

TUGAS AKHIR

**ANALISA BETON MORTAR BUSA
DENGAN BAHAN TAMBAH *STEEL FIBER* DAN
AGREGAT SLAG UNTUK PERKERASAN JALAN**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Bagus Bima Aji
NIM : 30202000039**

**Firlan Ruslani
NIM : 30202000077**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2024**

TUGAS AKHIR

**ANALISA BETON MORTAR BUSA
DENGAN BAHAN TAMBAH *STEEL FIBER* DAN
AGREGAT SLAG UNTUK PERKERASAN JALAN**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA BETON MORTAR BUSA DENGAN BAHAN TAMBAH
STEEL FIBER DAN AGREGAT SLAG UNTUK PERKERASAN JALAN



BAGUS BIMA AJI
NIM : 30202000039



FIRLAN RUSLANI
NIM : 30202000077

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 30 Januari 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Dr. Ir. Antonius, MT**
NIDN: 0605046703
2. **Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
3. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0631128901

Three handwritten signatures in blue ink, each placed above a dotted line. The signatures are for Prof. Dr. Ir. Antonius, MT; Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT.; and Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

UNISSULA
جامعة سلطان أحمد بن يوسف الإسلامية
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A large handwritten signature in blue ink, placed above a dotted line.

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 12 / A.2 / SA – T / I / 2024

Pada hari ini tanggal 30 Januari berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Bagus Bima Aji
NIM : 3020200039

Firlan Ruslani
NIM : 3020200077

Judul : ANALISA BETON MORTAR BUSA DENGAN BAHAN TAMBAHAN STEEL FIBER DAN AGREGAT SLAG UNTUK PERKERASAN JALAN

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	11/09/2023	ACC
2	Seminar Proposal	24/10/2023	ACC
3	Pengumpulan data	18/12/2023	ACC
4	Analisis data	26/12/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	02/01/2024	ACC
6	Selesai laporan	10/01/2024	ACC

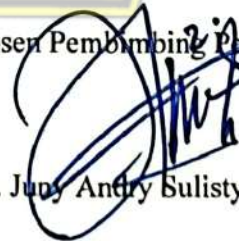
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama



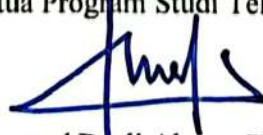
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Dosen Pembimbing Pendamping



Dr. Juny Andry Sulisty, ST MT

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

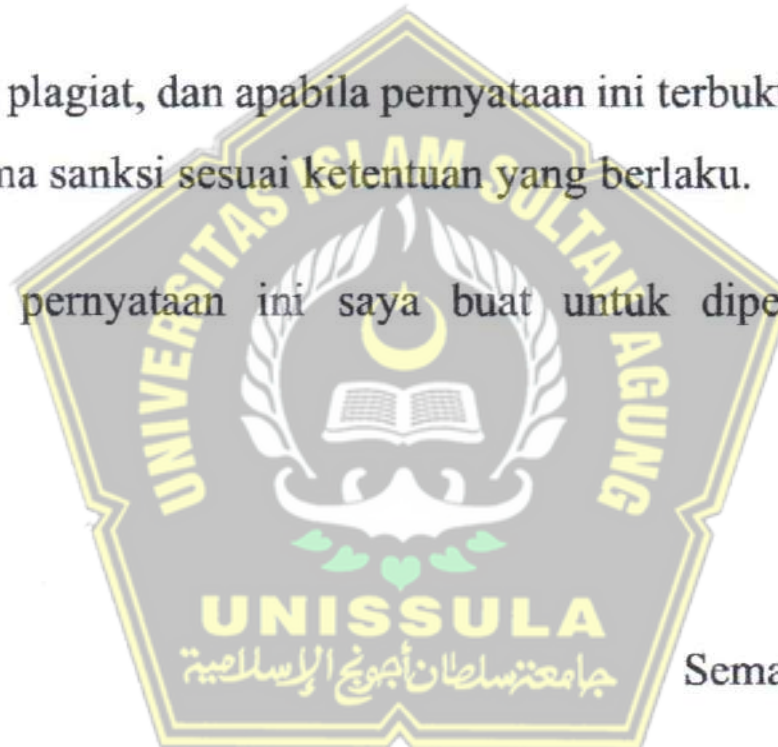
1. NAMA : Bagus Bima Aji
NIM : 30202000039
2. NAMA : Firlan Ruslani
NIM : 30202000077

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisa Beton Mortar Busa dengan Bahan Tambah *Steel Fiber* dan Agregat Slag untuk Perkerasan Jalan”

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, Januari 2024

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2



Bagus Bima Aji

NIM : 30202000039

Firlan Ruslani

NIM : 30202000077

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Bagus Bima Aji
NIM : 30202000039
2. NAMA : Firlan Ruslani
NIM : 30202000077

JUDUL : "Analisa Beton Mortar Busa dengan Bahan Tambah *Steel Fiber* dan Agregat Slag untuk Perkerasan Jalan"

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2024

Yang membuat pernyataan 1

Bagus Bima Aji
NIM : 30202000039

Yang membuat pernyataan 2

Firlan Ruslani
NIM : 30202000077



MOTTO

"Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik" (Qs. Ali Imran :110)

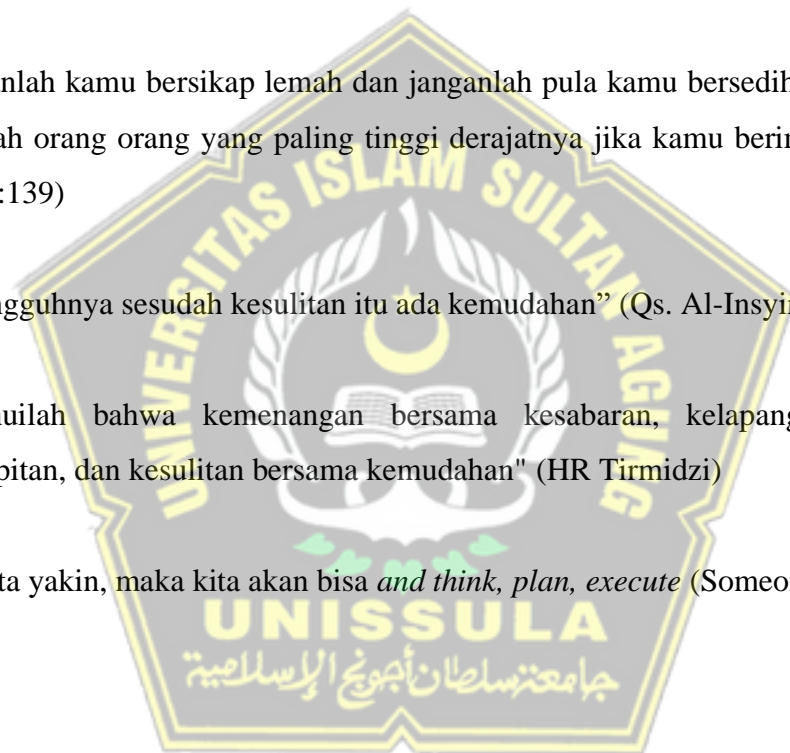
"Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan Allah" (Qs. Huud : 88)

"Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman" (Qs. Ali Imran :139)

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan" (Qs. Al-Insyirah : 6)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan" (HR Tirmidzi)

Jika kita yakin, maka kita akan bisa *and think, plan, execute* (Someone)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya tercinta, Ayah Jumono dan Ibu Sri Suprapti yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak saya Zanuvar Krisna Ardiansyah dan Adik Arjuna Wahyu Setiaji yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta keponakan saya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Firlan Ruslani yang telah menjadi partner tugas akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan tugas akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan tugas akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2020 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Bagus Bima Aji

NIM : 30202000039

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Nurus Heriyus dan Ibu Esin Kuresin terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Kakak saya Saudari Yeni Sintiyah yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir, serta keponakan saya Sabrina Azura Nurairin yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. H. Mutadi, M.T., M.E yang telah memberikan semangat dan dukungan baik berupa materi dan moril serta menjadi inspirasi bagi saya dalam menempuh pendidikan di Perguruan Tinggi.
4. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Dr. Juny Andry Sulistyio, ST., MT. dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
6. Salah satu mahasiswi Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung dengan NIM 30202000070 yang telah banyak membantu, mendampingi, dan selalu memberikan semangat baik saat kuliah maupun saat mengerjakan Tugas Akhir hingga selesai.
7. Bagus Bima Aji yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2020, khusus untuk sahabat saya Ricky Sugesty dan teman-teman lain yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Firlan Ruslani

NIM: 30202000077

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Beton Mortar Busa dengan Bahan Tambah *Steel Fiber* dan Agregat Slag untuk Perkerasan Jalan”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucpkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, Januari 2024

Bagus Bima Aji

Firlan Ruslani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	2
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Beton	5
2.1.1. Beton Normal.....	7
2.1.2. Beton Ringan.....	7
2.2. Sifat dan Karakteristik Beton.....	7
2.2.1. Kemudahan Pengerjaan (<i>Workability</i>).....	8
2.2.2. Pemisahan Air (<i>Bleeding</i>).....	8

2.2.3. Pemisahan Kerikil (<i>Segregations</i>).....	9
2.2.4. Tahan Lama (<i>Durability</i>)	9
2.3. Faktor Air Semen	9
2.4. Teori Mortar Busa.....	10
2.5. Material Penyusun Beton Mortar Busa.....	10
2.5.1. <i>Foam Agent</i>	11
2.5.2. Agregat Halus (Pasir).....	11
2.5.3. Semen <i>Portland</i>	12
2.5.4. Air	12
2.6. Bahan Tambah	13
2.6.1. <i>Steel Fiber</i>	15
2.6.2. Agregat Slag.....	17
2.6.3. <i>Superplasticizer</i>	18
2.7. Kuat Tekan Beton	19
2.8. Kuat Lentur Beton.....	19
2.9. Perkerasan Jalan	20
2.9.1. Klasifikasi Kelas Jalan.....	20
2.10. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis.....	22
 BAB III METODOLOGI.....	 29
3.1. Metode Persiapan.....	29
3.2. Bagan Alir	30
3.3. Tahap Pelaksanaan	31
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 53
4.1. Tinjauan Umum	53
4.2. Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton Mortar Busa	53
4.3. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	53
4.3.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air	54
4.3.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air	55
4.3.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	55
4.3.4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan	56

4.4. Hasil Pemeriksaan Agregat Slag	58
4.4.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air	58
4.4.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air	59
4.4.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	60
4.4.4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan	61
4.5. Perhitungan <i>Job Mix Desain</i>	62
4.5.1. <i>Mix Desain</i> 1 Beton Mortar Busa	62
4.5.2. <i>Mix Desain</i> 2 Beton Mortar Busa	63
4.5.3. <i>Mix Desain</i> 3 Beton Mortar Busa.....	63
4.5.4. <i>Mix Desain</i> Beton Mortar Busa untuk Slinder dan Balok Beton	64
4.6. Hasil Uji Slump	68
4.7. Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Mortar Busa	69
4.7.1. Kuat Tekan Beton Mortar Busa 7 Hari	69
4.7.2. Kuat Lentur Beton Mortar Busa 7 Hari.....	76
4.7.3. Kuat Tekan Beton Mortar Busa 28 Hari	84
4.7.4. Kuat Lentur Beton Mortar Busa 28 Hari.....	91
4.8. Kuat Tekan dan Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa	97
4.8.1. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa 7 Hari	97
4.8.2. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa 7 Hari.....	101
4.8.3. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa 28 Hari	104
4.8.4. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa 28 Hari.....	108
4.8.5. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi	111
4.8.6. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa 28 Hari.....	113
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	115
5.1. Kesimpulan	115
5.2. Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN	xxii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perbedaan Lekukan Ujung <i>Steel Fiber</i> 3D, 4D, dan 5D <i>Dramix</i> ...	16
Gambar 2.2. <i>Steel Fiber</i> yang digunakan.....	17
Gambar 2.3. Agregat Slag.....	18
Gambar 2.4. <i>Superplasticizer</i>	19
Gambar 3.1. Cetakan Uji <i>Slump</i> (Kerucut Abram).....	43
Gambar 3.2. Skema Pengujian <i>Slump flow</i>	46
Gambar 3.3. Skema Uji Kuat Beton.....	50
Gambar 3.4. Skema Uji Kuat Lentur.....	52
Gambar 4.1. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus.....	57
Gambar 4.2. Grafik Analisa Saringan Agregat Slag.....	61
Gambar 4.3. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari (Sampel 1).....	72
Gambar 4.4. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari (Sampel 2).....	72
Gambar 4.5. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari (Sampel 3).....	73
Gambar 4.6. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari (Sampel 1).....	73
Gambar 4.7. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari (Sampel 2).....	74
Gambar 4.8. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari (Sampel 3).....	74
Gambar 4.9. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari (Sampel 1).....	75
Gambar 4.10. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari (Sampel 2).....	75
Gambar 4.11. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari (Sampel 3).....	76
Gambar 4.12. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari (Sampel 1).....	79
Gambar 4.13. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari (Sampel 2).....	80
Gambar 4.14. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari (Sampel 3).....	80
Gambar 4.15. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari (Sampel 1).....	81
Gambar 4.16. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari (Sampel 2).....	81
Gambar 4.17. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari (Sampel 3).....	82
Gambar 4.18. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari (Sampel 1).....	82
Gambar 4.19. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari (Sampel 2).....	83
Gambar 4.20. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari (Sampel 3).....	83
Gambar 4.21. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari (Sampel 1).....	86

Gambar 4.22. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari (Sampel 2).....	86
Gambar 4.23. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari (Sampel 3).....	87
Gambar 4.24. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari (Sampel 1).....	87
Gambar 4.25. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari (Sampel 2).....	88
Gambar 4.26. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari (Sampel 3).....	88
Gambar 4.27. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari (Sampel 1).....	89
Gambar 4.28. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari (Sampel 2).....	90
Gambar 4.29. Grafik Kuat Tekan <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari (Sampel 3).....	90
Gambar 4.30. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari (Sampel 1).....	93
Gambar 4.31. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari (Sampel 2).....	93
Gambar 4.32. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari (Sampel 3).....	94
Gambar 4.33. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari (Sampel 1).....	94
Gambar 4.34. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari (Sampel 2).....	95
Gambar 4.35. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari (Sampel 3).....	95
Gambar 4.36. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari (Sampel 1).....	96
Gambar 4.37. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari (Sampel 2).....	96
Gambar 4.38. Grafik Kuat Lentur <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari (Sampel 3).....	97
Gambar 4.39. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari.....	98
Gambar 4.40. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari.....	99
Gambar 4.41. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari.....	100
Gambar 4.42. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 1 Umur 7 Hari.....	102
Gambar 4.43. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 2 Umur 7 Hari.....	103
Gambar 4.44. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 3 Umur 7 Hari.....	104
Gambar 4.45. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari.....	105
Gambar 4.46. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari.....	106
Gambar 4.47. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari.....	107
Gambar 4.48. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 1 Umur 28 Hari.....	109
Gambar 4.49. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 2 Umur 28 Hari.....	110
Gambar 4.50. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata <i>Mix Desain</i> 3 Umur 28 Hari.....	111
Gambar 4.51. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi.....	112
Gambar 4.52. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi.....	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Kelas Jalan	22
Tabel 2.2. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis	22
Tabel 3.1. Komposisi 1 Variasi 0% <i>Steel Fiber</i> dan 0% Agregat Slag.....	40
Tabel 3.2. Komposisi 2 Variasi 15% <i>Steel Fiber</i> dan 25% Agregat Slag.....	41
Tabel 3.3. Komposisi 3 Variasi 25% <i>Steel Fiber</i> dan 50% Agregat Slag.....	41
Tabel 3.4. Variasi Benda Uji Yang Akan Dibuat.....	42
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus .	54
Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus	55
Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus.....	56
Tabel 4.4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	57
Tabel 4.5. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Slag	58
Tabel 4.6. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Slag.....	59
Tabel 4.7. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Slag	60
Tabel 4.8. Hasil Pemeriksaan Analisa Kadar Lumpur Agregat Slag.....	61
Tabel 4.9. <i>Mix Desain</i> 1 Beton Mortar Busa per 1 m ³	62
Tabel 4.10. <i>Mix Desain</i> 2 Beton Mortar Busa per 1 m ³	63
Tabel 4.11. <i>Mix Desain</i> 3 Beton Mortar Busa per 1 m ²	64
Tabel 4.12. <i>Mix Desain</i> Beton Mortar Busa untuk Benda Uji Silinder	65
Tabel 4.13. <i>Mix Desain</i> Beton Mortar Busa untuk Benda Uji Balok	66
Tabel 4.14. Hasil Uji Slump	68
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	69
Tabel 4.16. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	70
Tabel 4.17. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 3 (25% SF dan 50% AS)	71
Tabel 4.18. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	77

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	78
Tabel 4.20. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 3 (25% SF dan 50% AS)	78
Tabel 4.21. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	84
Tabel 4.22. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	84
Tabel 4.23. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 3 (25% SF dan 50% AS)	85
Tabel 4.24. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	91
Tabel 4.25. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	91
Tabel 4.26. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 3 (25% SF dan 50% AS)	92
Tabel 4.27. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	98
Tabel 4.28. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	99
Tabel 4.29. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 3 (25% SF dan 50% AS)	100
Tabel 4.30. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	101
Tabel 4.31. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	102
Tabel 4.32. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari <i>Mix Desain</i> 3 (25% SF dan 50% AS)	103
Tabel 4.33. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 1 (0% SF dan 0% AS)	105
Tabel 4.34. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari <i>Mix Desain</i> 2 (15% SF dan 25% AS)	106

Tabel 4.35. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari <i>Mix</i> <i>Desain 3</i> (25% SF dan 50% AS)	107
Tabel 4.36. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari <i>Mix</i> <i>Desain 1</i> (0% SF dan 0% AS)	108
Tabel 4.37. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari <i>Mix</i> <i>Desain 2</i> (15% SF dan 25% AS)	109
Tabel 4.38. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari <i>Mix</i> <i>Desain 3</i> (25% SF dan 50% AS)	110
Tabel 4.39. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi.....	112
Tabel 4.40. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi	113



ANALISA BETON MORTAR BUSA DENGAN BAHAN TAMBAH *STEEL FIBER* DAN AGREGAT SLAG UNTUK PERKERASAN JALAN

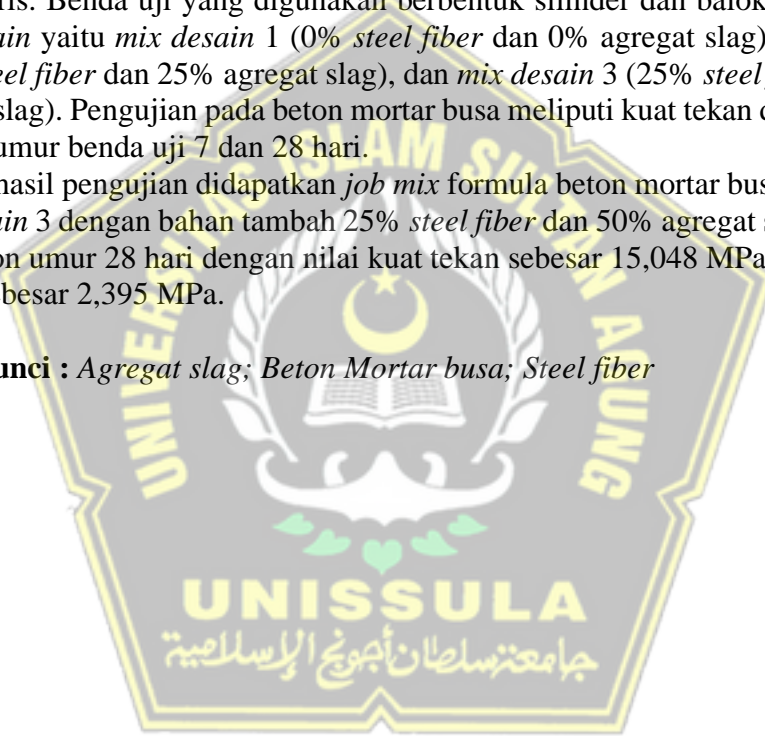
Abstrak

Pekerjaan perkerasan jalan mengalami permasalahan struktur tanah yang tidak stabil karena menemui tanah problematik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dalam bidang konstruksi material penyusun beton mengalami perkembangan, salah satunya beton mortar busa. Akan tetapi beton mortar busa memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur relatif rendah. Penelitian ini menggunakan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag bertujuan meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton mortar busa dengan presentase *steel fiber* 0%, 15%, dan 25% serta presentase agregat slag 0%, 25%, dan 50%.

Metode penelitian yang digunakan penelitian ini adalah metode eksperimental laboratoris. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dan balok, terdiri dari 3 *mix desain* yaitu *mix desain* 1 (0% *steel fiber* dan 0% agregat slag), *mix desain* 2 (15% *steel fiber* dan 25% agregat slag), dan *mix desain* 3 (25% *steel fiber* dan 50% agregat slag). Pengujian pada beton mortar busa meliputi kuat tekan dan kuat lentur dengan umur benda uji 7 dan 28 hari.

Dari hasil pengujian didapatkan *job mix formula* beton mortar busa terbaik pada *mix desain* 3 dengan bahan tambah 25% *steel fiber* dan 50% agregat slag, diperoleh saat beton umur 28 hari dengan nilai kuat tekan sebesar 15,048 MPa dan nilai kuat lentur sebesar 2,395 MPa.

Kata Kunci : *Agregat slag; Beton Mortar busa; Steel fiber*



ANALYSIS OF FOAM MORTAR CONCRETE WITH ADDED STEEL FIBER AND SLAG AGGREGATE FOR ROAD PAVEMENT

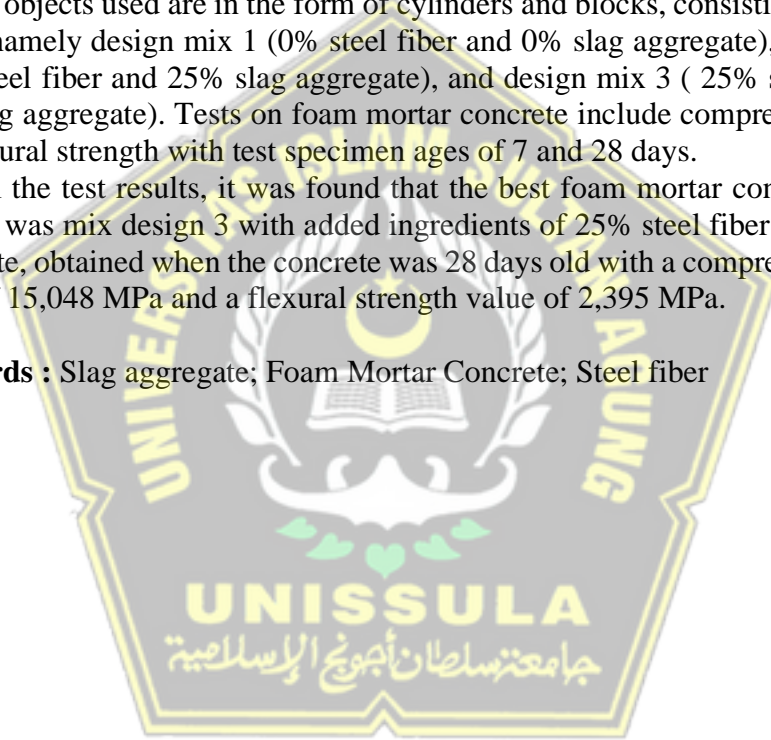
Abstract

Road pavement work experiences problems with unstable soil structure due to encountering problematic soil. To overcome these problems in the field of construction, concrete materials have developed, one of which is foam mortar concrete. However, foam mortar concrete has relatively low compressive strength and flexural strength values. This research uses added materials of steel fiber and slag aggregate with the aim of increasing the compressive strength and flexural strength of foam mortar concrete with a steel fiber percentage of 0%, 15% and 25% and a slag aggregate percentage of 0%, 25% and 50%.

The research method used in this research is a laboratory experimental method. The test objects used are in the form of cylinders and blocks, consisting of 3 design mixes, namely design mix 1 (0% steel fiber and 0% slag aggregate), design mix 2 (15% steel fiber and 25% slag aggregate), and design mix 3 (25% steel fiber and 50% slag aggregate). Tests on foam mortar concrete include compressive strength and flexural strength with test specimen ages of 7 and 28 days.

From the test results, it was found that the best foam mortar concrete job mix formula was mix design 3 with added ingredients of 25% steel fiber and 50% slag aggregate, obtained when the concrete was 28 days old with a compressive strength value of 15,048 MPa and a flexural strength value of 2,395 MPa.

Keywords : Slag aggregate; Foam Mortar Concrete; Steel fiber



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan yang berkualitas tinggi dan tahan lama diperlukan seiring dengan pertumbuhan jaringan jalan di Indonesia. Perkerasan beton merupakan salah satu jenis permukaan jalan yang dimanfaatkan.

Pekerjaan perkerasan jalan beberapakali mengalami permasalahan seperti struktur tanah yang tidak stabil karena menemui tanah yang problematik. Di Indonesia tanah problematik yang merupakan tanah lunak memiliki luas yang mencapai sekitar 20 juta hektar angka tersebut mencakup 10% dari kawasan daratan di seluruh pelosok nusantara tingkat kompresibilitas yang tinggi dan daya dukung tanah yang terbatas. Kawasan tanah jenis ini tidak dapat menyokong struktur bangunan di atasnya dengan baik sehingga tidak mudah digunakan.

Untuk penangan masalah tersebut Bahan yang digunakan untuk membuat beton telah berkembang seiring dengan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang konstruksi. Penemuan beton mortar busa adalah salah satunya. Campuran mortar yang ditambahkan busa cair (zat busa) disebut beton mortar busa. Pada beton busa, gelembung busa menghasilkan ruang berlubang yang mengurangi jumlah pasir dan semen yang dibutuhkan. Beton busa dikategorikan sebagai beton ringan karena berat volumenya lebih rendah dari beton biasa. Beton busa bagaimanapun, memiliki kekuatan lentur dan tekan yang relatif buruk. Hal ini memerlukan penggunaan beton mortar busa, yang dapat meningkatkan kekuatan lentur dan tekan material serta diharapkan memiliki manfaat tambahan termasuk lebih terjangkau dan ramah lingkungan.

Dua karakteristik mekanis terpenting yang diperlukan untuk desain suatu struktur adalah kekuatan lentur dan kuat tekannya. Untuk meningkatkan kuat tekan digunakan agregat slag. Penggunaan agregat slag selain untuk meningkatkan kuat tekan beton juga dapat menghemat biaya produksi dan mengurangi limbah pabrik industri dari pabrik baja. Kemudian untuk meningkatkan kuat lentur digunakan *steel fiber*. Penggunaan *steel fiber* diharapkan dapat meningkatkan kuat lentur,

meningkatkan elemen perilaku struktur, meningkatkan perilaku lentur pasca retak, dan mengontrol keretakan pada struktur.

Untuk mencapai nilai kuat tekan dan kuat lentur yang diantisipasi, penelitian ini mencoba memastikan penggunaan campuran beton mortar busa menggunakan *steel fiber* dan agregat slag.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikasi adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana beton mortar busa dapat menerima kuat tekan rencana sebesar f_c' 20 MPa untuk perkerasan jalan.
2. Bagaimana pengaruh bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag terhadap beton mortar busa.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji *job mix* formula terbaik pada beton mortar busa untuk perkerasan jalan.
2. Mengkaji pengaruh bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag terhadap beton mortar busa.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Secara Teoritis
 - a. Meningkatkan pengetahuan di bidang ilmu teknik sipil, khususnya dalam penggunaan mortar busa untuk perkerasan jalan.
 - b. Penelitian dengan penggunaan mortar busa pada konstruksi jalan ini dapat memberi tambahan ilmu pengetahuan yang baru dalam bidang teknik sipil, khususnya yang berkaitan dengan perkerasan jalan.
2. Secara Praktis
 - a. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pada pengembangan teknologi yang baik dalam pemanfaatan beton busa sebagai perkerasan jalan.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini harus dibatasi agar sesuai dengan tujuannya. Batasan-batasan penelitian ini meliputi :

1. Praktikum dilakukan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Unissula.
2. Penelitian ini menguji kuat tekan dan kuat lentur mortar busa dengan pengaruh bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag serta pengaruh bahan zat aditif *superplasticizer*.
3. Semen menggunakan *portland composite cement* tipe 1.
4. Bahan *foam agent* yang digunakan adalah *foam agent* sintesis.
5. Agregat halus menggunakan pasir ex merapi.
6. Uji yang dilakukan yaitu uji kuat tekan dan kuat lentur dengan variasi waktu 7 dan 28 hari.
7. Penelitian ini hanya dilakukan di laboratorium dan tidak dilakukan pelaksanaan di lapangan.

1.6. Sistematika Penulisan

Terdapat beberapa bab dan sub bab dalam sistem penulisan laporan akhir. Berikut penjelasan detail tiap babnya :

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistem penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka menjelaskan tentang teori dasar, rumus dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dibahas.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini mengandung tata cara atau proses yang dipakai dalam menuntaskan tugas akhir ini baik berupa pengumpulan data atau yang lainnya.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab analisis dan pembahasan menjelaskan tentang temuan dan analisis penelitian yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini mengandung kesimpulan dari hasil analisis dan saran untuk penyusun tugas akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton merupakan kombinasi air, agregat halus (seperti pasir), agregat kasar (seperti batu pecah), dan semen hidrolis (seperti semen portland atau jenis lainnya), dengan atau tanpa aditif (campuran), menghasilkan beton (SNI 2847 : 2019).

Bahan tambahan adalah zat yang dicampurkan ke dalam mortar beton baik sebelum maupun sesudah dicampur dan bukan merupakan komponen utama beton yaitu agregat, semen, dan udara. Untuk mengubah sifat-sifat beton baik saat masih segar atau setelah mengeras, bahan tambahan ditambahkan. Bahan-bahan ini dapat mempercepat proses pengerasan, menambah pengenceran adukan, meningkatkan kekuatan tekan, dan meningkatkan kekuatan daktilitas beton dalam jumlah yang relatif kecil. Namun, mereka harus diawasi dengan hati-hati untuk menghindari penambahan berlebihan, yang dapat memperburuk sifat beton yang sudah ada (Tjokrodimulyo, 1992).

Berikut kelebihan dan kekurangan beton secara umum. Di antara kelebihan beton adalah :

1. Mudah diproduksi untuk memenuhi persyaratan konstruksi
2. Mampu menahan beban besar
3. Mampu menahan suhu tinggi
4. Biaya pemeliharaan minimal

Kekurangan beton antara lain :

1. Sangat sulit untuk mengubah bentuk yang dibuat.
2. Pelaksanaan pekerjaan diselesaikan dengan presisi ekstrim.
3. Massa yang besar
4. Meskipun kekuatan tekan tinggi, kekuatan tariknya buruk.

Kualitas beton yang digunakan sangat penting bagi kestabilan dan keandalan konstruksi. Kualitas beton ditentukan oleh bahan baku yang digunakan, proses produksi, dan pemeliharaan. Untuk menghasilkan beton berkualitas tinggi yang memenuhi standar yang diperlukan, maka harus menghitung dan memeriksa

dengan cermat teknik untuk mencapai komposisi yang tepat dari campuran beton akhir (yang mencakup beton segar dan beton keras). Berikut ini adalah variabel-variabel yang mempengaruhi mutu beton :

1. Campuran Beton

Agregat, semen, air, dan bahan tambahan yang tepat dan diperlukan merupakan bahan campuran beton yang baik. Kualitas beton secara keseluruhan sangat dipengaruhi oleh campuran beton.

2. Suhu dan Kelembaban

Tinggi atau rendahnya suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi proses pemadatan dan pengerasan beton. Jika suhu dan kelembaban mengalami ketidakstabilan maka dapat menyebabkan *crack* pada beton dan berpengaruh terhadap kualitas beton secara keseluruhan.

3. Waktu dan Proses Pemadatan

Ketidaksesuaian waktu dan proses pemadatan dapat mempengaruhi kualitas beton. Proses pemadatan yang terlalu cepat atau lambat dapat menyebabkan beton mengeras kurang baik dan dapat mengakibatkan *crack*.

4. Sumber Air

Beton harus dicampur dengan air murni dan bebas bahan kimia apa pun yang dapat menurunkan kualitas produk akhir. Beton dapat rusak dan kualitasnya menurun karena air yang terkontaminasi.

5. Penambahan Bahan Aditif

Penambahan bahan aditif yang tidak tepat dapat mempengaruhi kualitas beton. Bahan aditif yang tidak cocok dengan bahan lain dalam campuran beton dapat mengakibatkan beton tidak mengeras dengan baik dan dapat mempengaruhi kualitas beton secara keseluruhan.

6. Proses Produksi

Dalam hal ini contohnya adalah pengangkutan beton yang terlalu lama dalam perjalanan dapat mengakibatkan beton mengeras sebelum ditempatkan pada struktur, sehingga dapat mengurangi kualitas beton.

2.1.1 Beton Normal

Beton normal didefinisikan memiliki berat isi antara 2200 hingga 2500 kg/m³. Karena mencampur campuran beton adalah operasi sederhana, perencana biasanya menggunakan jenis beton normal saat melaksanakan proyek.

2.1.2 Beton Ringan

Berat volume beton ini secara signifikan lebih ringan daripada berat volume beton biasa, yang biasanya digunakan dalam struktur bangunan untuk mengurangi beban mati. Khususnya dalam proyek bangunan bertingkat tinggi, beton ringan sangat hemat biaya untuk konstruksi. Ambil kasus bagian struktural beton ringan.

Beton didefinisikan sebagai kombinasi air, agregat halus dan kasar, semen *portland*, atau semen hidrolik lainnya menurut SNI 03-2847-2019, dan komponen campuran tambahan yang mungkin atau mungkin tidak membentuk massa padat. Mulyono (2005) mendefinisikan beton sebagai campuran bahan-bahan penyusunnya, dengan atau tanpa bahan aditif, yang terdiri dari semen air, kasar, halus, dan semen hidrolik (*portland cement*).

Dikutip oleh (Wahyuni, 2010), menurut Neville and Brooks beton dipisahkan ke dalam kategori berikut berdasarkan kebutuhan dan tujuan penggunaannya:

1. Beton ringan struktural (*Structural Lightweight Concretes*) dengan nilai kuat tekan lebih dari 17 MPa dan kepadatan 1400-1800 kg / m³.
2. Beton pasangan batu (*Masonry Concretes*) memiliki kuat tekan 7 hingga 14 MPa dan kepadatan 500 hingga 800 kg / m³.
3. Kepadatan rendah, beton penahan panas (*Insulating Concretes*) memiliki kekuatan tekan 0,7-7 MPa dan kepadatan kurang dari 800 kg / m³.

SNI 03-2847-2019 menyatakan bahwa berat volume kesetimbangan (*equilibrium density*), sebagaimana didefinisikan oleh ASTM C567 adalah antara 1140 hingga 1840 kg/m³ untuk beton dengan agregat beton ringan.

2.2. Sifat dan Karakteristik Beton

Tegangan penghancur tekan beton yang kuat dan tegangan penghancur tarik rendah adalah karakteristik yang membedakannya. Beton adalah material seperti batu yang dibuat dengan menggabungkan sejumlah semen, pasir, karang atau agregat lainnya,

dan air untuk membentuk campuran menjadi bentuk dan ukuran konstruksi yang dimaksudkan. (George Winter, 1993).

2.2.1. Kemudahan Pengerajaan (*Workability*)

Kemudahan pengerajaan, yang sama dengan fleksibilitas beton atau ketahanan abrasi, menunjukkan betapa mudahnya pekerjaan dilakukan. Akan lebih mudah jika beton lebih banyak plastis. Secara umum, bekerja dengan beton segar menjadi lebih mudah dengan konsistensinya yang lebih tipis.

