

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *STYROFOAM* DAN TULANGAN PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT LENTUR BETON

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik
Sipil**

Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Disusun Oleh :

Burhan Anis Sa'ya
(30202100057)

Mareno Dharma Pratomo
(30202100058)

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *STYROFOAM* DAN TULANGAN PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT LENTUR BETON

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan

Pendidikan Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil

Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Disusun Oleh :

Burhan Anis Satya
(30202100057)

Mareno Daryl Fahrezi
(30202100119)

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN STEROFOAM DAN TULANGAN PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT LENTUR BETON



Burhan Anis Satya
NIM : 30202100057



Mareno Daryl Fahrezi
NIM : 30202100119

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 20...

Tim Penguji

1. **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**
NIDN: 0625059102
2. **Prof. Dr. Ir. Antonius, MT**
NIDN: 0605046703

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung



Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 15/ A.2 / SA – T / XII / 2024

Pada hari ini tanggal 24-12-2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

Nama : Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

Jabatan Akademik : Lektor

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Burhan Anis Satya
NIM : 30202100057

Mareno Daryl Fahrezi
NIM : 30202100119

Judul : Judul Laporan Tugas Akhir Pengaruh Penambahan Sterofoam dan Tulangan pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton

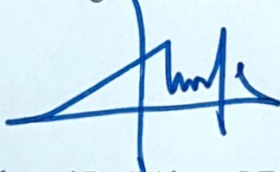
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	30/09/2024	ACC
2	Seminar Proposal	22/11/2024	
3	Pengumpulan data	25/11/2024	
4	Analisis data	31/12/2024	
5	Penyusunan laporan	03/01/2025	
6	Selesai laporan	16/01/2025	

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

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing



Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Burhan Anis Satya (30202100057)

Mareno Daryl Fahrezi (30202100119)

JURUSAN: Teknik Sipil

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Pengaruh Penambahan Sterofoam dan Tulangan pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan,



Burhan Anis Satya
NIM : 30202100057

Mareno Daryl Fahrezi
NIM : 30202100119

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Burhan Anis Satya (30202100057)

Mareno Daryl Fahrezi (30202100119)

JUDUL TUGAS AKHIR: PENGARUH PENAMBAHAN *STEROFOAM* DAN
TULANGAN PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT LENTUR BETON

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, ____/____/____
Yang membuat pernyataan,

Burhan Anis Satya
NIM : 30202100057



Mareno Daryl Fahrezi
NIM : 30202100119

LEMBAR ASISTENSI

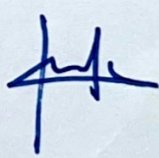


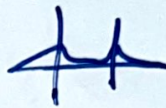
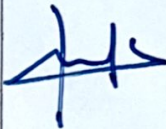
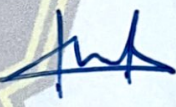
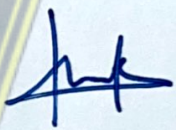
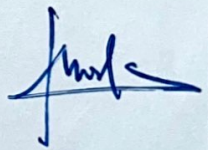
Nama : Burhan Anis Satya (30202100057)

Mareno Daryl Fahrezi (30202100119)

Tugas : Tugas Akhir

Dosen : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	7/Okt 2024	- Cari jurnal tentang beton ringan - topik Penelitian TA → beton Styrofoam	
2.	18-10-2024	- Tema : Kuant lentur RC beton Styrofoam dan FA	
3.	22-10-2024	- Beton Styrofoam dengan penambahan baja tulangan.	
4.	1-11-2024	- Styrofoam 3% 5% 7% tanpa FA - Tambahkan Sp - Segera melaksanakan Trial	
5.	18-11-2024	- hasil trial OK - Kuantkan bahasan bab 1,2,3	

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
6.	21-11-2024	- Lanjutkan Proses Peneampuran di laboratorium	
7.	21-11-2024	- Lanjutkan uji kuat lentur - Buat resume tabel hasil uji	
8.	6-1-2025	- Lanjutkan Pekerjaan Laporan TA	
9.	13-1-2025	- koreksi Penulisan - Ambil rujukan kuat tekan Styrofoam 3% 5% 7% dari aminah, aya (2025) - Hitungan Mn teoritis Perbaiki	
10.	14-1-2025	- hitungan manual Mn masih keliru - buat perbandingan Mn eksperimen dan Mn kori	
11	16-1-2025	lengkapi analisis bisa diajukan untuk semhas	

MOTTO

Sesungguhnya orang-orang yang kafir, yang menutupi tanda-tanda keesaan dan kebesaran Allah serta mengingkari petunjuk-petunjuk-Nya, bagi mereka tidak akan berguna sedikit pun harta benda yang Allah berikan kepada mereka walau sebanyak apa pun, dan demikian pula anak-anak mereka walau sebanyak dan sehebat apa pun, terhadap azab Allah di dunia. Mereka juga tidak dapat menolak siksa-Nya di akhirat kelak, dan bahkan mereka itu menjadi bahan bakar api neraka.

(Q.S. Ali-Imran :10)

Apakah kamu orang musyrik yang lebih beruntung) ataukah orang yang beribadah pada waktu malam dengan sujud dan berdiri, karena takut kepada (azab) akhirat dan mengharapkan rahmat Tuhannya? Katakanlah, "Apakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui?" Sebenarnya hanya orang yang berakal sehat yang dapat menerima pelajaran.

(Q.S. Az-Zumar : 9)

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.

(Q.S. Ar-Ra'du : 11)

Dan Dia telah memberikan kepadamu segala apa yang kamu mohonkan kepada-Nya. Dan jika kamu menghitung nikmat Allah, niscaya kamu tidak akan mampu menghitungnya. Sungguh, manusia itu sangat zalim dan sangat mengingkari (nikmat Allah).

(Q.S. Ibrahim : 34)

Kami telah mewasiatkan (kepada) manusia agar (berbuat) kebaikan kepada kedua orang tuanya. Jika keduanya memaksamu untuk mempersekutukan-Ku dengan sesuatu yang engkau tidak mempunyai ilmu tentang itu, janganlah engkau patuhi keduanya. Hanya kepada-Ku kamu kembali, lalu Aku beri tahukan kepadamu apa yang selama ini kamu kerjakan..

(Q.S. Al-Ankabut :8)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

- ❖ Allah SWT, Sang Maha Ilmu, tujuan pertama dan utama, yang telah memberi begitu banyak kenikmatan dalam hidup.
- ❖ Rasulullah Muhammad SAW, Sang pemimpin sekaligus teladan terhebat yang pernah lahir di dunia ini.
- ❖ Ayah tercinta, Budi Prayitno, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, pengorbanan serta doa.
- ❖ Ibu tercinta, Susilo Rahayu, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, pengorbanan serta doa.
- ❖ Adik-adikku tersayang, Nayla Rahmadina dan Naura Syakir, terima kasih atas doa dan dukungannya
- ❖ Nenek tercinta, Kasi, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, semangat, pengorbanan serta doa.
- ❖ Segenap keluarga, Astro Sarbin Family, terima kasih atas segala dukungan, serta menjadi penghilang stress selama masa perkuliahan.
- ❖ Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan serta ilmu yang berharga.
- ❖ Bima Candra, Diva Hestrada, Bunga Pernata, Ayu Ananda, Diana Indriyani, Diva Umi, Aminah, dan Tri Nanda selaku teman seperjuangan dimasa perkuliahan.
- ❖ Mareno Daryl Fahrezi, partner saya dari semester 2 sampai sekarang yang telah kompak dalam mengerjakan sesuatu bersama.
- ❖ Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Sipil angkatan 2021 yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
- ❖ Semua orang yang telah hadir dan pergi dikehidupanku selama ini. Terima kasih atas warna kehidupan yang kalian berikan.

Burhan Anis Satya

NIM : 30202100057

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

- ❖ Allah SWT, Sang Maha Ilmu, tujuan pertama dan utama, yang telah memberi begitu banyak kenikmatan dalam hidup.
- ❖ Rasulullah Muhammad SAW, Sang pemimpin sekaligus teladan terhebat yang pernah lahir di dunia ini.
- ❖ Ayah tercinta, Maryata, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, pengorbanan serta doa.
- ❖ Ibunda tercinta, Puji Astuti, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, pengorbanan serta doa.
- ❖ Kakakku tersayang, Mahila, terima kasih atas doa dan dukungannya
- ❖ Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan serta ilmu yang berharga.
- ❖ Satya, Yogi, Anjan, Divan, Nanda, Amru, Alan, Bara teman seperjuangan dimasa perkuliahan.
- ❖ Kepada Vika Akhda Elisya yang selalu menemani, memberikan semangat dan turut andil selama mengerjakan Tugas Akhir.
- ❖ Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Sipil angkatan 2021 yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
- ❖ Teman KKN yang telah seperti keluarga.
- ❖ Semua orang yang telah hadir dan pergi dikehidupanku selama ini. Terima kasih atas warna kehidupan yang kalian berikan.

Mareno Daryl Fahrezi

NIM : 30202100119

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Pengaruh Penambahan Sterofoam Dan Tulangan Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton" guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 2025

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
ABSTRAK	xviii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Lokasi Penelitian	2
BAB II	3
2.1 Pengertian Balok Beton Bertulang	3
2.2 Material Pembentuk Balok Beton Bertulang.....	3
2.2.1 Semen	4
2.2.2 Agregat.....	4
2.2.3 Air	6
2.2.4 Superplasticizer (Viscocrete 3115N)	7
2.2.5 Baja Tulangan.....	7
2.3 Styrofoam	8
BAB III.....	12
3.1 Jenis Penelitian	12
3.2 Keperluan Data.....	12
3.3 Peralatan dan Bahan	12
3.4 Metode Penelitian.....	14
3.5 Pelaksanaan	14
3.5.1 Pemeriksaan Bahan	15
3.5.2 Perancangan Campuran Beton (Job Mix Design) SNI 03-2834-2000	16
3.5.3 Pembuatan Beton.....	26
3.5.4 Perawatan.....	27

3.5.5 Pengujian Kuat Lentur Beton	27
3.5.6 Keruntuhan Lentur Pada Balok.....	28
3.5.7 Perhitungan Beban Maksimum yang Dapat Dipikul Balok.....	29
3.5.8 Bagan Alir.....	31
BAB IV	32
4.1 Hasil Pemeriksaan Agregat	32
4.1.1 Agregat Kasar	32
4.1.2 Agregat Halus	34
4.2 Job Mix Design.....	37
4.3 Perawatan Benda Uji	40
4.4 Hasil Pengujian Beton	41
4.5 Berat Volume Beton.....	43
4.6 Analisa teoritis lentur balok beton.....	44
4.6.1 Analisa Perhitungan Kapasitas Lentur Balok.....	44
4.6.2 Analisa Perhitungan Kapasitas Lentur Balok dengan Analisa Eksperimen	47
4.7 Hasil Pengamatan Benda Uji.....	50
BAB V.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	xxii

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi expand polystyrene/Styrofoam.....	9
Tabel 3. 1 Benda Uji Perhitungan Kekuatan Lentur Beton	14
Tabel 3. 2 Deviasi Standar Ketika Data Pengujian Kurang dari 30.....	17
Tabel 3. 3 Jumlah Air Bebas (kg/m ³) yang Diperlukan Untuk Perkiraan Berbagai Tingkat Kemudahan dalam Proses Pembuatan Campuran Beton	20
Tabel 3. 4 Persyaratan Jumlah Minimum Semen dan Rasio Maksimum Air Semen untuk Berbagai Jenis Pengecoran di Lingkungan Khusus.	21
Tabel 3. 5 Data Sifat fisik agregat	22
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar	33
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Lumpur agregat halus	35
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus	36
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Mix Design.....	38
Tabel 4. 5 Perbandingan Campuran Beton 1m ³	39
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran uji slump kelompok B1-B7TLG.....	39
Tabel 4. 7 Hasil seluruh kuat lentur beton pada benda uji balok.....	41
Tabel 4. 8 Hasil seluruh kuat tekan beton pada benda uji balok	42
Tabel 4. 9 Berat Volume Rata – Rata Beton	43
Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimen	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Hubungan Pada Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm Antara Kuat Tekan dan Rasio Air Semen	18
Gambar 3. 2 Hubungan Pada Benda Uji Berbentuk Kubus 150 mm dan Tinggi 300 mm Antara Kuat Tekan dan Rasio Air Semen	19
Gambar 3. 3 Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 10 mm	22
Gambar 3. 4 Grafik 8 Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 20 mm	23
Gambar 3. 5 Grafik 13 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm.	23
Gambar 3. 6 Grafik 14 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm.	24
Gambar 3. 7 Grafik 15 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm.	24
Gambar 3. 8 Grafik 16 Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang Telah Selesai Didapatkan	25
Gambar 3. 9 Perletakan dan Pembebanan	27
Gambar 3. 10 Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan	28
Gambar 3. 11 Retak pada Keruntuhan Lentur Balok (Sumber : Nawy, 1990)	28
Gambar 4. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar	34
Gambar 4. 2 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus	36
Gambar 4. 3 Hasil Nilai Slump	40
Gambar 4. 4 Perawatan Benda Uji Balok	40
Gambar 4. 5 Grafik hasil kuat lentur beton pada benda uji balok	42
Gambar 4. 6 Grafik Berat Jenis Benda Uji Balok	44
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Eksperimen dan Teoritis Benda Uji Balok ...	49
Gambar 4. 8 Pola retakan pada beton normal	50
Gambar 4. 9 Pola retakan pada beton styrofoam	50
Gambar 4. 10 Pola retakan pada beton bertulang	51

DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

A_c	$[\text{mm}^2]$	luas penampang beton pada komponen tekan
A_e	$[\text{mm}^2]$	luas permukaan melintang pada penampang beton terkekang efektif
A_f	$[\text{mm}^2]$	luas perkuatan eksternal FRP
A_{fv}	$[\text{mm}^2]$	luas perkuatan geser FRP dengan spasi s
A_g	$[\text{mm}^2]$	luas bruto penampang beton
A_s	$[\text{mm}^2]$	luas tulangan baja nonprategang
a	$[\text{mm}]$	tinggi blok tekan beton ekuivalen
ab	$[\text{mm}]$	dimensi terkecil untuk batang FRP persegi
b	$[\text{mm}]$	lebar penampang tertekan dari elemen
CE	$[-]$	faktor reduksi lingkungan
c	$[\text{mm}]$	jarak antara serat tekan paling jauh ke sumbu netral
c_y	$[\text{mm}]$	jarak antara serat tekan paling jauh ke sumbu netral pada titik leleh
d	$[\text{mm}]$	jarak dari serat tekan terjauh ke titik pusat tulangan tarik
d'	$[\text{mm}]$	jarak dari serat tekan terjauh ke titik pusat A_{sc}
df	$[\text{mm}]$	tinggi efektif perkuatan lentur FRP
df_v	$[\text{mm}]$	tinggi efektif perkuatan geser FRP
E_c	$[\text{MPa}]$	modulus elastisitas beton
E_f	$[\text{MPa}]$	modulus elastisitas tarik FRP
E_s	$[\text{MPa}]$	modulus elastisitas baja
f_c	$[\text{MPa}]$	tegangan tekan beton
f'_c	$[\text{MPa}]$	kekuatan tekan beton spesifik

ff	[MPa]	tegangan di dalam perkuatan FRP
ffd	[MPa]	tegangan desain pada perkuatan terlekat FRP eksternal
ffe	[MPa]	tegangan efektif di dalam FRP; tegangan yang tercapai pada penampang runtuh
ffu	[MPa]	kekuatan tarik ultimit rencana FRP
ffu *	[MPa]	kekuatan tarik ultimit material FRP berdasarkan keterangan manufaktur
fs	[MPa]	tegangan tulangan baja nonprategang
fy	[MPa]	kuat leleh spesifik dari tulangan baja nonprategang
h	[mm]	tebal keseluruhan atau tinggi penampang
	[mm]	sisi terpanjang dimensi penampang dari komponen tekan persegi
Icr	[mm ⁴]	momen inersia penampang retak yang ditransfer ke beton
K	[-]	rasio antara tinggi sumbu netral terhadap tinggi tulangan diukur dari serat tekan terdalam
k1	[-]	faktor modifikasi untuk kv dengan memperhitungkan kekuatan tekan beton
k2	[-]	faktor modifikasi untuk kv dengan memperhitungkan skema pembungkusan
kf	[-]	nilai kekakuan per unit per lapisan dari perkuatan FRP, N/mm; $k_f = E_{ftf}$
Le	[mm]	panjang lekatan aktif laminasi
MI	[MPa]	momen lapangan akibat pembebanan
Mn	[N-mm]	kekuatan lentur nominal
Mnf	[N-mm]	kontribusi perkuatan FRP terhadap kekuatan lentur nominal
Mns	[N-mm]	kontribusi tulangan baja terhadap kekuatan lentur nominal
N	[-]	jumlah lapisan perkuatan FRP
P	[kN]	beban lentur maksimal

T_f	[mm]	tebal nominal satu lapis perkuatan FRP
V_c	[N]	kekuatan geser nominal beton dengan tulangan baja lentur
V_n	[N]	kekuatan geser nominal
V_n^*	[N]	kekuatan geser batang eksisting
V_s	[N]	kekuatan geser nominal sengkang
w_f	[mm]	lebar tulangan FRP per lapisan
W	[cm ³]	momen tahanan
α	[-]	sudut tulangan utama FRP terhadap sumbu longitudinal komponen struktur
α_1	[-]	pengali pada f'_c untuk menentukan intensitas distribusi tegangan ekuivalen beton
β_1	[-]	rasio tinggi blok tegangan beton terhadap sumbu tengah
ϵ_b	[mm/mm]	regangan subtrat beton akibat momen lentur (tarik adalah positif)
ϵ_{bi}	[mm/mm]	regangan subtrat beton saat pemasangan tulangan FRP (tarik adalah positif)
ϵ_c	[mm/mm]	regangan beton
ϵ_c'	[mm/mm]	regangan tekan beton tak-terkekang terhadap f'_c , dapat diambil sebagai 0,002
ϵ_f	[mm/mm]	regangan tulangan FRP
ϵ_{fd}	[mm/mm]	regangan lekatan tulangan FRP eksternal
ϵ_{fe}	[mm/mm]	regangan efektif tulangan FRP saat runtuh
ϵ_{fu}	[mm/mm]	regangan runtuh tulangan FRP
ϵ_{fu}^*	[mm/mm]	regangan runtuh ultimate pada tulangan FRP
ϵ_s	[mm/mm]	regangan tulangan non-prategang
ϕ	[-]	faktor reduksi kekuatan

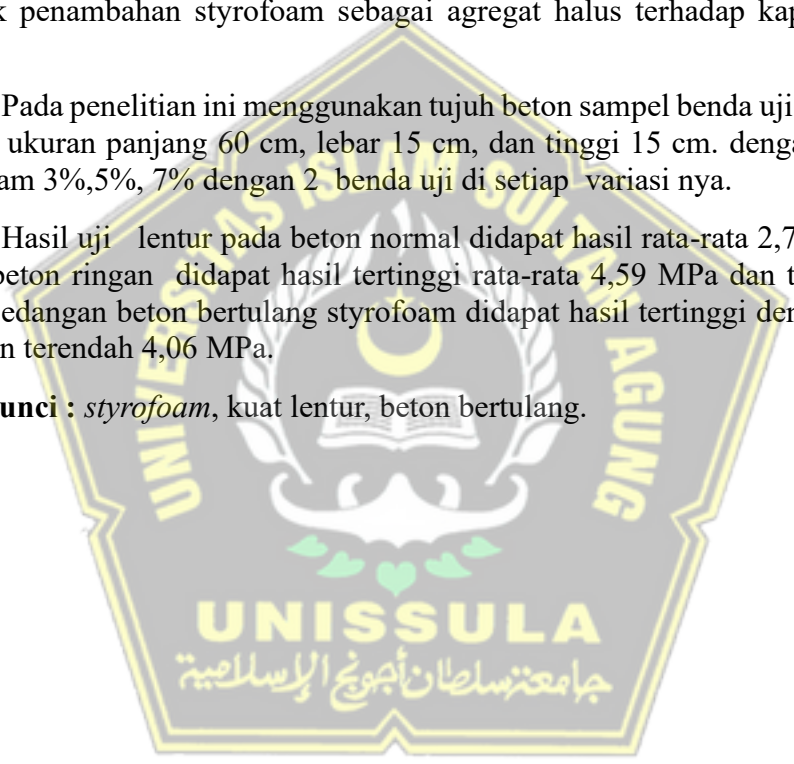
ABSTRAK

Beton adalah material yang lumayan berat, dengan densitas mencapai 2400 kg/m³ serta yang sifatnya dapat penghantaran panas yang baik. Beton menjadi pilihan bagi banyak orang, karena dapat mengurangi beban mati pada suatu struktur beton serta menekan kemampuan penghantaran panasnya. Sebuah beton tergolong sebagai beton ringan apabila memiliki massa berat kurang dari 1800 kg/m³. Penggunaan *styrofoam* sebagai substitusi agregat kasar dalam beton ringan dapat menurunkan kekuatan tekan bersama dengan penambahan persentase *styrofoam*, ini disebabkan oleh sifat *styrofoam* yang dapat dimampatkan. Diperlukan jenis metode penguatan, salah satunya adalah dengan penambahan baja tulangan. Pada penelitian ini, peneliti memiliki tujuan yaitu untuk membandingkan kekuatan lentur antara beton normal dan beton bertulang *styrofoam*. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis dampak penambahan *styrofoam* sebagai agregat halus terhadap kapasitas lentur balok.

Pada penelitian ini menggunakan tujuh beton sampel benda uji berupa balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. dengan presentase *styrofoam* 3%, 5%, 7% dengan 2 benda uji di setiap variasi nya.

Hasil uji lentur pada beton normal didapat hasil rata-rata 2,76 MPa dan untuk beton ringan didapat hasil tertinggi rata-rata 4,59 MPa dan terendah 2,76 MPa. Sedangkan beton bertulang *styrofoam* didapat hasil tertinggi dengan rata-rata 4,32 dan terendah 4,06 MPa.

Kata kunci : *styrofoam*, kuat lentur, beton bertulang.



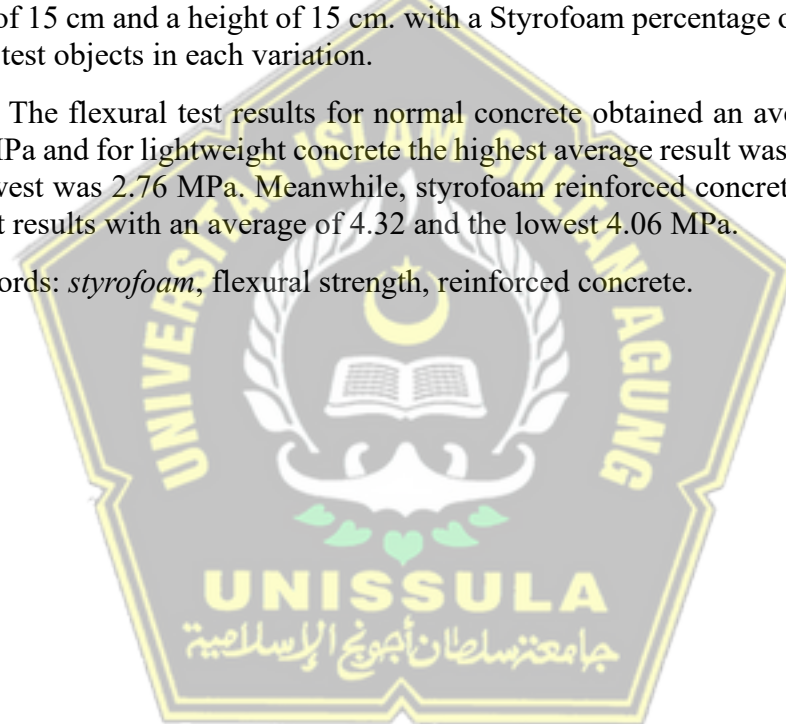
ABSTRACT

Concrete is a fairly heavy material, weighing 2400 kg/m³ and conducts heat. To reduce the dead load of a concrete structure or reduce its heat conduction properties, lightweight concrete has been widely used. Concrete is called lightweight concrete if its weight is less than 1800 kg/m³. The use of styrofoam as a substitute for coarse aggregate in lightweight concrete can reduce the compressive strength along with the additional percentage of styrofoam, this is due to the compressible nature of styrofoam. Types of strengthening methods are required, one of which is the addition of reinforcing steel. This research aims to compare the flexural strength of normal concrete with styrofoam reinforced concrete and analyze the effect of adding styrofoam as fine aggregate to the beam's flexural capacity.

This research used 7 samples of beam specimens with a length of 60 cm, a width of 15 cm and a height of 15 cm. with a Styrofoam percentage of 3%, 5%, 7% with 2 test objects in each variation.

The flexural test results for normal concrete obtained an average result of 2.76 MPa and for lightweight concrete the highest average result was 4.59 MPa and the lowest was 2.76 MPa. Meanwhile, styrofoam reinforced concrete obtained the highest results with an average of 4.32 and the lowest 4.06 MPa.

Key words: *styrofoam*, flexural strength, reinforced concrete.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang kini menjadi salah satu pilihan utama dalam berbagai proyek konstruksi di Indonesia. Kombinasi antara kekuatan tekan beton yang tinggi dan daya tarik baja tulangan menciptakan elemen struktur yang sangat andal. Struktur beton bertulang, seperti balok dan pelat, berfungsi sebagai komponen penting yang menahan gaya tekan, lendut, dan geser. Balok, misalnya, memiliki tanggung jawab besar dalam meneruskan beban dari pelat ke kolom. Sementara itu, kolom berfungsi menahan gaya tekan aksial dan lendut, yang selanjutnya diteruskan ke pondasi. Dalam perencanaan, beton bertulang memerlukan analisis beban pada tahap desain untuk memastikan bahwa keamanan dan efisiensi ekonomi dapat terpenuhi (Mahlisani dan Teguh, 2014). Kekuatan struktur balok lentur dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kuatnya tekan beton, tegangan leleh tulangan, panjang balok, serta kekakuan balok itu sendiri. Selain itu, daktilitas juga merupakan aspek krusial, di mana bangunan harus dirancang untuk memiliki daktilitas tinggi—kemampuan untuk mengalami kerusakan signifikan tanpa mengakibatkan kerusakan struktural yang serius.

Beton biasa dikenal sebagai material yang cukup berat, dengan densitas sekitar 2400 kg/m^3 , dan memiliki kemampuan untuk menghantarkan panas. Untuk mengurangi beban mati pada struktur beton sekaligus menurunkan sifat penghantaran panasnya, beton ringan menjadi solusi yang banyak digunakan. Beton dikategorikan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1800 kg/m^3 . Selain itu, styrofoam dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam beton, yang juga berfungsi untuk mengurangi limbah styrofoam yang sulit terurai, bahkan memerlukan waktu jutaan tahun untuk terdekomposisi. Styrofoam merupakan salah satu bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai campuran dalam beton ringan non-struktural. Penggunaan styrofoam dalam beton ringan dapat menggantikan sebagian dari agregat kasar yang biasa digunakan

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana perbandingan uji kuat lentur beton normal dengan beton penambahan substitusi styrofoam.
2. Seberapa besar efek penambahan substitusi styrofoam terhadap uji kuat lentur.
3. Bagaimana pengaruh baja tulangan terhadap kuat lentur beton normal dan beton ringan styrofoam

1.3 Batasan Masalah

1. Kuat lentur beton rencana adalah beton normal K240 atau $f'c$ 20.
2. Penelitian hanya sampai pengujian kuat lentur beton.
3. Pengujian kuat tekan beton pada 28 hari.
4. Benda uji yang digunakan memiliki bentuk balok dengan dimensi panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Terdapat dua buah benda uji dalam percobaan ini. untuk setiap variasi persentase substitusi *styrofoam*.
5. Presentasi *styrofoam* terhadap substitusi agregat kasar yang digunakan adalah 3%, 5%, dan 7%.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk membandingkan kuat lentur beton normal dengan beton bertulang styrofoam
2. untuk menganalisis pengaruh beton dari penambahan styrofoam sebagai agregat kasar pada kapasitas lentur balok.

1.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jl. Kaligawe Raya No.Km.4 Terboyo Kulon, Kecamatan Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah. Tepatnya di Laboraturium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Balok Beton Bertulang

Balok ialah suatu struktur penting yang didesain dalam menahan beban transversal, bisa berupa beban lentur, geser ataupun torsi (Sudarmoko, 1996).

Menurut Nawy (1990) telah mengemukakan asumsi yang dipakai dalam penentuan perilaku penampang balok ialah sebagai berikut:

- a. Asumsikan distribusi pada regangan adalah linier. Hal ini berdasar pada hipotesis oleh Bernouli yang menyatakan bahwa penampang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus sumbu netral setelah mengalami lentur.
- b. sebelum beton mengalami retak atau leleh pada baja. Beton akan mempunyai regangan yang sama.
- c. Beton memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik, dimana retak terjadi pada tingkat lentur yang rendah, sekitar 10% dari kuat tekan beton. Oleh karena itu, pada analisis dan perhitungan desain, bagian beton yang berada di zona tarik diabaikan, dan gaya tarik sepenuhnya dianggap ditahan oleh tulangan tarik yang dipasang.

