

KAJIAN KUAT BELAH DAN MOR BETON RINGAN PASCA BAKAR

*The Study of Tensile Strength and MOR
of Lightweight Concrete
on Post Fire*

SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta



Disusun Oleh :

KRIS TRIANDANU

I 1106518

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

com user
2010

LEMBAR PERSETUJUAN
KAJIAN KUAT BELAH DAN MOR
BETON RINGAN PASCA BAKAR

*The Study of Tensile Strength and MOR
of Lightweight Concrete
on Post Fire*



Disusun Oleh :

KRIS TRIANDANU

I 1106518

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Ir. A. Mediyanto, MT
NIP. 19620118 199512 1 001

Dosen Pembimbing II

Endah Safitri, ST, MT
NIP. 19701212 200003 2 001

KAJIAN KUAT BELAH DAN MOR BETON RINGAN PASCA BAKAR

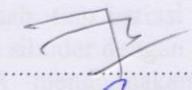
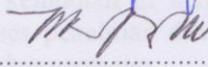
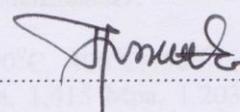
*The Study of Tensile Strength and MOR
of Lightweight Concrete
on Post Fire*

SKRIPSI

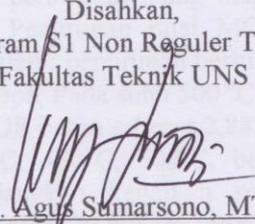
Disusun Oleh :

KRIS TRIANDANU
I 1106518

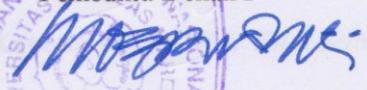
Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada hari : Selasa, 24 Agustus 2010

- | | |
|--|--|
| 1. <u>Ir. A. Mediyanto, MT</u>
NIP. 19620118 199512 1 001 | ()
.....) |
| 2. <u>Endah Safitri, ST,MT</u>
NIP. 19531227 198601 1 001 | ()
.....) |
| 3. <u>Wibowo, ST,DEA</u>
NIP. 19681007 199502 1 001 | ()
.....) |
| 4. <u>Edy Purwanto, ST, MT</u>
NIP. 19680917 199702 1 001 | ()
.....) |

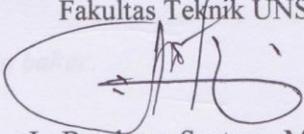
Disahkan,
Ketua Program S1 Non Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS


Ir. Agus Sumarsono, MT
NIP. 19570814 198601 1 001

Mengetahui,
a.n. Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I


Ir. Noegroho Djarwanti, MT
NIP. 19561112 198403 2 007

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS


Ir. Bambang Santosa, MT
NIP. 19590823 198601 1 001

ABSTRAK

Kris Triandanu, 2010. Kajian Kuat Belah dan MOR Beton Ringan. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Kebakaran pada suatu struktur bangunan merupakan musibah yang akan berdampak negatif terhadap beton pada struktur bangunan. Setiap perubahan panas yang terjadi perlu dikaji mengingat daya rusaknya terhadap kuat belah maupun MOR beton. Berat beton yang merupakan bagian terbesar dari beban struktur dapat dikurangi dengan menggunakan beton ringan dengan agregat ALWA yang memiliki berat jenis yang lebih kecil dari beton normal

Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai kuat belah dan MOR beton ringan, apabila diberi beban pada suhu normal (25 °C), dibakar dengan beban suhu 300°C, 400°C, 500°C dan 500°C dengan *curing* ulang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total benda uji 30 buah, tiap variasi ada 3 sampel. Benda uji yang digunakan untuk kuat belah berupa silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm, dan untuk pengujian MOR menggunakan balok beton berdimensi 10x10x40 cm. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari, sedangkan untuk beton pasca bakar diuji setelah pembakaran dan untuk beton 500°C dengan *curing* ulang selama 28 hari kemudian dilakukan pengujian. Benda uji yang telah melalui serangkaian proses penelitian dites menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) dan *ekstensometer*.

Nilai kuat belah beton karena pembakaran; 300°C, 400°C, 500°C, mengalami penurunan berturut-turut 1,793 Mpa, 1,557 Mpa, 1,415 Mpa, 1,203 Mpa, Pada suhu 500 °C dan dilakukan perawatan ulang mengalami peningkatan kuat belah beton sebesar 1,699 Mpa. Penurunan nilai MOR beton karena pembakaran; 300°C, 400°C, 500°C, mengalami penurunan berturut-turut 3,16512 Mpa; 3,02382 Mpa; 2,6847 Mpa; 2,37384Mpa, Pada suhu 500 °C dan dilakukan perawatan ulang mengalami peningkatan MOR beton sebesar 2,88252 Mpa. Penurunan kuat belah akibat kenaikan suhu 300°C, 400°C, 500°C, berturut-turut adalah 13,1579%; 21,0526%; 32,8947%, sedangkan kenaikan setelah di *curing* ulang pada pembakaran suhu 500°C adalah 29,894 %. Penurunan MOR dalam % akibat kenaikan suhu 300°C, 400°C, 500°C, berturut-turut adalah 4,464286%; 15,1784%; 25%, sedangkan kenaikan setelah di *curing* ulang pada pembakaran suhu 500°C adalah 17,6475 %.

Kata kunci : ALWA, Kuat belah, MOR , Pasca bakar.

commit to user

ABSTRACT

Kris TRIandanu, 2010. A Study on the Splitting Strength and MOR of post-burning light concrete. Thesis, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Surakarta Sebelas Maret University.

A building structure's fire is a disaster that will affect negatively the concrete of building structure. Every heat change occurring needs to be studied recalling the destruction power on the splitting strength or MOR of concrete. The concrete weight constituting the largest part of structure burden can be reduced using the light concrete with ALWA aggregate with density lower than that of normal concrete.

This research aims to find out the splitting strength and MOR values of light concrete, if given burden at normal temperature (25°C), burnt at temperatures 300°C, 400°C, 500°C and 500°C with recurring. This study employed an experimental method with 30 tested objects, each variation of which contained 3 samples level of concrete volume. The tested object employed for the splitting strength was cylinder in 15 cm diameter and 30 cm in height, and for MOR testing was concrete beam with 10x10x40cm dimension. The testing was done in 28 days concrete age, while the post burning concrete was tested after the burning and concrete 500°C recurring for 28 days. The tested object passed a series of research process was then tested using CTM (Compression testing Machine) and extensometer instruments.

The decreased values of concrete splitting strength because of fire at 300°C, 400°C, and 500°C is 1,793 Mpa, 1,557 Mpa, 1,415 Mpa, 1,203 Mpa respectively, and at temperature 500°C and recurring it increases by 1,699 Mpa. The decreased value of concrete MOR due to fire at 300°C, 400°C, and 500°C is 3,16512 Mpa; 3,02382 Mpa; 2,6847 Mpa; 2,37384Mpa respectively, and at temperature 500°C and recurring it increases by 2,88252 Mpa or 17,6475 %.. The decreased splitting strength due to temperature increase at 300°C, 400°C, and 500°C is 13,1579%; 21,0526%; 32,8947%, respectively, and at temperature 500°C and recurring it increases by 29,894 %. The MOR decrease in % due to temperature increase at 300°C, 400°C, and 500°C is 4,464286%; 15,1784%; 25%, respectively, and at temperature 500°C and recurring it increases by 17,6475 %.

