

**PENGARUH ABU KAOLIN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI
SEMEN PADA BETON BUSA TERHADAP PENGUJIAN KUAT
TARIK LENTUR (SG: 1600, FAS: 0,5)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD FADHIL SAPUTRA
NIM : 2003120020



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH
BATHOH-BANDA ACEH
2025**

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Abu Kaolin Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Busa Terhadap Pengujian Kuat Tarik Lentur (SG : 1600, FAS : 0,5)”, disusun oleh:

Nama Mahasiswa : Muhammad Fadhil Saputra
NIM : 2003120020
Program Studi : Teknik Sipil

Diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat-syarat yang diperlukan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, telah lulus pada tanggal Februari 2025.

Banda Aceh, 7 Agustus 2025

Disetujui Oleh,

Pembimbing,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Keumala Citra Sarina Zein, ST.,
MT., IPM**

NIDN. 0126108201



**Ir. Maimunah, ST, M.Eng, IPM,
ASEAN Eng**

NIK. 19790420 200405 2 001

Menyetujui/Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh



Prof. Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, ST, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE, APEC Eng

NIK. 19700314 200004 2 001

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI

Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Abu Kaolin Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Busa Terhadap Pengujian Kuat Tarik Lentur (*Specific Gravity*: 1600, FAS 0,5)”

Disusun oleh

Nama Mahasiswa : Muhammad Fadhil Saputra
NIM : 2003120020
Program Studi : Teknik Sipil

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata-1 (S-1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji untuk disahkan.

Banda Aceh, 7 Agustus 2025

Pembimbing,

Keumala Citra Sarina Zein, ST., MT., IPM

NIDN. 0126108201

Penguji I,

Ir. Meillyta, ST, M.Eng, Adv, IPM

NIDN : 0121058003

Penguji II,

**Firmansyah, ST., MS, Ph.D, IPM,
ASEAN Eng**

NIDN. 1328038202

Mengetahui,



Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Maimunah, ST, M.Eng, IPM, ASEAN Eng

NIK. 19790420 200405 2 001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Fadhil Saputra

Nim : 2003120020

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Didalam tugas akhir saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir/skripsi, tesis, buku, atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
2. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat dalam tugas akhir saya bagian-bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebagian atau seluruhnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Banda Aceh, 7 Agustus 2025
Saya yang membuat pernyataan,

Muhammad Fadhil Saputra
2003120020

KATA PENGANTAR

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan pada waktunya.

Tugas Akhir ini berjudul “Pengaruh Abu Kaolin Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Busa Terhadap Pengujian Kuat Tarik Lentur (SG 1600, FAS 0,5)”. Ditulis dalam rangka melengkapi dan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil pada Universitas Muhammadiyah Aceh.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan ini, penulis telah memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak terutama pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Ibu Keumala Citra Sarina Zein, ST., MT., IPM.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh Prof. Dr. Ir Hafnidar A. Rani, ST, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE.
2. Ibu Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh Ir. Maimunah, ST., M. Eng, IPM, ASEAN Eng.
3. Tenaga pengajar pada Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh.
4. Ibu Ir. Meillyta, ST., M.Eng. Adv, IPM sebagai Dosen Penguji pertama Tugas Akhir yang telah memberikan arahan serta masukan pada penulis dan Bapak Firmansyah, ST., MS, Ph.D, IPM ASEAN Eng selaku sebagai Dosen Penguji kedua Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan penulisan tugas akhir ini.
5. Teristimewa untuk pahlawan dalam kehidupan penulis yaitu Ayahanda terhebat Zubir A. Gani, S.E. yang telah mendidik, membesarkan, merawat

dan senantiasa memberikan dukungan baik secara moril dan materil serta selalu memberi motivasi dan nasihat kehidupan kepada penulis. Dan teruntuk pintu surgaku, Ibunda tercinta dan tersayang Salmawati, S.Pd yang telah memberikan penulis rasa kasih sayang dan cinta yang luar biasa, yang selalu mendoakan penulis tiada henti, yang selalu mendukung penulis dalam situasi apapun, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas doa, cinta, kepercayaan dan segala bentuk yang telah diberikan. Terima kasih telah menjadi orang tua yang sangat supportif. Semoga Allah SWT memberikan keberkahan di dunia serta tempat terbaik di akhirat kelak, karena telah menjadi figur orang tua terbaik bagi penulis.

6. Saudara kandung penulis, kedua kakak tersayang Salwa Zahrina, S.E, Filza Izzati, S.E, dan adik andalan Muhammad Isra Al-Azzam serta Abang ipar Mulya Hazmi S.E. Terima kasih untuk kehadirannya dalam kehidupan penulis, tempat berbagi suka duka, memberi dukungan, semangat, serta perhatian kepada penulis dalam penyusunan skripsi dari awal hingga selesainya skripsi tugas akhir ini. Tak lupa juga kepada keponakan penulis yang lucu Arsyaka Musa Zafran yang selalu menjadi penghibur disaat penulisan tugas akhir ini.
7. Teruntuk keluarga besar penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu terimakasih telah memberi motivasi dan nasehat kepada penulis.
8. Kepada teman-teman tongkrongan Hawhaw dimana pun kalian berada, Filhal, Reji, Yoyok, Rizky, Torik, Reja, dan Raip, terima kasih untuk menjadi partner bertumbuh di segala kondisi yang tidak terduga, menjadi partner nongkrong, ngopi dan diskusi di semua warkop yang kita datangi, dan menjadi pendengar serta penolong yang baik pada penulis selama ini, Semoga kalian terus berjaya dan sukses terus dimanapun kalian berada.
9. Teruntuk teman-teman penelitian penulis Ahmad, Aghil, Mutia, Imam, dan Bang Vito, terima kasih untuk menjadi teman dan partner penelitian, menjadi partner diskusi saat penyusunan skripsi ini, dan menjadi pendengar dan penolong yang baik dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir penulis.

10. Untuk seseorang yang belum bisa penulis sebutkan dengan jelas namanya di sini, namun telah tertulis dengan jelas di Lauhul Mahfudz untukku. Terima kasih sudah menjadi salah satu sumber motivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir ini sebagai salah satu bentuk penulis dalam memantaskan diri. Meskipun saat ini penulis tidak tahu dimana keberadaanmu entah di bumi bagian mana dan menggenggam tangan siapa. Seperti kata B.J. Habibie, “Kalau memang dia dilahirkan untuk saya, kamu jungkir balik pun saya yang dapat”.
11. Last but not least, terima kasih untuk diri sendiri, karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini, mampu mengendalikan diri dari berbagai serangan tekanan diluar keadaan dan tidak pernah memutuskan menyerah meskipun sesulit apapun prosesnya, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. I just wanna say thanks for my self and just being me all the tines.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa hal-hal yang telah dituliskan dalam Penulisan Tugas Akhir ini tentu masih jauh dari kesempurnaan. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritikan dan saran yang bersifat membangun dan bermanfaat untuk kesempurnaan penulis.

Akhirnya kepada Allah SWT jugalah kita berserah diri, karena tiada satupun dapat terjadi jika tidak atas kehendak-Nya.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Banda Aceh, Agustus 2025

Muhammad Fadhil Saputra
2003120020

**PENGARUH ABU KAOLIN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN PADA
BETON BUSA TERHADAP PENGUJIAN KUAT TARIK LENTUR
(SG: 1600, FAS: 0,5)**

Oleh:
Mohammad Fadhil Saputra
2003120020

Pembimbing
Keumala Citra Sarina Zein, ST, MT, IPM

ABSTRAK

Abu kaolin merupakan salah satu material yang memiliki kandungan silika aktif yang tinggi serta sifat pozzolan yang berpotensi meningkatkan performa beton. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh substitusi abu kaolin sebagai pengganti parsial semen terhadap karakteristik beton busa, dengan fokus pada kuat tarik lentur. Beton busa dirancang dengan berat jenis target 1600 kg/m³ dan faktor air semen (FAS) 0,5, menggunakan variasi abu kaolin sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari terhadap parameter berat jenis, nilai slump flow, dan kuat tarik lentur menggunakan benda uji balok berukuran 10×10×40 cm. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memenuhi kriteria berat jenis dan slump flow rencana, dengan rata-rata berat jenis 1608,9 kg/m³ dan nilai slump flow 20,58 cm. Nilai kuat tarik lentur untuk variasi 5%, 10%, 15% dan 20% masing-masing adalah 1,75 MPa, 1,93 MPa, 2,17 MPa dan 1,65 MPa. Kuat tarik lentur tertinggi tercapai pada variasi campuran 15% abu kaolin yaitu 2,17 MPa, hanya 1,8% lebih rendah dari beton tanpa substitusi 2,21 MPa, namun meningkat 31,3% dibandingkan variasi 20% yaitu 1,65 MPa yang menunjukkan penurunan performa akibat kelebihan abu kaolin. Hasil menunjukkan peningkatan tidak berlangsung linier; substitusi beton yang optimum dicapai pada 15%, di mana abu kaolin masih berperan aktif dalam reaksi pozzolanik tanpa menghambat hidrasi semen. Perbandingan hasil laboratorium dengan rumus empiris dari SNI 2847:2013 tentang kuat tarik lentur (modulus of rupture) menunjukkan ketidaksesuaian, yang mengindikasikan diperlukan penyesuaian dengan pendekatan secara teoritis terhadap kondisi spesifik material lokal dan prosedur pengujian. Penelitian ini menyimpulkan bahwa substitusi abu kaolin hingga 15% efektif dalam meningkatkan kuat tarik lentur beton busa tanpa mengganggu stabilitas fisis, sementara substitusi di atas dari kadar tersebut dapat menyebabkan penurunan kekuatan. Abu kaolin terbukti memiliki potensi sebagai bahan pengganti semen yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam produksi beton busa struktural.

Kata kunci: beton busa, abu kaolin, kuat tarik lentur, berat jenis, slump flow, substitusi semen.

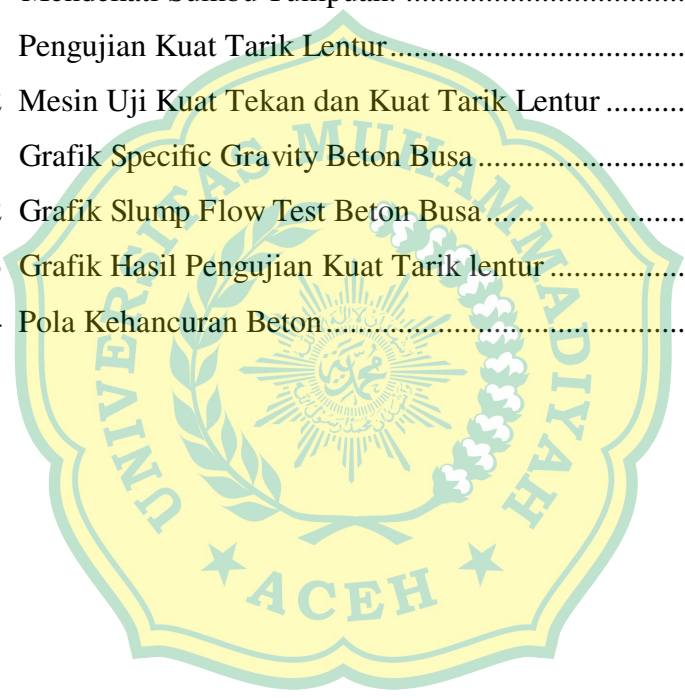
DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS	i
LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI	ii
PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN	4
2.1 Beton	4
2.2 Beton Ringan (Lightweight Concrete).....	4
Beton Busa (Foamed Concrete).....	5
2.3 Semen Portland	5
Semen Portland OPC Tipe I	6
2.4 Air	7
2.5 Abu Kaolin	8
2.6 Foam Agent	9
2.7 Faktor Air Semen (FAS)	9
2.8 Slump Flow Test	10
2.9 Perawatan Beton	11
2.10 Kuat Tarik Lentur	11
2.11 Analisis Data	14
2.12 Penelitian Terdahulu	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Peralatan dan Pengadaan Material	19
3.1.1 Peralatan yang digunakan	19
3.1.2 Pengadaan Material.....	20
3.2 Prosedur Penelitian	21
3.2.1 Pekerjaan Persiapan	21
3.2.2 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	21
3.2.3 Pengadukan Beton	22
3.2.4 Pengujian Slump Flow	23
3.2.5 Pembuatan Benda Uji	24
3.2.6 Perawatan Benda Uji	24
3.3 Pengujian Kuat Tarik Lentur	25
3.3.1 Persiapan Uji	26
3.3.2 Prosedur Pengujian	27
3.3.3 Prosedur Perhitungan	28
3.4 Analisis Data	29
3.5 Seleksi Data	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Beton Busa	30
4.2 Hasil Pengujian Specific Gravity	31
4.3 Hasil Pengujian Slump Flow	33
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Busa	35
4.5 Pola Kehancuran Beton	37
4.6 Analisis Data	39
4.7 Pembahasan	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Semen OPC Tipe 1	7
Gambar 2.2 Abu Kaolin	8
Gambar 2.3 Pengujian Kuat Tarik Lentur Bidang Patah di Daerah Pusat	12
Gambar 2.4 Pengujian Kuat Tarik Lentur Patah di Luar 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada <5% dari Bentang	13
Gambar 2.5 Pengujian Kuat Tarik Lentur Patahan di Luar dari Garis dan Mendekati Sumbu Tumpuan.	14
Gambar 3.1 Pengujian Kuat Tarik Lentur	25
Gambar 3.2 Mesin Uji Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur	26
Gambar 4.1 Grafik Specific Gravity Beton Busa	32
Gambar 4.2 Grafik Slump Flow Test Beton Busa	34
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik lentur	35
Gambar 4.4 Pola Kehancuran Beton	38



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Senyawa Kimia Semen.....	6
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1 Variasi dan Jumlah Benda Uji untuk Pengujian Kuat Tarik Lentur	22
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Proporsi Campuran per m ³	30
Tabel 4.2 Hasil Pengujian specific gravity Beton Busa	32
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Slump Flow Beton Busa	33
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari.....	35
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur Beton Busa	37
Tabel 4.6 Nilai Variasi dan Standar Deviasi.....	38

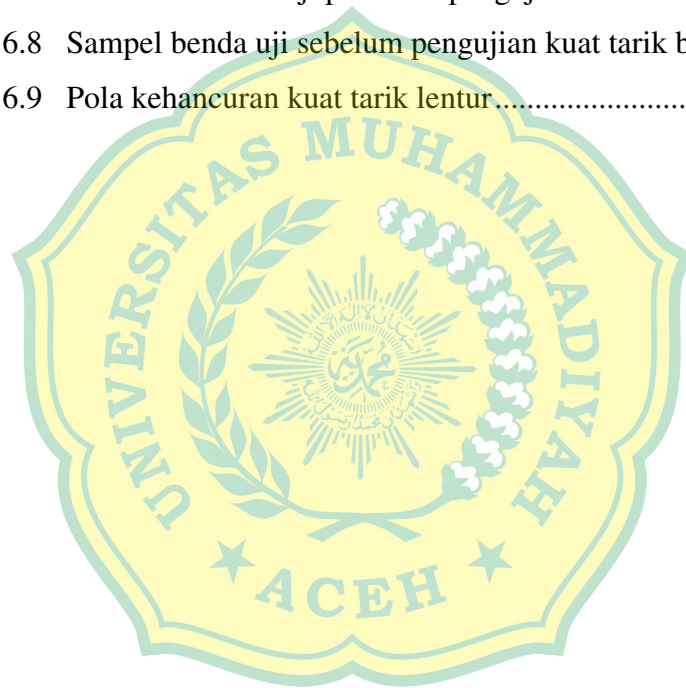


DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

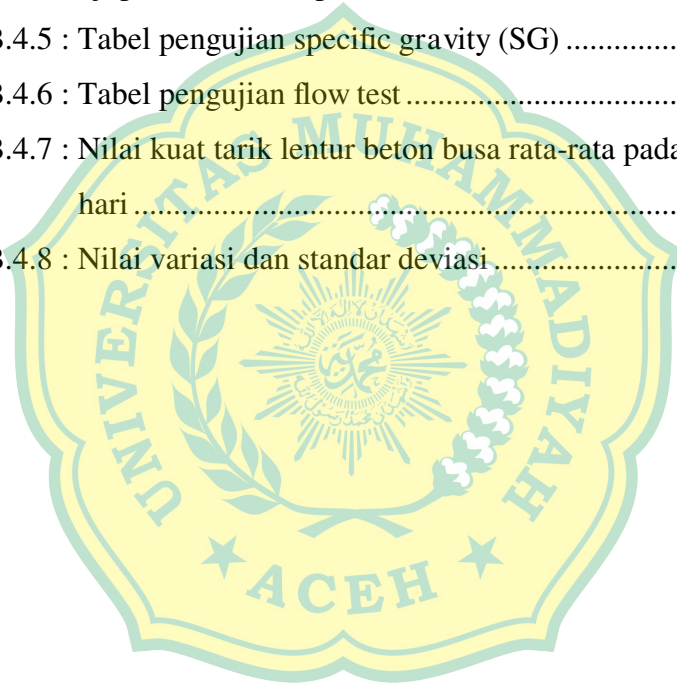
Gambar A.3.1	Bagan Alir Penelitian	45
Gambar A.3.2	Peta Provinsi Aceh	47
Gambar A.3.3	Peta Kota Banda Aceh.....	48
Gambar A.3.4	Peta Lokasi Penelitian	49
Gambar A.3.5	Peta Lokasi Pengambilan Abu Kaolin.....	49
Gambar A.3.6	Persiapan Pengadaan Abu Kaolin	50
Gambar A.3.7	Persiapan analisa saringan (Sieve Shaker).....	50
Gambar A.3.8	Persiapan semen Portland OPC tipe 1	51
Gambar A.3.9	Persiapan foam agent.....	51
Gambar A.4.0	Mesin kompresor.....	52
Gambar A.4.1	Persiapan mesin foam generator	52
Gambar A.4.2	Persiapan literan kapasitas 1 liter	53
Gambar A.4.3	Persiapan pipa 5x10 dan kaca 50x50cm.....	53
Gambar A.4.4	Persiapan timbangan digital	54
Gambar A.4.5	Mesin concrete mixer	54
Gambar A.4.6	Persiapan cetakan benda balok 10 x 10 x 40 cm.....	55
Gambar A.4.7	Penimbangan air untuk pengecoran	55
Gambar A.4.8	Penimbangan semen untuk pengecoran	56
Gambar A.4.9	Penimbangan air untuk foam agent.....	56
Gambar A.5.0	Penimbangan abu kaolin untuk pengecoran.....	57
Gambar A.5.1	Proses persiapan foam agent untuk pengecoran.....	57
Gambar A.5.2	Pembuatan foam dengan foam generator dan kompresor	58
Gambar A.5.3	Proses penuangan air ke dalam concrete mixer.....	58
Gambar A.5.4	Proses penuangan semen ke dalam concrete mixer.....	59
Gambar A.5.5	Proses penuangan abu kaolin ke dalam concrete mixer	59
Gambar A.5.6	Proses penuangan foam ke dalam concrete mixer	60
Gambar A.5.7	Pengecekan campuran beton busa didalam concrete mixer	60
Gambar A.5.8	Penimbangan Specific gravity beton busa segar dengan literan...61	

Gambar A.5.9	Pengujian flow test butan busa	61
Gambar A.6.0	Pengukuran hasil uji flow test beton busa	62
Gambar A.6.1	Penuangan beton busa segar ke dalam cetakan silinder	62
Gambar A.6.2	Proses pematangan awal beton selama 24 jam.....	63
Gambar A.6.3	Proses pembukaan cetakan balok dari benda uji	63
Gambar A.6.4	Penimbangan berat awal beton busa & pengujian berat volume..	64
Gambar A.6.5	Proses perendaman beton busa.....	64
Gambar A.6.6	Penimbangan berat kering beton busa.....	65
Gambar A.6.7	Peletakan benda uji pada alat pengujian.....	65
Gambar A.6.8	Sampel benda uji sebelum pengujian kuat tarik belah	66
Gambar A.6.9	Pola kehancuran kuat tarik lentur.....	66



LAMPIRAN B

Lampiran B.4.1 : Proporsi Campuran per 1 m ³	67
Lampiran B.4.2 : Mix Design Foamed Concrete campuran abu kaolin untuk satu benda balok 10 x 10 x 40 cm	67
Lampiran B.4.3 : Mix Design Foamed Concrete campuran dengan koefisien pengecoran 1.2 untuk satu benda balok 10 x 10 x 40 cm	67
Lampiran B.4.4 : Mix Design pengecoran menggunakan abu kaolin untuk 6 benda uji per variasi campuran.....	68
Lampiran B.4.5 : Tabel pengujian specific gravity (SG)	68
Lampiran B.4.6 : Tabel pengujian flow test	68
Lampiran B.4.7 : Nilai kuat tarik lentur beton busa rata-rata pada beton umur 28 hari	69
Lampiran B.4.8 : Nilai variasi dan standar deviasi	69