Beton merupakan bahan yang sama seperti batu, namun terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil atau agregat serta air dengan perbandingan tertentu. Beton dengan berbagai sifat kekuatan dapat didapat dengan menyesuaikan komposisi material yang sesuai dengan kekuatan yang dibutuhkan. berbagai cara dapat dicoba untuk memperbaiki sifat mekanis beton seperti kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan (*workability*), kemudahan penempatan (*placebility*), kekuatan (*strength*), ketahanan terhadap pengaruh cuaca (*durability*), penyusutan (*permeability*), ketahanan terhadap korosi (*corrosivity*) dan lain-lain (Nilson, 1978).

2.2 Material Pembentuk Balok Beton Bertulang

Beton terdiri atas beberapa bahan material utama yang bekerja bersama secara sinergis untuk menciptakan struktur yang kuat dan tahan lama. Komposisi bahan pada beton bertulang mencakup beton itu sendiri dan baja tulangan. Beton

sendiri disusun dari semen, agregat (kasar dan halus), udara dan menggunakan bahan tambahan (aditif) dalam memperbaiki sifat-sifat tertentu dari beton.

2.2.1 Semen

Semen merupakan suatu bahan pengikat dan kohesif yang mengikat pecahan-pecahan mineral menjadi suatu padatan. pada hal ini material semen menjadi mengeras karena adanya air dan disebut semen hidrolik (*Hydraulic Cement*).

Semen portland (*Portland Cement*) merupakan semen hidrolik yang umumnya digunakan pada beton, dalam prosesnya dapat memerlukan waktu kurang lebih 14 hari guna memperoleh beton kuat yang layak dan memerlukan waktu 28 hari dalam menghasilkan kekuatan perencanaan.

2.2.2 Agregat

Agregat ialah partikel mineral alam yang digunakan untuk bahan pengisi pada campuran bahan beton ataupun mortar. Sekitar 70% volume campuran pada mortar ataupun beton berisi dari bahan agregat. Sifat-sifat pada mortar dan beton mempengaruhi pada agregat, oleh karena itu bagian penting dalam penentuan agregat suatu proses pembuatan pada mortar ataupun pada beton (Tjokrodinuljo, 1992). Agregat yaitu salah satu bahan yang dipakai pada olahan beton yang mempunyai gradasi tertentu, yang dimana agregat kecil mengisi celah antara agregat berukuran besar. Biasanya agregat dapat dikelompokkan berdasarkan ukuran meliputi, agregat dengan tekstur halus dan tekstur kasar.

Berdasarkan pada SNI 2847-2013 (Syarat Beton Struktural untuk Bangunan Gedung), menurut pendapat British Standard pada beton campuran bahan agregat harus memiliki batasan ukuran tertentu, untuk agregat halus yaitu 4,80 mm kemudian, atau 4,75 mm menurut standar pada ASTM. Untuk agregat normal mengacu pada ASTM C33M, sedangkan agregat ringan menurut ASTM ialah C330M. Agregat yang digunakan dalam pembuatan beton dibagi menjadi dua jenis.

Jenis agregat yang digunakan dalam pembuatan beton dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

Pada bahan olahan beton, agregat halus yang digunakan harus memenuhi syarat karena dapat berpengaruh untuk kualitas beton yang diperoleh. Menurut PBI 1971, untuk syaratnya antara lain adalah.

- 1.) Agregat halus sebaiknya berbentuk partikel-partikel yang tajam, daya tahan kuat, dan tidak gampang rusak oleh hujan atau panas.
 - 2.) Dalam agregat halus kandungan lumpur harus tidak melebihi 5% daripada massa pada agregat kering. Jika pada agregat halus kandungan lumpurnya melebihi 5% , maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
 - 3.) Agregat halus lebih baik tidak memiliki kandungan bahan organik berlebihan.
 - 4.) Agregat halus yang terdiri dari partikel-partikel dengan ukuran variasi besarannya, lalu saat diayak menggunakan susunan ayakan yang sesuai ketentuan pada pasal 3.5 ayat 1 (PBI 1971), harus mencapai persyaratan pada berikut.
 - a) Berat sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2%.
 - b) Berat sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10%.
 - c) Berat sisa diatas ayakan 0,25 mm, kisaran antara 80% - 90%.
- a. Agregat kasar

Kekuatan akhir pada beton dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat kasar, yang dapat menyebabkan beton yang mengeras dan ketahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan berpengaruh merusak lainnya. Jika ukuran lebih dari $\frac{1}{4}$ in agregat bisa terurai menjadi agregat kasar. (6 mm). Menurut pada PBI (1971), persyaratan agregat kasar antara lain adalah.

- 1) Porositas tidak melebihi dari 20% pada berat total agregat. Agregat kasar lebih baik mempunyai daya tahan yang cukup terhadap pengaruh cuaca dingin dan panas.
- 2) Pad agregat kasar kandungan lumpur harus tidak melebihi 1% dari massa kering yang telah ditentukan. Jika lebih dari 1% sebaiknya agregat kasar harus dibersihkan dengan dicuci terlebih dahulu.
- 3) Agregat kasar slebih baik jika tidak mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali yang dapat menyebabkan beton.

- 4) Agregat kasar harus mempunyai beberapa partikel dengan ukuran bervariasi.

Sebagaimana dinyatakan dalam PBI (1971), ukuran maksimum pada agregat tidak boleh melebihi $\frac{3}{4}$ kali dari jarak antar tulangan atau dari tulangan ke cetakan. Pedoman ini dimaksudkan agar memberi batasan ukuran agregat yang dipakai dalam beton anatara lain 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Jika agregat kasar yang melebihi ukuran pada 40 mm masih diperbolehkan asalkan tidak digunakan dalam struktur bangunan.

2.2.3 Air

Pada proses pengolahan beton, air ialah komponen utama. Hal tersebut dikarenakan air harganya yang murah dan ketersediaanya yang mudah dijangkau dimana saja. Dalam pemebentukan semen, air memiliki peran penting, karena sifatnya yang dapat memudahkan dalam pengadukan beton, kekuatan, dan susuk ketahanan pada beton. Air berperan penting pada proses terbentuknya semen dikarenakan memberi kemudahan melakukan pencampuran pada beton (workabilty), kekuatan, susut serta ketahanan beton. Pada reaksi semen, air dibutuhkan berkisar pada 25% dari massa semen yang digunakan., tetapi pada praktiknya nilai massa air pada semen yang digunakan untuk pelumas, karena pada tambahan bahan air yang berlebihan dapat menurunkan kekuatan beton. Di sisi lain, apabila massa air pada semen kurang dari 35%, beton segar akan mengalami kesulitan dalam proses pengadukan dan setelah beton mengalami kekerasan, akan berpotensi menyebabkan keropos akan dapat membuat menurunnya kuat beton.

Menurut Mulyono (2004), air bisa berasal dari air tawar (seperti sungai, telaga, serta danau), air limbah atau bahkan air laut. Air tawar layak dikonsumsi biasanya aman untuk digunakaan sebagai campuran beton. Air laut yang biasanya terdapat sekitar 3,5% kandungan larutan garam (terdiri dari kisaran 78% kandungan sodium klorida serta 15% kandungan magnesium klorida). Bisa merendahkan kualitas beton hingga 20% dan jangan digunakan dalam campuran bahan beton pra-tegang atau beton bertulang dikarenakan resiko korosif yang tinggi. Selain itu, air limbah industri yang terdapat zat asam atau alkali juga jangan digunakan.

Penggunaan air dalam keperluan beton diharuskan memenuhi persyaratan antara lain, (Tjokrodimulyo,1992):

- a. Kandungan lumpur pada air tidak dapat lebih dari 2 gr/ltr.
- b. Air harus bebas dari kandungan garam yang bisa menyebabkan kerusakan beton (kandungan asam, zat organik) dengan kadar lebih dari 15 gr/ltr.
- c. Kadar *Klorida* (Cl) dalam air tidak boleh melebihi pada 0,5 gr/ltr.
- d. Air juga tidak boleh terdapat senyawa zat sulfat melebihi pada 1 gr/ltr.

2.2.4 Superplasticizer (*Viscocrete 3115N*)

Selain material utama yaitu air, agregat, semen, serta fiber, superplasticizer merupakan sebuah bahan tambahan (admixture) yang ditambahkan ke campuran beton atau mortar, penambahan ini dilakukan secara langsung pada sebelum ataupun selama proses pencampuran (Murdock dan Brook, 1986). Superplasticizer yang dipakai yakni Sika Viscocrete3115N guna memperkecil kadar air yang secara signifikan, sehingga memberikan pengaliran dengan baik serta tetap menjaga kohesi yang optimal dan membantu pemadatan dengan sendirinya.

Penggunaan superplasticizer dapat menambah slump dan workability, sekaligus mengurangi penggunaan air serta semen. Secara keseluruhan, dengan ditamhkannya *superplasticizer* bertujuan memperoleh beton mutu tinggi. *Admixture* ini terbukti dapat menambah kualitas kerja dan kualitas beton dari berbagai aspek termasuk kemudahan dalam kinerja, kekuatan, , daya tahan, dan kinerja yang lainya sesuai dengan keperluan teknologi sat ini.

2.2.5 Baja Tulangan

Berdasarkan SNI 07-2052-2002 Baja tulangan ialah baja yang berbentuk batang pada penampang melingkar berfungsi sebagai penulangan pada beton, Baja tulangan terbuat atas bahan baku billet yang melalui proses pengerolan panas (*hot rolling*). Baja tulangan memiliki 2 jenis ,yakni baja tulangan beton polos (BjTP) dan baja tulangan beton sirip (BjTS). Baja tulangan beton polos memiliki penampang melingkar dengan permukaan halus tanpa sirip. Sementara itu, BjTS memiliki desain khusus dengan permukaan bersirip melintang serta memiliki rusuk memanjang yang bertujuan dalam menambah

daya ikat serta berguna mengurangi gerakan pada batang secara relatif pada beton, disingkat BjTS.

2.3 Styrofoam

Styrofoam yang juga dikenal sebagai *polystyrene*, bahan yang biasanya dipakai pada kehidupan sehari-hari. Sejak diciptakan, penggunaan *Styrofoam* semakin meluas di Indonesia. Bahan ini biasanya dipergunakan untuk pembungkus sebagai barang elektronik dan makanan, dikarenakan sifat yang ringan, praktis dan tahan bocor.

Polystyren terbuat dari *styrene* ($C_6H_5CH_2CH_2$) memiliki gugus *phenyl* dan tersusun atas secara acak di sepanjang garis karbon dan molekul. *Styrofoam* mempunyai massa jenis hingga 1050 kg/m^3 , dengan daya kuat mencapai 40 MN/m^2 , serta modulus lentur mencapai 3 GN/m^2 , dan modulus geser yang sampai $0,99 \text{ GN/m}^2$, angka poisson $0,33$ (Dharmagiri, IB, dkk, 2008). *Expanded polystyrene* berbentuk sebuah butiran (*granular*) dan memiliki satuan massa yang sangat ringan yakni $13\text{-}22 \text{ kg/m}^3$. Hal ini menjadikan *expanded polystyrene* cocok digunakan pada campuran beton supaya menghasikan berat jenis yang lebih ringan.

Sifat – sifat *Styrofoam* :

- a. Memiliki berat jenis yang relatif ringan.
- b. Menahan terhadap asam, basa, dan zat-zat korosif.
- c. Memiliki titik leleh dalam suhu $1020 - 1060 \text{ C}$.
- d. Bisa menahan panas.
- e. Bisa menghambat timbulnya panas hidrast.
- f. Berfungsi memperlamban beban gempa yang terjadi oleh struktur.

Tabel 2. 1 *Spesifikasi expand polystyrene/Styrofoam*

Spesifikasi	
Ukuran butiran <i>Styrofoam</i>	3mm – 5mm
Berat jenis <i>Styrofoam (density)</i>	13 – 22 kg/m ³
Modulus young's (E)	3000 - 3600 Mpa
Kuat Tarik Styrofoam (tensile strength)	40 – 60 Mpa
Specific heat Styrofoam (c)	1,3 kJ/(kg.K)
<i>Thermal conductivity styrofoam</i> (k)	0,08 W (m.K)

Sumber : Susanto, Ricki (2011) Analisis penambahan fly ash dalam campuran beton dengan expanded polystyrene sebagai agregat ringan



Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Peneliti	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang <i>High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete</i> (HVFA-SCC) Usia 28 Hari.	Putit Sugianto, Agus Setiya Budi, Stefanus Adi Kristiawan	Untuk melihat perbedaan kuat lentur balok normal dengan balok penambahan <i>fly ash</i> .	Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pada balok beton bertulang HVFA-SCC memiliki lendutan yang lebih besar dari pada balok beton bertulang normal akan tetapi balok beton bertulang normal dapat menerima beban yang lebih besar dari pada balok beton bertulang HVFA-SCC.
2.	Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan <i>Styrofoam</i>	A.Besse Anugrah	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas lentur balok dengan penambahan 30% <i>styrofoam</i> terhadap volume beton normal. Balok beton <i>Styrofoam</i> (SFC) akan dibandingkan dengan balok beton bertulang biasa (BN).	Perilaku lentur balok pada semua benda uji mengalami retak lentur pada 1/3 bentang. Pengaruh penambahan <i>Styrofoam</i> 30% dari volume beton terhadap lentur balok meningkatkan kapasitas beban sebesar 11,21%. Pola retak pada seluruh benda uji menunjukkan pola retak lentur (<i>flexural crack</i>).

3.	Analisis pengaruh bahan tambah styrofoam terhadap kuat tekan, tarik dan lentur pada dinding precast	Angga winawan hakim	Penelitian ini bertujuan untuk besarnya kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton jika ditambahkan dengan campuran Styrofoam dengan persentase 0%, 10 % dan 30% serta membandingkan perilaku mekanik dari campuran beton dengan Styrofoam dan tanpa Styrofoam serta menganalisis beton hasil pengujian tersebut sebagai beton ringan.	karena dari hasil penelitian beton dengan campuran 30% styrofoam memiliki berat 1633,45 kg/m³ . Penelitian ini menghasilkan berat satuan rata-rata yang lebih ringan dibandingkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh I.B Dharma Gili, I Ketut Sudarsana dan N.L.P Eka Agustiniingsih (2008) dengan campuran 30% styrofoam dengan berat 1864,319 kg/m³.
----	---	---------------------	---	--

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Eksperimen laboratorium yang kami lakukan bertujuan untuk membandingkan kekuatan lentur karakteristik beton penambahan styrofoam dalam campuran beton. Dalam penelitian ini, mutu beton yang dijadikan acuan adalah K-240. Perhitungan yang telah kita siapkan dapatlah 14 item pemeriksaan yang terdiri dari balok beton dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm, dengan 10 benda uji disetiap variasinya. Selain itu beton diuji kekuatan lenturnya diumur 28 hari dan hasilnya dibandingkan saat umur 28 hari. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.2 Keperluan Data

Metodologi adalah suatu pendekatan yang melibatkan pengumpulan, pencatatan, penelitian, dan evaluasi data. Tujuannya adalah untuk memperoleh informasi serta sumber data yang diperlukan dalam mencari solusi terhadap suatu masalah. Beberapa data yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah data primer.