Keywords: MOR, ALWA, splitting strength, post-burning

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya. Hal ini mendorong penyusun untuk menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Kajian Kuat Belah dan MOR Beton Ringan Berserat Aluminium Pasca Bakar” guna memenuhi persyaratan kelulusan dan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penelitian skripsi ini telah dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Banyak hambatan dan rintangan yang penyusun temui dalam penyusunan laporan ini. Akan tetapi, bantuan, dukungan, semangat dan kerja sama dari berbagai pihak, semua rintangan tersebut dapat teratasi. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Pimpinan Fakultas dan Jurusan Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Agus Setiabudi, ST MT, selaku Pembimbing Akademik.
3. Ir. A. Mediyanto, MT selaku Dosen Pembimbing I skripsi.
4. Endah Safitri, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II skripsi.
5. Ketua Laboratorium beserta Staf Laboran Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
6. Semua pihak yang telah banyak membantu dala penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih banyak kesalahan. Kritik dan saran yang bersifat membangun selalu penulis terima. Semoga laporan ini mampu menjadi tambahan kekayaan ilmu dan wacana bagi penulis pada khususnya dan bagi keluarga besar Teknik Sipil UNS pada umumnya serta pihak lain yang membutuhkan.

Surakarta, Januari 2010

commit to user

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Fire Resistance.....	6
2.2.2. Pengaruh Temperatur Tinggi pada Beton	6
2.2.3. Sifat-sifat Beton pada Temperature Tinggi.....	7
2.2.4. Beton	9
2.2.5. Beton Ringan	9
2.2.6. Material Penyusun Beton Ringan	10
2.2.7.1. Bahan Tambah	10

commit to user

2.2.7.2. Agregat Ringan ALWA (<i>Artificial Light Weight coarse Agregate</i>)	11
2.2.7.3. <i>Superplasticizer</i> (Sika Viscocrete 5)	12
2.2.7. Kuat Belah Beton Ringan.....	12
2.2.8. <i>Modulus Of Rupture</i>	14

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Uraian Umum	18
3.2. Benda Uji.....	18
3.3. Alat-alat yang Digunakan.....	19
3.4. Tahap dan Prosedur Penelitian	21
3.5. Standart Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar Beton	23
3.6. Pengujian Bahan Dasar Beton	24
3.6.1. Agregat Halus	25
3.6.1.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	25
3.6.1.2. Pengujian Kadar Zat Organik Dalam Agregat Halus	26
3.6.1.3. Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	27
3.6.1.4. Pengujian Gradasi Agregat Halus.....	29
3.6.2. Agregat Kasar	30
3.6.2.1. Pengujian <i>Spesific Grafity</i> Agregat Kasar ALWA	30
3.6.2.2. Pengujian Gradasi Agregat Kasar ALWA	32
3.6.2.3. Pengujian Abrasi Agregat Kasar ALWA.....	33
3.7. Perencanaan Campuran Beton.....	34
3.7.1. Penentuan Rasio Semen dan Air.....	34
3.7.2. Penentuan Kadar Semen.....	35
3.7.3. Penentuan Rasio ALWA Dengan Pasir.....	35
3.7.4. Kemampatan.....	36
3.7.5. Pengujian Nilai <i>Slump</i>	36
3.8. Pembuatan Benda Uji.....	37
3.9. Perawatan Benda Uji.....	38
3.10. Pembakaran Benda Uji.....	38

3.11. Analisis Hasil.....	39
3.11.1. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	40
3.11.2. Pengujian MOR Balok Beton	41

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat.....	42
4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus.....	42
4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar ALWA	44
4.2. Rencana Campuran	45
4.3. Data Hasil Pengujian <i>Slump</i>	46
4.4. Data Hasil Pengujian dan Analisa Data	46
4.4.1. Penghitungan dan Analisa Kuat Tarik Belah Beton	46
4.4.2. Hasil Pengujian MOR	48
4.4.3. Analisis Regresi	50
4.4.3.1. Analisis Regresi Kuat Belah Terhadap variasi suhu.....	50
4.4.3.2. Analisis Regresi MOR Terhadap variasi suhu	51
4.5. Pembahasan	52

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA.....	56
----------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hubungan antar suhu warna dan kondisi beton terbakar.....	7
Tabel 2.2. <i>Technical Data</i> Sika Viscocrete 5.....	12
Tabel 3.1. Jumlah dan ukuran penampang benda uji silinder untuk kuat tarik belah	18
Tabel 3.2. Jumlah dan ukuran penampang benda uji balok untuk uji MOR.....	19
Tabel 3.3. Standar penelitian dan spesifikasi bahan dasar	24
Tabel 3.4. Tabel Perubahan Warna.....	27
Tabel 3.5. Nilai koefisien G	35
Tabel 3.6. Koefisien kemampuan beton untuk berbagai kondisi nilai <i>slump</i>	36
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat halus	42
Tabel 4.2. Hasil Pengujian <i>Gradasi</i> Agregat Halus	43
Table 4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar (ALWA).....	44
Tabel 4.4. Hasil Pengujian <i>Gradasi</i> Agregat Kasar (ALWA)	44
Tabel 4.6 Analisis uji kuat tarik belah	47
Tabel 4.7. Data Hasil Analisis Penghitungan Kuat belah Beton Ringan Berserat Aluminium Suhu Pembakaran 500°C dan Setelah mendapat Perawatan Ulang	48
Tabel 4.8 Analisis MOR	49
Tabel 4.9. Perubahan MOR Beton Ringan Berserat Aluminium Tanpa Pembakaran dan Setelah Pembakaran	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.4.	Pengujian kuat tarik belah	13
Gambar 2.5.	Pembebanan benda uji MOR.....	15
Gambar 2.6.	Diagram bidang geser dan bidang momen	15
Gambar 2.7.	Letak patah balok tipe 1	16
Gambar 2.8.	Letak patah balok tipe 2	17
Gambar 2.9.	Letak patah balok tipe 3	17
Gambar 3.1	Bagan alir tahap-tahap penelitian	27
Gambar 3.2.	<i>Setting Up</i> Pengujian kuat tarik belah.....	40
Gambar 3.3	<i>Setting Up</i> Pengujian MOR.....	41
Gambar 4.1.	Kurva Daerah Susunan Gradasi Agregat Halus	43
Gambar 4.2.	Kurva Daerah Susunan Gradasi agregat Kasar (ALWA)	45
Gambar 4.3	Graifik hubungan pengaruh suhu terhadap kuat tarik belah	47
Gambar 4.4.	Grafik hubungan pengaruh variasi suhu terhadap MOR.....	49
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara kuat tarik belah dan suhu	50
Gambar 4.6.	Grafik hubungan antara kuat MOR dan suhu	51

DAFTAR LAMPIRAN

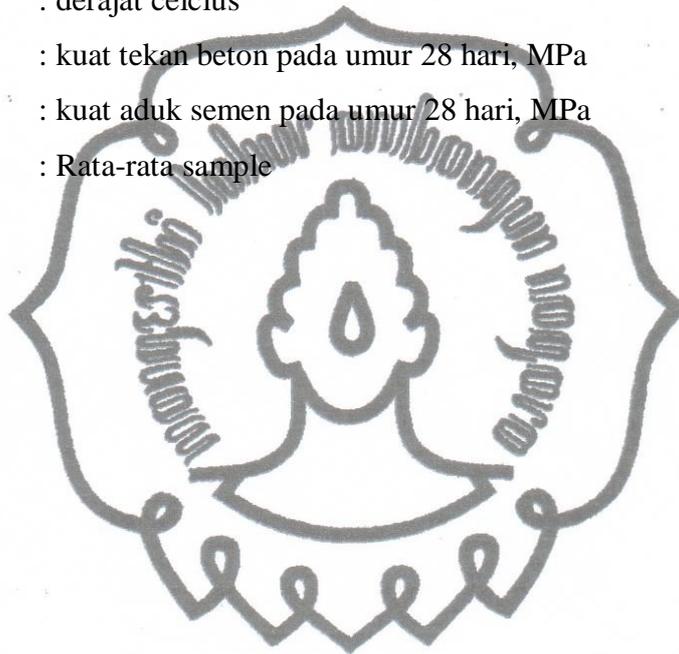
Uji Pendahuluan	Lampiran A
Rencana Campuran Beton Ringan	Lampiran B
Hasil Penelitian.....	Lampiran C
Foto Alat dan Proses Penelitian.....	Lampiran D
Data Proses Pembakaran.....	Lampiran E
Surat-surat Kelengkapan Skripsi.....	Lampiran F



