, antara lain pengujian kuat tekan, bobot isi, penyerapan air, dan redaman suara.

3.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan definisi dari perbandingan beban yang di berikan pada satuan luas tertentu. Pengujian kuat tekan dimaksudkan untuk mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur beton. Semakin tinggi nilai dari kuat tekan semakin tinggi pula mutu beton yang akan dihasilkan. Pengujian kuat tekan dilakukan pada waktu benda uji berumur 28 hari dengan 5 sempel benda uji untuk

setiap variasi. Kuat tekan merupakan sifat yang paling utama dan terpenting dalam kualitas beton dibandingkan sifat-sifat lainnya.

Untuk mengetahui secara pasti kuat tekan bata ringan, maka dilakukan pengujian kuat tekan. Dalam SNI 8640-2018 mengenai Spesifikasi Bata Ringan untuk Pasangan Dinding, perhitungan kuat tekan dapat dirumuskan dengan persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \tag{3.9}$$

Keterangan:

Kuat Tekan = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm^2)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

3.4.2 Pengujian Bobot isi

Bobot isi adalah pengukuran berat pada tiap satuan volume benda. Menurut (Sari, 2020) untuk mendapatkan bobot isi sesuai yang diinginkan pada beton ringan, perlu dilakukan variasi terhadap komposisi material penyusun beton ringan yang akan berpengaruh terhadap struktur pori, ukuran dan distribusi pori. (Hunggurami dkk., 2014) menyatakan, semakin tinggi bobot isi suatu benda maka semakin berat pula berat setiap volumenya. Sedangkan semakin rendah bobot isi suatu benda, maka semakin tinggi porositas yang ada pada suatu benda.

Bobot isi sendiri merupakan ukuran dari kepadatan material atau sering didefinisikan sebagai perbadingan antara berat benda (w) dengan volume (v). berat volume dapat dirumuskan sebagai persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\text{Bobot isi } (\rho) = \frac{W}{V} \tag{3.10}$$

Keterangan:

ρ = Bobot isi benda uji (kg/m^3)

W = Berat benda uji (kg)

V = Volume benda uji (m^3)

3.4.3 Pengujian Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang mampu diserap pori-pori dari suatu benda terhadap berat kering benda tersebut yang dinyatakan dalam prensentase. Pengujian penyerapan air bertujuan untuk mengetahui presentase penyerapan air beton dalam kondisi keras. Dalam SNI 8640-2018 mengenai Spesifikasi Bata Ringan untuk Pasangan Dinding, perhitungan presentase penyerapan air dapat dirumuskan dengan persamaan 3.3 sebagai berikut.

Bobot isi nominal (BI) $= \frac{B_A}{v}$ (3.11)

Bobot isi kering oven (BI_O) $= \frac{Bko}{v}$ (3.12)

Bobot isi jenuh air (BI_A) $= \frac{B_{ssd}}{v}$ (3.13)

Penyerapan air $= \frac{BIA - BIO}{1000}$ x 100% (3.14)

Keterangan:

B_A = Berat awal (kg)

B_{KO} = Berat kering oven (kg)

B_{ssd} = Berat jenuh air (kg/m^3)

BI = Berat isi nominal (kg/m^3)

BI_O = Berat isi kering oven (kg/m^3)

BI_A = Bobot isi jenuh air (kg/m^3)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan penelitian terhadap suatu permasalahan yang dapat berupa kasus, gejala, atau fenomena yang dilakukan secara ilmiah dalam menganalisis dan mengidentifikasi variabel sehingga menghasilkan jawaban yang rasional. Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini berupa metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perecanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan mensubtitusi sebagian dari agregat halus dengan cangkang kelapa sawit dan mensubtitusi sebagian dari semen menggunakan *silica fume* pada campuran bata ringan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengaruh penggunaan bahan subtitusi berupa cangkang kelapa sawit dan *silica fume* pada campuran bata ringan terhadap kuat tekan, bobot isi, penyerapan air, dan redaman suara.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua tempat yang berbeda. Pembuatan benda uji dilakukan di pabrik pembuatan CLC, yaitu Bota Bata. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Alat dan Bahan

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal dan sesuai yang inginkan, maka diperlukan peralatan dan bahan yang dibutuhkan guna memenuhi persyaratan yang berlaku. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

4.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, telah tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Alat-alat yang digunakan antara lain sebagai berikut.

1. Timbangan

   Timbangan digunakan untuk mengukur berat material yang digunakan sesuai dengan perhitungan perencanaan kebutuhan material yang akan digunakan. Adapun timbangan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 1 Timbangan

2. Sekop

   Digunakan untuk menuangkan, memindahkan, serta meratakan material yang digunakan. Sekop yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 2 Sekop

3. Gelas Ukur

   Gelas ukur dengan volume 2 liter digunakan untuk mengukur volume larutan air maupun *foam agent* yang dibutuhkan. Gelas ukur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 3 Gelas Ukur

4. Wadah atau ember

   Digunakan sebagai wadah untuk melakukan pencampuran material dan mengukur kebutuhan sesuai dengan komposisi yang direncanakan di awal. Wadah atau ember yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 4 Wadah atau Ember

5. *Hand mixer* beton

   Berfungsi sebagai pengaduk campuran foam agent dan campuran bata ringan hingga menyatu. Adapun *hand mixer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 5 *Hand Mixer* Beton

6. *Foam generator*

Foam generator digunakan untuk mengahsilkan busa dari campuran *foaming agent* dan air, serta diberikan tekanan yang berasal dari *compressor* udara. *Foam generator* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut. \

Gambar 4. 6 *Foam Generator*

7. *Compressor* udara

Compressor udara digunakan untuk menyalurkan angin dengan tekanan tinggi ke *foam generator* untuk membantu mencampur larutan *foam agent* sehingga menghasilkan busa. *Compressor* udara yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 7 *Compressor* Udara

8. Ayakan *mesh*

   Ayakan *mesh* digunakan untuk memisahkan ukuran agregat sesuai dengan ukuran ayakan. Ayakan *mesh* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 8 Ayakan Mesh

9. Jangka Sorong

   Jangka sorong digunakan sebagai alat ukur dimensi untuk benda uji bata ringan secara akurat. Jangka sorong pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 9 Jangka Sorong

10. Oven

    Oven digunakan untuk mengeringkan agregat serta benda uji yang digunakan untuk pengujian penyerapan air. Oven yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 10 Oven

11. Cetakan atau Bekisting Bata Ringan

    Bekisting atau cetakan bata ringan digunakan sebagai wadah untuk membentuk bata ringan sesuai dengan dimensi yang direncanakan. Cetakan yang digunakan berukuran 60 cm x 20 cm x 10 cm. Cetakan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 11 Cetakan Bata RIngan

12. Mesin uji tekan

    Mesin uji tekan atau *Universal Testing Machine* digunakan pada pengujian kuat tekan pada bata ringan. Alat ini berfungsi untuk mengetahui nilai beban maksimum yang dapat diterima benda uji. Mesin uji tekan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 12 Mesin Uji Tekan atau UTM

13. Mesin Gerinda Potong

    Digunakan untuk memotong benda uji sebelum melakukan pengujian agar sesuai ukuran yang dipersyaratkan. Gerinda potong yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 13 Mesin Gerinda Potong

4.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus

   Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Sungai Progo, Kulonprogo, DIY dengan dilakukan pemeriksaan material terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang digunakan. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 14 Agregat Halus Pasir

2. Semen *Portland*

   Semen *portland* yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *portland* tipe I dengan tipe *Portland Composite Cement* (PCC) merk Dynamix dengan berat 50 kg. Semen yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 15 Semen *Portland*

3. Air

   Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4. *Foam Agent*

   Foam agent yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari *e-commerce* bermerk ADT yang diproduksi CV. CITRA ADDITIVE MANDIRI. Adapun *foam agent* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 16 *Foam Agent*

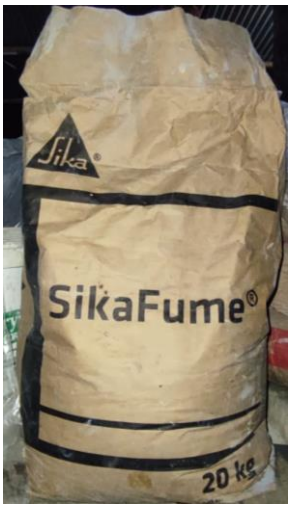
5. Cangkang Kelapa Sawit

Pengumpulan cangkang kelapa sawit didapatkan dari limbah pengolahan pabrik kelapa sawit dari PT.Pucuk Jaya, Kalimantan Timur. Cangkang kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

Gambar 4. 17 Cangkang Kelapa Sawit

6. *Silica Fume*

Silica fume didapatkan dari PT.Sika Indonesia, yang digunakan sebagai bahan tambah untuk menggantikan semen.



Gambar 4. 18 *Silica Fume*

4.4 Sampel Penelitian

Pada penelitian ini digunakan sampel benda uji berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 20 cm dan tebal 10 cm. Sampel akan diuji dengan pengujian kuat tekan, bobot isi, dan penyerapan air. Variasi yang digunakan adalah variasi normal tanpa penambahan bahan tambah, variasi dengan cangkang kelapa sawit sebagai subtitusi agregat halus sebesar 0%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat agregat halus. Adapun presentase bahan tambah *silica fume* subtitusi semen pada variasi tetap sebesar 10% dari berat semen di setiap varisi penambahan cangkang kelapa sawit. Setiap variasi akan dibuat 7 benda uji sesuai dengan SNI 8640-2018 dengan umur benda uji 28 hari. Dimana 5 benda uji digunakan pada pengujian kuat tekan, 2 benda uji digunakan untuk pengujian bobot isi dan penyerapan air.

4.5 Perencanaan Komposisi

Perencanaan komposisi bata ringan dimaksdukan untuk mengetahui komposisi atau proporsi material penyusun bata ringan. Proporsi material yang digunakan untuk menyusun campuran bata ringan ditentukan melalui peracangan beton (*mix design*). Hal ini dilakukan agar campuran bata ringan dapat memenuhi syarat teknis yang berlaku. Tetapi hingga saat ini, tidak ada pengaturan *mix design* yang baku pada proses pembuatan bata ringan. Hal ini bisa terjadi karena densitas pada bata ringan yang dapat berbeda-beda tergantung pada *foaming agents* serta reaksi yang terjadi saat pencampuran untuk menghasilkan gelembung udara pada campuran bata ringan. Oleh karena itu, pada perencanaan komposisi campuran yang digunakan didasarkan pada pendekatan SNI 8640-2018 serta jurnal penelitan-penelitian terdahulu yang relevan.

Pada penelitian ini, *mix design* pada volume cetakan yang akan digunakan dalam sekali pembuatan benda uji. Komposisi yang digunakan pada penelitian ini dalam 1 m3 campuran akan dibuat pebandingan semen dan pasir sebesar 1 : 1,5. Dengan nilai FAS sebesar 0,58 sesuai dengan ketentuan pada ASTM C 796. Penggunaan *foam agent* harus terlebih dahulu dicampurkan dengan air, dengan perbandingan komposisi 1:40. Dengan komposisi tersebut berat jenis bata ringan

yang dihasilkan kurang dari 800 kg/m^3 dengan target berat jenis yang diinginkan sekitar 600-800 kg/m^3. Dari perencanaan variasi diatas, maka direncanakan komposisi campuran pada pembuatan bata ringan dengan cangkang kelapa sawit pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Komposisi Campuran Pembuatan Bata Ringan dengan Variasi Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica Fume*

No	Volume Cetakan	Jumlah	Variasi	Semen	Pasir	Air	Silica Fume	CKS
	m3	buah						
1	0,012	7	1 (Normal)	1	1,5	0,58	0%	0%
2	0,012	7	2 (SF)	1	1,5	0,58	10%	0%
3	0,012	7	3 (SF + CKS)	1	1,5	0,58	10%	4%
4	0,012	7	4 (SF + CKS)	1	1,5	0,58	10%	6%
5	0,012	7	5 (SF + CKS)	1	1,5	0,58	10%	8%
6	0,012	7	6 (SF + CKS)	1	1,5	0,58	10%	10%
7	0,012	7	7 (CKS)	1	1,5	0,58	0%	4%
8	0,012	7	8 (CKS)	1	1,5	0,58	0%	6%
9	0,012	7	9 (CKS)	1	1,5	0,58	0%	8%
10	0,012	7	10 (CKS)	1	1,5	0,58	0%	10%

Adapun perincian jumlah benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Komposisi Campuran Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica fume*

No	Variasi	Total		
		Kuat Tekan	Bobot isi & Penyerapan Air	Jumlah
1	(Normal)	5	2	7
2	(SF)	5	2	7
3	(SF + CKS)	5	2	7
4	(SF + CKS)	5	2	7
5	(SF + CKS)	5	2	7
6	(SF + CKS)	5	2	7
7	(CKS)	5	2	7
8	(CKS)	5	2	7
9	(CKS)	5	2	7
10	(CKS)	5	2	7
TOTAL				70

4.6 Tahap Persiapan Penelitian

Dilakukan tahapan persiapan penelitian berguna agar penelitian yang dijalankan sesuai dengan standar yang berlaku dan mutu yang dihasilkan dapat sesuai rencana. Adapun tahapan persiapan yang dilakukan seperti dibawah ini.

4.6.1 Persiapan material

Material merupakan bahan paling penting dalam penelitian ini. Oleh sebab itu, material harus dipersiapkan dengan baik, mulai dari pengadaan material, kondisi material, hingga pengujian material, sehingga didapatkan benda uji yang baik yang memenuhi mutu rencana. Material yang diperlukan dalam penelitian ini adalah semen *portland*, agregat halus, *foam agent*, cangkang kelapa sawit, dan *silica fume*. Semen *portland* yang digunakan harus dalam kondisi kering saat pernyimpanan. Agregat halus dan cangkang kelapa sawit diuji terlebih dahulu agar mengetahui karakteristik dan sesuai dengan standar yang berlaku. Peralatan yang digunakan juga perlu dipersiapkan dengan baik guna memperlancar proses penelitian.

4.6.2 Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit

Sebelum cangkang sawit digunakan untuk campuran bata ringan, cangkang kelapa sawit dengan ukuran 5 mm – 15 mm dihaluskan terlebih dahulu agar ukuran cangkang kelapa sawit masuk dalam rentang ukuran agregat halus. Untuk menghaluskan cangkang kelapa sawit, digunakan alat penghancur batu atau *stone crusher* pada tempat penghancuran batu alam di sekitar Jl. Kaliurang. Pengahulusan cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.

Gambar 4. 19 Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit

Kemudian hasil dari cangkang kelapa sawit yang telah dihaluskan akan diayak kembali menggunakan saringan 4,75 mm untuk memisahkan sisa cangkang kelapa sawit yang masih memiliki ukuran cukup besar. Hasil dari pengolahan cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada gambar 4.20 berikut.

Gambar 4. 20 Hasil Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit

4.6.3 Pengujian Material

1. Agregat Halus

Agregat halus dibutuhkan pengujian untuk mengtahui karakteristik material untuk memenuhi standar kelayakan material. Cangkang kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan tambah pengganti agregat halus juga ikut dilakukan pengujian material yang sama dengan pengujian material agregat halus, untuk mengetahui karakteristik cangkang kelapa sawit. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian berat isi padat, pengujian analisa saringan, dan pengujian lolos saringan No.200. Adapun tahapan dalam masing-masing pengujian dapat dilihat seperti berikut.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

1) Agregat dikeringkan didalam oven pada suhu (110 ± 5) ºC hingga agregat berat agregat dalam kondisi tepat (dalam 3 kali penimbangan hasilnya tetap), berikutnya agregat didinginkan pada suhu rungan, kemudian direndam dalam air selama 24 jam.
2) Kemudian, buang air rendaman secara perlahan-lahan agar tidak ada butiran yang ikut terbuang, tebarkan agregat di atas nampan, keringkan di udara panas dengan dibolak balik. Pengeringan dilakukan hingga kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan.
3) Berikutnya, pemeriksaan dilakukan dalam keadaan jenuh kering permukaan dengan memasukkan agregat ke dalam kerucut conus, lalu padatkan dengan batang penumbung sebanyak 25 kali kemudian ratakan permukaannya. Keadaan jenuh kering permukaan tercapai bila kerucut diangkat lalu benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan bentuk cetakan.
4) Jika kondisi jenuh kering permukaan telah tercapai, maka berikutnya memasukkan benda uji sebanyak 500 gram kedalam piknometer, kemudian memasukkan air suling kedalam piknometer hingga 90%

piknometer terisi. Lalu putar piknometer dambil diguncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.

5) Rendam piknometer kedalam air dan ukur suhu air (suhu standar 25ºC).
6) Tambahkan air suling kedalam piknometer hingga menyentuh tanda batas.
7) Timbang piknometer yang berisi air dan benda uji.
8) Keluarkan benda uji, dan keringkan didalam oven dengan suhu (110 ± 5) ºC hingga mencapai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
9) Setelah dingin, timbang kembali.
10) Timbang berat piknometer dengan penuh air dan ukur suhu airnya.
11) Lakukan perhitungan dengan persamaan 3.1 hingga persamaan 3.4.

b. Pengujian berat isi padat.
   1) Pengujian berat isi padat dilakukan dengan benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan atau SSD.
   2) Timbang cetakan berupa silinder yang akan digunakan pada penelitian ini. Dengan ukuran cetakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
   3) Kemudian letakkan cetakan silinder dalam posisi datar.
   4) Masukkan benda uji ke dalam cetakan silinder. Perlu diingat, saat memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder ada beberapa tahapan, yaitu dengan memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder sebanyak 1/3 dari volume isi cetakan silinder, kemudian benda uji yang telah dimasukkan ke dalam cetakan ditumbuk sebanyak 25 kali, ulangi tahap tersebut hingga benda uji memenuhi cetakan.
   5) Kemudian berat isi padat pada agregat halus bisa dianalisis menggunakan persamaan 3.5.

c. Pengujian lolos saringan No.200

1) Dalam pengujian ini, benda uji dikondisikan dalam keadaan kering oven.
2) Kemudian timbang benda uji dalam keadaan kering oven.
3) Letakkan benda uji dalam saringan dan alirkan air untuk membasahi benda uji.
4) Sambil dialiri dengan air secukupnya, benda uji juga harus digerakkan agar merata terkena air, sehingga bagian yang halus menembus saringan No.200 dan bagian yang lebih kasar tertinggal di atas.
5) Ulangi langkah ke 3 hingga air terlihat menjadi jernih.
6) Setelah itu keringkan benda uji dalam oven pada suhu (110 ± 5) ºC. Setelah dalam kondisi kering oven maka lakukan penimbangan benda uji yang sudah dicuci.
7) Setelah data mengenai berat benda uji telah didapatkan, maka bisa dilakukan analisis dengan menggunakan persamaan 3.6.

d. Pengujian analisa saringan.
   1) Benda uji dikondisikan pada berat tetap dengan mengeringkan benda uji kedalam oven pada suhu (110 ± 5) ºC. Untuk mencapai hasil yang maksimal dan ketelitian yang tinggi, maka lebih baik dilakukan pengujian sebanyak minimal 2 kali.
   2) Setelah benda uji dikeringkan dengan oven, maka dinginkan bend auji pada suhu ruang selama 1 jam hingga 3 jam. Pada tahap ini benda uji dikondisikan agar benda uji menjadi kering mutlak.
   3) Selanjutnya, timbang benda uji sebanyak 2000 gram.
   4) Kemudian susun saringan yang akan digunakan dari lubang yang paling besar (atas) ke lubang yang paling kecil (bawah) sesuai dengan urutan lubang ayakan yang rencanakan. Masukan benda uji kedalam ayakan, kemudian letakkan ke mesin pengguncang.
   5) Jalankan mesin selama 10 menit hingga 15 menit.
   6) Keluarkan benda uji dari masing-masing saringan dan letakkan kedalam cawan.

7) Timbang masing-masing benda uji yang tertahan disetiap saringan.
8) Kemudian analisis saringan dapat dilakukan.

4.7 Tahap Penelitian

Tahapan dalam pembuatan bata ringan pada penelitian ini dimulai dari pembuatan benda uji hingga pada pengujian sampe bata ringan.

4.7.1 Pembuatan benda uji

Benda uji yang dibuat berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 20 cm, dan tebal 10 cm. Pembuatan sampel benda uji mengacu sesuai dengan SNI 8640-2018 dengan komposisi campuran yang mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya yang sejenis. Bata ringan dengan cangkang kelapa sawit dan *silica fume* akan dibuat dengan 10 variasi (1 bata ringan normal, 4 bata ringan dengan cangkang kelapa sawit, 1 bata ringan dengan *silica fume*, dan 4 bata ringan dengan cangkang kelapa sawit dan *silica fume*). Cangkang kelapa sawit akan ditambahkan dalam campuran dengan mensubtitusikan cangkang kelapa sawit dengan agregat halus pada kadar yang telah ditentukan sehingga penggunaan agregat halus akan berkurang seiring dengan penambahan cangkang kelapa sawit. *Silica fume* juga akan ditambahkan dengan mensubtitusi penggunaan semen dengan kadar yang telah ditentukan. Komposisi campuran pada bata ringan dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebelumnya.

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji bata ringan dengan campuran cangkang kelapa sawit dan *silica fume* seperti di bawah ini.