Di antara faktor-faktor yang mempengaruhi adalah :

1. Kadar air, lebih banyak air membuat pengerajaannya lebih mudah.
2. Kandungan semen, jika FAS tetap, konstan, maka penggunaan lebih banyak semen akan membutuhkan lebih banyak air, sehingga meningkatkan plastisitas.
3. Gradasi campuran pasir-kerikil,
4. Ini akan mudah dilakukan jika sesuai dengan standar dan memenuhi persyaratan.
5. Agregat dengan bentuk bulat lebih mudah dikerjakan daripada bahan berbutir kasar.
6. Butir maksimum agregat, dibandingkan dengan butir maksimum yang lebih kecil, butir agregat yang lebih besar tampak lebih tipis dan karenanya lebih mudah ditangani. Proses slump digunakan untuk menilai tingkat kemampuan kerja (*workability*).

2.2.2. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah kata yang digunakan untuk menggambarkan kecenderungan beton yang baru dipadatkan agar air naik ke permukaan. Saat beton mengeras, air yang naik membawa partikel-partikel kecil pasir dan semen, mereka akhirnya akan membuat membran (*laitance*). Faktor-faktor berikut yang dapat menyebabkan *Bleeding* :

1. Pengaturan butir agregat
2. Kuantitas air
3. Kecepatan hidrasi
4. Prosedur pemadatan.

Ada tiga cara untuk mengurangi *Bleeding*:

1. Gunakan lebih banyak semen
2. Gunakan air sesedikit mungkin
3. Gunakan lebih banyak agregat halus.

2.2.3. Pemisahan Kerikil (*Segregations*)

Segregasi mengacu pada kecenderungan butiran agregat kasar untuk memisahkan diri dari campuran beton. Ini akan menghasilkan kerikil, yang pada gilirannya akan menyebabkan beton berpori. Ada berbagai alasan untuk segregasi :

1. Campuran tipis atau semen tidak mencukupi
2. Jumlah air yang berlebihan
3. Ukuran agregat hingga maksimum 40 mm.
4. Kekasaran pada permukaan butiran agregat (semakin mudah untuk memisahkan, semakin kasar permukaan butiran agregat).

Dimungkinkan untuk menghentikan kecenderungan segregasi jika :

1. Tinggi jatuh berkurang
2. Penggunaan air konsisten dengan standar
3. Jarak yang cukup antara acuan dan tulangan
4. Hitung agregat berdasarkan parameter
5. Pemasakan yang kuat

2.2.4. Tahan Lama (*Durability*)

Tahan terhadap cuaca, kotoran, air laut, penyimpanan bahan kimia, dan siklus pembekuan-pencairan. Sepanjang hidupnya, ia dapat menahan serangan material yang parah. Beberapa contoh faktor yang mempengaruhi daya tahan beton adalah:

1. Lingkungan sekitar beton
2. Kualitas beton
3. Lebar beton retak dan penguatan pada penutup beton.

2.3. Faktor Air Semen

Rasio air yang diserap, tidak termasuk agregat, terhadap semen dalam mortar beton dikenal sebagai faktor air semen (Subakti, 1994). Kualitas kekuatan beton menurun

dengan meningkatnya penggunaan FAS, tetapi kualitas kekuatan beton tidak dapat dijamin meningkat dengan penurunan penggunaan FAS. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa memanfaatkan FAS yang lebih rendah akan membuat pemadatan lebih sulit, yang akan mengurangi kekuatan beton. Akibatnya, 0,4 hingga 0,65 adalah nilai FAS minimal yang digunakan (Mulyono, 2003).

2.4. Teori Mortar Busa

Campuran busa cair, semen, pasir, dan air disebut mortar busa. Untuk membuat penambahan busa pada campuran mortar, pengembangan hingga 4 (empat) kali volume awal dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah bahan yang dibutuhkan dibandingkan dengan bahan tanpa campuran busa. Tujuan mortar busa adalah untuk menghasilkan nilai berat satuan dan kekuatan yang dapat dijadwalkan sesuai kebutuhan (Handyani, 2007).

Berbeda dengan beton aerasi autoklaf, beton berbuisa membentuk gelembung kimia sebagai hasil dari reaksi antara kalsium hidroksida dan bubuk aluminium, yang dihasilkan selama hidrasi semen. Konten udara berkisar antara 40 hingga 80 persen dari volume keseluruhan untuk penggunaan yang paling populer. Ukuran gelembung berkisar dari 0,1 hingga 1,5 mm, tetapi ketika mereka meleleh dalam cairan, rongga yang dihasilkan secara signifikan lebih besar (Brady, 2001).

Penggunaan busa dengan mortar campuran pasir, semen, dan air dioptimalkan dalam mortar busa, membuatnya sempurna untuk digunakan sebagai dasar trotoar pada tanah lunak. Dengan kepadatan maksimum 0,8 gram per persen kubik untuk lapisan dasar dan 0,6 gram per persen kubik untuk lapisan sub-dasar, bahan ini ringan.

Jika dibandingkan dengan konstruksi tradisional, teknologi ini menawarkan penghematan finansial hingga 60-70% dan penghematan waktu pemrosesan hingga 50%. Ini juga kurang berbahaya bagi lingkungan karena membutuhkan lebih sedikit bahan bangunan, terutama yang alami.

2.5. Material Penyusun Beton Mortar Busa

Mortar busa merupakan campuran antara cairan busa (*foam agent*) dengan mortar yaitu pasir atau agregat halus, semen *portland*, dan air.

2.5.1. *Foam Agent*

Larutan pekat dari bahan surfaktan, *Foam agent* perlu dilarutkan dalam air agar dapat digunakan. Zat yang dikenal sebagai surfaktan memiliki kecenderungan untuk berkonsentrasi dan mengaktifkan antarmuka. Bahan kimia yang dikenal sebagai "permukaan aktif" (surfaktan) hadir dalam deterjen ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OSO}_3\text{-Na}^+$). Kelompok liofili, yang menarik pelarut, dan kelompok liofobik, yang mengusir pelarut, adalah dua kelompok signifikan yang ditemukan dalam deterjen, berdasarkan struktur molekulnya. Kelompok liofil dapat menjadi kelompok lain yang biasanya pendek, seperti kelompok bromida atau klorida.

Husin dan Setiaji (2008) menyatakan bahwa *foam agent* adalah larutan bahan surfaktan pekat yang perlu dilarutkan dalam air agar dapat digunakan. Zat yang dikenal sebagai surfaktan memiliki kecenderungan untuk berkonsentrasi dan mengaktifkan antarmuka. Dengan memasukkan gelembung udara atau gas ke dalam mortar. Akibatnya, beton akan memiliki banyak pori-pori udara. *Spectafoam*, HDM, dan *Polymer* adalah bahan yang digunakan dalam agen busa penelitian.

2.5.2. Agregat Halus (Pasir)

SNI 03-6820-2002 menyatakan bahwa agregat halus harus bebas dari bahan organik, tanah liat, partikel yang lebih kecil dari filter, dan bahan lain yang dapat merusak beton. Kemudian dapat diisi dengan pasir buatan atau alami yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu dari batu pasir alami yang telah dihancurkan secara alami menjadi ukuran kecil (0,15-5 mm).

Menurut SNI 03-6821-2002 secara umum syarat agregat yang baik adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus memiliki butiran yang tajam dan keras.
2. Biji-bijian terbaik bersifat permanen, artinya tidak akan rusak atau hancur karena pengaruh cuaca. Untuk melakukan uji larutan garam jenuh dapat mengetahui sifat pengawetan agregat halus. Natrium sulfat digunakan untuk fraksi maksimum terurai adalah 10% berat.
3. Apabila kandungan lanau melebihi 5% maka pasir harus dicuci ulang sehingga agregat halus tidak mengandung lanau lebih dari 5% (berdasarkan berat kering).

Persyaratan agregat halus yang baik untuk campuran beton antara lain :

1. Total tidak boleh lebih dari 5% kandungan lumpur.
2. Peringatan dengan menggunakan larutan NaOH 3% menunjukkan tidak banyak bahan organik pada agregat halus. Peringatan di atas tentang endapan tidak lebih akurat dibandingkan peringatan standar atau perbandingan.
3. Agregat halus berkisar antara 1,50 hingga 3,80.
4. Agregat halus tidak dapat bereaksi dengan alkali.
5. Rendemen bila menggunakan natrium sebagai sumber utama persentase redaman sulfat adalah 10%, dan rendemen bila menggunakan magnesium sebagai sumber utama persentase redaman sulfat adalah 15%. (Teknik & Sains, 2016)

2.5.3. Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2015, semen *Portland* dibuat dengan cara menggiling terak semen Portland yang sebagian besar terdiri dari kalsium silikat hidrolis. Selanjutnya, semen digabungkan dengan zat lain yang dapat terdiri dari satu atau lebih bentuk kristal dari komponen kalsium sulfat. Jenis dan aplikasi semen portland menurut SNI 15-2049-2015 :

1. Semen *portland* tipe I ditujukan untuk aplikasi yang luas dan tidak memerlukan kriteria khusus yang sama dengan tipe lainnya.
2. Semen *portland* tipe II, membutuhkan ketahanan terhadap sulfat atau panas ringan untuk hidrasi.
3. Semen *portland* tipe III, yang bila digunakan, harus memiliki kekuatan tinggi setelah pengikatan.
4. Semen *portland* tipe IV, membutuhkan panas hidrasi yang rendah untuk digunakan.
5. Semen *portland* tipe V, membutuhkan ketahanan sulfat yang kuat saat digunakan.

2.5.4. Air

Menurut SNI-03-2847-2019, air yang digunakan dalam campuran beton harus murni dan bebas dari zat-zat yang dapat merusak beton atau tulangan, seperti minyak, asam, alkali, garam, atau unsur organik.

Air harus: (1) Bereaksi dengan semen; dan (2) Menjadi pelumas antar butiran agregat agar beton mudah dikerjakan (dicampur, dituang, dan dipadatkan) (Tjokrodinuljo, 2007).

Persyaratan campuran air yang digunakan untuk memproduksi beton semen hidrolis sesuai dengan SNI 03-7974-2018 atau ASTM C 1602M. Spesifikasi umum berikut ini harus dipenuhi agar air dapat digunakan dalam proses pencampuran:

1. Lumpur dan minyak tidak boleh ada dalam air bersih karena dapat melemahkan ikatan antar partikel beton.
2. Menggunakan air murni dan tidak mengandung kontaminan seperti minyak, asam, dan alkali yang dapat merusak beton.
3. Ion klorida bukan dilepaskan dengan jumlah berbahaya bila dicampur dengan air, yaitu lebih dari 0,5 g/l.
4. Senyawa sulfat (seperti SO₃) tidak boleh melebihi 1 g/l bila dicampur dengan air.
5. Tidak menggunakan air yang tidak dapat diminum.

Semua bahan kimia, polutan, alkali, dan makhluk lain yang dapat mempengaruhi kualitas beton harus dihilangkan dari air yang digunakan untuk membuat beton. (ACI 318-19:2-2).

2.6. Bahan Tambah

SNI 03-2495-1991 mendefinisikan bahan aditif sebagai bahan cair atau bubuk yang dicampur ke dalam campuran beton dan diaplikasikan dalam proporsi tertentu untuk mengubah mutu beton tertentu.

Penambahan zat aditif pada campuran beton dengan tujuan sebagai berikut: mengurangi panas hidrasi, meningkatkan impermeabilitas, meningkatkan keawetan, mengurangi retak pengerasan, mempercepat proses pengikatan, menambah pengenceran pada campuran, dan lain sebagainya (Tjokrodinuljo, 2007). Berikut adalah tipe-tipe bahan tambah :

1. Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water-Reducing Admixtures adalah bahan yang dicampur ke dalam beton untuk menurunkan kadar air yang diperlukan untuk mencampurnya hingga ketetapan tertentu.

Water-Reducing Admixtures menghasilkan beton dengan rasio air semen (FAS) yang rendah dengan mempertahankan nilai slump dan kandungan semen. Sebagai alternatif, nilai slump yang lebih besar dapat diperoleh dengan menggunakan faktor air semen yang telah ditetapkan dan menjaga kandungan semen tetap konstan. Tujuannya adalah untuk mengubah kandungan semen, bukan FAS atau slump. Jumlah air yang dibutuhkan, kadar air, konsistensi, *bleeding* dan kehilangan air selama beton baru, laju pengerasan, kekuatan tekan dan lentur, perubahan volume, dan penyusutan selama pengeringan adalah faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan ketika menggunakan bahan tambahan ini. Ini berarti bahwa pengujian harus dilakukan sebelum menggabungkan elemen-elemen lainnya.

2. Tipe B “*Retarding Admixture*”

Retarding Admixture adalah bahan tambahan yang membantu menunda waktu pengikatan beton. Hal ini digunakan untuk menambah waktu pematangan, mencegah sambungan dingin, dan mengurangi efek pengendapan ketika beton yang baru dicor dicampur. Ini juga dapat digunakan untuk menunda masa pengikatan beton, misalnya, karena cuaca panas.

3. Tipe C “*Accelerating Admixture*”

Accelerating Admixture adalah zat aditif yang membantu ikatan beton dan mengembangkan kekuatan awal lebih cepat. Zat ini digunakan untuk memperpendek periode hidrasi beton dan mempercepat pengembangan kekuatan awal. Untuk tipe C ini kalsium klorida adalah yang paling terkenal. Maksimal 2% dari berat semen dapat digunakan. Secara umum, ada tiga kategori untuk rangkaian aditif ini: larutan yang mengandung garam organik, campuran organik, dan material *miscellaneous*.

4. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambahan yang memiliki dua fungsi yakni mencegah pengikatan awal dan menurunkan jumlah air yang dibutuhkan untuk mencampur beton dengan konsistensi tertentu.

Water Reducing and Retarding Admixtures yakni kontrol pengeringan dan pengurangan air. Mereka digunakan untuk memperkuat beton. Sejalan dengan penurunan kadar air, mereka juga akan menurunkan kadar semen. Hampir

sebagian besar zat ini berbentuk cair. Kandungan air dari bahan tersebut akan dimasukkan ke dalam campuran beton. Air ini harus ditambahkan ke dalam campuran beton sebagai total berat air selama perencanaan. Ingatlah bahwa proporsi agregat kasar terhadap mortar tidak boleh berubah. Untuk menjaga volume tetap konstan, variasi jumlah agregat halus harus dibuat untuk setiap perubahan jumlah air, udara, atau semen.

5. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah zat tambahan yang memiliki dua fungsi: mempercepat proses pengerasan awal dan menurunkan jumlah air yang dibutuhkan untuk mencampur beton hingga mencapai konsistensi tertentu.

6. Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

Water Reducing, High Range Admixtures adalah komponen yang membantu menurunkan jumlah air yang dibutuhkan untuk mencampur beton sebesar 12% atau lebih untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

7. Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah zat yang berfungsi untuk menjaga beton agar tidak mengikat dan menurunkan kebutuhan air untuk mencampurnya hingga konsistensi tertentu minimal 12%.

2.6.1. Steel Fiber

Steel Fiber, sebagaimana didefinisikan oleh ACI 544.3R-84, merupakan sebagai serat baja yang kecil, datar atau bergelombang yang diproduksi dengan cara memadukan ekstrak serat baja. Serat ini kemudian didistribusikan secara merata dalam campuran beton segar, dengan rasio aspek 12,7 mm hingga 63,5 mm untuk panjang serat dibagi dengan diameter serat (l/d).

Steel Fiber adalah sejenis serat yang digunakan untuk memperkuat beton yang dibuat dari bahan baja premium. Serat baja pertama kali ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mengurangi kecenderungan material untuk menyusut. Namun, seiring berjalannya waktu, sifat komposit serat baja dengan beton memungkinkannya untuk meningkatkan kekuatan lentur material (Sulthan, 2019).

Kemudian, berdasarkan ASTM-A820, serat baja dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori umum dan digunakan sebagai bahan campuran beton:

1. Kawat dingin
2. Fragmen kecil
3. Leburan ekstrak
4. *Steel Fiber* jenis lainnya.

Steel fiber jenis *dramix* adalah serat baja yang ditarik dan dibentuk ulang hingga berbentuk kawat dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi. Cara tersebut menggunakan metode *cold-drawn*. *Steel fiber dramix* memiliki lekukan pada ujung kawat untuk memberikan pengikatan secara optimal. Terdapat tiga jenis *Steel fiber dramix* yakni 3D, 4D, dan 5D yang menjadi pembeda dari ketiga jenis tersebut yaitu banyaknya lekukan pada ujung kawat.



Gambar 2.1 Perbedaan Lekukan Ujung *Steel Fiber* 3D, 4D, dan 5D *Dramix*

Lekukan pada ujung *Steel fiber dramix* dapat meningkatkan kekuatan pada beton, dengan pengaruh dapat mengait pada beton secara optimal dibandingkan dengan *steel fiber* biasa tanpa lekukan dibagian ujung. Lekukan tersebut dapat memastikan *steel fiber* bekerja seperti yang diinginkan dan kekuatan tarik sempurna sejalan dengan lekukan tersebut pada beton.



Gambar 2.2 *Steel Fiber* yang digunakan

2.6.2. Agregat Slag

Menurut Burge, TA (2004), terak agregat adalah zat bukan logam yang sebagian besar terdiri dari kalsium, magnesium, dan aluminium silikat dalam berbagai kombinasi. Terak ini dihasilkan selama proses metalurgi di pabrik baja.

Agregat terak adalah material yang keras dan padat, dengan kepadatan dan kekerasan yang tinggi karena adanya sejumlah besi bebas. Beton berkekuatan tinggi yang baik dapat dihasilkan dengan menggabungkan agregat terak dengan semen *Portland* sebagai agregat beton. Kombinasi antara *silica fume* dan agregat terak baja menghasilkan beton berkekuatan tinggi (50 Mpa hingga 125 Mpa). (D. Beedle, 2003). Agregat slag, yang merupakan kumpulan oksida leleh yang dipisahkan dari fase logam cair selama proses peleburan, adalah jenis limbah padat yang bukan logam yang dihasilkan di dalam tungku selama peleburan logam. Sampah dari pembakaran tungku bersuhu tinggi industri peleburan baja dikenal sebagai limbah terak agregat. Setelah melakukan kajian bersama dengan asosiasi baja, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyimpulkan bahwa agregat slag tergolong sampah B3 (Bahan Beracun Berbahaya). Agregat terak merupakan material yang dapat digunakan untuk lapis pondasi atas dan bawah, sesuai dengan SNI 8378:2017 dan SNI 8379:2017. Saat membangun jalan, agregat terak dapat digunakan sebagai pengganti material seperti batu alam.



Gambar 2.3 Agregat Slag

2.6.3. Superplasticizer

Superplasticizer, menurut Handi Panjitno (2007), adalah bahan tambahan yang ditambahkan pada beton segar yang memiliki manfaat yakni mengurangi konsumsi air, meningkatkan kejernihan, memudahkan pemadatan beton segar tanpa memerlukan perlakuan getaran, dan meningkatkan kualitas beton. Untuk meningkatkan kekuatan tekan beton, lebih sedikit air yang digunakan dalam campuran, sehingga menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah. *Superplasticizer* dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas kepadatan beton, mengurangi penggunaan air, mempercepat proses pengerasan, dan membuat campuran beton lebih mudah dikerjakan (*workability*).

Cara kerja *superplasticizer* yaitu dengan mengurangi gaya tarik antar partikel-partikel semen dalam campuran beton. Hal tersebut dapat membantu meningkatkan kemudahan pengolahan beton sehingga memungkinkan terjadinya reduksi air-semen *ratio* yang kemudian menghasilkan beton yang lebih kuat dan tahan lama.

Bahan dasar *superplasticizer* terdiri dari tipe *polycarboxylate* dan *naphthalene*. Menurut ASTM C494-19 “*Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*”, *superplasticizer* memiliki keunggulan dalam penggunaannya dalam membentuk elemen konstruksi :

- Memperbaiki kinerja beton meskipun dengan penurunan jumlah air dan semen dalam campuran.
- Meningkatkan kelenturan pengolahan campuran dengan mempertahankan nilai faktor air semen.

- Mencegah korosi pada tulangan dengan meningkatkan kepadatan material.



Gambar 2.4 *Superplasticizer*

2.7. Kuat Tekan Beton

Besarnya beban per satuan luas yang dapat mengakibatkan rusaknya suatu benda uji beton apabila diberikan gaya tekan tertentu dan dihasilkan oleh mesin press disebut dengan kuat tekan beton (SNI 03-1974-1990).

Kuat tekan beton diuji dengan menggunakan mesin press. Nilai massa maksimum beban akan ditampilkan dalam ton. Pada bidang tekan pahat, benda uji berada di tengah. Sampai benar-benar hancur, beton dibebani secara bertahap.

Kuat tekan suatu mutu beton dapat memenuhi syarat asalkan setiap syarat berikut dipenuhi (SNI 03-2847-2019) :

- a. Nilai rata-rata dari pengujian kuat tekan berturut-turut lebih dari atau sama dengan $f'c$.
- b. Tidak ada nilai uji kuat tekan yang ditentukan karena rata-rata dari hasil uji untuk dua sampel silinder kurang dari atau lebih besar dari 3,5 Mpa.

2.8. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton didefinisikan sebagai kemampuan balok yang ditopang oleh dua tumpuan untuk memikul gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu benda uji hingga benda tersebut patah. *Mega Pascal* (Mpa) per satuan luas digunakan untuk menilai kekuatan ini (SNI 03-4431-2011).

Ketika beban eksternal diberikan pada balok beton, balok beton akan berubah bentuk, yang mengarah pada pembentukan momen lentur karena material balok

menahan gaya tersebut. Substansi balok beton harus menahan momen eksternal, dan nilai tertinggi yang dicapai sebelum balok runtuh atau patah harus sesuai dengan momen penahan internal balok beton.

2.9. Perkerasan Jalan

Agregat dan bahan pengikat digabungkan untuk membuat perkerasan jalan, yang dimaksudkan untuk mendukung beban lalu lintas. Batu pecah, batu kali, dan produk sampingan peleburan baja digunakan sebagai agregat. Semen, tanah liat, dan aspal adalah bahan pengikat yang digunakan. Untuk memastikan bahwa beban yang diserap oleh tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah, perkerasan jalan adalah lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan untuk memikul dan mendistribusikan beban lalu lintas (Sukirman, 1992).

2.9.1. Klasifikasi Kelas Jalan

Sistem jalan raya primer, yang bertanggung jawab atas pemerintah pusat dan berfungsi untuk membantu pembangunan setiap daerah dengan menghubungkan pusat dan masyarakat desa, disebut sebagai jaringan jalan raya primer. Jaringan jalan raya primer dikategorikan sebagai sistem jalan raya menurut beban gandar yang dihubungkan dengan berat dan ukuran kendaraan, pengelolaan pemerintah, dan fungsi jalan. Berikut beberapa jenis kategorisasi jalan:

Arteri primer, arteri sekunder, kolektor, fungsi lokal, dan lingkungan adalah berbagai kategori fungsi jalan. Hal ini didasarkan pada bagaimana angkutan jalan dan arus lalu lintas. Berikut pengelompokan jalan sesuai UU No 38 Tahun 2004 :

1. Jalan Arteri

Dalam hal transportasi utama, jalan arteri menyediakan koneksi yang efektif antara pusat-pusat kegiatan nasional. Jalur ini secara efisien menangani sejumlah kecil jalan masuk dengan tetap mempertahankan kecepatan rata-rata yang tinggi.

2. Jalan Kolektor

Untuk memfasilitasi mobilitas dengan jumlah jalan masuk yang terbatas, kecepatan rata-rata sedang, dan jarak tempuh yang sedang, jalan kolektor menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, pusat kegiatan regional, atau pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal.

3. Jalan Lokal

Sebagaimana pusat-pusat kegiatan nasional terhubung dengan pusat-pusat lingkungan, pusat-pusat kegiatan regional terhubung dengan pusat-pusat lingkungan, dan pusat-pusat kegiatan lokal terhubung dengan pusat-pusat lokal, sehingga pusat-pusat kegiatan lokal terhubung ke pusat-pusat lokal melalui jalan lokal. Transit lokal pada rute tertentu yang menempuh jarak kecil dengan kecepatan rata-rata lambat.

4. Jalan Lingkungan

Jalan lingkungan adalah jalan yang menghubungkan pusat-pusat kegiatan pedesaan dengan jalan pedesaan lainnya. Dengan jarak tempuh yang pendek, kecepatan rata-rata sedang, dan jalan masuk yang terbatas, jalan ini digunakan untuk angkutan lokal.

Kelas jalan dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 yang mengatur Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, tergantung pada tujuan dan volume lalu lintas serta kapasitas jalan untuk mengangkut muatan. Klasifikasi jalan terdiri dari yang berikut ini:

1. Jalan Raya Kelas I

Jalan kelas I adalah jalan kolektor dan arteri dengan muatan sumbu terberat maksimal 10 ton, ukuran panjang maksimal 18.000 milimeter, ukuran lebar maksimal 2.500 milimeter, dan ukuran tinggi maksimal 4.200 milimeter.

2. Jalan Raya Kelas II

Kendaraan bermotor diizinkan untuk menggunakan jalan kelas II, yang meliputi jalan arteri, kolektor, lokal, dan perumahan. Lebar jalan tidak boleh lebih dari 2.500 milimeter, panjang 12.000 milimeter, dan tinggi 4.200 milimeter.

3. Jalan Raya Kelas III

Jalan kelas III adalah jalan lingkungan, lokal, kolektor, dan arteri dengan muatan sumbu terberat delapan ton, panjang maksimum dua ratus meter, dan tinggi maksimum tiga ribu milimeter. Dalam keadaan tertentu, jalan kelas III dapat mendukung muatan sumbu terberat kurang dari 8 ton.

4. Jalan dengan Klasifikasi Khusus

Jalan dengan klasifikasi khusus adalah jalan arteri dengan muatan sumbu terberat lebih dari 10 ton, panjang lebih dari 18.000 milimeter, dan lebar lebih dari 2.500 milimeter yang dapat dilalui kendaraan bermotor.

Tabel 2.1 Klasifikasi Kelas Jalan

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Minimum			Muatan Sumbu Terberat (Ton)
		Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	
I	Arteri, kolektor	2,5	18	4,2	10
II	Arteri, kolektor, lokal, lingkungan	2,5	12	4,2	8
III	Arteri, kolektor, lokal, lingkungan	2,1	9	3,5	8
Khusus	Arteri	> 2,5	>18	4,2	>10

2.10. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

Penelitian ini didasarkan pada temuan beberapa penelitian sebelumnya yang akan dijadikan bahan perbandingan dan penelitian. Pada tabel 2.2 menjelaskan uraian dari penelitian terdahulu.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

No	Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
1.	Muhammad Rifqi Maula, Muhammad Syaiful Aziz, (2023)	ANALISA BETON FAST TRACK MORTAR BUSA UNTUK PERKERASAN JALAN	Metode eksperimen mortar busa dengan bahan tambah aditif <i>retarder type D</i> , dengan presentase <i>foam agent</i> yaitu 0,40% dan 0,60% untuk mengetahui dan meningkatkan kuat nilai tekan beton.	Pasir, semen, air, <i>foam agent</i> , aditif <i>retarder type D</i>	Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada komposisi kedua <i>foam agent</i> 0,60 % yaitu sebesar 15,85 Mpa.

No	Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
2.	Ahmad Hamidi, Randhi Saily, M. Arif Hidayat (2002)	PENGARUH SIFAT KARAKTERISTIK MORTAR BUSA DENGAN PENAMBAHAN <i>ADDICTIVE</i>	Variasi reguler, aditif 0,25%, aditif 0,5%, aditif 0,75%, dan aditif 1% merupakan lima jenis mortar busa yang dievaluasi. Proporsi bahan tambahan dibagi berat semen menghasilkan jumlah bahan tambahan, air, pasir, aktivator busa, dan campuran semen.	Semen, pasir, <i>foam agent</i> , aditif.	Hasil pemeriksaan aliran menunjukkan bahwa presentase aditif yang digunakan sebanding dengan aliran yang dihasilkan. Dimana aliran minimum 18 cm berada pada variasi normal.
3.	Deli Noviarti Rachman, Susi Riwayati, Ahmad Hidayat, Tri Nitami Pratiwi (2022)	PENGUNTAHAN <i>FOAM AGENT</i> UNTUK PEMBUATAN BETON RINGAN	0%, 15%, 20%, dan 25% dari jumlah air.	<i>Foam agent</i>	Pada beton normal, nilai kuat tekan memiliki nilai 0 persen. Beton campuran 15 persen, 351,3 kg/cm Beton campuran 20 persen, 65,7 kg/cm ² . Beton campuran 25 persen dengan berat 28,0 kg/cm ² .
4.	Abrahan Dio Prayuda Tandil (2021)	KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT <i>POLYPROPYLENE MONOFILAMENT</i>	Pemeriksaan kekuatan beton busa yang menggunakan fiber dan tidak menggunakan fiber.	<i>Polypropylene Monofilament</i>	Temuan penelitian menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan produk uji tanpa serat, produk yang menggunakan serat <i>polipropilena monofilamen</i> memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi.
5.	Auggita Rizky Fitriasih (2021)	ANALISIS PERBANDINGAN ANTARA	Nilai penurunan pada tanah yang disebabkan oleh penggunaan	Mortar busa	Mortar busa memperoleh nilai penurunan

No	Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
		MORTAR BUSA DENGAN TANAH SEBAGAI MATERIAL TIMBUNAN OPRIT JEMBATAN LAYANG	mortar busa sebagai timbunan pada jalan di dekat jembatan layang, yang dianalisis dengan menggunakan Plaxis 2D		yang lebih kecil daripada dengan timbunan tanah lainnya.
6.	Aldi Hadad Alwi (2021)	ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN STEEL FIBRE DAN VISCOCRETE TERHADAP UJI KUAT TARIK BETON	Campuran beton dilengkapi dengan serat baja dan <i>viscocrete</i> 8670-MN. Dalam campuran tersebut, serat baja terdiri dari 1%, 2%, 3%, dan 4% dari berat semen, <i>viscocrete</i> 8670-MN menggunakan 0,8% dari berat semen.	<i>Steel fibre</i> , <i>viscocrete</i> 8670-MN, kuat tarik beton	Menurut temuan penelitian, kombinasi 4% serat baja dan 0,8% <i>viscocrete</i> 8670-MN menghasilkan beton dengan kekuatan tarik maksimum, 3,82 MPa, setelah 28 hari.
7.	Fira Vidia Br Manurung (2020)	ANALISIS KUAT TARIK BELAH BETON BUSA DENGAN KOMBINASI BAHAN TAMBAHAN.	Ketika abu sekam padi, serat sabut kelapa, dan serbuk cangkang telur ditambahkan sebagai pengganti semen sebagian, kekuatan tarik belah beton busa menurun dengan nilai 0%, 10%, 15%, 20%	Serat serabut kelapa, serbuk cangkang telur, dan abu sekam padi	Variasi I memiliki kekuatan tekan tertinggi 5,69 Mpa, dan variasi II memiliki kekuatan tarik tertinggi 0,47 MPa
8.	Salsabila Belandi, Nudia (2019)	PENGARUH KADAR AIR TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR BUSA SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI JALAN	Sebagai material timbunan, gunakan mortar busa. Meng membuat mortar busa yang dapat digunakan pada tanggul jalan pada lapisan pondasi dengan menambahkan bahan busa sebagai bahan tambahan pada campuran pasir, semen, dan air.	<i>Foam agent</i> variasi 1:20, 1:25, 1:30, 1:35, 1:40.	Berdasarkan hasil pengujian, varian 1:20, 1:25, dan 1:30 telah memenuhi kriteria rencana untuk kuat tekan 800 Kpa, namun variasi 1:35 dan 1:40 tidak.

No	Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
9.	Yosi Aprilia (2019) Maya Sari	PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL SLAG DENGAN VARIASI KONSENTRASI TERHADAP PEMBUATAN MORTAR	Komposisi desain campuran material slag dengan presentase sebesar 10%, 20%, 30% dan 40% untuk melihat pengaruh material slag terhadap pembuatan mortar.	Slag, semen PCC, dan morar	Hasil penelitian menunjukan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 4,84 MPa pada presentase material slag 10%.
10.	Tri Ratna Utami (2022)	PENGARUH SERAT BAJA TERHADAP KUAT TARIK LENTUR BALOK BETON YANG DISAMBUING	Eksperimen ini mencari kuat tekan dan kuat lentur beton, terdiri dari silinder beton 15 cm x 30 cm dan balok 15 cm x 15 cm x 60 cm.	Serat Baja.	Balok menjadi lebih ulet karena serat baja ditambahkan ke substrat dan lapisan pelapis. Sedangkan pada lapisan overlay naik sebesar 8,66%, nilai kuat tarik lentur maksimum balok pada lapisan substrat meningkat sebesar 114,03%.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Persiapan

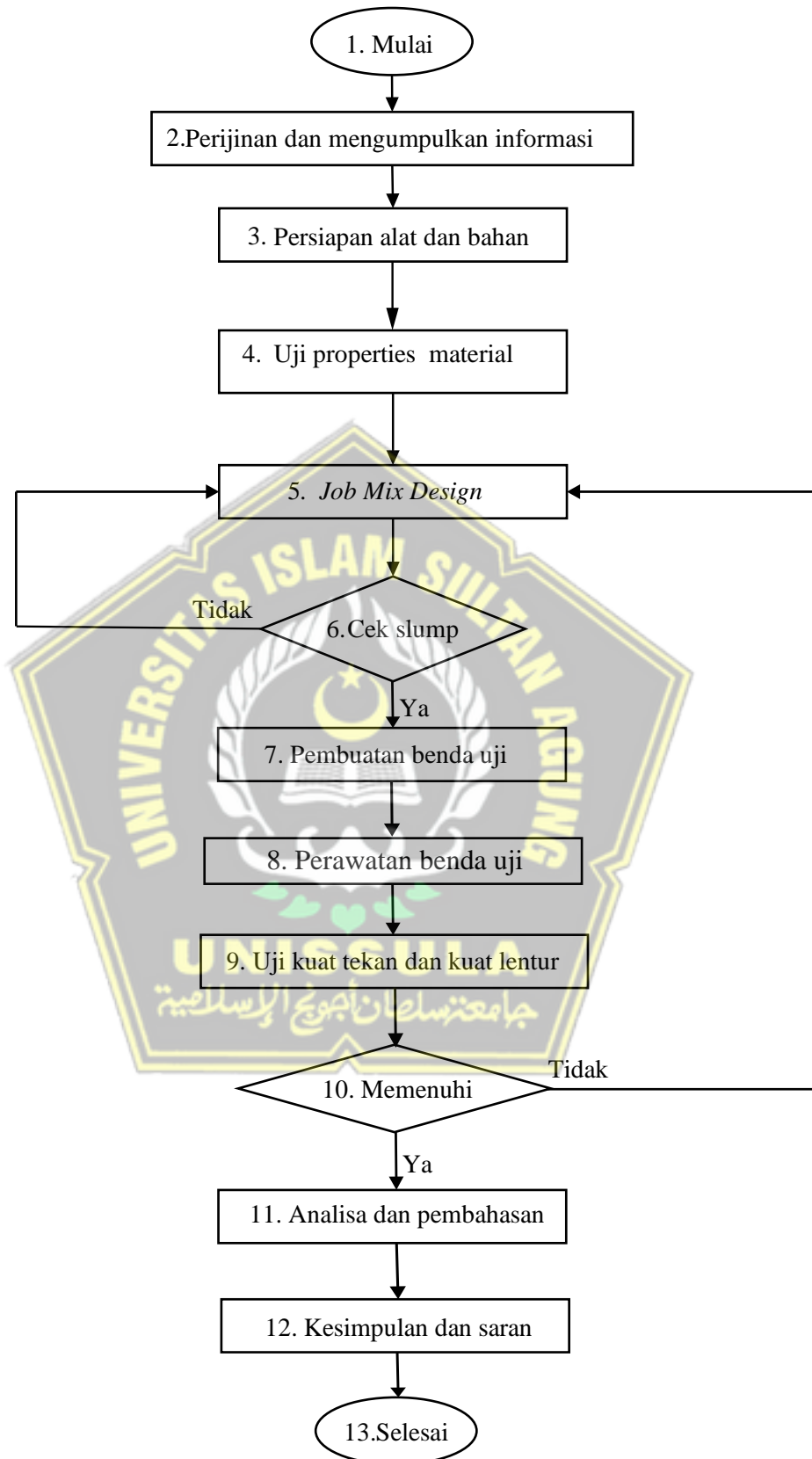
Tujuan dari metode penelitian adalah untuk mengumpulkan data yang dapat dipercaya secara ilmiah dengan tujuan untuk menemukan, menghasilkan, atau membuktikan suatu pengetahuan tertentu yang kemudian dapat diterapkan untuk memahami, mengatasi, dan memprediksi masalah dalam subjek tertentu.