Data primer merupakan informasi yang dikumpulkan dari temuan pada pelaksanaan laboratorium. Data yang dikumpulkan dari laboratorium berupa :

- a. Analisa saringan agregat
- b. Berat jenis
- c. Berat isi agregat
- d. Kadar lumpur agregat
- e. Perbandingan dalam campuran beton
- f. Nilai *slump*
- g. Uji kuat lentur beton

3.3 Peralatan dan Bahan

- a. Saringan

Saringan berupa ayakan dengan variasi lubang saringan. Variasi lubang saringan antara lain 12,5 mm ; 9,50 mm ; 4,7 mm ; 2,38 mm ; 1,19 mm ; 0,59 mm ; 0,27 ; 0,15 mm. saringan yang digunakan dilengkapi tutup serta dengan menggunakan mesin penggetar.

b. Timbangan

Alat yang menampilkan hasil berat agregat dan beton.

c. Gelas Ukur Gelas yang memiliki fungsi untuk mengukur udara dalam pembuatan satu silinder beton.

d. Pikometer

Alat untuk menentukan persentase kandungan lumpur yang terkandung dalam agregat.

e. Oven

Oven mengeluarkan panas bertujuan mengeringkan agregat agar memenuhi syarat agregat.

f. Bekisting Beton Silinder

Bekisting beton berbentuk silinder dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm.

Bahan-bahan yang digunakan antara lain : Pasir, Semen Portland, batu kerikil pecah , *Styrofoam*, dan air.

a. Pasir

Pasir pada penelitian ini menggunakan pasir dari Kabupaten Magelang.

b. Semen Portland

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah Semen Gresik Tipe I

c. Batu Kerikil Pecah

Menggunakan batu pecah ukuran 20 mm – 30 mm sebagai agregat kasar

d. Styrofoam

Styrofoam digunakan untuk pengganti agregat kasar batu pecah, menggunakan Styrofoam dengan ukuran 3 mm – 5 mm berasal dari CV. MITRA SEJATI FOAMINDO

e. Air

Air berasal dari Lab Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.4 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Metode Pendekatan Eksperimen yang diharuskannya melakukan suatu percobaan yang akan digunakan untuk mengumpulkan data. Penelitian tahap pertama dilakukan pengumpulan data sekunder sebagai keperluan pengujian bahan dasar agregat dan bahan campuran beton untuk percobaan. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm digunakan dalam penelitian ini..

3.5 Pelaksanaan

Pemeriksaan terhadap material yang digunakan pada penelitian maka dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu untuk menjamin bahwa material yang digunakan untuk membuat beton memiliki standar mutu tinggi. Persiapan bahan penelitian dalam penelitian ini dilakukan pengujian menggunakan 1 benda uji pada setiap variasi pada *Styrofoam*. Presentase *Styrofoam* mengacu pada berat agregat kasar. Presentase pada variasi benda uji disajikan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Benda Uji Perhitungan Kekuatan Lentur Beton

No	Kode	Styrofoam (%)	Jumlah Benda Uji	Perkuatan
1	B1	0	2	
2	B2	3	2	
3	B3	5	2	
4	B4	7	2	
5	B5	3	2	Tulangan
6	B6	5	2	Tulangan
7	B7	7	2	Tulangan

3.5.1 Pemeriksaan Bahan

1. Agregat Halus

Perlu dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan tiga metode berbeda dengan agregat halus.

a. Kadar Lumpur

Untuk menghitung kadar lumpur dalam agregat halus digunakan rumus

$$\text{Kadar air} = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \times 100\%$$

Dimana :

V1 : volume pasir

V2 : volume lumpur (mm³)

b. Analisa saringan

Perhitungan Analisa saringan dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Berat kehilangan} = \frac{b_1 - b_2}{b_1} \times 100\%$$

Dimana :

b1 : Berat agregat (gr)

b2 : Berat agregat setelah disaring (gr)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \% \text{ Kumulatif agregat tertinggal}}{\text{Jumlah berat tertahan}}$$

Dimana :

MHB = Modulus Halus Butir

2. Agregat Kasar (*Split*)

Agregat kasar diperiksa dengan beberapa pengujian berupa :

1. Kadar lumpur

Untuk menghitung kadar lumpur dalam agregat halus digunakan rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \times 100\%$$

Dimana :

V1 : volume pasir

V2 : volume lumpur (mm³)

2. Analisa pada saringan

Perhitungan Analisa saringan dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Berat kehilangan} = \frac{b_1 - b_2}{b_1} \times 100\%$$

Dimana :

b1 : Berat agregat (gr)

b2 : Berat agregat setelah disaring (gr)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \% \text{ Kumulatif agregat tertinggal}}{\text{Jumlah berat tertahan}}$$

Dimana :

MHB = Modulus Halus Butir

3.5.2 Perancangan Campuran Beton (Job Mix Design) SNI 03-2834-2000

Sebelum pembuatan campuran beton hal yang pertama adalah membuat

Job Mix Design dengan merujuk langkah langkah dari SNI 03-2834-2000.

1. Menghitung terlebih dahulu f'_c pada umur beton tertentu dan menentukan nilai kuat tekan yang direncanakan. Penelitian memfokuskan pada beton dengan nilai Kuat Tekan (f'_c) adalah 18,68 MPa dengan umur beton 28 hari.
2. Menghitung simpangan baku sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam SNI 03-2834-2000 pada sub bagian 4. 2. 3. 1. Standar deviasi diperoleh dengan rumus yang telah ditentukan.

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dimana :

S = Deviasi Standar

x_1 = Nilai Kuat Tekan dari sampel

$\bar{x}$ = Rata-rata Kuat Tekan Beton berdasarkan rumus :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dimana : n = Jumlah nilai minimal pengujian diambil adalah 10 unit. Setiap hasil uji yang didapat adalah rata-rata dua benda uji. Selain itu, untuk menghitung deviasi standar menggunakan hasil pengujian harus memenuhi syarat yaitu :

- Menunjukkan bahan terkait langkah-langkah pengawasan mutu serta kondisi yang sesuai dengan pekerjaan yang diusulkan;
- Mewakili kuat tekan beton yang diperlukan (f'_c) dengan nilai dalam rentang MPa, berdasarkan nilai f_c yang ditetapkan;
- Setidaknya harus ada 10 hasil uji yang diambil secara berurutan selama proses membuat sampel beton, dengan waktu pelaksanaan tidak boleh melebihi 45 hari ;
- Apabila pembuatan campuran beton tidak memenuhi syarat yang tercantum pada poin pertama (1), hasil deviasi standar diperoleh dengan cara mengalikan deviasi tersebut dengan koefisien perkalian pada **Tabel 3.2**

Tabel 3. 2 3 Deviasi Standar Ketika Data Pengujian Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

- Merencanakan nilai tambah sesuai dengan ketentuan SNI 03-2834-2000 dimana nilai tambah dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$M = 1,64 \times S_r$$

Dimana :

M = berupa Nilai Tambah

1,64 = Konstanta statistic dengan nilai presentase yang didapat dari Hasil uji mengalami kegagalan yaitu ketika tidak melebihi 5%

S_r = deviasi standar rencana

4. Menghitung f_{cr} sesuai ketentuan butir 4.2.3.1.3; dari SNI-03-2834-2000.
Hitung kuat tekan rata – rata yang diinginkan sebesar dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$M f_{cr} = f'_c \times M$$

$$f_{cr} = f'_c + 1,64 S_r$$

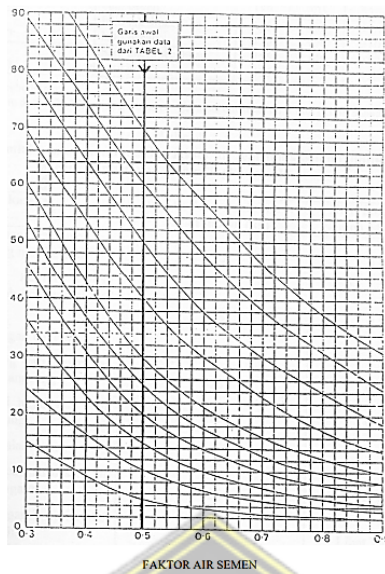
5. Menentukan jenis semen

Jenis semen pada penelitian ini adalah semen tipe I.

6. Menentukan tipe dari agregat halus dan kasar bisa berupa bahan tidak terpecahkan;
7. Menetapkan FAS dengan butir 4,2,3,2 dan menggunakan Grafik 1 atau 2.



Gambar 3. 1 Hubungan Pada Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm Antara Kuat Tekan dan Rasio Air Semen



Gambar 3. 2 Hubungan Pada Benda Uji Berbentuk Kubus 150 mm dan Tinggi 300 mm Antara Kuat Tekan dan Rasio Air Semen

8. Menetapkan nilai FAS harus dilakukan dengan ketentuan yang tercantum dalam sub bab 4. 2. 3. 2, baik itu ditetapkan sebelumnya ataupun tidak. Apabila yang diperoleh dari nilai FAS dan lebih rendah dari Langkah 7 dari yang diharapkan, maka nilai yang digunakan adalah nilai terendah tersebut.
9. Menentukan nilai slump pada campuran beton;
10. Maksimum dimensi agregat jika belum ditentukan harus diidentifikasi dibagian 4.2.3.3;
11. Nilai air bebas yang sesuai dengan SNI 03-2834-2000 diidentifikasi pada butir 4.2.3.5;

Tabel 3. 4 Jumlah Air Bebas (kg/m³) yang Diperlukan Untuk Perkiraan Berbagai Tingkat Kemudahan dalam Proses Pembuatan Campuran Beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis Agregat	—	—	—	—
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara :
Untuk suhu di atas 25 °C, setiap kenaikan 5 °C harus ditambah air 5 liter per m² Adukan Beton

12. Hitung jumlah semen dengan cara membagi kadar air bebas dengan rasio air terhadap semen untuk mendapatkan kadar semen yang diperlukan.
13. Dapat diabaikan jika jumlah semen maksimum tidak ada penetapan.
14. Identifikasi jumlah semen yang diperlukan seminimal mungkin. Jika informasi tersebut tidak tersedia, silakan merujuk pada Tabel 3. 4 untuk memperoleh estimasi jumlah semen yang dihitung, dan lakukan penyesuaian jika diperlukan.

Tabel 3. 5 Persyaratan Jumlah Minimum Semen dan Rasio Maksimum Air Semen untuk Berbagai Jenis Pengecoran di Lingkungan Khusus.

Lokasi -	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air- Semen Maksimum
Beton didalam ruang bangunan: a. Keadaan keliling non-korosif b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275	0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan: a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 325	0,60 0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	275 325	0,55 Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. Air tawar b. Air laut	325	Lihat Tabel

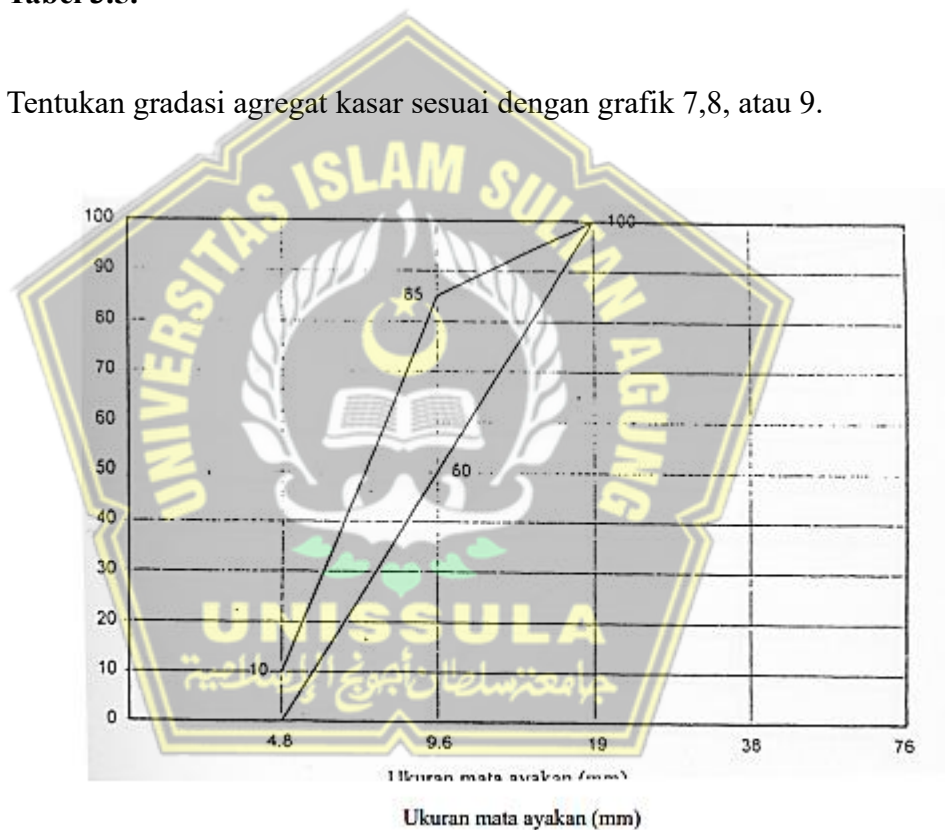
15. Perbarui Faktor Air Semen yang telah disesuaikan setiap kali terjadi perubahan jumlah semen, tanpa memperhatikan apakah jumlah semen tersebut berada di bawah batas minimum yang ditetapkan atau melebihi batas maksimum yang diperlukan.
16. Spesifikasi distribusi ukuran butir agregat halus. Setelah melakukan analisis butiran halus dan memperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi, kurva distribusi ukuran butir pasir dibandingkan dengan kurva pada grafik 3-6.