1. Siapkan terlebih dahulu material yang akan digunakan mulai dari pasir, semen, cangkang kelapa sawit, air, *silica fume*, dan *foam agent*.
2. Persiapkan juga alat-alat yang dibutuhkan seperti ember, *hand mixer* beton, *foam generator*, *compressor* udara, timbangan, sekop, penggaris, dan cetakan bata ringan.
3. Pasan *compressor* udara dan *foam generator* dengan menyambungkan selang udara yang menghubungkan *compressor* dan *foam generator*.
4. Timbang material yang akan digunakan sesuai dengan komposisi rencana.

5. Tidak lupa untuk mengolesi cetakan bata ringan dengan pelumas berupa oli atau solar, agar cetakan dan campuran bata ringan tidak merekat dan mudah dalam pelepasan cetakan.
6. Siapkan ember yang digunakan sebagai wadah untuk melakukan pencampuran material. Jumlah ember yang digunakan sebanyak 2 ember, masing-masing berfungsi sebagai tempat pencampuran seluruh material bata ringan dan tempat pencampuran *foam agent* dengan air.
7. Masukkan material seperti pasir, cangkang kelapa sawit kedalam ember, kemudian lakukan pengadukan degan *mixer* agar material bisa homogen.
8. Setelah dikira pasir dan cangkang kelapa sawit telah homogen, maka selanjutnya masukkan semen dan *silica fume*. Biarkan selama beberapa saat agar semua bahan dapat tercampur.
9. Kemudian, masukkan air kedalam campuran pasir, cangkang kelapa sawit, semen dan *silica fume* sesuai dengan komposisi rencana.
10. Aduk hingga campuran merata dan tidak ada material yang tertahan dibagian bawah.
11. Kemudian pada ember yang lain, masukkan air dan *foam agent* dengan kadar perbandingan 1:40.
12. Letakaan selang *intake* dari *foam generator* kedalam ember berisi larutan *foam agent*.
13. Buka keran *compressor* udara membuat udara masuk ke *foam generator*. Nyalakan *foam generator* dan busa akan keluar dari selang busa.
14. Masukkan busa hasil dari *foam generator* ke dalam campuran sebelumnya hingga mencapai volume yang diinginkan.
15. Kemudian aduk campuran menggunakan *hand mixer* hingga tercampur dengan rata.
16. Jika adonan cmapuran bata ringan sudah cukup mencampur, tuangkan campuran bata ringan kedalam cetakan bata ringan hingga memenuhi volume isi cetakan.

4.7.2 Perawatan benda uji

Perawatan benda uji dilakukan setelah benda uji selesai dicetak dan dikeluarkan dari cetakan dalam kurun waktu 1 x 24 jam dari waktu penuangan campuran. Dalam penelitian ini, perawatan (*curing*) benda uji dilakukan dengan metode melakukan penyiraman benda uji selama kurang lebih 1 hingga 7 hari dan diletakkan pada suhu ruangan kemudian dibiarkan mengering dengan sendirinya. Bata ringan dibiarkan mengering hingga berumur 28 hari. Setelah 28 hari, bata ringan dapat dilakukan pengujian.

4.7.3 Pengujian benda uji

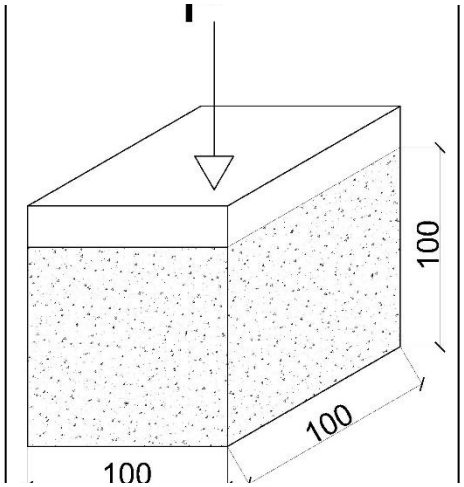
Pada penelitian ini dilakukan tiga pengujian bata ringan, yaitu pengujian kuat tekan, pengujian bobot isi, dan penyerapan air. Adapun penjelasan untuk masing-masing pengujian adalah sebagai berikut.

1. Pengujian kuat tekan

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dari bata ringan yang telah dibuat. Tahapan dari pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut.

   a. Siapkan benda uji bata ringan yang telah berumur 28 hari.
   b. Persiapkan peralatan yang akan digunakan seperti mistas, kalkulator, kamera, dan lain-lainnya.
   c. Ukur dimensi benda uji (panjang, lebar, dan tebal) dengan alat ukur.
   d. Membuat benda uji menjadi kubus dengan ukuran sesuai dengan ketebalan yang digunakan, yaitu 10 cm, maka dipotong menjadi ukuran kubus ukuran (10 x 10 x 10 cm).
   e. Masing-masing kedua ujung bata ringan pada sempel bata ringan dipotong menjadi kubus dan dibersihkan dari debu.
   f. Letakkan benda uji tepat di tengah hidraulik mesin uji.
   g. Arah penekanan dilakukan pada permukaan yang datar, yaitu pada bagian sisi tebal bata ringan.
   h. Nyalakan mesin uji, mesin hidraulik akan menekan benda uji secara bertahap bersamaan dengan dial beban yang akan berputar naik hingga

pada beban maksimum. Adapun skestsa pengujian kuat tekan pada bata ringan dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut.



Gambar 4. 21 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan

i. Setelah beban mencapai maksimum, benda uji akan mengalami kerusakan dan dial berhenti, catat beban maksimum pada dial beban.
j. Kemudian dapat dilakukan analisis untuk pengujian kuat tekan dengan persamaan 3.9.

2. Pengujian bobot isi dan penyerapan air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bobot isi kering oven, bobot isi jenuh air, dan penyerapan air. Adapun tahapan dari pengujian ini adalah sebagai berikut.

a. Persiapkan benda uji sebanyak 4 buah yang didapatkan dari 2 buah benda uji bata ringan utuh yang dipotong di kedua ujungnya dengan ukuran 200 mm x 200 mm x 100 mm (tebal benda uji), kemudian timbang beratnya.
b. Keringkan benda uji dalam oven pada temperatur (110 ± 5) ºC selama minimal 24 jam sampai didapatkan berat tetap. Berat tetap tercapai apabila selisih dua kali penimbangan dalam waktu 30 menit tidak lebih dari 0,05 gram.
c. Timbang berat tetap benda uji.
d. Ukur panjang, lebar, dan tebal sebagai perhitungan volume benda uji.

e. Rendam benda uji dalam air selama 24 jam ± 30 menit. Apabila benda terapung, maka perlu diberi beban kontak permukaan yang minimal sehingga seluruh permukaan benda uji terendam air.
f. Keluarkan benda uji dari perendaman dan bersihkan permukaan benda uji dari air yang berlebih dengan kain, lalu timbang benda uji tersebut.
g. Setelah tahapan tersebut, dapat dilakukan analisis bobot isi dan penyerapan air menggunakan persamaan 3.3 hingga persamaan 3.7.

4.8 Tahap Olah Data

Tahapan ini dilakukan setelah pengujian bata ringan dengan cangkang kelapa sawit dan *silica fume* selesai dilakukan. Data hasil pengujian terlebih dahulu diolah berdasarkan landasan teori dan bilangan yang digunakan untuk mendapatkan parameter yang dapat dianalisis.

4.9 Tahap Analisis dan Pembahasan

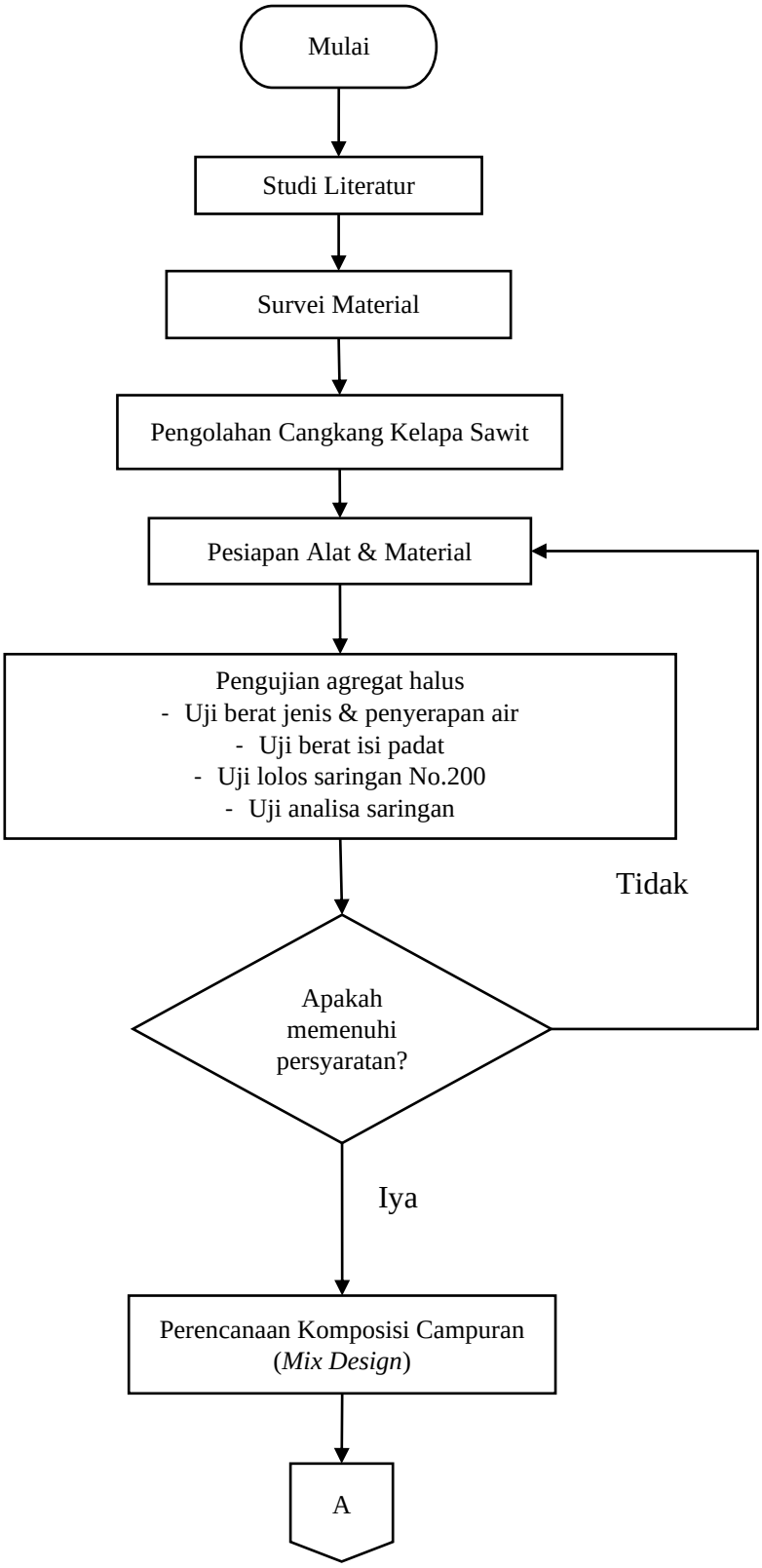
Tahapan ini dilakukan setelah olah data bata ringan cangkang kelapa sawit dan *silica fume* selesai. Parameter yang didapatkan dari hasil pengujian dibandingkan berdasarkan variabel yang telah ditentukan untuk mengetahui perbedaan nilai yang didapatkan. Kemudian hasil tersebut dibahas untuk memberikan penjelasan serta penafsiran terhadap perbedaan nilai yang sudah ditemui. Bata ringan yang baik dari segi mutu adalah bata ringan yang memenuhi standar pada SNI 8640-2018 yang mencakup parameter kuat tekan dan penyerapan air. Serta kemampuan bata ringan untuk meredam suara.

4.10 Tahap Kesimpulan dan Saran

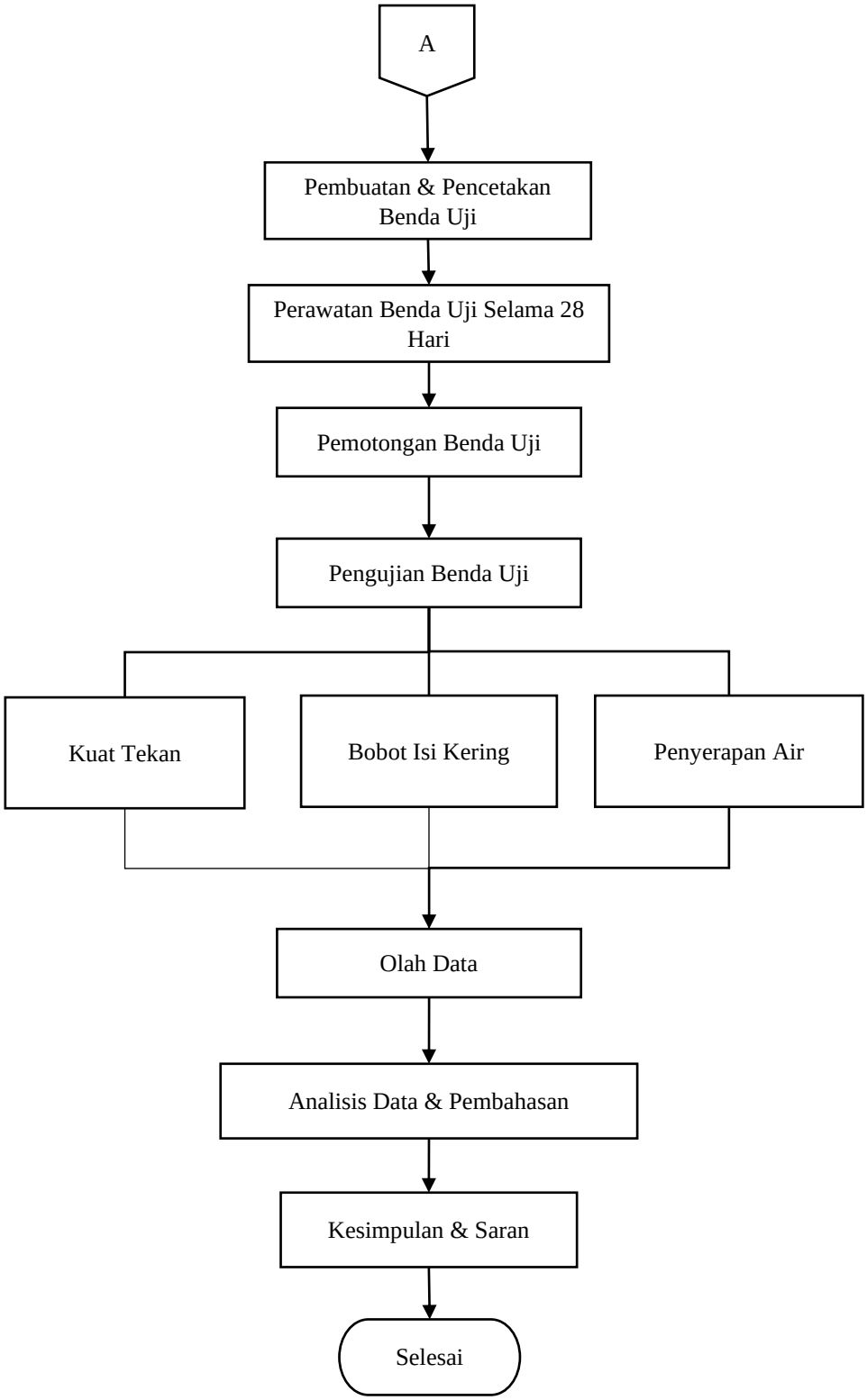
Pada tahapan ini didapatkan suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian berdasarkan data hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan. Dan juga, dibuat saran untuk penelitian-penelitian berikutnya berdasarkan dari kesimpulan yang didapatkan.

4.11 Bagan Alir Peneltitian

Dari uraian-uraian di atas, skema penelitian disajikan pada *flowchart* yang disajikan pada Gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4. 22 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 21 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL & PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Material Penyusun

Dari hasil pemeriksaan material yang telah dilakukan guna mengetahui karakteristik dan sifat dari material yang digunakan pada penelitian ini berupa pengujian berat isi padat, pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, dan pengujian lolos saringan No.200, didapatkan hasil sebagai berikut.

5.1.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Berikut merupakan hasil dan analisis dari pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material pasir dan cangkang kelapa sawit yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir

Uraian		Hasil Pengamatan		Rata-Rata
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, (gram)	Bk	486	486	486
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, (gram)	SSD	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, (gram)	Bt	1010	1019	1014,5
Berat piknometer berisi air, (gram)	B	698	708	703
Berat Jenis Curah		2,5851	2,5714	2,578
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)		2,6596	2,6455	2,653
Berat Jenis semu		2,7931	2,7771	2,785
Penyerapan Air	%	2,80%	2,88%	2,84%

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Cangkang Kelapa Sawit (CKS)

Uraian		Hasil Pengamatan		Rata-Rata
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, (gram)	Bk	183	184	183,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, (gram)	SSD	200	200	200
Berat piknometer berisi pasir dan air, (gram)	Bt	774	780	777
Berat piknometer berisi air, (gram)	B	708	705	706,5
Berat Jenis Curah		1,3657	1,4720	1,419
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)		1,4925	1,6000	1,546
Berat Jenis semu		1,5641	1,6881	1.626
Penyerapan Air	%	8,50%	8,00%	8,25%

Dalam penelitian ini digunakan 2 sampel untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air. Perhitungan dalam pengujian ini menggunakan Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.4. Adapun contoh perhitungan sebagai berikut.

Berat jenis curah pasir sampel 1 $= \frac{486}{698+500-1010} = 2,585$

Berat jenis curah pasir sampel 2 $= \frac{486}{708+500-1019} = 2,571$

Berat jenis SSD pasir sampel 1 $= \frac{500}{698+500-1010} = 2,659$

Berat jenis SSD pasir sampel 2 $= \frac{500}{708+500-1019} = 2,645$

Berat jenis semu pasir sampel 1 $= \frac{486}{698+486-1010} = 2,793$

Berat jenis semu pasir sampel 2 $= \frac{486}{708+486-1019} = 2,777$

Penyerapan air pasir sampel 1 $= \frac{500-486}{500} \times 100 = 2,88\%$

Penyerapan air pasir sampel 2 $= \frac{500-486}{500} \times 100 = 2,88\%$

Berat jenis curah CKS sampel 1 $= \frac{183}{708+200-774} = 1,365$

Berat jenis curah CKS sampel 2 $= \frac{184}{705+200-780} = 1{,}472$

Berat jenis SSD CKS sampel 1 $= \frac{200}{708+200-774} = 1{,}492$

Berat jenis SSD CKS sampel 2 $= \frac{200}{705+200-780} = 1{,}600$

Berat jenis semu CKS sampel 1 $= \frac{183}{708+183-774} = 1{,}564$

Berat jenis semu CKS sampel 2 $= \frac{184}{705+184-780} = 1{,}688$

Penyerapan air CKS sampel 1 $= \frac{200-183}{200} \times 100 = 8{,}50\%$

Penyerapan air CKS sampel 2 $= \frac{200-184}{200} \times 100 = 8{,}0\%$

Berdasarkan dari Tabel 5.1 dan Tabel 5.2, berat jenis rata-rata dari pasir dan berat jenis rata-rata dari CKS memiliki perbedaan. Berat jenis CKS lebih ringan berkisar 55% dari berat jenis pasir, tetapi memiliki tingkat penyerapan air lebih besar dari pasir. Berat jenis dari kedua material masih memenuhi persyaratan berat jenis dari ASTM C128-93 tentang batas berat jenis agregat yang baik dan aman untuk beton, yaitu 1,2 hingga 3,0. Nilai dari penyerapan air untuk material pasir sebesar 2,84% masih memenuhi persyaratan dari ASTM C128-93, yaitu penyerapan air maksimal sebesar 4%, tetapi material CKS yang memiliki nilai penyerapan air sebesar 8,25% melebihi persyaratan tersebut, ini dikarenakan CKS merupakan material yang berasal dari alam yang memiliki pori-pori lebih besar dari pasir, sehingga memiliki tingkat penyerapan air yang lebih tinggi. Hal ini juga disebutkan oleh Alengaram dkk., (2013) bahwa agregat organik yang mengandung banyak pori dapat meningkatkan penyerapan air, tetapi penyerapan air juga bervariasi tergantung ukuran CKS yang digunakan mulai dari 8% hingga 15%.

5.1.2 Pengujian berat isi padat dan gembur

Berikut merupakan hasil dan analisis dari pengujian berat isi padat dan gembur untuk material pasir dan cangkang kelapa sawit yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Isi Pasir

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	gram	6218	6218	6218
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	gram	14451	13338	13894,5
Berat Agregat (W3)	gram	8233	7120	7676,5
Volume Tabung (V)	cm^3	5182,454	5182,454	5182,454
Bobot isi Padat	$gram/cm^3$	1,589	1,374	1,481

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Cangkang Kelapa Sawit (CKS)

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	gram	6219	6219	6219
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	gram	10928	9885	10406,5
Berat Agregat (W3)	gram	4709	3666	4187,5
Volume Tabung (V)	cm^3	5227,169	5227,169	5227,169
Bobot isi Padat	$gram/cm^3$	0,901	0,701	0,801

Dalam penelitian ini digunakan 2 sampel pengujian berat isi, dimana sampel pertama dilakukan pemadatan saat dimasukkan kedalam cetakan, sedangkan sampel kedua tidak dilakukan pemadatan (gembur) saat dimasukkan kedalam cetakan. Perhitungan berat isi dilakukan berdasarkan dari Persamaan 3.5. Adapun contoh perhitungan sebagai berikut.