Dengan menggunakan metode penelitian eksperimental, Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Unissula Semarang menjadi tempat dilakukannya metode penyusunan. Dalam penelitian eksperimental ini, satu atau lebih variabel dimanipulasi, faktor-faktor lain dikontrol, dan dampaknya terhadap satu atau lebih variabel yang terkait dimonitor. Variabel adalah subjek dari sebuah penelitian yang menjadi fokus investigasi. Penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel yang berbeda yakni faktor terkait, variabel bebas, dan variabel kontrol.

Metode eksperimen dalam penelitian ini meliputi :

1. Persiapan alat dan bahan
2. Pemeriksaan bahan, meliputi :
 - a. Semen *portland*
 - b. Agregat halus
 - c. Air
 - d. *Foam agent*
 - e. *Steel fiber*
 - f. Agregat slag
 - g. Bahan aditif *superplasticizer*
3. Perencanaan bahan mortar busa (*Mix Design*)
4. Pembuatan benda uji
5. Perawatan beton
6. Pengujian kuat tekan
7. Pengujian kuat lentur

3.2 Bagan Alir



3.3. Tahap Pelaksanaan

Pada hakikatnya penelitian ini merupakan eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Unissula Semarang untuk mencari kuat lentur dan kuat tekan beton busa dengan kuat tekan rencana $f_c'20$ MPa. Berikut tahapan prosedur pengujian penelitian ini :

1. Mulai

Memulai tahap penelitian sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan.

2. Perijinan dan Mengumpulkan Informasi

Melakukan izin menggunakan laboratorium untuk melakukan percobaan terhadap benda uji yang dibuat dan menggali informasi berupa referensi, jurnal, atau pedoman penelitian serupa yang pernah dilakukan sebagai pedoman pada proses pengerjaan.

a. Perijinan

Perijinan sendiri dilakukan dengan membuat surat izin penggunaan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Unissula Semarang, dengan langsung dibuatkan surat perijinan yang ditanda tangani oleh kepala Laboratorium tersebut.

b. Mengumpulkan Informasi

Referensi penelitian, seperti jurnal, pedoman, dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang diusulkan, diperlukan untuk setiap proyek penelitian. Hal ini membantu penyelesaian masalah dan menghindari penelitian yang berlebihan.

3. Persiapan alat dan bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengerjaan benda uji disiapkan terlebih dahulu secara lengkap sehingga dapat melakukan pengerjaan benda uji dengan baik.

a. Alat

Berikut adalah instrumen yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Alat ukur

Untuk menentukan berat gabungan beton dan agregat.

2. Ayakan

Ayakan yang dipakai untuk menentukan gradasi agregat yang digunakan.

3. Bor Mixer

Bor Mixer digunakan sebagai alat pembangkit foam agent.

4. Gelas Ukur

Dipakai guna mengetahui jumlah pada air dan foam agent guna pembuatan benda uji beton silinder.

5. Oven

Untuk memastikan agregat memenuhi spesifikasi agregat yang diperlukan, agregat dikeringkan dalam oven.

6. Cetakan Beton Balok

Setelah adukan beton baru dibuat, cetakan beton balok digunakan sebagai tempat cetak.

7. Cetakan Beton Silinder

Setelah adukan beton baru dibuat, cetakan beton silinder digunakan sebagai tempat cetak.

8. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan untuk mengukur kuat tekan beton.

9. Mesin Uji Lentur

Mesin uji lentur digunakan untuk mengukur kuat tekan beton.

10. Alat Pendukung

Ember, sekop, selang air, dan peralatan lainnya adalah beberapa peralatan bantu yang digunakan dalam penelitian ini.

b. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semen *Portland*

Menggunakan semen *portland composite* tipe I ex Gresik.

2. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir alam yang dipakai ialah pasir ex Merapi.

3. Air

Menggunakan air bersih yang berada di laboratorium teknologi bahan konstruksi Unissula.

4. *Foam Agent*

Menggunakan *foam agent* jenis sintesis.

5. *Steel Fiber*

Menggunakan serat baja jenis 4D *Dramix*.

6. Agregat Slag

Menggunakan dari limbah baja yaitu slag baja yang diperoleh dari limbah PT. Inti Baja Makmur Semarang.

7. Bahan Aditif *Superplasticizer*

Bahan aditif yang digunakan adalah *superplasticizer*.

4. Uji Properties Material

Sangat penting untuk mengevaluasi masing-masing komponen, yaitu agregat halus dan agregat terak, sebelum membuat desain campuran untuk soal uji penelitian. Pengujian berat jenis, penyerapan air *Saturated Surface Dry* (SSD), kadar air, kadar lumpur, dan analisis ayakan (uji gradasi agregat) digunakan untuk melakukan pengujian. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam memeriksa kualitas material dalam campuran desain beton :

a. Permeriksaan Agregat Halus

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Berat jenis curah kering, berat jenis aktual, dan kapasitas penyerapan air agregat halus diukur dengan pengujian ini menggunakan SNI 1970:2008. Selain itu pengujian ini juga memenuhi persyaratan Praktikum Beton Universitas Islam Sultan Agung Semarang untuk Program Studi Teknik Sipil, khususnya yang berkaitan dengan berat jenis dan serapan agregat halus. Hal ini juga dilakukan sesuai dengan ASTM C 128.

Berikut langkah-langkah pengujiannya:

- Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- Mengeringkan agregat halus (pasir) sampai kondisi jenuh kering permukaan atau kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Bisa dilakukan uji

dengan alat kerucut untuk memeriksa kelembapan agregat. Kerucut diletakkan pada alas yang halus, rata dan tidak menyerap air. Kemudian tambahkan sedikit demi sedikit agregat halus kedalam kerucut hingga penuh dan meluap sambil menjaga kerucut agar tidak berubah posisi, lalu ratakan bagian yang menonjol dengan alat pemadat agregat secara perlahan dan merata sebanyak 25 kali tumbukan. Pemadat dijatuhkan bebas dari ketinggian permukaan pemadatan 5 mm di atas permukaan agregat untuk dipadatkan guna mencapai tumbukan. Setelah membersihkan sisa agregat yang mungkin bocor di sekitar kerucut, angkat secara vertikal dengan hati-hati. Pasir akan terus berbentuk cetakan jika permukaan agregat masih terlalu basah dan belum mencapai tingkat kejenuhan permukaan kering. Kondisi saturasi permukaan diperoleh ketika pasir perlahan-lahan runtuh seiring dengan naiknya kerucut.

- Isi alat piknometer dengan air sampai batas kalibrasi kemudian timbang beratnya.
- Mengisi alat piknometer dengan pasir kondisi jenuh permukaan atau SSD sebesar 500 gram lalu ditambahkan air sampai garis kalibrasi. Lalu timbang berat piknometer, air dan sampel pasir.
- Aduk atau putar atau guncangkan piknometer dengan tangan
- Kemudian keluarkan air dan sampel pasir yang ada di piknometer ke cawan/wadah. Sebelum dikeluarkan kedalam cawan, timbang dahulu berat cawan.
- Masukkan sampel kedalam oven dan tunggu selama 24 jam, lalu ditimbang.

2. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Untuk mendapatkan hasil yang akurat dan kadar air total agregat yang konsisten, pemeriksaan ini mengacu pada SNI 1971:2011. Temuan tes ini digunakan untuk mengatur jumlah air yang digunakan dalam proyek beton. Mencari proporsi air yang dapat menguap dengan mengeringkan benda uji merupakan pendekatan yang digunakan untuk menguji kadar air total agregat. Langkah-langkah yang terlibat dalam pengujian adalah :

- Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
- Timbang cawan/wadah sebelum dipakai.
- Ambil sampel pasir 500 gram lalu timbang.
- Masukkan benda uji kedalam oven selama 24 jam dengan suhu $105\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Ambil sampel yang sudah dikeringkan tunggu sebentar hingga dingin lalu timbang kembali.

3. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Penelitian ini mengikuti SNI 03-4142-1996 dalam memeriksa kandungan lumpur pada agregat halus. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memastikan persentase kandungan lumpur pasir, yang merupakan prasyarat untuk bahan bangunan berkualitas tinggi untuk beton. Sampel disiapkan sebagai berikut: dicuci dengan air, diayak melalui ayakan No. 200, dan persentasenya ditentukan dengan membagi berat kotoran agregat yang lolos ayakan dengan sampel asli. Persentase yang dihasilkan kemudian diperoleh dengan menggunakan ASTM C 117-17 (Metode Uji Standar Saringan 200).

Berikut langkah-langkah pengujiannya :

- Kumpulkan peralatan dan perlengkapan yang diperlukan.
- Tanpa benda uji, timbang cawan atau wadahnya.
- Timbang contoh agregat halus (pasir) yang beratnya mencapai 500 gram dan melewati saringan No. 4.
- Gunakan air bersih untuk mencuci pasir hingga kotorannya hilang.
- Tempatkan sampel pasir dalam cangkir atau wadah dan panggang selama 24 jam.
- Keluarkan dan dinginkan sampel pasir setelah seharian penuh.
- Setelah sampel ditimbang, tentukan % kadar lumpurnya.

Setelah persentase kandungan lumpur ditentukan, maka jumlah lumpur dalam agregat akan diketahui. Agregat dan semen akan saling melekat secara getas jika terdapat lumpur dalam jumlah berlebihan sehingga menurunkan nilai kuat tekannya.

4. Pemeriksaan Analisa Saringan (Uji Gradasi) Agregat Halus

Mengenai prosedur pengujian untuk analisis ayakan, SNI ASTM C136:2012 dikutip dalam pengujian analisis ayakan ini. Dengan bantuan seperangkat ayakan, tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan gradasi - atau distribusi - butiran agregat halus. Representasi grafis dari distribusi ayakan ini ditampilkan. Agregat yang lolos ayakan no. 4 (4,76 mm) dan tertahan oleh saringan no. 200 (0,075 mm) disebut sebagai agregat halus. Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian :

- Siapkan alat dan bahan yang akan dibutuhkan.
- Siapkan sampel benda uji dalam keadaan kering, kemudian pasang saringan dari mulai saringan terbesar hingga saringan terkecil. Saringan terbesar diletakkan paling atas.
- Masukkan sampel ke saringan, lalu tutup saringan dan guncang satu set saringan selama kurang lebih 15 menit.
- Hitung persentase berat sampel yang tertahan pada setiap saringan terhadap berat total sampel setelah disaring.

b. Agregat Slag

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Slag

Berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan serapan air pada agregat terak semuanya ditentukan dengan menggunakan teknik pemeriksaan ini sesuai dengan SNI 1969:2016. Campuran agregat terak beton dengan ukuran yang layak sesuai dengan rencana kuat tekan yang diperlukan adalah tujuan lain dari pemeriksaan ini. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pemeriksaan adalah sebagai berikut :

- Siapkan alat dan bahan.
- Cuci dan rendam benda uji dengan air bersih agar terhindar dari kotoran yang menempel serta agar agregat slag menyerap air sampai kedalam permukaan.
- Ambil benda uji, lalu keringkan dengan lap sampai air pada permukaan agregat slag hilang namun tetap mengandung air didalamnya.
- Timbang wadah/cawan sebelum dimasukkan benda uji.

- Ambil benda uji sebanyak 500 gram.
- Letakkan benda uji kedalam keranjang yang sudah terkait dengan timbangan, lalu masukkan kedalam ember air
- Goyangkan agregat slag untuk mengeluarkan udara yang terperangkap didalam air, kemudian ukur berat benda uji dalam air.
- Keluarkan benda uji dari dalam air kemudian masukkan lagi kedalam wadah/cawan yang sama.
- Masukkan kedalam oven, tunggu hingga 24 jam, setelah itu dinginkan sebentar lalu ditimbang.

2. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Slag

Untuk mengetahui persentase kadar air dalam agregat slag, kadar air agregat slag diukur sesuai dengan SNI 1971:2011. Berat air dalam agregat dibagi dengan berat agregat saat kering adalah kadar air agregat terak. Berikut ini adalah hasil pemeriksaannya:

- Siapkan alat dan bahan yang akan dipakai.
- Timbang cawan/wadah sebelum digunakan.
- Ambil sampel agregat slag sebesar 500 gram.
- Masukkan sampel kedalam oven selama 24 jam.
- Ambil sampel, kemudian tunggu beberapa saat hingga sampel dingin lalu timbang.

3. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Slag

Agregat terak dilakukan pengujian kadar lumpur sesuai dengan SNI 03-4143-1996 dan pedoman praktek. Untuk mendapatkan bahan bangunan yang berkualitas, tujuan pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui proporsi kandungan lumpur pada agregat terak. Berikut langkah-langkah yang harus diikuti:

- Kumpulkan peralatan dan perlengkapan yang diperlukan.
- Timbang wadah tanpa sampel.
- Kumpulkan 500 gram agregat terak dan timbang sampelnya.
- Masukkan sampel agregat terak ke dalam oven dan tunggu selama 24 jam

- Bilas agregat dengan air bersih hingga bebas dari lumpur atau kotoran lainnya.
- Keluarkan dan dinginkan sampel setelah seharian penuh.
- Timbang sampel setelah dingin, lalu tentukan persentase kandungan kotorannya.

4. Pemeriksaan Analisa Saringan (Uji Gradasi) Agregat Slag

Pemeriksaan ini berdasarkan SNI ASTM C136:2012 tentang pemeriksaan analisa saringan untuk mendapatkan persentase berat butiran agregat yang lolos dari serangkaian saringan, kemudian nilai persentasenya ditampilkan dalam grafik. Agregat slag merupakan agregat yang mempunyai ukuran butiran antara no.4 (4,75 inch) sampai 40 mm(1,5 inch). Gradasi agregat slag sangat penting dilakukan untuk mengetahui ukuran agregat yang akan berpengaruh pada besar kecilnya rongga antar beton saling mengisi. Langkah-langkah pengujiannya meliputi:

- Siapkan alat dan bahan yang akan dipakai.
- Ambil sampel benda uji dalam keadaan kering kemudian pasang saringan sesuai urutan dari yang terbesar diletakkan paling atas sampai saringan nomer terkecil paling bawah.
- Masukkan benda uji kedalam satu set saringan yang sudah diurutkan.
- Tutup saringan paling atas kemudian goyangkan alat selama kurang lebih 15 menit.
- Tentukan proporsi retensi berat masing-masing filter pada benda uji terhadap berat total benda uji yang disaring.

5. *Job Mix Design*

Setelah dilakukan pemeriksaan uji properties pada masing-masing material yang sesuai dan memenuhi standar, tahap selanjutnya melakukan perhitungan *job mix design* dengan tujuan untuk memilih komposisi bahan campuran yang sesuai, baik berdasarkan kualitas dan kuantitas bahan campuran yang akan dipilih. Dalam tahap peneliti melakukan pencampuran antara bahan *foam* yang berupa *foam agent* dan air dengan bahan mortar yang berupa campuran dari agregat

halus, semen *portland* tipe I, air, *steel fiber*, dan agregat slag. Kemudian peneliti juga menggunakan campuran bahan tambah berupa zat aditif *superplasticizer* yang digunakan untuk menaikkan nilai slump agar beton lebih mudah dikerjakan (*workability*) dan meningkatkan kualitasnya dengan menggunakan lebih sedikit air, yang akan menurunkan faktor air semen seiring dengan meningkatnya slump.

Karena belum adanya spesifikasi dari SNI atau ASTM mengenai persyaratan pembuatan beton mortar busa untuk perkerasan jalan, maka peneliti menggunakan analisis *job mix desain* yang dilakukan untuk penelitian ini mengutip beberapa jurnal yang dikumpulkan dan percobaan yang dilakukan sebelum memulai penelitian sebagai acuan dalam melakukan penelitian.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengenai beton mortar busa dengan hasil sebagai berikut :

1. Hasil penelitian Sutanto pada tahun 2014

Air	Semen	Pasir	Mortar : Foam
0,5	1	0,67	0,4 :0,6
0,5	1	1	0,4 :0,6
0,5	1	1,5	0,4 :0,6
0,5	1	2	0,4 :0,6

Berdasarkan penelitian ini, kombinasi semen-pasir yang menghasilkan kuat tekan terbaik pada pengujian hari ke-28 memiliki komposisi 1:0,67.

2. Hasil penelitian Fira Vidia Br Manurung pada tahun 2020

Air	Semen	Pasir	Mortar : Foam
0,55	1	1,89	0,4

Hasil dari penelitian ini memiliki kekuatan tekan tertinggi 5,69 Mpa dan variasi II memiliki kekuatan tarik tertinggi 0,47 MPa.

3. Hasil penelitian Muhammad Rifqi Maula, Muhammad Syaiful Aziz, Rachmat Mudiyo, dan Juny Andry Sulisty pada tahun 2023

Air	Semen	Pasir	Mortar : Foam
0,4	1	3,14	0,4 :0,6

Dari penelitian ini didapatkan hasil kuat tekan tertinggi yaitu pada penggunaan Foam mortar 0,4 dengan pengujian pada hari ke-28 dengan hasil sebesar 15,85 MPa.

Tabel 3.1 Komposisi 1 Variasi 0% *Steel Fiber* dan 0% Agregat Slag

NO	MATERIAL	SUMBER BAHAN	BERAT SSD		PERSENTASE
			1	m3	
1	Semen	Tipe 1 Ex Gresik	385	kg	Berdiri sendiri diluar 100 % komposisi
2	Pasir Alam	Ex Merapi	1140	kg	88,2
3	Air Mortar	Sumur Lokal	115	kg	8,9
4	Air <i>Foam Agent</i>	Sumur Lokal	35	kg	2,7
5	Agregat Slag	Limbah Baja	0	kg	0,0
6	<i>Steel Fiber</i>	Serat Baja	0	kg	0,0
7	<i>Foam Agent</i>	Jenis Sintetis	1,54	kg	0,4% dari semen
8	Aditif <i>superplasticizer</i>	<i>superplasticizer</i> 0,2 %	0,77	kg	0,2 % dari semen
	Total		1292,3	kg	100

Pada komposisi 1 ini tidak menggunakan bahan tambah *steel fiber* maupun agregat slag, akan tetapi hanya menggunakan campuran *foam agent* sebanyak 0,4% dari berat semen dan bahan aditif *superplasticizer* sebanyak 0,2% dari berat semen dalam campuran beton.

Tabel 3.2 Komposisi 2 Variasi 15% *Steel Fiber* dan 25% Agregat Slag

NO	MATERIAL	SUMBER BAHAN	BERAT SSD		PERSENTASE
			1	m3	
1	Semen	Tipe 1 Ex Gresik	385	kg	Berdiri sendiri diluar 100 % komposisi
2	Pasir Alam	Ex Merapi	855	kg	63,3
3	Air Mortar	Sumur Lokal	115	kg	8,5
4	<i>Air Foam Agent</i>	Sumur Lokal	35	kg	2,6
5	Agregat Slag	Limbah Baja	285	kg	21,1
6	<i>Steel Fiber</i>	Serat Baja	57,75	kg	4,3
7	<i>Foam Agent</i>	Jenis Sintetis	1,54	kg	0,4% dari semen
8	Aditif <i>superplasticizer</i>	<i>superplasticizer</i> 0,2 %	0,77	kg	0,2 % dari semen
	Total		1350,1	kg	100

Pada komposisi 2 ini menggunakan bahan tambah *steel fiber* sebanyak 15% dari berat semen dan agregat slag sebesar 25% dari berat agregat halus (pasir), kemudian pada komposisi 2 juga menggunakan campuran *foam agent* sebanyak 0,4% dari berat semen dan bahan aditif *superplasticizer* sebanyak 0,2% dari berat semen dalam campuran beton.

Tabel 3.3 Komposisi 3 Variasi 25% *Steel Fiber* dan 50% Agregat Slag

NO	MATERIAL	SUMBER BAHAN	BERAT SSD		PERSENTASE
			1	m3	
1	Semen	Tipe 1 Ex Gresik	385	kg	Berdiri sendiri diluar 100 % komposisi
2	Pasir Alam	Ex Merapi	570	kg	41,0
3	Air Mortar	Sumur Lokal	115	kg	8,3
4	<i>Air Foam Agent</i>	Sumur Lokal	35	kg	2,5
5	Agregat Slag	Limbah Baja	570	kg	41,0
6	<i>Steel Fiber</i>	Serat Baja	96,25	kg	6,9
7	<i>Foam Agent</i>	Jenis Sintetis	1,54	kg	0,4% dari semen
8	Aditif <i>superplasticizer</i>	<i>superplasticizer</i> 0,2 %	0,77	kg	0,2 % dari semen
	Total		1388,6	kg	100

Pada komposisi 3 ini menggunakan bahan tambah *steel fiber* sebanyak 25% dari berat semen dan agregat slag sebesar 50% dari berat agregat halus (pasir), kemudian pada komposisi 3 juga menggunakan campuran *foam agent* sebanyak 0,4% dari berat semen dan bahan aditif *superplasticizer* sebanyak 0,2% dari berat semen dalam campuran beton.

Tabel 3.4 Variasi Benda Uji Yang Akan Dibuat

Variasi Campuran Beton	Uji Kuat Tekan		Uji Kuat Lentur	
	7 hari	28 hari	7 hari	28 hari
Variasi I (0% <i>Steel Fiber</i> dan 0% Agregat Slag)	3	3	3	3
Variasi II (15 % <i>Steel Fiber</i> dan 25 % Agregat Slag)	3	3	3	3
Variasi III (25 % <i>Steel Fiber</i> dan 50 % Agregat Slag)	3	3	3	3
Jumlah Benda Uji	9	9	9	9

6. Cek Slump

Pada penelitian ini menggunakan dua metode pengujian slump pada campuran beton yaitu *slump flow* dan *slump test*. *Slump flow* digunakan untuk campuran beton mortar busa komposisi 1 yang tidak menggunakan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag, sedangkan metode *slump test* digunakan untuk campuran beton komposisi 2 dan 3 yang menggunakan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag. Hal tersebut dilakukan karena pada percobaan yang dilakukan pada beton mortar busa yang diberi bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag relatif tidak masuk spesifikasi nilai pada pengujian *slump flow* berdasarkan yang disyaratkan pada ASTM C1611/161M-14 sehingga dipilih metode pengujian *slump test*.

Berikut ini adalah penjelasan mengenai metode pengujian *slump flow* dan slump beton :

1. Slump Flow

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, *slump flow* adalah salah satu pengujian yang dilakukan pada beton memadat sendiri. *Slump flow* adalah ukuran kemampuan beton untuk mengalir dan memadat sendiri, SNI 9024:2021

menetapkan cara uji *slump flow* pada beton memadat sendiri dengan ukuran agregat maksimum 25 mm meliputi peralatan yang digunakan, proses pengujian dan pengukuran hasilnya.

Untuk menentukan nilai *slump flow*, Peraturan Bina Marga (PBM) No. 11/2017 menetapkan bahwa nilai *slump flow* pada beton memadat sendiri harus disesuaikan dengan jenis pekerjaan konstruksi yang akan dilakukan. Untuk konstruksi horizontal, disarankan menggunakan *slump flow* antara 55 cm sampai 65 cm. Sedangkan berdasarkan ketentuan ASTM C1611/161M-14 nilai *slump flow* yang digunakan yaitu T50 dengan nilai lebih dari 50 cm.

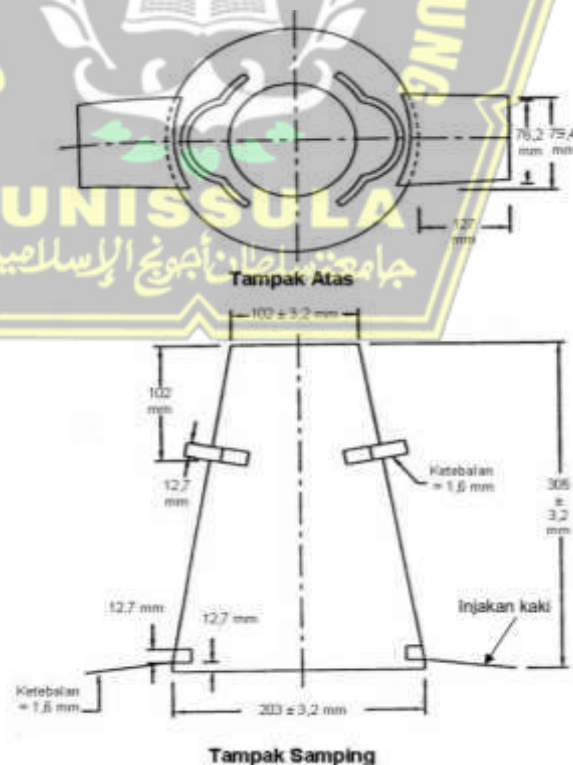
Berdasarkan SNI 9024:2021 cara uji *slump flow* pada beton memadat sendiri adalah sebagai berikut :

a. Peralatan

Peralatan yang dimaksud dalam SNI 9024:2021 untuk uji *slump flow* adalah sebagai berikut :

1. Cetakan (kerucut terpancung)

Cetakan yang digunakan dalam uji ini harus sesuai dengan yang dijelaskan dalam SNI 1972:2008 dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.1 Cetakan uji *slump* (kerucut abras)

Cetakan yang terdiri atas bahan logam anti-lengket yang tidak bereaksi dengan pasta semen akan berfungsi sebagai instrumen uji. Jika logam dibuat dengan cara diputar, tidak ada titik pada cetakan yang lebih tipis dari 1,15 mm. Ketebalan logam tidak boleh kurang dari 1,5 mm.

Dengan diameter alas 203 mm, diameter atas 102 mm, dan tinggi 305 mm, cetakan harus menyerupai kerucut yang meruncing. Permukaan terbuka pada bagian atas dan bawah kerucut harus tegak lurus terhadap sumbu kerucut dan sejajar satu sama lain. Setiap tinggi dan diameter kerucut memiliki batasan toleransi yang harus berada dalam jarak 3,2 mm dari ukuran yang ditentukan. Cetakan harus memiliki kaki dan pegangan bagian stamping yang terlihat pada Gambar 3.4. Bagian dalam cetakan yang terkait harus benar-benar mulus, tanpa lekukan, perubahan bentuk, atau adukan yang menempel. Penting untuk menempatkan cetakan dengan aman di atas pelat dasar yang tidak menyerap. Selain itu, pelat dasar harus memiliki ruang yang cukup untuk menahan campuran beton yang *slump*.

2. Pelat Dasar

Pelat dasar harus terbuat dari bahan yang tidak menyerap air, halus, kaku, dan mampu mengukur diameter sebaran beton minimal 915 mm. Pelat dasar yang terbuat dari kayu lapis yang dilaminasi, plastik akrilik, atau baja, cocok digunakan untuk uji *slump flow* ini.

3. Batang Perata (*striking-off bar*)

Batang perata dalam hal ini merupakan batang yang kaku dan tidak mudah aus dengan panjang minimal 300 mm dan digunakan untuk meratakan permukaan beton pada cetakan yang sudah penuh.

4. *Waterpas*

Waterpas merupakan alat digunakan untuk memastikan pelat dasar dalam kondisi yang datar kesegala arah.

5. Pita Pengukur/Meteran

Pita pengukur/meteran merupakan alat yang digunakan untuk mengukur diameter sebaran dari beton segar.

6. Alat Pengukur Waktu

Alat yang digunakan untuk mengukur waktu pelaksanaan pengujian dengan ketelitian 0,1 detik.

b. Prosedur Pengujian *Slump Flow*

Uji *slump flow* beton harus dilakukan pada kondisi datar, rata, dengan peralatan yang memenuhi syarat. Pengisian beton segar kedalam kerucut harus dilakukan secara terus menerus dengan berhati-hati dalam satu lapisan sampai kerucut penuh terisi tanpa dilakukan pemadatan. Berikut langkah pengujian slump flow berdasarkan SNI 1972:2008 :

1. Pengisian Cetakan

- Pelat dasar dan kerucut dibasahi supaya lembab dengan posisi kerucut ditempatkan persis di di tengah pelat dasar yang datar (dipastikan dengan waterpas), dan posisi lubang kerucut yang besar menghadap ke atas.
- Pengisian seluruh cetakan dilakukan secara terus menerus dengan menggunakan wadah / alat yang sesuai sampai sedikit meluber. Cetakan harus dipegang dengan stabil di tempat selama pengisian. Jangan menusuk atau memadatkan beton.
- Permukaan beton pada bagian atas kerucut harus diratakan dengan gerakan menggergaji menggunakan batang perata. Beton di sekitar dasar cetakan harus disingkirkan untuk mencegah gangguan pada pergerakan pengaliran beton.

2. Pengukuran

- Cetakan dilepaskan dari beton dengan mengangkat secara vertikal. Cetakan diangkat dengan jarak $225 \text{ mm} \pm 75 \text{ mm}$ terhadap pelat dasar dalam $3 \text{ detik} \pm \text{detik}$ ke arah atas secara stabil tanpa gerakan lateral atau torsional. Seluruh pengujian dari awal pengisian kerucut sampai pengangkatan cetakan harus dilakukan tanpa gangguan dalam waktu sampai dengan $2\frac{1}{2}$ menit.
- Untuk menentukan besarnya nilai T500, ukur waktu yang diperlukan oleh beton untuk menyebar hingga salah satu bagian sebaran beton menyentuh marka diameter 500 mm yang sudah disiapkan pada pelat

dasar. Waktu dihitung sejak cetakan diangkat. Catat nilai T500 hingga 0,2 detik terdekat.

- Tunggu beton untuk berhenti mengalir dan kemudian ukur diameter terbesar sebaran beton secara melingkar sampai 5 mm terdekat. Ketika halo teramati dalam sebaran beton secara melingkar yang dihasilkan, maka halo tersebut harus dimasukkan sebagai bagian dari diameter beton. Pengukuran diameter kedua, dilakukan secara tegak lurus dari garis pengukuran diameter yang pertama.
- Jika pengukuran diameter pertama dan kedua berbeda lebih dari 50 mm, pengujian dinyatakan tidak sah dan harus diulang menggunakan sampel yang belum diuji.

c. Nilai *Slump Flow*

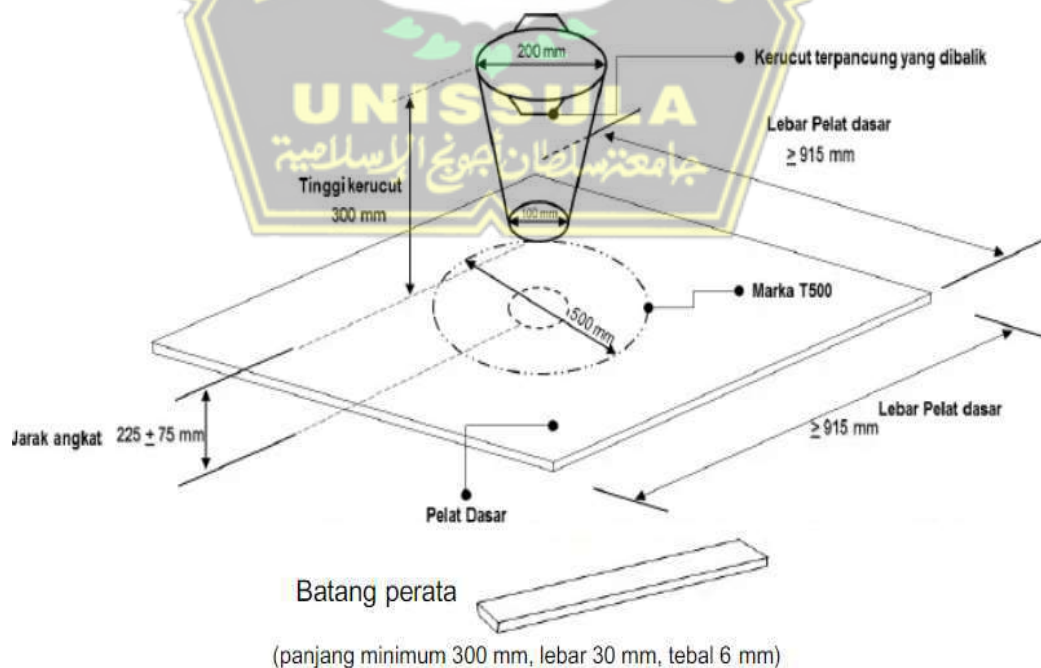
Nilai *slump flow* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Nilai slump flow (mm)} = \frac{d1+d2}{2}$$

Keterangan :

d1 adalah diameter terbesar sebaran melingkar dari beton segar (mm)

d2 adalah diameter sebaran melingkar beton pada sudut tegak lurus d1 (mm)



Gambar 3.2 Skema pengujian *slump flow*

2. Slump Beton

Slump beton adalah pengujian yang mencoba memberikan teknik praktis kepada konsumen untuk mengetahui slump beton semen hidrolis plastis, berdasarkan SNI 1972:2008. Penurunan ketinggian di tengah permukaan atas beton, yang diukur tepat setelah cetakan uji slump diangkat, adalah cara lain untuk menentukan slump beton. Berikut ini adalah proses untuk menilai slump beton:

- a. Setelah cetakan slump dibasahi dengan air, letakkan di atas permukaan yang rata, lembab, tidak menyerap air, dan kokoh.
- b. Pindahkan beton yang baru saja dicampur ke dalam cetakan *slump*.
- c. Setiap lapisan harus dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Distribusikan tusukan secara merata ke seluruh permukaan setiap lapisan.
- d. Tiga lapisan membentuk lapisan beton dalam cetakan beton, dan setiap lapisan dihancurkan oleh 25 lubang.
- e. Setelah beton dipadatkan, gulingkan batang penembus ke atas cetakan untuk meratakan permukaannya.
- f. Angkat cetakan dari beton sesegera mungkin dengan menggerakkannya perlahan dan hati-hati secara vertikal. Angkat cetakan 300 mm tanpa gerakan ke samping dalam waktu 5 ± 2 detik.
- g. Dengan mengetahui perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian tengah permukaan atas beton, maka anda dapat langsung mengukur kemerosotan. Rumus berikut ini dapat digunakan untuk menentukan nilai slump beton :

Tinggi alat slump - tinggi beton pada saat penurunan sama dengan nilai slump.

7. Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah berbentuk silinder dan balok dengan diameter bentuk silinder 15 cm dan tinggi 30 cm serta bentuk balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Tahap pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Sediakan alat dan bahan untuk penelitian.

2. Masukkan semen, pasir, *steel fiber*, dan agregat slag ke dalam wadah, lalu aduk material dalam kondisi kering.
3. Lalu, masukkan air, *foam agent*, dan aditif ke dalam wadah.
4. Aduk bahan *foam agent* dengan Bor *Mixer* sampai busa mengembang dengan sempurna.
5. Masukkan *foam agent* ke dalam wadah mortar lalu aduk dengan merata.
6. Setelah analisis beton memenuhi persyaratan yang direncanakan maka pencetakan benda uji dapat dilakukan.
7. Setelah beton busa berada di cetakan selama 24 jam, maka lepaskan dari cetakan.