LAMPIRAN C

Lampiran C.4.1 : Perhitungan perencanaan campuran beton busa70
Lampiran C.4.2 : Perhitungan flow test beton busa81
Lampiran C.4.3 : Perhitungan Kuat Tarik Lentur beton busa dengan penambahan
abu kaolin.....82
Lampiran C.4.4 : Perhitungan dan Analisis Data Pengujian Kuat Tarik Lentur....83

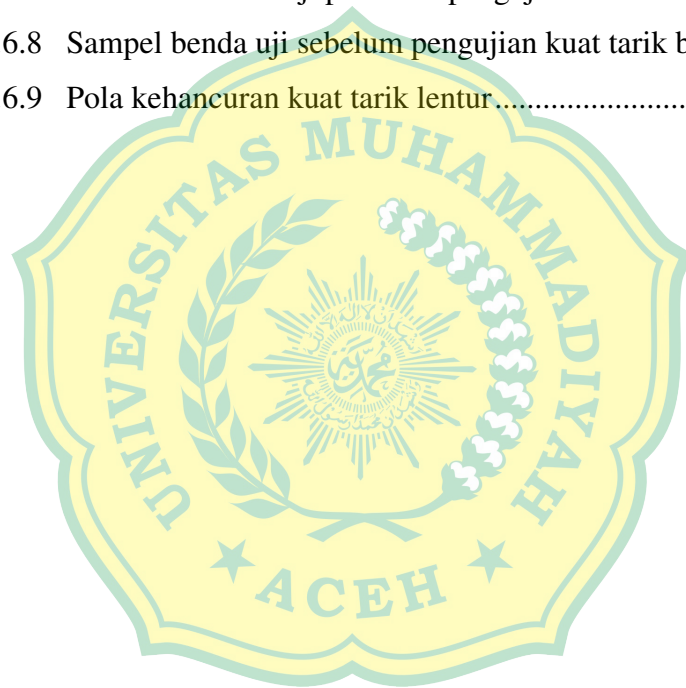


DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

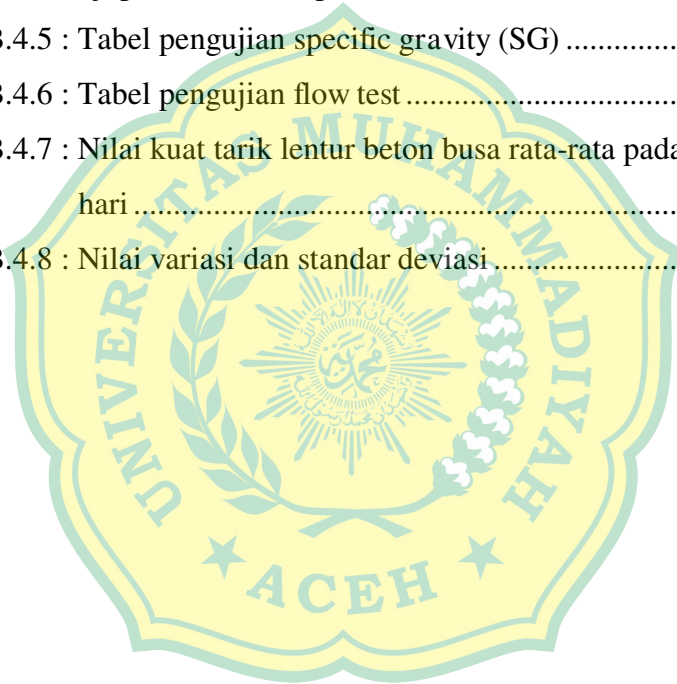
Gambar A.3.1	Bagan Alir Penelitian	47
Gambar A.3.2	Peta Provinsi Aceh	48
Gambar A.3.3	Peta Kota Banda Aceh.....	49
Gambar A.3.4	Peta Lokasi Penelitian	50
Gambar A.3.5	Peta Lokasi Pengambilan Abu Kaolin.....	50
Gambar A.3.6	Persiapan Pengadaan Abu Kaolin	51
Gambar A.3.7	Persiapan analisa saringan (Sieve Shaker).....	51
Gambar A.3.8	Persiapan semen Portland OPC tipe 1	52
Gambar A.3.9	Persiapan foam agent.....	52
Gambar A.4.0	Mesin kompresor.....	53
Gambar A.4.1	Persiapan mesin foam generator	53
Gambar A.4.2	Persiapan literan kapasitas 1 liter	54
Gambar A.4.3	Persiapan pipa 5x10 dan kaca 50x50cm.....	54
Gambar A.4.4	Persiapan timbangan digital	55
Gambar A.4.5	Mesin concrete mixer	55
Gambar A.4.6	Persiapan cetakan benda balok 10 x 10 x 40 cm.....	56
Gambar A.4.7	Penimbangan air untuk pengecoran	56
Gambar A.4.8	Penimbangan semen untuk pengecoran	57
Gambar A.4.9	Penimbangan air untuk foam agent.....	57
Gambar A.5.0	Penimbangan abu kaolin untuk pengecoran.....	58
Gambar A.5.1	Proses persiapan foam agent untuk pengecoran.....	58
Gambar A.5.2	Pembuatan foam dengan foam generator dan kompresor	59
Gambar A.5.3	Proses penuangan air ke dalam concrete mixer.....	59
Gambar A.5.4	Proses penuangan semen ke dalam concrete mixer.....	60
Gambar A.5.5	Proses penuangan abu kaolin ke dalam concrete mixer	60
Gambar A.5.6	Proses penuangan foam ke dalam concrete mixer	61
Gambar A.5.7	Pengecekan campuran beton busa didalam concrete mixer	61
Gambar A.5.8	Penimbangan Specific gravity beton busa segar dengan literan...62	

Gambar A.5.9	Pengujian flow test butan busa	62
Gambar A.6.0	Pengukuran hasil uji flow test beton busa	63
Gambar A.6.1	Penuangan beton busa segar ke dalam cetakan silinder	63
Gambar A.6.2	Proses pematangan awal beton selama 24 jam.....	64
Gambar A.6.3	Proses pembukaan cetakan balok dari benda uji	64
Gambar A.6.4	Penimbangan berat awal beton busa & pengujian berat volume..	65
Gambar A.6.5	Proses perendaman beton busa.....	65
Gambar A.6.6	Penimbangan berat kering beton busa.....	66
Gambar A.6.7	Peletakan benda uji pada alat pengujian.....	66
Gambar A.6.8	Sampel benda uji sebelum pengujian kuat tarik belah	67
Gambar A.6.9	Pola kehancuran kuat tarik lentur.....	67



LAMPIRAN B

Lampiran B.4.1 : Proporsi Campuran per 1 m ³	68
Lampiran B.4.2 : Mix Design Foamed Concrete campuran abu kaolin untuk satu benda balok 10 x 10 x 40 cm	68
Lampiran B.4.3 : Mix Design Foamed Concrete campuran dengan koefisien pengecoran 1.2 untuk satu benda balok 10 x 10 x 40 cm	68
Lampiran B.4.4 : Mix Design pengecoran menggunakan abu kaolin untuk 6 benda uji per variasi campuran.....	69
Lampiran B.4.5 : Tabel pengujian specific gravity (SG)	69
Lampiran B.4.6 : Tabel pengujian flow test	69
Lampiran B.4.7 : Nilai kuat tarik lentur beton busa rata-rata pada beton umur 28 hari	70
Lampiran B.4.8 : Nilai variasi dan standar deviasi	70



BAB I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini mendorong peningkatan kebutuhan terhadap material konstruksi yang efisien, ringan dan ramah lingkungan. Beton menjadi bahan yang sangat banyak digunakan dalam dunia konstruksi karena memiliki sifat kuat tekan yang. Beton terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan lainnya yang diperlukan. Seiring dengan perkembangan zaman dan inovasi teknologi, pengembangan beton terus dilakukan. Beton ringan merupakan salah satu inovasi teknologi sebagai alternatif untuk mengurangi beban struktural pada bangunan tanpa mengurangi kekuatannya.

Kebanyakan dari beton ringan merupakan beton dengan berat jenis rendah yang dapat mengurangi beban konstruksi. Salah satu klasifikasi beton ringan adalah beton busa. Beton busa merupakan material ringan yang terbentuk dari campuran semen, pasir, air, dan agen pembusa (foaming agent). Beton busa dapat menjadi salah satu alternatif dalam produksi beton ringan yaitu dengan menghasilkan gelembung-gelembung busa yang dapat menjadi rongga udara dalam campuran mortar, dengan rongga yang berukuran sekitar 0,1 - 1,0 mm yang tersebar secara merata serta mampu menghambat panas dan kedap terhadap suara.

Adapun kekurangan dari beton busa adalah penggunaan semen yang cukup tinggi mengakibatkan tarif produksi beton busa menjadi tidak ekonomis dari segi biaya dan efisiensi. Saat ini banyak inovasi terbaru pada beton ringan dengan menggunakan bahan pengganti dalam produksinya salah satunya yaitu dengan abu kaolin. Kaolin merupakan mineral lempung (clay) yang mengandung mineral kaolinit sebagai bagian yang sangat besar, dan termasuk jenis tanah liat primer. Kaolin memiliki taraf penyusutan dan kekuatan keringnya yang rendah dan sangat tahan api. Pada dasarnya kaolin memiliki sifat fisik dan kimia yang unik, karena memiliki kemampuan daya rekat yang cukup baik. Kaolin memiliki

kandungan beberapa lapis aluminium silika hingga dapat dijadikan sebagai inovasi terbaru untuk beton ringan sebagai bahan tambahan dalam produksi beton ringan.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas menjadi yang menjadi tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh campuran abu kaolin sebagai material pengganti sebagian semen dalam mempengaruhi kuat tarik lentur pada beton busa dengan berat jenis 1600 kg/m^3 (Specific Gravity 1600) dan faktor air-semen (FAS) 0,5 dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% campuran dari abu kaolin. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan atau peningkatan sifat mekanis yang terjadi oleh substitusi tersebut, untuk menemukan proporsi terbaik dari abu kaolin yang menggantikan sebagian semen. Sehingga dapat memberikan performa yang baik dan optimal pada beton busa, khususnya dalam hal kuat tarik lentur.

Adapun benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tarik lentur adalah balok dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm, sebanyak 3 benda uji per masing-masing variasi untuk pengujian beton busa dalam kurun waktu 28 hari, serta pengujian kuat tarik lentur pada umur beton yang sama. Metode penelitian ini mencakup pengayakan abu kaolin yang lolos saringan Mesh 325, Mix design dengan rencana specific gravity sebesar 1600 kg/m^3 , dengan faktor air semen 0,5 dan slump flow test rencana sebesar 20 cm. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian mencakup uji alir (flow test), perendaman benda uji pada umur beton 28 hari, dan pengujian kuat tarik lentur pada umur beton yang sama. Adapun cairan yang digunakan sebagai campuran untuk pembuatan busa yaitu foam agent. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Kota Banda Aceh.

Hasil pengujian flow test pada setiap persentase benda uji diperoleh nilai rata-rata sebesar 20,58 cm. Nilai tersebut memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai proporsi campuran dalam beton busa. Namun, hasil yang diperoleh dari setiap persentase berbeda-beda, Hasil campuran 0% abu kaolin didapatkan 20,9 cm, pada campuran 5% abu kaolin sebagai substitusi semen didapatkan nilai flow

test didapatkan nilai sebesar 20,8 cm, pada campuran 10% dan 15% abu kaolin sebagai substitusi semen didapatkan nilai flow test didapatkan nilai sebesar 20,6 cm, dan pada campuran 20% abu kaolin sebagai substitusi semen didapatkan nilai sebesar 20 cm. Hal ini terjadi disebabkan perbedaan jumlah dan berat jenis dari komponen beton busa yang mempengaruhi kekentalan (viskositas) dan keenceran (fluiditas) pada campuran sehingga mempengaruhi nilai slump flow.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa beton busa dengan campuran abu kaolin sebagai substitusi semen, mengalami penurunan kuat tarik lentur dibandingkan dengan beton busa tanpa variasi substitusi semen. Pada pengujian dan perhitungan kuat tarik lentur beton busa variasi 95% semen ; 5% abu kaolin, didapatkan nilai persentase dari beton tanpa campuran 79,15% (1,75 MPa), untuk variasi 90% semen ; 10% abu kaolin pengujian 28 hari didapatkan nilai persentase dari beton tanpa campuran 87,61% (1,93 MPa), sedangkan variasi 85% semen ; 15% abu kaolin didapatkan nilai persentase dari beton tanpa campuran 98,34% (2,17 MPa), dan untuk variasi 80% semen ; 20% abu kaolin pengujian 28 hari didapatkan nilai persentase dari beton tanpa campuran hasil pembagian 74,92% (1,65 MPa). Hasil pengujian kuat tarik lentur pada variasi campuran 85% semen; 15% abu kaolin memiliki nilai kuat tarik lentur tertinggi dibandingkan dengan variasi campuran lainnya karena pada variasi 85% semen; 15% abu kaolin merupakan campuran yang efektif campurannya sehingga dapat disimpulkan penggantian semen menggunakan abu kaolin sebanyak 15% menjadi campuran yang efektif dan optimal untuk mengikat campuran beton atau mortar dibandingkan variasi campuran abu kaolin lainnya.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Bab ini menyajikan teori-teori yang mendukung permasalahan dalam penelitian. Teori-teori tersebut berkenaan dengan penelitian ini dan dapat dijadikan sebagai rujukan, yaitu pendapat para ahli, dan penelitian-penelitian terdahulu.

2.1 Beton

Beton merupakan campuran dari agregat halus dan agregat kasar yaitu batu pecah atau kerikil dengan semen yang disatukan oleh air dengan perbandingan tertentu. Beton bersifat komposit yaitu memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan bahan tunggal. Sebagai material yang bersifat komposit, sifat beton sangat tergantung sifat unsur penyusunnya. Dalam campuran beton, air dan semen menjadi bahan utama untuk membentuk perekat yang berfungsi sebagai tambahan mengisi kekosongan agregat halus, melapisi permukaan agregat halus dan kasar serta menyatukan agregat tersebut, (Blasius Malau, 2014).

2.2 Beton Ringan (Lightweight Concrete)

Menurut (Blasius Malau, 2014), beton ringan merupakan beton yang memiliki berat jenis lebih ringan daripada beton umumnya. Berbeda dengan beton biasa berat beton ringan dapat diatur sesuai kebutuhan. Pada umumnya beton ringan berkisar antara 600-1600 kg/m³.

Berdasarkan SNI 03-3449-2002 Beton Ringan merupakan beton dengan berat jenis rendah yang dapat membuat berat sendiri dari suatu konstruksi berkurang dan lebih ringan. Beton ringan suatu campuran beton tanpa menggunakan agregat kasar tetapi menggunakan pasir sebagai bahan penggantinya

dengan ketentuan berat isi maksimal beton 1850 kg/m³ dan memenuhi ketentuan kuat tarik belah dan kuat tekan beton ringan struktural.

Beton Busa (*Foamed Concrete*)

Beton busa diinterpretasikan sebagai beton seluler ringan yang dapat dikategorikan menyamai beton ringan dengan massa jenis (400-1850 kg/m³) serta rongga udara random yang dibentuk dari campuran bahan busa pada komposisi mortar. Beton berbuisa menjadi bahan konstruksi revolusioner dan mudah beradaptasi, yang terdiri dari semen dan agregat halus yang dicampur dengan gelembung udara minimal 20%. Bagian beton yang ramping dapat dirancang dengan menggunakan balok beton berbuisa ini, yang ringan dan dengan kepadatan kurang dari 1800 kg/m³.

Beton berbuisa adalah beton dengan bahan berpori ringan yang terbuat dari semen, pasir dan ditampung dengan gelembung udara. Berbeda dari beton normal, beton busa memiliki banyak sifat yang menguntungkan karena masuknya gelembung udara, oleh karena itu, dapat digunakan secara luas di bidang konstruksi bangunan dan aplikasi teknik sipil lainnya. Beton busa dengan bentuk jenis lain beton ringan yang dapat diproduksi serta kualitas yang berbeda-beda (Syahrul dkk., 2021).

2.3 Semen Portland

Berdasarkan Standar Negara Indonesia SNI 2049:2015, semen portland merupakan semen hidrolis atau semen berbahan anorganik yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri dari kandungan kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersamaan dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain dalam jumlah yang terbatas. Semen Portland tipe I ini merupakan semen yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi karena memiliki kemampuan daya tahannya yang baik.

Semen Portland tipe 1 terbuat melalui proses penggilingan klinker dan gipsum dengan kandungan komposisi yang berdasarkan pada SNI 2049:2015,

menyebutkan bahwa semen portland harus memenuhi syarat kandungan senyawa kimia sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kandungan Senyawa Kimia Semen

No.	Komposisi Bahan	Persentase Tipe I (satuan %)
1	SiO ₂ (Silikon dioksida)	18,56
2	Al ₂ O ₃ (Aluminium oksida)	5,23
3	Fe ₂ O ₃ (Besi(III) oksida)	3,19
4	CaO (Kalsium oksida)	64,15
5	MgO (Magnesium oksida)	1,02
6	SO ₃ (Sulfur trioksida)	2,66
8	FCaO (Kalsium oksida bebas)	1,57
9	IR (Bagian tak larut)	2,23

(Sumber: web PT. Semen Indonesia)

Berdasarkan SNI 2049:2015 , menegaskan bahwa semen portland dapat dikelompokkan menjadi lima jenis, yaitu:

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Semen Portland OPC tipe 1

Semen adalah bahan utama dalam pembuatan beton, di Indonesia terdapat beberapa jenis semen yakni semen OPC, PCC, dan PPC. Semen OPC atau Ordinary Portland Cement lebih dahulu digunakan dan dikenal, semen OPC merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan klinker yang dicampur dengan gipsum untuk mengatur waktu ikatnya, kemudian muncul jenis semen PCC dan semen PPC.



Gambar 2.1 : Semen OPC Tipe 1
Sumber : Al Faiz (2024)

Aplikasinya dari semen OPC ini lebih umum digunakan dan menjadi bahan rekomendasi perencana pada rencana kerja dan spesifikasi.

2.4 Air

Air merupakan bahan dasar yang berperan sangat penting dalam bahan dasar pembuatan beton, baik dari segi pencampuran, pengerasan, maupun sifat akhir beton itu sendiri. Air dalam pembuatan beton diperlukan untuk membantu reaksi hidrasi dengan semen yang berfungsi sebagai media penghantar untuk reaksi kimia antara semen dan air, hingga dapat menghasilkan produk hidrasi seperti kalsium silikat hidrat dan kalsium hidroksida yang memberi kekuatan dan kekokohan pada beton setelah pengerasan. Air yang digunakan dalam pembuatan beton juga dapat mempengaruhi daya tahan beton terhadap retak dan korosi.

Beton dengan perbandingan air semen yang ideal akan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap kerusakan akibat lingkungan. Di dalam SNI 2847:2019, menyatakan bahwa air yang digunakan pada campuran beton juga harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan. (Agus Pujiona, dkk.)

2.5 Abu Kaolin

Sebuah pendapat yang dikemukakan oleh (Fauzi dkk., 2022) pasir kaolin merupakan pasir dari tanah liat yang mengandung mineral kaolinit sebagai bagian yang sangat besar, dan termasuk jenis tanah liat primer. Kaolin memiliki taraf penyusutan dan kekuatan keringnya yang rendah dan memiliki sifat tahan api. Pada dasarnya kaolin merupakan sifat fisik dan kimia yang unik, karena memiliki kemampuan daya rekat yang cukup baik. Kaolin memiliki kandungan beberapa lapis aluminium silika dari tanah liat atau lempung hingga dapat dijadikan sebagai inovasi terbaru untuk beton ringan sebagai bahan tambahan atau bahan campuran dalam produksi beton ringan.



Gambar 2.2 : Abu Kaolin

Sumber : Al Faiz (2024)

Adapun abu kaolin awalnya merupakan tanah liat berwarna putih hingga krem pucat yang tersusun dari mineral kaolinit. Secara fisik, abu kaolin memiliki butiran sangat halus, terasa licin saat basah, dan bersifat plastis sehingga mudah dibentuk. Kaolin memiliki densitas relatif sekitar $2,6 \text{ g/cm}^3$ dan kehalusan partikel yang tinggi, dengan warna yang relatif terang karena kandungan oksida besinya yang rendah.