Berat isi pasir sampel 1 (padat) $= \frac{8233}{5182,454} = 1,589$ gram/cm^3

Berat isi pasir sampel 2 (gembur) $= \frac{7120}{5182,454} = 1,374$ gram/cm^3

Berat isi CKS sampel 1 (padat) $= \frac{4709}{5227,169} = 0,901$ gram/cm^3

Berat isi CKS sampel 2 (gembur) $= \frac{3666}{5227,169} = 0,701$ gram/cm^3

5.1.3 Pengujian lolos saringan No.200

Berikut merupakan hasil dan analisis dari pengujian lolos saringan No.200 untuk material pasir dan cangkang kelapa sawit yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 Pasir

Uraian	**Hasil**	
	Sampel 1	**Sampel 2**
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	494	493
Berat yang lolos saringan no. 200	1,20%	1,40%

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 Cangkang Kelapas Sawit (CKS)

Uraian	**Hasil**	
	Sampel 1	**Sampel 2**
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	462	465
Berat yang lolos saringan no. 200	7,60%	7,00%
Pencucian ke-2		
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	493	494
Berat yang lolos saringan no. 200	1,40%	1,20%

Dalam pengujian ini digunakan 2 sampel untuk pasir maupun CKS. Perhitungan pada pengujian ini menggunakan Persamaan 3.6. Adapun contoh perhitungan sebagai berikut.

Lolos saringan No.200 pasir sampel 1 $= \frac{500-494}{500} \times 100 = 1{,}20\ \%$

Lolos saringan No.200 pasir sampel 2 $= \frac{500-493}{500} \times 100 = 1{,}40\ \%$

Lolos saringan No.200 CKS sampel 1 $= \frac{500-462}{500} \times 100 = 7{,}60\ \%$

Lolos saringan No.200 CKS sampel 2 $= \frac{500-465}{500} \times 100 = 7{,}00\ \%$

Seteleh pencucian kedua

Lolos saringan No.200 CKS sampel 1 $= \frac{500-493}{500} \times 100 = 1{,}40\ \%$

Lolos saringan No.200 CKS sampel 2 $= \frac{500-494}{500} \times 100 = 1{,}20\ \%$

Berdasarkan Tabel 5.5 dan Tabel 5.6, cangkang kelapa sawit perlu dicuci 2 kali, ini dikarenakan sampel cangkang kelapa sawit yang diambil sudah tidak digunakan dalam jangka waktu cukup lama sehingga banyak kotoran-kotoran yang menempel. Material pasir dan cangkang kelapa sawit sudah memenuhi pengujian lolos saringan No.200, yang dimana agregat memiliki kadar lumpur tidak boleh lebih dari 5% sesuai dengan panduan SNI 03-6820-2002.

5.1.4 Pengujian analisa saringan

Berikut merupakan hasil dan analisis dari pengujian analisa saringan untuk material pasir dan cangkang kelapa sawit yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%		
20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%		
10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
4,80	25	1,25%	1,25%	98,75%	90%	100%
2,40	172	8,60%	9,85%	90,15%	75%	100%
1,20	214	10,71%	20,56%	79,44%	55%	90%
0,60	414	20,71%	41,27%	58,73%	30%	59%
0,30	584	29,21%	70,49%	29,51%	8%	30%
0,15	471	23,56%	94,05%	5,95%	0%	10%
Sisa	119	5,95%	100,00%	0,00%	0%	0%
Jumlah	1999	100,00%	237,47%			

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Cangkang Kelapa Sawit (CKS)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%		
20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%		
10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100	100
4,80	8,93	1,79%	1,79%	98,21%	90	100
2,40	208,31	41,66%	43,45%	56,55%	75	100
1,20	159,5	31,90%	75,35%	24,65%	55	90
0,60	95,95	19,19%	94,54%	5,46%	30	59
0,30	17,34	3,47%	98,01%	1,99%	8	30
0,15	8,57	1,71%	99,72%	0,28%	0	10
Sisa	1,39	0,28%	100,00%	0,00%	0	0
Jumlah	499,99	100,00%	412,85%			

Dari Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 di atas, perlu adanya perhitungan prensetase berat yang hilang dan modulus halus butir dengan Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

Presetase berat hilang agregat pasir $= \frac{2000\text{-}1999}{2000} \times 100 = 0{,}05\ \%$

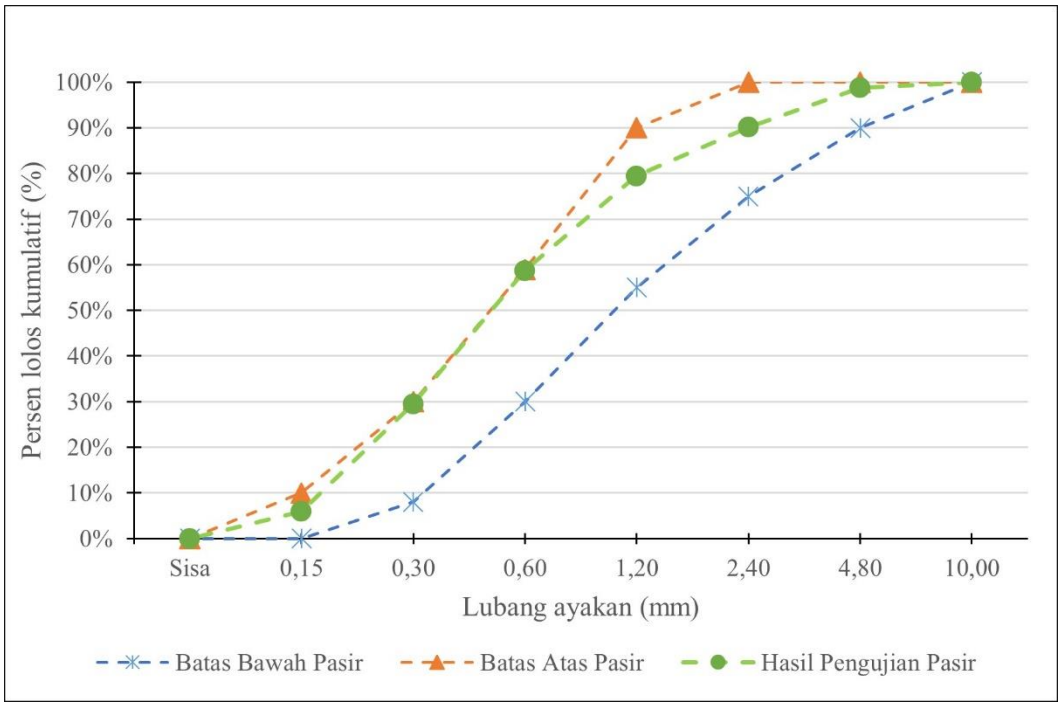
Presetase berat hilang agregat CKS $= \frac{500\text{-}499}{500} \times 100 = 0{,}05\ \%$

Modulus halus butir agregat pasir $= \frac{337{,}47\text{-}100}{100} = 2{,}37$

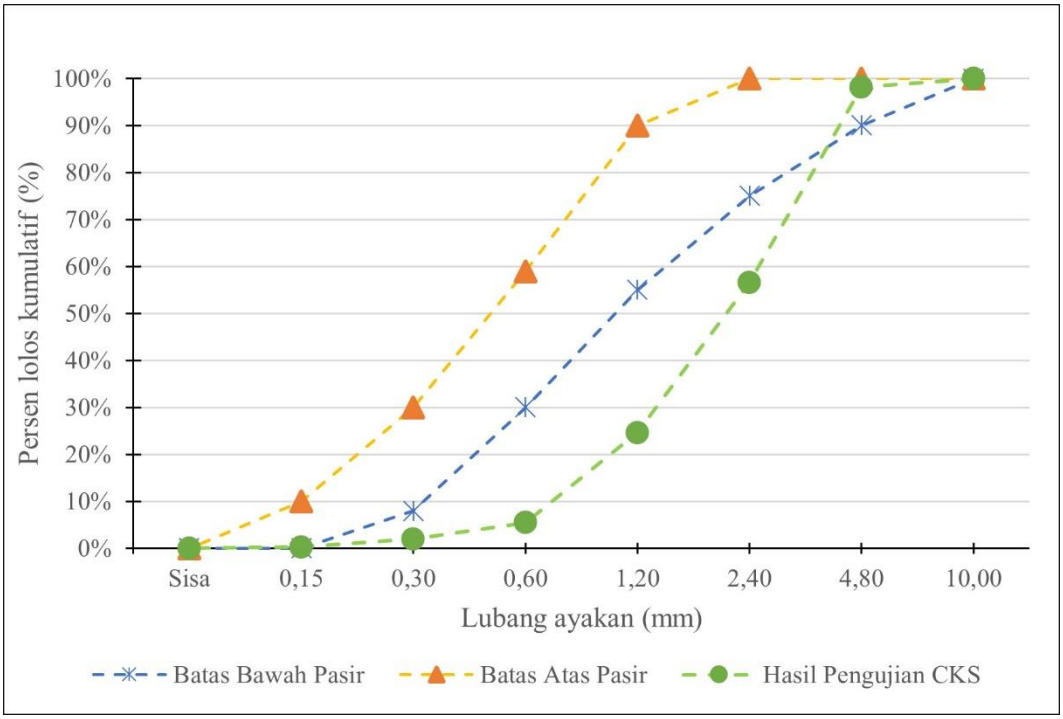
Modulus halus butir agregat CKS $= \frac{514{,}85\text{-}100}{100} = 4{,}12$

Berdasarkan dari hasil pengujian analisa saringan pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 diatas, modulus halus butir pada agregat pasir sesuai dengan spesifikasi yang diisyaratkan oleh SNI 03-1750-1990, yaitu sebesar 2,0 hingga 3,0. Tetapi modulus halus butir cangkang kelapa sawit (CKS) tidak memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan. Hasil MHB (modulus halus butir) dari cangkang kelapa sawit adalah 4,12. Ini bisa terjadi karena cangkang kelapa sawit merupakan agregat yang berasal dari alam yang sebelumnya memiliki ukuran butiran yang besar berkisar 5 mm hingga 12,7 mm (Oyejobi dkk., 2020), yang kemudian pada penelitian ini, dihaluskan hingga berukuran ≤ 4,75 mm. Hasil penghalusan yang tidak maksimal dari mesin penghalus yang digunakan dapat menjadi penyebab dari rendahnya nilai MHB cangkang kelapa sawit tersebut.

Hasil dari pengujian analisa saringan juga menunjukan bahwa pasir yang digunakan termasuk dalam rentang pasir agak kasar (daerah gradasi 2). Sedangkan cangkang kelapa sawit tidak termasuk dalam daerah gradasi yang baik, tetapi termasuk dalam gradasi seragam, yaitu ukuran butiran agregat cenderung sama. Pada cangkang kelapa sawit, ukuran butiran didominasi ukuran 2,45 mm hingga 1,2 mm. Untuk spesifikasi gradasi dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Gradasi Agregat Halus Pasir



Gambar 5. 2 Gradasi Agregat Halus Cangkang Kelapa Sawit

5.2 Perhitungan *Mix Design* Bata Ringan CLC

Hingga sekarang, masih belum ada ketentuan yang pasti dalam *mix design* yang baku untuk pembuatan bata ringan CLC. Hal ini dapat dipengaruhi oleh berat jenis dari bata ringan CLC dipengaruhi oleh penggunaan *foam agent* yang ketika dicampurkan kedalam adukan menghasilkan busa sehingga bata ringan menjadi berpori. Oleh sebab itu, perencaan *mix design* bata ringan CLC pada penelitian ini menggunakan pendekatan terdapa SNI 8640-2018 dan jurnal-jurnal terkait pembuatan bata ringan CLC. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Winarno dkk., (2013), bata ringan dengan komposisi perbandingan pasir dan semen 1:1 akan menghasilkan bobot isi kurang lebih 770 kg/m^3.

Pada penelitian ini, perhitungan *mix design* mengacu pada volume cetakan yang akan digunakan dalam sekali pembuatan benda uji. Dalam 1 m^3 campuran bata ringan digunakan perbandingan pasir dan semen sebesar 1,5:1 dengan nilai perbandingan semen dan air (FAS) sebesar 0,58 berdasarkan ketentuan ASTM C796M-12. Campuran busa dari *foam agent* dengan air mengikuti instruksi dari produsen *foam agent*, yaitu sebesar 1:40 serta penggunaan *silica fume* menggantikan semen sebesar 10% dari berat semen yang digunakan. Berikut ini merupakan komposisi campuran yang digunakan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Komposisi Campuran Bata Ringan CLC

No	Volume Cetakan	Jumlah	Variasi	Silica Fume	CKS	Berat Air	Berat CKS	Berat Silica Fume	Berat Pasir Rencana	Berat Semen Rencana
	m3	buah				lt	kg	kg	kg	kg
1	0,012	7	(Normal)	0%	0%	13,64	0,00	0,00	35,28	23,52
2	0,012	7	(SF)	10%	0%	13,64	0,00	2,35	35,28	21,17
3	0,012	7	(SF + CKS)	10%	4%	13,64	1,41	2,35	33,87	21,17
4	0,012	7	(SF + CKS)	10%	6%	13,64	2,12	2,35	33,16	21,17
5	0,012	7	(SF + CKS)	10%	8%	13,64	2,82	2,35	32,46	21,17
6	0,012	7	(SF + CKS)	10%	10%	13,64	3,53	2,35	31,75	21,17
7	0,012	7	(CKS)	0%	4%	13,64	1,41	0,00	33,87	23,52
8	0,012	7	(CKS)	0%	6%	13,64	2,12	0,00	33,16	23,52
9	0,012	7	(CKS)	0%	8%	13,64	2,82	0,00	32,46	23,52
10	0,012	7	(CKS)	0%	10%	13,64	3,53	0,00	31,75	23,52
TOTAL	**0,84**	**70**				**136,42**	**19,76**	**11,76**	**333,04**	**223,44**

Keterangan:

1. SF = *Silica Fume*
2. CKS = Cangkang Kelapa Sawit
3. SF + CKS = *Silica Fume* + Cangkang Kelapa Sawit

Adapun analisa dari perencanaan *mix design* campuran bata ringan CLC, yaitu dalam 1 m^3 bata ringan dengan bobot isi rencana sebesar 700 kg/m^3 dan perbandingan komposisi semen dan pasir adalah 1:1,5, maka dibutuhkan material perhitungan material sebagai berikut.

Kebutuhan semen $1m^3$ $= \frac{\text{1 bagian semen}}{\text{2,5 bagian}}$ x bobot isi rencana

$= \frac{\text{1 bagian semen}}{\text{2,5 bagian}}$ x 700

= 280 kg

Kebutuhan pasir $1m^3$ $= \frac{\text{1,5 bagian pasir}}{\text{2,5 bagian}}$ x bobot isi rencana

$= \frac{\text{1,5 bagian pasir}}{\text{2,5 bagian}}$ x 700

= 420 kg

Kebutuhan air $1m^3$ = Nilai FAS rencana x Berat semen

= 0,58 x 280

= 162,4 liter

Dikarenakan satu cetakan memiliki volume 0,012 m^3 dan berjumlah sebanyak 70 benda uji, maka volume bata ringan keseluruhan pada penelitian ini sebesar 0,84 m^3. Maka kebutuhan semen, pasir, dan air pada penelitian ini sebesar.

Kebutuhan semen rencana = 0,84 x 280

= 235,2 kg

Kebutuhan semen rencana 1 variasi = 23,52 kg

Kebutuhan pasir rencana = 0,84 x 420

= 352,8 kg

Kebutuhan pasir rencana 1 variasi = 35,28 kg

Kebutuhan air rencana = 0,84 x 162,4

= 136,4 lt

Kebutuhan air rencana 1 variasi = 13,64 lt

Dari perhitungan tersebut, maka bisa didapatkan kebutuhan cangkang kelapa sawit dan *silica fume* yang digunakan pada campuran bata ringan CLC untuk satu variasi dengan perhitungan sebagai berikut.

Kebutuhan *silica fume* 1 variasi	= 10% x Berat semen rencana 1 variasi
	= 10% x 23,52
	= 2,35 kg
Kebutuhan *silica fume*	= 2,35 x Jumlah variasi
	= 2,35 x 5
	= 11,76 kg
Kebutuhan CKS 10% 1 variasi	= 10% x Berat pasir rencana 1 variasi
	= 10% x 35,28
	= 3,53 kg
Kebutuhan CKS 8% 1 variasi	= 8% x Berat pasir rencana 1 variasi
	= 8% x 35,28
	= 2,82 kg
Kebutuhan CKS 6% 1 variasi	= 6% x Berat pasir rencana 1 variasi
	= 6% x 35,28
	= 2,12 kg
Kebutuhan CKS 4% 1 variasi	= 4% x Berat pasir rencana 1 variasi
	= 4% x 35,28
	= 1,41 kg
Total kebutuhan CKS	= (3,53+2,82+2,12+1,41) x 2
	= 19,76 kg
Total kebutuhan semen	= 235,2 – 11,76
	= 223,44 kg
Total kebutuhan pasir	= 352,8 – 19,76
	= 333,04 kg

5.3 Pengujian Bata Ringan

Dalam penelitian ini, pengujian bata ringan terdiri dari pengujian bobot isi, pengujian penyerapan air, serta pengujian kuat tekan. Setiap pengujian mengikuti prosedur yang tercantum pada SNI 8640-2018. Dari pembuatan bata ringan dengan metode *Cellular lightweight concrete*, didapatkan bentuk fisik bata ringan yang relatif memiliki permukaan yang baik, serta tidak rapuh saat diangkat dan diletakan saat proses pemindahan dari tempat produksi ke laboratorium Bahan Konstruksi Teknik. Tanpa menggunakan bahan tambah, ketika bata ringan terpapar sinar matahari permukaan bata ringan akan memiliki warna cenderung putih, ini bisa disebabkan karena penggunaan busa saat pencampuran bata ringan tersebut. Serta secara tampak fisik bata ringan ketika menggunakan cangkang kelapa sawit memiliki permukaan yang baik serta tidak ada tonjolan dari cangkang kelapa sawit. Berbeda dibandingkan dengan Oktarina & Natalina, (2018) ketika cangkang kelapa sawit tidak dihaluskan, maka cangkang kelapa sawit akan timbul pada permukaan bata ringan serta mengakibatkan permukaan bata ringan yang tidak terlalu baik. Berikut merupakan tampak bata ringan yang telah dibuat pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

Gambar 5. 3 Penampakan Bata Ringan

5.3.1 Pengujian Bobot Isi

Pengujian bobot isi dilakukan setelah bata ringan mencapai umur 28 hari dan telah dipotong sesuai ketentuan dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 10 cm. Pada pengujian bobot isi bata ringan, ada tiga jenis bobot isi bata ringan, yaitu bobot isi kering nominal, bobot isi kering oven, dan bobot isi jenuh air. Proses pengeringan bata ringan pada oven dapat dilihat pada Gambar 5.4. Pada proses pengeringan, semua kandungan air yang terperangkap didalam pori-pori bata ringan akan menguap sehingga bata ringan bebas akan kandungan air. Kondisi bata ringan saat kering inilah yang menjadi acuan dari bobot isi rencana. Perhitungan pengujian bobot isi menggunakan Persamaan 3.11 hingga Persamaan 3.12.

Gambar 5. 4 Bata Ringan Dikeringkan Didalam Oven

Berikut merupakan hasil dari pengujian bobot isi bata ringan yang dilakukan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Bobot Isi Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit

No	Pengujian	Satuan	Notasi	Variasi				
				Normal	CKS 4%	CKS 6%	CKS 8%	CKS 10%
				1	2	3	4	5
1	Berat Utuh	g	*Bt*	9674,50	8525,00	9689,00	8580,50	8134,00
2	Berat Awal	g	B_A	3175,50	2879,75	3176,50	2910,50	2702,00
3	Berat Kering Oven	g	*Bko*	2912,75	2535,75	2764,75	2671,00	2561,50
4	Berat Jenuh Air	g	*Bssd*	3545,50	3174,50	3461,25	3406,00	3404,75
5	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	$BI = (B_A / V) \times 10^6$	739,94	687,74	733,40	668,45	638,24
6	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	$BIo = (B_{KO}/V) \times 10^6$	678,55	624,94	638,32	613,24	605,74
7	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	$BIA = (B_{SSD}/V) \times 10^6$	825,94	782,49	799,25	781,57	804,92

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Bobot Isi Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica Fume*

No	Pengujian	Satuan	Notasi	Variasi				
				SF 10%	SF 10% CKS 4%	SF 10% CKS 6%	SF 10% CKS 8%	SF 10% CKS 10%
				1	2	3	4	5
1	Berat Utuh	g	*Bt*	9993,50	8865,00	9651,50	8749,50	8441,50
2	Berat Awal	g	B_A	3320,00	3065,50	3387,50	2852,75	2761,00
3	Berat Kering Oven	g	*Bko*	2750,25	2643,00	2767,25	2550,50	2506,50
4	Berat Jenuh Air	g	*Bssd*	3480,00	3368,00	3562,75	3333,75	3382,75
5	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	$BI = (B_A / V) \times 10^6$	800,54	764,15	810,67	692,78	681,46
6	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	$BIo = (B_{KO} / V) \times 10^6$	663,12	658,86	662,19	619,53	618,97
7	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	$BIA = (B_{SSD} / V) \times 10^6$	838,82	839,51	852,63	809,58	835,54

Adapun contoh perhitungan analisis bobot isi bata ringan pada variasi normal sebagai berikut.