8. Perawatan Benda Uji

Prosedur perawatan diikuti sesuai dengan spesifikasi ASTM C31-91. Spesimen direndam selama 7 dan 28 hari selama proses ini. Untuk mencegah spesimen menjadi basah selama pengujian, spesimen yang telah direndam dikeluarkan satu hari sebelum pengujian. Pada hari ke-6 dan ke-27 benda uji diangkat dari rendaman kemudian dijemur dibawah terik matahari hingga kering dan pada hari ke-7 dan ke-28 dilakukan pengujian. Langkah-langkah perawatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Cek beton yang akan direndam, pastikan tidak basah ketikan akan dimasukan ke bak perendam.
2. Isi bak perendam dengan air bersih.
3. Masukkan benda uji kedalam bak perendam secara perlahan dan hati-hati.
4. Rendam selama 6 dan 27 hari lalu angkat pada umur 7 dan 28 hari.
5. Jemur benda uji hingga kering dibawah sinar matahari
6. Benda uji yang sudah kering kemudian ditimbang sebelum dilakukan pengujian kuat tekan atau kuat lentur.

9. Uji Kuat Tekan dan Kuat Lentur

a. Uji Kuat Tekan

Tujuh dan dua puluh delapan hari setelah beton diproduksi dan dirawat, pengujian dilakukan. Berikut ini adalah tahapan pengujiannya:

1. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman sehari sebelum pengujian.
2. Benda uji dijemur di bawah sinar matahari atau diangin-anginkan sebelum pengujian untuk memastikan benda uji dalam keadaan kering.
3. Untuk memastikan berat benda uji, benda uji ditimbang terlebih dahulu.
4. Masukkan benda uji ke dalam mesin cetak dan atur agar balok atas atau bawah dari balok penekan berada di tengah-tengah benda uji. Pastikan penunjuk diposisikan pada angka nol.
5. Terapkan beban tekan dari nol hingga beban maksimum (retak) untuk memulai pengujian, lalu catat hasilnya.
6. Selanjutnya, gunakan rumus berikut untuk menghitung:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

f_c' = kuat tekan beton benda uji silinder (kg/cm²)

P = Beban maksimum yang mengakibatkan silinder hancur (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Contoh Perhitungan :

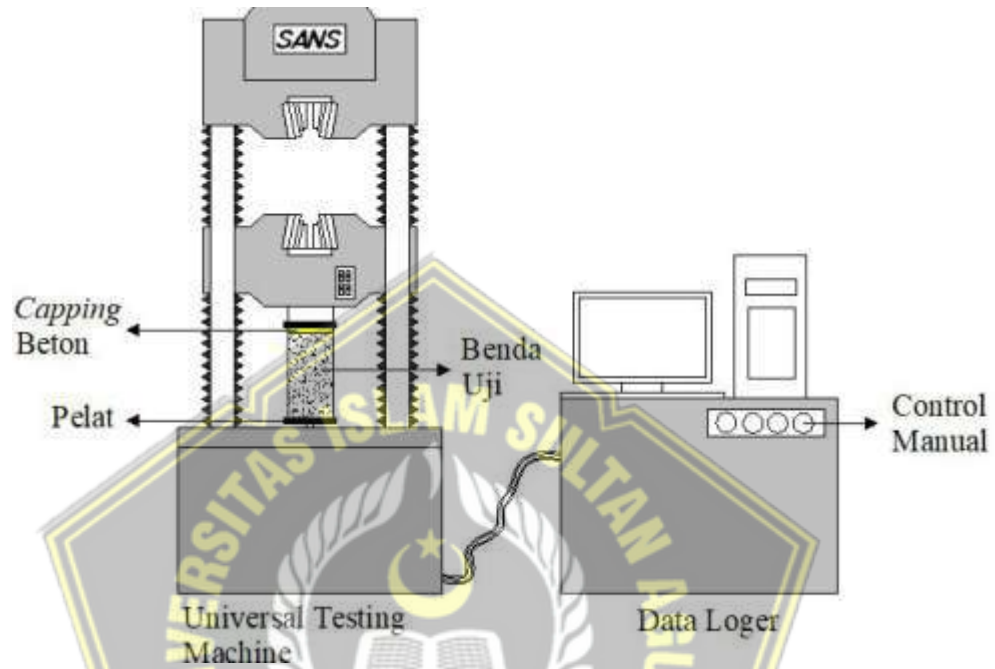
1. Kuat Tekan Benda Uji Silinder

- Beban maksimum (P) = 356 kN
= 35600 kg
- Luas silinder (A) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2$
= 176,625 cm²
- Kuat tekan beton benda uji silinder (f_c')

$$\begin{aligned}
 f_c' &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{35600}{176,625} \\
 &= 201,653 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 20,165 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Volume Benda Uji Silinder

- Volume benda uji silinder = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2 \times 30$
= $5298,75 \text{ cm}^3$



Gambar 3.3 Skema Uji Kuat Tekan

b. Uji Kuat Lentur

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Balok Uji Sederhana pada umur 7 dan 28 hari setelah produksi dan perawatan beton. Untuk melakukan pengujian kuat lentur di Laboratorium Teknik Unissula, balok yang dibebani langsung di tengah dimaksudkan sebagai panduan dan acuan. Berikut ini adalah langkah-langkah pengujiannya:

1. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman sehari sebelum pengujian.
2. Benda uji dikeringkan di bawah sinar matahari atau diangin-anginkan sebelum pengujian untuk memastikan benda uji dalam keadaan kering.
3. Untuk mengetahui berat benda uji, benda uji ditimbang terlebih dahulu.
4. Masukkan benda uji ke dalam media pembengkokan dan atur bagian-bagiannya sehingga bidang bawah balok beban diposisikan di tengah, sejajar dengan kedua balok tumpuan, dan balok uji diposisikan secara

simetris pada kedua balok tumpuan, dengan kedua sisi bekas cetakan berfungsi sebagai bidang atas.

5. Sesuaikan pembebanan untuk mencegah tabrakan.
6. Untuk memastikan bahwa jarum timbangan bergerak perlahan dan dengan kecepatan 8 kg/cm² hingga 10 kg/cm² per menit, atur katup ke posisi pemuatan dan sesuaikan kecepatan pemuatan dengan tepat.
7. Untuk menimbulkan kejutan, turunkan kecepatan pembebanan pada titik patahan, yang ditunjukkan oleh jarum timbangan beban yang bergerak perlahan.
8. Hentikan pembebanan dan catat beban tertinggi yang menyebabkan benda uji patah.
9. Ambil benda uji yang telah diuji dan dokumentasikan hasil pengujian.
10. Selanjutnya, gunakan rumus berikut untuk menghitung :

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2}$$

Keterangan :

σ_1 : Kuat lentur benda uji (MPa)

P : Beban maksimum (kN)

L : Panjang perletakan (cm)

b : Lebar balok (cm)

h : Tinggi balok (cm)

Contoh Perhitungan :

1. Kuat Lentur Benda Uji Balok

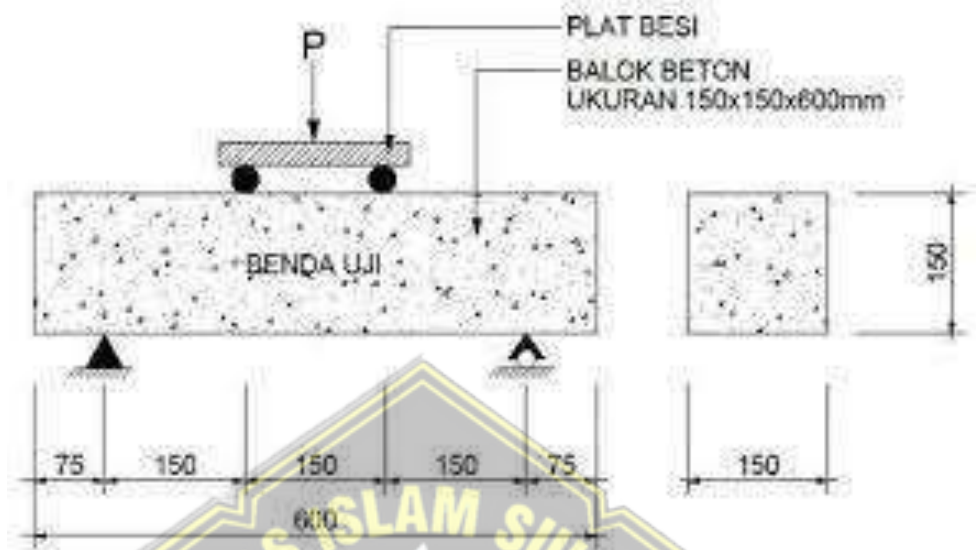
$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{P.L}{b.h^2} \\ &= \frac{34,352 \cdot 45}{15 \times 15^2} \\ &= \frac{1545,84}{3375} \\ &= 0,458 \text{ kN/cm}^2 \\ &= 4,58 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. Volume Benda Uji Balok

- Volume benda uji balok = p.l.t

$$= 60 \times 15 \times 15$$

$$= 13500 \text{ cm}^3$$



Gambar 3.4 Skema Uji Kuat Lentur

10. Hasil Pengujian

Kuat tekan rencana beton minimal 200 kg/cm^2 ($f_c'20 \text{ MPa}$), jika sudah memenuhi dapat lanjut ketahap selanjutnya dan apabila belum memenuhi target yang peneliti tetapkan, maka perlu dilakukan kembali percobaan pada tahap *mix design*.

11. Analisa dan Pembahasan

Kekuatan dan karakteristik beton selanjutnya diperiksa dan dievaluasi berdasarkan temuan pengujian.

12. Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan dari hasil pengujian dan menawarkan rekomendasi kepada peneliti lain yang berencana melakukan penelitian terkait.

13. Selesai

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan, data penelitian perlu diperiksa dan dievaluasi. Bab ini menyajikan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti di Laboratorium Teknologi Bahan Bangunan Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penelitian dimulai dengan pemeriksaan bahan penyusun, dilanjutkan dengan perencanaan campuran, pencampuran bahan penyusun, dan pengujian beton mortar busa yang telah diproduksi. Tabel dan grafik yang menggambarkan analisis dan hasil dari data ini disediakan, bersama dengan deskripsi hasil pengujian material.

Karena belum adanya spesifikasi dari SNI atau ASTM mengenai persyaratan pembuatan beton mortar busa untuk perkerasan jalan, maka peneliti menggunakan hasil analisis yang dilakukan untuk penelitian ini mengutip beberapa jurnal yang dikumpulkan dan percobaan yang dilakukan sebelum memulai penelitian sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Oleh karena itu, langkah pelaksanaan, bahan penyusun material, alat, dan bahan yang digunakan banyak mengacu pada jurnal-jurnal mengenai beton mortar busa pada penelitian-penelitian sebelumnya.

4.2. Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton Mortar Busa

Berat jenis dan daya serap air, kadar air, kadar lumpur, dan analisis ayakan merupakan beberapa metode pemeriksaan yang digunakan untuk memeriksa bahan penyusun beton mortar busa. Perlu dipastikan bahwa bahan yang digunakan untuk mencampur beton mortar busa dapat memenuhi standar dan spesifikasi yang diperlukan.

4.3. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pasir alam dari Merapi digunakan sebagai agregat halus dalam penelitian ini. Agregat halus dianalisis menggunakan analisis saringan, kadar air, kadar lumpur, berat jenis, dan penyerapan air. Berikut ini adalah hasil pemeriksaan agregat halus

:

4.3.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis dan serapan air agregat diukur sesuai dengan pedoman yang diberikan dalam SNI 1970-2008 untuk pengujian agregat halus. Temuan penentuan berat jenis agregat halus dan daya serap air disajikan pada Tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

PENGUJIAN	KODE	BENDA UJI 1	BENDA UJI 2	RATA-RATA
		(gr)	(gr)	(gr)
Berat Contoh SSD	a	500	500	500
Berat Contoh Kering Oven	b	492	491	492
Berat Piknometer + Air	c	689	689	669
Berat Piknometer + Air + Contoh	d	994	992	984
Berat Jenis <i>Bulk</i> (Berat Jenis Kering)	$\frac{b}{(c+a-d)}$	2,523	2,492	2,508
Berat Jenis SSD	$\frac{a}{(c+a-d)}$	2,564	2,538	2,551
Berat Jenis <i>Apparent</i> (Berat Jenis Semu)	$\frac{b}{(c+b-d)}$	2,631	2,612	2,621
Penyerapan Air (Absorpsi)	$\frac{(a-b)}{b} \times 100\%$	1,626	1,833	1,730

(Sumber : Hasil Penelitian)

Rata-rata berat jenis jenuh kering sebesar 2,508 gram/cm³, berat jenis SSD sebesar 2,551 gram/cm³, berat jenis semu sebesar 2,621 gram/cm³, dan rata-rata serapan air sebesar 1,730% merupakan temuan yang diperoleh dari pemeriksaan dan analisis yang disajikan pada tabel 4.1. Menurut Tjokrodinuljo (2007), berat jenis agregat halus tipikal adalah antara 2,4 dan 2,7, dan persyaratan yang ditetapkan dalam SNI 1970-2008 menunjukkan bahwa jumlah penyerapan air pada agregat halus dibatasi hingga 3%. Dengan demikian, temuan pengujian memenuhi kriteria yang disyaratkan.

4.3.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air

Berdasarkan petunjuk SNI 1971-2011 untuk pengujian kadar air total agregat dengan cara pengeringan, kadar air agregat halus diperiksa. Tabel 4.2 di bawah ini menampilkan hasil analisis kadar air agregat halus :

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

PENGUJIAN	KODE	BENDA UJI 1	BENDA UJI 2	RATA- RATA
		(gr)	(gr)	(gr)
Berat Wadah + Benda Uji		545	550	548
Berat Wadah		45	45	45
Berat Benda Uji	a	500	505	503
Berat Benda Uji Kering Oven + Berat Wadah		540	545	543
Berat Benda Uji Kering Oven	b	490	495	493
Kadar Air Total	$\frac{(a-b)}{b} \times 100\%$	2,04	2,02	2,03

(Sumber : Hasil Penelitian)

Percobaan diulang sebanyak dua kali, menghasilkan kadar air sebesar 2,02% pada percobaan kedua dan 2,04% pada percobaan pertama, berdasarkan temuan pemeriksaan dan analisis yang dilakukan pada tabel 4.2. Kadar air keseluruhan rata-rata sebesar 2,03% kemudian ditentukan. Temuan pemeriksaan yang berkisar antara 0,2% hingga 4% telah memenuhi kriteria.

4.3.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

Aturan dalam SNI 03-4142-1996 tentang prosedur pengujian jumlah material dalam agregat yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm) diikuti untuk memeriksa kandungan lumpur agregat halus. Tabel 4.3 di bawah ini menampilkan hasil analisis kandungan lumpur agregat halus :

Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

PENGUJIAN	KODE	BENDA UJI 1	BENDA UJI 2	RATA-RATA
		(gr)	(gr)	(gr)
Sebelum Dicuci :				
Berat Kering Oven Sampel + Cawan	W ₁	544	545	545
Berat Cawan	W ₂	44	45	45
Berat Kering Sampel	W ₃ = (W ₁ - W ₂)	500	500	500
Sesudah Dicuci :				
Berat Kering Oven Sampel + Cawan	W ₄	535	537	536
Berat Kering Sampel	W ₅ = (W ₄ - W ₂)	491	492	492
Persen Sampel Lolos Saringan No.200 (0,075mm)	$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$	1,8	1,6	1,7

(Sumber : Hasil Penelitian)

Hasil persentase kadar lumpur rata-rata adalah 1,7%, yang ditentukan dengan menganalisis dan meneliti data yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Hasil persentase Benda Tes 1 sebesar 1,8%, sedangkan hasil persentase Benda Tes 2 sebesar 1,6%. Oleh karena itu, agregat halus dapat digunakan dalam campuran beton karena sesuai dengan pedoman dan ketentuan SNI 03-4142-1996, kadar lumpurnya kurang dari 5%.

4.3.4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

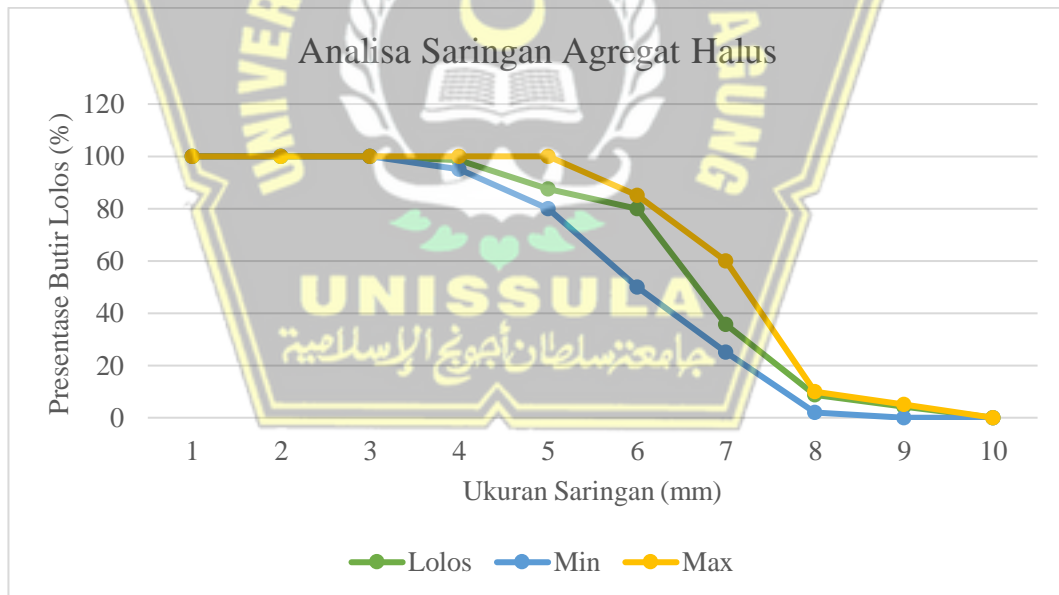
Pedoman dalam SNI ASTM C136:2012 tentang metodologi pengujian analisis saringan agregat halus dan agregat kasar diikuti pada saat melakukan inspeksi analisis saringan agregat halus. Tabel 4.4 di bawah ini menampilkan hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus:

Tabel 4.4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Saringan No.	Ukuran Saringan (inch)	Berat tertahan (gram)	Kumulatif tertahan (gram)	%		Spesifikasi Kadar Teknis	
				Tertahan	Lolos	Min	Max
	3/4"	0	0	0	100	100	100
	1/2"	0	0	0	100	100	100
	3/8"	0	0	0	100	100	100
	#4	15	15	1,50	98,50	95	100
	#8	110	125	12,50	87,50	80	100
	#16	76	201	20,10	79,90	50	85
	#30	443	644	64,40	35,60	25	60
	#100	269	913	91,30	8,70	2	10
	#200	45	958	95,80	4,20	0	5
	Pan	42	1000	100,00	0,00	0	0

(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari tabel 4.4 hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus diatas didapatkan hasil data pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.1. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus

Berdasarkan grafik hasil pemeriksaan analisa saringan agetat halus diatas, agregat halus dalam presentase yang lolos setiap saringan tidak kurang dari presentase batas minimal dan tidak melebihi presentase batas maksimal. Maka

agregat halus yang digunakan sudah memenuhi persyaratan dan ketentuan pada pedoman SNI ASTM C136:2012.

4.4. Hasil Pemeriksaan Agregat Slag

Terak baja merupakan salah satu jenis agregat terak yang digunakan dalam penelitian ini. Bahan-bahan seperti berat jenis, penyerapan air, kandungan lumpur, dan analisis saringan semuanya dinilai untuk agregat terak. Berikut temuan hasil pemeriksaan agregat terak :

4.4.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan serapan air pada agregat terak semuanya ditentukan dengan menggunakan metode pemeriksaan ini sesuai dengan SNI 1969:2016. Tabel 4.5 di bawah ini menampilkan temuan pengujian berat jenis agregat slag dan daya serap air:

Tabel 4.5. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Slag

PENGUJIAN	KODE	BENDA UJI 1	BENDA UJI 2	RATA-RATA
Berat Contoh SSD	BS	5000	5000	5000
Berat Contoh Uji Kering Oven	BK	4895	4891	4893
Berat Contoh Uji Kering Permukaan Jenuh	BJ	4982	4974	4978
Berat Contoh Uji Dalam Air	BA	3084	3082	3083
Berat Jenis <i>Bulk</i> (Berat Jenis Kering)	$\frac{BK}{BJ-BA}$	2,579	2,585	2,582
Berat Jenis SSD	$\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,625	2,629	2,627
Berat Jenis <i>Apparent</i> (Berat Jenis Semu)	$\frac{BK}{BK-BA}$	2,703	2,704	2,704
Penyerapan Air (absorpsi)	$\frac{(BJ-BK)}{BK} \times 100\%$	1,777	1,697	1,737

(Sumber : Hasil Penelitian)

Agregat terak diuji berat jenisnya dan penyerapan airnya. Hasil yang diperoleh berdasarkan analisis pada tabel 4.5 adalah sebagai berikut: nilai berat jenis kering sebesar 2,582 gr/cm³, berat jenis SSD sebesar 2,627 gr/cm³, berat jenis semu sebesar 2,704 gr/cm³, dan nilai berat jenis semu sebesar 2,704 gr/cm³. serapan air sebesar 1,737 %. Temuan ini, yang meliputi rata-rata serapan 1,737% dan berat jenis kering < SSD < berat jenis semu dengan nilai 2,582 < 2,627 < 2,704, memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Angka yang diperoleh memenuhi standar SNI 1969-2016 yang menyatakan daya serap air yang baik didefinisikan kurang dari 2%.

4.4.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air

Untuk mengetahui persentase kadar air dalam agregat, pemeriksaan kadar air terak agregat mengacu pada SNI 1971:2011. Tabel 4.6 di bawah ini menampilkan temuan analisis kadar air agregat terak :

Tabel 4.6. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Slag

PENGUJIAN	KODE	BENDA UJI 1	BENDA UJI 2	RATA- RATA
		(gr)	(gr)	(gr)
Berat Wadah + Benda Uji		555	560	558
Berat Wadah		55	55	55
Berat Benda Uji	a	500	505	503
Berat Benda Uji Kering Oven + Berat Wadah		545	550	548
Berat Benda Uji Kering Oven	b	490	495	493
Kadar Air Total	$\frac{(a-b)}{b} \times 100\%$	2,04	2,02	2,03

(Sumber : Hasil Penelitian)

Percobaan dilakukan sebanyak dua kali, percobaan pertama menghasilkan kadar air sebesar 2,04% dan percobaan kedua menghasilkan kadar air sebesar 2,02%, berdasarkan temuan pemeriksaan dan analisis yang dilakukan pada tabel 4.6. Kadar

air keseluruhan rata-rata sebesar 2,03% kemudian ditentukan. Temuan pemeriksaan yang berkisar antara 0,2% hingga 4% telah memenuhi kriteria.

4.4.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

Agregat terak dilakukan pengujian kadar lumpur sesuai dengan SNI 03-4143-1996 dan pedoman praktek. Untuk mendapatkan bahan bangunan yang berkualitas, tujuan pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui proporsi kandungan lumpur pada agregat terak. Tabel 4.7 di bawah ini menampilkan temuan analisis kandungan lumpur agregat terak :

Tabel 4.7. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Slag

PENGUJIAN	KODE	BENDA UJI 1	BENDA UJI 2	RATA-RATA
		(gr)	(gr)	(gr)
Sebelum Dicuci :				
Berat Kering Oven Sampel + Cawan	W_1	545	545	545
Berat Cawan	W_2	45	45	45
Berat Kering Sampel	$W_3 = (W_1 - W_2)$	500	500	500
Sesudah Dicuci :				
Berat Kering Oven Sampel + Cawan	W_4	535	537	536
Berat Kering Sampel	$W_5 = (W_4 - W_2)$	490	492	491
Persen Sampel Lolos Saringan No.200 (0,075mm)	$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$	2	1,6	1,7

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil pemeriksaan dan analisis yang telah dilakukan pada tabel 4.7 diperoleh hasil presentase kadar lumpur dari benda uji 1 sebesar 2% dan hasil presentase dari benda uji 2 sebesar 1,6% sehingga didapatkan hasil presentase rata-rata kadar lumpur sebesar 1,7%. Oleh karena itu, agregat halus dapat digunakan dan memenuhi untuk campuran beton berdasarkan ketentuan dan persyaratan pada SNI 03-4142-1996.

4.4.4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

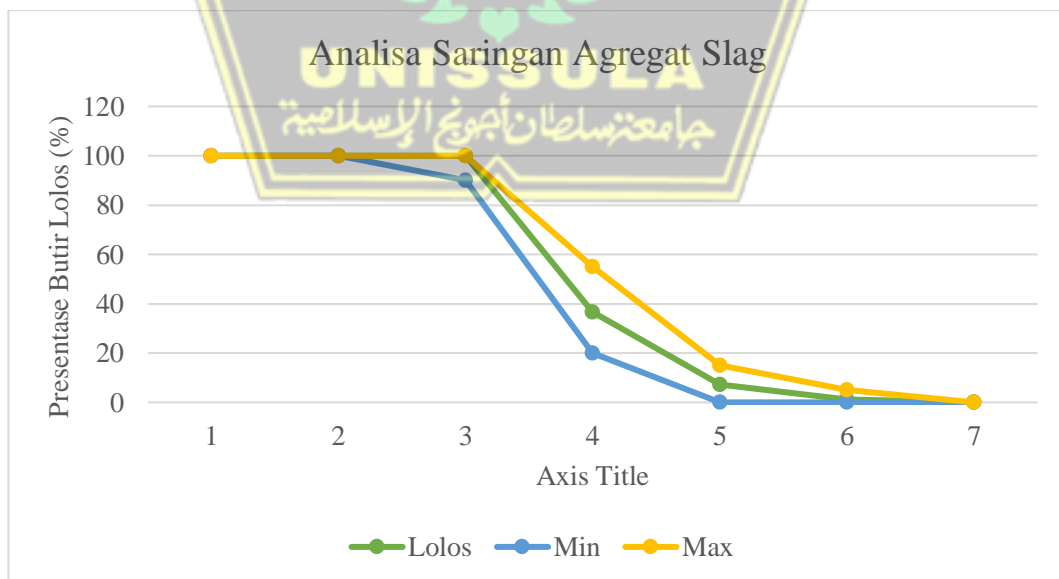
Berdasarkan SNI ASTM C136:2012, pemeriksaan ini mengukur persentase berat butiran agregat yang melewati rangkaian saringan dengan menggunakan pemeriksaan analisis saringan. Nilai persentase tersebut kemudian diplot pada grafik. Tabel 4.8 di bawah ini menampilkan temuan investigasi analitis saringan agregat terak:

Tabel 4.8. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Slag

Saringan No.	Ukuran Saringan (inch)	Berat tertahan (gram)	Kumulatif tertahan (gram)	%		Spesifikasi Kadar Teknis	
				Tertahan	Lolos	Min	Max
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	100	100
1"	25	0	0	0	100	100	100
3/4"	19	76	47	0	100	90	100
1/2"	12,7	585	585	63,31	36,69	20	55
3/8"	9,5	273	858	92,86	7,14	0	15
#4	4,76	56	914	98,92	1,08	0	5
Pan		10	924	100,00	0,00	0	0

(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari tabel 4.8. hasil pemeriksaan analisa saringan agregat slag diatas didapatkan hasil data pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.2. Grafik Analisa Saringan Agregat Slag

Berdasarkan grafik hasil pemeriksaan analisa saringan agegat slag diatas, agregat slag dalam presentase yang lolos setiap saringan tidak kurang dari presentase batas minimal dan tidak melebihi presentase batas maksimal. Maka agregat slag yang digunakan sudah memenuhi persyaratan dan ketentuan pada pedoman SNI ASTM C136:2012.

4.5. Perhitungan *Job Mix Desain*

Perhitungan *job mix desain* beton mortar busa dapat ditentukan dari perbandingan air semen dan perbandingan pasir semen. Berikut adalah perhitungan dan data analisis *job mix design* yang digunakan peneliti dalam pembuatan beton mortar busa :

4.5.1. *Mix Desain 1 Beton Mortar Busa*

Mix Desain 1 beton mortar busa dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut ini :

Tabel 4.9. *Mix Desain 1 Beton Mortar Busa per 1 m³*

Material	Jumlah per 1 m ³ (kg)	Jumlah per 1 m ³ (%)
Semen	385	30%
Agregat Halus	1140	88%
Air Mortar	115	9%
Air Foam Agent	40	3%
Agregat Slag	0	0%
Steel Fiber	0	0%
Foam Agent	1,54	0,12%
Aditif Retarder	0,77	0,06%
Total	1682,31	100%

(Sumber : Data Perencanaan)

Pada tabel 4.9 menunjukkan presentase *mix desain 1* beton mortar busa per 1 m³. Pada *mix desain 1* beton mortar busa ini belum menggunakan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag dengan presentase masing-masing 0%, akan tetapi pada *mix desain 1* beton mortar ini sudah menggunakan campuran *foam agent* dengan presentase sebesar 0,4% dan bahan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase

sebesar 0,2% yang didapat dari hasil kali dengan berat semen per 1 m³ untuk campuran beton mortar busa itu sendiri.

4.5.2. *Mix Desain 2 Beton Mortar Busa*

Mix desain 2 beton mortar busa dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini :

Tabel 4.10. *Mix Desain 2 Beton Mortar Busa per 1 m³*

Material	Jumlah per 1 m ³ (kg)	Jumlah per 1 m ³ (%)
Semen	385	29%
Agregat Halus	855	63%
Air Mortar	115	9%
Air Foam Agent	40	3%
Agregat Slag	285	21%
Steel Fiber	57,75	4%
Foam Agent	1,54	0,11%
Aditif Retarder	0,77	0,06%
Total	1740,06	100%

(Sumber : Data Perencanaan)

Pada tabel 4.10 menunjukkan presentase *mix desain 2* beton mortar busa per 1 m³. *Mix desain 2* modifikasi dari *mix desain 1* dengan perubahan penambahan bahan tambah berupa *steel fiber* dengan presentase sebesar 15% hasil kali dengan berat semen per 1 m³ dan bahan tambah agregat slag dengan presentase sebesar 25% sebagai pengganti agregat halus per 1 m³. *Mix desain 2* juga menggunakan campuran *foam agent* dengan presentase sebesar 0,4% dan bahan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase sebesar 0,2% yang didapat dari hasil kali dengan berat semen per 1 m³ untuk campuran beton mortar busa.

4.5.3. *Mix Desain 3 Beton Mortar Busa*

Mix desain 3 beton mortar busa dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini :

Tabel 4.11. *Mix Desain 3* Beton Mortar Busa per 1 m³

Material	Jumlah per 1 m ³ (kg)	Jumlah per 1 m ³ (%)
Semen	385	22%
Agregat Halus	570	32%
Air Mortar	115	6%
Air Foam Agent	40	2%
Agregat Slag	570	32%
Steel Fiber	96,25	5%
Foam Agent	1,54	0%
Aditif Retarder	0,77	0%
Total	1778,06	100%

(Sumber : Data Perencanaan)

Pada tabel 4.11 menunjukkan presentase *mix desain 3* beton mortar busa per 1 m³. *Mix desain 3* modifikasi dari *mix desain 1* dengan perubahan penambahan bahan tambah berupa *steel fiber* dengan presentase sebesar 25% hasil kali dengan berat semen per 1 m³ dan bahan tambah agregat slag dengan presentase sebesar 50% sebagai pengganti agregat halus per 1 m³. *Mix desain 3* juga menggunakan campuran *foam agent* dengan presentase sebesar 0,4% dan bahan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase sebesar 0,2% yang didapat dari hasil kali dengan berat semen per 1 m³ untuk campuran beton mortar busa.

4.5.4. *Mix Desain Beton Mortar Busa untuk Silinder dan Balok Beton*

Mix desain beton mortar busa untuk benda uji silinder yaitu dengan menghitung volume benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tingi 30 cm serta volume benda uji balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm kemudian dikali dengan masing-masing *mix desain* yang telah direncanakan. Berikut adalah perhitungan dari *mix desain* beton mortar busa untuk benda uji silinder dan balok beton :

$$\begin{aligned}\text{Volume 1 benda uji silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dengan *safety factor* beton 120%, jadi :

$$= \text{Volume 1 benda uji silinder} \times \text{safety factor}$$

$$= 0,0053 \text{ m}^3 \times 1,2$$

$$= 0,00636 \text{ m}^3$$

Volume 1 benda uji balok = P x L x T

$$= 0,60 \times 0,15 \times 0,15$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3$$

Dengan *safety factor* beton 120%, jadi :

$$= \text{Volume 1 benda uji balok} \times \text{safety factor}$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3 \times 1,2$$

$$= 0,0162 \text{ m}^3$$

Maka *mix desain* beton mortar busa untuk benda uji silinder dan balok beton dapat dilihat pada tabel 4.12 dan tabel 4.13 berikut ini :

Tabel 4.12. *Mix Desain* Beton Mortar Busa untuk Benda Uji Silinder

No	Komposisi	FA	SP	Semen	FA	SP	Pasir	Air Mortar	Air FA	AS	SF
				(kg)	(ml)	(ml)	(kg)	(l)	(l)	(kg)	(kg)
1	0% SF dan 0% AS	0,40%	0,20%	2,45	9,79	4,90	7,25	0,73	0,25	0,00	0,00
2	15% SF dan 25% AS	0,40%	0,20%	2,45	9,79	4,90	5,44	0,73	0,25	1,81	0,37
3	25% SF dan 50% AS	0,40%	0,20%	2,45	9,79	4,90	3,63	0,73	0,25	3,63	0,61

(Sumber : Data Perencanaan)

Tabel 4.13. Mix Desain Beton Mortar Busa untuk Benda Uji Balok

No	Komposisi	FA	SP	Semen	FA	SP	Pasir	Air Mortar	Air FA	AS	SF
				(kg)	(ml)	(ml)	(kg)	(l)	(l)	(kg)	(kg)
1	0% SF dan 0% AS	0,40%	0,20%	6,24	24,95	12,47	18,47	1,86	0,65	0,00	0,00
2	15% SF dan 25% AS	0,40%	0,20%	6,24	24,95	12,47	13,85	1,86	0,65	4,62	0,94
3	25% SF dan 50% AS	0,40%	0,20%	6,24	24,95	12,47	9,23	1,86	0,65	9,23	1,56

(Sumber : Data Perencanaan)

Pada tabel 4.12 dan 4.13 menunjukkan presentase *mix desain* setiap variasi yang digunakan dalam campuran beton untuk benda uji silinder dan benda uji balok per 1 m³ dengan hasil perkalian menggunakan volume masing-masing benda uji. *Foam agent* dan *superplasticizer* didapat dari hasil perkalian kadar zat aditif yang digunakan dengan semen per 1 m³.

Pada tabel 4.12 dan 4.13 juga menunjukkan presentase penambahan *steel fiber* dan agregat slag yang berbeda pada masing-masing variasi *mix desain* yang berbeda mulai dari *mix desain* 1 dengan bahan tambah *steel fiber* 0% dan agregat slag 0%, *mix desain* 2 dengan bahan tambah *steel fiber* 15% dan agregat slag 25%, *mix desain* 3 dengan bahan tambah *steel fiber* 25% dan agregat slag 50%. Kemudian pada ketiga *mix desain* tersebut juga terdapat campuran *foam agent* dengan presentase 0,40% dan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase 0,20%. *Steel fiber* didapat dari hasil perkalian dengan semen per 1 m³, sedangkan agregat slag didapat dari hasil perkalian dengan agregat halus (pasir) per 1 m³.