2.6 *Foam Agent*

Menurut (Amir Husin & Setiadji, 2008) foam agent merupakan suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Detergent ($\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{15} \text{OSO}_3^- \text{Na}^+$) mengandung zat "surface active" (surfactant) yaitu zat yang ditambahkan ke dalam cairan untuk menurunkan tegangan permukaannya. Zat ini menjadi bahan aktif terhadap permukaan yang berfungsi menurunkan tegangan permukaan air sehingga memungkinkan terbentuknya gelembung udara yang stabil dalam campuran beton busa.

Menurut (Karimah dkk., 2017) surfaktan sintetis dapat diklasifikasikan menurut sifat kelompok hidrofilik, yaitu bagian molekul yang larut dalam air:

- a) Anionik, sekitar 70% persen dari surfaktan yang digunakan untuk menghasilkan busa, yaitu bagian aktif dari molekul yang bermuatan negatif.
- b) Kationik, kurang dari 5% dari surfaktan yang digunakan untuk menghasilkan busa, yaitu hidrofilik yang bermuatan positif.
- c) Non-ionik (polar), sekitar 25% dari surfaktan yang digunakan untuk memproduksi busa, yaitu netral. Kurangnya muatan listrik dapat memberikan stabilitas yang lebih besar untuk campuran beton busa.
- d) Amfoter dan Zwiterion surfaktan jarang digunakan untuk memproduksi beton busa, tergantung pada pH larutan molekul dapat mempertahankan muatan positif atau muatan negatif, atau keduanya.

2.7 Faktor Air Semen (FAS)

Menurut (Arizki dkk., 2015) memaparkan bahwa faktor air semen (FAS) atau water cement ratio (WCR) merupakan indikator yang penting dalam perancangan campuran beton karena FAS merupakan perbandingan jumlah air terhadap jumlah air terhadap jumlah air semen dalam suatu campuran beton.

Adapun fungsi FAS, yaitu :

- a) Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- b) Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton

Maka dengan semakin besar faktor air semen semakin rendah kuat tekan betonnya, walaupun apabila dilihat dari rumus tersebut tampak bahwa semakin kecil faktor air semen semakin tinggi kuat tekan beton, tetapi nilai FAS yang rendah akan menyulitkan pepadatan, sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat.

2.8 *Slump Flow Test*

Berdasarkan SNI 9024:2021, peralatan yang digunakan dalam cara uji slump flow beton ini mirip dengan peralatan yang digunakan dalam pengujian slump untuk beton, namun terdapat beberapa perbedaan seperti kerucut slump dengan posisi bukaan besar yang ditempatkan diatas, tidak diperlukannya pepadatan dengan cara penusukan dan metode pengisian kerucut yang dilakukan secara terus menerus, yaitu pengisian dilakukan sampai penuh dalam satu lapisan sampai dengan kerucut slump tersebut penuh. Perbedaan lainnya adalah pengukuran kinerja campuran beton segar dengan mengukur diameter lingkaran beton segar yang terbentuk sesaat setelah kerucut diangkat. Semakin besar diameter yang dibentuk semakin besar pula kinerja pengaliran beton segar tersebut. Terdapat dua prosedur dalam pengujian slump flow, yaitu dengan kerucut slump yang dibalik dan kerucut slump yang tidak dibalik. Dalam standar

pengujian ini prosedur pengujian yang digunakan adalah pengujian dengan prosedur pengujian dengan kerucut yang dibalik.

Dalam pengujian ini, slump flow mengacu pada seberapa jauh beton mengalir setelah dimasukkan ke dalam bentuk kerucut yang terbuka di bagian atas. Tujuan utama pengujian slump flow adalah untuk mengevaluasi sifat aliran dan kemudahan beton untuk mengisi cetakan atau rongga tanpa segregasi atau pemisahan material, serta memastikan beton dapat mengisi ruang dengan baik tanpa perlu banyak getaran atau pemadatan mekanis.

2.9 Perawatan Beton

Perawatan beton menurut SNI 2493-2011, bertujuan untuk menjaga beton tidak cepat kehilangan air agar proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan optimal. Perawatan beton membuat beton tidak mengalami nilai susut berlebihan yang mengakibatkan keretakan dan menjaga mutu beton tetap optimal. Perawatan beton pada umumnya dilakukan dengan pembasahan beton untuk menjaga kelembaban beton segar selama beton mencapai umur 28 hari. Proses curing dilakukan untuk menurunkan suhu beton segar akibat reaksi dari semen dan air pada campuran beton. Proses curing berlangsung selama 5 hari sampai 7 hari awal, karena selama 5 hari sampai 7 hari awal beton akan mencapai suhu yang optimal.

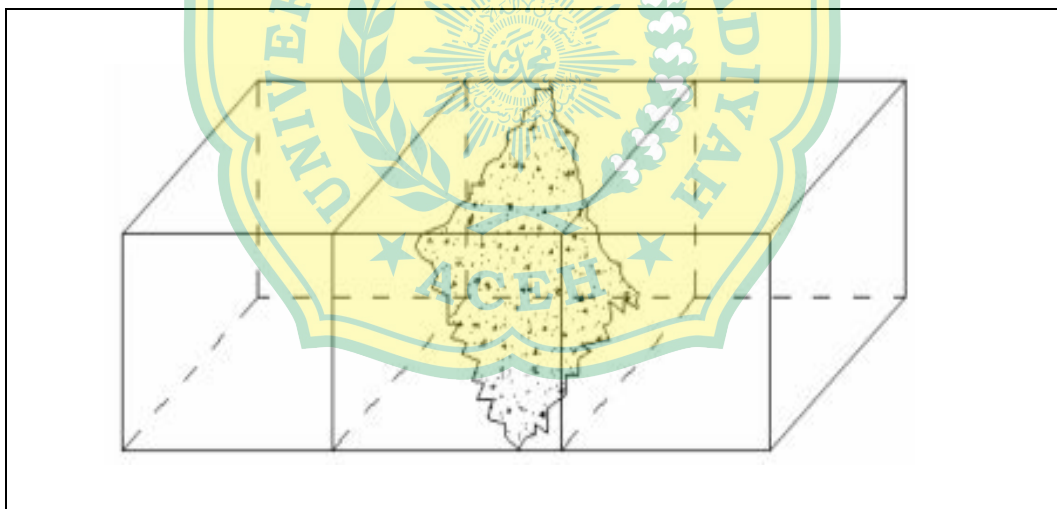
Menurut (Shafira dkk., 2022) berpendapat bahwa perawatan beton, atau curing, merupakan suatu tahap dalam proses pengerjaan beton yang bertujuan untuk mempertahankan kelembaban dan suhu yang ideal untuk mencegah hidrasi berlebihan dan memastikan bahwa proses hidrasi berlangsung dengan lancar. Curing beton umumnya dikenal sebagai proses merawat beton yang bermaksud untuk menjaga beton tetap dalam keadaan jenuh, sehingga proses hidrasi semen dapat berjalan dengan baik, meningkatkan kekuatan beton secara normal, dan memberikan ketahanan yang optimal.

2.10 Kuat Tarik Lentur

Menurut (Pardomuan dkk., 2015) Kuat tarik merupakan suatu sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi, oleh sebab itu timbul momen momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas.

Berdasarkan pada (SNI 4431:2011), menyatakan bahwa rumus perhitungan untuk menghitung nilai kuat tarik lentur berdasarkan letak patahan yang terjadi pada benda uji:

1. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (1/3 dari titik pusat)



Gambar 2.3 : Pengujian tarik lentur bidang patah terletak 1/3 titik pusat
 Sumber : SNI – 4431 : 2011

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

σ_1 = Kuat Lentur (MPa)

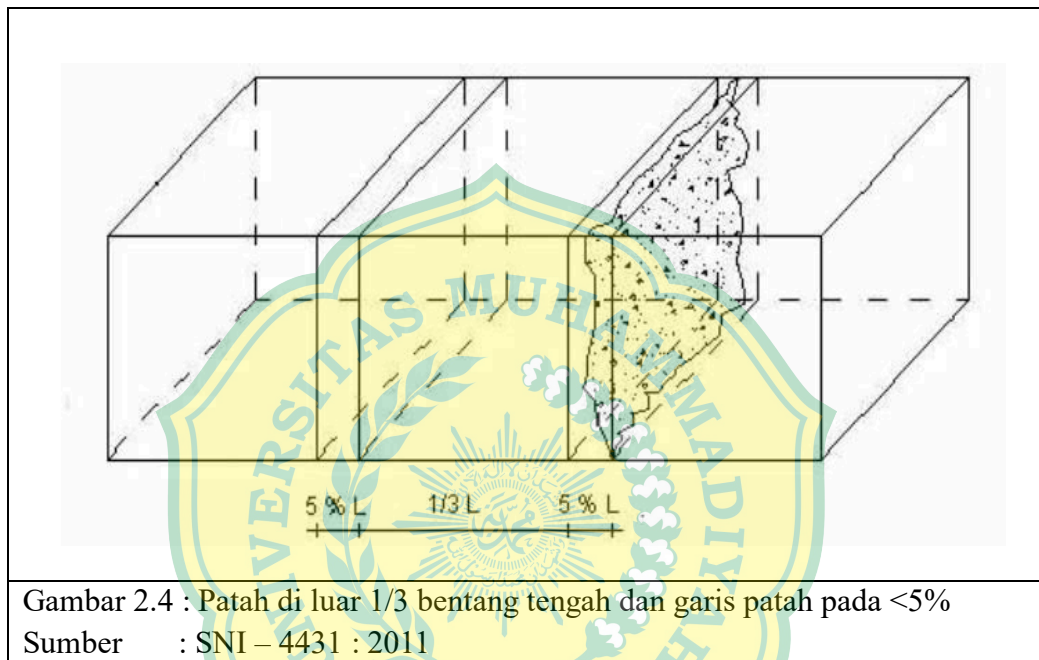
P = Beban Maksimum (N)

L = Panjang bentang pengujian (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

h = Tinggi benda uji (mm)

2. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang



$$\sigma_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

σ_1 = Kuat Lentur (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

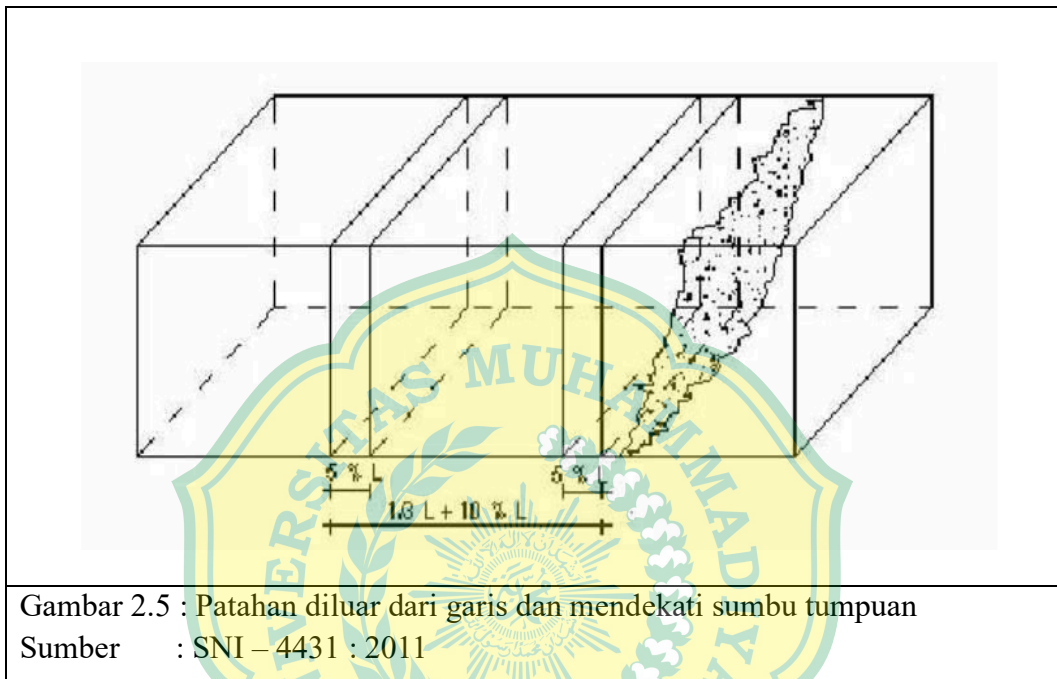
a = Jarak rata rata antara tampang letak patah dan tampang letak luar yang terdekat (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

h = Tinggi benda uji (mm)

3. Patahan diluar dari garis dan mendekati sumbu tumpuan.

Untuk pengujian dimana patah yang terjadi di luar pusat (di luar daerah 1/3 jarak perletakan) pada bagian tarik beton dan jarak titik pusat hingga pada titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan maka hasil dari pengujian tersebut tidak digunakan.



2.11 Analisis Data

Menurut (Pratama dkk., 2023) mengatakan mutu pelaksanaan suatu penelitian dapat dilihat dari penyebaran nilai-nilai hasil pemeriksaan. Bagus atau tidaknya penyebaran yang diperoleh tersebut dapat dilihat dari simpangan baku standar deviasi. Semakin kecil standar deviasi yang timbul, maka akan terlihat bagus pula mutu pelaksanaan penelitian yang dilakukan. Besarnya standar deviasi dihitung dengan menggunakan persamaan 1.3 dan 1.4 :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$X_{rt} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

S = standar deviasi (kg/cm^2)

X_i = besarnya data ke-i (kg/cm^2)

X_{rt} = nilai rata-rata dari benda uji (kg/cm^2)

n = jumlah benda uji.

Berdasarkan SNI 03-6815-2002 menyebutkan bahwa deviasi standar yang diformulasikan dari kekuatan rata-rata dinamakan koefisien variasi, yang dapat dihitung dengan Persamaan 1.5 berikut:

$$V = \frac{S}{X_{rt}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

V = Koefisien variasi (%)

S = Deviasi standar (MPa)

X_{rt} = Kekuatan rata-rata (MPa)

Berdasarkan SNI 03-6815-2002 (2002), menyebutkan bahwa koefisien variasi untuk percobaan di laboratorium adalah:

$V \leq 2\%$ → terbaik;

$2\% < V \leq 3\%$ → sangat baik;

$3\% < V \leq 4\%$ → baik;

$4\% < V \leq 5\%$ → cukup;

$V > 5\%$ → kurang.

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini tercantum pada Tabel berikut :

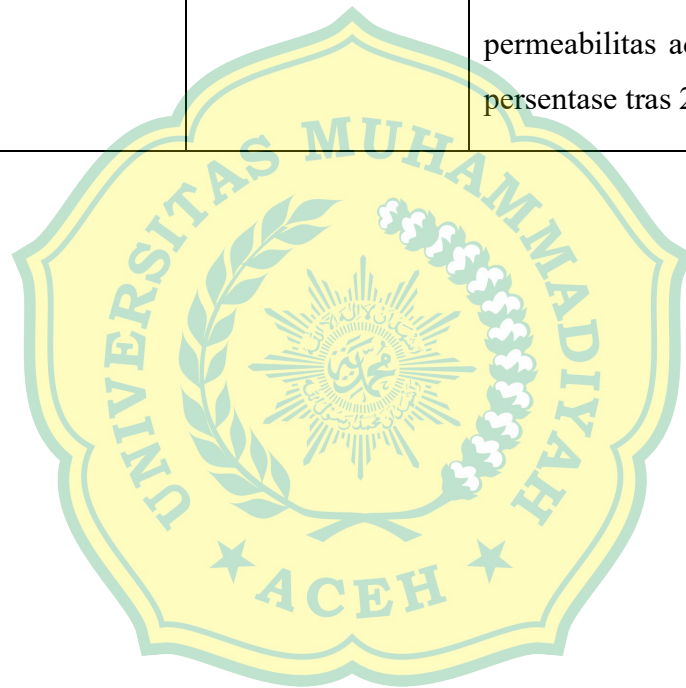
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Penelitian
1	Fanto Pardomuan Pane, H.	Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton	Berdasarkan analisa data penelietian hasil pengujian kuat

	Tanudjaja, R. S. Windah (2015)	Dengan Variasi Kuat Tekan Beton	tarik lentur serta grafik-grafik yang ada, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut : 1. Berdasarkan klasifikasi berat jenis beton, hasil pemeriksaan berat volume beton termasuk beton berbobot normal. 2. Pada penelitian ini nilai $f_r/\sqrt{f_c}$ berkisar 0,81 sampai 0,83 sedangkan pada standar peraturan beton yang ada seperti SNI memiliki nilai 0,7 dan ACI 0,6. Selisih antara hasil penelitian dan SNI adalah 0,11 sampai 0,13, Sedangkan selisih terhadap ACI 0,21 sampai 0,23.
2	Marguan Fauzi, Norma Puspita, Rahmad Roni Julio (2022)	Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Subtitusi Parsial Semen	Berat beton pada campuran kaolin 5%, 10%, 15%, dan Styrofoam 60% pada umur 28 hari sebesar 1,836 kg/m ³ , 1,845 kg/m ³ , 1,852 kg/m ³ . Dapat disimpulkan bahwa beton campuran kaolin dan <i>Styrofoam</i> dapat digunakan pada konstruksi struktur ringan. Karena berat beton ringan yang diuji lebih kecil dari beton normal dan memenuhi syarat yang telah ditentukan yaitu berat jenis beton antara 1000-2000 kg/m ³ .

			<p>Kuat tekan rata-rata pada campuran kaolin 5%, 10%, 15%, dan Styrofoam 60% memiliki kuat tekan rata-rata 8,28 Mpa, 8,46 Mpa, 10,11 Mpa. Kuat tekan beton ringan dengan campuran Styrofoam 60% dan kaolin 5%, 10%, 15%. Didapatkan hasil kuat tekan dan berat beton yang bervariasi pada penggunaan 15% lebih tinggi dari 5% dan 10%. Maka disimpulkan, kaolin dapat digunakan sebagai bahan tambah campuran pada beton ringan.</p>
3	Rofikatul Karimah, Yunan Rusdianto, Dhimas Yudhistira Hamdany	Pengaruh Penggunaan Foam Agent Terhadap Kuat Tekan Dan Koefisien Permeabilitas Pada Beton	<p>Berdasarkan hasil penelitian dan hasil perhitungan, kesimpulan yang diperoleh dari pengaruh penambahan agent foam pada beton terhadap kuat tekan adalah semakin banyak yang ditambahkan terhadap campuran (mix design) beton maka semakin rendah pula kuat tekan yang dihasilkan, pada campuran 0% didapatkan kuat tekan 21,68 Mpa, campuran 20% didapat kuat tekan 7,92 Mpa, campuran 40% didapatkan kuat tekan 4,53 Mpa, campuran 60% didapatkan</p>

			<p>kuat tekan 0,75 Mpa, campuran 80% didapatkan kuat tekan 0,38 Mpa. Sedangkan pada uji permeabilitas penambahan agent foam adalah memperbesar angka pori dan rembesan semakin besar, jadi semakin besar penambahan agent foam semakin besar pula koefisien permeabilitas adalah pada beton persentase tras 20%.</p>
--	--	--	--



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk memperoleh hasil suatu penelitian yang baik dan sempurna, maka harus dilakukan dengan metode yang baik pula. Langkah penelitian dimulai dengan studi literatur dilanjutkan dengan pekerjaan persiapan, perencanaan campuran beton (mix design). pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji serta analisa data. Prosedur penelitian secara lengkap dapat dilihat pada bagan alir.

3.1 Peralatan dan Pengadaan Material

Tujuan persiapan material dan alat-alat yang digunakan mencakup beberapa aspek yang dapat membantu untuk memastikan kelancaran, efisiensi, dan keberhasilan penelitian. Material dan peralatan yang digunakan serta tujuan selama penelitian akan dijelaskan pada sub bab dibawah ini.

3.1.1 Pengadaan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Semen Portland tipe I (Semen OPC)
2. Pasir Kaolin
3. *Foamed agent*
4. Air

Semen yang digunakan pada penelitian ini merupakan semen Portland OPC dengan tipe 1. Semen Portland OPC (Ordinary Portland Cement) adalah bahan pengikat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland, terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh di tambah dengan bahan tambahan lain. Pemeriksaan pada semen dilakukan secara visual terhadap kantong yang tidak robek dan keadaan butiran (tidak terdapat bongkahan yang keras) pada semen.