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A	: jarak rata-rata patah dari perletakan
A	: luas penampang benda uji beton, mm ²
ALWA	: <i>Artificial Light Weightcoarse Agregate</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing and Materials</i>
b	: Lebar balok pada benda uji
cm	: centimeter
d	: Tebal benda uji
D	: Diameter Silinder
fas	: faktor air semen
f'c	: kuat tekan beton, MPa
f'ct	: Kuat tarik belah
g	: gram
G	: koefisien kekuatan butir agregat
h	: tinggi balok pada benda uji
Kg	: kilogram
kN	: kilo newton
lt	: liter
L	: panjang bentang benda uji
L	: panjang silinder
m	: meter
mm	: milimeter
µm	: mikrometer
MPa	: Mega Pascal
MOR	: <i>Modulus of rupture</i>
P	: beban pada benda uji, kN
PBI	: Peraturan Beton Bertulang Indonesia
PUBI	: Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
SK SNI	: Surat Keputusan Standar Nasional Indonesia

T	: temperatur, °C
t/m ³	: ton per meter kubik
V _k	: volume kerikil
V _p	: volume pasir
V _{sm}	: volume semen
%	: persen
°C	: derajat celcius
σ_{28}	: kuat tekan beton pada umur 28 hari, MPa
σ_s	: kuat aduk semen pada umur 28 hari, MPa
X	: Rata-rata sample



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Beton merupakan bahan struktur yang sering digunakan dalam sebuah konstruksi. Hal ini disebabkan beton mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan lain diantaranya adalah harga yang relatif murah dikarenakan material dasar beton dari bahan lokal, memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga kuat menahan beban tekan yang tinggi, kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk yang sangat beragam, serta ketahanannya yang baik terhadap cuaca dan lingkungan sekitar.

Selain memiliki kelebihan penggunaan beton dalam sebuah konstruksi bangunan sebagai komponen utama banyak mengalami penyempurnaan dalam hubungannya dengan fungsi, kekuatan, umur manfaat dan biaya dari suatu perencanaan struktur. Dalam struktur bangunan yang menggunakan beton juga memiliki kelemahan antara lain beton mempunyai sifat yang getas, susut (*shrinkage*) dan kuat tarik yang sangat rendah yang ditandai dengan terjadinya retak pada bagian serat yang mengalami tarik sebelum akhirnya beton itu runtuh.

Parameter kuat tarik beton secara tepat sulit untuk di ukur. Suatu pendekatan yang umum untuk mengukur nilai kuat tarik beton adalah dengan pengujian kuat tarik belah beton yang umumnya memberikan hasil yang mencerminkan besarnya kuat tarik bahan beton. Suatu pendekatan lain pengukuran nilai kuat tarik beton adalah dengan *modulus of rupture* yang sesuai dengan teori elastitas, dimana hasilnya digunakan untuk mengetahui batas beban yang bekerja pada struktur tanpa mengalami keruntuhan.

commit to user

Beton juga memiliki berat jenis yang cukup besar sehingga memberikan kontribusi pembebanan yang besar juga terhadap struktur bangunan. Untuk mengurangi beban struktur akibat berat beton maka digunakan beton dengan berat jenis yang lebih rendah dari beton normal. Beton ini biasa disebut dengan beton ringan. Beton ringan diperoleh dengan cara mengganti agregat normal dengan agregat ringan.

Peristiwa kebakaran bangunan gedung akibat amuk masa atau karena peristiwa arus pendek listrik yang saat ini sering terjadi dan kebanyakan bangunan yang mengalami kebakaran tersebut banyak menggunakan struktur beton bertulang sebagai elemen konstruksinya. Beton pada dasarnya tidak diharapkan mampu menahan panas sampai suhu tinggi. Panas atau suhu sebagai beban (*load*) pada struktur perlu dikaji mengingat daya rusaknya terhadap regangan, *modulus elastisitas*, dan tegangan pada bahan struktur yang bersangkutan.

Beton ringan sebagai elemen struktur pengganti harus diuji secara menyeluruh termasuk aspek kinerjanya pasca kebakaran, mengingat kebakaran merupakan kejadian yang setiap saat dapat terjadi. Beton ringan dapat diharapkan memiliki sifat mekanis dan durabilitas yang meningkat dan memberi nilai tambah terhadap perlindungan baja dan ketahanan pasca bakar serta pemulihan kembali setelah mendapat perawatan seperlunya dalam menahan beban. Mengingat masih banyak gedung yang mengalami kebakaran digunakan kembali.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui peningkatan yang terjadi pada saat pasca bakar dan setelah mendapat perawatan yang didasarkan pada sisa tegangan pada tiap zona penampang akibat temperatur yang dikenakannya dengan menggunakan data-data fisik dan mekanik hasil penelitian di laboratorium.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan ”Seberapa besar pengaruh beban suhu dan kuat belah dan MOR beton ringan pasca bakar dan setelah mendapat perawatan”

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe 1
2. Seluruh agregat kasar menggunakan ALWA sebagai pengganti agregat kasar.
3. Suhu pembakaran 300° , 400° , 500° , $500^{\circ} + curing$.
4. Benda uji untuk pengujian kuat belah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, untuk pengujian MOR memakai ukuran 10 x 10 x 40 cm.
5. Adukan dianggap homogen dan merata.
6. Tidak dibahas reaksi kimia yang terjadi pada campuran terhadap bahan-bahan yang di gunakan.

1.4. Tujuan Penelitian

Secara singkat tujuan dari penelitian ini adalah : *Mengevaluasi pengaruh suhu terhadap sifat fisik dan mekanik terutama kuat belah dan MOR dari beton ringan pasca bakar.*

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari hasil penelitian ini adalah :

1. Manfaat Teoritis

Manfaat teoritisnya adalah menambah pengetahuan tentang beton ringan ditinjau dari parameter pengujian kuat belah dan MOR.

2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan alternatif komposisi beton dengan bahan pengganti agregat.
- b. Mengetahui peningkatan kekuatan beton ringan pasca bakar setelah dilakukan perawatan ulang



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (Mc. Cormac, 2000:1)

Kataristik dari beton harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Pendekatan praktis yang paling baik untuk mengusahakan kesempurnaan semua sifat beton, akan berarti pemborosan bila dipandang dari segi ekonomi, yang paling diharapkan dari suatu konstruksi adalah dapat memenuhi harapan maksimal dengan tepat mengikuti variasi sifat-sifat beton, dan tidak hanya terpancang pada suatu pandangan saja, misal kekuatan tidak harus semaksimal mungkin (Murdock: 1987: 7).

Beton yang mempunyai berat jenis rendah disebut dengan beton ringan. Untuk memproduksi beton dengan berat jenis rendah ada beberapa cara yang dapat dilakukan. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan cara mereduksi berat jenis agregat kasar. Karena pada dasarnya, beton ringan memiliki campuran sama dengan beton normal pada umumnya, namun agregat kasar yang menempati 60% dari seluruh komponen, direduksi berat jenisnya. Reduksi ini dilakukan dengan menggantinya dengan *artificial lightweight coarse aggregate (ALWA)* semisal *bloated clay, crushed bricks* atau *fly ash based coarsed aggregate* yang diperoleh dari pada *rotary kiln*, batu tulis, sisa bara yang berbusa, dan batu apung (Ali, et.al, 1989).

commit to user

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Fire Resistance

Daya tahan terhadap api didefinisikan sebagai lamanya bahan bertahan terhadap kebakaran standar sebelum titik kritis akhir pertama dicapai. Sifat-sifat baja dan beton akan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, antaranya adalah suhu. Pada suhu yang sama pada suhu kebakaran, kekuatan dan modulus elastisitas berkurang. Selain itu sifat beton pada suhu tinggi dipengaruhi juga (dalam batas tertentu) oleh agregat. Pengaruh agregat karbonat, agregat silikat dan agregat silikat ringan akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat-sifat beton (dan tulangan baja) selama kebakaran atau pasca bakar (Gustaferro, 1987).