Tabel 3. 6 Data Sifat fisik agregat

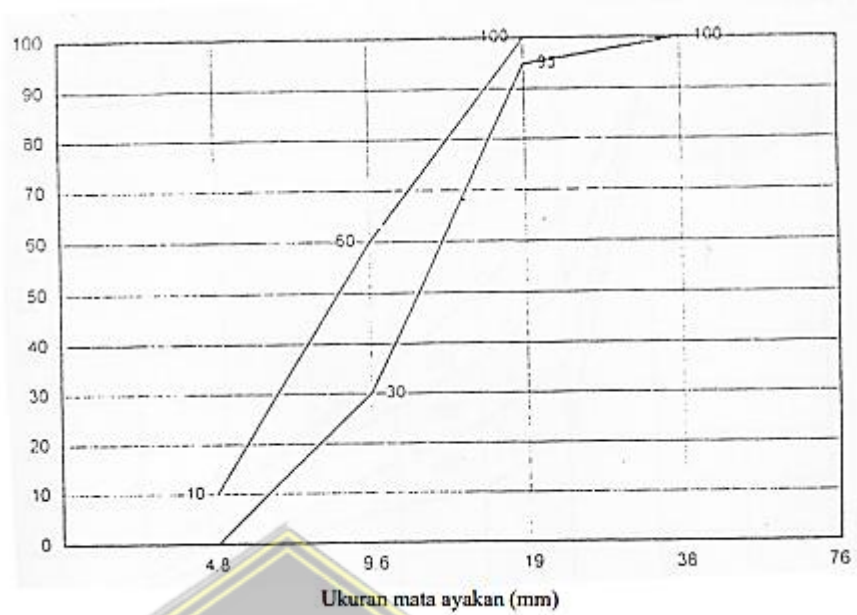
Agregat Sifat	Pasir (Halus Tak Di Pecah) IV	Pasir (Kasar Tak Di Pecah) V	Kerikil (Batu Pecah) VII
- Berat jenis (kering permukaan)	2,50	2,44	2,66
- Penyerapan air%	3,10	4,20	1,63
- Kadar air %	6,50	8,80	1,06

Sebagai alternatif, pasir dapat digabungkan sebagaimana dijelaskan dalam **Tabel 3.5.**

17. Tentukan gradasi agregat kasar sesuai dengan grafik 7,8, atau 9.

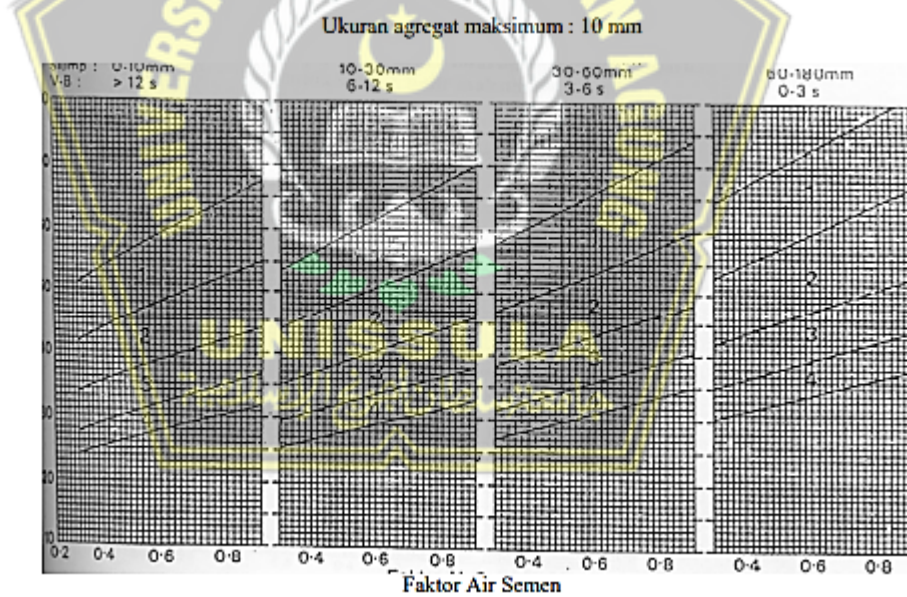


Gambar 3. 3 Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 10 mm



Gambar 3. 4 Grafik 8 Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 20 mm

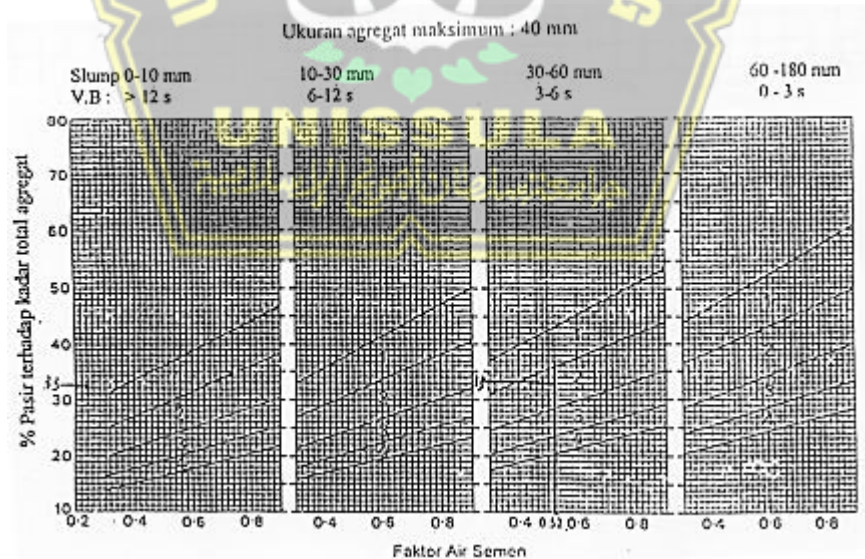
18. Hitung presentase pasir 15.



Gambar 3. 5 Grafik 13 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm.

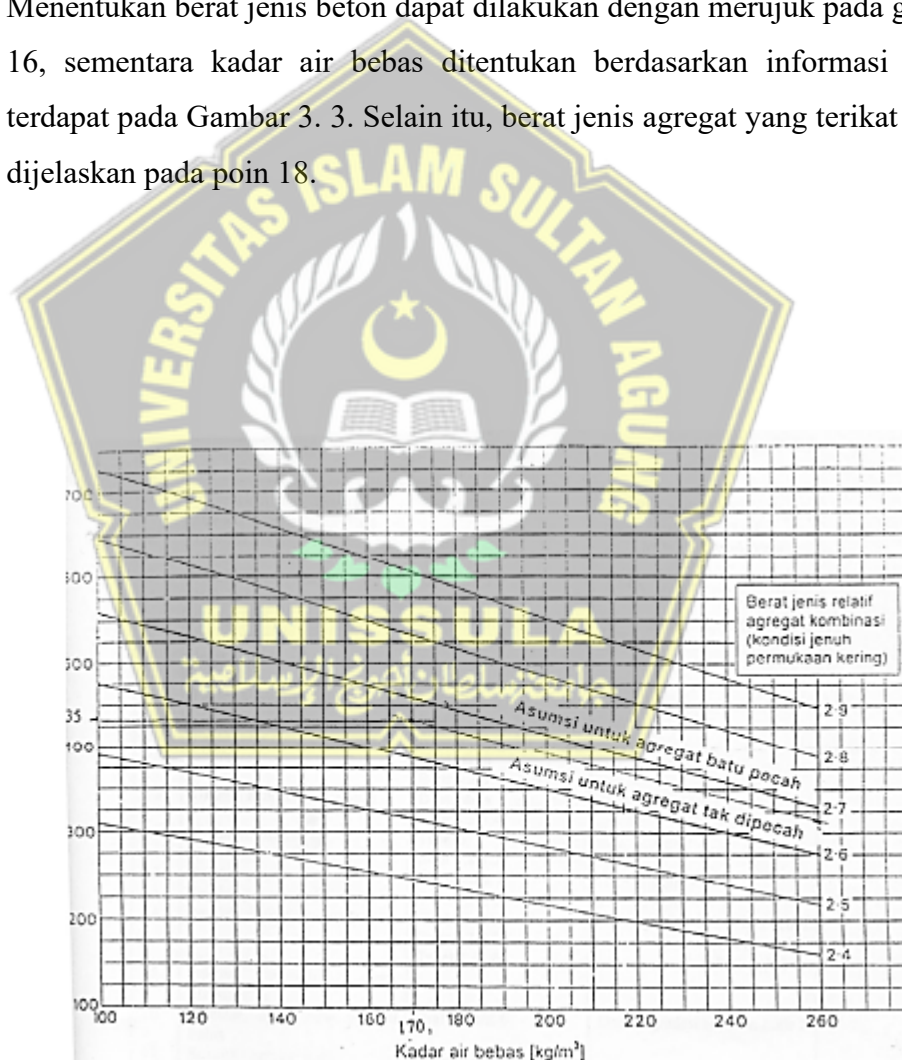


Gambar 3. 6 Grafik 14 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm.



Gambar 3. 7 Grafik 15 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm.

19. Dihitung sesuai dengan ketentuan di bagian 4.2.3.6. untuk berat jenis agregat. Penentuan nilai kepadatan relatif agregat dilakukan dengan menggunakan metode berikut:
- Hasil pengujian yang diperlukan sudah tersedia, Namun, apabila informasi tersebut belum ada anda dapat menggunakan nilai 2,5 untuk agregat tidak terputus, serta nilai 2,6 atau 2,7 untuk agregat pecah.
 - Rumus berat jenis gabungan agregat dapat dihitung menggunakan perhitungan : $(\text{Presentase Agregat Halus} \times \text{Berat Jenis Agregat Halus}) + (\text{Presentase agregat kasar} \times \text{Berat Jenis Agregat Kasar})$.
20. Menentukan berat jenis beton dapat dilakukan dengan merujuk pada grafik 16, sementara kadar air bebas ditentukan berdasarkan informasi yang terdapat pada Gambar 3. 3. Selain itu, berat jenis agregat yang terikat telah dijelaskan pada poin 18.



Gambar 3. 8 Grafik 16 Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang Telah Selesai Didapatkan

1. Presentase agregat gabungan dapat dihitung dengan mengurangi berat jenis beton dari total presentase kadar semen per meter kubik dan kadar air bebas per meter kubik
2. Menghitung presentase agregat halus, yang nilainya didapatkan dari mengalikan presentase dari poin 18 dengan persentase agregat gabungan dari poin 18.
3. Perhitungan presentase agregat kasar dapat didapatkan dari selisih dari agregat halus.
4. Untuk menentukan komposisi digunakan Langkah-langkah dari poin 1 sampai 23 material yang dibutuhkan untuk 1 meter kubik campuran beton. Perhatian khusus perlu diberikan pada rasio pencampuran agar agregat dalam kondisi kering. Proporsi campuran beton harus dihitung dalam satuan kilogram per meter kubik.

3.5.3 Pembuatan Beton

Benda uji beton dibuat dengan tahapan berupa:

1. Pembuatan beton diawali dengan penakaran komposisi campuran beton. Setelah semua bahan diukur sesuai takaran kemudian dimasukkan ke mesin pengaduk beton. Penambahan air dimasukkan secara bertahap ke dalam mesin.
2. Setelah penambahan air baru *Styrofoam* dimasukkan pada mesin pengaduk dengan tujuan agar *Styrofoam* tidak berhamburan kemana – mana. Dilakukan pencampuran selama 10 menit.
3. Setelah campuran tercampur rata dilakukan Slump Test. Campuran kemudian dituang ke dalam kerucut Abram dan dipadatkan dengan tongkat pemadat dengan 25 kali tusukkan per lapis. Ketika kerucut Abram ditarik dan permukaan mortar mengalami penurunan sehingga nilai slump dapat dihitung.
4. Selanjutnya adalah pengecoran dalam cetakan balok berukuran 60 cm x 15 cm dengan cara pengisian bertahap. Pengisian bertahap ini dilakukan secara 3 lapis atau 1 dari tinggi cetakan, tiap lapisnya dipadatkan dengan 3 cara ditumbuk sebanyak 25 kali kemudian beton dibiarkan selama 24 jam.

3.5.4 Perawatan

Perawatan beton dilakukan dengan cara merendam sampel beton setelah dua hari sejak pelepasan cetakan, dan terus dilanjutkan hingga mencapai hari ke dua puluh delapan.

3.5.5 Pengujian Kuat Lentur Beton

balok beton dengan bentuk bujur sangkar dengan Panjang total empat kali lebar penampang, sebagaimana sesuai dengan SNI 03-4154-1996.

Balok uji dirancang sesuai dengan SNI 2493:2011, yang mengatur prosedur benda uji beton di laboratorium yakni pembuatan dan perawatan. Balok berbentuk prisma ini digunakan untuk mengukur kekuatan lentur, mengacu pada SNI 2493-2011:6.

Selama pengujian, balok uji ditempatkan di atas dua tumpuan, kemudian dibebani pada dua titik yang terletak di sepertiga bagian dari jarak antara tumpuan kanan dan kiri. Pembebanan dilakukan secara terus-menerus untuk menghindari efek kejut. Metode pengujian ini dapat dilihat pada ilustrasi berikut.

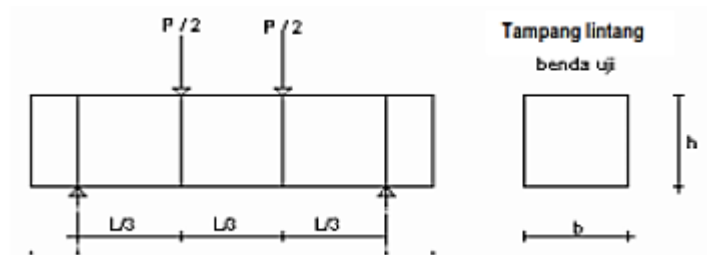


Gambar 3. 9 Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar : A – A = Sumbu memanjang

B = Titik – titik perletakan

C = Titik – titik pembebanan

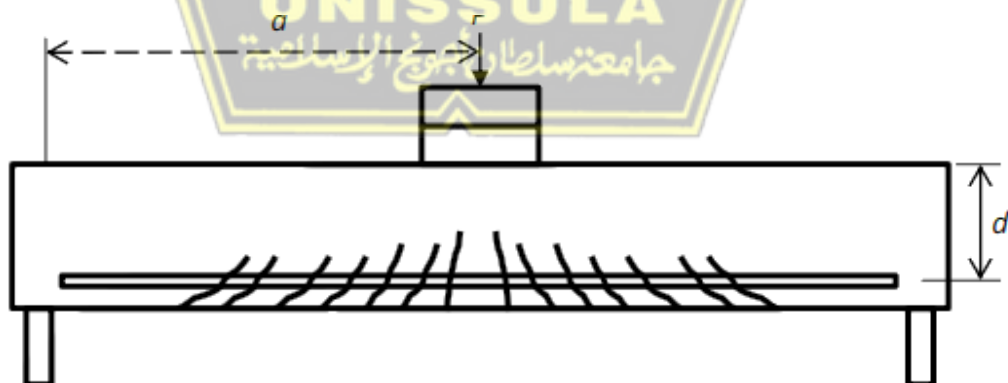


Gambar 3. 10 Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar : L = Jarak antara dua garis perletakan
 b = Lebar tampak lintang benda uji
 h = Tinggi tampak lintang benda uji
 P = adalah beban tertinggi yang ditunjukkan mesin uji

3.5.6 Keruntuhan Lentur Pada Balok

Kondisi runtuh lentur seperti ini menyebabkan munculnya sejumlah retakan halus yang bersifat vertikal di tengah bentang, yang mana sekitar 50% dari dampak tersebut disebabkan oleh beban runtuh lentur (Nawy, 1990). Retakan ini terjadi akibat peningkatan beban yang mengakibatkan tegangan tarik pada beton melebihi batas kekuatan tariknya, sehingga retakan terbentuk pada area yang mengalami tekanan tarik (Vis dan Gideon, 1993). Contoh retakan akibat keruntuhan lentur dapat dilihat pada **Gambar 3. 11**.