Jumlah kadar *foam agent* dan *superplasticizer* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Foam Agent} = \frac{\text{Kadar foam agent}}{100} \times \text{Berat semen} \times 1000 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\text{Superplasticizer} = \frac{\text{Kadar superplasticizer}}{100} \times \text{Berat semen} \times 1000 \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan contoh perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Foam Agent} &= \frac{0,4}{100} \times 2,45 \times 1000 \\ &= 9,79 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Superplasticizer} &= \frac{0,2}{100} \times 2,45 \times 1000 \\ &= 4,90 \text{ ml} \end{aligned}$$

Jumlah presentase penambahan *steel fiber* dan agregat slag dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Steel fiber} = \frac{\text{Presentase} \times \text{Jumlah semen}}{100}$$

$$\text{Agregat slag} = \frac{\text{Presentase} \times \text{Jumlah agregat halus}}{100}$$

Dari persamaan diatas *steel fiber* dan agregat slag dihasilkan dengan perhitungan sebagai berikut :

- *Mix desain 1* dengan bahan tambah *steel fiber* 0% dan agregat slag 0%

$$\text{Steel fiber} = \frac{0 \times 2,45}{100} = 0 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat slag} = \frac{0 \times 7,25}{100} = 0 \text{ kg}$$

- *Mix desain 2* dengan bahan tambah *steel fiber* 15% dan agregat slag 25%

$$\text{Steel fiber} = \frac{15 \times 2,45}{100} = 0,37 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat slag} = \frac{25 \times 7,25}{100} = 1,81 \text{ kg}$$

Dengan bertambahnya agregat slag sebanyak 25 % dalam campuran beton *mix desain 2* maka banyaknya agregat halus (pasir) berkurang dengan hasil berikut :

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus } \textit{mix desain 2} &= \text{Agregat halus awal} - \text{agregat slag} \\ &= 7,25 - 1,81 \\ &= 5,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

- *Mix desain 3* dengan bahan tambah *steel fiber* 25% dan agregat slag 50%

$$\text{Steel fiber} = \frac{25 \times 2,45}{100} = 0,61 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat slag} = \frac{50 \times 7,25}{100} = 3,63 \text{ kg}$$

Dengan bertambahnya agregat slag sebanyak 50 % dalam campuran beton *mix desain 3* maka banyaknya agregat halus (pasir) berkurang dengan hasil berikut :

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus } \textit{mix desain 3} &= \text{Agregat halus awal} - \text{agregat slag} \\ &= 7,25 - 3,63 \\ &= 3,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.6. Hasil Uji Slump

Pada penelitian ini menggunakan dua metode pengujian slump pada campuran beton yaitu *slump flow* dan *slump test*. *Slump flow* digunakan untuk campuran beton mortar busa *mix desain 1* yang tidak menggunakan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag, sedangkan metode *slump test* digunakan untuk campuran beton *mix desain 2* dan *3* yang menggunakan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag. Hal tersebut dilakukan karena pada percobaan yang dilakukan pada beton mortar busa yang diberi bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag relatif tidak masuk spesifikasi nilai pada pengujian *slump flow* berdasarkan yang disyaratkan pada ASTM C1611/161M-14 sehingga dipilih metode pengujian *slump test*.

Hasil nilai pengujian slump beton mortar busa yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.14. Hasil Uji Slump

<i>Mix Desain</i>	Variasi	Nilai Slump (mm)	Nilai Flow (mm)
1	0% SF dan 0% AS	-	560
2	15% SF dan 25% AS	120	-
3	25% SF dan 50% AS	110	-

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada tabel 4.14 menunjukkan hasil dari pengujian *slump flow* dan *slump test* pada masing-masing variasi *mix desain*. Pada *mix desain 2* dan *3* terdapat perbedaan nilai *slump test*, hal ini disebabkan oleh pengaruh penambahan banyaknya bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag. Pada variasi *mix desain 3* terdapat presentase bahan tambah yang lebih banyak dari variasi *mix desain 2* sehingga mendapatkan nilai *slump test* pada variasi *mix desain 3* yang lebih kecil dari variasi *mix desain 2*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bertambahnya presentase bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag dapat memperkecil nilai *slump test*.

4.7. Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Mortar Busa

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan dua jenis benda uji yaitu benda uji silinder dan benda uji balok. Pada benda uji silinder dilakukan uji kuat tekan, sedangkan pada benda uji balok dilakukan uji kuat lentur. Masing-masing hasil pengujian yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

4.7.1. Kuat Tekan Beton Mortar Busa 7 Hari

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Data hasil pengujian kuat tekan beton silinder mortar busa umur 7 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 7 Hari *Mix Desain 1* (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain 1</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Tekan Aktual Silinder (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian			(kN)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	29/11/2023	06/12/2023	7	8,19	51,549	2,917	29,17
2	29/11/2023	06/12/2023	7	8,27	41,003	2,320	23,20
3	29/11/2023	06/12/2023	7	8,33	48,853	2,765	27,65
Rata-Rata				8,26	47,135	2,667	26,67

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 7 hari adalah 2,667 MPa atau setara dengan 26,67 kg/cm².

Berikut merupakan contoh perhitungan kuat tekan beton silinder :

- Beban maksimum (P) = 51,549 kN
= 5154,9 kg
- Luas sillinder (A) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2$
= 176,625 cm²
- Kuat tekan beton benda uji silinder (f_c')

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{5154,9}{176,625}$$

$$= 29,17 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2,917 \text{ MPa}$$

Tabel 4.16. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 7 Hari *Mix Desain 2* (15% SF dan 25% AS)

Mix Desain 2	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Tekan Aktual Silinder (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	06/11/2023	13/12/2023	7	10,40	89,146	5,045	50,45
2	06/11/2023	13/12/2023	7	10,44	94,159	5,328	53,28
3	06/11/2023	13/12/2023	7	10,58	119,130	6,741	67,41
Rata-Rata				10,47	100,812	5,705	57,05

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 7 hari adalah 5,705 MPa atau setara dengan 57,05 kg/cm².

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 7 Hari *Mix Desain* 3 (25% SF dan 50% AS)

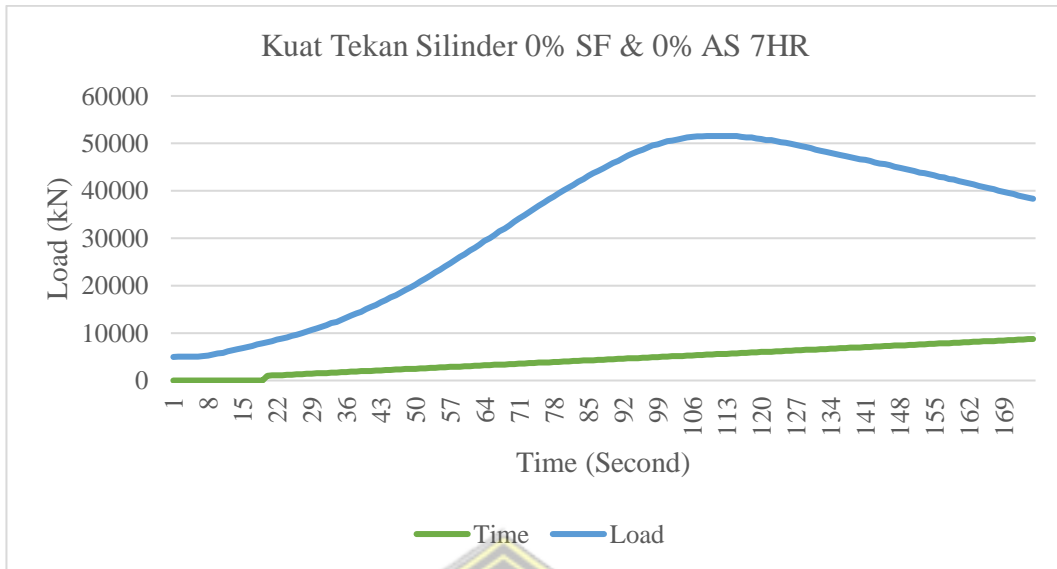
<i>Mix Desain</i> 3	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Tekan Aktual Silinder (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	06/11/2023	13/12/2023	7	10,68	117,711	6,661	66,61
2	06/11/2023	13/12/2023	7	10,90	122,535	6,934	69,34
3	06/11/2023	13/12/2023	7	11,20	111,279	6,297	62,97
Rata-Rata				10,93	117,175	6,631	66,31

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder *mix desain* 3 pada umur beton 7 hari adalah 6,631 MPa atau setara dengan 66,31 kg/cm².

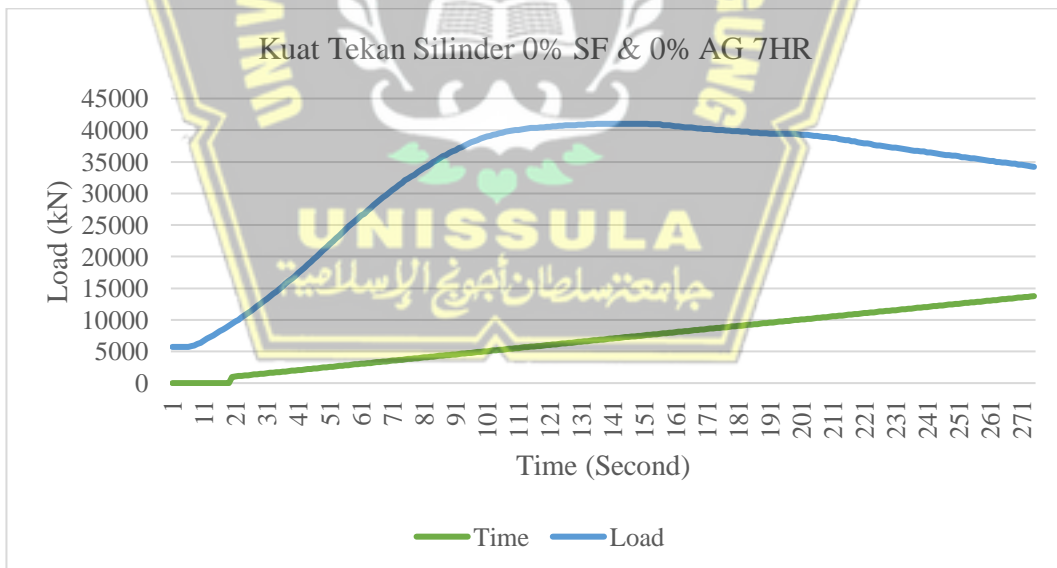
Dari tabel 4.15, tabel 4.16, dan tabel 4.17 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton silinder mortar busa dengan umur 7 hari. Jumlah sampel masing-masing *mix desain* benda uji adalah 3 buah benda uji, dan dengan total 3 *mix desain* menjadi 9 buah benda uji. Pada ketiga *mix desain* tersebut terdapat perbedaan variasi komposisi bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag yang berbeda, perbedaan variasi bahan tambah tersebut adalah 0% SF dan 0% AG (*mix desain* 1), 15% SF dan 25% AG (*mix desain* 2), serta 25% SF dan 50% AG (*mix desain* 3), kemudian pada ketiga *mix desain* tersebut juga terdapat campuran *foam agent* dengan presentase 0,40% dan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase 0,20%. Sehingga dari perbedaan presentase bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag tersebut didapatkan hasil kuat tekan yang berbeda.

Hasil nilai uji kuat tekan yang tertinggi adalah 6,934 MPa atau setara dengan 69,34 kg/cm², hasil tersebut didapatkan pada *mix desain* 3 dan hasil nilai uji kuat tekan terendah adalah 2,320 MPa atau setara dengan 23,32 kg/cm² yang didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan pada *mix desain* 1. Dibawah ini adalah hasil bacaan grafik uji kuat tekan pada beton silinder mortar busa yang dihasilkan dari pengujian mesin uji kuat tekan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



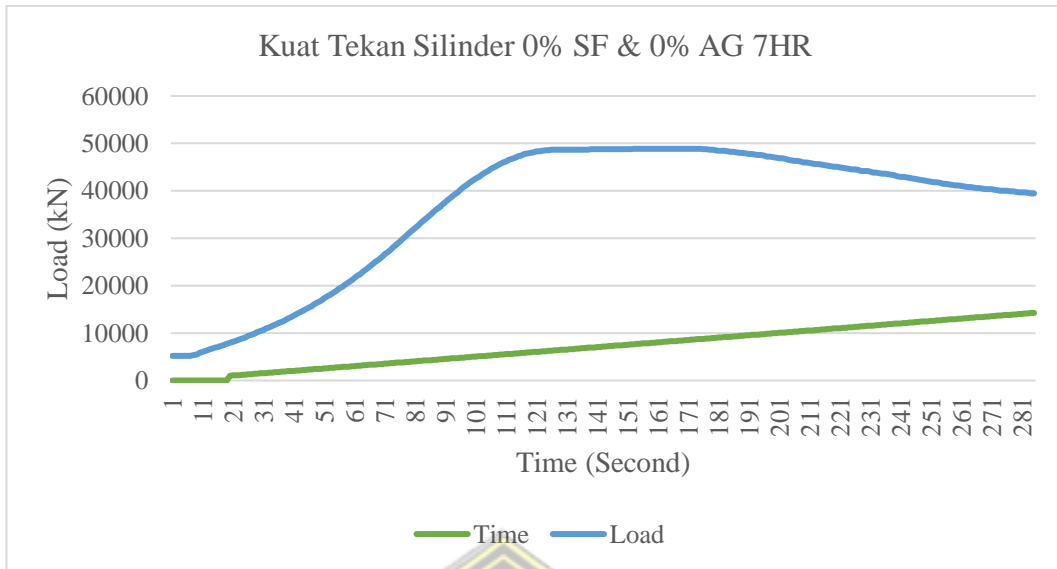
Gambar 4.3. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 1* Umur 7 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 7 hari adalah 2,917 MPa atau setara dengan 29,17 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 51,549 kN.



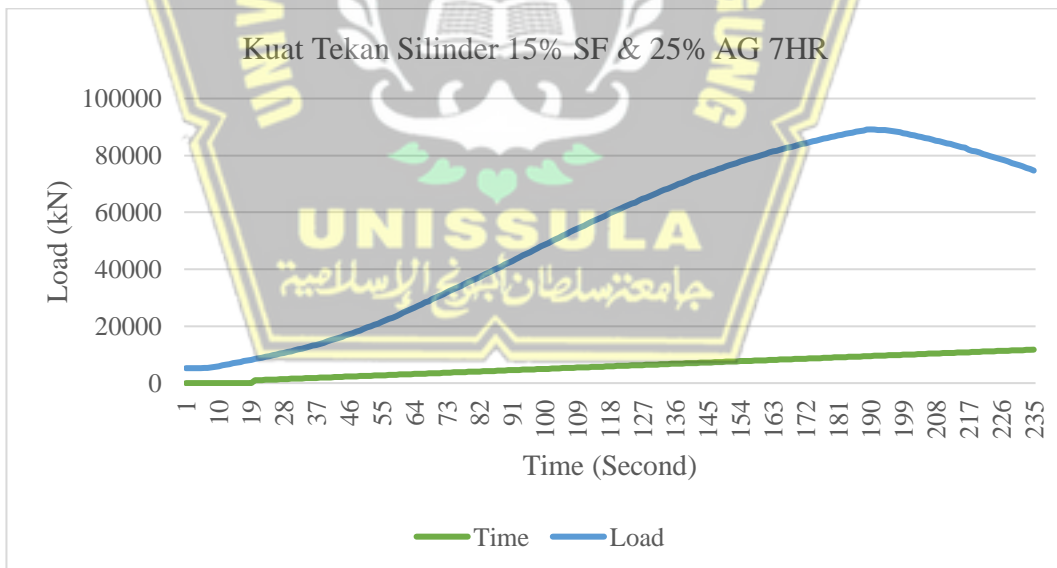
Gambar 4.4. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 1* Umur 7 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 7 hari adalah 2,320 MPa atau setara dengan 23,20 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 41,003 kN.



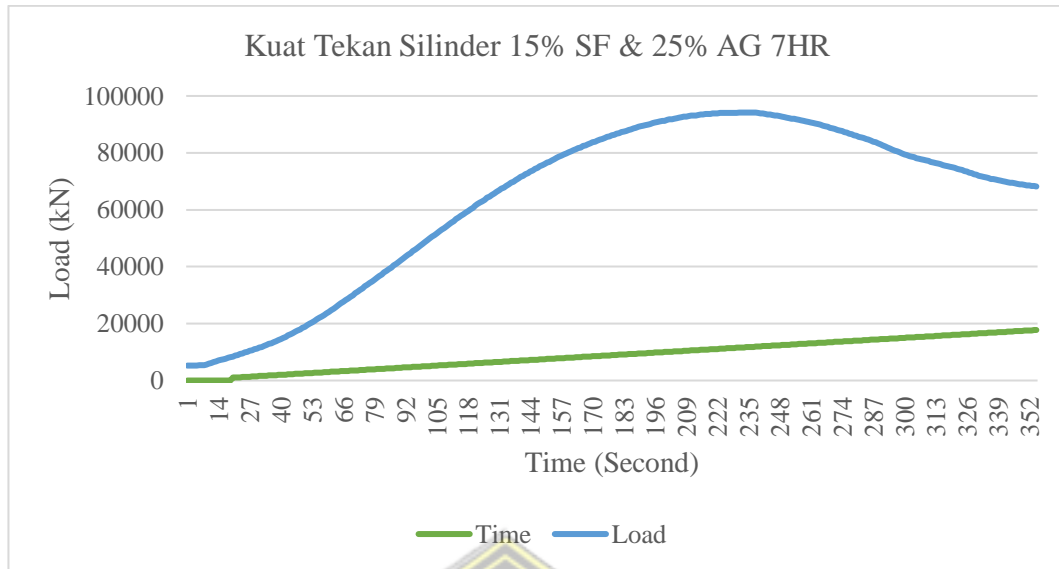
Gambar 4.5. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 1* Umur 7 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton *silinder mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 7 hari adalah 2,765 MPa atau setara dengan 27,65 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 48,853 kN.



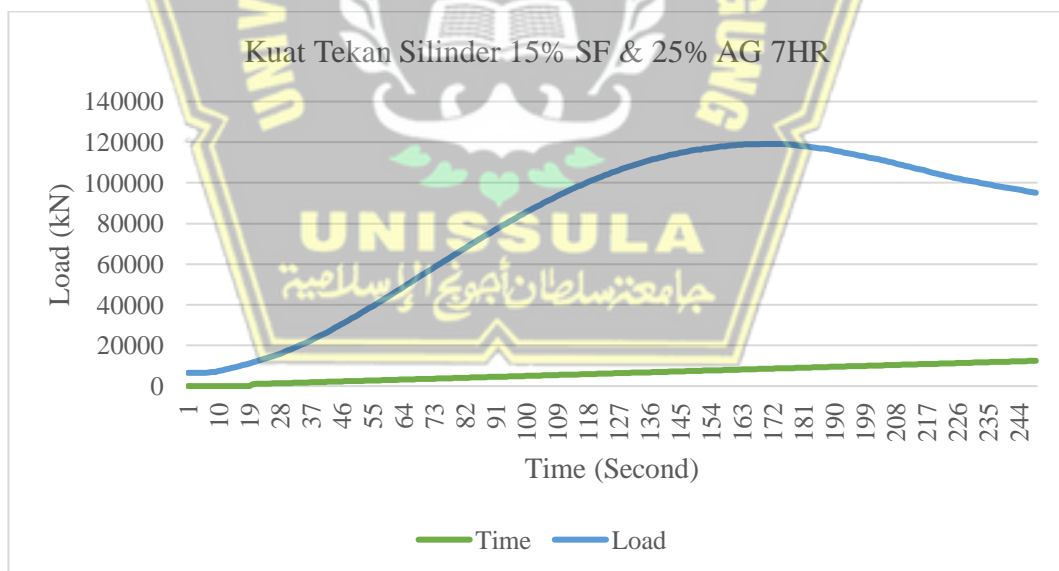
Gambar 4.6. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 2* Umur 7 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 7 hari adalah 5,045 MPa atau setara dengan 50,45 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 89,146 kN.



Gambar 4.7. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 2* Umur 7 Hari (Sampel 2)

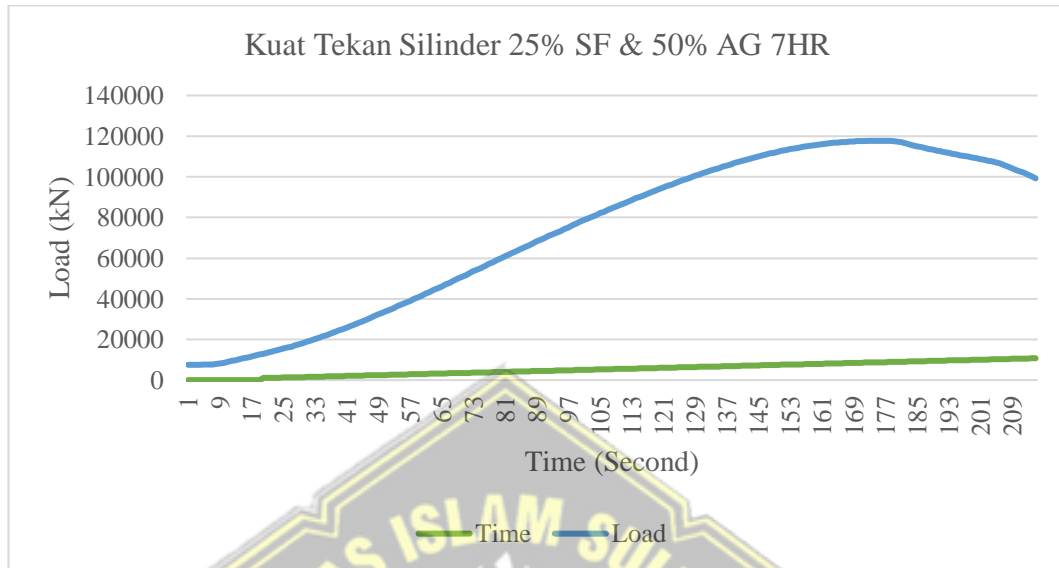
Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 7 hari adalah 5,328 MPa atau setara dengan 53,28 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 94,159 kN.



Gambar 4.8. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 2* Umur 7 Hari (Sampel 3)

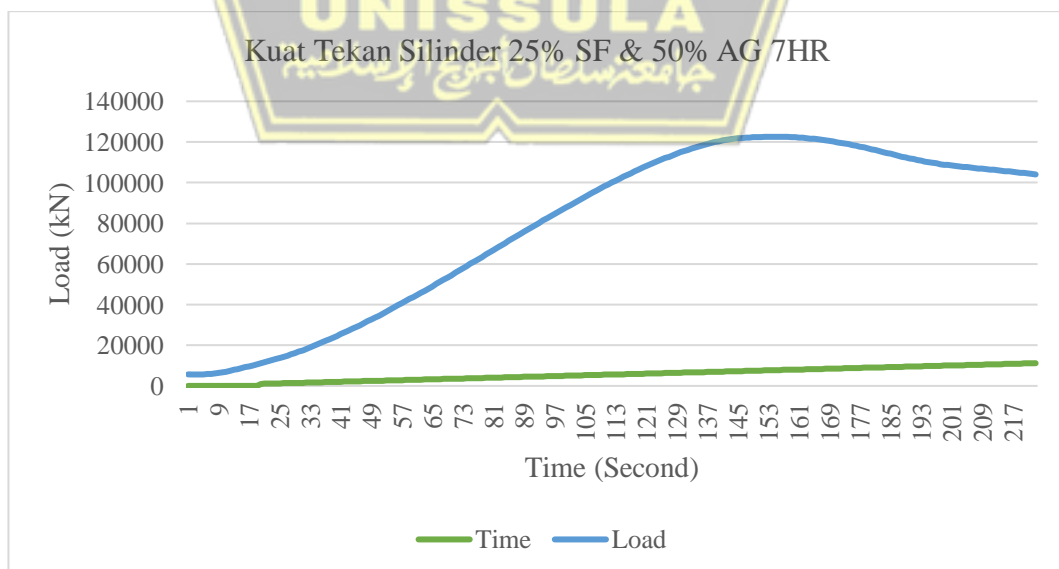
Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 7 hari adalah

6,741 MPa atau setara dengan 67,41 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 119,130 kN.



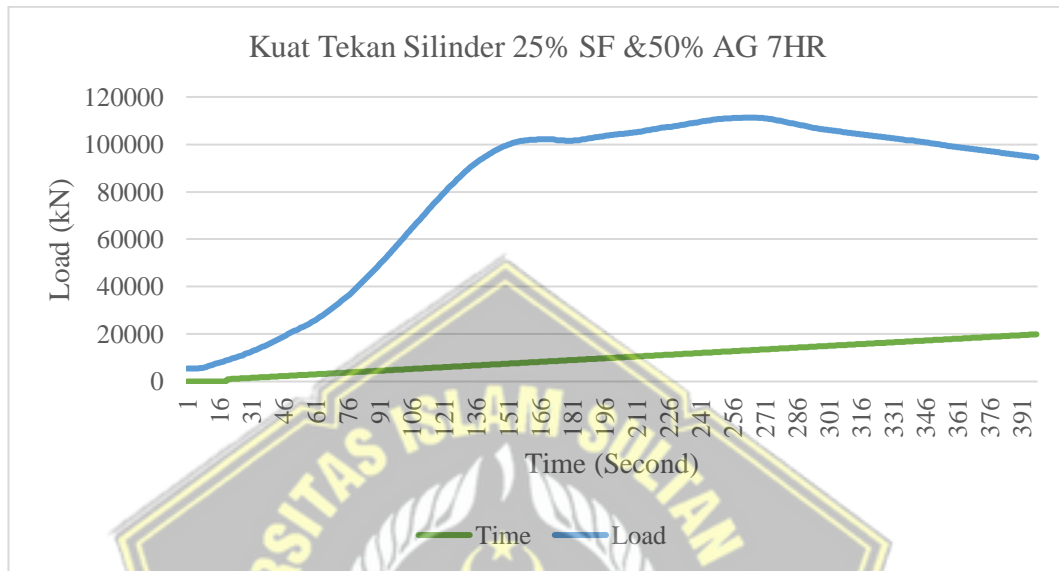
Gambar 4.9. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 3* Umur 7 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 7 hari adalah 6,661 MPa atau setara dengan 66,61 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 117,711 kN.



Gambar 4.10. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 3* Umur 7 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 7 hari adalah 6,934 MPa atau setara dengan 69,34 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 122,535 kN.



Gambar 4.11. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 3* Umur 7 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 7 hari adalah 6,297 MPa atau setara dengan 62,97 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 111,279 kN.

4.7.2. Kuat Lentur Beton Mortar Busa 7 Hari

Pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Data hasil pengujian kuat lentur beton balok mortar busa umur 7 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.18. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 7 Hari *Mix Desain 1*
(0% SF dan 0% AS)

<i>Mix</i> <i>Desain 1</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Tekan Aktual Balok (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	06/11/2023	13/12/2023	7	21,44	2,431	0,324	3,24
2	06/11/2023	13/12/2023	7	22,78	2,437	0,325	3,25
3	06/11/2023	13/12/2023	7	23,89	4,305	0,574	5,74
Rata-Rata				22,70	3,058	0,408	4,08

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan rata-rata nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* pada umur beton 7 hari adalah 0,408 MPa atau setara dengan 4,08 kg/cm².

Berikut merupakan contoh perhitungan kuat lentur beton balok :

- Beban maksimum (P) = 4,305 kN
- Panjang perletakan (L) = 15 + 15 + 15
= 45 cm
- Lebar balok (b) = 15 cm
- Tinggi balok (h) = 15 cm
- Kuat lentur beton benda uji balok (σ_1)

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \frac{P.L}{b.h^2} \\
 &= \frac{4,305 \cdot 45}{15 \times 15^2} \\
 &= \frac{193,725}{3375} \\
 &= 0,0574 \text{ kN/cm}^2 \\
 &= 0,574 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 7 Hari *Mix Desain 2*
(15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain 2</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Tekan Aktual Balok (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	07/11/2023	14/12/2023	7	21,95	7,260	0,968	9,68
2	07/11/2023	14/12/2023	7	22,74	8,973	1,196	11,96
3	07/11/2023	14/12/2023	7	24,63	11,873	1,583	15,83
Rata-Rata				23,11	9,369	1,249	12,49

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan rata-rata nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* pada umur beton 7 hari adalah 1,249 MPa atau setara dengan 12,49 kg/cm².

Tabel 4.20. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 7 Hari *Mix Desain 3*
(25% SF dan 50% AS)

<i>Mix Desain 3</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Tekan Aktual Balok (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	07/11/2023	14/12/2023	7	26,02	12,390	1,652	16,52
2	07/11/2023	14/12/2023	7	26,67	12,930	1,724	17,80
3	07/11/2023	14/12/2023	7	26,98	13,350	1,780	17,24
Rata-Rata				26,56	12,890	1,719	17,19

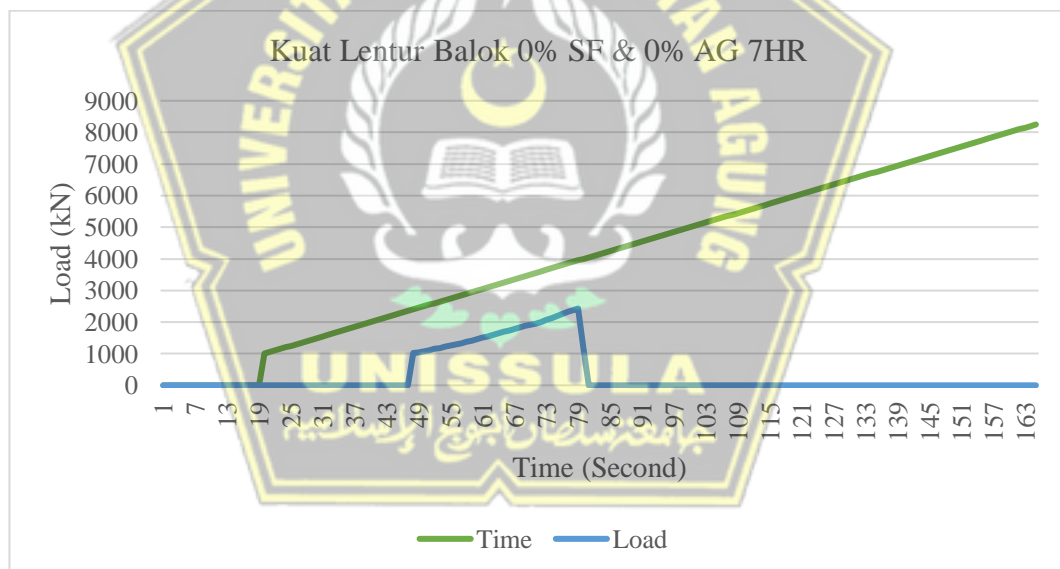
(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan rata-rata nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* pada umur beton 7 hari adalah 1,719 MPa atau setara dengan 17,49 kg/cm².

Dari tabel 4.18, tabel 4.19, dan tabel 4.20 menunjukkan hasil pengujian kuat lentur beton balok mortar busa dengan umur 7 hari. Jumlah sampel masing-masing *mix desain* benda uji adalah 3 buah benda uji, dan dengan total 3 *mix desain* menjadi 9 buah benda uji. Pada ketiga *mix desain* tersebut terdapat perbedaan variasi komposisi bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag yang berbeda, perbedaan

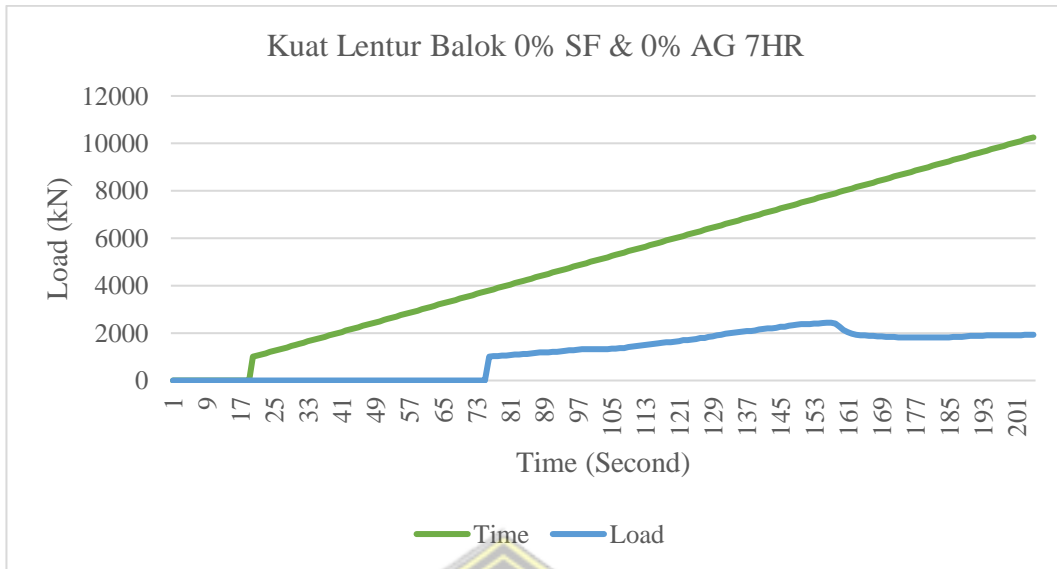
variasi bahan tambah tersebut adalah 0% SF dan 0% AG (*mix desain 1*), 15% SF dan 25% AG (*mix desain 2*), serta 25% SF dan 50% AG (*mix desain 3*), kemudian pada ketiga *mix desain* tersebut juga terdapat campuran *foam agent* dengan presentase 0,40% dan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase 0,20%. Sehingga dari perbedaan presentase bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag tersebut didapatkan hasil kuat lentur yang berbeda.

Hasil nilai uji kuat lentur yang tertinggi adalah 1,780 MPa atau setara dengan 17,80 kg/cm², hasil tersebut didapatkan pada *mix desain 3* dan hasil nilai uji kuat lentur terendah adalah 0,324 MPa atau setara dengan 3,24 kg/cm² yang didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur pada *mix desain 1*. Dibawah ini adalah hasil bacaan grafik uji kuat lentur pada beton balok mortar busa yang dihasilkan dari pengujian mesin uji kuat lentur Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



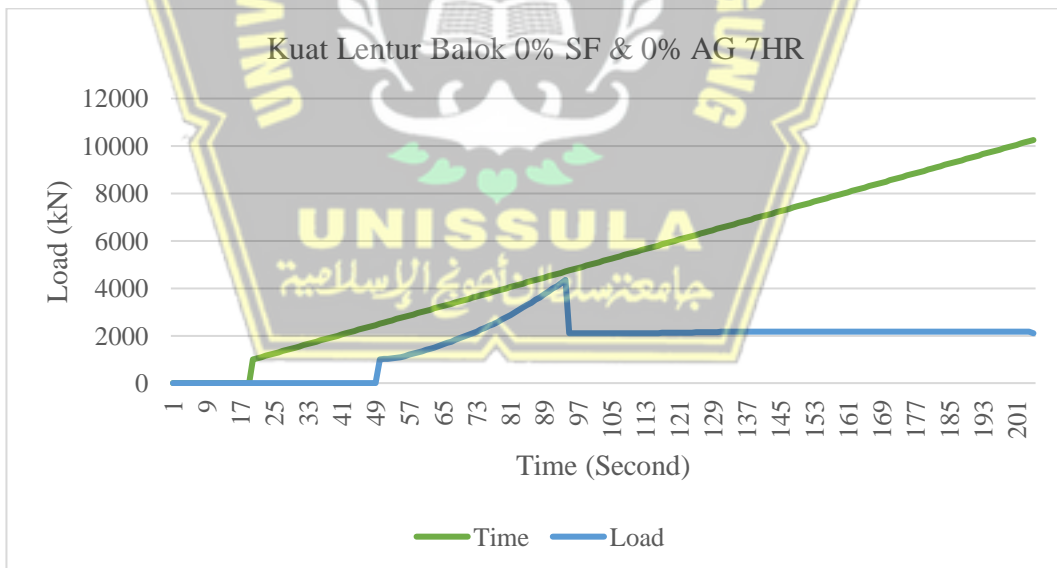
Gambar 4.12. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 1* Umur 7 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 7 hari adalah 0,324 MPa atau setara dengan 3,24 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 2,431 kN.