2.2.2. Pengaruh Temperatur Tinggi pada Beton

Kebakaran hakekatnya merupakan reaksi kimia dari *combustible material* dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas. Panas pada pembakaran ini diteruskan pada beton dengan berbagai macam mekanisme yaitu :

1. Secara radiasi, pancaran panas diterima oleh permukaan beton hingga permukaan beton menjadi panas, Pancaran panas akan sangat potensi jika suhu sumber panas terlalu tinggi.
2. Panas konveksi, selama pembakaran terjadi tiupan angin /udara melewati sumber panas. Udara ini bertiup/bersinggungan dengan permukaan beton hingga beton menjadi panas. Bila tiupan angin menjadi kencang maka panas yang dipindahkan dengan cara konveksi makin banyak.

Perilaku bahan bangunan akibat pembakaran juga tergantung pada pemilihan dan penggunaan jenis bahan, namun secara umum dan bangunan yang terkena panas sampai diatas 300°C dapat dipastikan akan mengalami degradasi berupa pengurangan kekuatan yang tidak akan kembali setelah dingin (*recovery*).

Setelah permukaan beton menerima panas atau kalor, mengakibatkan suhu permukaan beton lebih tinggi dibanding suhu bagian dalam beton. Adanya beda suhu di dalam masa beton mengakibatkan terjadi perambatan panas secara konduksi (penghantaran). Api kebakaran yang tidak dikendalikan, akan berkembang menurut tiga periode yaitu periode pertumbuhan (*growth*), periode pembakaran tetap (*steady combustion*) dan periode menghilang (*decay*). Pada periode pertumbuhan suhu yang timbul masih rendah, jarang melebihi 250 °C.

2.2.3. Sifat-sifat Beton pada Temperature Tinggi

Sifat dari bahan beton pada temperatur tinggi dipengaruhi oleh jenis agregat yang digunakan pada campuran beton. Beberapa agregat yang digunakan pada campuran beton dapat mengalami perubahan sifat kimiawi pada temperature yang tinggi. Dari pengalaman visual dapat juga diperkirakan suhu yang pernah dialami oleh beton. Warna beton yang terbakar dapat menunjukkan tingkat kebakaran. Perubahan warna permukaan beton yang dipanaskan dipengaruhi temperatur karena kandungan logam. Hubungan antar suhu, warna dan kondisi beton disajikan dalam table 2.1.

Tabel 2.1. Hubungan antar suhu warna dan kondisi beton terbakar

Suhu	Warna	Kondisi beton
0 ⁰ C – 300 ⁰ C	Normal	Tidak mengalami penurunan kekuatan
300 ⁰ C – 600 ⁰ C	Merah jambu	Mengalami penurunan kekuatan
600 ⁰ C – 900 ⁰ C	Putih keabu-abuan	Tidak mempunyai kekuatan lagi
>900 ⁰ C	Kuning muda	Tidak mempunyai kekuatan lagi

(Sumber : Nugraha 1989)

Perubahan warna dapat memberikan perkiraan suhu bakar, dan kekuatan beton residu. Perubahan warna beton dari abu-abu tua (normal) ke merah muda-merah bata bila terbakar pada suhu 300⁰C – 600⁰C, beton mengalami penurunan kekuatan 0-50%. Warna abu-abu terjadi pada beton pasca bakar 600⁰C – 900⁰C dan sisa kekuatan 50-15% (Neville, 1977 :440).

Dari penelitian Maholtra (1982), disebutkan ada tiga sifat beton yang terpenting dalam hubungannya dengan meningkatnya tempertur yaitu sifat fisik, mekanik dan termal.

a. Sifat Fisik

Akibat pertama dari pemanasan beton adalah menguapnya air ke permukaan melalui saluran-saluran kapiler, jika tempertur beton lebih dari 100°C . Hilangnya kelembaban akan akan meyebabkan kepadatan beton sedikit berkurang tetapi hal ini dapat diabaikan .

Beton akan mengalami retak atau kehilangan kekuatan bila dipanasi sampai suhu 250°C , karena senyawa C-S-H terhidrasi pada suhu tinggi serta tidak ada kesesuaian antara perubahn volume agregat dan pasta semen. Perbedaan koefisien muai panas bahan penyusun beton menimbulkan tegangan intern, bila melebihi tegangan ikat, maka timbul retak di antara pasta semen dan agregat. Warna beton yang terbakar akan mengalami perubahan seperti pada table 2.1.

b. Sifat Mekanis

Hasil penelitian Neville menunjukkan bahwa kenaikan temperature mengakibatkan penurunan kuat desak beton. Pada beton dengan agregat alami terjadi kenaikan kuat desak pada temperature 200°C - 300°C , tetapi kuat desak pada temperature 400°C tidak lebih dari 90% dari kuat desak normalnya dan kuat tekan pada tempertur 700°C tidak lebih dari 30% kuat tekan normalnya. Penurunan drastis juga akan terjadi pada tegangan lenturnya. Beton dengan agregat alami sangat lentur pada temperatur 400°C tidak lebih dari 30% tegangan lentur normal.

c. Sifat termal

Thermal ceductivity adalah keadaan kondisi beton dalam kondisi kering. *Thermal ceductivity* beton ditentukan oleh factor-faktor antar jenis agregat porositas beton dan kadar kelembaban. Peningkatan suhu beton menyebabkan keluarnya air yang terkandung di dalam pori-pori beton. Indikator secara fisis pasca baker (pasca reaksi kebakaran) akan memberikan ciri bahwa beton tersebut sangat *porous*. Hal ini disebabkan keluarnya air-air kristal dari fasa

mineral untuk kebakaran yang hebat diperkirakan mempunyai suhu permukaan beton yang tinggi dan fenomena ini memungkinkan terjadinya reaksi dekomposisi dari massa semen dan hidrasi sangat besar.

2.2.4. Beton

Beton didapat dari pencampuran semen portland, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 1996).

2.2.5. Beton Ringan

Menurut Kardiyono Tjokrodimulyo (1996), beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis kurang dari 1800 kg/m^3 karena pada dasarnya beton normal mempunyai berat jenis sekitar 2400 kg/m^3 . Beton ringan digunakan untuk mengurangi berat struktur itu sendiri dan mengurangi penghantaran panasnya.

.Beton ringan pada dasarnya memiliki campuran yang sama dengan beton normal, namun agregat kasar yang menempati 60% dari seluruh komponen, direduksi berat jenisnya. Reduksi ini dilakukan dengan menggantinya dengan *artificiall lightweight coarse aggregate (ALWA)* semisal *bloated clay*, *crushed bricks* atau *ly ash based coarsed aggregate* yang diperoleh dengan pembuatn pada *rotary kiln*, batu tulis, sisa bara yang berbusa, dan batu apung (Ali, et.al, 1989)

Secara kasar beton ringan dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan berat jenisnya, yaitu:

1. Beton ringan dengan berat jenis antara $200 \text{ kg/m}^3 - 800 \text{ kg/m}^3$, biasanya dipakai sebagai bahan isolasi.
2. Beton ringan dengan berat jenis antara $800 \text{ kg/m}^3 - 1400 \text{ kg/m}^3$, dipakai untuk strutur ringan (*moderate strength concrete*).