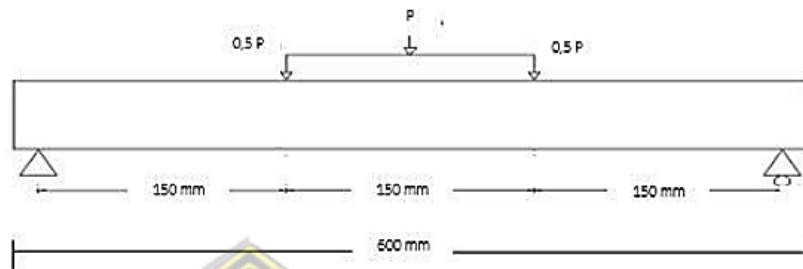


Gambar 3. 11 Retak pada Keruntuhan Lentur Balok (Sumber : Nawy, 1990)

3.5.7 Perhitungan Beban Maksimum yang Dapat Dipikul Balok

1. Perhitungan Kuat Lentur Balok tanpa perkuatan

Perencanaan kekuatan balok segi empat terhadap lentur yang tanpa tulangan serta tanpa perkuatan, permodelan pembebanannya seperti ditunjukkan gambar 3.12 berikut.



Gambar 3. 12 Permodelan Pembebanan Balok Konvensional

Tata cara perhitungan beban maksimum yang dapat dipikul balok tanpa perkuatan telah diatur dalam SNI 03-4431-1997 yaitu sebagai berikut:

a. Kuat Lentur Balok

(1) Memeriksa kuat lentur teoritis dengan menggunakan faktor

$$f'_c \cdot \sigma_{\text{teoritis}} = 0,94 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.1)$$

(2) Cek kisaran yang memenuhi syarat atau tidaknya kuat lentur dengan perbandingan persamaan 2.1 di atas.

$$(0,11 - 0,23) f'_c \dots\dots\dots (3.2)$$

(3) Menghitung momen nominal kuat lentur

$$M_{ns} = A_s \cdot f_s \left(d - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

(4) Beban yang dipikul oleh balok

$$M_n = (P + 1/2 q L) \cdot 225 - (1/2 q L^2) \dots\dots\dots (3.4)$$

(5) Menentukan kuat lentur balok uji

$$\sigma = PL / bh^2 \dots\dots\dots (3.5)$$

b. Kuat Geser Balok

(1) Menentukan besarnya kekuatan geser nominal yang disediakan beton

$$V_c = 16 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (3.8)$$

(2) Menentukan kekuatan geser nominal oleh tulangan geser baja.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot d}{s} \dots\dots\dots(3.9)$$

(3) Menentukan kekuatan geser nominal

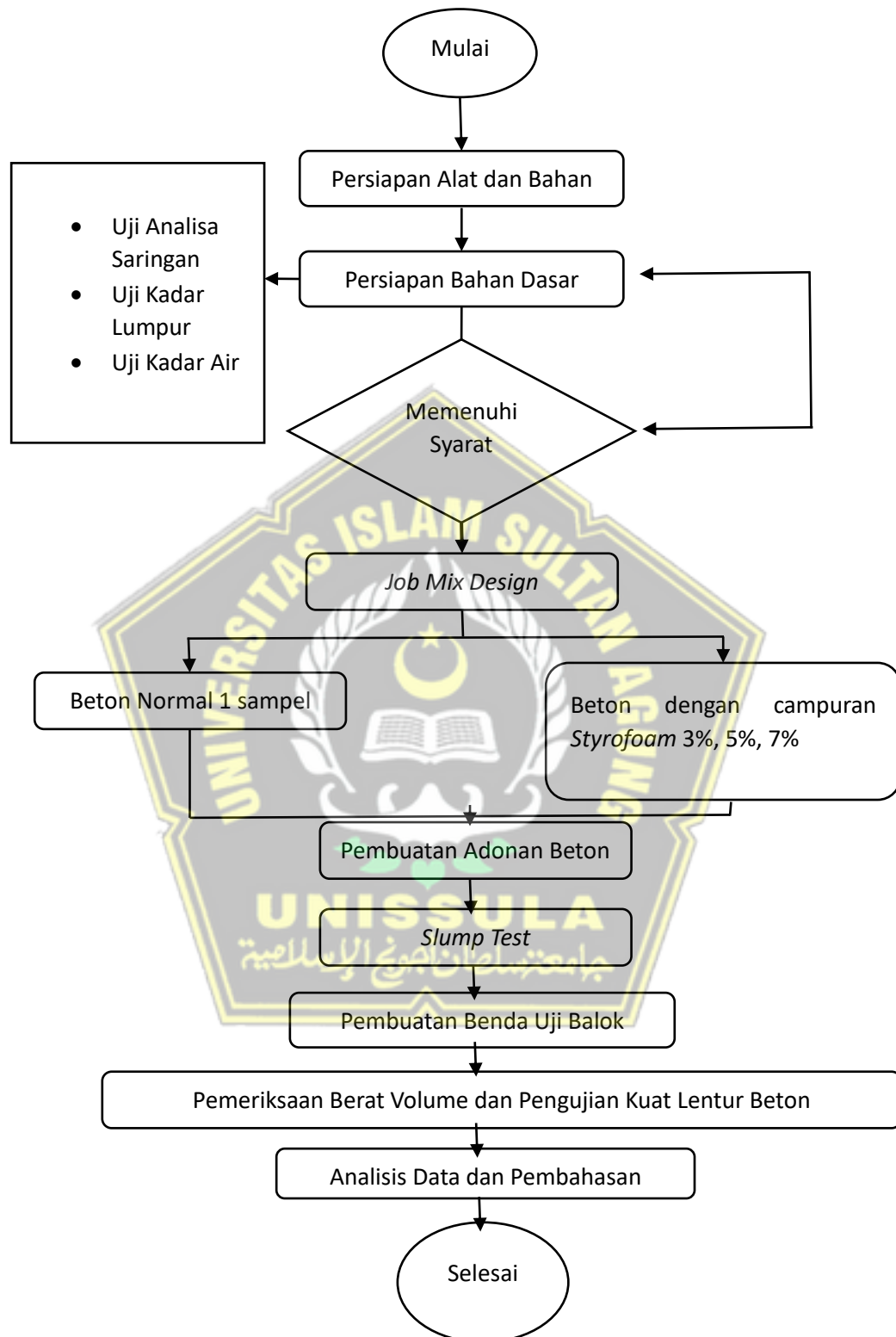
$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(3.10)$$

(4) Menentukan beban yang dapat ditahan balok

$$V_u \leq V_n \dots\dots\dots(3.11)$$



3.5.8 Bagan Alir



Gambar 3. 13 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Agregat

Sesudah melalui berbagai pemeriksaan pada pengujian bahan, didapatkan hasil pada agregat halus dan kasar. Pemeriksaan agregat meliputi analisis saringan, penentuan kadar lumpur, dan perhitungan volume.

4.1.1 Agregat Kasar

a. Pemeriksaan kadar lumpur percobaan I

Dalam menghitung kadar lumpur pada agregat kasar digunakan persamaan rumus :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(b-a)-(c-a)}{b-a} \times 100\%$$

Berat Batu Pecah (a)	=	500	gram
Berat Wadah	=	47	gram
Berat wadah + agregat sebelum dicuci (b)	=	547	gram
Berat wadah + agregat setelah dioven (c)	=	528	gram
Kandungan Lumpur I	=	$\frac{(b-a)-(c-a)}{b-a} \times 100\%$	
		$= \frac{(547-500)-(528-500)}{547-47} \times 100\%$	
		= 0,04%	

b. Pemeriksaan kadar lumpur percobaan II

Dalam menghitung kadar lumpur pada agregat kasar dipakai persamaan rumus :

$$\frac{(b-a)-(c-a)}{b-a} \times 100\%$$

Berat Batu Pecah (a)	=	500	gram
Berat Wadah	=	47	gram
Berat wadah + agregat sebelum dicuci (b)	=	547	gram
Berat wadah + agregat setelah dioven (c)	=	528	gram
Kandungan Lumpur I	=	$\frac{(b-a)-(c-a)}{b-a} \times 100\%$	
		$= \frac{(547-500)-(528-500)}{547-47} \times 100\%$	
		= 0,04%	

c. Kadar Lumpur Rata - Rata

Kadar Lumpur I = 0,04% gram

Kadar Lumpur II = 0,04% gram

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lumpur rata - rata} &= \frac{\text{kadar lumpur I} + \text{kadar lumpur II}}{2} \\ &= \frac{0,04\% + 0,04\%}{2} \\ &= 0,04\% \end{aligned}$$

Hasil yang didapatkan setelah melakukan percobaan I dan II, Menunjukkan kadar lumpur rerata yang dihasilkan sebanyak 0,04% . Hasil menunjukan bahwa nilai agregat kasar tidak harus dicuci dikarenakan nilai kadar lumpur masih di bawah 1% (ditentukan terhadap berat kering) agregat kasar bisa langsung dipergunakan untuk campuran beton (SK SNI S-04-1989-F).

Hasil perhitungan Analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar

No.	Ukuran saringan (mm)	Berat agregat (gr)	Presentase Agregat Tertinggal (%)	Komulatif ggregat tertinggal (gr)	Present finer (%)	ASTM C33	
						MIN (%)	MAX (%)
1	25	-	-	-	100	0	100
2	19	-	-	-	100	90	100
3	12,5	241,4	48,3	48,30	51,70	20	55
4	9,5	177,4	35,52	83,82	16,18	0	15
5	4,75	73,4	14,69	98,51	1,49	0	5
6	2,36	48,00	0,96	99,47	0,53	0	0
7	1,18	0	0,00	99,47	0,53	0	0
8	PAN	2,40	0,48	99,99	0,01	0	0
Jumlah		542,6	99,95	529,56	270,44		

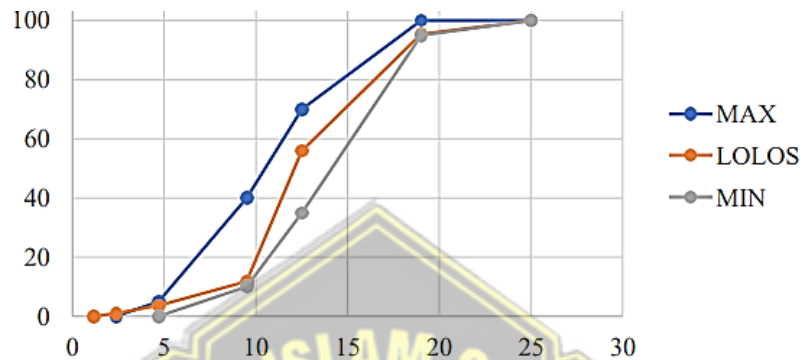
Sumber : Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung Semarang

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \% \text{ Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100}$$

$$= \frac{529,56}{100}$$

$$= 5,29$$

Hasil dari Hitungan Saringan Agregat Kasar pada persamaan diatas didapatkan Nilai Modulus Halus Butir sebanyak 5,29. Berdasarkan ketentuan dan persyaratan SNI 03-2834- 2000



Gambar 4. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar

4.1.2 Agregat Halus

Untuk menghitung kadar lumpur pada agregat halus digunakan persamaan rumus berikut :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{v2}{v1+v2} \times 100\%$$

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

1. Pemeriksaan kadar lumpur percobaan 1

$$V1 = 500 \text{ ml}$$

$$V2 = 25 \text{ ml}$$

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{v2}{v1+v2} \times 100\%$$

$$= \frac{25}{500+25} \times 100\%$$

$$= 0,047\%$$

2. Pemeriksaan kadar lumpur percobaan 2

$$V1 = 500 \text{ ml}$$

$$V2 = 40 \text{ ml}$$

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{v2}{v1+v2} \times 100\%$$

$$= \frac{40}{500+40} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,074\% \\
 3. \text{ Kadar Lumpur Rata-rata} &= \frac{\text{Kadar lumpur 1} + \text{Kadar lumpur 2}}{2} \\
 &= \frac{0,047\% + 0,074\%}{2} \\
 &= 0,06\%
 \end{aligned}$$

Pengujian terhadap kadar lumpur pada agregat halus bisa ditunjukkan pada **Tabel 4.2** berikut ini.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Lumpur agregat halus

No	Volume Pasir (V1)	Volume Lumpur (V2)	Kadar Lumpur
1	500ml	25ml	0,047
2	500ml	40ml	0,074
Kadar lumpur rata-rata			0,06

Sumber: Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus menunjukkan presentase pada pengujian perobaan pertama memiliki kadar lumpur sebanyak 0,047% dan pada pengujian ke 2 didapat kadar lumpur sebanyak 0,074% dengan hasil rata-rata agregat halus memiliki kadar lumpur sebesar 0,06%. Maksimal kadar lumpur menurut SK SNI S-04-1989-F adalah 5%.