Pada penelitian ini pasir kaolin yang akan digunakan diambil dari daerah Jaboi yang merupakan suatu desa di Kecamatan Sukajaya Kota Sabang, Provinsi Aceh. Pasir kaolin yang telah diambil kemudian diayak sampai halus lolos saringan no.325 agar memenuhi syarat bahan pengganti semen, dan dilakukan pengujian specific gravity (SG).

Busa atau gelembung udara diperoleh dari hasil pengolahan cairan kimia yang biasa disebut foam agent. Foam agent dilarutkan dengan air kemudian dibentuk menggunakan mesin generator busa (foam generator) yang terhubung dengan mesin kompresor. Densitas busa dikontrol dengan pengaturan tekanan dan volume kompresor udara dari generator tersebut dengan nilai 80–90 gram/liter.

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan sudah sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 7974:2013, dimana untuk campuran beton dan perawatannya berasal dari air bersih tanpa mengandung oli, asam alkali, garam atau bahan-bahan lainnya yang dapat merusak beton. Air yang digunakan berasal dari sumur bor yang terletak di kawasan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala yang dialirkan ke Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan.

3.1.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini sebagian besar tersedia di Laboratorium Kontruksi dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, yakni sebagai berikut :

1. Alat pengukur berat (timbangan)
2. Cawan
3. Ayakan
4. Gelas ukur
5. Cetakan beton uji balok 10 cm x 10 cm x 40 cm
6. Alat uji kuat tarik lentur atau ToniZEM – Model 1548
7. Mesin pengaduk semen (concrete mixer)
8. Slump cone

Peralatan untuk pembuatan busa/gelembung udara, yaitu:

1. Mesin generator busa,
2. Mesin kompresor,
3. Ember (penempatan busa),
4. Alat penunjang lainnya.
 - Ember mortar
 - Spatula semen

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi dari permasalahan, studi literatur, pekerjaan persiapan, penghalusan pasir kaolin, perencanaan campuran beton (mix design), pengujian Flowtest, pembuatan benda uji, pengujian kuat tarik lentur, perawatan benda uji dan pengujian benda uji.

3.2.1 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan ini meliputi pengadaan material yang digunakan, persiapan cetakan, penghalusan material pasir kaolin, persiapan semen opc tipe 1, air, foam agent dan peralatan lainnya untuk keperluan penelitian. Persiapan cetakan dan peralatan lainnya sudah tersedia di laboratorium. Cetakan benda uji yang digunakan adalah cetakan benda uji balok berukuran lebar 10 cm, tinggi 10 cm, dan panjang 40 cm. Persiapan ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.

3.2.2 Perencanaan Campuran Bahan (Mix Design)

Perencanaan Mix Design untuk benda uji pada penelitian ini didasarkan pada persentase dari abu kaolin sebagai bahan pengganti semen tipe I dengan sampel benda uji yang digunakan berbentuk balok 10 cm x 10 cm x 40 cm. Berat jenis benda uji dibuat dengan 1 variasi Specific Gravity (SG) beton busa 1600. Substitusi berat jenis dilakukan dengan penambahan empat variasi persentase abu kaolin yaitu 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat jenis beton busa dengan

factor air semen atau (FAS) 0,5. Variasi dan jumlah sampel benda uji untuk setiap pengujian dapat dilihat pada tabel 3.1 Variasi dan Jumlah Benda Uji Pengujian Kuat Tarik Lentur

Tabel 3.1 Variasi dan jumlah benda uji untuk pengujian kuat tarik lentur.

Penomoran Benda Uji							
SG	Umur	Persentase					Jumlah Benda Uji
		0%	5%	10%	15%	20%	
1600	28	LTPKL/28-0-1	LTPKL/28-5-1	LTPKL/28-10-1	LTPKL/28-15-1	LTPKL/28-20-1	15
		LTPKL/28-0-2	LTPKL/28-5-2	LTPKL/28-10-2	LTPKL/28-15-2	LTPKL/28-20-2	
		LTPKL/28-0-3	LTPKL/28-5-3	LTPKL/28-10-3	LTPKL/28-15-3	LTPKL/28-20-3	

Adapun untuk variasi benda uji yang digunakan dalam perbandingan persentase antara OPC dan pasir kaolin berjumlah 30 benda uji.

Selain menggunakan variasi benda uji, dilakukan juga pembuatan benda uji dengan beton busa tanpa penambahan abu kaolin dengan berat jenis yang sama sebagai pembanding antara beton busa dengan menggunakan abu kaolin dengan beton busa normal (digunakan data sekunder). Proses pencampuran bahan atau mix design ada beberapa tahap, sebagai berikut :

1. Persiapan Busa:

- Campur foaming agent dengan air sesuai rasio antara 1:20 atau 1:40.
- Gunakan generator busa untuk menghasilkan busa yang stabil dan seragam.

2. Pencampuran Material Padat:

- Campur semen, pasir dan bahan tambahan lainnya secara kering hingga homogen.

3. Penambahan Air:

- Tambahkan air sedikit demi sedikit hingga campuran mencapai workability yang baik.

4. Penggabungan dengan Busa:

- Tambahkan busa ke dalam campuran mortar secara perlahan sambil diaduk hingga homogen. Pastikan busa tercampur merata untuk mendapatkan distribusi pori yang baik.

3.2.3 Pengadukan Bahan

Pengadukan bahan adalah salah satu langkah penting dalam pembuatan beton yang akan digunakan untuk menguji kekuatan beton. Komposisi bahan yang baik dan pengadukan yang tepat akan mempengaruhi kualitas dan kekuatan beton yang dihasilkan. Sebelum melakukan pengecoran masing-masing material ditimbang beratnya sesuai dengan perbandingan perencanaan campuran beton yang telah dilakukan. Cetakan benda uji balok 10 cm x 10 cm x 40 cm diolesi dengan oli untuk memudahkan saat pembukaan cetakan. Alat pengadukan yang digunakan adalah molen yang berkapasitas 85 ltr/adukan dan menggunakan tenaga listrik.

Sebelum dimulai pengecoran, molen dibasahi dan dibersihkan terlebih dahulu agar bahan-bahan yang tertinggal di dalam molen terbuang, demikian juga dengan wadah penampungan mortar. Pengadukan benda uji dilakukan dengan menggunakan molen.

Pengadukan dilakukan dengan memasukkan material semen, air, busa yang dimasukkan menggunakan foam generator yang ditaburi secara perlahan-lahan ke dalam molen. Sebelum busa dimasukkan, terlebih dahulu dilakukan flow test. Nilai flow test yang baik dengan range yang baik dengan nilai 16-20 cm. Ukur penyebaran aliran terbesar pada D1 dan ukur aliran terbesar pada D2 (Jika $\Delta D1 D2 > 50$ mm maka harus dilakukan pengetesan ulang dan jika hasil dua tes berurutan menunjukkan hal yang sama maka pengetesan tersebut tidak cocok pada tes ini).

3.2.4 Pengujian *Flow Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai slump flow yang dihasilkan design campuran beton dan kemampuan pengisian (*filling ability*). Adapun alat yang dibutuhkan dalam pengujian tersebut :

1. Slump Set
2. Sekop Beton
3. Waterpass

4. Meteran
5. Plat datar ukuran minimum 900 x 900 mm yang tidak menyerap air dan tebal minimum 2 mm.
6. Plat dasar tidak mudah berkarat dan tidak mudah rusak oleh pasta semen
7. Pusat plat dasar ada garis silang untuk menandakan titik pusat plat dasar tersebut, diameter 1 \varnothing 200 mm dan diameter 2 \varnothing 500 mm.

Cara pelaksanaan yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Persiapkan kerucut slump dan plat dasar, letakkan kerucut slump bagian bawah \varnothing 8" (203 mm) pada Lokasi diameter 1 \varnothing 200, tahan alat slump tersebut pada posisi berdiri. Pastikan tidak ada beton yang keluar pada bagian bawah kerucut slump.
2. Basahi kerucut slump dan plat dasar tanpa menyebabkan penambahan air.
3. Masukkan adukan beton ke dalam kerucut tanpa dirojok dalam waktu 30 detik.
4. Ukur penyebaran aliran terbesar tanpa mengganggu plat dasar dan beton. Perhatikan apakah terbentuknya cincin mortar yang menandakan adanya segregasi pada campuran, sehingga bisa disimpulkan tes tersebut tidak memuaskan.

Ukur penyebaran aliran terbesar pada D1 dan ukur aliran terbesar pada D2 (Jika Δ D1 D2 > 50 mm maka harus dilakukan pengetesan ulang dan jika hasil dua tes berurutan menunjukkan hal yang sama maka pengetesan tersebut tidak cocok pada tes ini).

3.2.5 Pembuatan Benda Uji

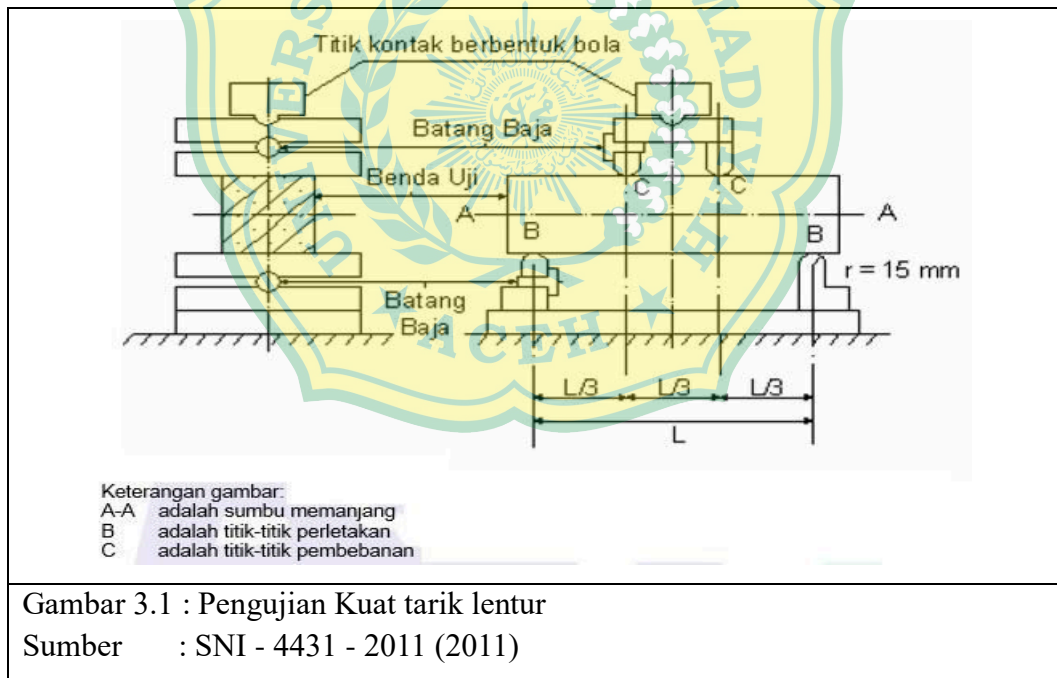
Setelah semua tahap diatas telah disiapkan maka akan dilakukan pembuatan benda uji dengan dituangkan ke dalam cetakan yang sudah direncanakan. Sebelum dilakukan pencetakan benda uji, cetakan terlebih dahulu dilapisi dengan oli agar mudah untuk dilepaskan.

3.2.6 Perawatan Benda Uji

Benda uji yang sudah selesai pengecoran akan dibiarkan selama 24 jam sampai beton sudah mengeras dan akan dilakukan pelepasan cetakan, disaat benda uji telah dibuka dari balok cetakan, benda uji akan direndam di dalam air selama umur rencana benda uji yaitu 28 hari

3.3 Pengujian Kuat Tarik Lentur

Pengujian Kuat Tarik lentur yang akan dilakukan mengikuti standar dari SNI 4431:2011, pengujian ini dilakukan pada saat umur benda uji berumur 28 hari. Dengan ukuran benda uji balok berukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji pembebanan merek Ton Industri No. 2551/90/1970 buatan Manhein Jerman.



Uji kuat tarik lentur menjadi metode pengujian mekanik yang digunakan dalam penelitian ini, pengujian ini sangat berperan dalam menentukan sejauh mana benda uji mampu menahan gaya atau uji kuat tarik lentur sebelum gagal (patah atau retak). Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui terhadap evaluasi performa benda uji.



Gambar 3.2 : Mesin uji kuat tekan dan kuat lentur
Sumber : Laboratorium Konstruksi Bangunan Universitas Syiah Kuala

3.3.1 Persiapan Uji

Adapun berikut beberapa persiapan sebelum dilakukan pengujian yaitu:

- a. Siapkan benda uji dan lakukan beberapa hal sebagai berikut.
 - Ukur dan catat dimensi penampang benda uji dengan jangka sorong minimum di tiga (3) tempat.
 - Ukur dan catat panjang benda uji pada keempat rusuknya.
 - Timbang dan catat berat masing-masing benda uji.
 - Buat garis melintang sebagai tanda dan petunjuk titik perletakan, titik pembebanan dan titik sejauh 5% dari jarak bentang di luar titik perletakan.
 - Tempatkan benda uji yang telah selesai diukur, timbang dan beri tanda pada tumpuan pada tempat yang tepat dengan sisi atas benda uji pada waktu pengecoran berada di bagian samping alat penekanan.

- b. Siapkan mesin tekan beton dan lakukan tahapan sebagai berikut
- Pasang 2 (dua) buah perletakan dengan lebar bentang 3 kali jarak titik-titik pembebanan dan Pasang alat pembebanan sehingga mesin tekan beton berfungsi sebagai alat uji lentur
 - Atur pembebanan dan skala pembacaannya.
 - Tempatkan benda uji yang sudah diberi tanda di atas perletakan sedemikian sehingga tanda tumpuan yang dibuat pada benda uji, tepat pada pusat tumpuan dari alat uji, dengan kedudukan sisi atas benda uji pada waktu pengecoran berada pada bagian samping alat penekan dan menyentuh benda uji pada sepertiga bentang titik tumpuan.

3.3.2 Prosedur Pengujian

- Hidupkan mesin uji tekan beton yang telah dipersiapkan, tunggu kira kira 30 detik
- Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian
- Atur pembebanannya untuk menghindari terjadi benturan
- Atur katup katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan dan kecepatannya $8\text{kg/cm}^2 - 10\text{kg/cm}^2$ tiap menit.
- Kurangi kecepatan pembebanan pada saat menjelang patah yang di tandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat sehingga tidak terjadi kejutan.
- Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji.
- Ambil benda uji yang telah selesai diuji yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya.
- Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah dengan ketelitian 0,25 mm sedikitnya pada 3 tempat dan ambil harga rata-ratanya.

- Ukur dan catat jarak antara tampang lintang patah dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat di bagian tarik pada arah bentang dan ambil harga rata-ratanya.

3.3.3 Prosedur Perhitungan

- a) Untuk pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat (1/3 jarak perletakan) kuat lentur beton dihitung dengan rumus :

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- σ_1 = Kuat Lentur (MPa)
- P = Beban Maksimum (N)
- L = Panjang bentang pengujian (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

- b) Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah kurang dari 5% dari bentang titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung dengan rumus :

$$\sigma_1 = \frac{P.a}{b.h^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- σ_1 = Kuat Lentur (MPa)
- P = Beban Maksimum (N)
- a = Jarak rata rata antara tampang letak patah dan tampang letak luar yang terdekat (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

- c) Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar daerah $1/3$ jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan maka hasil pengujian tidak digunakan.

3.4 Analisis Data

Analisis data kuat tarik lentur beton akan dilakukan berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik lentur terhadap benda uji, dari data-data tersebut dapat dilihat penyebaran data dan ketelitian dalam pelaksanaan pengujian.

3.5 Seleksi Data

Mutu pelaksanaan suatu penelitian dapat dilihat dari penyebaran nilai-nilai hasil pemeriksaan. Baik tidaknya pelaksanaan tersebut dapat dilihat dari simpangan baku (standar deviasi) yang diperoleh. Semakin kecil standar deviasi yang timbul, maka semakin baik pula mutu pelaksanaan penelitian. Klasifikasi mutu pekerjaan dinilai berdasarkan hasil koefisien variasi. Penyebaran data hasil pemeriksaan diukur dengan menggunakan koefisien variasi untuk kemudian ditentukan klasifikasinya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian tentang pengaruh penggunaan abu kaolin sebagai bahan pengganti semen pada beton busa. Variasi penggantian abu kaolin dengan semen dilakukan dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Setiap variasi dibuat dengan 3 sampel benda uji dan dilakukan pengujian pada umur beton 28 hari saja. Pengujian yang akan ditinjau berupa proporsi campuran beton busa dengan *Specific Gravity* sebesar 1600 kg/m^3 dan faktor air semen (FAS) dengan nilai 0,5, Pengujian berat jenis (*Specific Gravity*), pengujian *Flow Test* dan pengujian kuat Tarik lentur. Setiap data yang telah diperoleh dari pengujian dilakukan analisis dan pengolahan data, untuk dilihat penyebaran data pada pelaksanaan penelitian.

4.1 Hasil Perencanaan Proporsi Dari Campuran Beton Busa

Komposisi campuran dari beton busa ini sesuai dengan variasi campuran beton yang direncanakan dari *mix design*. Maka hasil dari perbandingan proporsi campuran beton busa dengan *specific gravity* sebesar 1600 kg/m^3 dan faktor air semen (FAS) 0,5 dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Proporsi Campuran per 1 m^3

SG (kg/m^3)	FAS	Semen	Kaolin	Semen	Kaolin	Air	Busa
		%	%	(kg)	(kg)	(kg)	(liter)
1	2	3	4	6	7	9	10
1600	0,5	100	0	1066,667	0	533,334	128,04
		95	5	1013,334	53,33	533,334	119,82
		90	10	960,000	106,67	533,334	111,59
		85	15	906,667	160,00	533,334	103,36

		80	20	853,334	213,33	533,334	95,14
--	--	----	----	---------	--------	---------	-------

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil perhitungan proporsi campuran beton busa menunjukkan bahwa proporsi campuran pada beton busa dengan *specific gravity* 1600 kg/m³ dan *flow test* 21 cm, variasi persentase campuran semen 100% dan Abu kaolin 0% didapatkan jumlah semen yang digunakan 1066,67 kg tanpa abu kaolin, dengan air 533,334 kg, dan busa digunakan 128,04 liter. Untuk variasi campuran dengan semen 95% dan abu kaolin 5% didapatkan jumlah semen yang akan digunakan 1013,33 kg, dan abu kaolin 53,33 kg, untuk air yang digunakan 533,334 kg, dan busa yang digunakan 119,82 liter. Variasi campuran semen 90% dan abu kaolin 10%, didapatkan jumlah semen yang digunakan 960,00 kg, abu kaolin berjumlah 111,59 kg, air yang digunakan berjumlah 533,334 kg, dan busa yang digunakan berjumlah 121,66 liter. Variasi semen 85% dan abu kaolin 15%, semen yang digunakan 906,67 kg, abu kaolin 103,36 kg, air yang digunakan berjumlah 533,334 kg, dan busa yang digunakan 118,46 liter. Variasi semen 80% dan abu kaolin 20%, didapatkan jumlah semen 853,3 kg, abu kaolin 95,14 kg, air yang digunakan dengan jumlah 533,334 kg, dan busa yang digunakan berjumlah 115,26 liter.

Maka dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa setiap variasi mengalami perubahan jumlah penggunaan semen seiring bertambahnya penggantian abu kaolin. Penggunaan semen dipastikan menurun setelah digantikan dengan abu kaolin. Pada proses pengadukan beton busa, pengadukan dilakukan sesuai dengan masing-masing variasi campuran. Kuantitas dari komposisi campuran beton busa, disesuaikan dengan jumlah benda uji yang sudah direncanakan.