3. Beton ringan dengan berat jenis antara 1400 kg/m^3 – 2000 kg/m^3 , dipakai untuk strutur sedang (*structural concrete*).

Sifat-sifat beton ringan menurut Gambhir, 1986 (Pribadi, 1997) adalah:

1. Ringan. Beton normal memiliki berta jenis sekitar 2400 kg/m^3 , sedang beton ringan sekitar $300\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$.
2. Bukan penghantar panas yang baik. Nilai *isolasi* yang dimiliki beton ini sebesar 3 sampai 6 kali bata atau sekitar 10 kali beton biasa.
3. Tahan terhadap kebakaran. Beton ringan mempunyai sifat yang cukup baik dalam menahan api/kebakaran. Sifatnya yang baik dalam menghambat panas menjadikan beton ringan tidak menghantarkan panas sehingga jika ada api yang membakar beton ini, struktur dapat terlindungi.
4. Kurang baik dalam meredam suara. Beton ini kurang padat seperti beton biasa sehingga tidak begitu baik menghambat suara.
5. Pengerjaanya tidak sulit. Kerusakan pada suatu bagian dapat diperbaiki dengan mudah tanpa menyebabkan kerusakan pada bagian strutur yang lain. Perilaku pada beton ini lebih mudah daripada beton biasa dalam hal pemotongan, pengeboran dan lain-lain.
6. Beton ringan biasanya tidak kedap air, maka beton ringan ini tidak dapat mencegah terjadinya karat pada baja tulangnya sebagaimana terjadi pada beton biasa
7. Mudah diproduksi di pabrik. Dengan adanya kemudahan ini kemungkinan dalam perancangan struktur dengan mengkoordinasikan modul yang tertentu, akan lebih mudah dalam produksinya.

2.2.6. Material Penyusun Beton Ringan

2.2.6.1. Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan bahan selain unsur pokok bahan penyusun beton (semen, air, dan agregat) yang ditambahkan ke dalam adukan material penyusun

beton sebelum atau selama proses pencampuran. Bahan ini biasanya ditambahkan kedalam beton apabila diinginkan untuk mengubah sifat-sifat beton, baik itu dalam keadaan segar maupun setelah beton itu mengeras. Hal ini juga dilakukan mengingat berbagai persoalan yang ada di lapangan sangat kompleks, sehingga dibutuhkan cara-cara khusus untuk menanggulangnya.

2.2.6.2. Agregat Ringan ALWA (*Artificial Light Weight coarse Agregate*)

Sesuai dengan tujuan penelitian ini digunakan agregat kasar ALWA yang diproduksi oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum Cilacap, Jawa Tengah. Agregat ringan buatan ini dibuat dari partikel lempung yang dapat mengembang (*expanded clay*). Pada tahap persiapan, lempung dipecah menjadi bagian-bagian yang kecil dengan diameter antara 5-20 mm, kemudian dikeringkan dan dibakar dengan cepat (5 menit-10 menit) dalam tungku pembakaran yang dapat berputar dengan suhu antara 1150 °C sampai 1250 °C.

Supranggono (1991), dan Ahmad Khaerun (2004) berpendapat bahwa penggunaan ALWA pada konstruksi bangunan dapat diperoleh beberapa keuntungan, antara lain :

1. Dapat menghemat biaya konstruksi, karena berat jenisnya yang rendah.
2. Pekerjaan *scaffolding* dan *concrete placement* lebih murah atau ekonomis.
3. Bangunan atau konstruksi dengan bentang yang panjang dapat dibuat dengan biaya yang lebih murah.
4. Biaya transport dan pembuatan elemen pracetak lebih murah dan lebih mudah.
5. Pengaruh daya sekat panas lebih baik pada penggunaan *air conditioning* sehingga hemat energi.

2.2.6.3. Superplasticizer (Sika Viscocrete 5)

Dalam penelitian ini digunakan bahan tambah yaitu *superplasticizer* Sika Viscocrete 5. Sika Viscocrete 5 merupakan *superplasticizer* untuk beton dan mortar, digunakan untuk menghasilkan beton dengan tingkat *flowability* yang tinggi. Sika Viscocrete 5 antara lain digunakan pada beton mutu tinggi (*High Performance Concrete*), beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*), beton massa (*Mass Concrete*), dan beton yang menuntut *Workability Time* lebih lama (untuk perjalanan jauh). Adapun spesifikasi (*technical data*) dari Sika Viscocrete 5 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. *Technical Data* Sika Viscocrete 5

<i>Basis</i>	<i>Aqueous solution of modified polycarboxylate</i>
<i>Appearance</i>	<i>Turbin Liquid</i>
<i>Density</i>	<i>1.02 – 0.05</i>
<i>Ph-value</i>	<i>8.5 – 0.5</i>
<i>Storage/Shelf Life</i>	<i>In upened, undamage original container, protected from direct sunlight ang frost at temperature between +5°C and +35°C, shelf life is at least 15 mouths from date production</i>
<i>Packaging</i>	<i>Non returnable 180 Kg drums. Supply in containers or tanktrucks possible on demand</i>

(Sumber: PT. SIKANUSA PRATAMA)

2.2.7. Kuat Belah Beton Ringan

Nilai kuat desak dan nilai tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan desak hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari desaknya. Suatu nilai pendekatan umumnya dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* yang dikenal kuat lentur yaitu tegangan tarik beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastitas. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui pengujian *split Cylinder* yaitu pembelahan silinder-silinder oleh suatu desakan kearah

diameternya untuk mendapatkan besaran kuat tarik belah, umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya (Dipohusodo, 1999).

Pengujian kuat belah beton menggunakan benda uji silinder 15 cm dan tinggi 30 cm, diletakkan arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah jadi dua bagian dari ujung ke ujung.

Pengambilan data beban maksimum yang diberikan (P) pada sisi silinder beton ($\pi.D.L$) diambil pada saat terjadi pembebanan maksimum yang diberikan (P), kekuatan belah dapat dihitung berdasarkan :

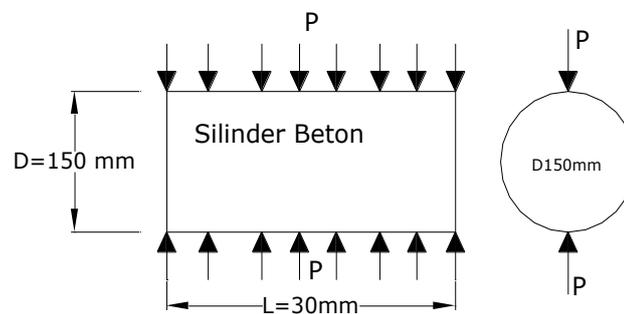
$$f_{st} = \frac{P}{A}$$

$$A = \frac{1}{2} \pi . D . L$$

$$f_{st} = \frac{P}{\frac{1}{2} \pi . D . L}$$

Dimana :

- f_{st} = kuat tarik belah beton (N/mm^2)
- P = beban maksimum yang diberikan (N)
- D = diameter silinder (mm)
- L = panjang silinder (mm)



Gambar 2.4. Pengujian kuat tarik belah

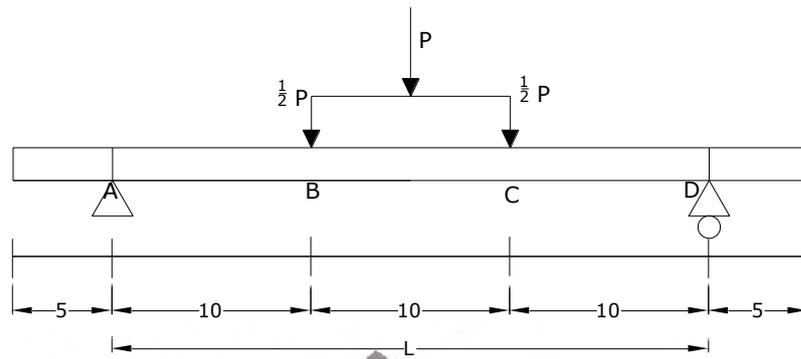
2.2.8. *Modulus Of Rupture*

Modulus of rupture diukur dengan menguji balok polos berpenampang bujur sangkar 10 x 10 x 40 cm dan di bebani di titik-titik sepertiga bentang hingga gagal (ASTM C-78) *modulus of rupture* mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding kuat belah. ACI menetapkan nilai $7,5\sqrt{f_c}$ untuk *modulus of rupture* beton normal. Beton ringan pada umumnya mempunyai kuat tarik lebih rendah dibanding dengan beton normal (Nawy, 2001).