Berat awal = 3175,50 gr

Berat kering oven = 2912.75 gr

Berat jenuh air = 3545,50 gr

Volume = 4296864,63 mm^3

Bobot isi nominal $= \frac{3175,50}{4296864,63} \times 10^6$

$= 739,94$ kg/m^3

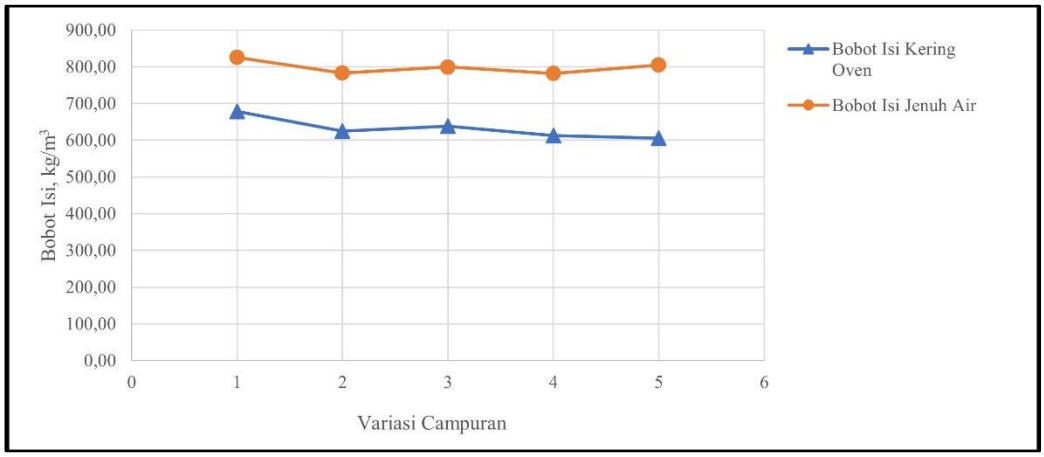
Bobot isi kering oven $= \frac{2912,75}{4296864,63} \times 10^6$

$= 678,55$ kg/m^3

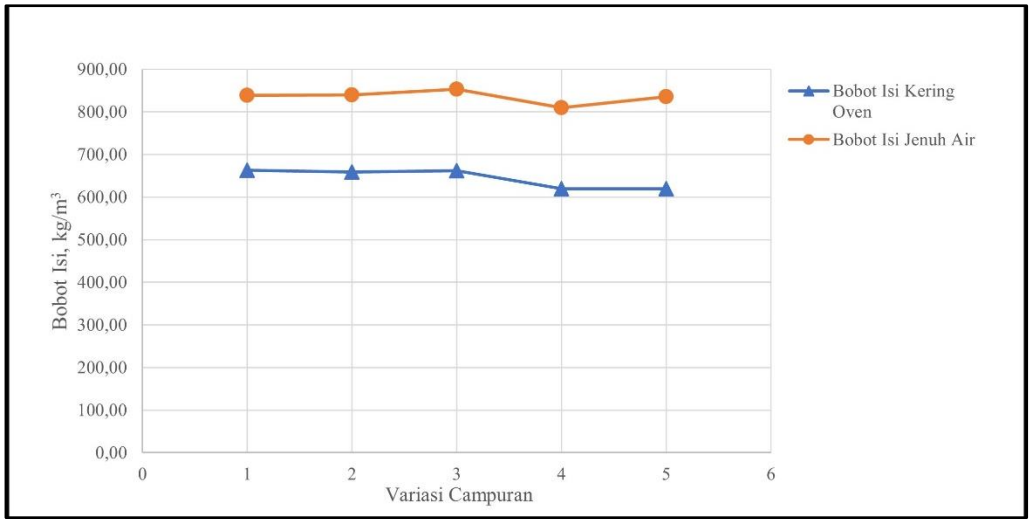
$$\text{Bobot isi jenuh air} = \frac{3545{,}50}{4296864{,}63} \times 10^6$$

$$= 825{,}94 \text{ kg/m}^3$$

Dari hasil pengujian bobot isi yang telah dilakukan, diperoleh bobot isi kering yang bervariatif dengan bobot isi kering terendah 605,54 kg/m^3 dan bobot isi tertinggi 678,55 kg/m^3. Berdasarkan dari SNI 8640-2018, nilai bobot isi bata ringan telah memenuhi kategori bata ringan nonstruktural IIA dengan kelas bobot isi kering oven rencana, yaitu 700 kg/m^3 dengan rentang bobot isi kering oven 600 kg/m^3 hingga 800 kg/m^3. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian pasir mengakibatkan penurunan bobot isi kering seiring dengan jumlah cangkang kelapa sawit yang ditambahkan. Kecenderungan yang sama juga disampaikan pada penelitian (Oddang, 2019; Oktarina & Natalina, 2018; Oyejobi dkk., 2020; Philips dkk., 2017; Prasetyo & Oddang, 2019). Hal itu dapat disebabkan dari berat jenis dari cangkang kelapa sawit (Tabel 5.2) dibandingkan dengan berat jenis pasir. Selain itu, nilai modulus halus butir yang rendah dapat mengakibatkan rongga pada bata ringan lebih besar. Tetapi bobot isi dapat dipengaruhi oleh berbagai variasi keadaan. Chen dkk.,(2021) menjelaskan bobot isi dari bata ringan dapat dipengaruhi dari lamanya pengadukan, volume penambahan busa pada campuran, serta komposisi bahan penyusun. Perbedaan dari bobot isi juga menyebabkan pengaruh baik terhadap sifat mekanis serta sifat fisi bata ringan itu sendiri. Adapun nilai bobot isi pada bata ringan dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 5 Bobot Isi Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit



Gambar 5. 6 Bobot Isi Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica Fume*

5.3.2 Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air dilakukan setelah bata ringan mencapai umur 28 hari dan telah dipotong sesuai ketentuan dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 10 cm. Perhitungan pengujian penyerapan air menggunakan Persamaan 3.14. Saat bata ringan direndam kedalam bak perendaman, bata ringan akan mengapung yang disebabkan rongga-rongga yang terbentuk didalam bata ringan tersebut. Berikut merupakan pengujian penyerapan air dengan merendam bata ringan kedalam bak rendam yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

Gambar 5. 7 Perendaman Bata Ringan

Berikut merupakan hasil dari pengujian penyerapan air bata ringan yang dilakukan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Penyerapan Air Bata Ringan dengan Cangkang Kelapa Sawit

No	Pengujian	Satuan	Variasi				
			Normal	CKS 4%	CKS 6%	CKS 8%	CKS 10%
			1	2	3	4	5
1	Berat Utuh	g	9674,50	8525,00	9689,00	8580,50	8134,00
2	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	739,94	687,74	733,40	668,45	638,24
3	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	678,55	624,94	638,32	613,24	605,74
4	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	825,94	782,49	799,25	781,57	804,92
5	Penyerapan Air	% vol	14,74	15,75	16,09	16,83	19,92

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Penyerapan Air Bata Ringan dengan Cangkang Kelapa Sawit dan *Silica fume*

No	Pengujian	Satuan	Variasi				
			SF 10%	SF 10% CKS 4%	SF 10% CKS 6%	SF 10% CKS 8%	SF 10% CKS 10%
			1	2	3	4	5
1	Berat Utuh	g	9993,50	8865,00	9651,50	8749,50	8441,50
2	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	800,54	764,15	810,67	692,78	681,46
3	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	663,12	658,86	662,19	619,53	618,97
4	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	838,82	839,51	852,63	809,58	835,54
5	Penyerapan Air	% vol	17,57	18,06	19,04	19,00	21,66

Adapun contoh perhitungan analisis untuk pengujian penyerapan air pada bata ringan variasi normal dapat dilihat sebagai berikut.

Bobot isi kering oven = 678,55 kg/m^3

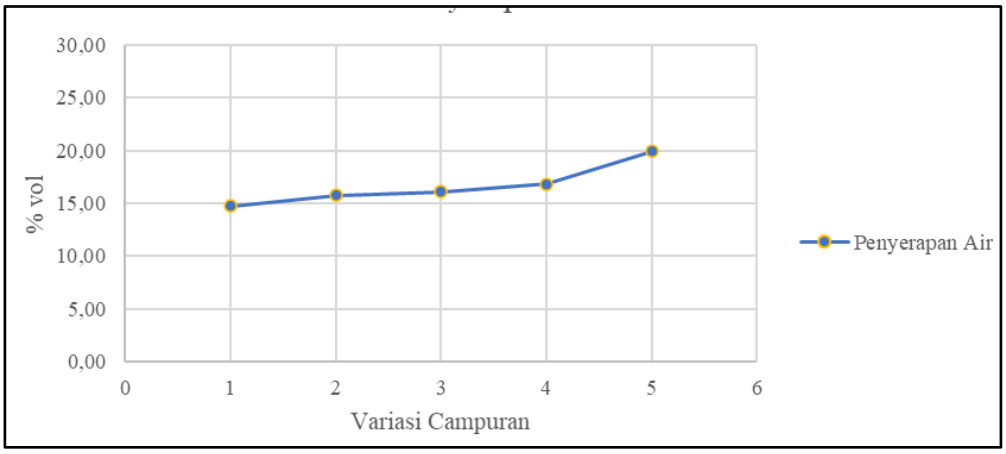
Bobot isi jenuh air = 825,94 kg/m^3

Penyerapan air $= \frac{825{,}94\text{-}678{,}55}{1000}$ x 100%

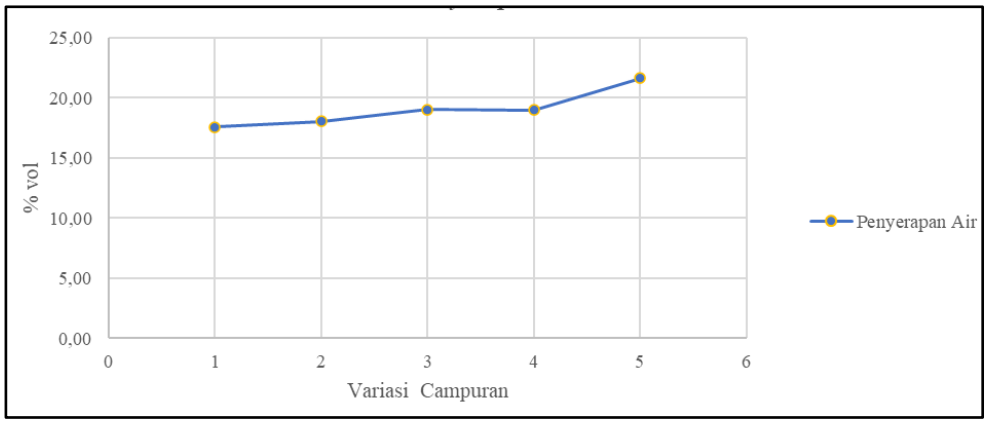
= 14,74%

Berdasarkan hasil dari pengujian penyerapan air pada bata ringan, diperoleh tingkat penyerapan air yang bervariatif dan menunjukan kecenderungan kenaikan tingkat penyerapan air seiring penambahan variasi cangkang kelapa sawit. Tingkat penyerapan air paling rendah didapatkan sebesar 14,74% dan paling tinggi sebesar 21,66%. Mengacu pada SNI 8640-2018, tingkat penyerapan air yang dipersyaratkan untuk bata ringan nonstruktural IIA sebesar 25%. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut memiliki pola yang sama pada penelitian yang dilakukan oleh (Fanijo dkk., 2020; Mannan & Ganapathy, 2002; Ndoke, 2006; Oktarina & Natalina, 2018). Peningkatan tingkat penyerapan air seiring dengan penambahan cangkang kelapa sawit ini dapat diakibatkan oleh sifat dasar

dari cangkang kelapa sawit yang memiliki tingkat penyerapan air lebih besar dibandingkan dengan penyerapan air dari pasir. Menurut Mannan & Ganapathy, (2002) tingkat penyerapan air juga tergantung dengan kondisi lingkungan saat *curing* serta umur benda uji. Penggunaan *silica fume* sebagai pengganti sebagian bahan pengikat, tidak memberikan dampak signifikan dalam peningkatan penyerapan air. Kenaikan tingkat penyerapan air lebih banyak diakibatkan oleh penggunaan agregat cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian dari agregat halus. Akan tetapi, karena nilai penyerapan air yang masih dibawah 25% bata ringan masih memenuhi syarat. Kenaikan tingkat penyerapan air dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5. 8 Penyerapan Air Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit



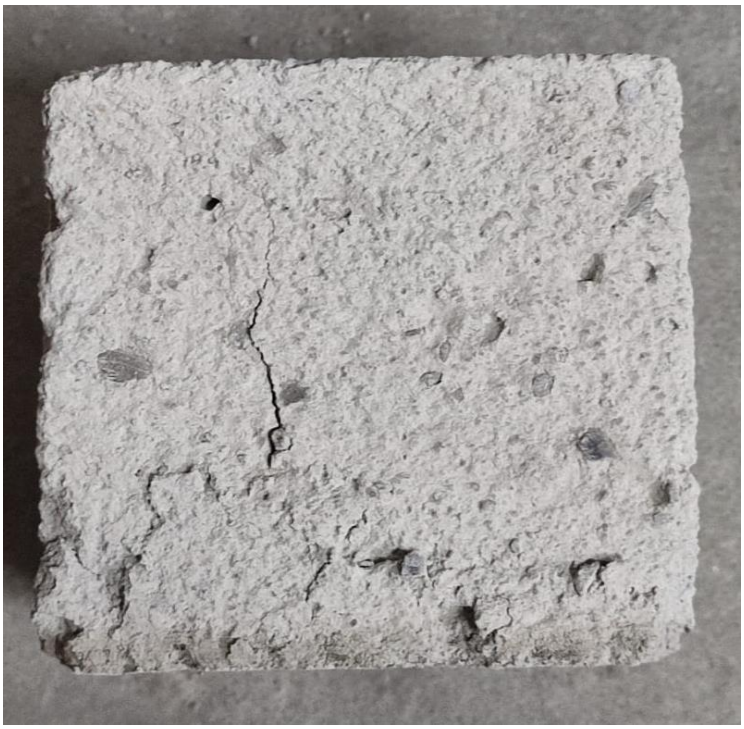
Gambar 5. 9 Penyerapan Air Bata Ringan Dengan Cangkang Kelapa Sawit & *Silica Fume*

5.3.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah bata ringan mencapai umur 28 hari dan telah dipotong sesuai ketentuan dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm. Perhitungan pengujian kuat tekan menggunakan Persamaan 3.9. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *universal testing machine* yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

Gambar 5. 10 Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan

Bata ringan yang telah dilakukan pengujian kuat tekan, disingkirkan kemudian diganti dengan benda uji selanjutnya. Kondisi dari bata ringan setelah dilakukan pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 Kondisi Bata Ringan Setelah Pengujian Kuat Tekan

Benda uji satu persatu dilakukan pengujian. Hasil dari pengujian tiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 14 Pengujian Kuat Tekan Iindividu Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit

No	Kode Benda Uji	Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	N1.1	9928,300	768,000	685,000	6717,555	0,677
2	N1.2	9994,895	831,000	740,000	7256,921	0,726
3	N2.1	9979,708	859,000	615,000	6031,090	0,604
4	N2.2	10170,720	854,000	580,000	5687,857	0,559
5	N3.1	10090,113	766,000	375,000	3677,494	0,364
6	N3.2	9776,265	774,000	545,000	5344,624	0,547
7	N4.1	10069,400	787,000	400,000	3922,660	0,390
8	N4.2	9939,968	822,000	575,000	5638,824	0,567
9	N5.1	9973,750	817,000	660,000	6472,389	0,649
10	N5.2	10251,500	801,000	600,000	5883,990	0,574

Lanjutan Tabel 5. 14 Pengujian Kuat Tekan Iindividu Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit

Rata-Rata		**10017,462**	**807,900**	**577,500**	**5663,340**	**0,566**
1	4%CKS1.1	9969,773	643,000	400,000	3922,660	0,393
2	4%CKS1.2	9944,310	660,000	410,000	4020,727	0,404
3	4%CKS2.1	9954,975	660,000	480,000	4707,192	0,473
4	4%CKS2.2	9761,438	663,000	470,000	4609,126	0,472
5	4%CKS3.1	10205,975	706,000	525,000	5148,491	0,504
6	4%CKS3.2	9786,155	700,000	465,000	4560,092	0,466
7	4%CKS4.1	10170,683	758,000	620,000	6080,123	0,598
8	4%CKS4.2	10216,155	753,000	520,000	5099,458	0,499
9	4%CKS5.1	9999,840	756,000	600,000	5883,990	0,588
10	4%CKS5.2	10069,400	871,000	735,000	7207,888	0,716
Rata-Rata		**10007,870**	**717,000**	**522,500**	**5123,975**	**0,511**
1	6%CKS1.1	10170,660	691,000	515,000	5050,425	0,497
2	6%CKS1.2	10135,380	744,000	500,000	4903,325	0,484
3	6%CKS2.1	9924,460	711,000	475,000	4658,159	0,469
4	6%CKS2.2	9934,715	781,000	515,000	5050,425	0,508
5	6%CKS3.1	9849,353	787,000	575,000	5638,824	0,573
6	6%CKS3.2	10175,750	730,000	505,000	4952,358	0,487
7	6%CKS4.1	10211,080	770,000	640,000	6276,256	0,615
8	6%CKS4.2	9983,955	802,000	600,000	5883,990	0,589
9	6%CKS5.1	9934,055	727,000	505,000	4952,358	0,499
10	6%CKS5.2	9999,878	676,000	465,000	4560,092	0,456
Rata-Rata		**10031,929**	**741,900**	**529,500**	**5192,621**	**0,518**
1	8%CKS1.1	10195,900	720,000	190,000	1863,264	0,183
2	8%CKS1.2	10190,743	623,000	170,000	1667,131	0,164
3	8%CKS2.1	9943,920	713,000	210,000	2059,397	0,207
4	8%CKS2.2	9929,820	822,000	375,000	3677,494	0,370
5	8%CKS3.1	9878,920	680,000	205,000	2010,363	0,204
6	8%CKS3.2	10165,605	790,000	575,000	5638,824	0,555
7	8%CKS4.1	10236,240	790,000	400,000	3922,660	0,383
8	8%CKS4.2	9954,841	806,000	750,000	7354,988	0,739
9	8%CKS5.1	10090,200	871,000	900,000	8825,985	0,875
10	8%CKS5.2	10132,125	902,000	705,000	6913,688	0,682
Rata-Rata		**10071,831**	**771,700**	**448,000**	**4393,379**	**0,436**
1	10%CKS1.1	10110,180	642,000	355,000	3481,361	0,344
2	10%CKS1.2	10200,750	798,000	340,000	3334,261	0,327

Lanjutan Tabel 5. 14 Pengujian Kuat Tekan Iindividu Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit

3	10%CKS2.1	10049,760	682,000	360,000	3530,394	0,351
4	10%CKS2.2	10009,980	606,000	360,000	3530,394	0,353
5	10%CKS3.1	10019,760	738,000	360,000	3530,394	0,352
6	10%CKS3.2	10210,800	692,000	325,000	3187,161	0,312
7	10%CKS4.1	10231,320	651,000	325,000	3187,161	0,312
8	10%CKS4.2	10120,320	586,000	380,000	3726,527	0,368
9	10%CKS5.1	9935,100	694,000	385,000	3775,560	0,380
10	10%CKS5.2	10075,125	701,000	345,000	3383,294	0,336
Rata-Rata		**10096,310**	**679,000**	**353,500**	**3466,651**	**0,344**

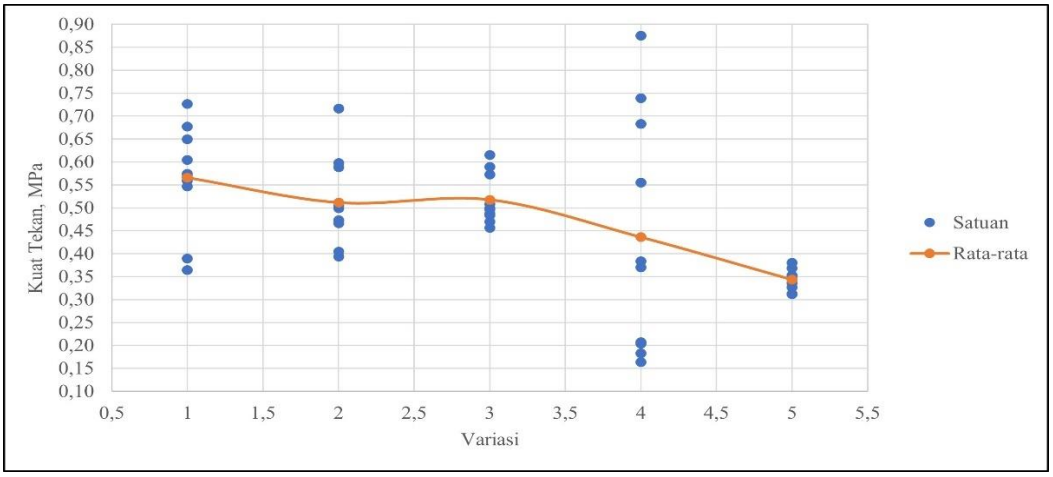
Tabel 5. 1515 Pengujian Kuat Tekan Individu Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit & *Silica Fume*