4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

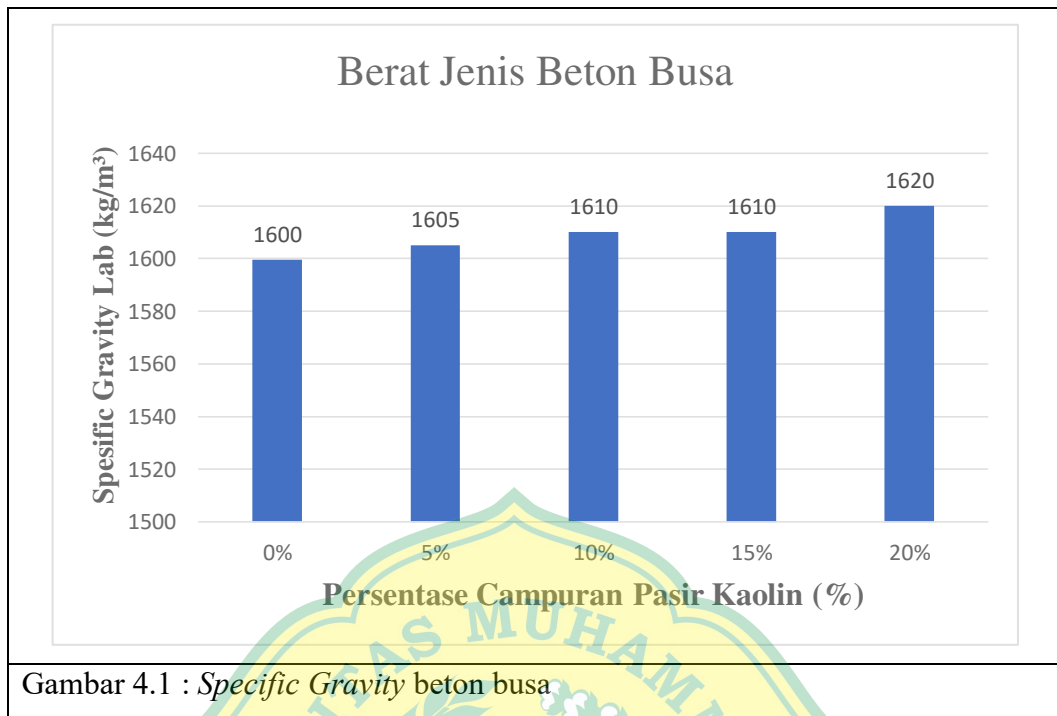
Hasil dari pengujian berat jenis (*specific gravity*) dengan nilai rencana sebesar 1600 kg/m³. Maka pemeriksaan sifat fisis akan dilakukan dengan menggunakan wadah berbentuk silinder berukuran 1 liter, penimbangan dilakukan dengan menimbang berat wadah terlebih dahulu. Hasil pengujian berat jenis (*specific gravity*) dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *specific gravity* Beton Busa

Specific Gravity			
Persentase (%)	Spesific Gravity Rencana (kg/m ³)	Spesific Gravity Lab (kg/m ³)	Rata-Rata (kg/m ³)
0%	1600	1600	1608,9
5%		1605	
10%		1610	
15%		1610	
20%		1620	

Maka berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian laboratorium menunjukkan kesesuaian dengan rencana *mix design*. Dapat dilihat dari hasil berat jenis rata-rata yang diperoleh di laboratorium adalah 1608,9 kg/m³. Hasil ini mendekati dengan berat jenis rencana yaitu 1600 kg/m³ sehingga menunjukkan bahwa proses pencampuran akurat dilakukan dengan benar. Adapun grafik berat jenis beton busa dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut

Gambar 4.1 Grafik *Specific Gravity* Beton Busa



Gambar 4.1 : *Specific Gravity* beton busa

Berdasarkan hasil dari grafik diagram diatas sifat fisis beton busa pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada variasi 0% beton busa tanpa campuran abu kaolin memiliki berat jenis 1600 kg/m³. Pada variasi 5% abu kaolin, berat jenis beton busa meningkat menjadi 1605 kg/m³, lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 0%. Peningkatan ini perlahan menunjukkan bahwa pada komposisi tersebut, substitusi abu kaolin pada beton busa dapat menghasilkan kepadatan lebih tinggi. Pada variasi 20% berat jenis kembali meningkat menjadi 1620 kg/m³ yang mana variasi ini mendapatkan nilai tertinggi dari variasi yang lain. Dari pengujian yang dilakukan maka dapat dikatakan hasil perencanaan proporsi campuran semen sesuai dengan yang di rencanakan.

4.3 Hasil Pengujian *Slump Flow Test*

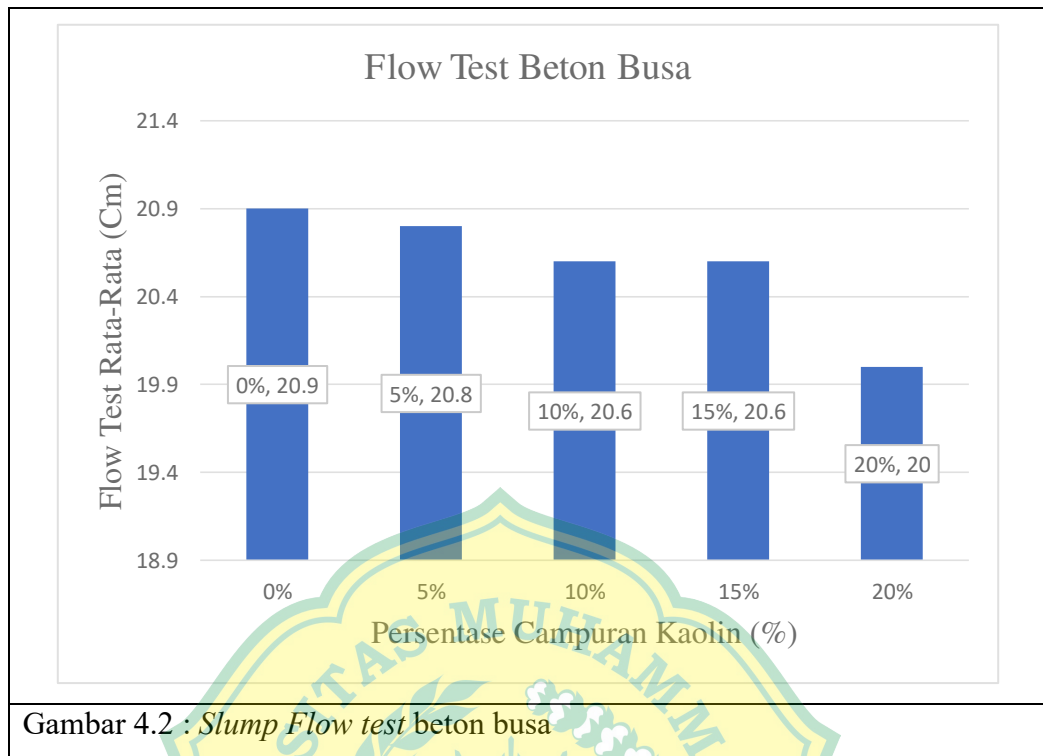
Hasil pengujian *slump flow test* dengan rencana ≥ 20 cm dilakukan dengan menggunakan alat yang ada dilaboratorium menggunakan alat *Flow Cone* dan *Flow Table*. Dari pengujian yang dilakukan di laboratorium nilai yang didapatkan harus memenuhi dari yang telah direncanakan. Berikut hasil *slump flow* dari beton

busa pada variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% penggantian abu kaolin, dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Flow Test*

Flow Test					
Persentase (%)	Flow Rencana (cm)	Flow Lab		Flow Lab Rata-Rata (cm)	Flow Rata-Rata (cm)
		cm	cm		
0%	≥20	20,8	21,0	20,9	20,58
5%		20,6	21,0	20,8	
10%		20,2	21,0	20,6	
15%		20,0	21,2	20,6	
20%		20,0	20,0	20,0	

Berdasarkan hasil dari pengujian *slump flow test* beton busa pada laboratorium memiliki nilai rata-rata sebesar 20,6 cm, yaitu nilai yang lebih besar dari nilai *slump flow test* rencana. Nilai yang diperoleh sudah sesuai dengan persyaratan yang digunakan untuk memenuhi proporsi campuran beton busa. Nilai yang didapatkan berupa nilai X,Y yaitu nilai rata-rata per variasi dan nilai rata-rata dari semua variasi pengujian. Nilai rata-rata pada variasi didapatkan dari nilai X dan Y dengan cara ditambahkan kedua nilainya lalu dibagi dengan jumlah variabel, tabel perhitungan dapat dilihat pada lampiran. Berikut grafik *slump flow test* beton busa dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini :



Gambar 4.2 : *Slump Flow test* beton busa

Hasil *slump flow test* beton busa berdasarkan dari gambar 4.2 dapat dilihat semakin bertambahnya kaolin maka *flow test* beton busa juga semakin menurun, hal ini menunjukkan bahwa nilai maksimum dari rata-rata variasi yang didapat pada pengujian variasi 0% dengan nilai *slump flow test* sebesar 20,9 cm dan nilai minimum pada rata-rata variasi didapat pada pengujian variasi 20% dengan nilai *slump flow* sebesar 20 cm. Perbedaan jumlah dan berat jenis dari komponen beton busa mempengaruhi kekentalan (*viskositas*) dan keenceran (*fluiditas*) campuran sehingga mempengaruhi nilai *slump flow*. Hal ini terjadi karena abu kaolin yang bersifat pozzolanik serta memiliki kandungan silika yang mampu menyerap air lebih besar dibandingkan semen pada umumnya. Oleh sebab itu, disaat Sebagian besar semen digantikan oleh abu kaolin, sehingga jumlah kadar air dalam campuran mortar menjadi lebih sedikit dan menurunkan tingkat kelecikan (*workability*) pada beton.

Hasil menunjukkan bahwa campuran abu kaolin pada variasi 0%, 5%, 15%, dan 20% abu kaolin memiliki nilai *flow test* yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran 20% abu kaolin. Nilai optimum *flow test* dari lima variasi campuran yang didapatkan dari hasil penelitian berada pada campuran 5% abu

kaolin sebagai bahan pengganti semen dengan nilai *flow test* 20,8 cm. Perbedaan berat jenis semen yang berbeda, dapat mempengaruhi *viskositas* (kekentalan) dan *fluiditas* (keenceran) campuran yang pada akhirnya mempengaruhi hasil *flow test*. Berat jenis abu kaolin yang lebih rendah dibandingkan berat jenis semen membuat campuran lebih cair dan kurang padat, hal ini dapat meningkatkan nilai *flow test* pada beton busa.

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Busa

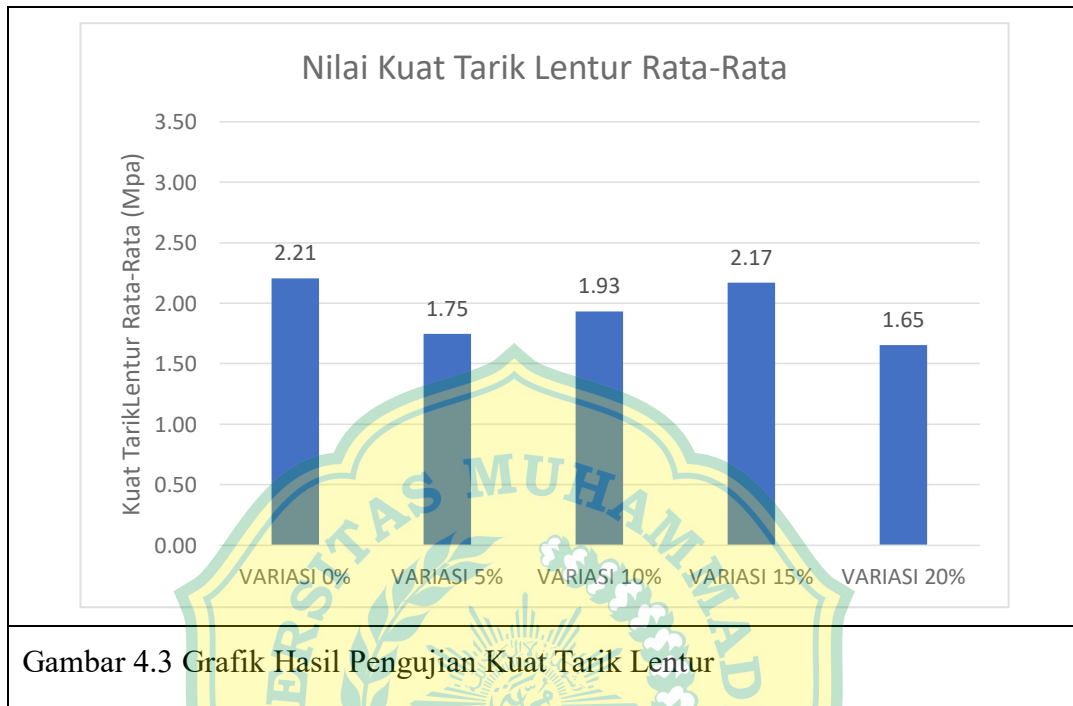
Pengujian kuat tarik lentur ini dilakukan dengan menggunakan benda uji berukuran 10 x 10 x 40 cm, pengujian ini dilakukan setelah masa perawatan beton selama 28 hari. Pengujian kuat tarik lentur dilakukan sesuai dengan uraian yang tertera pada sub bab 3.3 dan kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan rumus (2.1). Pengukuran dan penimbangan berat benda uji dapat dilihat pada lampiran B dan hasil dari pengujian kuat tarik lentur dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari

Pengujian	Umur (Hari)	Sampel	Kuat Tarik Lentur Rata-rata Untuk Tiap Variasi Campuran (MPa)				
			VARIASI 0%	VARIASI 5%	VARIASI 10%	VARIASI 15%	VARIASI 20%
Kuat tarik lentur	28	1	2,18	1,69	1,90	2,17	1,61
		2	2,21	1,84	1,97	2,15	1,70
		3	2,23	1,71	1,93	2,19	1,65
Kuat tarik lentur rata-rata			2,21	1,75	1,93	2,17	1,65

Dari hasil diatas berdasarkan data pada Tabel 4.4, penggantian dari sebagian semen dengan abu kaolin pada beton busa dalam pengujian kuat tarik lentur mengalami penurunan kekuatan tarik lentur. Kuat tarik lentur rata rata tertinggi didapatkan pada variasi 0% dibandingkan dengan variasi lainnya, Pengujian kuat taik lentur pada kedua nilai kuat tarik lentur ini mengalami

peningkatan secara bertahap mulai dari variasi 5%, 10% dan 15%, adapun nilai perbandingan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

Pada hasil grafik dari Gambar 4.3 di atas dapat dilihat bahwa pada variasi 20% beton busa mengalami penurunan kekuatan tarik lentur yang tidak sebanding dengan kuantitas penambahan abu kaolin, dimana kekuatan tarik lentur pada variasi 20% tidak lebih baik atau justru lebih rendah dibandingkan dengan variasi 10% dan 15%. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah semen aktif dalam proporsi yang cukup besar, sehingga reaksi hidrasi utama tidak berlangsung secara optimal. Selain itu, jumlah abu kaolin yang berlebihan juga dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori mikro yang lebih banyak, mengakibatkan beton menjadi lebih rapuh dan menurunkan daya ikat antar partikel. Kondisi ini berdampak pada berkurangnya kemampuan beton dalam menahan gaya tarik lentur. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa penggunaan abu kaolin dalam jumlah yang terlalu tinggi justru memberikan efek negatif terhadap kinerja mekanis beton busa, sehingga diperlukan batasan kadar optimum agar peran pozolan dapat bekerja efektif tanpa mengorbankan kekuatan dasar dari pasta semen. Oleh sebab itu jumlah abu kaolin yang berlebihan juga dapat menyebabkan peningkatan porositas

dan penurunan massa jenis beton. Maka untuk perbandingan ini, nilai selisih kuat tarik lentur beton busa pada substitusi abu kaolin dengan tanpa substitusi dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur Beton Busa

Specific Gravity	Variasi Persentase		Kuat Tarik Lentur Rata Rata	Selisih Perbandingan Kuat Tarik Lentur
	Semen	Abu Kaolin		
KG/M3			MPa	MPa
1600	100%	0%	2,222	0,00%
1600	95%	5%	1,756	-20,97%
1600	90%	10%	1,952	-12,14%
1600	85%	15%	2,202	-0,88%
1600	80%	20%	1,668	-24,94%

Maka dari tabel 4.5 di atas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kuat tarik lentur beton busa, terjadi peningkatan kuat tarik lentur untuk tiap variasi substitusi terhadap beton tanpa variasi substitusi. Nilai kuat tarik lentur tertinggi didapatkan pada variasi abu kaolin 15% dan semen 85% sebesar 2,202 MPa.

4.5 Pola Kehancuran Beton

Pengujian kuat tarik lentur ini menggunakan benda uji beton berbentuk balok yang berukuran lebar 10 cm panjang 40 cm dengan tinggi 10 cm. Pengujian ini dilakukan pada saat beton sudah berumur 28 hari. Kehancuran yang terjadi pada pengujian kuat tarik lentur berupa patahan pada benda uji. Patahan yang terjadi menandakan bahwa beban tarik maksimum pada balok sudah tercapai. Pola kehancuran benda uji kuat tarik lentur berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pola Kehancuran Beton

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pola kehancuran pada benda uji dari pengujian kuat tarik lentur, benda uji balok terbelah menjadi 2 bagian. Patahan yang terjadi yaitu berada pada bagian $\frac{1}{3}$ bentang tengah benda uji balok. Patahan yang berada pada bagian $\frac{1}{3}$ bentang tengah benda uji ini menunjukkan bahwa penyebaran material substitusi semen merata secara menyeluruh pada benda ujinya.

4.6 Analisis Data

Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tarik lentur beton busa pada benda uji balok dengan ukuran 10 x 10 x 40 cm, dilakukan seleksi data dengan evaluasi secara statistik terhadap data yang diperoleh dari laboratorium seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.11. Hasil seleksi data pengujian kuat tarik lentur dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Variasi dan Standar Deviasi

Persentase	Nama Benda Uji	Kuat Lentur	f' r rata-rata	(xi-x)	(xi-x)^2	S	CV	Klasifikasi
		(MPa)	(MPa)				(%)	
0%	1	2,18	2,21	-0,027	0,001	0,03	1%	Terbaik
	2	2,21		0,003	0,000			
	3	2,23		0,023	0,001			
5%	1	1,69	1,75	-0,057	0,003	0,08	5%	Cukup
	2	1,84		0,093	0,009			
	3	1,71		-0,037	0,001			
10%	1	1,90	1,93	-0,033	0,001	0,04	2%	Sangat Baik
	2	1,97		0,037	0,001			
	3	1,93		-0,003	0,000			
15%	1	2,17	2,17	0,000	0,000	0,02	1%	Terbaik
	2	2,15		-0,020	0,000			
	3	2,19		0,020	0,000			
20%	1	1,61	1,65	-0,043	0,002	0,05	3%	Sangat Baik
	2	1,70		0,047	0,002			
	3	1,65		-0,003	0,000			

Hasil klasifikasi data menunjukkan tingkatan ketelitian dalam pelaksanaan penelitian untuk pengujian kuat tarik lentur beton busa tidak seragam. Data yang menyimpang dari yang lain pada satu kelompok sampel tidak digunakan. Hal ini

dilakukan agar kumpulan data yang berada pada satu perlakuan setiap kelompok dapat mendekati keseragaman.

4.7 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana abu kaolin dapat menggantikan sebagian semen dalam pembuatan beton busa, dengan memperhatikan tiga parameter utama yaitu berat jenis, kelecakan (*slump flow*), dan kuat tarik lentur. Pengujian dilakukan terhadap lima variasi campuran abu kaolin sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari total berat semen, dengan umur pengujian pada hari ke-28. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran dapat memenuhi target *specific gravity* sebesar 1600 kg/m^3 dan nilai *slump flow* minimal 20 cm sebagaimana ditetapkan dalam perencanaan desain campuran. Rata-rata berat jenis seluruh variasi mencapai $1606,2 \text{ kg/m}^3$, sementara nilai rata-rata *slump flow* sebesar 20,7 cm. Hal ini membuktikan bahwa abu kaolin tidak mengganggu kestabilan fisis beton busa, dan proses pencampuran telah dilakukan secara konsisten.

Dari hasil pengujian berat jenis, diperoleh data penambahan abu kaolin justru sedikit meningkatkan massa jenis beton. Nilai *specific gravity* tertinggi terjadi pada variasi 20% dengan nilai 1620 kg/m^3 . Kenaikan ini menunjukkan bahwa abu kaolin mampu mengisi pori-pori kecil dalam campuran beton sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih padat. Akan tetapi, peningkatan massa jenis ini tidak sepenuhnya berbanding lurus dengan kekuatan mekanik beton. Data kuat tarik lentur menunjukkan bahwa nilai tertinggi justru diperoleh pada variasi 15%, yakni sebesar 2,17 MPa, yang mendekati nilai kuat tarik lentur beton tanpa substitusi (0%) sebesar 2,21 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan abu kaolin hingga batas tertentu masih mampu mempertahankan bahkan mendekati performa beton normal. Sebaliknya, pada variasi 20% terjadi penurunan kekuatan tarik lentur menjadi 1,65 MPa, yang menandakan bahwa penggunaan abu kaolin dengan proporsi yang terlalu tinggi berpengaruh negatif terhadap kekuatan beton.