Hasil perhitungan Analisa saringan agregat kasar bisa ditunjukkan pada **Tabel 4.2**

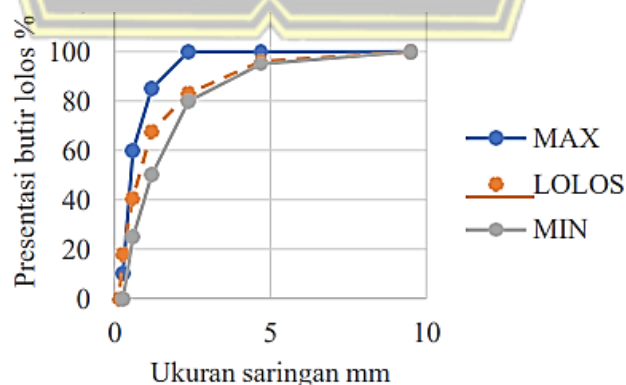
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus

No.	Ukuran saringan (mm)	Berat agregat (gr)	Presentase Agregat Tertinggal (%)	Komulatif ggregat tertinggal (gr)	Present finer (%)	ASTM C33	
						MIN (%)	MAX (%)
1	9,5	-	-	-	100	100	100
2	4,7	-	-	-	100	95	100
3	2,38	78	16,26	16,26	83,74	35	70
4	1,19	107	22,31	38,57	61,43	10	40
5	0,59	115,2	23,97	62,54	37,41	0	5
6	0,27	61,2	12,71	75,25	24,65	0	0
7	0,15	75,4	15,63	90,88	8,93	-	-
8	PAN	42,8	8,92	99,99	0,01	-	-
Jumlah		479,6	99,8	383,49	416,17		

Sumber : Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \% \text{ Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \\
 &= \frac{383,49}{100} \\
 &= 3,83
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan analisis saringan agregat kasar diatas menunjukkan koefisien halus sebesar 3,83. Sesuai dengan ketentuan dan persyaratan SNI 03-2834- 2000



Gambar 4. 2 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus

4.2 Job Mix Design

Mutu beton normal dengan mutu K-240 atau $F_c'20$ MPa menjadi acuan dalam perancangan campuran beton dalam penelitian ini. Bahan penyusun beton mengacu SNI 03,-2834–2000. Uji beton menggunakan alat cetak berbentuk balok, menggunakan Panjang 60 cm dan tinggi 15 cm. Untuk detail perhitungan Job Mix Design Terlampir.



Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan *Mix Design*

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan pada umur 28	20	Mpa
2	Deviasi Standar (sd)	7	
3	Nilai Tambah (M)	7	Mpa
4	Kuat Tekan rata rata rencana	27	Mpa
5	Jenis Semen	tipe 1	
6	Jenis Agregat Halus	alami	
7	Jenis Agregat Kasar	batu pecah + styrofoam	
8	Faktor Air Semen	0,54	
9	FAS MAKSIMUM	0,6	
10	Di pakai Fas terkecil antara point 6&9	0,54	
11	Nilai Slump	60-180 mm	mm
12	Ukuran Maks Agregat Kasar	20 mm	mm
13	Kebutuhan air	204,9	liter/m3
14	kebutuhan semen	379,44	kg/m3
15	kebutuhan semen minimum	325	kg/m3
16	dipakai kebutuhan semen (terbesar point 14 dan 15)	379,44	kg/m3
17	Penyesuaian jumlah air atau fas	-	
18	daerah gradasi agregat halus	daerah	
19	perbandingan agregat halus dan kasar	40%	%
20	Berat jenis agregat campuran (P/100*BJ agg.)	2,66	kg/m3
21	Berat beton	2390	kg/m3
22	kebutuhan agregat campuran	1805,66	kg/m3
23	kebutuhan agregat halus	758,4	kg/m3
24	kebutuhan agregat kasar	1047,3	kg/m3

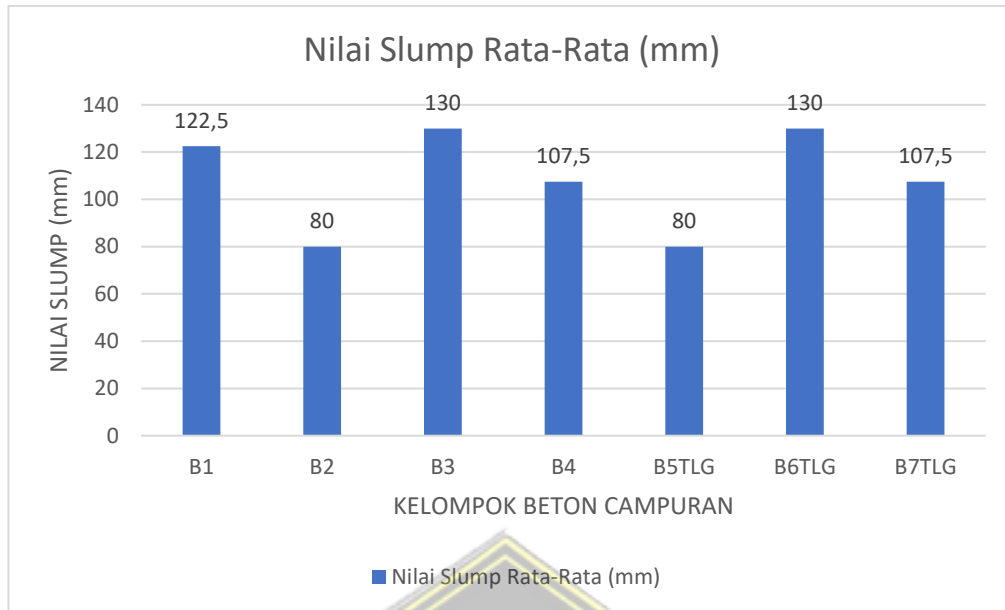
Tabel 4. 5 Perbandingan Campuran Beton 1m³

Semen	Pasir	Kerikil	Air
379 kg	758 kg	1047 kg	205 L
Semen : Pasir : Kerikil : Air 1 : 2 : 2,76 : 0,53			

Berikut adalah kebutuhan bahan material untuk 1 balok disajikan pada **Tabel 4.6**
Perhitungan detail kebutuhan *styrofoam* terlampir.

Tabel 4. 6 Hasil pengukuran uji slump kelompok B1-B7TLG

Kode	Pengukuran	Tertinggi (mm)	Terendah (mm)	Rata-rata (mm)
1	B1	145	100	122,5
2	B2	100	60	80
3	B3	135	125	130
4	B4	125	90	107,5
5	B5TLG	100	60	80
6	B6TLG	135	125	130
7	B7TLG	125	90	107,5
Rata-rata				108,2



Gambar 4. 3 Hasil Nilai Slump

4.3 Perawatan Benda Uji

Pemeliharaan benda uji balok dilaksanakan melalui tahap curing selama 28 hari untuk memastikan kekuatan dan kualitas beton yang optimal. Proses ini bertujuan memelihara kelembaban dengan suhu yang sesuai, oleh karena itu reaksi hidrasi semen bisa berlangsung dengan baik. Biasanya, benda uji direndam dalam air atau disimpan di lingkungan dengan kelembaban tinggi pada suhu standar sekitar 27°C. Curing yang baik mencegah retak dini, meningkatkan daya tahan beton terhadap tekanan, serta memastikan hasil pengujian kekuatan tekan sesuai dengan standar yang diharapkan.



Gambar 4. 4 Perawatan Benda Uji Balok

4.4 Hasil Pengujian Beton

Pengujian kuat lentur benda uji pada penelitian ini memakai 14 sampel benda uji terdiri dari 6 benda uji menggunakan campuran *styrofoam* dengan baja tulangan dan 6 benda uji menggunakan campuran *styrofoam* tanpa tulangan dan 2 benda uji beton normal. Proses *curing* atau perawatan beton pada benda uji balok dikerjakan hingga umur beton sampai 28 hari. Hal ini dikarenakan pada umur 28 hari, kekuatan beton akan optimal.

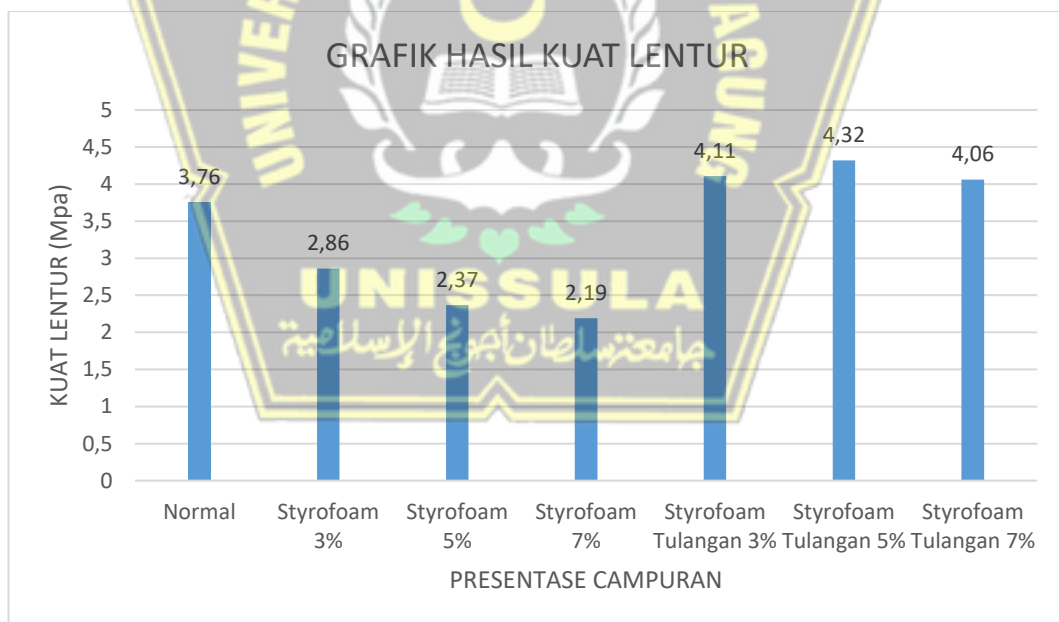
Pada penelitian ini menggunakan data hasil kuat tekan benda uji silinder variasi beton normal, 3% *styrofoam*, 5%, dan 7% untuk menghitung kapasitas momen (M_n) yang didapat dari penelitian pengujian kuat tekan pada penelitian (Aaminah & Ayu), data berikut merupakan data yang diperoleh dari uji kuat lentur dan kuat tekan

Tabel 4. 7 Hasil seluruh kuat lentur beton pada benda uji balok

Kode	Styrofoam	Massa (kg)	Fs (Mpa)	Rata-rata fs (Mpa)
B1	0	29,54	3,46	3,76
		32,97	4,06	
B2	3%	28,72	2,78	2,86
		29,38	2,94	
B3	5%	25,79	2,50	2,37
		26,34	2,23	
B4	7%	24,81	2,16	2,19
		24,38	2,21	
B5TLG	3%	27,96	3,79	4,11
		27,32	4,43	
B6TLG	5%	28,52	4,42	4,32
		28,64	4,22	
B7TLG	7%	25,29	3,93	4,06
		25,78	4,18	

Tabel 4. 8 Hasil seluruh kuat tekan beton pada benda uji balok

No.	Kode	Styrofoam (%)	Perkuatan	Umur (Hari)	Massa (Kg)	f _c (MPa)	Rata-Rata f _c (MPa)
1	B1	0	-	28	12,98	15,93	20,04
					12,65	21,93	
					12,81	22,26	
2	B2	3	-	28	11,60	13,01	14,61
					11,63	15,06	
					11,82	15,76	
3	B3	5	-	28	11,16	11,08	12,62
					11,20	12,80	
					11,42	13,97	
4	B4	7	-	28	10,97	10,68	10,96
					10,52	10,81	
					10,77	11,40	



Gambar 4. 5 Grafik hasil kuat lentur beton pada benda uji balok

Berdasarkan data tersebut uii lentur beton didapat bahwa untuk hasil kuat lentur pada beton campuran styrofoam penambahan baja tulangan mengalami peningkatan kuat lentur yang signifikan dan pada penelitian ini tulangan

mengalami tarik sehingga menyebabkan beton tidak mengalami patah. Data kuat lentur dengan paling tertinggi pada campuran styrofoam 5% dengan perkuatan baja tulangan yaitu 4,32 Mpa, dan hasil paling rendah yaitu dengan campuran Styrofoam 7% tanpa baja tulangan didapat 2,19 Mpa.

4.5 Berat Volume Beton

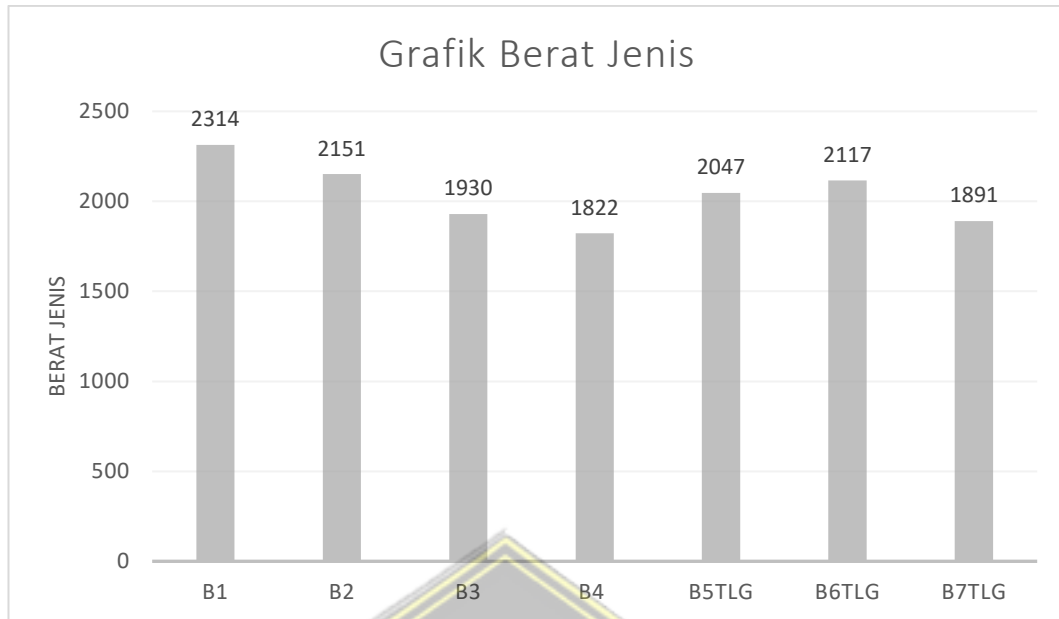
Berat volume beton adalah perbedaan antara berat dan volume beton, bergantung pada susunan komposisi material dari campuran beton. Jika campuran penyusun beton mengandung berat volume beton yang tinggi, maka beton memiliki berat volum yang besar pula. Pengujian berat volume ini dilakukan dengan mengukur dimensi balok berupa panjang, tinggi, lebar serta dilakukan penimbangan. Dengan demikian diperoleh berat dengan volume dari benda uji. Berikut adalah rumus untuk menghitung berat jenis beton :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat (Kg)}}{\text{Volume Benda Uji (m}^3\text{)}}$$

Berdasarkan rumus diatas diperoleh hasil dari rata-rata beton. Hasil penelitian mengenai berat volume beton ditampilkan dalam **Tabel 4.9** berikut ini :

Tabel 4. 9 Berat Volume Rata – Rata Beton

No	Kode	Berat	Berat Jenis	Bentuk
		Kg	Kg/m ³	
1	B1	31,25	2314	Balok
2	B2	29,05	2151	Balok
3	B3	26,06	1930	Balok
4	B4	24,6	1822	Balok
5	B5TLG	27,64	2047	Balok
6	B6TLG	28,58	2117	Balok
7	B7TLG	25,53	1891	Balok



Gambar 4. 6 Grafik Berat Jenis Benda Uji Balok

4.6 Analisa teoritis lentur balok beton

Analisa kapasitas penampang teoritis akan dilakukan pada balok yang tidak menggunakan tulangan. Meliputi analisa perhitungan kapasitas lentur balok.