No	**Kode Benda Uji**	**Luas Bidang Tekan**	**Berat**	**Beban (P)**	**Beban (P)**	**Kuat Tekan**
		mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	SF1.1	9984,975	742,000	721.000	7070.595	0.708
2	SF1.2	10070,060	759,000	733.000	7188.274	0.714
3	SF2.1	10065,030	769,000	697.500	6840.138	0.680
4	SF2.2	10105,245	715,000	634.000	6217.416	0.615
5	SF3.1	10034,700	705,000	605.000	5933.023	0.591
6	SF3.2	10004,545	716,000	685.000	6717.555	0.671
7	SF4.1	10135,440	727,000	810.000	7943.387	0.784
8	SF4.2	10150,473	732,000	766.000	7511.894	0.740
9	SF5.1	10095,150	862,000	765.000	7502.087	0.743
10	SF5.2	10165,650	793,000	776.250	7612.412	0.749
Rata-Rata		**10081,127**	**752,000**	**719.275**	**7053.678**	**0.700**
1	4%SF1.1	10059,788	841,000	749,250	7347,633	0,730
2	4%SF1.2	10115,280	796,000	684,500	6712,652	0,664
3	4%SF2.1	10085,075	893,000	878,750	8617,594	0,854
4	4%SF2.2	10150,540	908,000	897,250	8799,017	0,867
5	4%SF3.1	10004,985	658,000	222,000	2177,076	0,218
6	4%SF3.2	10115,325	592,000	277,500	2721,345	0,269
7	4%SF4.1	10140,480	791,000	814,000	7982,613	0,787
8	4%SF4.2	10034,925	787,000	777,000	7619,767	0,759
9	4%SF5.1	10050,053	763,000	647,500	6349,806	0,632

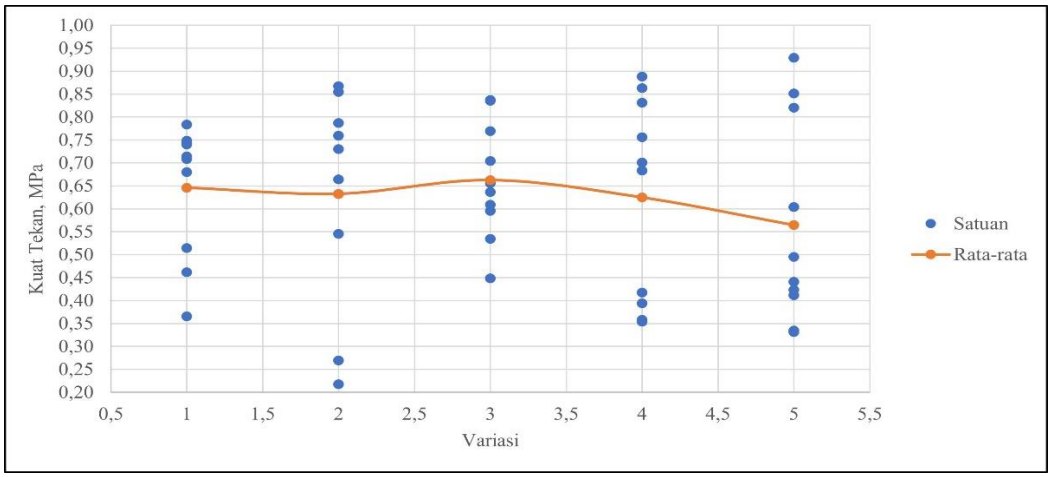
Lanjutan Tabel 5. 1516 Pengujian Kuat Tekan Individu Bata Ringan Cangkang Kelapa Sawit & *Silica Fume*

10	4%SF5.2	9985,000	794,000	555,000	5442,691	0,545
Rata-Rata		**10074,145**	**782,300**	**650,275**	**6377,019**	**0,633**
1	6%SF1.1	10044,775	753,000	547,500	5369,141	0,535
2	6%SF1.2	10095,000	798,000	675,000	6619,489	0,656
3	6%SF2.1	10130,420	837,000	795,000	7796,287	0,770
4	6%SF2.2	10135,405	792,000	727,500	7134,338	0,704
5	6%SF3.1	10015,005	846,000	855,000	8384,686	0,837
6	6%SF3.2	10125,390	868,000	862,500	8458,236	0,835
7	6%SF4.1	10125,385	890,000	615,000	6031,090	0,596
8	6%SF4.2	10049,973	917,000	652,500	6398,839	0,637
9	6%SF5.1	10029,900	859,000	622,500	6104,640	0,609
10	6%SF5.2	10014,825	825,000	457,500	4486,542	0,448
Rata-Rata		**10076,608**	**838,500**	**681,000**	**6678,329**	**0,663**
1	8%SF1.1	10030,020	693,000	402,500	3947,177	0,394
2	8%SF1.2	10060,068	716,000	367,500	3603,944	0,358
3	8%SF2.1	10045,035	869,000	700,000	6864,655	0,683
4	8%SF2.2	9805,845	926,000	831,250	8151,778	0,831
5	8%SF3.1	9741,268	793,000	857,500	8409,202	0,863
6	8%SF3.2	10039,318	791,000	717,500	7036,271	0,701
7	8%SF4.1	10149,240	941,000	918,750	9009,860	0,888
8	8%SF4.2	10216,155	869,000	787,500	7722,737	0,756
9	8%SF5.1	10185,840	666,000	367,500	3603,944	0,354
10	8%SF5.2	10065,090	751,000	428,750	4204,601	0,418
Rata-Rata		**10033,788**	**801,500**	**637,875**	**6255,417**	**0,625**
1	SF1.1	10014,480	540,000	450,000	4412,993	0,441
2	SF1.2	9958,600	622,000	502,500	4927,842	0,495
3	SF2.1	9973,635	887,000	945,000	9267,284	0,929
4	SF2.2	9955,035	908,000	832,500	8164,036	0,820
5	SF3.1	10110,180	810,000	622,500	6104,640	0,604
6	SF3.2	10024,560	838,000	870,000	8531,786	0,851
7	SF4.1	9994,860	673,000	337,500	3309,744	0,331
8	SF4.2	10105,225	706,000	345,000	3383,294	0,335
9	SF5.1	10075,135	645,000	435,000	4265,893	0,423
10	SF5.2	9820,770	641,000	412,500	4045,243	0,412
Rata-Rata		**10003,248**	**727,000**	**575,250**	**5641,275**	**0,564**

Dari hasil pengujian kuat tekan bata ringan secara individu pada masing-masing variasi bata ringan, didapatkan hasil bahwa pada satu variasi bata ringan memiliki berat serta kuat tekan yang berbeda-beda. Ini bisa terjadi karena saat pembuatan bata ringan, kemampuan dalam mencampur benda uji hanya sebanyak 3 buah benda uji. Kendala pada alat *foam generator* yang tidak dapat maksimal dalam menghasilkan busa juga menjadi alasan untuk hal tersebut. Karena itulah perbedaan berat serta kuat tekan dapat terjadi pada bata ringan dalams satu variasi yang sama. Pada pengujian kuat tekan individu bata ringan, tidak ada bata ringan yang memenuhi syarat SNI 8640-2018 untuk kuat tekan satuan bata ringan, yaitu 2 MPa. Pengaruh daripada penggunaan *foam generator* yang kurang maksimal serta pembuatan bata ringan yang terbatas hanya 3 buah untuk setiap pencampuran dapat dilihat pada persebaran data kuat tekan bata ringan secara individu pada grafik persebaran data tiap variasi pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5. 12 Persebaran Kuat Tekan Bata Ringan Secara Individu Bata Ringan CKS



Gambar 5. 13 Persebaran Kuat Tekan Bata Ringan Secara Individu Bata Ringan CKS & SF

5.3.4 Pengujian Statistika

Pengujian statistika ditunjukan pada data hasil pengujian kuat tekan, yang terdiri dari pengujian Normalitas dengan metode *Shapiro Wilk* dan pengujian Homogenitas dengan metode *Levene*. Pengujian ini dilakukan dengan bantuan aplikasi SPSS versi 26. Uji normalitas sendiri digunakan untuk melihat apakah nilai residual terdistribusi normal atau tidak (Hanry Febryanto, 2023). Sedangkan pengujian homogenitas adalah pengujian lanjutan dari pengujian normalitas yang bertujuan untuk mengetahui data yang diambil adalah kelompok data dari populasi dengan varian yang sama.

Pada pengujian normalitas memiliki kriteria data terdistribusi normal dengan Sig.> p = 0,05 (H_0 diterima), juga berlaku sebaliknya.

H_0 = data terdistribusi normal

H_1 = data tidak terdistribusi normal

Hasil pengujian normalitas pada pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Hasil Uji Normalitas Kuat Tekan

Variasi	*Shapiro wilk*				Keterangan
	Statistik	Df	Sig.	Hasil	
Normal	0,918	10	0,338	H_0	Terdistribusi Normal
CKS4%	0,912	10	0,298	H_0	Terdistribusi Normal
CKS6%	0,869	10	0,097	H_0	Terdistribusi Normal
CKS8%	0,888	10	0,163	H_0	Terdistribusi Normal
CKS10%	0,954	10	0,713	H_0	Terdistribusi Normal
SF10%	0,944	10	0,597	H_0	Terdistribusi Normal
SF10%CKS4%	0,865	10	0,087	H_0	Terdistribusi Normal
SF10%CKS6%	0,961	10	0.794	H_0	Terdistribusi Normal
SF10%CKS8%	0,850	10	0,058	H_0	Terdistribusi Normal
SF10%CKS10%	0,863	10	0,082	H_0	Terdistribusi Normal

Pada Tabel 5.16 menunjukan semua variasi bata ringan pada pengujian kuat tekan memiliki nilai Sig. > 0,05, sehingga persebaran data pengujian kuat tekan terdistribusi normal. Selanjutnya pada pengujian homogenitas, kriteria pengujian adalah H_0 diterima jika Sig. > p = 0,05 dan ditolak apabila sebaliknya. Hasil pengujian homogenitas pada pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 17 Hasil Uji Homogenitas Kuat Tekan

Pengujian	***Levene Statistic***	**Df1**	**Df2**	**Sig.**	**Hasil**	**Keterangan**
Kuat Tekan	6,627	9	90	0,000354	H_1	Varian Tidak Homogen

Pada Tabel 17 terlihat bahwa nilai dari Sig. < 0,05, yang berarti kelompok data hasil pengujian kuat tekan yang digunakan memiliki varian yang tidak sama karena H_0 kurang dari taraf signifikan (0,05). Hanry Febryanto, (2023) menjelaskan bahwa apabila asumsi data hasil pengujian menunjukan homogenitas tidak terpenuhi,maka kondisi ini menunjukan bahwa ragam dari masing-masing varian tidak sama. Hal ini bisa terjadi karena pembuatan bata ringan pada penelitian ini memiliki keterbatasan pada saat proses pembuatan. Pada sekali pembuatan campuran bata ringan terbatas hanya 3 buah bata ringan yang dapat dibuat dalam satu campuran. Selain itu, kondisi *foam generator* yang tidak stabil karena katup tekanan angin yang tidak bisa diatur sehingga menyebabkan hasil busa yang dicampurkan kedalam adukan tidak selalu sama disetiap pembuatan campuran. Oleh sebab itu, hasil pengujian kuat tekan yang dihasilkan menjadi tidak homogen antar satu variannya.

5.3.5 Analisis & Pembahasan Kuat Tekan

Sebelumnya telah dilakukan pengujian statistik yang menunjukan persebaran data serta kondisi dari persebaran data kuat tekan bata ringan. Dimana hasil kuat tekan menunjukan persebaran data normal, tetapi varian bata ringan tidak homogen. Sehingga perhitungan data kuat tekan secara rata-rata tidak menunjukan nilai yang rasional.

Berikut merupakan hasil dari pengujian kuat tekan rata-rata bata ringan yang dilakukan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Cankang Kelapa Sawit dan *Silica Fume*

No	Variasi Campuran	Luas Rata-Rata	Berat Rata-Rata	Kuat Tekan Rata-rata
		mm^2	g	N/mm^2
1	Normal	10017,462	807,9	0,566
2	CKS 4%	10007,870	717	0,511
3	CKS 6%	10031,929	741,9	0,518
4	CKS 8%	10071,831	771,7	0,436
5	CKS 10%	10096,310	679	0,344
6	SF (*Silica Fume)* 10%	10081,127	752	0,700
7	SF 10% CKS 4%	10074,145	782,3	0,633
8	SF 10% CKS 6%	10076,608	838,5	0,663
9	SF 10% CKS 8%	10033,788	801,5	0,625
10	SF 10% CKS 10%	10003,248	727	0,564
11	Kuat Tekan Persyaratan SNI 8640-2018			1,8

Adapun contoh dari perhitungan untuk mendapatkan kuat tekan bata ringan pada variasi normal sebagai berikut.

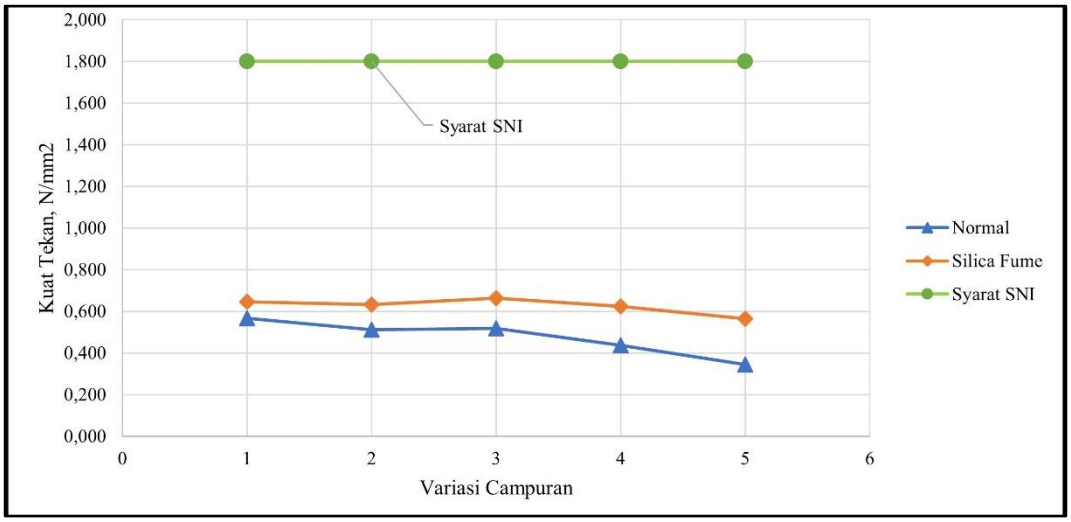
Luas bidang tekan = 10017,462 mm^2

Beban = 5663,340 N

Kuat Tekan $= \frac{5663,340}{10017,462}$

$= 0,566\ N/mm^2$

Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan terhadap bata ringan, didapatkan hasil kuat tekan tertinggi 0,646 MPa dan terendah 0,344 MPa. Mengacu pada persyaratan SNI 8640-2018, kuat tekan minimum untuk bata ringan kelas IIA adalah 1,8 N/mm^2. Dari hasil tersebut diketahui bahwa bata ringan pada penelitian ini belum memenuhi standar yang dipersyaratkan pada SNI 8640-2018. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5. 14 Pengaruh Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit & *Silica Fume* Terhadap Kuat Tekan

Pada grafik diatas menunjukan bahwa seiring dengan penambahan dari cangkang kelapa sawit kedalam campuran bata ringan, maka kuat tekan bata ringan yang dihasilkan semakin kecil. Hasil ini juga memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan (Oktarina & Natalina, 2018), (Sobuz dkk., 2014), (Philips dkk., 2017), dan (Oti dkk., 2017). Penurunan kuat tekan bata ringan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti struktur penyusun pada cangkang kelapa sawit yang berserat dan memiliki banyak pori (Alengaram dkk., 2013), sehingga dapat menurunkan performa bata ringan dibandingkan dengan bata ringan yang tanpa menggunakan cangkang kelapa sawit. Faktor lain yang dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada bata ringan adalah kurang maksimalnya fungsi alat yang digunakan. Pengaturan tekanan yang tidak dapat diatur pada *foam generator* membuat busa yang dihasilkan kepadatannya tidak konsisten dan volume busa yang dimasukkan kedalam campuran bata ringan tidak dapat terkontrol berdasarkan dari berat busa. Kozłowski, (2018) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa dosis dari *foaming agent* mempengaruhi bobot isi bata ringan. Dia juga menjelaskan bobot isi bata ringan sangat berkorelasi dengan kandungan busa dalam campuran. Semakin banyak busa yang dimasukkan, maka semakin rendah densitas dan kuat tekan dari bata ringan. Faktor lain seperti ukuran agregat halus yang digunakan dapat mempengaruhi karakteristik pori bata

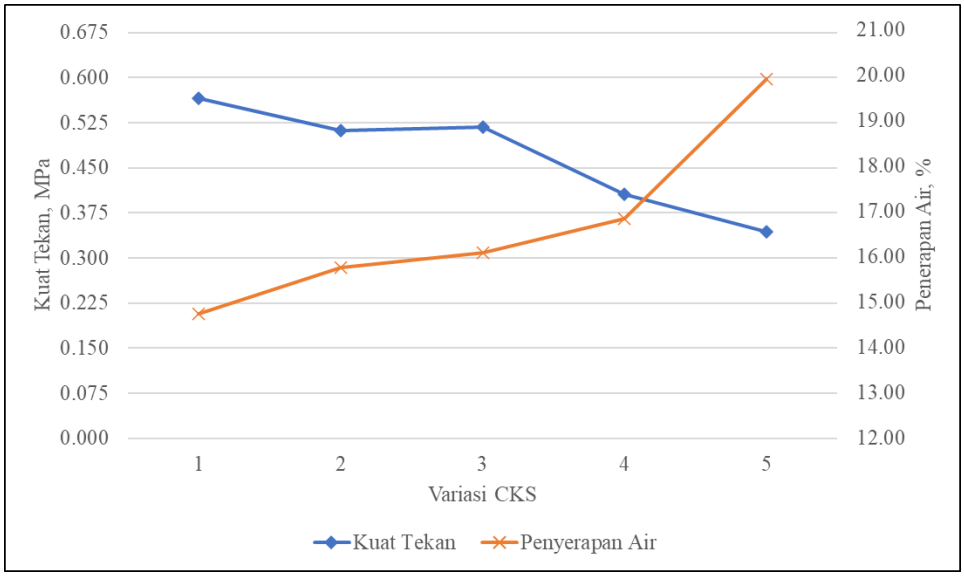
ringan. Ghahremani dkk., (2023) menyatakan bahwa dengan volume busa yang sama ditambahkan kedalam campuran bata ringan, ukuran pasir yang berbeda akan menyebabkan diameter pori juga membesar. Nilai gradasi dari cangkang kelapa sawit yang rendah juga memungkinkan bata ringan memiliki nilai properti mekanik yang rendah. Perbaikan agregat halus dengan menghancurkan cangkang kelapa sawit hingga bememiliki nilai gradasi yang mirip dengan pasir dapat menjadi solusi untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang lebih baik.

Penggunaan *silica fume* dengan kadar 10% pada penelitian ini cukup berpengaruh untuk meningkatkan kuat tekan bata ringan tetapi peningkatan kuat tekan tidak signifikan dibandingkan pada penelitian Y. O. N. Subagiono dkk.,(2021) dan Andrea dkk., (2020). Peningkatan kuat tekan setelah penggunaan *silica fume* menurut Y. Subagiono dkk., (2020) dapat terjadi karena penggunaan *silica fume* dapat meningkatkan daya ikat antara butiran pasir dan semen pada campuran bata ringan. Hal tersebut dapat membantu meningkatkan kekuatan serta menjaga kepadatan dari campuran bata ringan. Lebih jauh, Gencel dkk.,(2022) menjelaskan peningkatan kuat tekan ketika menambahkan *slica fume* dapat disebabkan karena luas permukaan yang tinggi pada *silica fume* dan reaktivitas yang dihasilkan mengakibatkan reaksi antara SiO_2 dan $Ca(OH)^2$, sehingga meningkatkan hidrasi pada campuran. Di saat bersamaan reaksi bata ringan ketika diberi beban menunjukan kerusakan seperti retak di beberapa sudat hingga terbelah seperti terlihat pada Gambar 5.9.

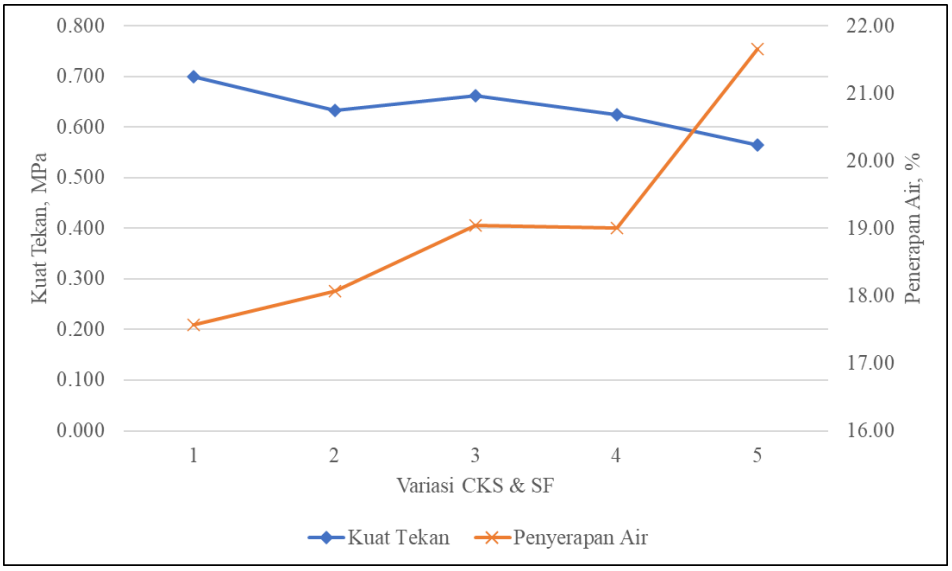
5.4 Hubungan Kuat Tekan, Bobot Isi, dan Penyerapan Air

Tingkat penyerapan air yang terjadi pada bata ringan dapat dipengaruhi oleh permukaan yang berpori yang dihasilkan dari busa yang ditambahkan kedalam campuran. Hal lain yang dapat mempengaruhi tingkat penyerapan bata ringan adalah komposisi material serta material yang digunakan pada campuran bata ringan. Ini bisa terjadi dikarenakan pori-pori yang berasal dari material yang digunakan juga dapat mempengaruhi penyerapan bata ringan. Cangkang kelapa sawit dan *silica fume* yang digunakan sebagai bahan pengganti semen dan pasir mengakibatkan adanya perubahan struktur pada campuran bata ringan. Pada

Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 dapat terlihat secara garis besar tingkat penyerapan air pada bata ringan dapat mempengaruhi kuat tekan dari bata ringan itu sendiri. Semakin besar nilai tingkat penyerapan air, maka semakin rendah kuat tekan yang akan didapatkan.