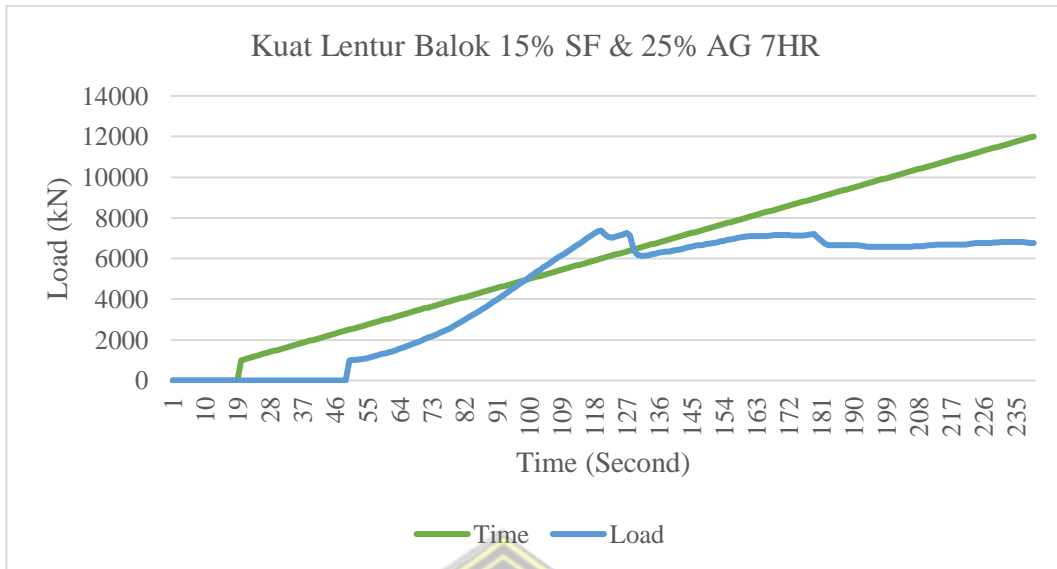
Gambar 4.13. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 1* Umur 7 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 7 hari adalah 0,325 MPa atau setara dengan 3,25 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 2,437 kN.



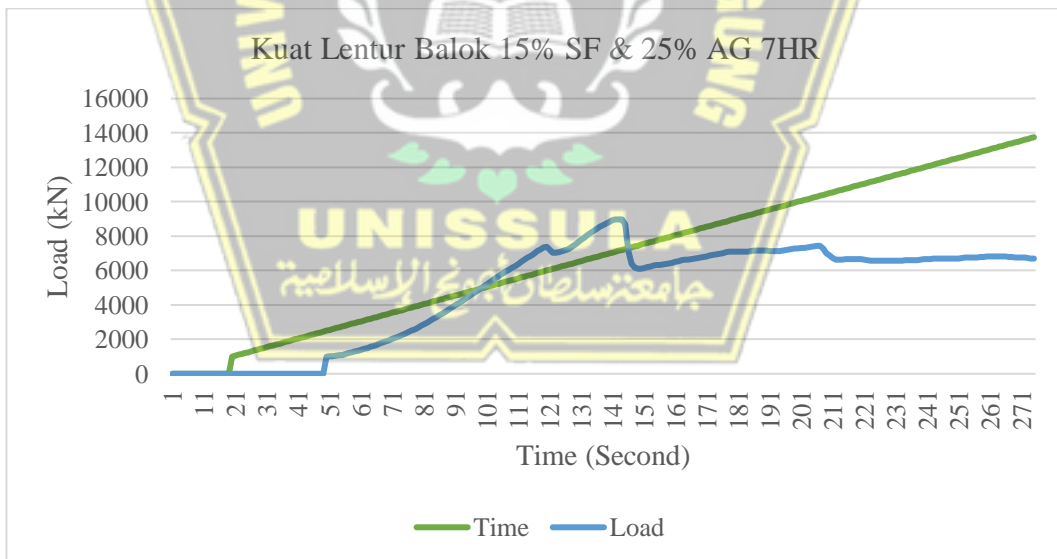
Gambar 4.14. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 1* Umur 7 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 7 hari adalah 0,574 MPa atau setara dengan 5,74 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 4,305 kN.



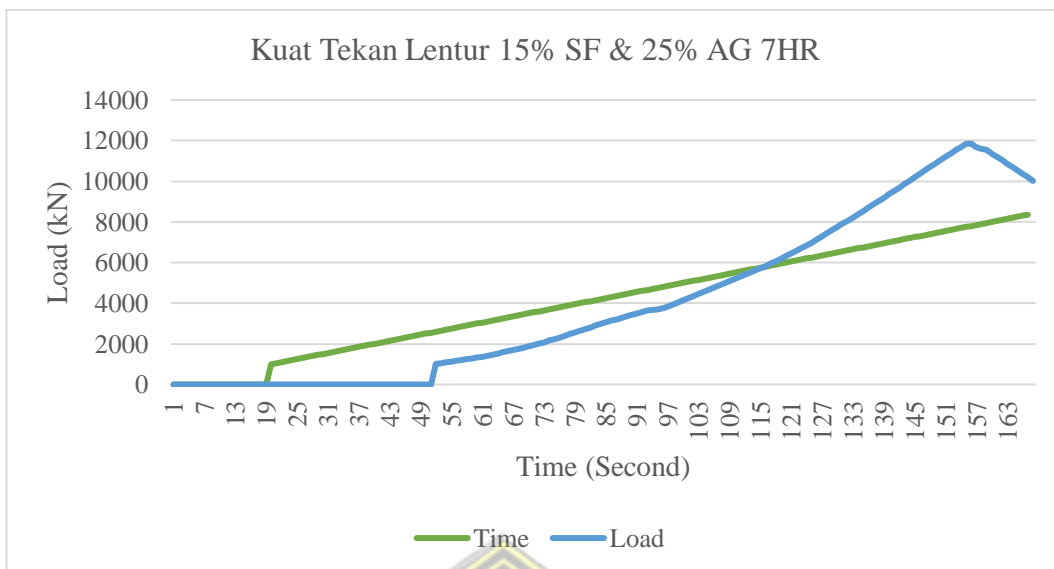
Gambar 4.15. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 2* Umur 7 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 7 hari adalah 0,968 MPa atau setara dengan 9,68 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 7,260 kN.



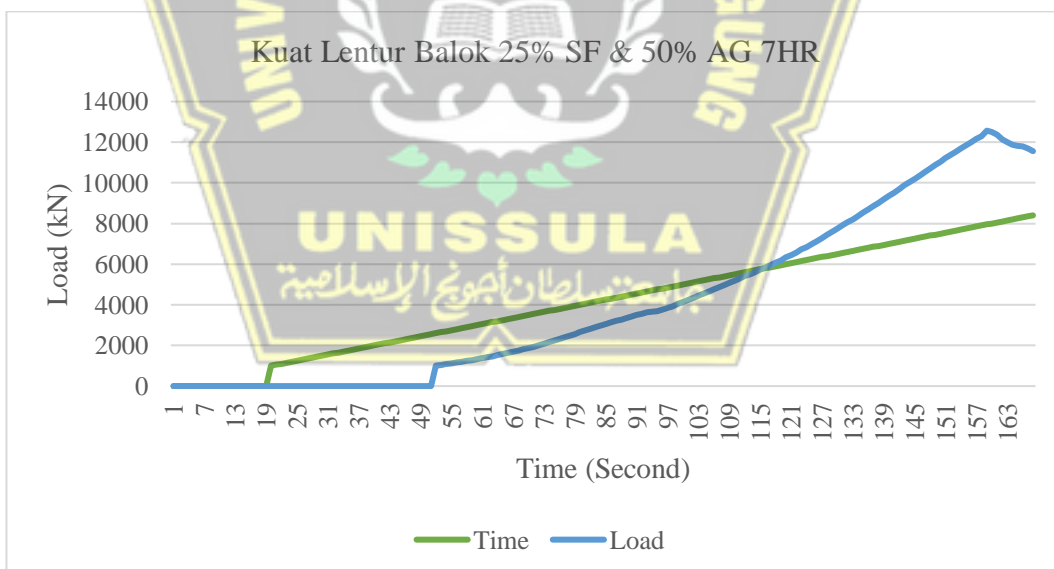
Gambar 4.16. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 2* Umur 7 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 7 hari adalah 1,196 MPa atau setara dengan 11,96 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 8,973 kN.



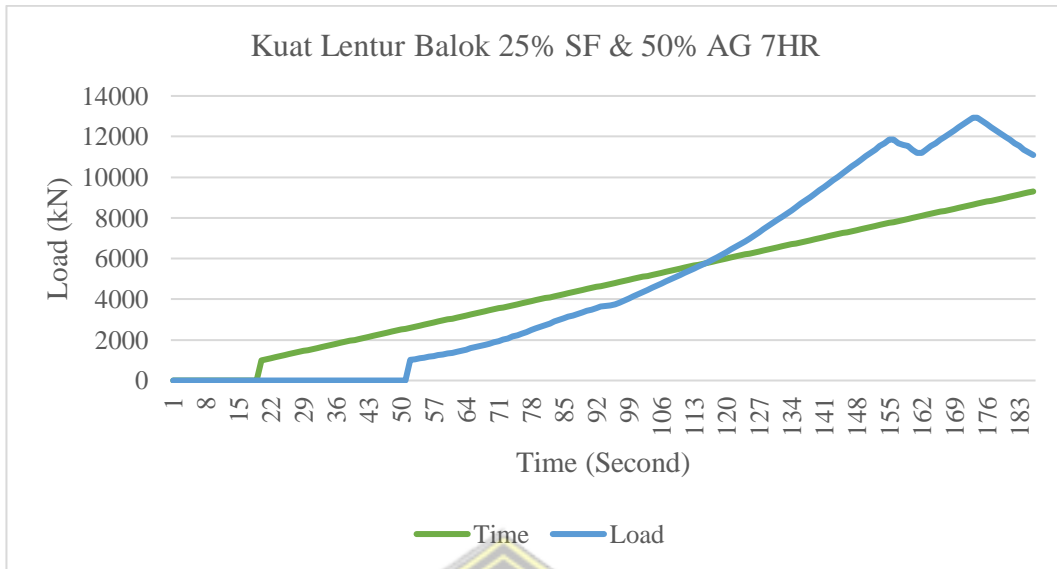
Gambar 4.17. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 2* Umur 7 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 7 hari adalah 1,583 MPa atau setara dengan 15,83 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 11,873 kN.



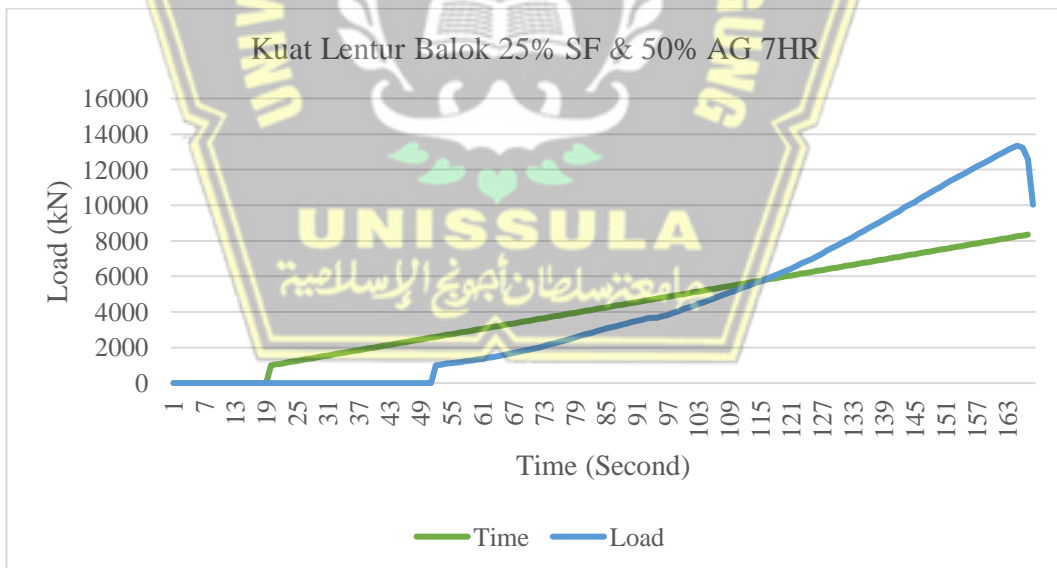
Gambar 4.18. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 3* Umur 7 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 7 hari adalah 1,652 MPa atau setara dengan 16,52 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 12,390 kN.



Gambar 4.19. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 3* Umur 7 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 7 hari adalah 1,724 MPa atau setara dengan 17,24 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 12,930 kN.



Gambar 4.20. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 3* Umur 7 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 7 hari adalah 1,780 MPa atau setara dengan 17,80 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 13,350 kN.

4.7.3. Kuat Tekan Beton Mortar Busa 28 Hari

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Data hasil pengujian kuat tekan beton silinder mortar busa umur 28 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.21. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 28 Hari *Mix Desain* 1 (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain</i> 1	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Tekan Aktual Silinder (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	01/12/2023	29/12/2023	28	8,72	77,891	4,408	44,08
2	01/12/2023	29/12/2023	28	8,78	79,593	4,504	45,04
3	01/12/2023	29/12/2023	28	8,94	129,818	7,346	73,46
Rata-Rata				8,81	95,767	5,419	54,19

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder *mix desain* 1 pada umur beton 28 hari adalah 5,419 MPa atau setara dengan 54,19 kg/cm².

Tabel 4.22. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 28 Hari *Mix Desain* 2 (15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain</i> 2	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Tekan Aktual Silinder (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	24/11/2023	22/12/2023	28	10,04	181,509	10,271	102,71
2	24/11/2023	22/12/2023	28	10,34	190,021	10,753	107,53
3	24/11/2023	22/12/2023	28	10,78	203,281	11,503	115,03
Rata-Rata				10,39	191,604	10,842	108,42

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder *mix desain* 2 pada umur beton 28 hari adalah 10,842 MPa atau setara dengan 108,42 kg/cm².

Tabel 4.23. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Silinder Umur 28 Hari *Mix Desain* 3 (25% SF dan 50% AS)

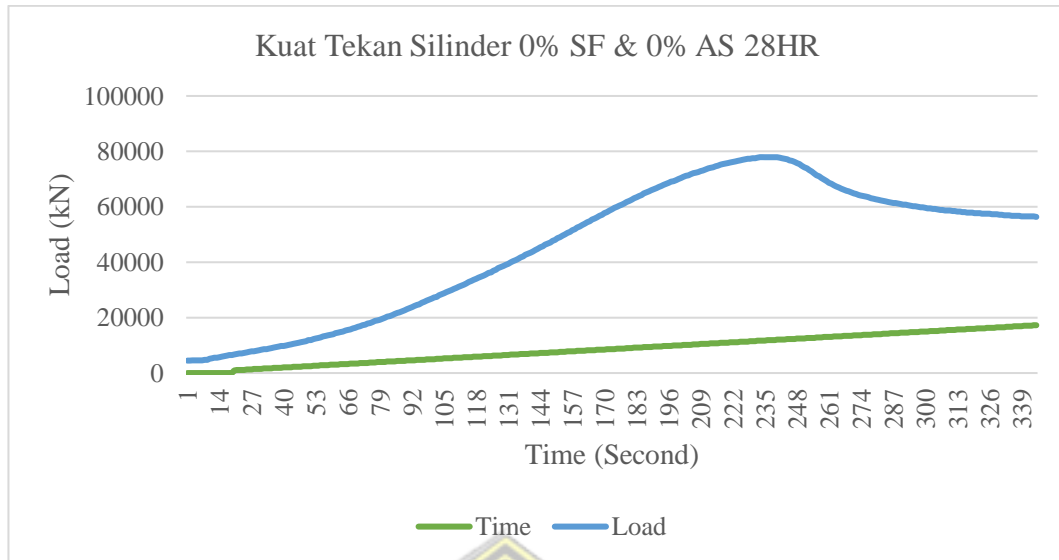
<i>Mix Desain</i> 3	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Tekan Aktual Silinder (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	01/11/2023	29/12/2023	28	10,81	244,705	13,847	138,47
2	01/11/2023	29/12/2023	28	11,06	258,798	14,645	146,45
3	01/11/2023	29/12/2023	28	11,29	265,916	15,048	150,48
Rata-Rata				11,05	256,473	14,513	145,13

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder *mix desain* 3 pada umur beton 28 hari adalah 14,513 MPa atau setara dengan 145,13 kg/cm².

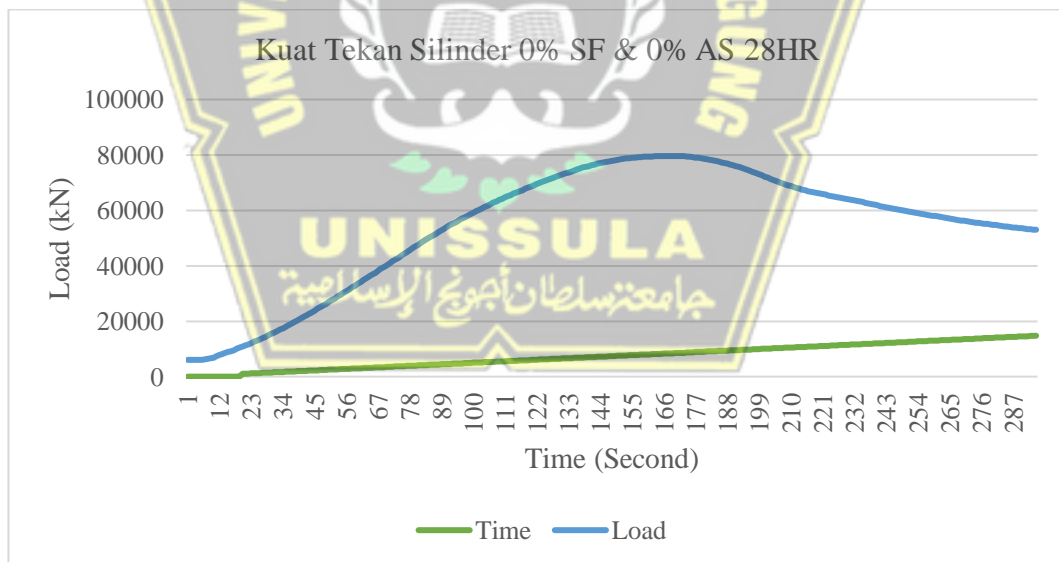
Dari tabel 4.21, tabel 4.22, dan tabel 4.23 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton silinder mortar busa dengan umur 28 hari. Jumlah sampel masing-masing *mix desain* benda uji adalah 3 buah benda uji, dan dengan total 3 *mix desain* menjadi 9 buah benda uji. Pada ketiga *mix desain* tersebut terdapat perbedaan variasi komposisi bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag yang berbeda, perbedaan variasi bahan tambah tersebut adalah 0% SF dan 0% AG (*mix desain* 1), 15% SF dan 25% AG (*mix desain* 2), serta 25% SF dan 50% AG (*mix desain* 3), kemudian pada ketiga *mix desain* tersebut juga terdapat campuran *foam agent* dengan presentase 0,40% dan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase 0,20%. Sehingga dari perbedaan presentase bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag tersebut didapatkan hasil kuat tekan yang berbeda.

Hasil nilai uji kuat tekan yang tertinggi adalah 15,048 MPa atau setara dengan 150,48 kg/cm², hasil tersebut didapatkan pada *mix desain* 3 dan hasil nilai uji kuat tekan terendah adalah 4,408 MPa atau setara dengan 40,08 kg/cm² yang didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan pada *mix desain* 1. Dibawah ini adalah hasil bacaan grafik uji kuat tekan pada beton silinder mortar busa yang dihasilkan dari pengujian mesin uji kuat tekan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



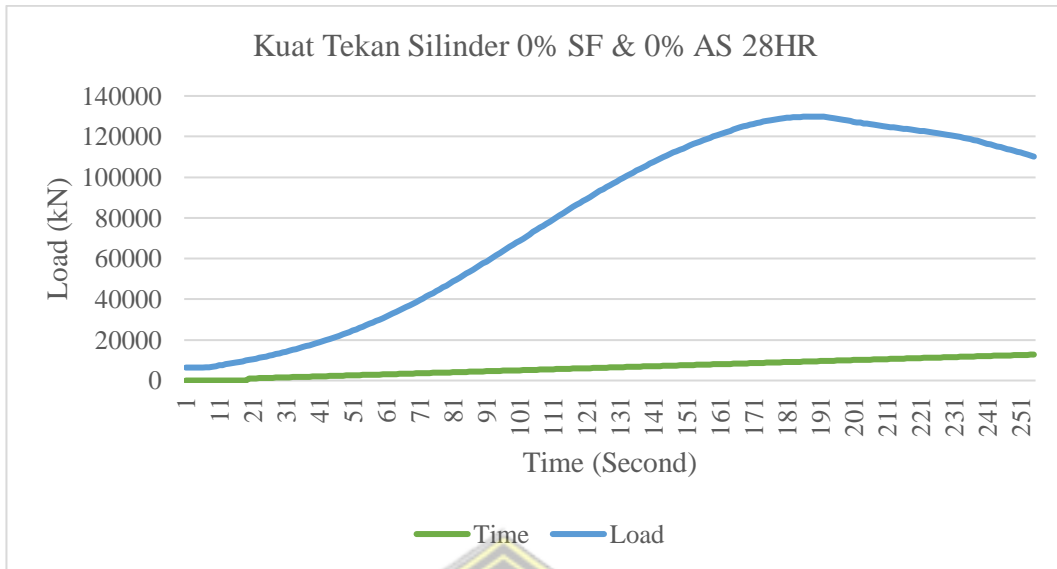
Gambar 4.21. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 1* Umur 28 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah 4,408 MPa atau setara dengan 44,08 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 77,891 kN.



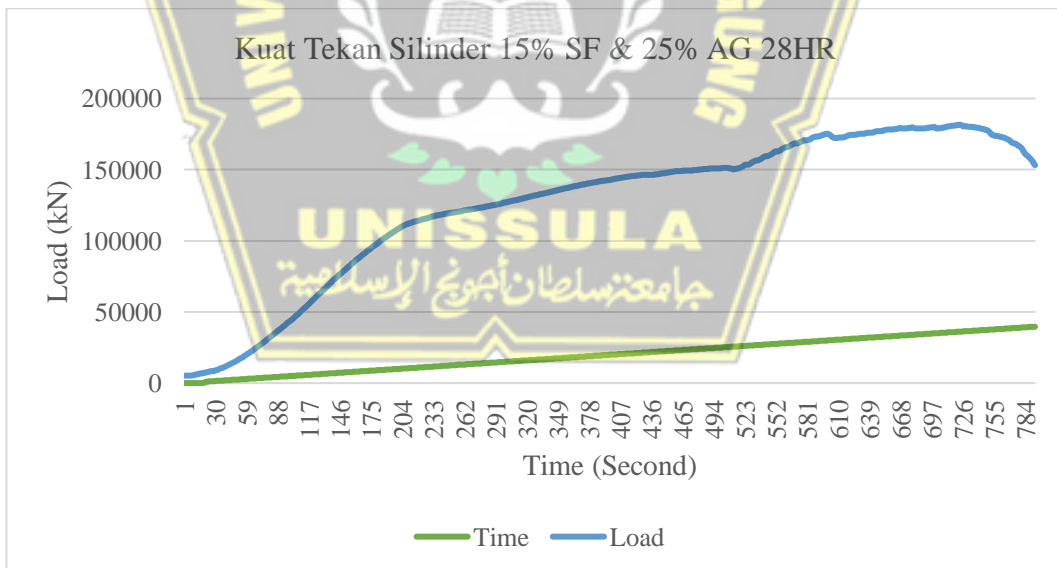
Gambar 4.22. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 1* Umur 28 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 28 hari adalah 4,504 MPa atau setara dengan 45,04 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 79,593 kN.



Gambar 4.23. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 1* Umur 28 Hari (Sampel 3)

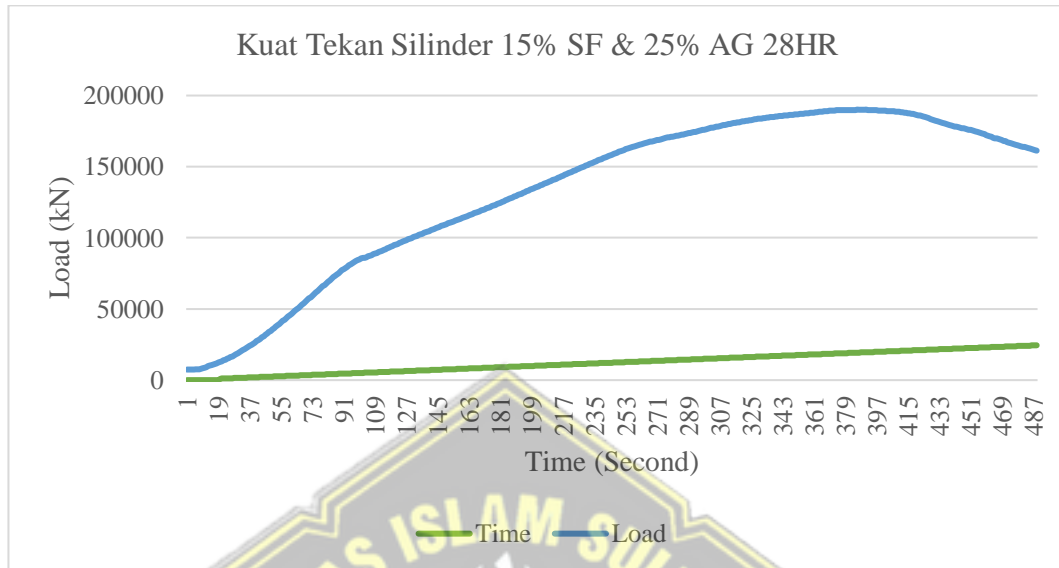
Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 28 hari adalah 7,346 MPa atau setara dengan 73,46 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 129,818 kN.



Gambar 4.24. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 2* Umur 28 Hari (Sampel 1)

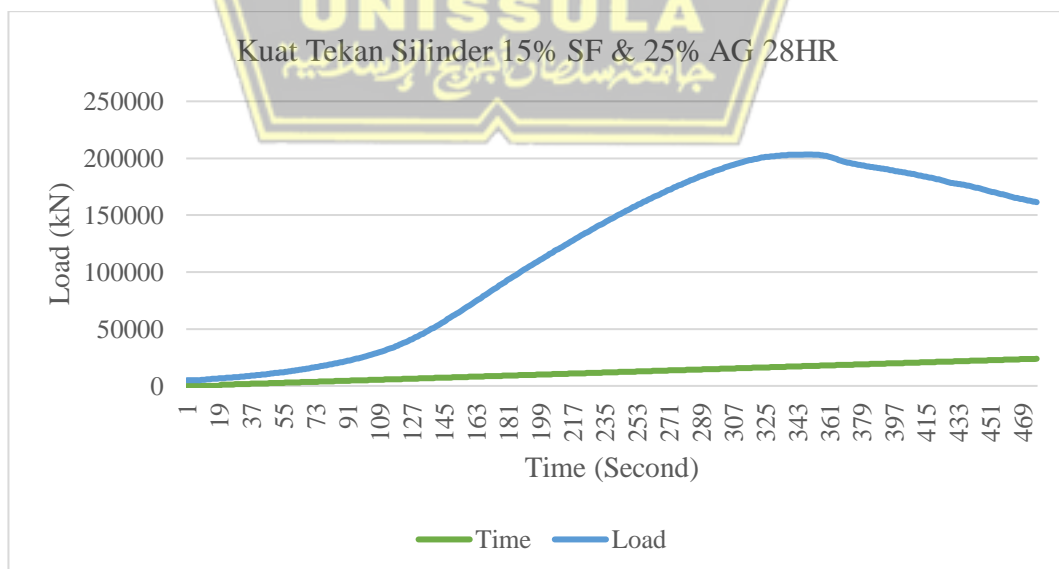
Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah

10,271 MPa atau setara dengan 102,71 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 181,509 kN.



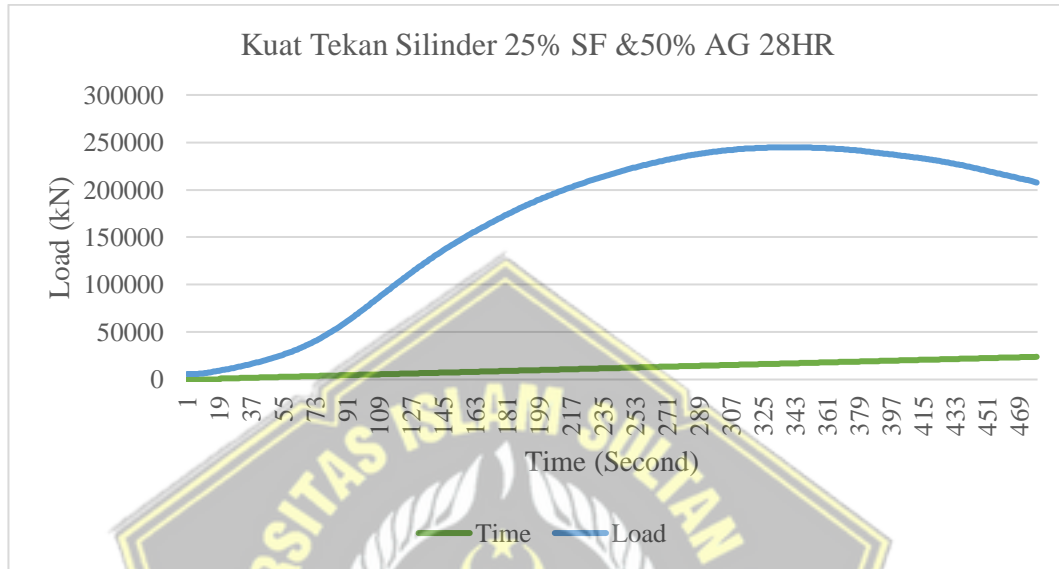
Gambar 4.25. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 2* Umur 28 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah 10,271 MPa atau setara dengan 102,71 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 181,509 kN.



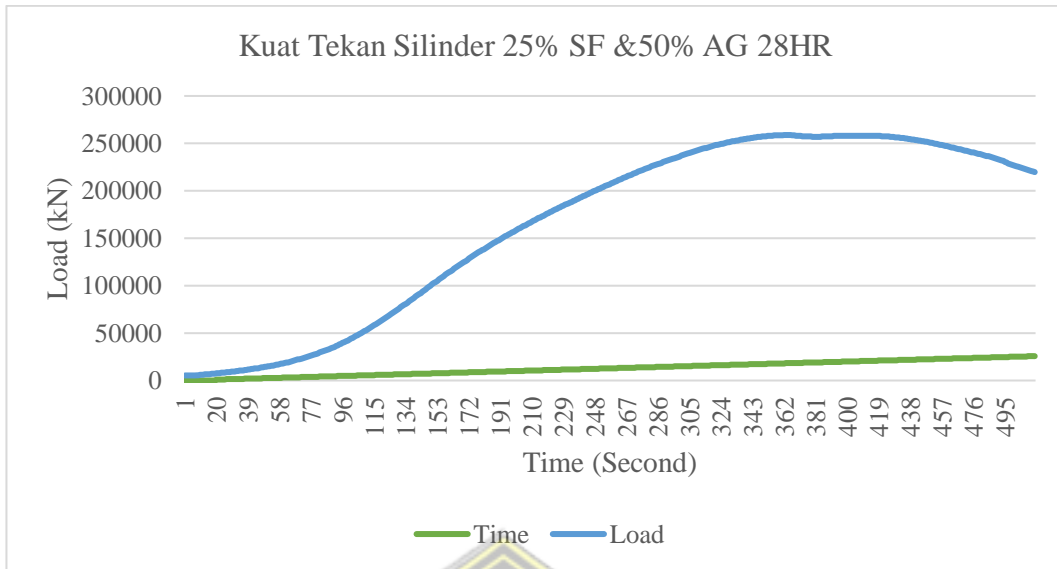
Gambar 4.26. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 2* Umur 28 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 28 hari adalah 11,503 MPa atau setara dengan 115,03 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 203,281 kN.



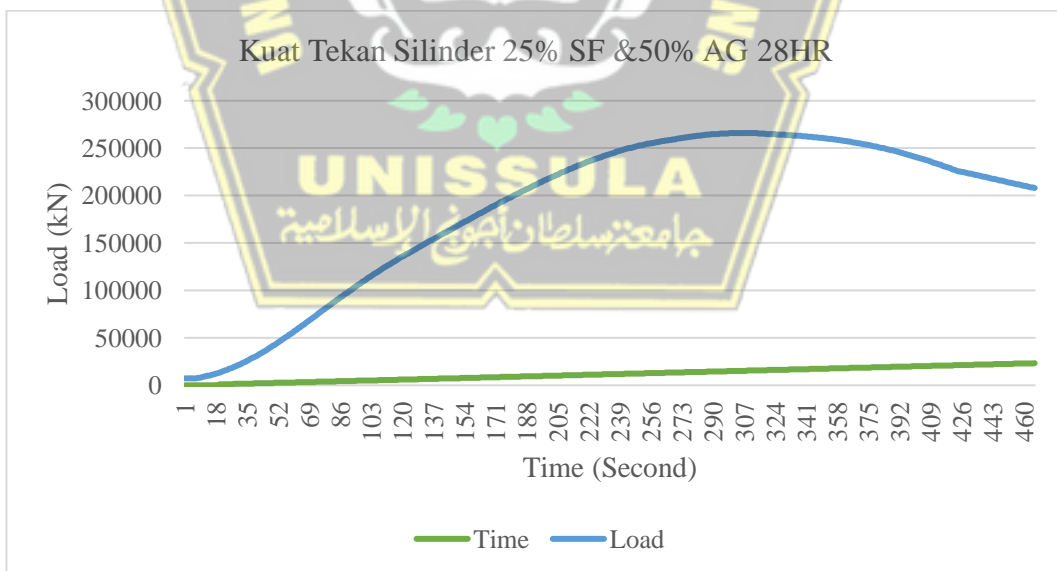
Gambar 4.27. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 3* Umur 28 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah 13,847 MPa atau setara dengan 138,47 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 244,705 kN.



Gambar 4.28. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 3* Umur 28 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 28 hari adalah 14,645 MPa atau setara dengan 146,45 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 258,798 kN.



Gambar 4.29. Grafik Kuat Tekan *Mix Desain 3* Umur 28 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat tekan beton silinder *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 28 hari adalah

15,048 MPa atau setara dengan $150,48 \text{ kg/cm}^2$ dengan gaya tekan sebesar 265,916 kN.

4.7.4. Kuat Lentur Beton Mortar Busa 28 Hari

Pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Data hasil pengujian kuat lentur beton balok mortar busa umur 28 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.24. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 28 Hari *Mix Desain* 1 (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain</i> 1	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Tekan Aktual Balok (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	05/11/2023	02/01/2024	28	22,64	2,592	0,346	3,46
2	05/11/2023	02/01/2024	28	23,02	3,908	0,521	5,21
3	05/11/2023	02/01/2024	28	23,24	4,673	0,623	6,23
Rata-Rata				22,97	3,724	0,497	4,97

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan rata-rata nilai kuat lentur beton balok *mix desain* 1 pada umur beton 28 hari adalah 0,497 MPa atau setara dengan $4,97 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 4.25. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 28 Hari *Mix Desain* 2 (15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain</i> 2	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Tekan Aktual Balok (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	05/11/2023	02/01/2024	28	25,72	14,880	1,984	19,84
2	05/11/2023	02/01/2024	28	26,14	16,335	2,178	21,78
3	05/11/2023	02/01/2024	28	26,59	16,654	2,220	22,20
Rata-Rata				26,15	15,956	2,127	21,27

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan rata-rata nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* pada umur beton 28 hari adalah 2,127 MPa atau setara dengan 21,27 kg/cm².