4.6.1 Analisa Perhitungan Kapasitas Lentur Balok

$$\text{Kapasitas Lentur } M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Keterangan :

A_s = Luas Tulangan Baja

F_y = Kuat Leleh Spesifik dari Tulangan Baja

d = Tinggi Efektif Balok

a = Tinggi Balok Beton

$$\text{Tinggi Balok Beton } a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F_c' \times b}$$

Keterangan :

A_s = Luas Tulangan Baja

F_y = Kuat Leleh Spesifik dari Tulangan Baja

F_c' = Kuat Tekan (Data Penelitian Aminah & Ayu 2025)

b = Lebar Balok

$$\text{Tinggi Efektif Balok } d = h - C_c - d_s - \frac{db}{2}$$

Keterangan :

h = Tinggi Balok

C_c = Selimut Beton

d_s = Diameter Sengkang

db = Diameter Tulangan Longitudinal

1. Kapasitas Kuat Lentur Balok B1

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times n$$

n = Jumlah Tulangan

b = lebar balok

$$A_s = \frac{3,14}{4} \times 10^2 \times 2$$

$$= 157$$

$$d = 150 - 40 - 15 - \frac{10}{2}$$

$$= 90$$

$$a = \frac{157 \times 240}{0,85 \times 20,04 \times 150}$$

$$= 14,74$$

$$M_n = 157 \times 240 \times \left(90 - \frac{14,74}{2}\right)$$

$$= 311 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Kuat Lentur Balok B5TLG

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times n$$

n = Jumlah Tulangan

b = lebar balok

$$A_s = \frac{3,14}{4} \times 10^2 \times 2$$
$$= 157$$

$$d = 150 - 40 - 15 - \frac{10}{2}$$
$$= 90$$

$$a = \frac{157 \times 240}{0,85 \times 14,61 \times 150}$$
$$= 20,22$$

$$M_n = 157 \times 240 \times \left(90 - \frac{20,22}{2}\right)$$
$$= 301 \text{ kN}$$

3. Kapasitas Kuat Lentur Balok B6TLG

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times n$$

n = Jumlah Tulangan

b = lebar balok

$$A_s = \frac{3,14}{4} \times 10^2 \times 2$$
$$= 157$$

$$d = 150 - 40 - 15 - \frac{10}{2}$$
$$= 90$$

$$a = \frac{157 \times 240}{0,85 \times 12,62 \times 150}$$
$$= 23,41$$

$$M_n = 157 \times 240 \times \left(90 - \frac{23,41}{2}\right)$$

$$= 295 \text{ kN}$$

4. Kapasitas Kuat Lentur Balok B7TLG

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times n$$

n = Jumlah Tulangan

b = lebar balok

$$A_s = \frac{3,14}{4} \times 10^2 \times 2$$

$$= 157$$

$$d = 150 - 40 - 15 - \frac{10}{2}$$

$$= 90$$

$$a = \frac{157 \times 240}{0,85 \times 10,96 \times 150}$$

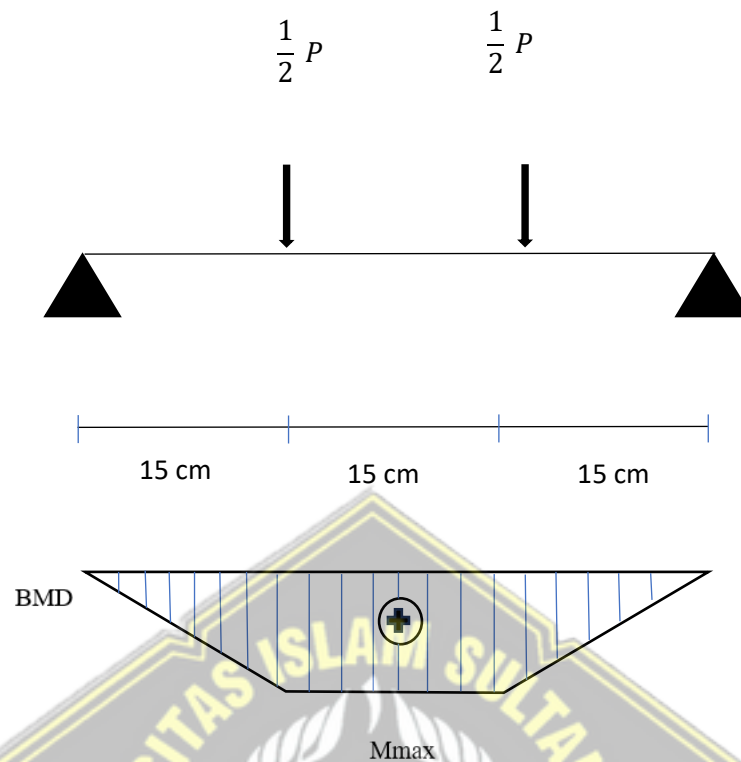
$$= 26,96$$

$$M_n = 157 \times 240 \times \left(90 - \frac{26,96}{2}\right)$$

$$= 288,3 \text{ kN}$$

4.6.2 Analisa Perhitungan Kapasitas Lentur Balok dengan Analisa Eksperimen

Analisa perhitungan kapasitas lentur balok teoritis dan eksperimen digunakan untuk membandingkan hasil kuat lentur.



Gambar 4.6 Pengujian Benda Uji Balok Lentur dan Bidang Momen

Pada eksperimen melakukan pengujian pada benda uji balok lentur layaknya pada gambar 4.6, yaitu pembebanan berada ditengah dengan jarak 15 cm kemudian ditekan untuk mencapai hasil kuat lentur maksimal (maximum strength) dan beban maksimal (maximal load).

1. Menghitung (P) 3% Tulangan didapat dari hasil eksperimen

$$P \text{ 3\% Tulangan} = 33,22 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= M_n \text{ eksperimen} = \frac{1}{2} \times P \times 15 \\ &= \frac{1}{2} \times 33,22 \times 15 \\ &= 249,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung (P) 5%% Tulangan didapat dari hasil eksperimen

$$P \text{ 5\% Tulangan} = 33,12 \text{ Kn}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= M_n \text{ eksperimen} = \frac{1}{2} \times P \times 15 \\
 &= \frac{1}{2} \times 33,12 \times 15 \\
 &= 248,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung (P) 7% Tulangan didapat dari hasil eksperimen

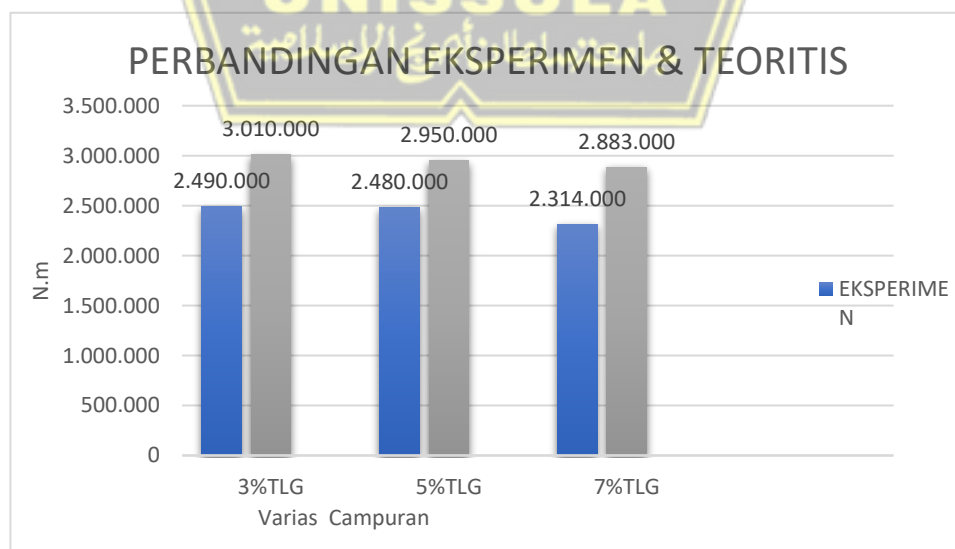
$$P \text{ 7\% Tulangan} = 31,318 \text{ Kn}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= M_n \text{ eksperimen} = \frac{1}{2} \times P \times 15 \\
 &= \frac{1}{2} \times 31,318 \times 15 \\
 &= 234,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimen

Kode	Kuat Tekan (Mpa)	Eksperimen		Teoritis	Perbandingan
		Beban Max (kN)	Momen Maksimum (kN)	Kapasitas Momen (kN)	Persentase Selisih %
B5TLG	14,61	33,22	249,15	301	17,22
B6TLG	12,62	33,12	248,4	295	15,8
B7TLG	10,96	31,31	234,88	288,3	18,53

Sumber: Diambil dari data penelitian kuat tekan beton (Aaminah dan Ayu 2025)



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Eksperimen dan Teoritis Benda Uji Balok

4.7 Hasil Pengamatan Benda Uji



Gambar 4. 8 Pola retakan pada beton normal

Gambar 4.8 menunjukkan balok konvensional mengalami retak lentur. yang terjadi pada daerah nilai momen lentur lebih besar dan gaya geser yang lebih kecil



Gambar 4. 9 Pola retakan pada beton styrofoam

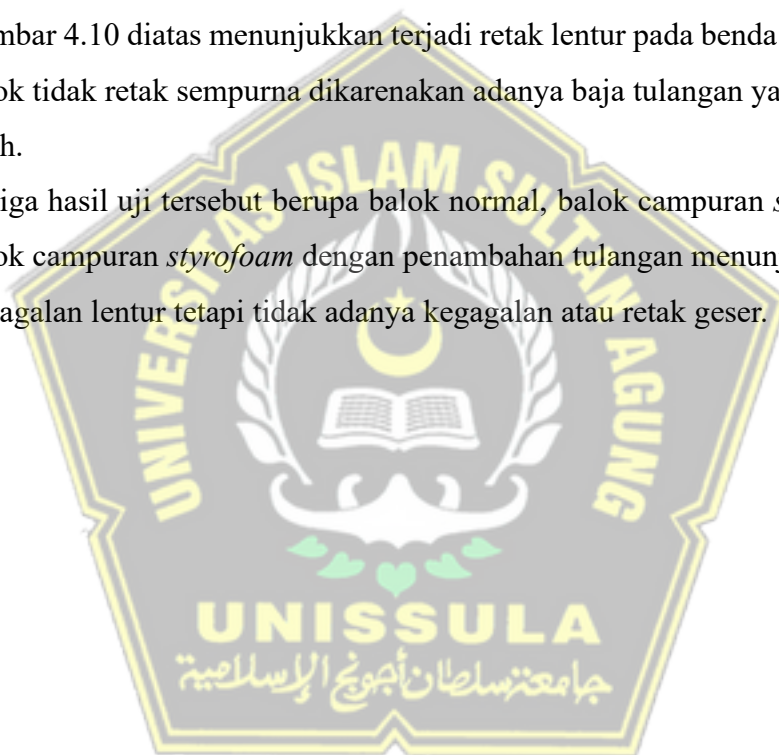
Gambar 4.9 menunjukkan adanya retak lentur pada balok, Terdapat hampir tegak lurus arah terhadap sumbu balok.



Gambar 4. 10 Pola retakan pada beton bertulang

Gambar 4.10 diatas menunjukkan terjadi retak lentur pada benda uji akan tetapi balok tidak retak sempurna dikarenakan adanya baja tulangan yang mengalami leleh.

Ketiga hasil uji tersebut berupa balok normal, balok campuran *styrofoam*, dan balok campuran *styrofoam* dengan penambahan tulangan menunjukkan adanya kegagalan lentur tetapi tidak adanya kegagalan atau retak geser.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan di laboratorium Teknologi Bahan dan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur beton dalam campuran yang telah dilakukan terhadap benda uji, didiperoleh hasil perbandingan antara beton normal dengan beton bertulang *styrofoam* mengalami peningkatan dengan hasil rerata beton normal yaitu 2,76 MPa ,sedangkan hasil tertinggi rata-rata dari beton bertulang didapat hasil 4,32 MPa dengan presentase beton bertulang *styrofoam* 5%, kemudian untuk hasil terendah dari beton bertulang *styrofoam* didapat hasil 4,06 MPa dengan presentase *styrofoam* 7%,.
2. Balok normal mempunyai nilai uji kuat lentur rata-rata 2,76 MPa, untuk beton campuran *styrofoam* menyentuh kuat lentur dengan rata-rata 2,86 dimana angka tersebut terendah diantara balok uji lainnya sedangkan balok bertulang dengan campuran *styrofoam* menyentuh rata-rata 4,159 MPa. Ketiga tipe balok uji ini tidak terjadi kegagalan atau retak geser.

5.2 Saran

Penggunaan *styrofoam* untuk pengganti agregat kasar pada beton ringan bisa mengurangi kekuatan lentur, disebabkan oleh sifat *styrofoam* yang dapat terkompresi. Namun, penambahan tulangan dapat meningkatkan kekuatan lentur beton. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan pengembangan lebih lanjut dan mengeksplorasi proporsi campuran *styrofoam* serta berbagai metode perkuatan guna mencapai keseimbangan antara berat dan kekuatan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumbarra, J., Solikin, M., Sugiyanto, S., & Rofiq, M. A. (2020). Tinjauan Kuat Lentur Dinding Panel Beton Berlubang Styrofoam Dengan Campuran Fly Ash Dan Serat Senar Gelasan Dengan Perkuatan Wiremesh. *Proceeding Science and Engineering National Seminar*, 5(1), 633–642.
- Letra, I. M., Wiryadi, I. G. G., Darmayasa, I. G. O., & Astari, N. W. Y. (2021). Analisis Dan Perencanaan Balok Beton Bertulang Dengan Sistem Precast in Site. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(1), 24–32.
- Musyaffa, M. F., & Jafar, J. (2022). Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (Clamp). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 101–108.
- Setiawan, D. B., & Abdillah, R. A. (2024). Perilaku Mekanik Beton Ringan Agregat Styrofoam Dengan Variasi Penambahan Fly ash. *Bangun Rekaprima*, 9(1), 88–98.
- Sunarsih, E. S., & Sucipto, T. L. A. (2017a). Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam Dan Fly Ash Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural. *JIPTEK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 7(2).
- Sunarsih, E. S., & Sucipto, T. L. A. (2017b). Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam Dan Fly Ash Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural. *JIPTEK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 7(2).
- Badan Standarisasi Nasional (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Sni 03-2834-2000*.