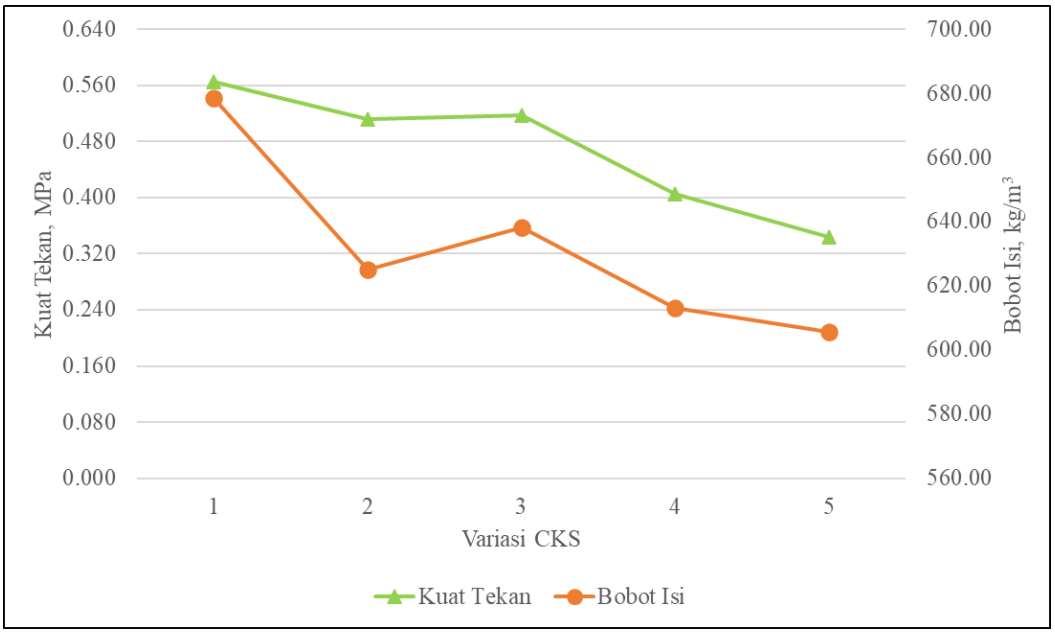


Gambar 5. 15 Hubungan Kuat Tekan & Penyerapan Air Pada Campuran Bata Ringan CKS

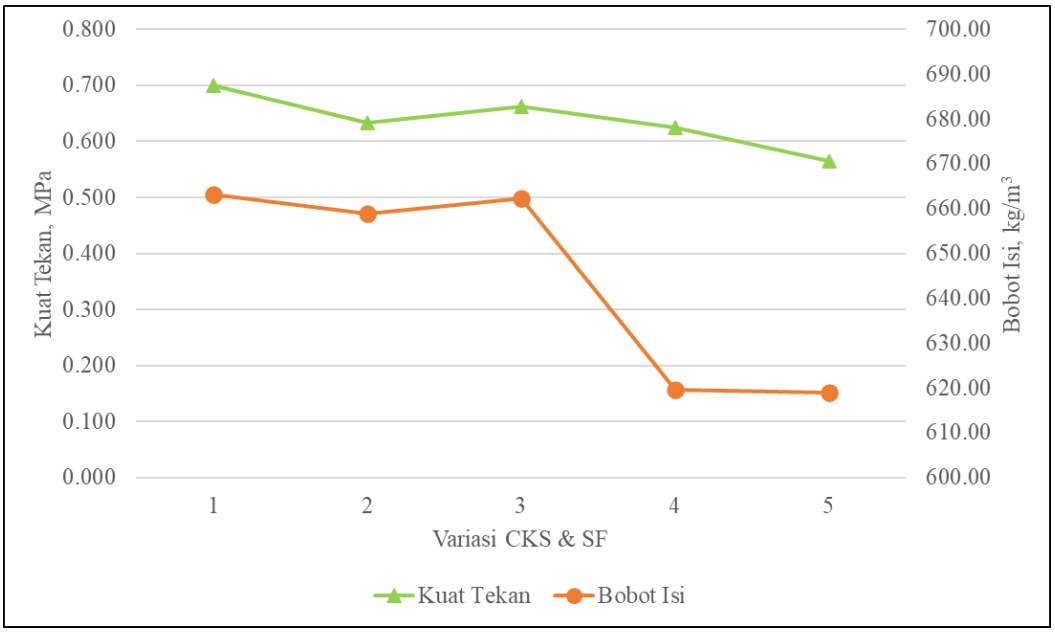


Gambar 5. 16 Hubungan Kuat Tekan & Penyerapan Air Pada Campuran Bata Ringan CKS & SF

Bobot isi yang dihasilkan dari pengujian bobot isi kering bata ringan bervariasi untuk tiap sampelnya, tetapi terdapat kecenderungan ketika bobot isi semakin besar maka kuat tekan yang dihasilkan akan ikut meningkat. Hal ini bisa terjadi karena ketika bata ringan yang memiliki bobot isi lebih berat, mengindikasikan bahwa jumlah pori-pori yang ada didalam bata ringan lebih sedikit dibanding dengan bobot isi yang lebih ringan. Ini bisa disebabkan oleh sifat dasar material, yaitu cangkang kelapa sawit yang memiliki karakteristik lebih ringan daripada pasir, serta pengaruh dari jumlah busa yang ditambahkan kedalam campuran. Ketika volume busa yang ditambahkan semakin banyak, pori-pori yang dihasilkan juga akan semakin banyak, begitu juga sebaliknya. Oleh sebab itu volume busa yang masuk kedalam campuran harus sedemikian mungkin untuk di kontrol. Hubungan antara bobot isi dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5. 17 Hubungan Kuat Tekan & Bobot isi Pada Campuran Bata Ringan CKS



Gambar 5. 18 Hubungan Kuat Tekan & Penyerapan Air Pada Campuran Bata Ringan CKS & SF

BAB VI
KESIMPULAN & SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan, dimulai dari tahap pengujian agregat hingga pelaksanaan pengujian bata ringan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Bata ringan dengan penggunaan CKS dan *silica fume* sebagai campuran pengganti agregat halus dan semen pada variasi 4%, 6%, 8%, dan 10% mengalami penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan proposi CKS. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada bata ringan dengan campuran 6% CKS dan 10% *silica fume*, yaitu sebesar 0,663 MPa. sedangkan kuat tekan terendah dengan campuran 10% CKS sebesar 0,344 MPa.
2. CKS yang memiliki karakteristik berat jenis yang lebih ringan dari agregat halus pasir memberikan efek bobot isi yang lebih ringan seiring dengan penambahan CKS dibandingkan dengan pasir. Bobot isi kering bata ringan dengan campuran CKS dan *silica fume* telah memenuhi kategori bobot isi 700 kg/m^3 dengan rentang 600 kg/m^3 hingga 800 kg/m^3 sesuai SNI 8640-2018 dengan bobot isi terendah sebesar 605,74 kg/m^3 dan tertinggi sebesar 678,55 kg/m^3.
3. Sifat dasar CKS dengan penyerapan air yang lebih besar dari pasir, mengakibatkan tingkat penyerapan air meningkat seiring dengan penambahan proporsi CKS. Nilai penyerapan air tertinggi mencapai 21,66% pada campurang CKS dan *silica fume* , serta 19,92% pada campuran cangkang kelapa sawit tanpa *silica fume*. Nilai penyerapan air terendah didapatkan pada campuran dengan variasi normal, yaitu sebesar 14,47%.

6.2 Saran

Dari hasil kesimpulan dan keseluruhan kegiatan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk mengembangkan penelitian di masa depan. Berikut beberapa saran yang dapat diberikan pada penelitian ini.

1. Bata ringan dengan jenis CLC memerlukan material penyusun dalam kondisi baik serta proses pembuatan yang teliti. Pada proses pembuatan, agar mendapat hasil yang baik perlu dilakukan dengan konsisten dan teliti.
2. Kedepannya perlu ada proporsi yang tepat dalam menambahkan busa kedalam campuran bata ringan, dimulai dari berat busa yang stabil serta volume busa yang ditambahkan tidak berubah sehingga ukuran dan banyak pori-pori pada bata ringan dapat terkontrol.
3. Kedepannya penggunaan *foam generator* harus selalu terkontrol baik dari tekanan angin serta dari tekanan air, sehingga dihasilkan busa yang sesuai dengan kriteria.
4. Perlu dicoba untuk menggunakan pasir dengan gradasi yang lebih halus, sehingga struktur pori-pori pada bata ringan lebih stabil.
5. Untuk mendapatkan hasil bata ringan yang lebih maksimal dengan campuran cangkang kelapa sawit, cangkang kelapa sawit perlu diolah sedemikian rupa menyerupai bentuk dari pasir. Sehingga sifat-sifat dari cangkang kelapa sawit tidak jauh berbeda dari agregat halus pasir.
6. Untuk mencapai hasil yang optimal, perlu dilakukan variasi komposisi perbandingan antara penggunaan semen, agregat halus, dan air.
7. Kadar komposisi cangkang kelapa sawit dapat ditingkatkan agar dapat memaksimalkan penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai pengganti dari pasir sebagai agregat halus.

DAFTAR PUSTAKA

Alengaram, U. J., Muhit, B. A. Al, & Jumaat, M. Z. Bin. (2013). Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete - A review. *Construction and Building Materials*, *38*, 161–172. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.026

Andrea, G., Gugliandolo, E., Falliano, D., Restuccia, L., Ferro, G. A., & Gugliandolo, E. (2020). Strategies to increse the compressive strength of ultra-lightweight foamed concrete. *Procedia Structural Integrity*, *28*, 1673–1678. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.141

Arita, D., Kurniawandy, A., & Taufik, H. (2017). *Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent*. *4*(1), 1–8.

BSN. (2002). *SNI 03-6820-2002 "Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen."*

BSN. (2018). *SNI 8640-2018 "Spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding."*

Chen, G., Li, F., Geng, J., Jing, P., & Si, Z. (2021). Identification, generation of autoclaved aerated concrete pore structure and simulation of its influence on thermal conductivity. *Construction and Building Materials*, *294*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123572

Danso, H., & Appiah-Agyei, F. (2021). Size Variation of Palm Kernel Shells as Replacement of Coarse Aggregate for Lightweight Concrete Production. *Open Journal of Civil Engineering*, *11*(01), 153–165. https://doi.org/10.4236/ojce.2021.111010

Falliano, D., De Domenico, D., Ricciardi, G., & Gugliandolo, E. (2018). Experimental investigation on the compressive strength of foamed concrete: Effect of curing conditions, cement type, foaming agent and dry density. *Construction and Building Materials*, *165*, 735–749. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.241

Fanijo, E., Babafemi, A. J., & Arowojolu, O. (2020). Performance of laterized concrete made with palm kernel shell as replacement for coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, *250*, 118829. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118829

Febrianto, E. (2016). Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada Porous Concrete Block Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Permeabilitas. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil (Rekats)*, *3*(3), 1–8.

Gencel, O., Nodehi, M., Yavuz Bayraktar, O., Kaplan, G., Benli, A., Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2022). Basalt fiber-reinforced foam concrete containing silica fume: An experimental study. *Construction and Building Materials*, *326*(February), 126861. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126861

Ghahremani, G., Bagheri, A., & Zanganeh, H. (2023). The effect of size and shape of pores on the prediction model of compressive strength of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, *371*(November 2022), 130720. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130720

Hanry Febryanto. (2023). *PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN PADUAN POLYPROPYLENE DENGAN SERBUK ARANG KAYU TERHADAP KEKUATAN IMPACT PADA PROSES INJECTION MOULDING*.

Hou, L., Li, J., Lu, Z., & Niu, Y. (2021). *Influence of foaming agent on cement and foam concrete.pdf* (hlm. 13).

Hunggurami, E., Bunganaen, W., & Muskanan, R. Y. (2014). Studi Eksperimental Kuat Tekan dan Serapan Air Bata Ringan Cellular Light Weight Concrete dengan Tanah Putih Sebagai Agregat. *Jurusan Teknik Sipil, FST Undana*, *3*(2), 125–136.

Kozłowski, M. (2018). *Mechanical Characterization of Lightweight Foamed Concrete*. *2018*.

Lisantono, A., & Kristanto, F. Y. (2016). *Studi Abu Tempurung Kelapa yang Dibakar pada suhu 500 dan 700 derajat Celcius sebagai Subtitusi Semen pada Beton*. *I*(Volume I), 338–344.

Mannan, M. A., & Ganapathy, C. (2002). Engineering properties of concrete with oil palm shell as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, *16*(1), 29–34. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-0618(01)00030-7

Monica, T., Suryanita, R., & Maizir, H. (2021). Pengaruh Penggunaan Styrene Butadiene Rubber Latex Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, *1*(1), 35–45. https://doi.org/10.35583/jice.v1i1.5

Ndoke, P. N. (2006). Performance of palm kernel shells as a partial replacement for coarse aggregate in asphalt concrete. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, *July-Dec*(9), 145–152.

Oddang, F. A. (2019). *Analisis Batako Dengan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Berat Jenis*. http://eprints.umm.ac.id/54160/

Oktarina, D., & Natalina. (2018). Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit Untuk Bata Beton Ringan. *Jurnal Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati*, *2*(1), 8–12.

Oti, O. P., Nwaigwe, K. N., & Okereke, N. A. A. (2017). *Assessment of palm kernel shell as a composite aggregate in concrete*. *19*(2), 34–41.

Oyejobi, D. O., Jameel, M., Sulong, N. H. R., Raji, S. A., & Ibrahim, H. A. (2020). Prediction of optimum compressive strength of light-weight concrete containing Nigerian palm kernel shells. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, *32*(5), 303–309. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.04.001

Philips, E. S., Mutuku, R. N., & Mwero, J. N. (2017). Palm Kernel Shell as Partial Replacement for Normal Weight Aggregate in Concrete. *Civil and environmental research*, *9*(11), 40–47.

Prasetya, I., & Kusuma, M. R. (2017). *PEMBUATAN BATA RINGAN DARI LIMBAH ASAM FOSFAT DENGAN MENGGUNAKAN PROSES CELLULAR LIGHT-WEIGHT CONCRETE (CLC)*.

Prasetyo, L., & Oddang, F. A. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan. *Prosiding SENTRA (Seminar*

Teknologi dan …, 91–93. http://research-report.umm.ac.id/index.php/sentra/article/view/3239

Sarıdemir, M. (2013). Effect of silica fume and ground pumice on compressive strength and modulus of elasticity of high strength concrete. *Construction and Building Materials*, *49*, 484–489. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.091

Sari, D. N. (2020). Observasi Kuat Tarik Belah Beton Ringan CLC (Celullar Lightweight Concrete) yang Diperkuat Abu Sekam Padi dan Serbuk Cangkang Telur Secara Eksperimental. *Sustainability (Switzerland)*, *4*(1), 1–9.

Siagian, A. (2021). *Analisis Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Bata Ringan CLC dengan Variasi Palm Oil Fuel Ash (POFA) sebagai Cement Replacement*.

Sismantoro, A. (2017). *Karakterisasi Bahan Akustik Poliuretan Berpenguat Partikel Cangkang Kelapa Sawit*. 1–120.

Sobuz, H. R., Hasan, N. S., Tamanna, N., & Islam, S. (2014). *Structural Lightweight Concrete Production by Using Oil Palm Shell*. *2014*.

Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2020. (2021). Dalam *Badan Pusat Statistik*. Badan Pusat Statistik.

Subagiono, Y., Maizir, H., & Suryanita, R. (2020). Perilaku Mekanik Bata Ringan Dengan Penambahan Silica Fume. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, *16*(3), 194. https://doi.org/10.25077/jrs.16.3.194-204.2020

Subagiono, Y. O. N., Maizir, H., & Suryanita, R. (2021). *Perilaku Mekanik Bata Ringan Dengan Penambahan Silica Fume*. *16*(3), 194–204.

Sun, C., Zhu, Y., Guo, J., Zhang, Y., & Sun, G. (2018). Effects of foaming agent type on the workability, drying shrinkage, frost resistance and pore distribution of foamed concrete. Dalam *Construction and Building Materials* (Vol. 186, hlm. 833–839). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.019

Supriyanto, Hidayat, A., & Ariyanto, A. (2013). *Pengaruh Penambahan Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton F'c 30 Mpa*.

Suryanita, R. (2020). Perilaku Mekanik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan Campuran Silica Fume. Dalam *UR Press Pekanbaru* (Vol. 1999, Nomor December).

Syarifudin, A., Yunanda, M., & Anjani, C. (2020). Analisis Kuat Tekan Beton K 225 Menggunakan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, *10*(2), 60–68.

Tjokrodimuljo, K. (1996). *TEKNOLOGI BETON* (1996 ed.). NAFIRI.

USDA-FAS. (2020). *Palm Oil Exports Constrained By Lower Exportable Supplies*.

Widnyana, I. P. A., Hariyadi, & Kenacanawati, N. N. (2018). *Pengaruh Penggunaan Pasir dan Silica Fume Pada Campuran Bahan Terhadap Kinerja Beton Berpori*.

Winarno, S., Basyarah, M. G., & Noor, I. (2013). Embuatan Bata Ringan Menggunakan Limbah Penggergajian Batu Andesit. *Prosiding Seminar Nasional 2013 Menuju Masyarakat Madani dan Lestari campuran*, 405–412.