Tabel 4.26. Hasil Pengujian Beton Mortar Busa Balok Umur 28 Hari *Mix Desain 3* (25% SF dan 50% AS)

<i>Mix Desain 3</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Tekan Aktual Balok (Kg/cm ²)
	Pembuatan	Pengujian					
1	05/11/2023	02/01/2024	28	26,51	16,178	2,157	21,57
2	05/11/2023	02/01/2024	28	26,78	17,963	2,347	23,47
3	05/11/2023	02/01/2024	28	27,00	17,966	2,395	23,95
Rata-Rata				26,76	17,369	2,300	23,00

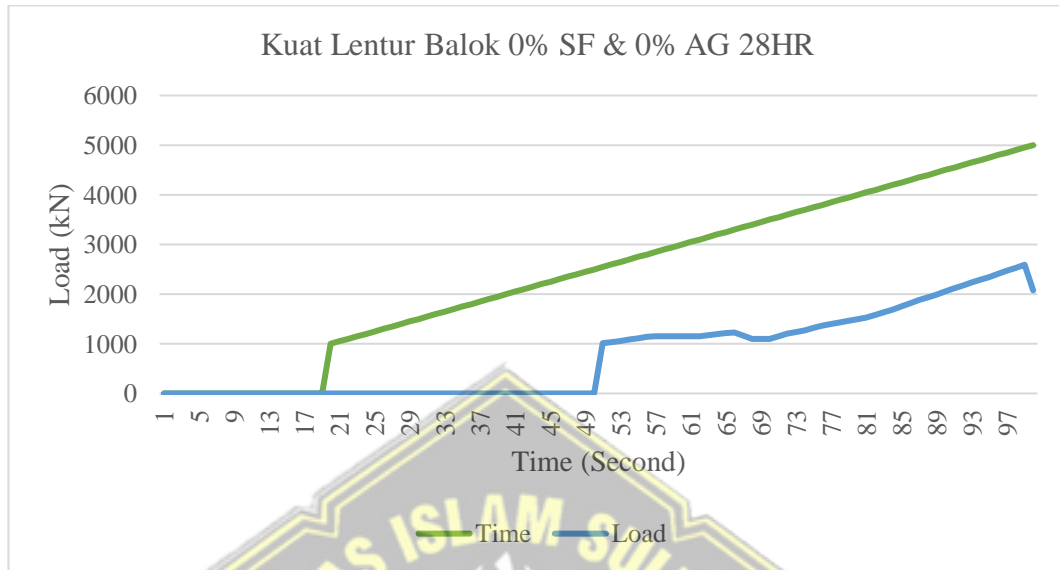
(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan rata-rata nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* pada umur beton 28 hari adalah 2,300 MPa atau setara dengan 23,00 kg/cm².

Dari tabel 4.24, tabel 4.25, dan tabel 4.26 menunjukkan hasil pengujian kuat lentur beton balok mortar busa dengan umur 28 hari. Jumlah sampel masing-masing *mix desain* benda uji adalah 3 buah benda uji, dan dengan total 3 *mix desain* menjadi 9 buah benda uji. Pada ketiga *mix desain* tersebut terdapat perbedaan variasi komposisi bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag yang berbeda, perbedaan variasi bahan tambah tersebut adalah 0% SF dan 0% AG (*mix desain 1*), 15% SF dan 25% AG (*mix desain 2*), serta 25% SF dan 50% AG (*mix desain 3*), kemudian pada ketiga *mix desain* tersebut juga terdapat campuran *foam agent* dengan presentase 0,40% dan zat aditif *superplasticizer* dengan presentase 0,20%. Sehingga dari perbedaan presentase bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag tersebut didapatkan hasil kuat lentur yang berbeda.

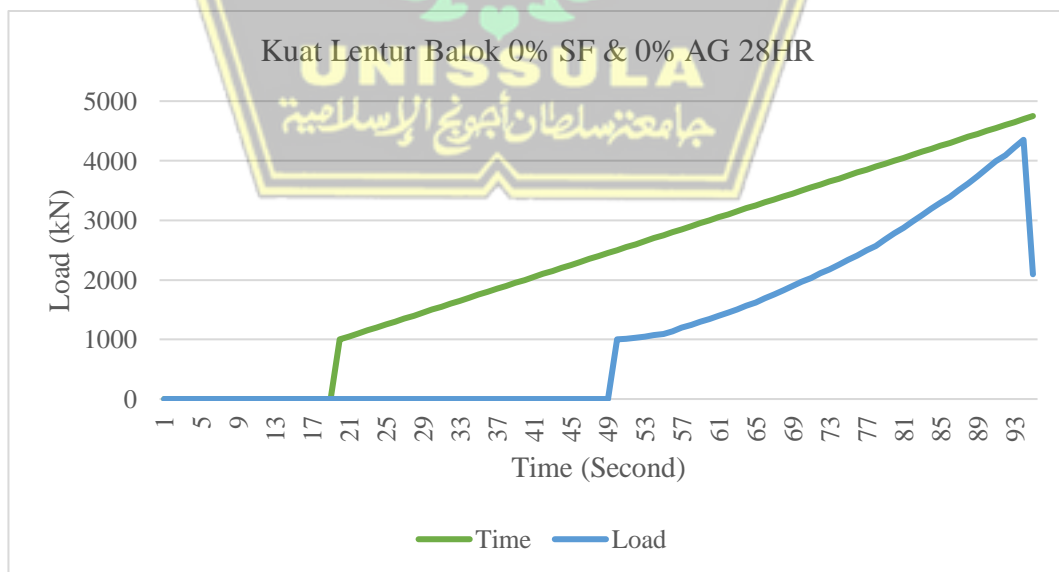
Hasil nilai uji kuat lentur yang tertinggi adalah 2,395 MPa atau setara dengan 23,95 kg/cm², hasil tersebut didapatkan pada *mix desain 3* dan hasil nilai uji kuat lentur terendah adalah 0,346 MPa atau setara dengan 3,46 kg/cm² yang didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur pada *mix desain 1*. Dibawah ini adalah hasil bacaan grafik uji kuat lentur pada beton balok mortar busa yang dihasilkan dari pengujian

mesin uji kuat lentur Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



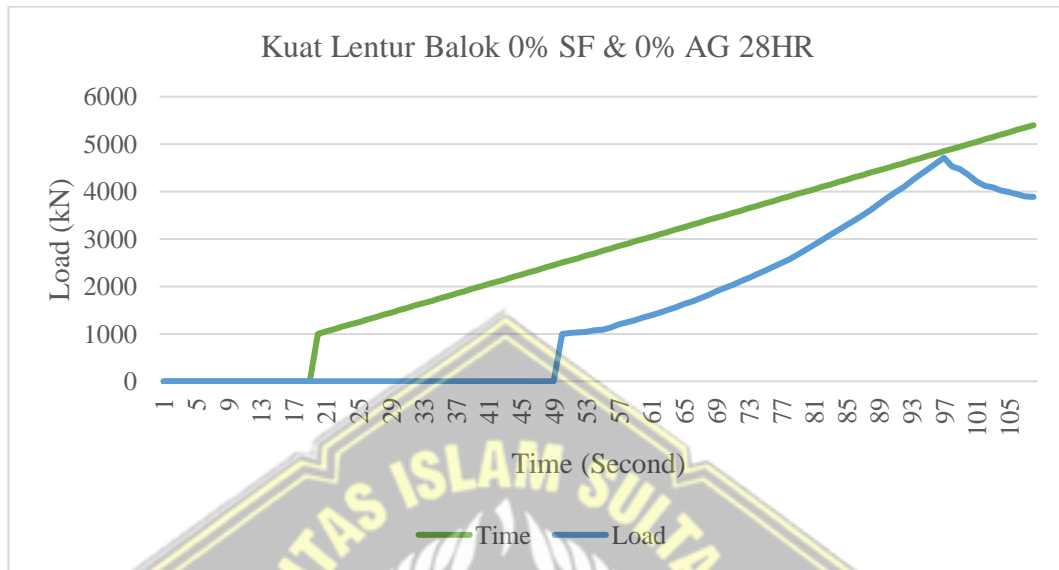
Gambar 4.30. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 1* Umur 28 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah 0,346 MPa atau setara dengan 3,46 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 2,592 kN.



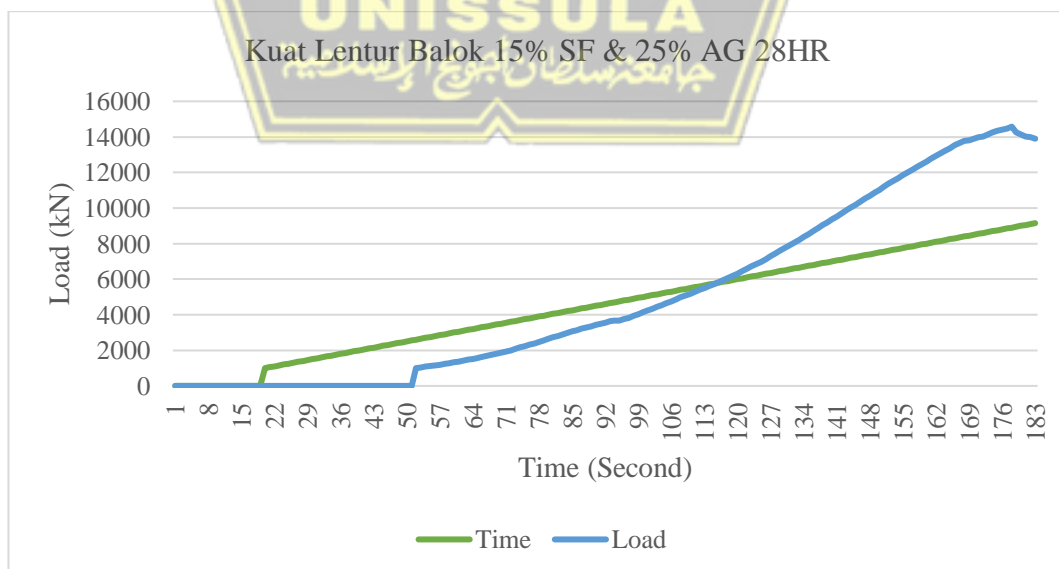
Gambar 4.31. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 1* Umur 28 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 28 hari adalah 0,521 MPa atau setara dengan 5,21 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 3,908 kN.



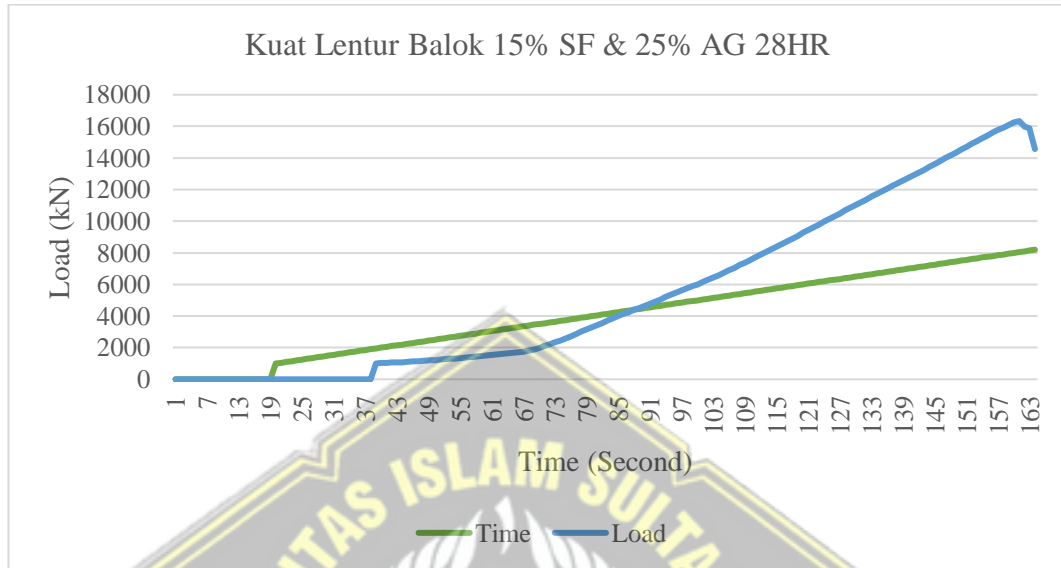
Gambar 4.32. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 1* Umur 28 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 1* (0% SF dan 0% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 28 hari adalah 0,623 MPa atau setara dengan 6,23 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 4,673 kN.



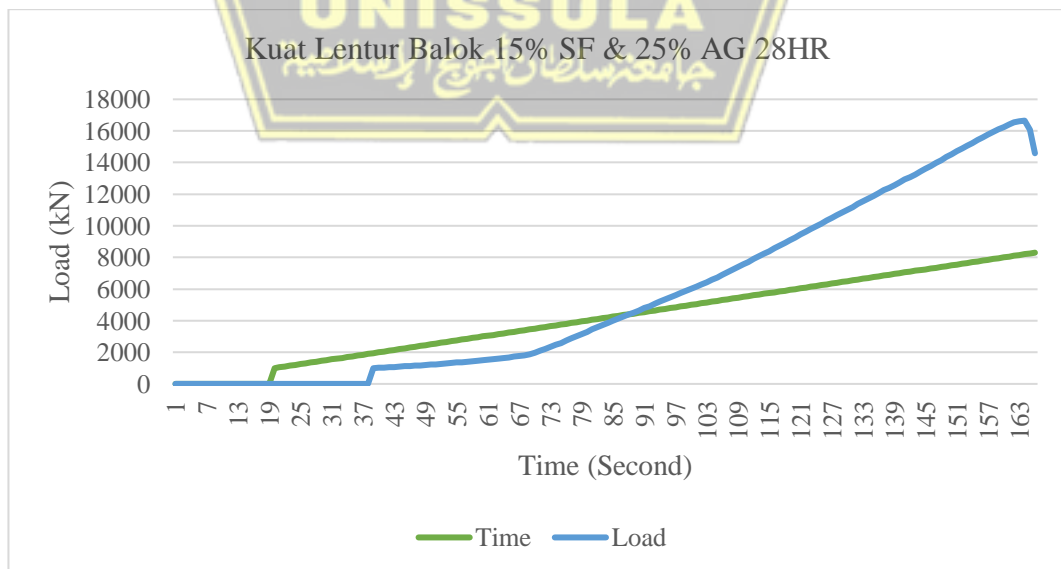
Gambar 4.33. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 2* Umur 28 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah 1,984 MPa atau setara dengan 19,84 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 14,880 kN.



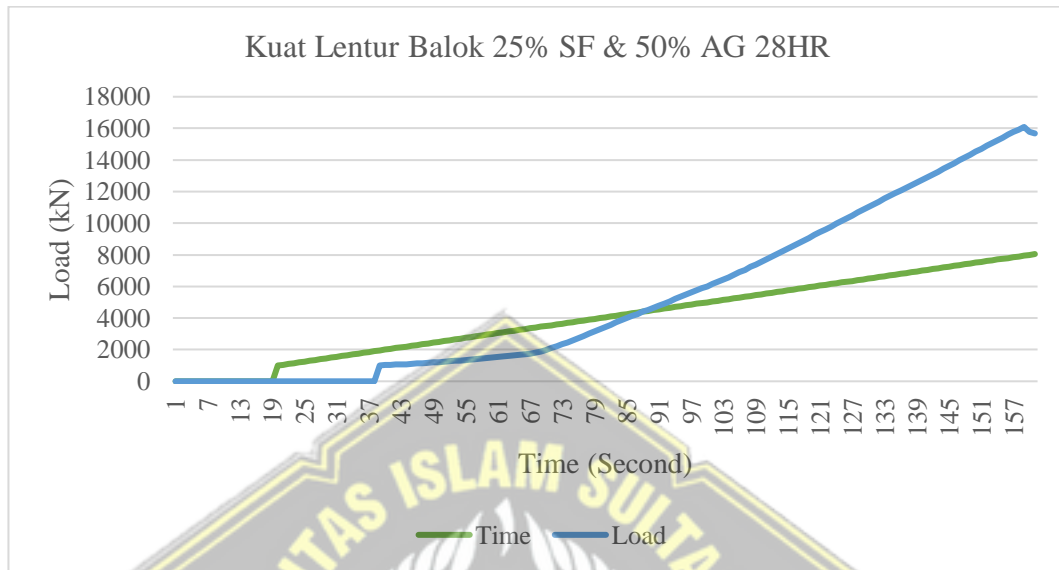
Gambar 4.34. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 2* Umur 28 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 28 hari adalah 2,178 MPa atau setara dengan 21,78 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 16,335 kN.



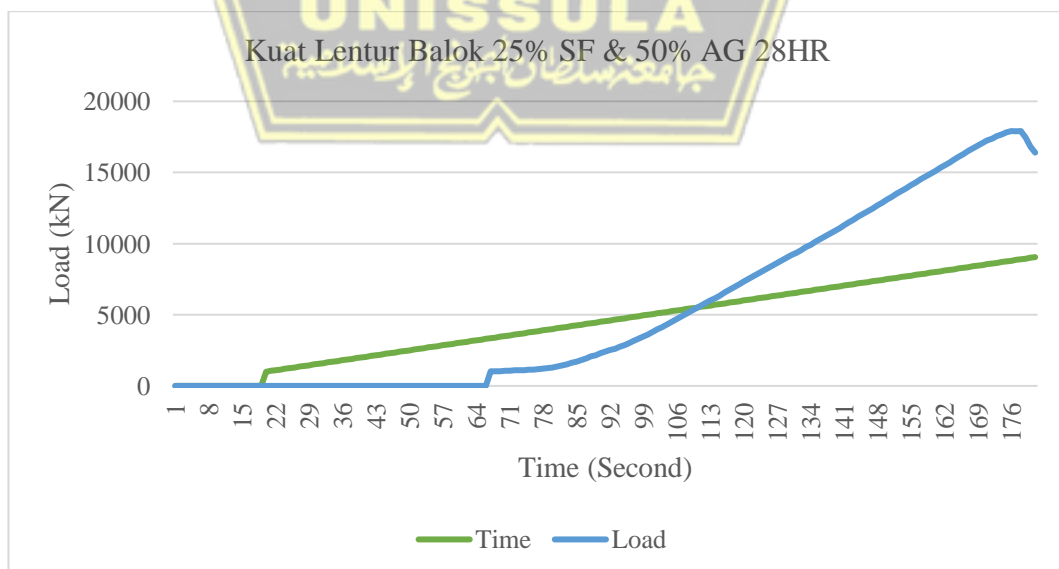
Gambar 4.35. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 2* Umur 28 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 2* (15% SF dan 25% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 28 hari adalah 2,220 MPa atau setara dengan 22,20 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 16,654 kN.



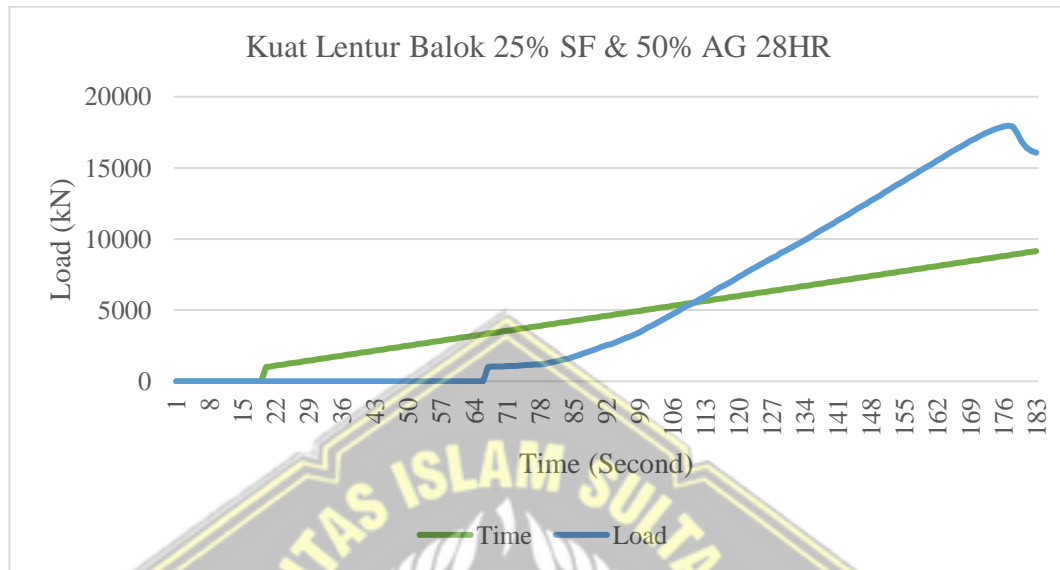
Gambar 4.36. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 3* Umur 28 Hari (Sampel 1)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 1 untuk umur beton 28 hari adalah 2,157 MPa atau setara dengan 21,57 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 16,178 kN.



Gambar 4.37. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 3* Umur 28 Hari (Sampel 2)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 2 untuk umur beton 28 hari adalah 2,347 MPa atau setara dengan 23,47 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 17,963 kN.



Gambar 4.38. Grafik Kuat Lentur *Mix Desain 3* Umur 28 Hari (Sampel 3)

Dari hasil pembacaan grafik diatas didapatkan nilai kuat lentur beton balok *mix desain 3* (25% SF dan 50% AG) pada sampel 3 untuk umur beton 28 hari adalah 2,395 MPa atau setara dengan 23,95 kg/cm² dengan gaya tekan sebesar 17,966 kN.

4.8. Kuat Tekan dan Kuat Lentur Rata- Rata Beton Mortar Busa

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan peneliti mengambil dan mendapatkan data hasil kuat tekan dan kuat lentur rata-rata beton mortar busa. Masing-masing hasil data kuat tekan dan kuat lentur rata-rata yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

4.8.1. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa 7 Hari

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Data hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton silinder mortar busa pada umur 7 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

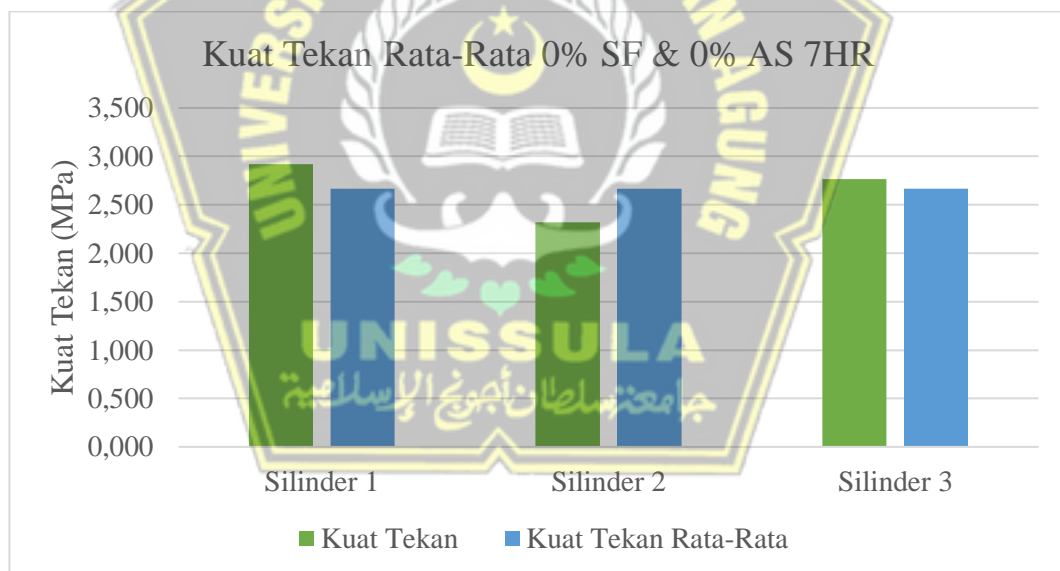
Tabel 4.27. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari *Mix Desain 1* (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain 1</i>	Tanggal		Umur	Berat	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Silinder	Kuat Tekan Rata-Rata
	Pembuatan	Pengujian	(Hari)	(Kg)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	29/11/2023	06/12/2023	7	8,19	51,549	2,917	2,667
2	29/11/2023	06/12/2023	7	8,27	41,003	2,320	
3	29/11/2023	06/12/2023	7	8,33	48,853	2,765	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 7 hari adalah 2,667 MPa.

Data hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 7 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.39. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata *Mix Desain 1* Umur 7 Hari

Pada gambar 4.39 menunjukkan hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 7 hari yaitu 2,667 MPa.

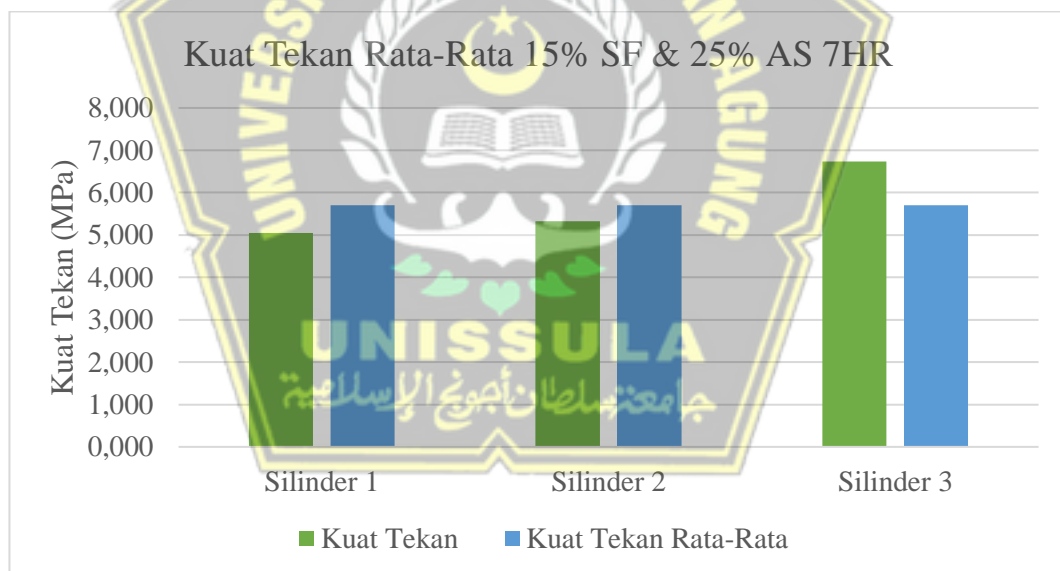
Tabel 4.28. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari *Mix Desain 2* (15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain 2</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
	Pembuatan	Pengujian					
1	06/11/2023	13/12/2023	7	10,40	89,146	5,045	5,705
2	06/11/2023	13/12/2023	7	10,44	94,159	5,328	
3	06/11/2023	13/12/2023	7	10,58	119,130	6,741	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 7 hari adalah 5,705 MPa.

Data hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 7 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.40. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata *Mix Desain 2* Umur 7 Hari

Pada gambar 4.40 menunjukkan hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 7 hari yaitu 5,705 MPa.

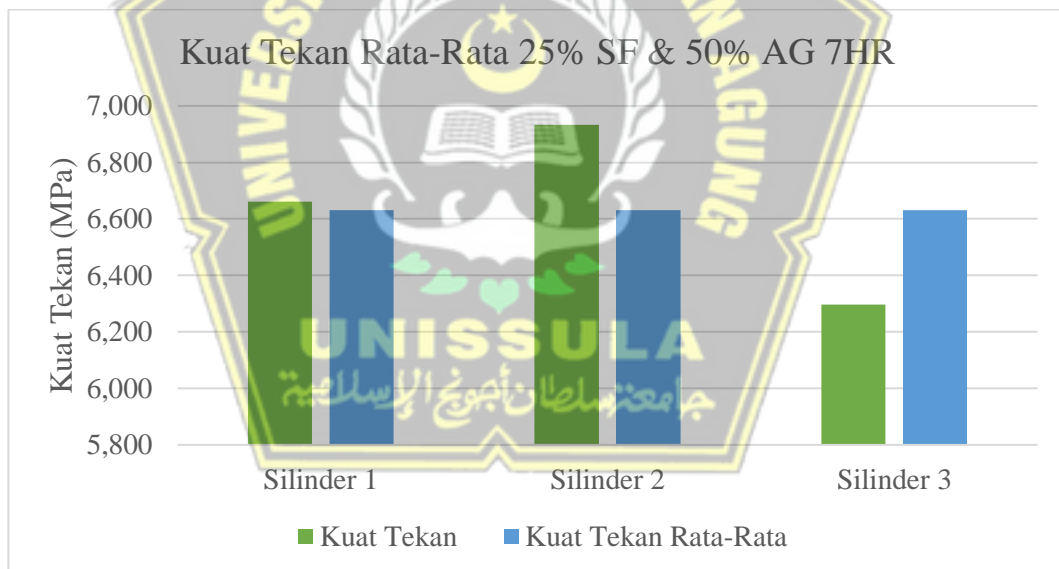
Tabel 4.29. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari *Mix Desain 3* (25% SF dan 50% AS)

<i>Mix Desain 3</i>	Tanggal		Umur	Berat	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Silinder	Kuat Tekan Rata-Rata
	Pembuatan	Pengujian	(Hari)	(Kg)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	06/11/2023	13/12/2023	7	10,68	117,711	6,661	6,631
2	06/11/2023	13/12/2023	7	10,90	122,535	6,934	
3	06/11/2023	13/12/2023	7	11,20	111,279	6,297	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 3* pada umur beton 7 hari adalah 6,631 MPa.

Data hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 7 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.41. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata *Mix Desain 3* Umur 7 Hari

Pada gambar 4.41 menunjukkan hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 3* pada umur beton 7 hari yaitu 6,631 MPa.

Berdasarkan tabel 4.27, 4.28, dan 4.29 serta hasil pembacaan grafik pada gambar 4.39, 4.40 dan 4.41 didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton mortar busa umur 7 hari yang tertinggi adalah pada *mix desain 3* (25% SF dan 50% AS) dengan nilai

rata-rata sebesar 6,631 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata beton mortar busa umur 7 hari yang terendah adalah pada *mix desain* 1 (0% SF dan 0% AS) dengan nilai rata-rata sebesar 2,667 MPa.

4.8.2. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa 7 Hari

Pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Data hasil pengujian kuat lentur rata-rata beton balok mortar busa pada umur 7 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

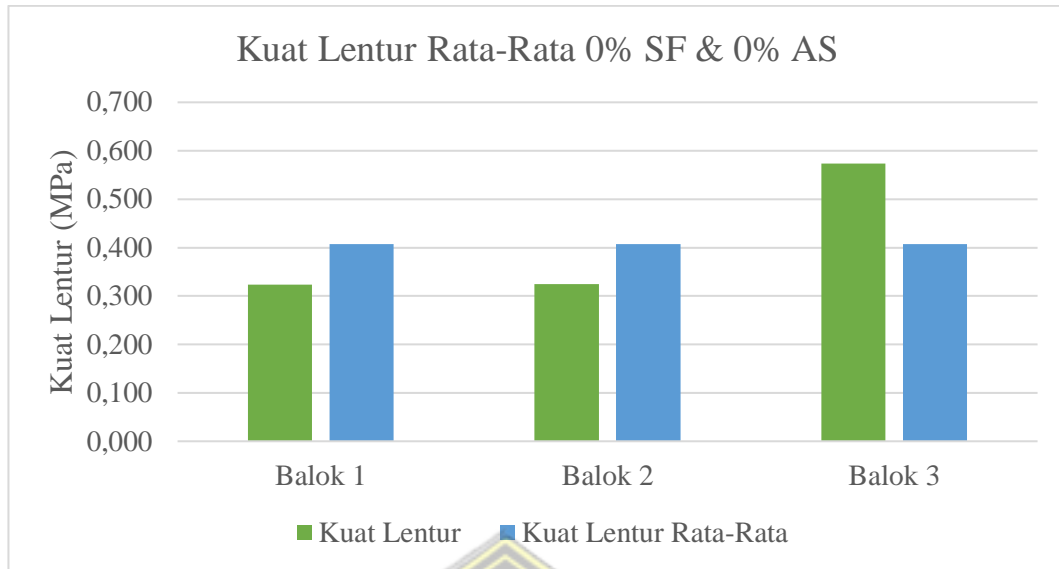
Tabel 4.30. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari *Mix Desain* 1 (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain</i> 1	Tanggal		Umur	Berat	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Balok	Kuat Lentur Rata-Rata
	Pembuatan	Pengujian	(Hari)	(Kg)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	06/11/2023	13/12/2023	7	21,44	2,431	0,324	0,408
2	06/11/2023	13/12/2023	7	22,78	2,437	0,325	
3	06/11/2023	13/12/2023	7	23,89	4,305	0,574	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain* 1 pada umur beton 7 hari adalah 0,408 MPa.

Data hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain* 1 pada umur beton 7 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.42. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata *Mix Desain 1* Umur 7 Hari

Pada gambar 4.42 menunjukkan hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 1* pada umur beton 7 hari yaitu 0,408 MPa.

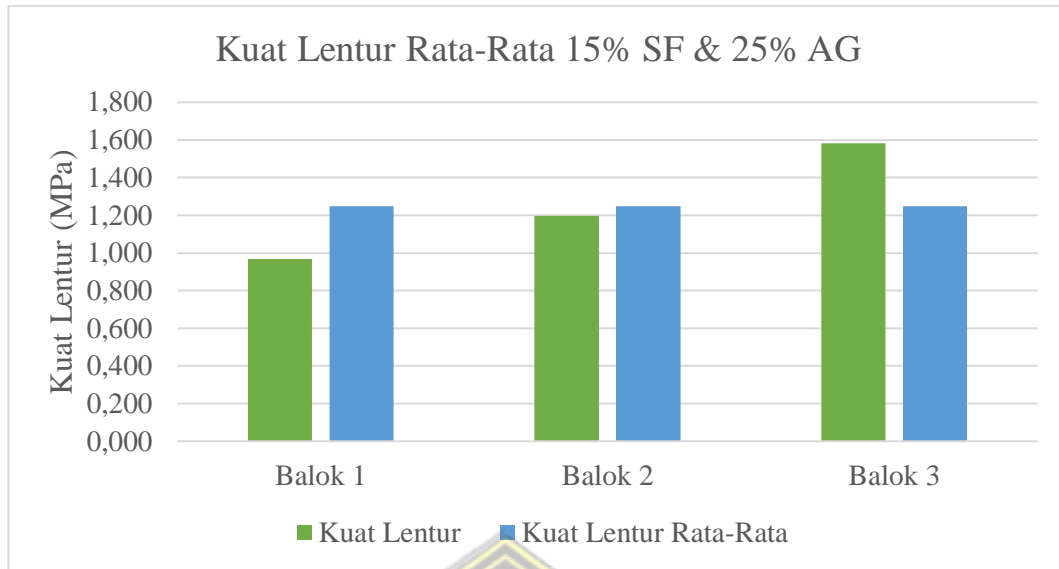
Tabel 4.31. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari *Mix Desain 2* (15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain 2</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
	Pembuatan	Pengujian					
1	07/11/2023	14/12/2023	7	21,95	7,260	0,968	1,249
2	07/11/2023	14/12/2023	7	22,74	8,973	1,196	
3	07/11/2023	14/12/2023	7	24,63	11,873	1,583	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 2* pada umur beton 7 hari adalah 1,249 MPa.

Data hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 2* pada umur beton 7 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.43. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata *Mix Desain 2* Umur 7 Hari

Pada gambar 4.43 menunjukkan hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 2* pada umur beton 7 hari yaitu 1,249 MPa.