Hal tersebut berkaitan dengan sifat kimiawi abu kaolin yang bersifat pozzolan tetapi tidak seaktif semen. Abu kaolin memerlukan kalsium hidroksida hasil hidrasi dari semen untuk dapat bereaksi secara optimal. Jika jumlah semen dikurangi terlalu banyak, ketersediaan kalsium hidroksida juga menurun, sehingga reaksi pozzolanik tidak berlangsung maksimal. Akibatnya, pembentukan senyawa pengikat utama dalam beton seperti CSH (*calcium silicate hydrate*) menjadi terbatas, dan kekuatan beton pun tidak berkembang secara optimal. Selain itu, penggunaan abu kaolin yang berlebihan juga dapat menyebabkan peningkatan porositas, yang berpengaruh langsung pada menurunnya kekuatan struktur pada beton busa.

Selanjutnya, pola kehancuran benda uji juga mendukung hasil pengujian mekanik, di mana patahan yang terjadi terletak pada bagian sepertiga tengah bentang balok, yang menunjukkan bahwa keretakan terjadi akibat murni gaya lentur, bukan karena kesalahan dalam pengecoran atau distribusi material. Hal ini juga menunjukkan bahwa pencampuran bahan berjalan dengan baik dan distribusi partikel merata pada seluruh bagian beton busa. Dari hasil pengujian statistik, nilai koefisien variasi (CV) dan standar deviasi menunjukkan tingkat ketelitian yang baik hingga sangat baik. Variasi 0% dan 15% tercatat memiliki ketelitian terbaik, sementara variasi 10% dan 20% dikategorikan sangat baik. Artinya, data hasil pengujian memiliki tingkat penyebaran yang rendah dan dapat dipercaya untuk diinterpretasikan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa abu kaolin dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton busa hingga batas optimum sebesar 15%, tanpa mengorbankan karakteristik fisis dan kekuatan lentur beton. Pada kadar ini, abu kaolin terbukti dapat mempertahankan *workability* dan kepadatan beton, serta tetap menunjukkan kekuatan tarik lentur yang kompetitif. Penggunaan abu kaolin lebih dari 15% harus dikaji ulang, karena dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanis secara signifikan. Oleh karena itu, abu kaolin memiliki potensi sebagai bahan tambahan alternatif dalam pengembangan beton ramah lingkungan, selama digunakan dalam proporsi yang sesuai.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian terkait pengaruh penggunaan dari abu kaolin sebagai bahan pengganti semen pada pengujian kuat tarik lentur pada beton busa dengan berat jenis 1600 kg/m^3 dan faktor air semen 0,5 diperoleh beberapa kesimpulan dan saran yaitu sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada beton busa dengan variasi penggantian abu kaolin sebagai substitusi parsial semen, diperoleh beberapa poin penting sebagai berikut :

1. Penggantian sebagian semen dengan abu kaolin dapat meningkatkan kuat tarik lentur beton busa, dengan nilai tertinggi dicapai pada variasi campuran abu kaolin sebesar 15%. Pada variasi ini, nilai kuat tarik lentur mencapai 2,73 MPa, mengalami peningkatan sebesar 19,02% dibandingkan beton tanpa campuran abu kaolin (normal), sehingga variasi ini dinilai sebagai proporsi yang paling efektif.
2. Pada kadar abu kaolin sebesar 20%, kuat tarik lentur justru mengalami penurunan menjadi 2,25 MPa. Penurunan ini disebabkan oleh sifat kimia abu kaolin yang bersifat inert dan kurang reaktif terhadap air dibandingkan semen, sehingga tidak mendukung proses hidrasi secara optimal.
3. Peningkatan kuat tarik lentur tidak terjadi secara linier terhadap persentase abu kaolin yang ditambahkan. Penggunaan abu kaolin dalam jumlah berlebih justru menurunkan performa mekanis beton busa karena menurunnya jumlah semen aktif yang tersedia untuk proses pengikatan.
4. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan antara nilai kuat tarik lentur hasil uji laboratorium dengan nilai yang diperoleh melalui perhitungan berdasarkan rumus empiris dari SNI. Ketidaksesuaian ini

disebabkan oleh perbedaan karakteristik material, kondisi pengujian, serta keterbatasan dari rumus empiris yang bersifat umum dan belum tentu sesuai dengan karakteristik material lokal yang digunakan.

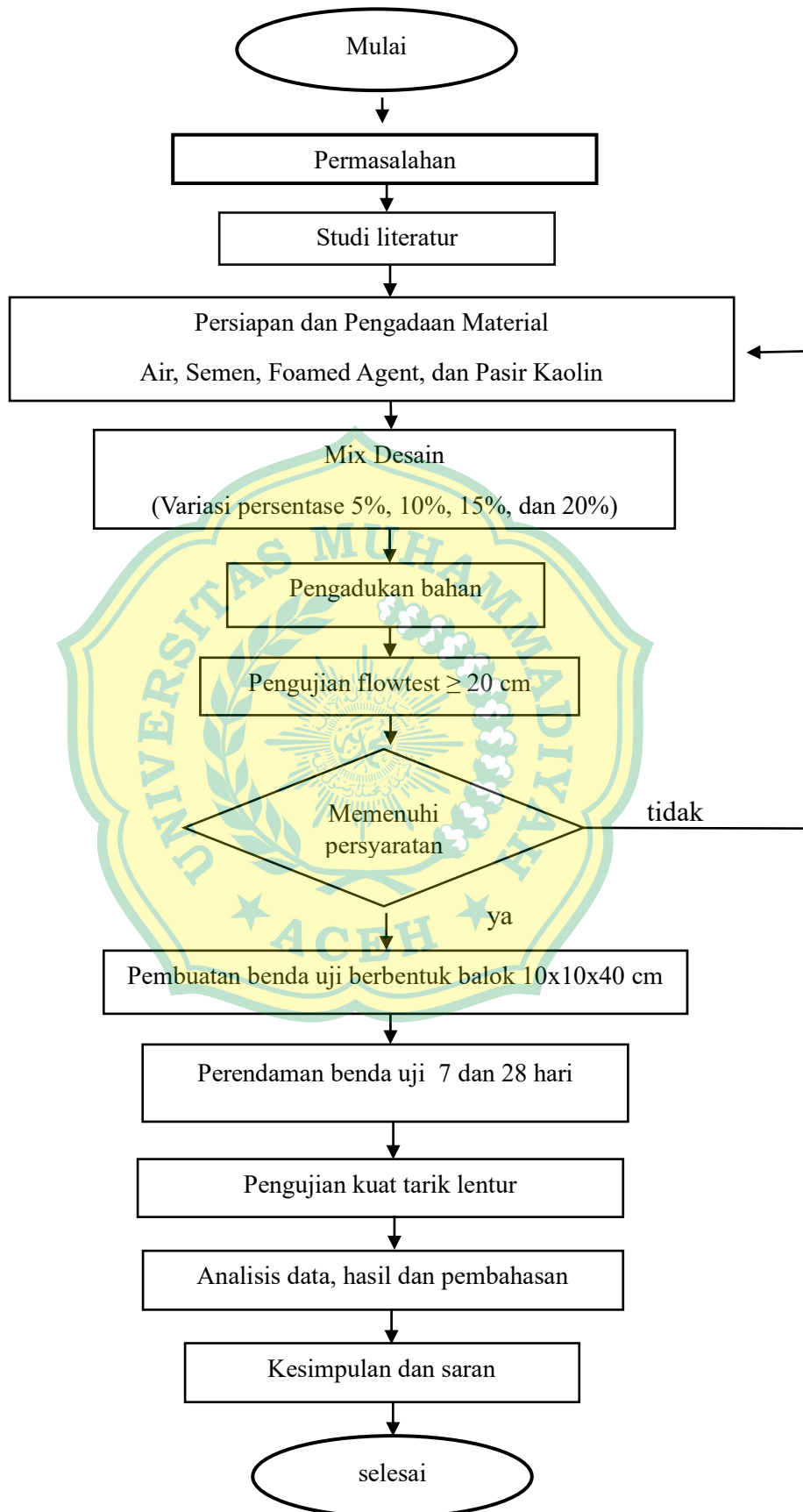
5.2 Saran

Adapun hasil berdasarkan temuan pada penelitian dapat dijadikan beberapa saran yang dapat diajukan antara lain:

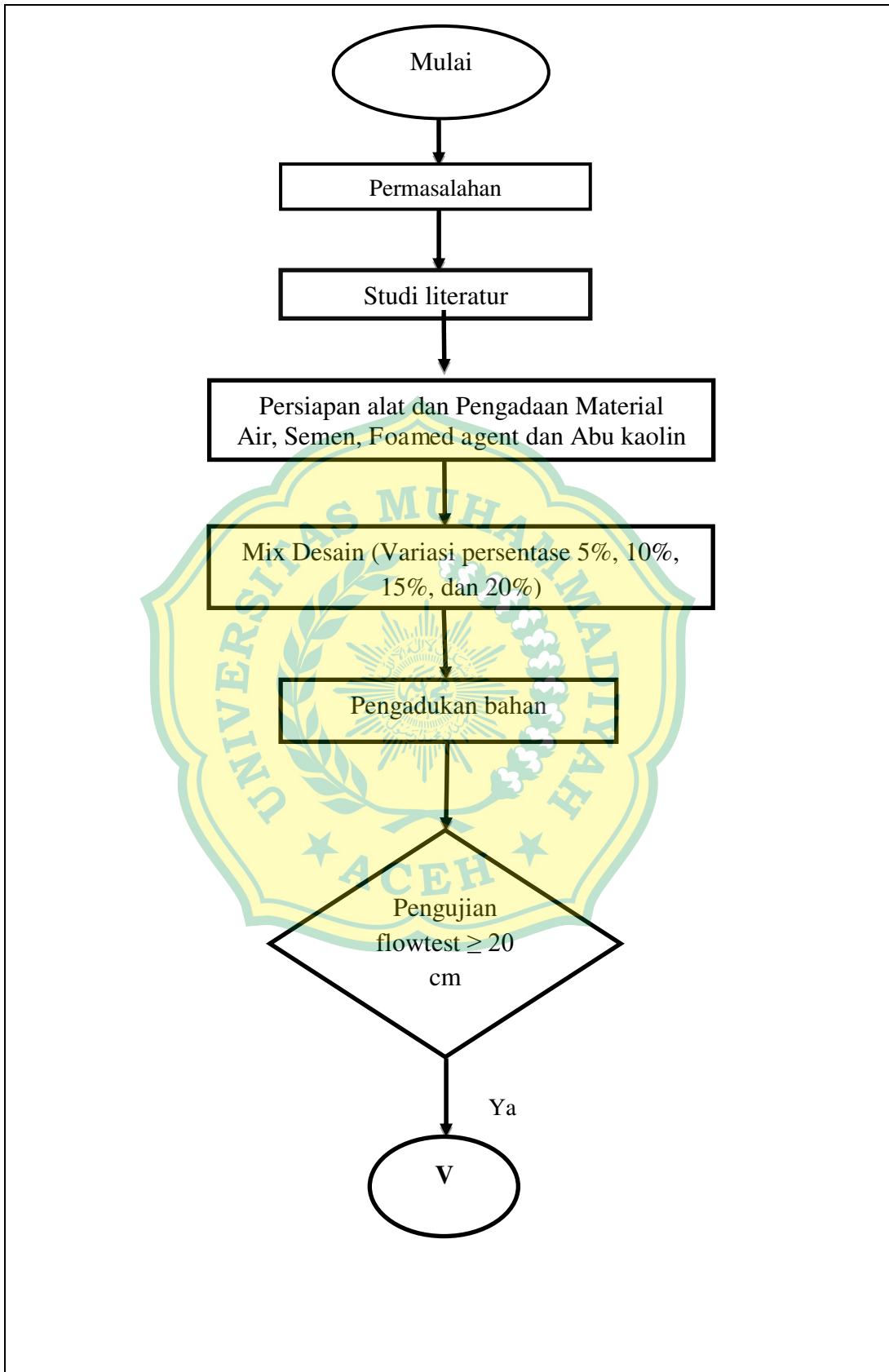
1. Untuk memperoleh peningkatan kuat tarik lentur yang optimal, penggunaan abu kaolin sebagai bahan pengganti semen disarankan tidak melebihi 15% dari total berat semen. Pada kadar ini, beton busa menunjukkan kekuatan optimal tanpa mengurangi performa mekanik secara signifikan.
2. Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan memperhatikan variabel lain yang dapat memengaruhi performa beton busa, seperti jenis semen, umur pengujian (misalnya 7, 28, hingga 56 hari), serta pengaruh bahan tambah lain guna mengkaji interaksi dan sinergi dengan abu kaolin.
3. Disarankan untuk mengembangkan penelitian terhadap sifat lain dari beton busa, seperti kuat tekan, ketahanan terhadap lingkungan agresif, daya serap air, pengaruh penggunaan serat atau admixture, serta daya tahan jangka panjang (durabilitas).
4. Maka untuk mengevaluasi kesesuaian antara hasil pengujian laboratorium dan rumus secara empiris, perlu dilakukan kajian lanjutan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti metode pengujian, kondisi perawatan benda uji, serta karakteristik agregat dan semen yang digunakan. Hal ini penting guna memperoleh model prediksi kuat tarik lentur yang lebih akurat dan aplikatif.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

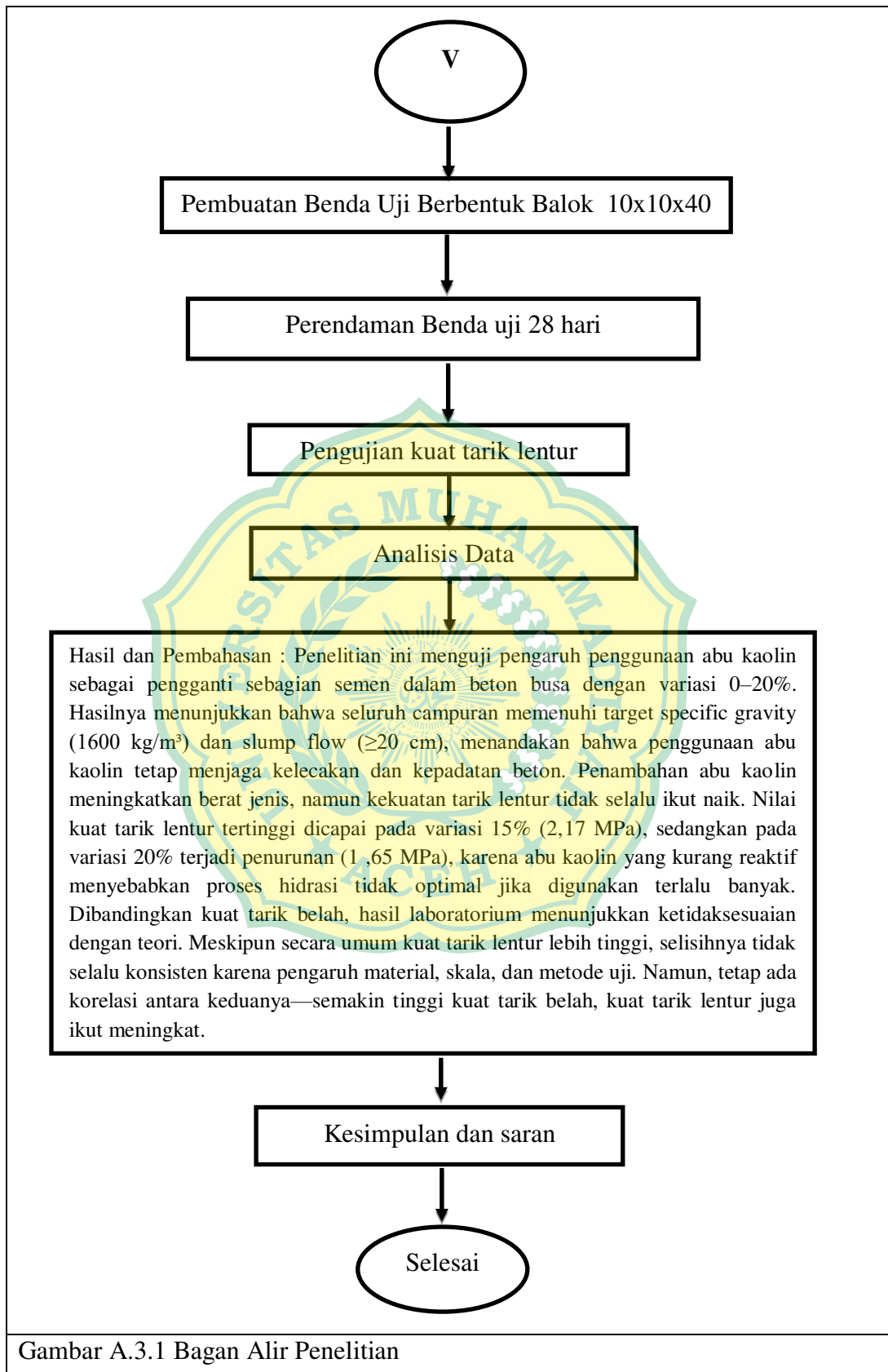
- Amir Husin, A., & Setiadji, R. (2008). *Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton*.
- Arizki, R., Sari, I., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2015). *Pengaruh Jumlah Semen Dan FAS Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), hlm 68–76.
- Blasius Malau, Febrianto. (2014). *Penelitian Kuat Tekan Dan Berat Jenis Mortar Untuk Dinding Panel*. Wales.
- Deolinda Bere, Maria. S. Bertinus. D. H. (2021). *Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Busa*.
- Fauzi, M., Puspita, N., & Roni Julio, R. (2022). *Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Pada Beton Ringan*.
- Karimah, R., Rusdianto, Y., & Hamdany, D. Y. (2017). *Pengaruh Penggunaan Foam Agent Terhadap Kuat Tekan Dan Koefisien Permeabilitas Pada Beton*. hlm 50–55.
- Pardomuan, F., Tanudjaja, P. H., & Windah, R. S. (2015). *Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), hlm 313–321.
- Pratama, K. I., Naibaho, P. R. T., & Bangun, S. (2023). *Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Dengan Mutu f_c '25 Megapascal (MPa)*. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 6(1), 1–7.
- Pujiona, Agus., Dwi Riyanto, Pujianto, A., Soebandono, Bagus., (2013). *Pengaruh Faktor Air Semen terhadap Kuat Tekan Beton dengan Agregat Batu Apung (The Effect of Water-Cement Ratio on the Compressive Strength of Concrete with Pumice Aggregate)*.
- Salsabilla, N., Hendra Hermawan, O., & Utami, M. Y. (2022). *Analisis Nilai Kuat Tekan Beton Akibat Substitusi Metakaolin Dengan Variasi Metode Perlakuan Perawatan Beton* (Vol. 20, Issue 1).
- Sinta Devi, D., Roni Julio, R., & Cristine, A. (2022). *Analisis Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Pengganti Sebagian Semen*.
- SNI 2847:2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*
- SNI 4431:2011. (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*.
- SNI 03:6815:2002. (2002). *Tata Cara Evaluasi Beton*.
- SNI 9024:2021. (2021). *Cara Uji Slump Flow Pada Beton Memadat Sendiri*.