Yue, Y., Wang, J. J., & Bai, Y. (2018). Tracing the status of silica fume in cementitious materials with Raman microscope. *Construction and Building Materials*, *159*, 610–616. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.015

Zulapriansyah, R., Suryanita, R., & Maizir, H. (2020). *Komposisi Optimal Campuran Bata Ringan Silica Fume Berdasarkan Kuat Tekan*. *02*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Rencana Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan		1				2				3				4			
		Minggu ke		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		Durasi (jam)	Bobot (%)																
A	Survey Material	5	3,7	3,7															
B	Persiapan Alat dan Material	5	3,7		3,7														
C	Pengujian Material Agregat Halus	14	10,3			5,147	5,147												
D	Pembuatan Benda Uji	12	8,8				4,412	4,412											
E	Perawatan Benda Uji	12	8,8					2,206	2,206	2,206	2,206								
F	Pengujian Benda Uji																		
	Pengujian kuat tekan	14	10,3									5,1	5,1						
	Pengujian berat volume dan penyerapan air	12	8,8										8,8						
	Pengujian redaman suara	12	8,8										4,4	4,4					
G	Olah Data	13	9,6											4,779	4,779				
H	Analisis dan Pembahasan	20	14,7												4,902	4,902	4,902		
I	Penyusunan Laporan	17	12,5															6,25	6,25
Total		136	100	3,676	3,676	5,147	9,559	6,618	2,206	2,206	2,206	5,147	18,38	9,191	9,681	4,902	4,902	6,25	6,25
Kumulatif				3,676	7,353	12,5	22,06	28,68	30,88	33,09	35,29	40,44	58,82	68,01	77,7	82,6	87,5	93,75	100

Gambar L-1. 1 Rencana Jadwal Penelitian

Lampiran 2 Pemeriksaan Agregat Halus

Tabel L 2. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Air Pasir

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	486	486
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1010	1019	1014,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	698	708	703
Berat Jenis Curah	2,5851	2,5714	2,578
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)	2,6596	2,6455	2,653
Berat Jenis semu	2,7931	2,7771	2,785
Penyerapan Air	2,80%	2,88%	2,84%

Tabel L 2. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Air CKS

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	183	184	183,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	200	200	200
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	774	780	777
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708	705,0000	706,5
Berat Jenis Curah	1,3657	1,4720	1,419
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)	1,4925	1,6000	1,546
Berat Jenis semu	1,5641	1,6881	162,61%
Penyerapan Air	8,50%	8,00%	8,25%

Tabel L 2. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
40,00		0,00%	0,00%	100,00%		
20,00		0,00%	0,00%	100,00%		
10,00		0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
4,80	25	1,25%	1,25%	98,75%	90%	100%
2,40	172	8,60%	9,85%	90,15%	75%	100%
1,20	214	10,71%	20,56%	79,44%	55%	90%
0,60	414	20,71%	41,27%	58,73%	30%	59%
0,30	584	29,21%	70,49%	29,51%	8%	30%
0,15	471	23,56%	94,05%	5,95%	0%	10%
Sisa	119	5,95%	100,00%	0,00%	0%	0%
Jumlah	1999	100,00%	237,47%			

Tabel L 2. 4 Hasil Pengujian Analisa Saringan CKS

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
40,00		0,00%	0,00%	100,00%		
20,00		0,00%	0,00%	100,00%		
10,00		0,00%	0,00%	100,00%	100	100
4,80	8,93	1,79%	1,79%	98,21%	90	100
2,40	208,31	41,66%	43,45%	56,55%	75	100
1,20	159,5	31,90%	75,35%	24,65%	55	90
0,60	95,95	19,19%	94,54%	5,46%	30	59
0,30	17,34	3,47%	98,01%	1,99%	8	30
0,15	8,57	1,71%	99,72%	0,28%	0	10
Sisa	1,39	0,28%	100,00%	0,00%	0	0
Jumlah	499,99	100,00%	412,85%			

Tabel L 2. 5 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Pasir

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	gram	6218,000	6218,000	6218,000
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	gram	14451,000	13338,000	13894,500
Berat Agregat (W3)	gram	8233,000	7120,000	7676,500
Volume Tabung (V)	cm^3	5182,454	5182,454	5182,454
Bobot isi Padat	$gram/cm^3$	1,589	1,374	1,481

Tabel L 2. 6 Hasil Pengujian Berat Isi Padat CKS

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	gram	6219,000	6219,000	6219,000
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	gram	10928,000	9885,000	10406,500
Berat Agregat (W3)	gram	4709,000	3666,000	4187,500
Volume Tabung (V)	cm^3	5227,169	5227,169	5227,169
Bobot isi Padat	$gram/cm^3$	0,901	0,701	0,801

Tabel L 2. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 Pasir

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	494	493
Berat yang lolos saringan no. 200	1,20%	1,40%

Tabel L 2. 8 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 CKS

Uraian	Hasil	
	Sampel 1	**Sampel 2**
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	462	465
Berat yang lolos saringan no. 200	7,60%	7,00%
Pencucian ke-2		
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	493	494
Berat yang lolos saringan no. 200	1,40%	1,20%

Lampiran 3 Hasil Pengujian Bata Ringan

Tabel L 3. 1 Hasil Pengujian Bobot isi & Penyerapan Air variasi Normal

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	9195	9195	10154	10154	9674,5
2	Berat Awal	g	2924	3137	3326	3315	3175,5
3	Berat Kering Oven	g	2783	2876	3029	2963	2912,75
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	209,50	209,35	207,05	208,33	208,558
6	- Lebar	mm	202,07	207,30	200,45	202,73	203,138
7	- Tebal	mm	102,00	102,62	101,90	99,13	101,413
8	Volume Benda Uji	mm^3	4317963	4453384	4229105	4187006	4296865
9	Berat Jenuh Air	g	3573	3427	3598	3584	3545,5
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	677,171	704,408	786,454	791,735	739,942
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	644,516	645,801	716,227	707,665	678,553
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	827,473	769,527	850,771	855,981	825,938
13	Penyerapan Air	% vol	18,2956	12,3726	13,4543	14,8316	14,7386

Tabel L 3. 2 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 4% CKS

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	7941,0	7941,0	9109,0	9109,0	8525,0
2	Berat Awal	g	2646,0	2508,0	2873,0	3147,0	2793,5
3	Berat Kering Oven	g	2519,0	2452,0	2475,0	2697,0	2535,8
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	201,8	202,4	201,4	206,5	203,0
6	- Lebar	mm	201,4	198,0	201,6	198,4	199,9
7	- Tebal	mm	100,8	97,2	101,2	100,8	100,0
8	Volume Benda Uji	mm^3	4097782,5	3893640,5	4109283,3	4130082,60	4057697,2
9	Berat Jenuh Air	g	3125,0	3104,0	3135,0	3334,0	3174,5
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	645,7	644,1	699,1	762,0	687,7
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	614,7	629,7	602,3	653,0	624,9
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	762,6	797,2	762,9	807,2	782,5
13	Penyerapan Air	% vol	14,8	16,7	16,1	15,4	15,8

Tabel L 3. 3 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 6% CKS

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	10061	10061	9317	9317	9689
2	Berat Awal	g	3152	3471	2885	3198	3176,5
3	Berat Kering Oven	g	2711	3047	2502	2799	2764,75
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	203,58	206,83	198,25	206,92	203,896
6	- Lebar	mm	206,88	207,13	205,87	205,52	206,35
7	- Tebal	mm	105,07	102,70	101,20	102,47	102,858
8	Volume Benda Uji	mm^3	4425198	4399881	4130282	4357377	4328185
9	Berat Jenuh Air	g	3453	3724	3174	3494	3461,25
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	712,2846	788,8849	698,4995	733,9278	733,399
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	612,628	692,5187	605,7697	642,3589	638,319
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	780,3041	846,3865	768,4705	801,8586	799,255
13	Penyerapan Air	% vol	16,76761	15,38678	16,27007	15,94996	16,0936

Tabel L 3. 4 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 8% CKS

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	9029	9029	8132	8132	8580,5
2	Berat Awal	g	2890	3088	2864	2800	2910,5
3	Berat Kering Oven	g	2785	2765	2540	2594	2671
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	209,82	209,85	201,80	203,78	206,313
6	- Lebar	mm	205,37	207,43	197,45	204,13	203,596
7	- Tebal	mm	101,80	105,22	102,57	105,18	103,692
8	Volume Benda Uji	mm^3	4386496	4580069	4086811	4375518	4357224
9	Berat Jenuh Air	g	3412	3601	3178	3433	3406
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	658,8403	674,2256	700,7909	639,9242	668,445
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	634,9032	603,7026	621,5115	592,844	613,24
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	777,8419	786,2326	777,6235	784,5927	781,573
13	Penyerapan Air	% vol	14,29387	18,253	15,61119	19,17487	16,8332

Tabel L 3. 5 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi 10% CKS

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	7900	7900	8368	8368	8134
2	Berat Awal	g	2599	2611	2716	2882	2702
3	Berat Kering Oven	g	2570	2492	2597	2587	2561,5
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	202,22	200,53	203,17	210,17	204,021
6	- Lebar	mm	202,47	202,28	206,32	206,20	204,317
7	- Tebal	mm	100,07	102,77	100,05	103,17	101,513
8	Volume Benda Uji	mm^3	4096943	4168684	4193763	4470868	4232564
9	Berat Jenuh Air	g	3403	3253	3472	3491	3404,75
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	634,3754	626,3368	647,6284	644,6175	638,24
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	627,297	597,7906	619,253	578,6348	605,744
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	830,6193	780,3422	827,8961	780,8326	804,923
13	Penyerapan Air	% vol	20,33223	18,25516	20,86432	20,21979	19,9179

Tabel L 3. 6 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10%

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	10070	10070	9917	9917	9993,5
2	Berat Awal	g	3410	3320	3305	3245	3320
3	Berat Kering Oven	g	2810	2845	2674	2672	2750,25
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	207,60	199,40	205,50	207,90	205,1
6	- Lebar	mm	204,60	206,40	201,80	200,00	203,2
7	- Tebal	mm	99,70	101,20	99,70	97,50	99,525
8	Volume Benda Uji	mm^3	4234754	4165003	4134549	4054050	4147089
9	Berat Jenuh Air	g	3641	3615	3386	3278	3480
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	805,2417	797,1182	799,3617	800,4341	800,539
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	663,5569	683,0727	646,7453	659,094	663,117
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	859,7903	867,9465	818,9527	808,5741	838,816
13	Penyerapan Air	% vol	19,62334	18,48738	17,22074	14,94801	17,5699

Tabel L 3. 7 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 4%

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	9031	9031	8699	8699	8865
2	Berat Awal	g	3212	3149	2981	2920	3065,5
3	Berat Kering Oven	g	2710	2727	2570	2565	2643
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	201,00	201,70	200,50	201,20	201,1
6	- Lebar	mm	200,40	201,00	198,80	203,30	200,875
7	- Tebal	mm	101,00	100,70	97,00	98,50	99,3
8	Volume Benda Uji	mm^3	4068320	4082549	3866362	4029040	4011568
9	Berat Jenuh Air	g	3451	3509	3254	3258	3368
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	789,515	771,3318	771,0091	724,7384	764,149
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	666,1226	667,965	664,7076	636,6281	658,856
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	848,2616	859,512	841,6181	808,6293	839,505
13	Penyerapan Air	% vol	18,2139	19,1547	17,69105	17,20013	18,0649

Tabel L 3. 8 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 6%

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	9704	9704	9599	9599	9651,5
2	Berat Awal	g	3270	3192	3689	3399	3387,5
3	Berat Kering Oven	g	2645	2668	2869	2887	2767,25
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	205,90	208,00	204,90	201,70	205,125
6	- Lebar	mm	201,40	199,00	204,70	208,60	203,425
7	- Tebal	mm	100,50	100,00	99,60	100,50	100,15
8	Volume Benda Uji	mm^3	4167560	4139200	4177526	4228499	4178196
9	Berat Jenuh Air	g	3475	3487	3627	3662	3562,75
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	784,6318	771,1635	883,0586	803,8313	810,671
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	634,6639	644,569	686,7701	682,7481	662,188
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	833,8212	842,4333	868,2173	866,0283	852,625
13	Penyerapan Air	% vol	19,91573	19,78643	18,14471	18,32802	19,0437

Tabel L 3. 9 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 8%

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	8977	8977	8522	8522	8749,5
2	Berat Awal	g	2863	2831	2904	2813	2852,75
3	Berat Kering Oven	g	2512	2585	2544	2561	2550,5
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	197,70	210,10	199,70	196,50	201
6	- Lebar	mm	210,10	201,60	209,30	200,40	205,35
7	- Tebal	mm	100,30	99,70	100,20	99,20	99,85
8	Volume Benda Uji	mm^3	4166138	4222909	4188080	3906357	4120871
9	Berat Jenuh Air	g	3372	3367	3305	3291	3333,75
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	687,2072	670,3909	693,3964	720,1083	692,776
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	602,9565	612,1373	607,4382	655,598	619,532
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	809,3827	797,3176	789,1443	842,4729	809,579
13	Penyerapan Air	% vol	20,64262	18,51804	18,17062	18,68749	19,0047

Tabel L 3. 10 Hasil Pengujian Bobot Isi & Penyerapan Air Variasi SF 10% CKS 10%

No	Pengujian	Satuan	1	2	3	4	Rata-Rata
1	Berat Utuh	g	8037	8037	8846	8846	8441,5
2	Berat Awal	g	2979	2928	2572	2565	2761
3	Berat Kering Oven	g	2596	2513	2488	2429	2506,5
4	Dimensi Benda uji						
5	- Panjang	mm	201,40	200,90	200,90	196,00	199,8
6	- Lebar	mm	200,20	203,80	200,80	200,40	201,3
7	- Tebal	mm	101,50	100,10	100,30	100,80	100,675
8	Volume Benda Uji	mm^3	4092508	4098436	4046174	3959263	4049095
9	Berat Jenuh Air	g	3395	3397	3378	3361	3382,75
10	Bobot Isi Nominal	kg/m^3	727,9154	714,4188	635,6622	647,8479	681,461
11	Bobot Isi Kering Oven	kg/m^3	634,3298	613,1607	614,9018	613,4981	618,973
12	Bobot Isi Jenuh Air	kg/m^3	829,5646	828,8527	834,8627	848,8954	835,544
13	Penyerapan Air	% vol	19,52348	21,5692	21,99609	23,53974	21,6571

Tabel L 3. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi Normal

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	N1.1	101,000	98,300	99,350	9928,300	768,000	685,000	6717,555	0,677
2	N1.2	100,300	99,650	101,300	9994,895	831,000	740,000	7256,921	0,726
3	N2.1	99,350	100,450	100,100	9979,708	859,000	615,000	6031,090	0,604
4	N2.2	100,900	100,800	98,750	10170,720	854,000	580,000	5687,857	0,559
5	N3.1	100,750	100,150	99,800	10090,113	766,000	375,000	3677,494	0,364
6	N3.2	98,900	98,850	101,150	9776,265	774,000	545,000	5344,624	0,547
7	N4.1	101,200	99,500	100,600	10069,400	787,000	400,000	3922,660	0,390
8	N4.2	99,350	100,050	98,450	9939,968	822,000	575,000	5638,824	0,567
9	N5.1	98,750	101,000	101,050	9973,750	817,000	660,000	6472,389	0,649
10	N5.2	101,500	101,000	100,500	10251,500	801,000	600,000	5883,990	0,574
Rata-Rata					10017,462	807,900	577,500	5663,340	0,566

Tabel L 3. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 4%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	CKS1.1	99,350	100,350	101,300	9969,773	643,000	400,000	3922,660	0,393
2	CKS1.2	98,850	100,600	98,350	9944,310	660,000	410,000	4020,727	0,404
3	CKS2.1	100,050	99,500	100,750	9954,975	660,000	480,000	4707,192	0,473
4	CKS2.2	98,750	98,850	101,300	9761,438	663,000	470,000	4609,126	0,472
5	CKS3.1	101,300	100,750	98,750	10205,975	706,000	525,000	5148,491	0,504
6	CKS3.2	98,900	98,950	100,300	9786,155	700,000	465,000	4560,092	0,466
7	CKS4.1	100,650	101,050	100,150	10170,683	758,000	620,000	6080,123	0,598
8	CKS4.2	101,050	101,100	98,800	10216,155	753,000	520,000	5099,458	0,499
9	CKS5.1	100,400	99,600	100,350	9999,840	756,000	600,000	5883,990	0,588
10	CKS5.2	101,200	99,500	101,150	10069,400	871,000	735,000	7207,888	0,716
Rata-Rata					10007,870	717,000	522,500	5123,975	0,511

Tabel L 3. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 6%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	CKS1.1	100,600	101,100	100,350	10170,660	691,000	515,000	5050,425	0,497
2	CKS1.2	100,950	100,400	98,650	10135,380	744,000	500,000	4903,325	0,484
3	CKS2.1	98,800	100,450	100,250	9924,460	711,000	475,000	4658,159	0,469
4	CKS2.2	100,300	99,050	101,500	9934,715	781,000	515,000	5050,425	0,508
5	CKS3.1	100,350	98,150	100,500	9849,353	787,000	575,000	5638,824	0,573
6	CKS3.2	101,000	100,750	98,700	10175,750	730,000	505,000	4952,358	0,487
7	CKS4.1	100,900	101,200	98,350	10211,080	770,000	640,000	6276,256	0,615
8	CKS4.2	98,900	100,950	100,650	9983,955	802,000	600,000	5883,990	0,589
9	CKS5.1	100,700	98,650	101,150	9934,055	727,000	505,000	4952,358	0,499
10	CKS5.2	99,650	100,350	98,950	9999,878	676,000	465,000	4560,092	0,456
Rata-Rata					10031,929	741,900	529,500	5192,621	0,518

Tabel L 3. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 8%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	CKS1.1	100,750	101,200	100,850	10195,900	720,000	190,000	1863,264	0,183
2	CKS1.2	101,350	100,550	98,150	10190,743	623,000	170,000	1667,131	0,164
3	CKS2.1	98,650	100,800	100,500	9943,920	713,000	210,000	2059,397	0,207
4	CKS2.2	100,200	99,100	101,350	9929,820	822,000	375,000	3677,494	0,370
5	CKS3.1	100,600	98,200	100,470	9878,920	680,000	205,000	2010,363	0,204
6	CKS3.2	101,100	100,550	98,900	10165,605	790,000	575,000	5638,824	0,555
7	CKS4.1	100,800	101,550	98,200	10236,240	790,000	400,000	3922,660	0,383
8	CKS4.2	98,300	101,270	100,950	9954,841	806,000	750,000	7354,988	0,739
9	CKS5.1	100,500	100,400	101,600	10090,200	871,000	900,000	8825,985	0,875
10	CKS5.2	102,500	98,850	101,100	10132,125	902,000	705,000	6913,688	0,682
Rata-Rata					10071,831	771,700	448,000	4393,379	0,436

Tabel L 3. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi CKS 10%

No	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	CKS1.1	100,900	100,200	100,800	10110,180	642,000	355,000	3481,361	0,344
2	CKS1.2	101,500	100,500	99,350	10200,750	798,000	340,000	3334,261	0,327
3	CKS2.1	99,700	100,800	100,500	10049,760	682,000	360,000	3530,394	0,351
4	CKS2.2	100,200	99,900	101,300	10009,980	606,000	360,000	3530,394	0,353
5	CKS3.1	100,600	99,600	100,400	10019,760	738,000	360,000	3530,394	0,352
6	CKS3.2	101,600	100,500	99,550	10210,800	692,000	325,000	3187,161	0,312
7	CKS4.1	101,100	101,200	98,340	10231,320	651,000	325,000	3187,161	0,312
8	CKS4.2	100,800	100,400	102,400	10120,320	586,000	380,000	3726,527	0,368
9	CKS5.1	99,600	99,750	100,450	9935,100	694,000	385,000	3775,560	0,380
10	CKS5.2	100,500	100,250	100,200	10075,125	701,000	345,000	3383,294	0,336
Rata-Rata					10096,310	679,000	353,500	3466,651	0,344

Tabel L 3. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	SF1.1	99,750	100,100	100,300	9984,975	742,000	721,000	7070,595	0,708
2	SF1.2	100,600	100,100	100,500	10070,060	759,000	733,000	7188,274	0,714
3	SF2.1	100,050	100,600	99,800	10065,030	769,000	697,500	6840,138	0,680
4	SF2.2	100,700	100,350	99,950	10105,245	715,000	530,000	5197,525	0,514
5	SF3.1	99,600	100,750	100,500	10034,700	705,000	472,500	4633,642	0,462
6	SF3.2	99,350	100,700	100,650	10004,545	716,000	373,000	3657,880	0,366
7	SF4.1	100,550	100,800	100,550	10135,440	727,000	810,000	7943,387	0,784
8	SF4.2	100,450	101,050	100,100	10150,473	732,000	766,000	7511,894	0,740
9	SF5.1	100,200	100,750	100,600	10095,150	862,000	765,000	7502,087	0,743
10	SF5.2	101,000	100,650	100,500	10165,650	793,000	776,250	7612,412	0,749
Rata-Rata					10081,127	752,000	664,425	6515,783	0,646

Tabel L 3. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% CKS 4%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	SF1.1	99,750	100,850	99,600	10059,788	841,000	749,250	7347,633	0,730
2	SF1.2	100,350	100,800	100,950	10115,280	796,000	684,500	6712,652	0,664
3	SF2.1	100,100	100,750	100,350	10085,075	893,000	878,750	8617,594	0,854
4	SF2.2	100,900	100,600	100,450	10150,540	908,000	897,250	8799,017	0,867
5	SF3.1	100,150	99,900	100,150	10004,985	658,000	222,000	2177,076	0,218
6	SF3.2	100,500	100,650	100,600	10115,325	592,000	277,500	2721,345	0,269
7	SF4.1	100,800	100,600	100,700	10140,480	791,000	814,000	7982,613	0,787
8	SF4.2	99,850	100,500	100,150	10034,925	787,000	777,000	7619,767	0,759
9	SF5.1	100,350	100,150	100,550	10050,053	763,000	647,500	6349,806	0,632
10	SF5.2	99,850	100,000	100,800	9985,000	794,000	555,000	5442,691	0,545
Rata-Rata					10074,145	782,300	650,275	6377,019	0,633

Tabel L 3. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% CKS 6%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	SF1.1	99,700	100,750	99,350	10044,775	753,000	547,500	5369,141	0,535
2	SF1.2	100,000	100,950	101,050	10095,000	798,000	675,000	6619,489	0,656
3	SF2.1	100,700	100,600	100,100	10130,420	837,000	795,000	7796,287	0,770
4	SF2.2	100,900	100,450	100,500	10135,405	792,000	727,500	7134,338	0,704
5	SF3.1	100,050	100,100	100,300	10015,005	846,000	855,000	8384,686	0,837
6	SF3.2	100,650	100,600	100,500	10125,390	868,000	862,500	8458,236	0,835
7	SF4.1	100,700	100,550	100,550	10125,385	890,000	615,000	6031,090	0,596
8	SF4.2	99,950	100,550	99,750	10049,973	917,000	652,500	6398,839	0,637
9	SF5.1	100,500	99,800	100,450	10029,900	859,000	622,500	6104,640	0,609
10	SF5.2	99,650	100,500	99,600	10014,825	825,000	457,500	4486,542	0,448
Rata-Rata					10076,608	838,500	681,000	6678,329	0,663

Tabel L 3. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi SF 10% CKS 8%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	SF1.1	100,200	100,100	100,600	10030,020	693,000	402,500	3947,177	0,394
2	SF1.2	100,450	100,150	100,900	10060,068	716,000	367,500	3603,944	0,358
3	SF2.1	100,100	100,350	98,800	10045,035	869,000	700,000	6864,655	0,683
4	SF2.2	99,350	98,700	99,500	9805,845	926,000	831,250	8151,778	0,831
5	SF3.1	98,050	99,350	100,300	9741,268	793,000	857,500	8409,202	0,863
6	SF3.2	99,350	101,050	99,750	10039,318	791,000	717,500	7036,271	0,701
7	SF4.1	101,900	99,600	101,000	10149,240	941,000	918,750	9009,860	0,888
8	SF4.2	101,100	101,050	99,750	10216,155	869,000	787,500	7722,737	0,756
9	SF5.1	100,800	101,050	100,600	10185,840	666,000	367,500	3603,944	0,354
10	SF5.2	100,200	100,450	100,800	10065,090	751,000	428,750	4204,601	0,418
Rata-Rata					10033,788	801,500	637,875	6255,417	0,625

Tabel L 3. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Varias SF 10% CKS 10%