Modulus of rupture merupakan kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok benda uji (Neville, 1997). Nilai dari *modulus of rupture* bergantung pada dimensi balok uji dan susunan beban. Untuk memperoleh nilai *modulus of rupture* digunakan metode *third point loading*. Metode ini menghasilkan momen yang konstan antara titik beban hingga sepertiga dari titik bentang balok ditentukan sebagai tegangan maksimum dimana pada bagian tersebut retakan terjadi. Benda uji berupa balok dengan ukuran 10 x10 x 40 cm.

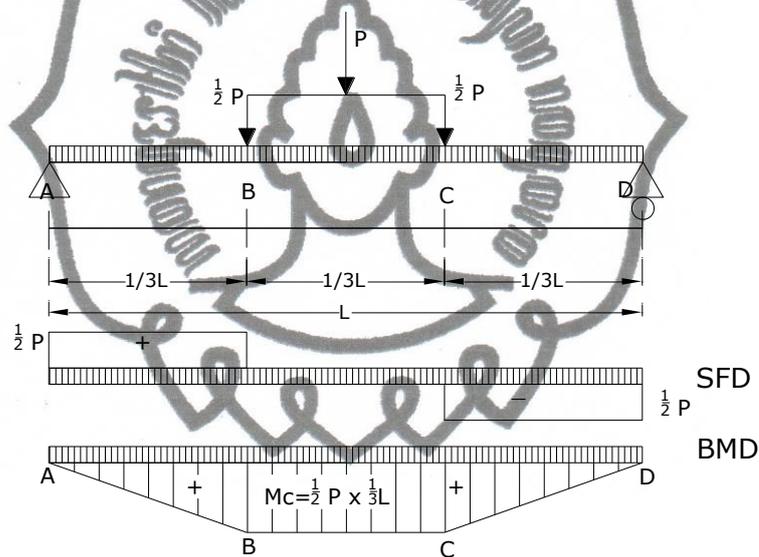
Balok dibebani pada salah satu sisi dimana beban diletakkan simetris diatas benda uji. Balok diuji dengan penambahan kecepatan dalam pemberian tegangan pada serat bagian bawah yaitu antar 0,02 dan 0,1 Mpa/s (2,9 dan 14,5 psi/s). Kecepatan pembarian tegangan yang lebih rendah diterapkan untuk beton yang kekuatannya rendah dan kecepatan yang tinggi untuk beton yang berkekuatn tinggi.

Pengujian ini dengan standart C-78, yaitu pengujian kuat tarik lentur dengan beban berbagi dua yang bekerja pada suatu penampang balok dengan titik yang menjadi 3 bagian daerah, seperti terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Pembebanan benda uji MOR

Secara sederhana pembebanan di atas dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Diagram bidang geser dan bidang momen

Besar momen yang dapat mematahkan benda uji adalah akibat beban maksimum dari mesin pembebanan dengan mengabaikan berat sendiri dan gravitasi dari benda uji. Besarnya tegangan *modulus of rupture* (MOR) dihitung dengan :

$$\text{Momen maksimum} = \frac{1}{2} P \times \frac{1}{3} L$$

Dengan : P = beban maksimum

L = Panjang beban

Secara umum nilai *modulus of rupture* dapat dihitung dengan :

commit to user

$$S = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{\frac{1}{2}h} = \frac{1}{6}bh^2$$

$$\text{MOR} = \frac{M \max(c)}{S}$$

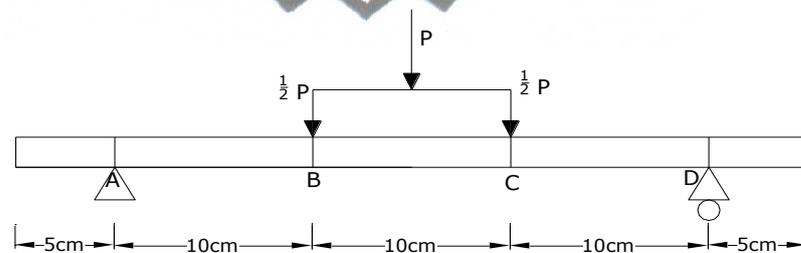
$$= \frac{\frac{1}{2}Px \frac{1}{3}L}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{PL}{bh^2}$$

Dimana :

- MOR = *modulus of rupture* (Mpa)
- P = Beban maksimum pada balok benda uji (N)
- Lb = Panjang bentang balok (mm)
- b = Lebar balok benda uji (mm)
- h = Tinggi balok benda uji (mm)

Pada pengujian kuat lentur berdasarkan ASTM C-78 akan terjadi 3 macam tipe kemungkinan patah pada balok benda uji sebagai berikut :

- a. Patah pada $\frac{1}{3}$ bentang bagian tengah

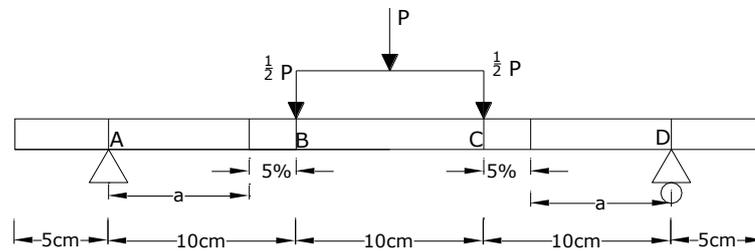


Gambar 2.7. Letak patah balok tipe 1

Pada keadaan ini balok uji patah pada bagian tengah (antara B dan C) dan patahnya diakibatkan oleh momen yang paling maksimum. Besarnya *modulus of rupture* dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$\text{MOR} = \frac{M}{s} = \frac{\frac{1}{2}Px \frac{1}{3}L}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{PL}{bh^2}$$

b. Patah pada bentang antara A-B atau C-D

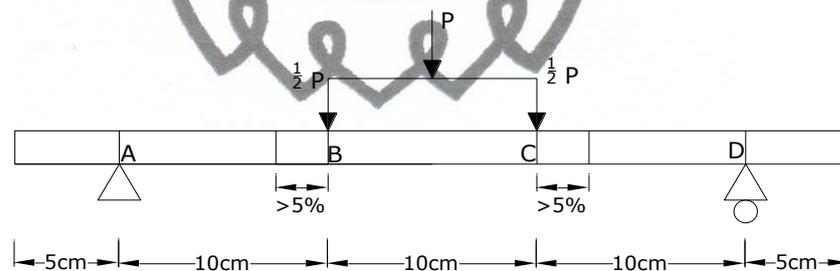


Gambar 2.8. Letak patah balok tipe 2

Apabila balok patah pada bentang A-B atau C-D dengan jarak letak patah tidak lebih dari 5% panjang bentang, kondisi ini masih dapat diperhitungkan dan balok uji dapat dipakai. Pada kondisi ini *modulus of rupture* dapat dihitung dengan persamaan :

$$MOR = \frac{M}{s} = \frac{ax \frac{1}{2} P}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{3aP}{bh^2}$$

c. Patah pada bentang antara A-B atau C-D



Gambar 2.9. Letak patah balok tipe 3

Apabila balok patah pada bentang A-B atau C-D dengan jarak letak patah dari B atau C lebih besar dari 5% panjang bentang. Maka kondisi ini tidak dapat diperhitungkan kembali dan benda uji tidak dapat dipakai.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Uraian Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variabel-variabel yang diselidiki. Dalam penelitian ini akan dilakukan di dalam laboratorium. Penelitian ini dilakukan dengan mengadakan suatu pengujian terhadap beberapa sampel dan model elemen struktur terhadap kuat belah dan MOR pada beton ringan.

mulai dari tahap pemilihan bahan material beton (pasir, agregat, semen, air), pengujian material, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, analisa data dan penarikan kesimpulan.