Lampiran A



Lampiran A



Gambar A.3.1 Bagan Alir Penelitian

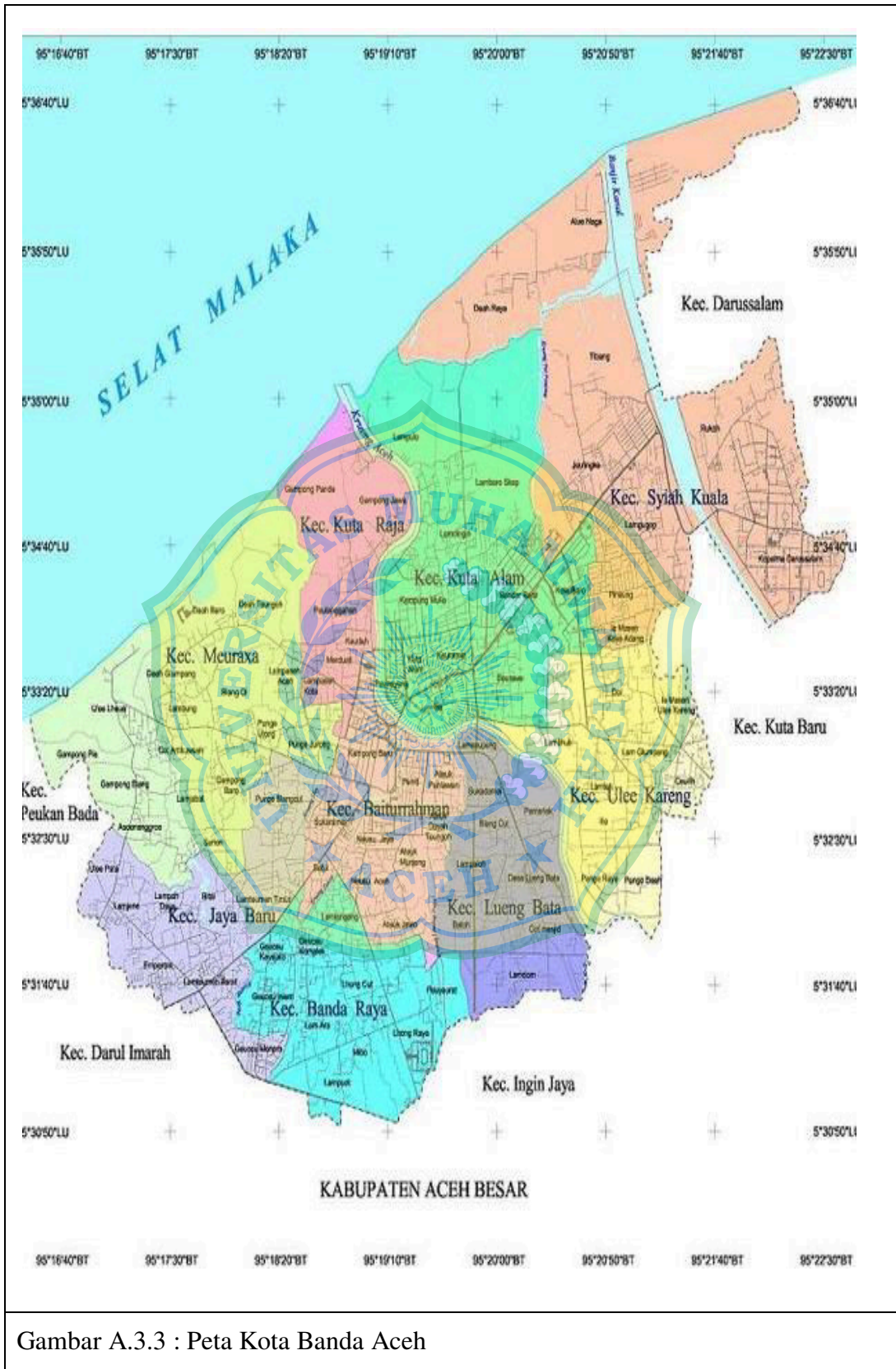
Lampiran A



Gambar A.3.2 : Peta Provinsi Aceh

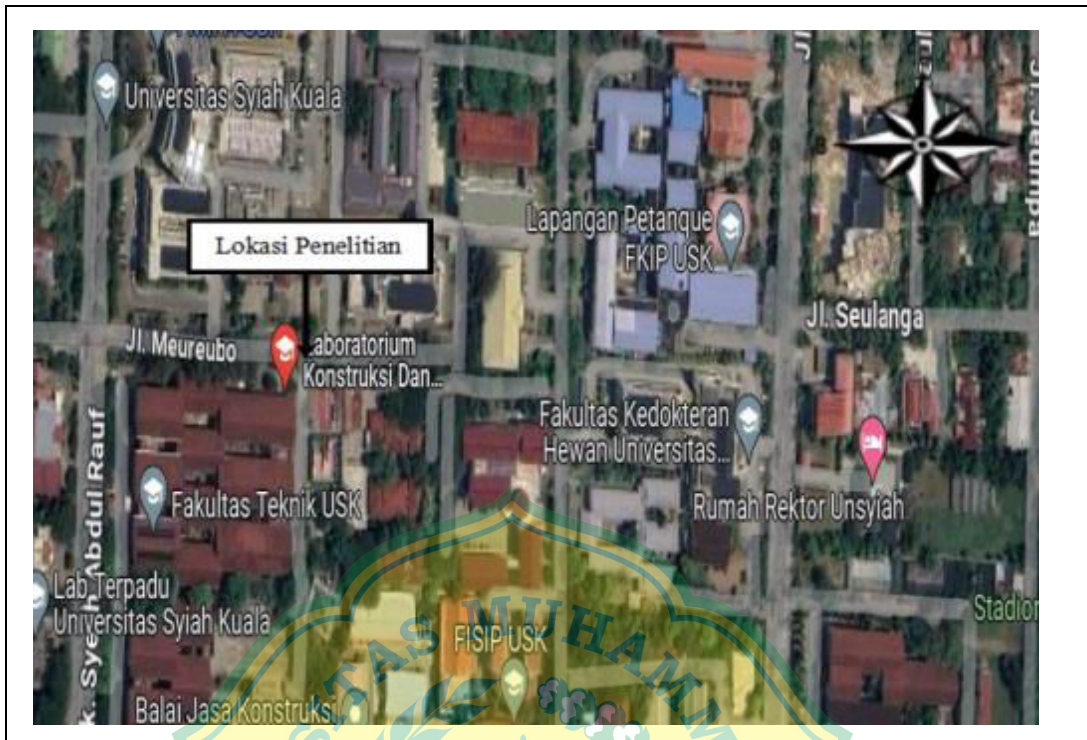
Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Aceh (2024)

Lampiran A



Gambar A.3.3 : Peta Kota Banda Aceh

Lampiran A



Gambar A.3.4 : Peta Lokasi Penelitian

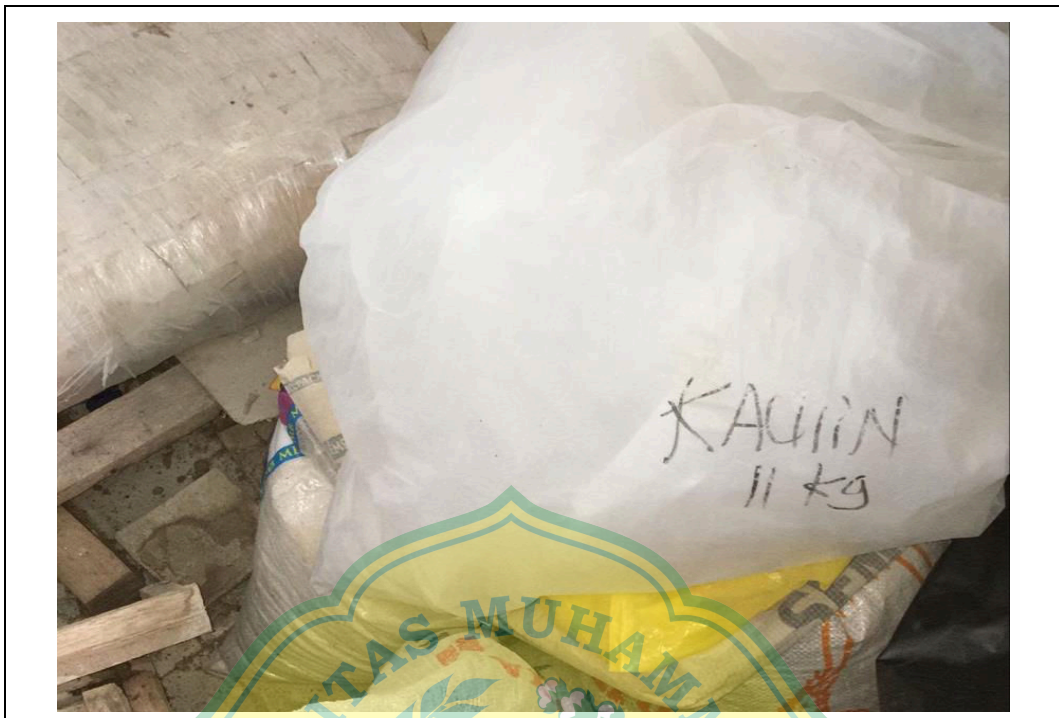
Sumber : <https://google.com/maps>



Gambar A.3.5 : Peta Lokasi Pengambilan Kaolin

Sumber : <https://earth.google.com/web>

Lampiran A



Gambar A.3.6 Persiapan Pengadaan Abu Kaolin
Sumber : Dokumentasi penelitian



Gambar A.3.7 Persiapan analisa saringan (Sieve Shaker)
Sumber : Dokumentasi penelitian

Lampiran A

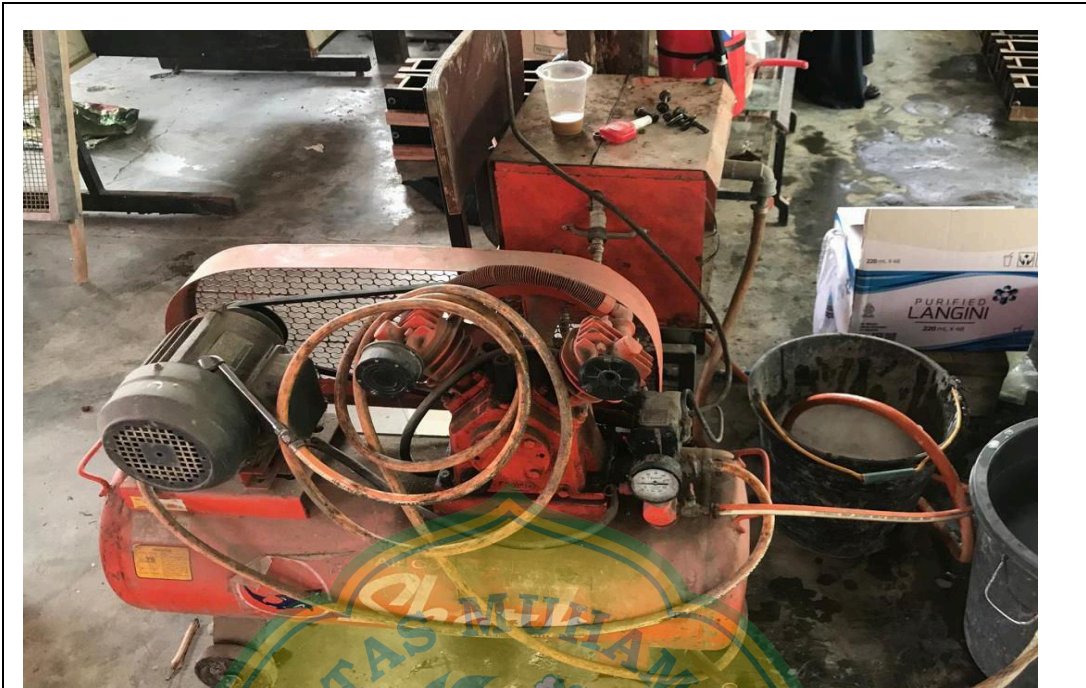


Gambar A.3.8 Persiapan semen Portland OPC tipe 1
Sumber : Dokumentasi penelitian



Gambar A.3.9 Persiapan foam agent
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.4.0 Mesin kompresor
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.4.1 Persiapan mesin foam generator
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.4.2 Persiapan literan kapasitas 1 liter
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.4.3 Persiapan pipa 5x10 dan kaca 50x50cm
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.4.4 Persiapan timbangan digital
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.4.5 Mesin concrete mixer
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A

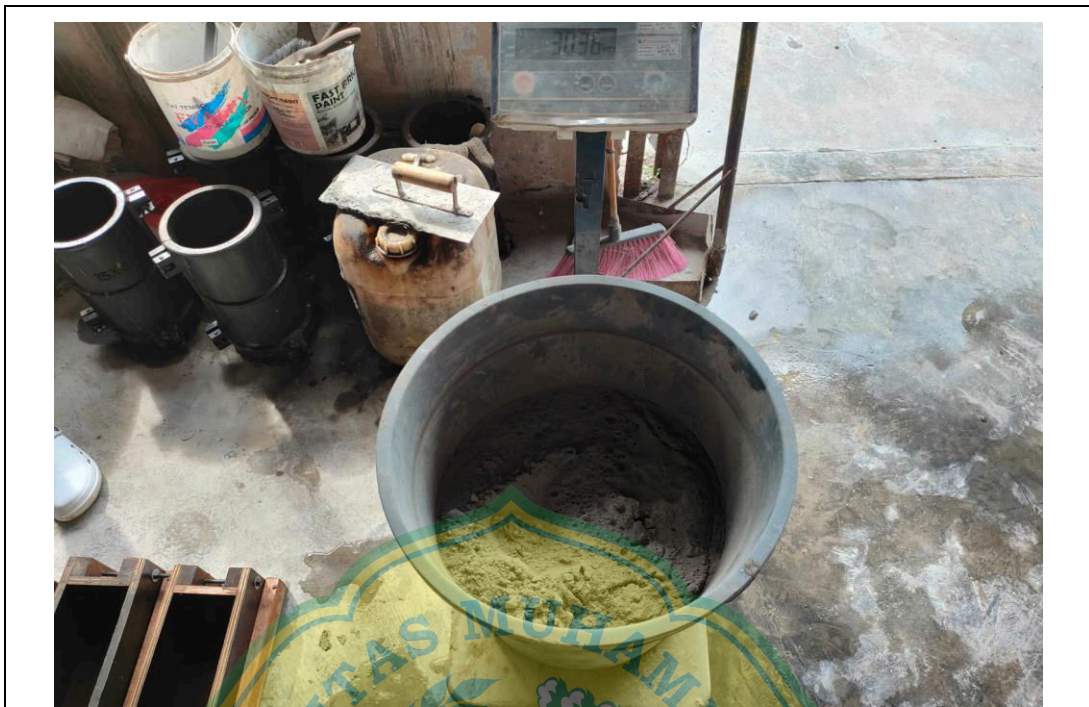


Gambar A.4.6 Persiapan cetakan benda balok 10 x 10 x 40 cm
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.4.7 Penimbangan air untuk pengecoran
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.4.8 Penimbangan semen untuk pengecoran
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.4.9 Penimbangan air untuk foam agent
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.5.0 Penimbangan abu kaolin untuk pengecoran
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.5.1 Proses persiapan foam agent untuk pengecoran
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.5.2 Pembuatan foam dengan foam generator dan kompresor
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.5.3 Proses penuangan air ke dalam concrete mixer
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.5.4 Proses penuangan semen ke dalam concrete mixer
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.5.5 Proses penuangan abu kaolin ke dalam concrete mixer
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.5.6 Proses penuangan foam ke dalam concrete mixer
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.5.7 Pengecekan campuran beton busa didalam concrete mixer
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.5.8 Penimbangan Specific gravity beton busa segar dengan literan
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.5.9 Pengujian flow test butan busa
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.6.0 Pengukuran hasil uji flow test beton busa
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.6.1 Penuangan beton busa segar ke dalam cetakan silinder
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.6.2 Proses pematangan awal beton selama 24 jam
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.6.3 Proses pembukaan cetakan balok dari benda uji
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.6.4 Penimbangan berat awal beton busa & pengujian berat volume
Sumber : Dokumentasi lapangan

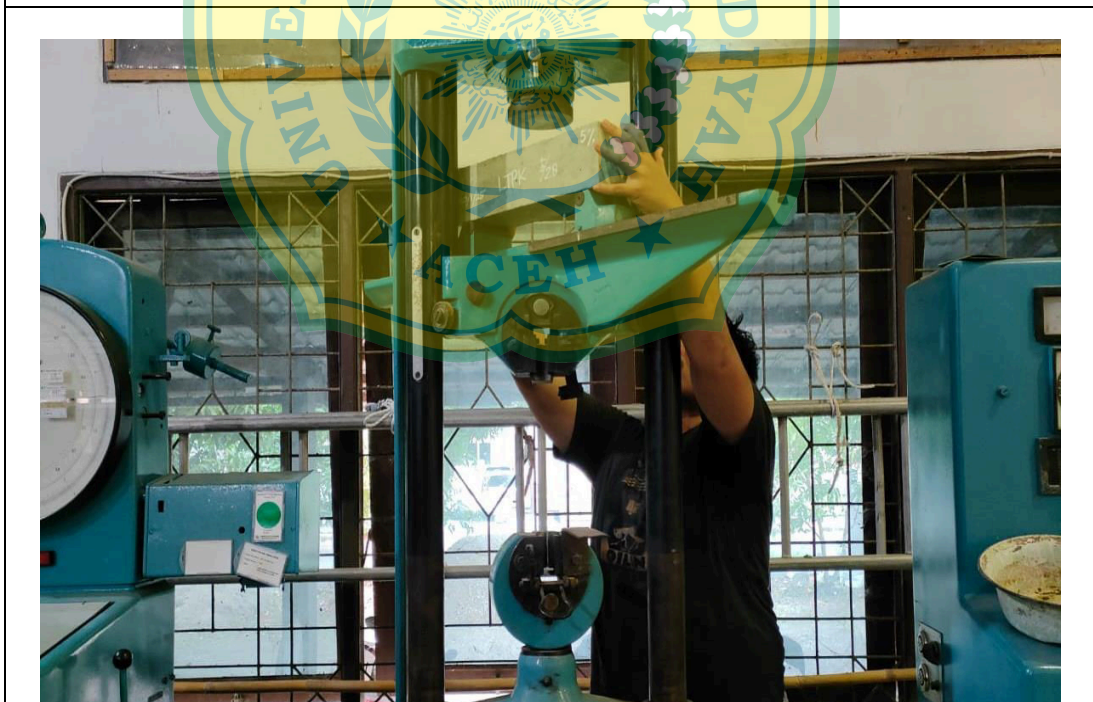


Gambar A.6.5 Proses perendaman beton busa
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.6.6 Penimbangan berat kering beton busa
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.6.7 Peletakan benda uji pada alat pengujian
Sumber : Dokumentasi lapangan

Lampiran A



Gambar A.6.8 Sampel benda uji sebelum pengujian kuat tarik belah
Sumber : Dokumentasi lapangan



Gambar A.6.9 Pola kehancuran kuat tarik lentur
Sumber : Dokumentasi lapangan

Tabel B.4.1: Proporsi Campuran per 1 m³

SG (kg/m ³)	FAS	Semen	Kaolin	Semen	Kaolin	Air	Busa
		%	%	(kg)	(kg)	(kg)	(liter)
1	2	3	4	6	7	9	10
1600	0,5	100	0	1066,667	0	533,334	128,04
		95	5	1013,334	53,33	533,334	119,82
		90	10	960,000	106,67	533,334	111,59
		85	15	906,667	160,00	533,334	103,36
		80	20	853,334	213,33	533,334	95,14

Tabel B.4.2: Mix Design Foamed Concrete campuran abu kaolin untuk satu benda balok 10 x 10 x 40 cm.

Volume Balok	Volume Benda Uji (1 BU)	Semen (kg)	Pasir Kaolin (kg)	Air (kg)	Busa (liter)
1	2	3	4	6	7
0,004000	0,00400	4,27	0	2,13	0,51
		4,05	0,21	2,13	0,48
		3,84	0,43	2,13	0,45
		3,63	0,64	2,13	0,41
		3,41	0,85	2,13	0,38

Tabel B.4.3: Mix Design Foamed Concrete campuran abu kaolin dengan koefisien pengecoran 1.2 untuk satu benda balok 10 x 10 x 40 cm.

Koefisien Pengecoran	Semen (kg)	Kaolin (kg)	Air (kg)	Busa (liter)
1	2	4	5	
1,2	5,12	0	2,56	0,61
	4,86	0,26	2,56	0,58
	4,61	0,51	2,56	0,54
	4,35	0,77	2,56	0,50
	4,10	1,02	2,56	0,46

Tabel B.4.4: Mix Design pengecoran menggunakan abu kaolin untuk 6 benda uji bervariasi campuran.