No.	Kode Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan	Berat	Beban (P)	Beban (P)	Kuat Tekan
		p	*l*	*t*					
		mm	mm	mm	mm^2	g	kgf	N	N/mm^2
1	SF1.1	99,350	100,800	101,100	10014,480	540,000	450,000	4412,993	0,441
2	SF1.2	101,000	98,600	98,700	9958,600	622,000	502,500	4927,842	0,495
3	SF2.1	98,700	101,050	99,600	9973,635	887,000	945,000	9267,284	0,929
4	SF2.2	99,900	99,650	100,050	9955,035	908,000	832,500	8164,036	0,820
5	SF3.1	100,200	100,900	99,100	10110,180	810,000	622,500	6104,640	0,604
6	SF3.2	100,800	99,450	98,700	10024,560	838,000	870,000	8531,786	0,851
7	SF4.1	99,600	100,350	100,750	9994,860	673,000	337,500	3309,744	0,331
8	SF4.2	100,750	100,300	99,350	10105,225	706,000	345,000	3383,294	0,335
9	SF5.1	100,300	100,450	100,700	10075,135	645,000	435,000	4265,893	0,423
10	SF5.2	99,300	98,900	99,400	9820,770	641,000	412,500	4045,243	0,412
Rata-Rata					10003,248	727,000	575,250	5641,275	0,564

Lampiran 4 Proses Pembuatan Bata Ringan

Gambar L 4. 1 Persiapan Alat dan Material

Gambar L 4. 2 Instalasi Compressor Udara Dengan Foam Generator

Gambar L 4. 3 Penimbangan Material

Gambar L 4. 4 Pengolesan pelumas serta menyiapkan cetakan

Gambar L 4. 5 Pengadukan campuran pasir, semen, CKS, & silica fume

Gambar L 4. 6 Pengadukan Campuran Pasta Bata Ringan

Gambar L 4. 7 Busa Dimasukkan Kedalam Campuran Pasta Bata Ringan

Gambar L 4. 8 Aduk Campuran Hingga Homogen

Gambar L 4. 9 Penuangan Campuran Bata Ringan Kedalam Cetakan

Gambar L 4. 10 Pelepasan Cetakan Bata Ringan

Gambar L 4. 11 Bata Ringan Diletakkan Ditempat Yang Disediakan

Gambar L 4. 12 Proses Curing Bata Ringan

Lampiran 5 Proses Pengujian Bata Ringan

Gambar L 5. 1 Penimbangan & Pengukuran Benda Uji Sebelum Dipotong

Gambar L 5. 2 Pemotongan Benda Uji

Gambar L 5. 3 Proses Penimbangan Benda Uji

Gambar L 5. 4 Proses Pengeringan Benda Uji Dengan Oven

Gambar L 5. 5 Proses Perendaman Benda Uji

Gambar L 5. 6 Penimbangan Benda Uji Setelah Direndam & Dikeringkan

Gambar L 5. 7 Persiapan Peletakaan Benda Uji Pada Alat Uji Kuat Tekan

Gambar L 5. 8 Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Hingga Kuat Tekan Maksimum

Lampiran 6 Hasil Pengujian Statistika SPSS

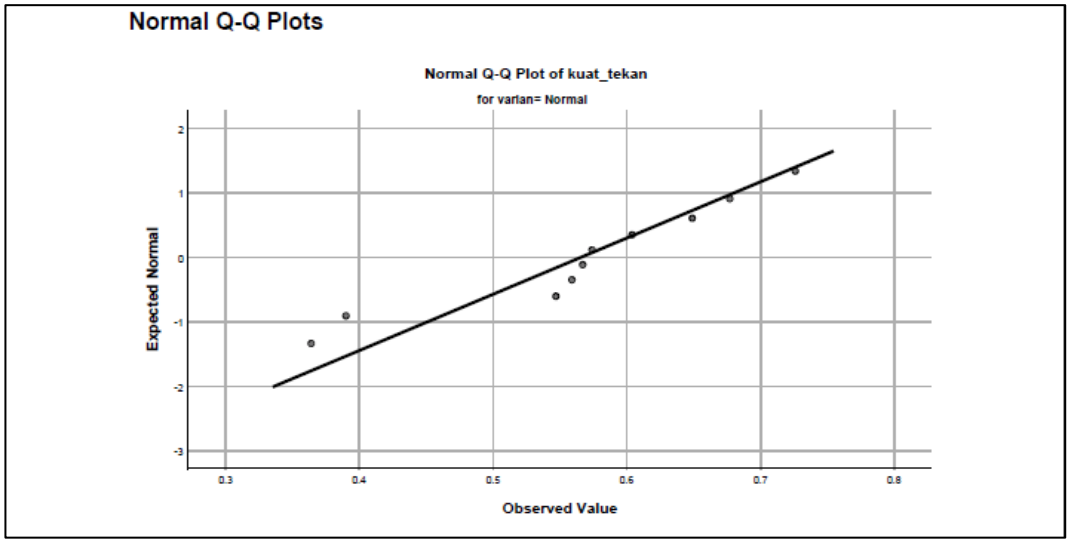
Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	varian	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kuat_tekan	Normal	.235	10	.124	.918	10	.338
	4%	.230	10	.144	.912	10	.298
	6%	.271	10	.036	.869	10	.097
	8%	.211	10	.200*	.888	10	.163
	10%	.135	10	.200*	.954	10	.713

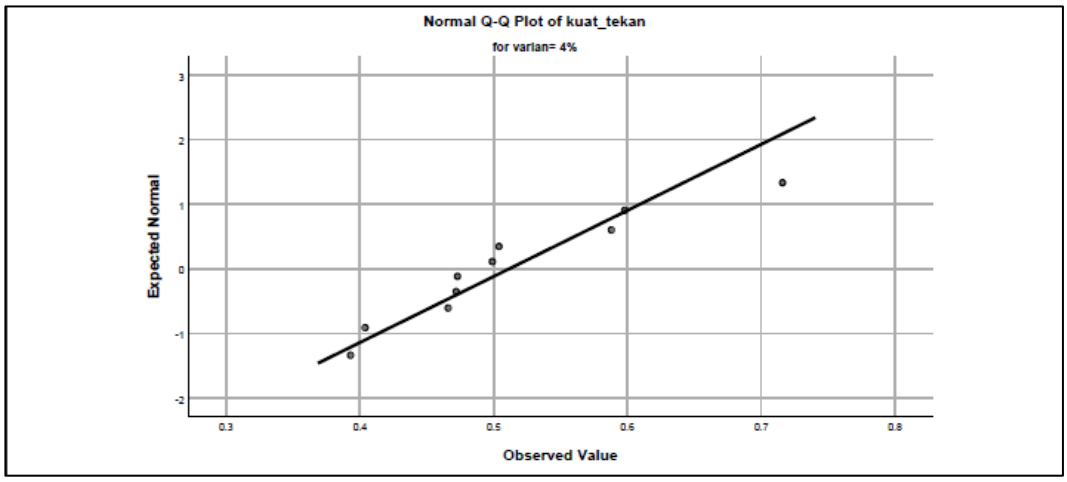
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

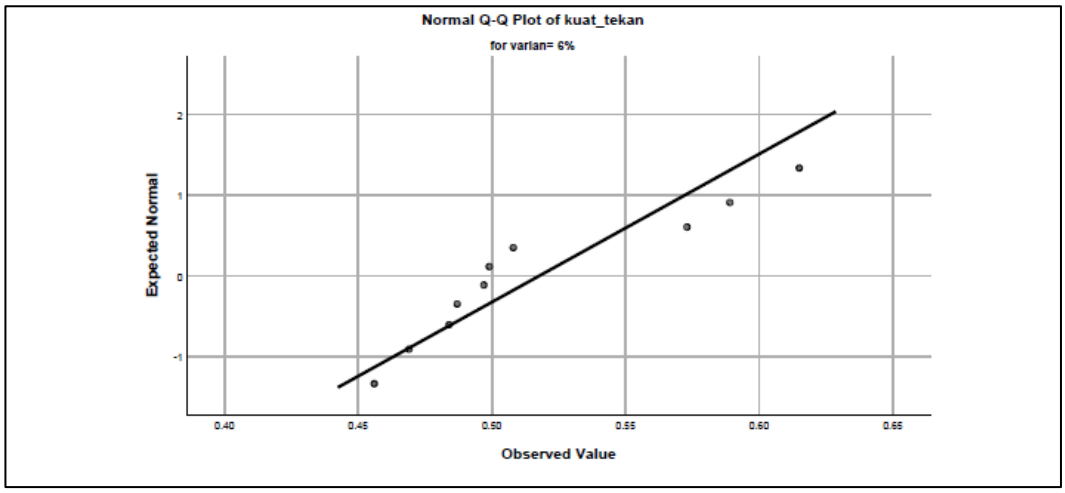
Gambar L 6 1 Hasil Pengujian Normalitas



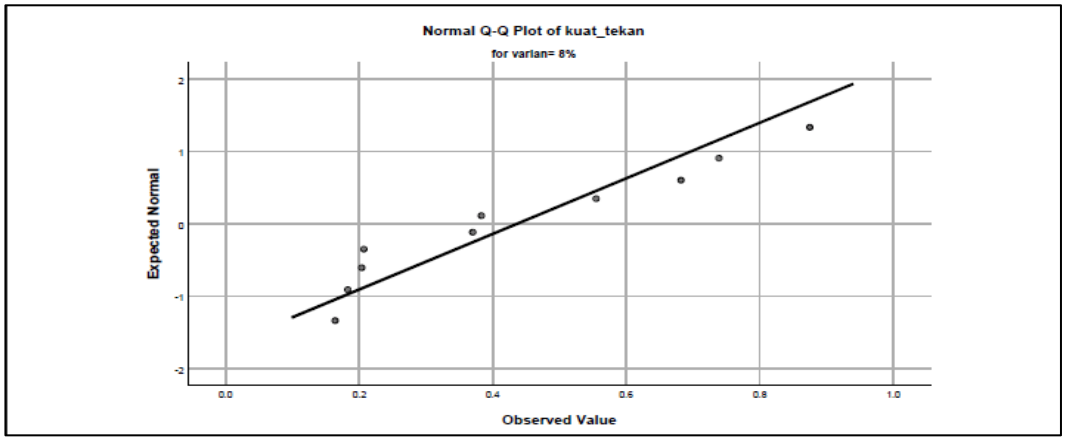
Gambar L 6 2 Grafik Normalitas Variasi Normal



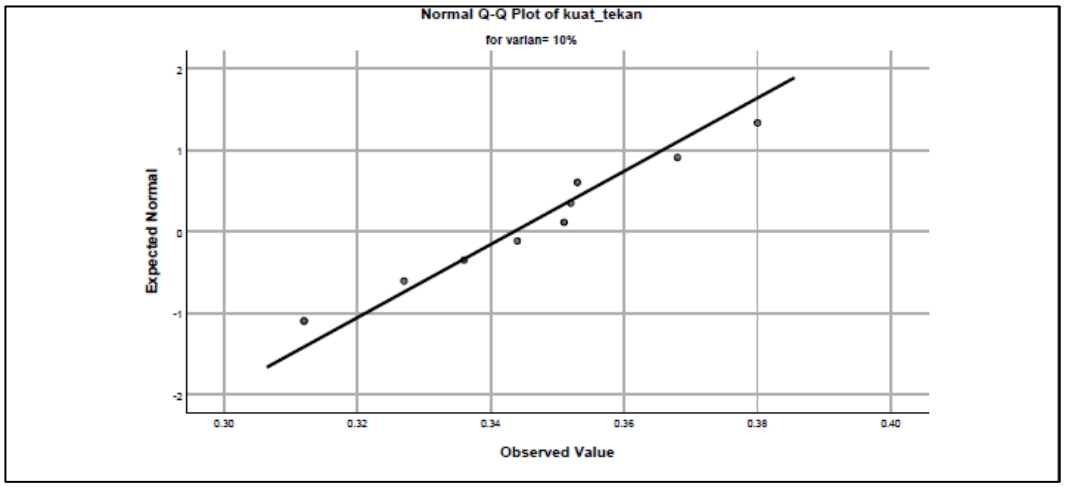
Gambar L 6 3 Grafik Normalitas Variasi CKS 4%



Gambar L 6 4 Grafik Normalitas Variasi CKS 6%



Gambar L 6 5 Grafik Normalitas Variasi CKS 8%



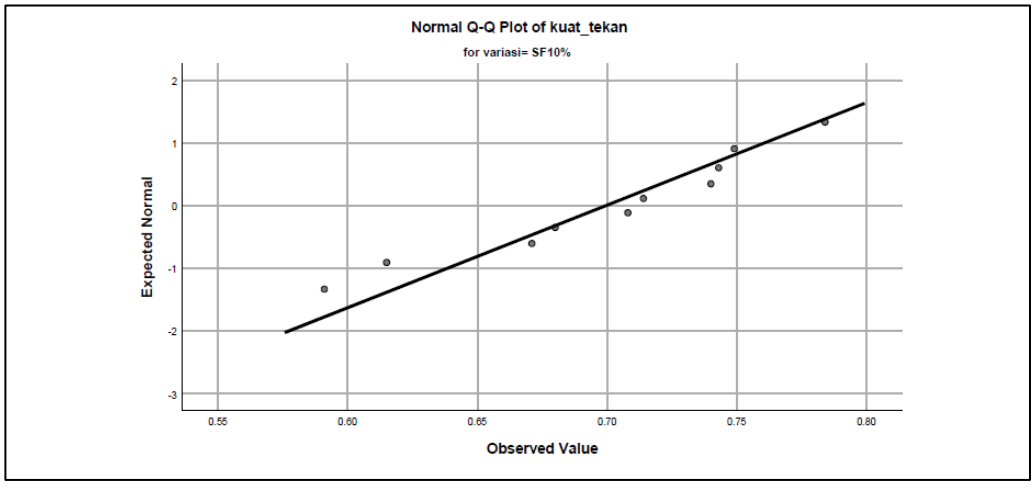
Gambar L 6 6 Grafik Normalitas Variasi CKS 10%

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	variasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kuat_tekan	SF10%	.155	10	.200*	.944	10	.597
	SF10% CKS4%	.199	10	.200*	.865	10	.087
	SF10% CKS6%	.121	10	.200*	.961	10	.794
	SF10% CKS8%	.226	10	.158	.850	10	.058
	SF10% CKS10%	.221	10	.182	.863	10	.082

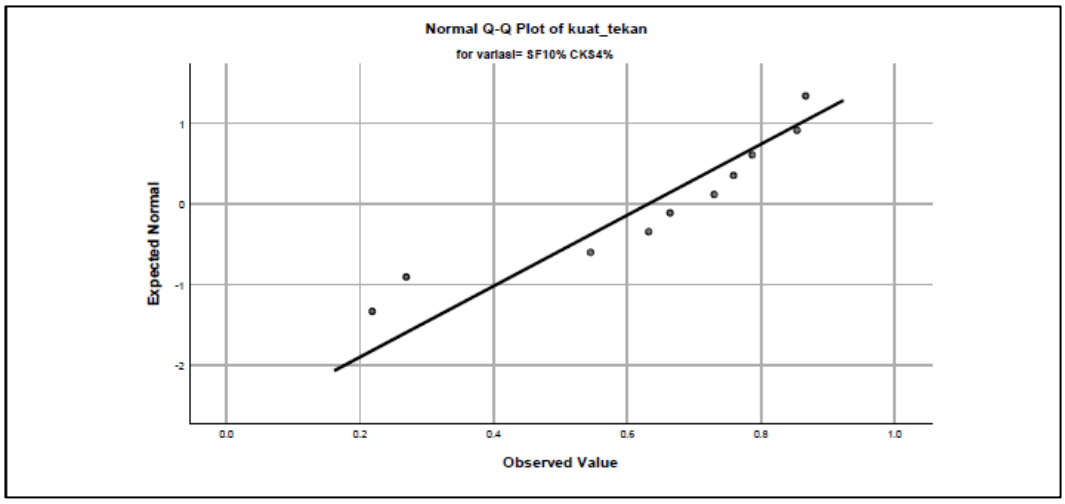
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

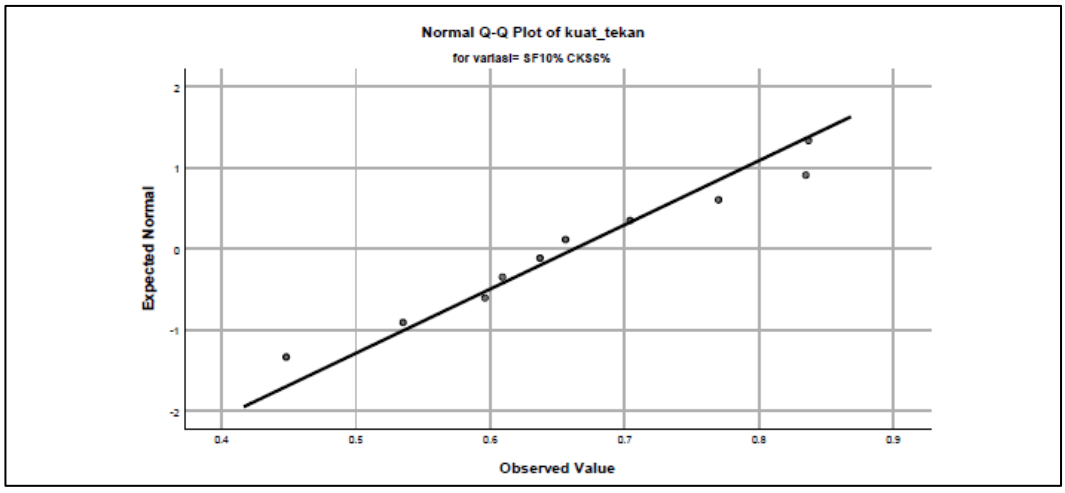
Gambar L 6 7 Hasil Pengujian Normalitas Dengan Penambahan Silica Fume 10%



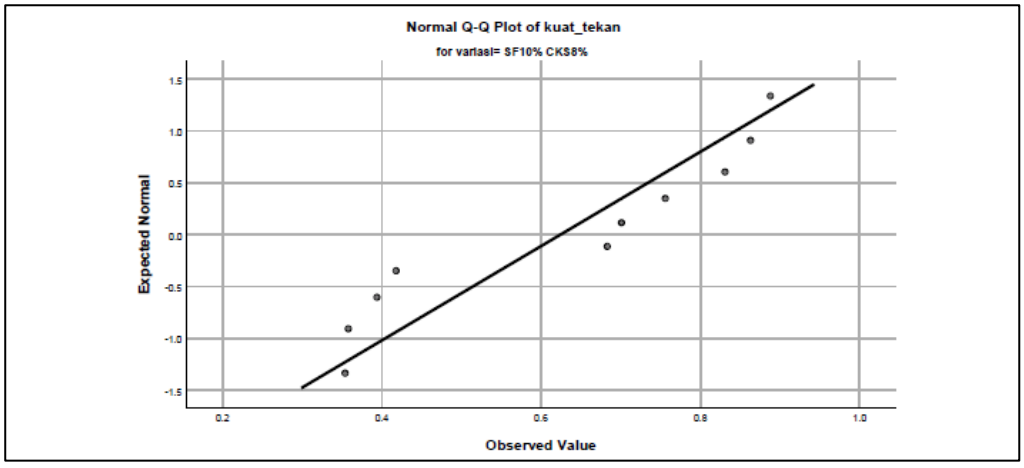
Gambar L 6 8 Grafik Normalitas Variasi SF10%



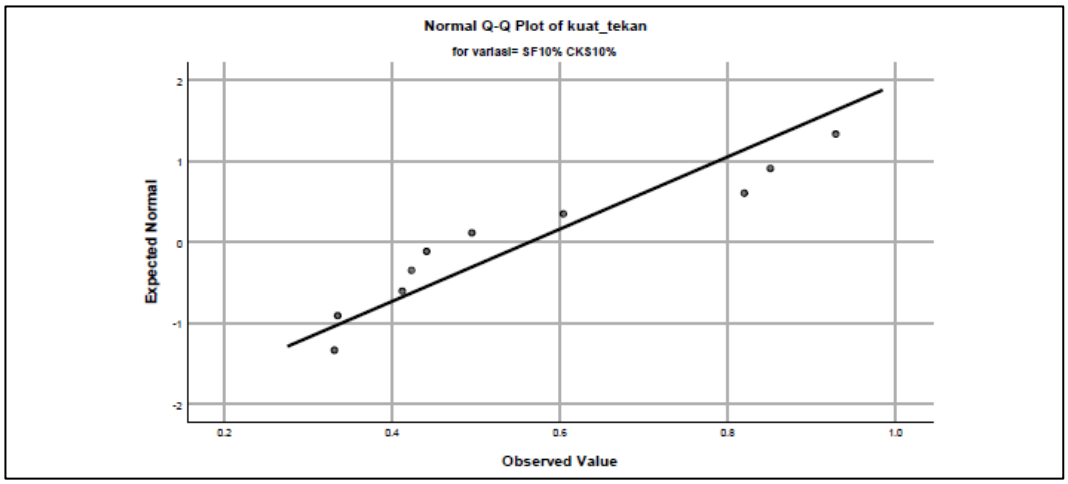
Gambar L 6 9 Grafik Normalitas Variasi SF10%CKS4%



Gambar L 6 10 Grafik Normalitas Variasi SF10%CKS6%



Gambar L 6 11 Grafik Normalitas Variasi SF10%CKS8%



Gambar L 6 12 Grafik Normalitas Variasi SF10%CKS10%