3.2. Benda Uji

Tabel 3.1. Jumlah dan ukuran penampang benda uji silinder untuk kuat tarik belah

kode	Tinggi	Diameter	Jumlah
SNI	300	150	3 (uji tarik belah) tanpa pembakaran
			3 (uji tarik belah) pembakaran 300 ⁰ C
			3 (uji tarik belah) pembakaran 400 ⁰ C
			3 (uji tarik belah) pembakaran 500 ⁰ C
			3 (uji tarik belah) pembakaran 500 ⁰ C + <i>curing</i>

commit to user

Tabel 3.2. Jumlah dan ukuran penampang benda uji balok untuk uji MOR

kode	Tinggi	Diameter	Jumlah
SF1	400	100 x 100	3 (MOR) tanpa pembakaran 3 (MOR) pembakaran 300 ⁰ C 3 (MOR) pembakaran 400 ⁰ C 3 (MOR) pembakaran 500 ⁰ C 3 (MOR) pembakaran 500 ⁰ C + <i>curing</i>

3.3. Alat-alat yang Digunakan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta, sehingga menggunakan alat-alat yang ada pada laboratorium tersebut.

Alat-alat yang dipakai pada penelitian ini antara lain:

- 1) Timbangan
 - a) Neraca merk *Murayama Seisakusho Ltd Japan*, dengan kapasitas 5 kg ketelitian sampai 0,10 gram, digunakan untuk menimbang berat material yang berada dibawah kapasitasnya.
 - b) Timbangan "*Bascule*" merk *DSN Bola Dunia*, dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 0,10 kg.
- 2) Ayakan.

Ayakan yang digunakan adalah ayakan dengan bentuk lingkaran dengan ukuran 38 mm, 25 mm, 19,5 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,85 mm, 0,30 mm, 0,15 mm dan pan.
- 3) Mesin penggetar ayakan.

Mesin penggetar ayakan yang digunakan adalah mesin penggetar dengan merk "*Controls*", *italy*, mesin digunakan sebagai dudukan sekaligus penggetar ayakan. Penggunaannya untuk uji gradasi agregat halus maupun kasar.

- 4) Oven merk "*Binder*".
Oven ini berkapasitas 300 °C, 220 W, digunakan untuk mengeringkan material (pasir dan kerikil).
- 5) Corong konik / *Conical mould*.
Corong konik dengan ukuran diameter atas 3,8 cm, diameter bawah 8,9 cm dan tinggi 7,6 cm lengkap dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan SSD agregat halus.
- 6) Corong / kerucut Abrams.
Kerucut Abrams terbuat dari baja dengan ukuran diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm, tinggi 30 cm dilengkapi dengan tongkat baja yang ujungnya ditumpulkan, panjang 60 cm diameter 16 mm. Alat ini digunakan untuk mengukur nilai slump adukan beton.
- 7) Mesin *Los Angelos*.
Mesin *Los Angelos* dengan merk "*Controls*", *italy*, yang dilengkapi dengan 12 buah bola baja. Alat ini digunakan untuk menguji ketahanan aus (abrasi) agregat kasar.
- 8) Cetakan benda uji.
Cetakan benda uji yang digunakan adalah cetakan silinder baja dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
- 9) Alat bantu.
Untuk kelancaran dan kemudahan penelitian, pada saat pembuatan benda uji digunakan beberapa alat bantu yaitu:
 - a) Vibrator yang digunakan untuk pemadatan saat pembuatan benda uji.
 - b) Cetok semen, digunakan untuk memindahkan bahan batuan dan memasukkan campuran beton kedalam cetakan beton.
 - c) Gelas ukur kapasitas 250 ml digunakan untuk meneliti kandungan zat organik dan kandungan lumpur agregat halus.
 - d) Ember untuk tempat air dan sisa adukan.
 - e) Cangkul untuk mengaduk campuran beton.

10) *Dial Gauge*.

Pada penelitian ini *dial Gauge* digunakan untuk mengukur besarnya perubahan panjang (regangan) silinder beton akibat pembebanan serta besarnya beban (P) pada saat beton mulai retak.

11) *Compression Testing Machine*.

12) Alat uji lentur

13) Alat ukur lendutan (*dial*)

14) Tungku pembakaran.

Alat ini digunakan untuk membakar benda-benda uji tersebut.

3.4. Tahap dan Prosedur Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, penelitian ini dilaksanakan dalam sistematis dengan urutan yang jelas dan teratur agar hasil yang didapat baik dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian ini dibagi beberapa tahapan, yaitu :

1. Tahap I (Tahap Persiapan)

Pada tahap ini seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2. Tahap II (Uji Bahan)

Tahap ini dilakukan penelitian terhadap agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan kataristik bahan tersebut. Selain itu juga untuk mengetahui apakah agregat kasar atau halus tersebut memenuhi syarat atau tidak.

3. Tahap III (Tahap Pembuatan Benda Uji)

Pada tahap ini dilaksanakan pekerjaan sebagai berikut :

- a. Penetapan campuran adukan beton ringan dan beton ringan berserat.
- b. Pembuatan adukan beton ringan.
- c. Pemeriksaan nilai *slump*.
- d. Pembuatan benda uji.

4. Tahap IV (Tahap Perawatan Benda Uji / *Curing*)

Pada tahap ini dilakukan perawatan terhadap benda uji yang telah dibuat pada tahap III. Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji mulai hari pertama, setelah pembuatan benda uji berumur 24 jam.

5. Tahap V (Tahap Pengujian)

Pada tahap ini langsung diadakan pengujian kuat tarik belah dan MOR terhadap sebagian benda pada suhu kamar 25 °C setelah beton mencapai umur 28 hari, pengujian untuk beton yang dilakukan pembakaran tanpa curing adalah umur 28 hari pada suhu (300⁰, 400⁰, 500⁰) dan 500⁰ (*curing*) pada umur 28 hari setelah pembakaran dan perawatan.