Persentase (%)	Semen (kg)	Kaolin (kg)	Air (kg)	Busa (liter)
0%	15,36	0,00	7,68	1,84
5%	14,59	0,77	7,68	1,73
10%	13,82	1,54	7,68	1,61
15%	13,06	2,30	7,68	1,49
20%	12,29	3,07	7,68	1,37
Total	69,12	7,68	38,40	8,03

Tabel B.4.5: Tabel pengujian specific gravity (SG)

Specific Gravity			
Persentase (%)	Spesific Gravity Rencana (kg/m ³)	Spesific Gravity Lab (kg/m ³)	Rata-Rata (kg/m ³)
0%	1600	1600	1608,9
5%		1615	
10%		1600	
15%		1610	
20%		1620	

Tabel B.4.6: Tabel pengujian flow test

Flow Test					
Persentase (%)	Flow Rencana (cm)	Flow Lab		Flow Lab Rata-Rata (cm)	Flow Rata-Rata (cm)
		cm	cm		
0%	≥20	20,8	20,0	20,9	20,58
5%		20,6	21,0	20,8	
10%		20,2	21,6	20,6	
15%		20,0	21,6	20,6	
20%		21,0	21,0	21,0	

Tabel B.4.7: Nilai kuat tarik lentur beton busa rata-rata pada beton umur 28 hari

Umur (hari)	Jenis Beton	No Benda Uji	Dimensi (mm)			Beban (ton)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
			Panjang	Lebar	Tinggi			
			L	b	h	P	fr	fr
28	0%	1	300	100	100	0,75	2,18	2,21
		2	300	100	100	0,76	2,21	
		3	300	100	100	0,77	2,23	
28	5%	1	300	100	100	0,58	1,69	1,75
		2	300	100	100	0,63	1,84	
		3	300	100	100	0,59	1,71	
28	10%	1	300	100	100	0,65	1,90	1,93
		2	300	100	100	0,68	1,97	
		3	300	100	100	0,66	1,93	
28	15%	1	300	100	100	0,76	2,17	2,17
		2	300	100	100	0,74	2,15	
		3	300	100	100	0,75	2,19	
28	20%	1	300	100	100	0,55	1,61	1,65
		2	300	100	100	0,59	1,70	
		3	300	100	100	0,56	1,65	

Tabel B.8: Nilai variasi dan standar deviasi

Umur (Hari)	CAMPURAN	Nama Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	f'c rata-rata (MPa)	S	CV (%)	Klasifikasi
28	0%	1	2,18	2,21	0,03	1%	Sangat Baik
		2	2,21				
		3	2,23				
28	5%	1	1,69	1,75	0,08	5%	Sangat Baik
		2	1,84				
		3	1,71				
28	10%	1	1,90	1,93	0,04	2%	Baik
		2	1,97				
		3	1,93				
28	15%	1	2,17	2,17	0,02	1%	Baik
		2	2,15				
		3	2,19				
28	20%	1	1,61	1,65	0,05	3%	Baik
		2	1,70				
		3	1,65				



Lampiran C

C.4.1 Perhitungan perencanaan campuran beton busa

1) Data perencanaan campuran

Adapun data perencanaan campuran beton busa sebagai berikut :

- a. Berat jenis (specific gravity) rencana = $1,600 \text{ kg/m}^3$
- b. Berat jenis semen = $3,15 \text{ kg}$
- c. Berat jenis air = 1 kg
- d. Berat jenis abu kaolin = $2,12 \text{ kg/m}^3$
- e. Factor air semen rencana = $0,5$
- f. Safety factor = $1,2$

2) Langkah perhitungan campuran

1. Berat busa (foam)

Dalam perencanaan mix design beton busa, berat busa diasumsikan menjadi 0.

2. Jumlah semen dalam 1 m^3

Jumlah semen yang dibutuhkan untuk 1 m^3 tanpa substitusi abu kaolin yang didapat dari trial and error sehingga memenuhi kebutuhan berat jenis rencana. Jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3 didapat sebesar 1066,67, sedangkan jumlah semen yang dibutuhkan untuk 1 m^3 sebagai bahan substitusi semen variasi 5%, 10%, 15%, dan 20% dalam 1 m^3 beton busa sebagai berikut :

Jumlah semen = jumlah semen dalam 1 m^3 – (jumlah semen dalam 1 m^3 – persentase abu kaolin)

a. Substitusi semen 5% semen dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Jumlah semen} &= 1066,67 - (1066,67 \times 0,05) \\ &= 1013,33 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Substitusi semen 10% semen dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Jumlah semen} &= 1066,67 - (1066,67 \times 0,10) \\ &= 960,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Substitusi semen 15% semen dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Jumlah semen} &= 1066,67 - (1066,67 \times 0,15) \\ &= 906,67 \text{ kg} \end{aligned}$$

Lampiran C

d. Substitusi semen 20% semen dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Jumlah semen} &= 1066,67 - (1066,67 \times 0,020) \\ &= 853,334 \text{ kg}\end{aligned}$$

3. Jumlah abu kaolin 1 m³

Jumlah abu kaolin yang dibutuhkan 1 m³ sebagai bahan pengganti semen dengan variasi 5%, 10%, 15% dan 20% sebagai berikut :

Jumlah abu kaolin = (jumlah semen dalam 1 m³ x persentase abu kaolin)

a. Abu kaolin 5% dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Jumlah abu kaolin} &= (1066,67 \times 0,05) \\ &= 53,33 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Abu Kaolin 10% dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Jumlah abu kaolin} &= (1066,67 \times 0,010) \\ &= 106,667 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Abu Kaolin 15% dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Abu Kaolin} &= (1066,67 \times 0,015) \\ &= 160,00 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Abu Kaolin 20% dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Abu Kaolin} &= (1066,67 \times 0,020) \\ &= 213,333 \text{ kg}\end{aligned}$$

4. Jumlah air dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Jumlah air} &= \text{jumlah semen dalam } 1 \text{ m}^3 \times \text{fas} \\ \text{Jumlah air} &= 1066,67 \times 0,5 \\ &= 533,334 \text{ kg}\end{aligned}$$

5. Kontrol berat jenis 1 m³

Berat jenis beton busa = (jumlah substitusi semen 1 m³ + jumlah abu kaolin 1 m³ + jumlah air dalam 1 m³)

a. Persentase 0% dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis beton busa} &= 1066,67 + 533,334 \\ &= 1,600 \text{ kg (memenuhi)}\end{aligned}$$

b. Persentase 5% dalam 1 m³

$$\text{Berat jenis beton busa} = 1013,33 + 53,33 + 533,334$$

Lampiran C

$$= 1,600 \text{ kg (memenuhi)}$$

- c. Persentase 10% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis beton busa} &= 960,00 + 106,667 + 533,334 \\ &= 1,600 \text{ kg (memenuhi)} \end{aligned}$$

- d. Persentase 15% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis beton busa} &= 906,67 + 160,00 + 533,334 \\ &= 1,600 \text{ kg (memenuhi)} \end{aligned}$$

- e. Persentase 20% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis beton busa} &= 853,334 + 213,333 + 533,334 \\ &= 1,600 \text{ kg (memenuhi)} \end{aligned}$$

6. Menentukan jumlah foam untuk 1 m^3

Jumlah semen, abu kaolin dan jumlah air yang digunakan akan dikonversikan ke dalam satuan liter dengan cara dibagi dengan berat jenisnya. Hitung berat foam dalam satuan liter, volume yang direncanakan dalam mix design $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter} = 1000 \text{ kg} = 1 \text{ ton}$ sehingga $1 \text{ liter} = 1 \text{ kg}$.

1. Berat jenis bahan dalam 1 m^3

- a. Persentase 0% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Semen} &= \frac{\text{Berat semen / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis semen kg/l}} \\ &= \frac{1066,67}{3,15} \\ &= 338,62 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air} &= \frac{\text{Berat air / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis air kg/l}} \\ &= \frac{533,334}{1} \\ &= 533,334 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

- b. Persentase 5% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned} \text{Semen} &= \frac{\text{Berat semen / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis semen kg/l}} \\ &= \frac{1013,33}{3,15} \end{aligned}$$

Lampiran C

$$= 321,69 \text{ kg/l}$$

$$\text{Air} = \frac{\text{Berat air} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis air kg/l}}$$

$$= \frac{533,334}{1}$$

$$= 533,334 \text{ kg/l}$$

$$\text{Abu Kaolin} = \frac{\text{Berat abu kaolin} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis abu kaolin kg/l}}$$

$$= \frac{53,33}{2,12}$$

$$= 22,155 \text{ kg/l}$$

c. Persentase 10% dalam 1 m³

$$\text{Semen} = \frac{\text{Berat semen} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis semen kg/l}}$$

$$= \frac{960,00}{3,15}$$

$$= 304,76 \text{ kg/l}$$

$$\text{Air} = \frac{\text{Berat air} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis air kg/l}}$$

$$= \frac{533,334}{1}$$

$$= 533,334 \text{ kg/l}$$

$$\text{Abu Kaolin} = \frac{\text{Berat abu kaolin} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis abu kaolin kg/l}}$$

$$= \frac{106,667}{2,12}$$

$$= 50,314 \text{ kg/l}$$

d. Persentase 15% dalam 1 m³

$$\text{Semen} = \frac{\text{Berat semen} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis semen kg/l}}$$

$$= \frac{906,67}{3,15}$$

$$= 287,83 \text{ kg/l}$$

$$\text{Air} = \frac{\text{Berat air} / \text{m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis air kg/l}}$$

Lampiran C

$$= \frac{533,334}{1}$$

$$= 533,334 \text{ kg/l}$$

$$\text{Abu Kaolin} = \frac{\text{Berat abu kaolin / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis abu kaolin kg/l}}$$

$$= \frac{160,00}{2,12}$$

$$= 75,471 \text{ kg/l}$$

e. Persentase 20% dalam 1 m³

$$\text{Semen} = \frac{\text{Berat semen / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis semen kg/l}}$$

$$= \frac{853,334}{3,15}$$

$$= 270,89 \text{ kg/l}$$

$$\text{Air} = \frac{\text{Berat air / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis air kg/l}}$$

$$= \frac{533,334}{1}$$

$$= 533,334 \text{ kg/l}$$

$$\text{Abu Kaolin} = \frac{\text{Berat abu kaolin / m}^3 \text{ kg}}{\text{Berat jenis abu kaolin kg/l}}$$

$$= \frac{213,333}{2,12}$$

$$= 100,63 \text{ kg/l}$$

2. Jumlah foam untuk 1 m³

Foam yang dibutuhkan = 1000 – (berat jenis semen dalam 1 m³ + berat jenis abu kaolin dalam 1 m³ + berat jenis air dalam 1 m³)

a. Persentase 0% dalam 1 m³

$$\text{Foam yang dibutuhkan} = 1000 - (338,62 + 533,334)$$

$$= 128,04 \text{ liter}$$

b. Persentase 5% dalam 1 m³

$$\text{Foam yang dibutuhkan} = 1000 - (321,69 + 25,16 + 533,334)$$

$$= 119,82 \text{ liter}$$

Lampiran C

c. Persentase 10% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 1000 - (304,76 + 50,31 + 533,334) \\ &= 111,59 \text{ liter}\end{aligned}$$

d. Persentase 15% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 1000 - (287,83 + 75,47 + 533,334) \\ &= 103,36 \text{ liter}\end{aligned}$$

e. Persentase 20% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 1000 - (270,90 + 80,50 + 533,334) \\ &= 95,14 \text{ liter}\end{aligned}$$

7. Volume benda uji

Cetakan yang akan digunakan yaitu balok dengan panjang 40 cm (0,40 m), lebar 10 cm (0,10) dan tinggi 10 cm (0,10 m) dengan jumlah benda uji bervariasi campuran sebanyak 6 benda uji. Sehingga perhitungan volume benda uji silinder sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Volume balok} &= p \times l \times t \\ &= (0,10) \times (0,10) \times (0,40) \\ &= 4000 \text{ cm}^3 \approx 0,00400 \text{ m}^3\end{aligned}$$

8. Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda balok 10 x 10 x 40 cm

Semen yang dibutuhkan = jumlah semen dalam 1 m^3 x volume benda uji

a. Persentase 0% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 1066,67 \times 0,00400 \\ &= 4,26 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Persentase 5% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 1013,33 \times 0,00400 \\ &= 4,05 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Persentase 10% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 960,00 \times 0,00400 \\ &= 3,84 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Persentase 15% dalam 1 m^3

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 906,67 \times 0,00400 \\ &= 3,62 \text{ kg}\end{aligned}$$

Lampiran C

e. Persentase 20% dalam 1 m³

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 853,33 \times 0,00400 \\ &= 3,41 \text{ kg}\end{aligned}$$

9. Jumlah abu kaolin untuk 1 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

Abu kaolin yang dibutuhkan = jumlah abu kaolin 1 m³ x volume benda uji

a. Persentase 5% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 53,33 \times 0,00400 \\ &= 0,21 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Persentase 10% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 106,67 \times 0,00400 \\ &= 0,42 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Persentase 15% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 160,00 \times 0,00400 \\ &= 0,64 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Persentase 20% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 213,33 \times 0,00400 \\ &= 0,85 \text{ kg}\end{aligned}$$

10. Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok 10 x 10 x 30 cm

Air yang dibutuhkan = jumlah air dalam 1 m³ x volume benda uji

$$\begin{aligned}\text{Air yang dibutuhkan} &= 533,334 \times 0,00400 \\ &= 2,13 \text{ kg}\end{aligned}$$

11. Jumlah foam yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

Foam yang dibutuhkan = jumlah foam 1 m³ x volume benda uji

a. Foam persentase 0%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 128,04 \times 0,00400 \\ &= 0,51 \text{ liter}\end{aligned}$$

b. Foam persentase 5%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 124,85 \times 0,00400 \\ &= 0,48 \text{ liter}\end{aligned}$$

c. Foam persentase 10%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 121,66 \times 0,00400 \\ &= 0,45 \text{ liter}\end{aligned}$$

Lampiran C

d. Foam persentase 15%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 118,46 \times 0,00530 \\ &= 0,41 \text{ liter}\end{aligned}$$

e. Foam persentase 20%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 115,26 \times 0,00530 \\ &= 0,38 \text{ liter}\end{aligned}$$

12. Jumlah semen dengan safety factor untuk 1 benda uji balok 10x10x40 cm

Semen yang dibutuhkan = jumlah semen 1 silinder x safety factor

a. Persentase 0% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 4,27 \times 1,2 \\ &= 5,12 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Persentase 5% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 4,05 \times 1,2 \\ &= 4,86 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Persentase 10% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 3,84 \times 1,2 \\ &= 4,61 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Persentase 15% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 3,63 \times 1,2 \\ &= 4,35 \text{ kg}\end{aligned}$$

e. Persentase 20% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 3,41 \times 1,2 \\ &= 4,10 \text{ kg}\end{aligned}$$

13. Jumlah abu kaolin untuk 1 benda uji balok

Abu kaolin yang dibutuhkan = jumlah abu kaolin 1 silinder x safety factor

a. Persentase 5% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 0,21 \times 1,2 \\ &= 0,26 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Persentase 10% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 0,43 \times 1,2 \\ &= 0,51 \text{ kg}\end{aligned}$$

Lampiran C

- c. Persentase 15% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 0,64 \times 1,2 \\ &= 0,77 \text{ kg}\end{aligned}$$

- d. Persentase 20% dalam 1 benda uji balok

$$\begin{aligned}\text{Abu kaolin yang dibutuhkan} &= 0,85 \times 1,2 \\ &= 1,02 \text{ kg}\end{aligned}$$

14. Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Air yang dibutuhkan} &= \text{jumlah air dalam 1 balok} \times \text{safety factor} \\ &= 2,13 \times 1,2 \\ &= 2,56 \text{ kg}\end{aligned}$$

15. Jumlah foam yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder 15 x 30 cm

$$\text{Foam yang dibutuhkan} = \text{jumlah foam untuk 1 silinder} \times \text{safety factor}$$

- a. Foam persentase 0%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 0,51 \times 1,2 \\ &= 0,61 \text{ liter}\end{aligned}$$

- b. Foam persentase 5%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 0,48 \times 1,2 \\ &= 0,58 \text{ liter}\end{aligned}$$

- c. Foam persentase 10%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 0,45 \times 1,2 \\ &= 0,54 \text{ liter}\end{aligned}$$

- d. Foam persentase 15%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 0,41 \times 1,2 \\ &= 0,50 \text{ liter}\end{aligned}$$

- e. Foam persentase 20%

$$\begin{aligned}\text{Foam yang dibutuhkan} &= 0,38 \times 1,2 \\ &= 0,46 \text{ liter}\end{aligned}$$

16. Jumlah semen untuk 3 benda uji silinder

$$\text{Semen yang dibutuhkan} = \text{jumlah semen safety factor 1 balok} \times 3$$

- a. Persentase 0% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 5,12 \times 3 \\ &= 15,36 \text{ kg}\end{aligned}$$

Lampiran C

b. Persentase 5% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 4,86 \times 3 \\ &= 14,59 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Persentase 10% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 4,61 \times 3 \\ &= 13,82 \text{ kg}\end{aligned}$$

Persentase 15% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 4,35 \times 3 \\ &= 13,06 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Persentase 20% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 4,10 \times 3 \\ &= 12,29 \text{ kg}\end{aligned}$$

17. Jumlah abu kaolin untuk 3 benda uji balok

Abu kaolin yang dibutuhkan = jumlah abu kaolin safety factor 1 balok x 3

a. Persentase 5% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 0,26 \times 3 \\ &= 0,77 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Persentase 10% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 0,51 \times 3 \\ &= 1,54 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Persentase 15% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 0,77 \times 3 \\ &= 2,30 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Persentase 20% untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Semen yang dibutuhkan} &= 1,02 \times 3 \\ &= 3,07 \text{ kg}\end{aligned}$$

18. Air yang dibutuhkan untuk 3 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

$$\begin{aligned}\text{Air yang dibutuhkan} &= \text{jumlah air safety factor 1 balok} \times 3 \\ &= 2,56 \times 3 \\ &= 7,68 \text{ kg}\end{aligned}$$

19. Jumlah foam yang dibutuhkan untuk 6 benda uji balok 10 x 10 x 40 cm

Lampiran C

Foam yang dibutuhkan = jumlah foam safety factor 1 balok x 3

a. Persentase 0% = $0,61 \times 3$

= 1,84 liter

b. Persentase 5% = $0,58 \times 3$

= 1,73 liter

c. Persentase 10% = $0,54 \times 3$

= 1,61 liter

d. Persentase 15% = $0,50 \times 3$

= 1,49 liter

e. Persentase 20% = $0,46 \times 3$

= 1,37 liter



Lampiran C

C.4.2 Perhitungan flow test beton busa

Dengan menggunakan faktor air semen sebesar 0,5.

Tabel C.2.1 Perhitungan flow test beton busa

Persentase	Flow Rencana	Flow Lab		Flow Lab Rata-Rata	Flow Rata-Rata
(%)	cm	cm	cm	cm	cm
0%	≥20	20,8	21	20,9	20,58
5%		20,6	21	20,8	
10%		21,2	21	22,6	
15%		20	21,2	20,6	
20%		20	20	20	

Maka flow rata-rata yang didapatkan sebesar 21 cm.



Lampiran C

C.4.3 Perhitungan Kuat Tarik Lentur Beton Busa dengan Penambahan Abu Kaolin

Tabel C.3.1 Perhitungan kuat tarik belah beton busa dengan penambahan abu kaolin

SG	Jenis Beton	No Benda Uji	Dimensi (mm)			Beban (ton)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
			Panjang	Lebar	Tinggi			
			L	b	h	P	fr	fr
1600	0%	1	300	100	100	0,75	2,18	2,21
		2	300	100	100	0,76	2,21	
		3	300	100	100	0,77	2,23	
	5%	1	300	100	100	0,58	1,69	1,75
		2	300	100	100	0,63	1,84	
		3	300	100	100	0,59	1,71	
	10%	1	300	100	100	0,65	1,90	1,93
		2	300	100	100	0,68	1,97	
		3	300	100	100	0,66	1,93	
	15%	1	300	100	100	0,76	2,17	2,17
		2	300	100	100	0,74	2,15	
		3	300	100	100	0,75	2,19	
20%	1	300	100	100	0,55	1,61	1,65	
	2	300	100	100	0,59	1,70		
	3	300	100	100	0,56	1,65		

Lampiran C

C.4.4 Perhitungan dan Analisis Data Pengujian Kuat Tarik Lentur

Tabel C.4.1 Analisis data kuat tarik belah beton busa dengan penambahan abu kaolin

Umur (Hari)	Variasi Campuran	Nama Benda Uji	Kuat Lentur	f'r rata- rata	(xi-x)	(xi-x)^2	S	CV	Klasifikasi
			(MPa)	(MPa)				(%)	
28	LT.PKL0028	1	2,18	2,21	-0,027	0,001	0,03	1%	Sangat Baik
		2	2,21		0,003	0,000			
		3	2,23		0,023	0,001			
28	LT.PKL0528	1	1,69	1,75	-0,057	0,003	0,08	5%	Sangat Baik
		2	1,84		0,093	0,009			
		3	1,71		-0,037	0,001			
28	LT.PKL1028	1	1,90	1,93	-0,033	0,001	0,04	2%	Baik
		2	1,97		0,037	0,001			
		3	1,93		-0,003	0,000			
28	LT.PKL1528	1	2,17	2,17	0,000	0,000	0,02	1%	Baik
		2	2,15		-0,020	0,000			
		3	2,19		0,020	0,000			
28	LT.PKL2028	1	1,61	1,65	-0,043	0,002	0,05	3%	Baik
		2	1,70		0,047	0,002			
		3	1,65		-0,003	0,000			