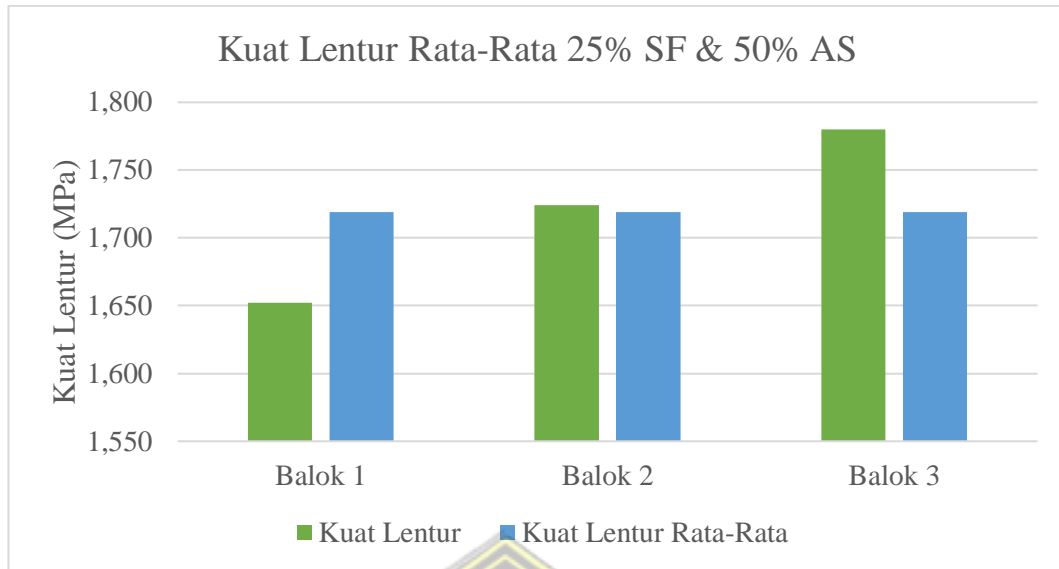
Tabel 4.32. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 7 Hari *Mix Desain 3* (25% SF dan 50% AS)

<i>Mix Desain 3</i>	Tanggal		Umur	Berat	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Balok	Kuat Lentur Rata-Rata
	Pembuatan	Pengujian	(Hari)	(Kg)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	07/11/2023	14/12/2023	7	26,02	12,390	1,652	1,719
2	07/11/2023	14/12/2023	7	26,67	12,930	1,724	
3	07/11/2023	14/12/2023	7	26,98	13,350	1,780	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 3* pada umur beton 7 hari adalah 1,719 MPa.

Data hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 3* pada umur beton 7 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.44. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata *Mix Desain 3* Umur 7 Hari

Pada gambar 4.44 menunjukkan hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 3* pada umur beton 7 hari yaitu 1,719 MPa.

Berdasarkan data tabel 4.30, 4.31, dan 4.32 serta hasil pembacaan grafik pada gambar 4.42, 4.43, dan 4.44 didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton mortar busa umur 7 hari yang tertinggi adalah pada *mix desain 3* (25% SF dan 50% AS) dengan nilai rata-rata sebesar 1,719 MPa dan nilai kuat lentur rata-rata beton mortar busa umur 7 hari yang terendah adalah pada *mix desain 1* (0% SF dan 0% AS) dengan nilai rata-rata sebesar 0,408 MPa.

4.8.3. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa 28 Hari

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Data hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton silinder mortar busa pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

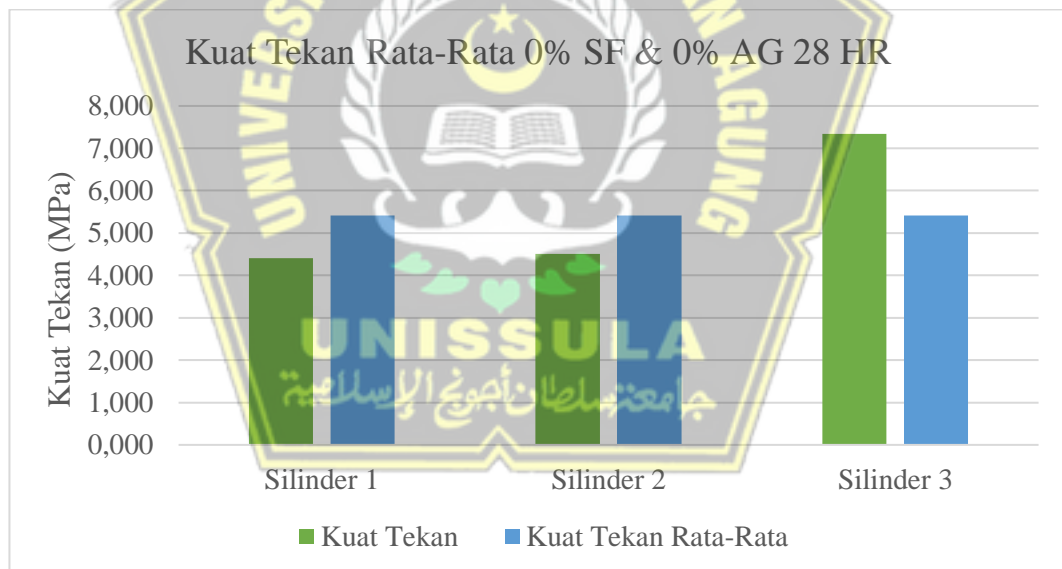
Tabel 4.33. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari *Mix Desain 1* (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain 1</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
	Pembuatan	Pengujian					
1	01/12/2023	29/12/2023	28	8,72	77,891	4,408	5,419
2	01/12/2023	29/12/2023	28	8,78	79,593	4,504	
3	01/12/2023	29/12/2023	28	8,94	129,818	7,346	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 28 hari adalah 5,419 MPa.

Data hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 28 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.45. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata *Mix Desain 1* Umur 28 Hari

Pada gambar 4.45 menunjukkan hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 1* pada umur beton 28 hari yaitu 5,419 MPa.

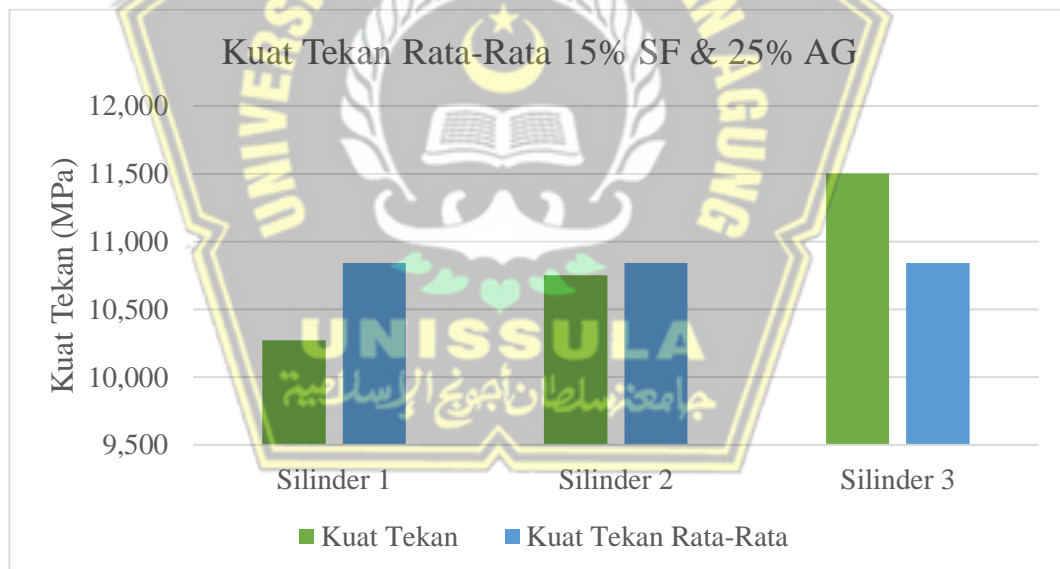
Tabel 4.34. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari *Mix Desain 2* (15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain 2</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Silinder (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
	Pembuatan	Pengujian					
1	24/11/2023	22/12/2023	28	10,04	181,509	10,271	10,842
2	24/11/2023	22/12/2023	28	10,34	190,021	10,753	
3	24/11/2023	22/12/2023	28	10,78	203,281	11,503	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 28 hari adalah 10,842 MPa.

Data hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 28 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.46. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata *Mix Desain 2* Umur 28 Hari

Pada gambar 4.46 menunjukkan hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 2* pada umur beton 28 hari yaitu 10,842 MPa.

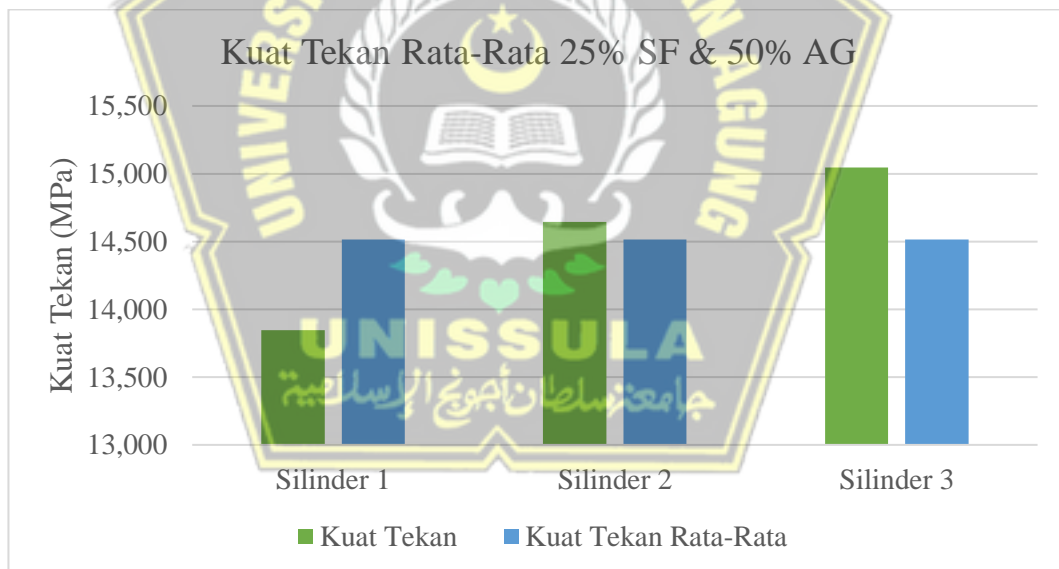
Tabel 4.35. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari *Mix Desain 3* (25% SF dan 50% AS)

<i>Mix Desain</i> 3	Tanggal		Umur	Berat	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Silinder	Kuat Tekan Rata-Rata
	Pembuatan	Pengujian	(Hari)	(Kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
1	01/11/2023	29/12/2023	28	10,81	244,705	13,847	14,513
2	01/11/2023	29/12/2023	28	11,06	258,798	14,645	
3	01/11/2023	29/12/2023	28	11,29	265,916	15,048	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 3* pada umur beton 28 hari adalah 14,513 MPa.

Data hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 3* pada umur beton 28 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.47. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata *Mix Desain 2* Umur 28 Hari

Pada gambar 4.47 menunjukkan hasil nilai kuat tekan rata-rata beton silinder *mix desain 3* pada umur beton 28 hari yaitu 14,513 MPa.

Berdasarkan data tabel 4.33,4.34, dan 4.35 serta hasil pembacaan grafik pada gambar 4.45, 4.46, dan 4.47 didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton mortar busa umur 28 hari yang tertinggi adalah pada *mix desain 3* (25% SF dan 50% AS) dengan

nilai rata-rata sebesar 14,513 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata beton mortar busa umur 28 hari yang terendah adalah pada *mix desain* 1 (0% SF dan 0% AS) dengan nilai rata-rata sebesar 5,419 MPa.

4.8.4. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa 28 Hari

Pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Data hasil pengujian kuat lentur rata-rata beton balok mortar busa pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

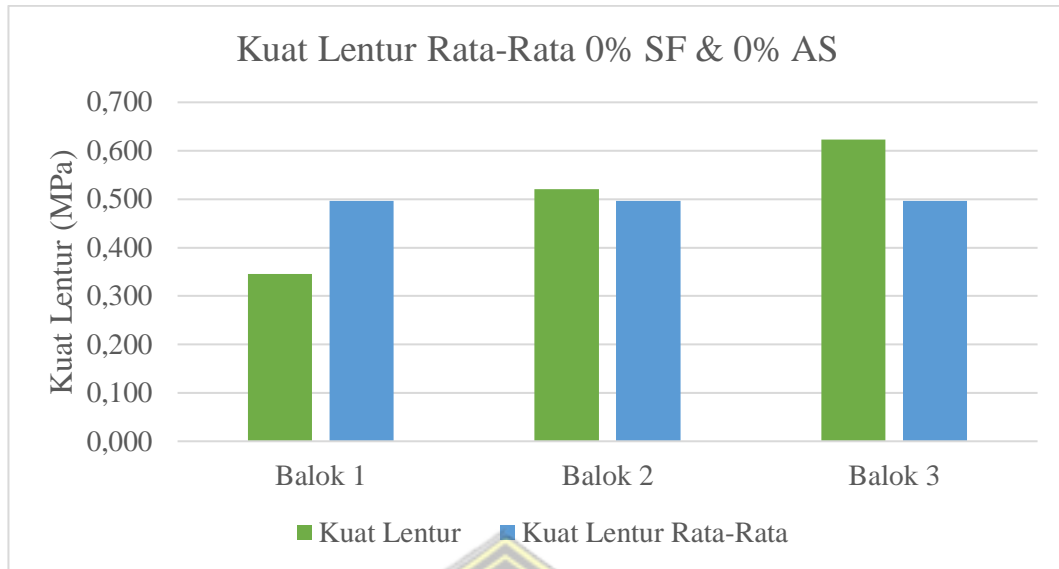
Tabel 4.36. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari *Mix Desain* 1 (0% SF dan 0% AS)

<i>Mix Desain</i> 1	Tanggal		Umur	Berat	Gaya Tekan (P)	Tekan Aktual Balok	Kuat Lentur Rata-Rata
	Pembuatan	Pengujian	(Hari)	(Kg)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	05/11/2023	02/01/2024	28	22,64	2,592	0,346	0,497
2	05/11/2023	02/01/2024	28	23,02	3,908	0,521	
3	05/11/2023	02/01/2024	28	23,24	4,673	0,623	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain* 1 pada umur beton 28 hari adalah 0,497 MPa.

Data hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain* 1 pada umur beton 28 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.48. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata *Mix Desain 1* Umur 28 Hari

Pada gambar 4.48 menunjukkan hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 1* pada umur beton 28 hari yaitu 0,497 MPa.

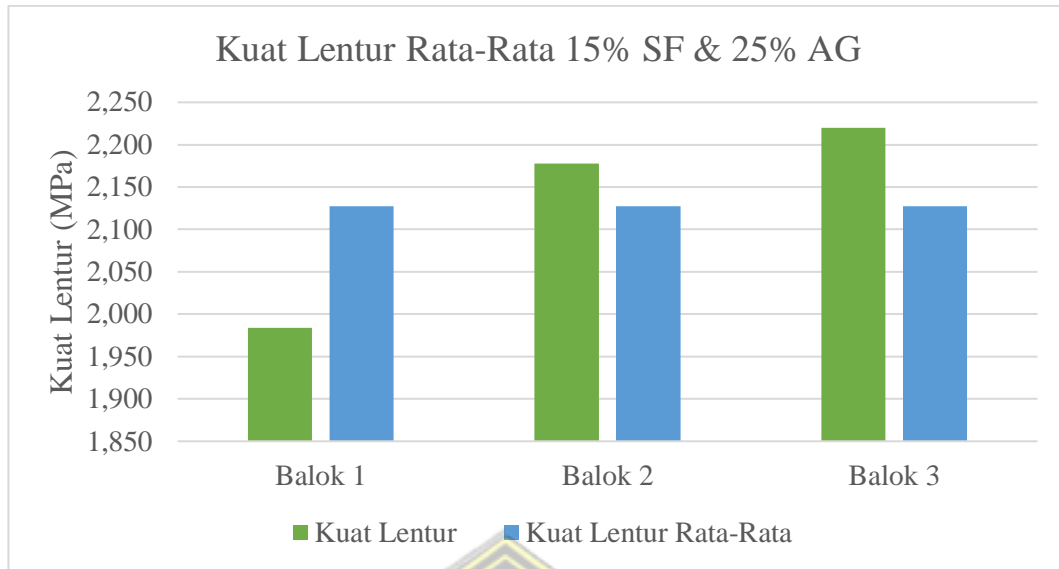
Tabel 4.37. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari *Mix Desain 2* (15% SF dan 25% AS)

<i>Mix Desain 2</i>	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
	Pembuatan	Pengujian					
1	05/11/2023	02/01/2024	28	25,72	14,880	1,984	2,127
2	05/11/2023	02/01/2024	28	26,14	16,335	2,178	
3	05/11/2023	02/01/2024	28	26,59	16,654	2,22	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 2* pada umur beton 28 hari adalah 2,127 MPa.

Data hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 2* pada umur beton 28 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.49. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata *Mix Desain 2* Umur 28 Hari

Pada gambar 4.49 menunjukkan hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 2* pada umur beton 28 hari yaitu 2,127 MPa.

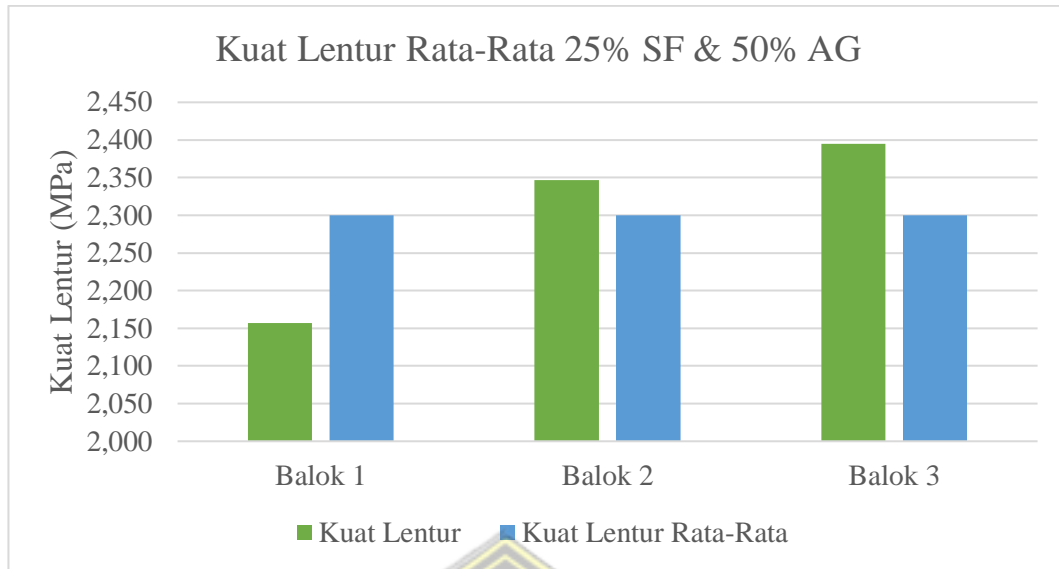
Tabel 4.38. Hasil Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Umur 28 Hari *Mix Desain 3* (25% SF dan 50% AS)

<i>Mix Desain</i> 3	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (Kg)	Gaya Tekan (P) (kN)	Tekan Aktual Balok (Mpa)	Kuat Lentur Rata-Rata (Mpa)
	Pembuatan	Pengujian					
1	05/11/2023	02/01/2024	28	26,51	16,178	2,157	2,300
2	05/11/2023	02/01/2024	28	26,78	17,963	2,347	
3	05/11/2023	02/01/2024	28	27,00	17,966	2,395	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada data tabel diatas didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 3* pada umur beton 28 hari adalah 2,300 MPa.

Data hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 3* pada umur beton 28 dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.50. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata *Mix Desain 3* Umur 28 Hari

Pada gambar 4.50 menunjukkan hasil nilai kuat lentur rata-rata beton balok *mix desain 3* pada umur beton 28 hari yaitu 2,300 MPa.

Berdasarkan data tabel 4.36, 4.37, dan 4.38 serta hasil pembacaan grafik pada gambar 4.48, 4.49, dan 4.50 didapatkan nilai kuat lentur rata-rata beton mortar busa umur 28 hari yang tertinggi adalah pada *mix desain 3* (25% SF dan 50% AS) dengan nilai rata-rata sebesar 2,300 MPa dan nilai kuat lentur rata-rata beton mortar busa umur 28 hari yang terendah adalah pada *mix desain 1* (0% SF dan 0% AS) dengan nilai rata-rata sebesar 0,497 MPa.

4.8.5. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi

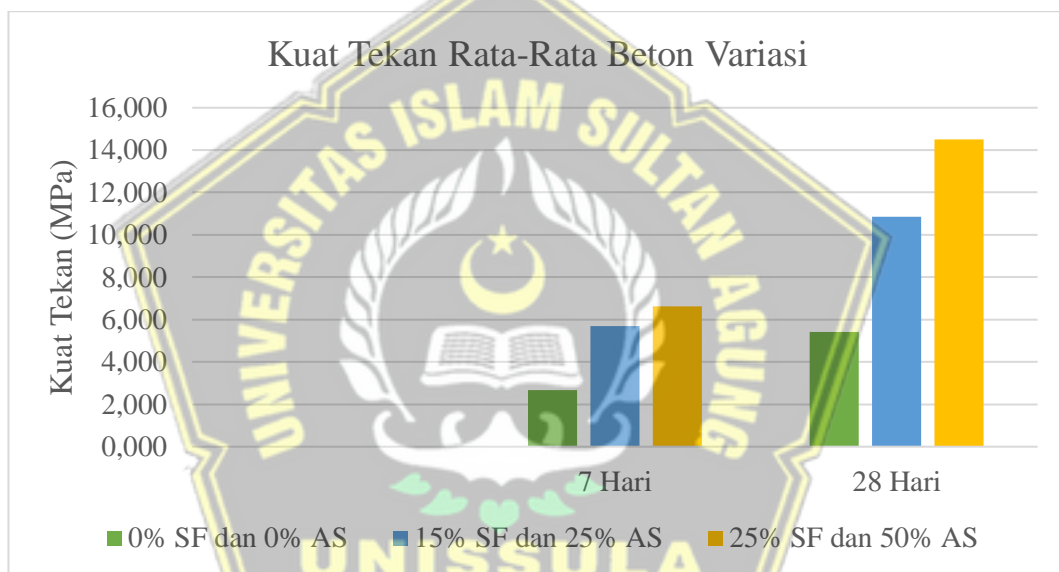
Pengujian kuat tekan yang dilakukan pada beton mortar busa memiliki rata-rata pada setiap variasi dan umur pengujian. Variasi pada penelitian ini terdiri dari tiga variasi yaitu *mix desain 1* (0% SF & 0% AG), *mix desain 2* (15% SF & 25% AG), dan *mix desain 3* (25% SF & 50% AG). Sedangkan untuk umur pengujian terdiri dari dua yaitu umur pengujian beton 7 dan 28 hari. Data hasil pengujian kuat tekan beton mortar busa untuk setiap variasi dan umur pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.39. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi

Mix Desain	Variasi Benda Uji	Kuat Tekan Rata-Rata Beton (MPa)	
		7 Hari	28 Hari
1	0% SF dan 0% AS	2,667	5,419
2	15% SF dan 25% AS	5,705	10,842
3	25% SF dan 50% AS	6,631	14,513

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan data tabel diatas diperoleh grafik kuat tekan rata-rata beton mortar busa variasi sebagai berikut :



Gambar 4.51. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi

Berdasarkan data tabel 4.39 dan grafik pada gambar 4.51 dapat diketahui kuat tekan rata-rata beton mortar busa pada umur 28 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata beton mortar busa pada umur 7 hari, hal ini karena semakin bertambahnya umur beton nilai rasio pada kuat tekan semakin tinggi selaras dengan nilai kuat tekan yang semakin besar dan maksimal pada umur 28 hari. Nilai kuat tekan rata-rata beton mortar busa tertinggi pada hasil penelitian ini adalah pada variasi *mix desain* 3 pada umur beton 28 hari dengan presentase bahan tambah terbanyak yaitu 25% *steel fiber* dan 50% agregat slag, hal ini sesuai dengan

tujuan penelitian yaitu menambahkan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur pada beton mortar busa.

Pada umur beton mortar busa 7 hari kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu pada *mix desain 3* (25% SF dan 50% AS) dengan kuat tekan rata-rata sebesar 6,631 MPa dan kuat tekan rata-rata terendah yaitu pada *mix desain 1* (0% SF dan 0% AS) dengan kuat tekan rata-rata sebesar 2,667 MPa. Pada umur beton mortar busa 28 hari kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu pada *mix desain 3* (25% SF dan 50% AS) dengan kuat tekan rata-rata sebesar 14,513 MPa dan kuat tekan rata-rata terendah yaitu pada *mix desain 1* (0% SF dan 0% AS) dengan kuat tekan rata-rata sebesar 5,419 MPa.

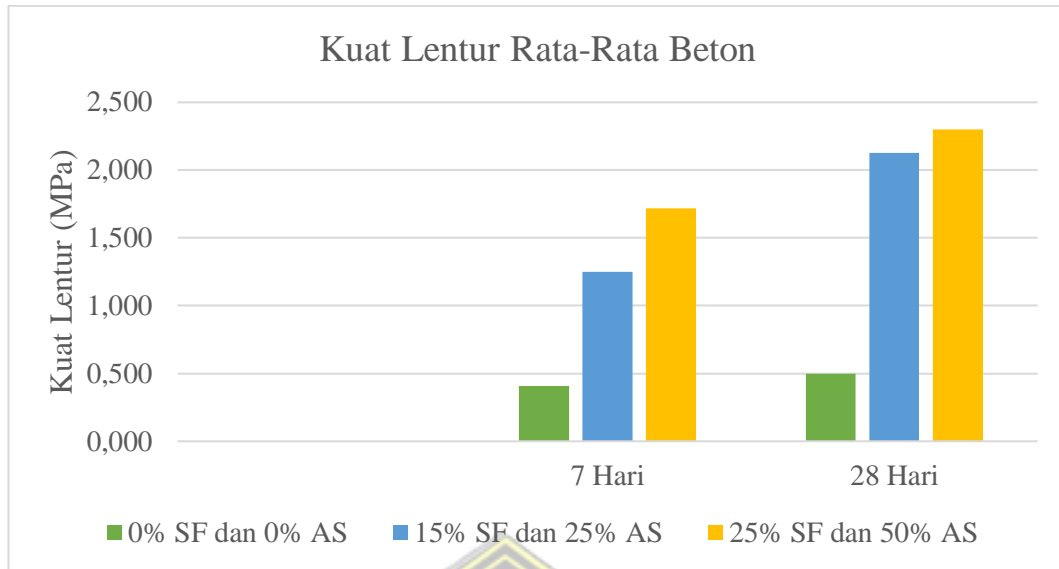
4.8.6. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi

Pengujian kuat lentur yang dilakukan pada beton mortar busa memiliki rata-rata pada setiap variasi dan umur pengujian. Variasi pada penelitian ini terdiri dari tiga variasi yaitu *mix desain 1* (0% SF & 0% AG), *mix desain 2* (15% SF & 25% AG), dan *mix desain 3* (25% SF & 50% AG). Sedangkan untuk umur pengujian terdiri dari dua yaitu umur pengujian beton 7 dan 28 hari. Data hasil pengujian kuat lentur beton mortar busa untuk setiap variasi dan umur pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.40. Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi

Mix Desain	Variasi Benda Uji	Kuat Lentur Rata-Rata Beton (MPa)	
		7 Hari	28 Hari
1	0% SF dan 0% AS	0,408	0,497
2	15% SF dan 25% AS	1,249	2,127
3	25% SF dan 50% AS	1,719	2,300

Berdasarkan data tabel diatas diperoleh grafik kuat lentur rata-rata beton mortar busa variasi sebagai berikut :



Gambar 4.52. Grafik Kuat Lentur Rata-Rata Beton Mortar Busa Variasi

Berdasarkan data tabel 4.40 dan grafik pada gambar 4.52 dapat diketahui kuat lentur rata-rata beton mortar busa pada umur 28 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata beton mortar busa pada umur 7 hari, hal ini karena semakin bertambahnya umur beton nilai rasio pada kuat lentur semakin tinggi selaras dengan nilai kuat lentur yang semakin besar dan maksimal pada umur 28 hari. Nilai kuat lentur rata-rata beton mortar busa tertinggi pada hasil penelitian ini adalah pada variasi *mix desain* 3 pada umur beton 28 hari dengan presentase bahan tambah terbanyak yaitu 25% *steel fiber* dan 50% agregat slag, hal ini sesuai dengan tujuan penelitian yaitu menambahkan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur pada beton mortar busa.

Pada umur beton mortar busa 7 hari kuat lentur rata-rata tertinggi yaitu pada *mix desain* 3 (25% SF dan 50% AS) dengan kuat lentur rata-rata sebesar 1,719 MPa dan kuat lentur rata-rata terendah yaitu pada *mix desain* 1 (0% SF dan 0% AS) dengan kuat lentur rata-rata sebesar 0,408 MPa. Pada umur beton mortar busa 28 hari kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu pada *mix desain* 3 (25% SF dan 50% AS) dengan kuat tekan rata-rata sebesar 2,300 MPa dan kuat tekan rata-rata terendah yaitu pada *mix desain* 1 (0% SF dan 0% AS) dengan kuat lentur rata-rata sebesar 0,497 MPa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa data pada penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian *job mix* formula terbaik didapatkan didapatkan hasil kuat tekan dan kuat lentur terbesar pada *mix desain* 3 beton mortar busa dengan bahan tambah 25% *steel fiber* dan 50% agregat slag dengan nilai kuat tekan terbesar adalah 15,048 MPa atau setara dengan 150,48 kg/cm², sedangkan nilai kuat lentur terbesar adalah 2,395 MPa atau setara dengan 23,95 kg/cm².
2. Penambahan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton mortar busa memberikan pengaruh yang cukup signifikan. Kuat tekan dan kuat lentur rata-rata terbesar didapatkan dari hasil analisa dan pengujian *mix desain* 3 pada pengujian 28 hari dengan presentase bahan tambah 25% *steel fiber* dan 50% agregat slag dengan hasil nilai kuat tekan rata-rata terbesar adalah 14,513 MPa atau setara dengan 145,13 kg/cm², sedangkan nilai kuat lentur rata-rata terbesar adalah 2,300 MPa atau setara dengan 23,00 kg/cm².

5.2. Saran

Dari hasil analisa dan dilakukan pembahasan terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton mortar busa dengan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag, maka penulis dapat menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan dengan percobaan yang telah dilakukan peneliti untuk beton mortar busa dengan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag dapat digunakan untuk perkerasan jalan lokal.
2. Pemadatan benda uji mortar busa sebaiknya menggunakan alat vibrator atau foam generator supaya mendapatkan hasil kepadatan, kuat tekan, dan kuat lentur yang maksimal.
3. Perlu dilakukan penelitian dan analisa lebih lanjut tentang beton mortar busa baik dengan bahan tambah *steel fiber* dan agregat slag ataupun dengan bahan tambah

lainnya untuk mengetahui *mix desain* formula dan bahan tambah yang terbaik supaya mendapatkan hasil kuat tekan dan kuat lentur yang lebih tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
- Alwi, A. H., & Zulkarnain, F. (2021). Analisis Pengaruh Penambahan Steel Fibre Dan Viscocrete 8670-MN Terhadap Uji Kuat Tarik Beton (Studi Penelitian) (*Doctoral dissertation, UMSU*).
- Basid, A., & Yusuf, W. (2014). Pengaruh Variasi Gradasi Agregat (Slag) terhadap Kuat Tekan, Porositas dan Kuat Tarik Belah Beton. *Media Teknik Sipil*, 12(1).
- Burge, T.A. (2004). *Hot Weather Concrete*. Seminar Teknologi Beton FT Sipil UK Petra.
- Hamidi, A., Saily, R., & Hidayat, M. A. (2022). Pengaruh Sifat Karakteristik Mortar Busa Dengan Penambahan Addictive. *Sainstek (e-Journal)*, 10(1), 73–79.
- Handayani, F. (2007). *Timbunan Badan Jalan Dengan Bahan Timbunan Ringan*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Depatemen Pekerjaan Umum.
- Husin, A. A., & Agustiningtyas, R. S. (2008). Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton. *Jurnal Permukiman*, 3(3), 196–207.
- Mildawati, R., & Anwar, S. H. D. (t.t.). *ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FOAM AGENT SINTETIS DAN FOAM AGENT NABATI TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR BUSA*.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publishing.
- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Nasional, B. S. (1991). SNI 03-2495-1991:Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 11*.
- Nasional, B. S. (1996). SNI 03-4142-1996: Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 6*.

- Nasional, B. S. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 36.*
- Nasional, B. S. (2002). SNI 03-3449-2002: Tata cara pembuatan campuran beton ringan dengan agregat ringan. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 32.*
- Nasional, B. S. (2002). SNI 03-6820-2002: Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 7.*
- Nasional, B. S. (2002). SNI 03-6821-2002: Spesifikasi Agregat Ringan untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 8.*
- Nasional, B. S. (2008). SNI 1970-2008: Cara uji berat jenis dan penyerapan air. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 18.*
- Nasional, B. S. (2008). SNI 1972-2008: Cara uji slump beton. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 11.*
- Nasional, B. S. (2011). SNI 1971-2011: Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 11.*
- Nasional, B. S. (2011). SNI 1974-2011: Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 11.*
- Nasional, B. S. (2011). SNI 2493-2011: Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 23.*
- Nasional, B. S. (2011). SNI 4431-2011: Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 16.*
- Nasional, B. S. (2012). SNI ASTM C136-2012: Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 24.*
- Nasional, B. S. (2015). SNI 15-2049-2015: Semen Portland. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 139.*
- Nasional, B. S. (2016). SNI 1969-2016: Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 23.*

- Nasional, B. S. (2018). SNI 03-7974-2018: Spesifikasi Air Pencampur yang digunakan dalam Produksi Beton Semen Hidraulis . *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 11*.
- Nasional, B. S. (2019). SNI 2847-2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 720*.
- Neville, A.M., & Brooks, J.J. (2010). *Concrete Technology*. Second Edition. Pearson Education Limited. Essex. England.
- Purnawan, P., Budi, A. S., & Wicaksono, K. D. (2014). KUAT LENTUR, TOUGHNESS, DAN STIFFNESS PADA BETON RINGAN TEKNOLOGI FOAM DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT ALUMINIUM. *Matriks Teknik Sipil, 2(2)*, 109–116.
- Rachman, D. N., Riwayati, S., Hidayat, A., & Pratiwi, T. N. (2022). Penggunaan Foam Agent Pada Beton Untuk Pembuatan Beton Ringan. *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik, 11(1)*.
- Riza, F. V., Lubis, D. S., & Manurung, F. V. B. (2019). Analisis Mekanis Beton Busa Dengan Kombinasi Serat Sabut Kelapa serta Bahan Tambahan Abu Sekam Padi dan Serbuk Cangkang Telur. *Progress in Civil Engineering Journal, 1(2)*.
- Siswanto, A. (2011). Pengaruh Fiber Baja pada Kapasitas Tarik dan Lentur Beton. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, 2*, 193–199.
- Subakti, A. (1994). *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Sukirman, S. (1992). *Perkerasan Lentur Untuk Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sutikno. (2003). *Panduan praktek beton*. Surabaya: Univertas Negeri Surabaya.
- Sutikno. (2003). *Panduan praktek beton*. Surabaya: Univertas Negeri Surabaya.
- Tjokrodimulyo. (1992). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Tjokrodimulyo. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Ulinuha, M. (2023, Oktober). *Pengertian dan Kelebihan Beton*. MitechIndonesia. <https://mitech-ndt.co.id/pengertian-dan-kelebihan-beton/>

Utami, T. R. (2022). *Pengaruh Serat Baja Terhadap Kuat Tarik Lentur Balok Beton yang Disambung*.

Winter, G. (1993). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.