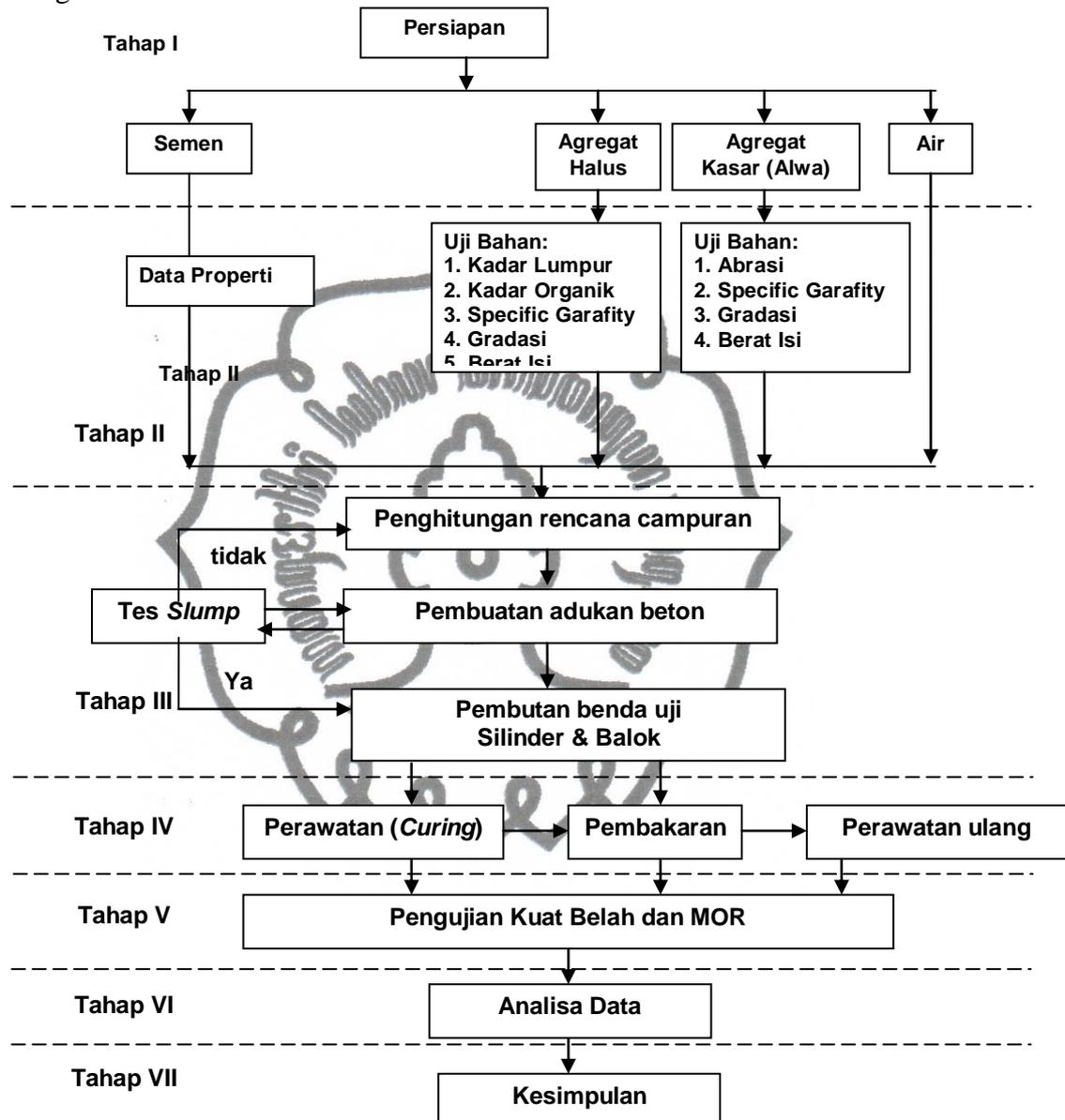
6. Tahap VI (Analisa Data)

Pada tahap ini data yang diperoleh dari hasil pengujian lalu dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti dalam penelitian.

7. Tahap VII (Kesimpulan)

Pada tahap ini dibuat suatu kesimpulan berdasarkan data yang telah dianalisis yang berhubungan langsung dengan tujuan penelitian.

Tahap-tahap penelitian ini dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir sebagai berikut :



Gambar 3.1 Bagan alir tahap-tahap penelitian

3.5. Standart Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar Beton

Untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan dasar penyusun beton maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar.

Tabel 3.3. Standar penelitian dan spesifikasi bahan dasar

No	Bahan Penelitian	Standar Terpakai
1	Semen	Spesifikasi Pabrik
2	Agregat Halus a. Standar Pengujian b. Spesifikasi	1. ASTM C-23 : Standart penelitian untuk pengujian berat isi agregat halus. 2. ASTM C-40, standar penelitian untuk pengujian kotoran organik. 3. ASTM C-117, standar penelitian untuk pengujian agregat yang lolos ayakan no. 200 dengan pencucian (tes kandungan lumpur) 4. ASTM C-128, standar penelitian untuk pengujian <i>specific gravity</i> . 5. ASTM C-136, standar penelitian untuk analisis saringan. 1. ASTM C-33, spesifikasi standar untuk agregat halus. 2. PBI 1971, spesifikasi standar untuk agregat halus (bab 3.3)
3	Agregat Kasar a. Standar Pengujian b. Spesifikasi	1. ASTM C-127, standar penelitian untuk pengujian <i>specific gravity</i> . 2. ASTM C-131, standar penelitian untuk pengujian keausan. 3. ASTM C-136, standar penelitian untuk analisis ayakan. 4. ASTM C-566, standar penelitian untuk pengujian kadar air. 1. ASTM C-330, spesifikasi standar untuk agregat kasar berbobot ringan. 2. PBI 1971, spesifikasi standar untuk agregat kasar (bab 3.4)
4	Air	Spesifikasi standar PBI 1971/SK SNI-1991

3.6. Pengujian Bahan Dasar Beton

Untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material pembentuk beton, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan pembentuk beton. Pengujian ini hanya dilakukan terhadap agregat halus (pasir) dan agregat kasar

(ALWA), sedangkan air dan semen yang digunakan telah sesuai dengan spesifikasi standart dalam PBI NI 1971 pasal 3.6.

3.6.1. Agregat Halus

3.6.1.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pasir adalah salah satu bahan pembentuk beton yaitu sebagai agregat halus. Untuk itu pasir yang akan digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi beberapa persyaratan, salah satunya adalah pasir yang harus bersih. Pasir bersih yaitu pasir yang tidak mengandung kadar lumpur lebih dari 5 % dari berat keringnya. Lumpur adalah bagian-bagian pasir yang lolos dari ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur dalam pasir lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam pembuatan campuran adukan beton. Syarat-syarat agregat halus harus sesuai dengan PBI NI – 2,1971.

1. Tujuan

Untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung dalam pasir

2. Alat dan Bahan

- a. Pasir kering oven
- b. Air bersih
- c. Gelas ukur 250 cc
- d. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu
- e. Timbangan

3. Cara kerja

- a. Mengambil pasir sebanyak 250 gram.
- b. Mengeringkan pasir dalam oven dengan temperatur 110° C selama 24 jam.
- c. Mengambil pasir kering 100 gram lalu dimasukkan kedalam gelas ukur 250 cc.
- d. Menuangkan air kedalam gelas ukur hingga setinggi 12 cm di atas permukaan pasir.
- e. Mengocok air dan pasir minimal 10 kali lalu membuang airnya.

- f. Mengulangi langkah 5 hingga air tampak dalam gelas tampak jernih.
- g. Memasukkan pasir dalam cawan lalau mengeringkannya dalam oven dengan temperatur 110° C selama 24 jam.
- h. Setelah selesai, cawan dikeluarkan dan diangin-anginkan hingga mencapai suhu kamar.
- i. Menimbang air dalam cawan.
- j. Berat air awal $G_0 = 100$ gram, berat akhir pasir = G_1

Pengujian kadar lumpur menggunakan persamaan 3.1 :

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{G_0 - G_1}{G_0} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.1)$$

- k. Membandingkan dengan persyaratan PBI NI-2 1971, yaitu kadar lumpur maksimum 5%. Bila lebih dari 5%, maka sebelum digunakan pasir harus dibersihkan terlebih dahulu.

3.6.1.2. Pengujian Kadar Zat Organik Dalam Agregat Halus

Pasir pada umumnya diambil dari sungai, maka kemungkinan pasir kotor sangat besar, misalnya bercampur dengan lumpur maupun zat organik lainnya. Pasir sebagai agregat halus dalam adukan beton tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak karena akan mengurangi kekuatan beton yang akan dihasilkan, kandungan zat organik ini dapat dilihat dari percobaan, warna *Abrams Harder* dengan menggunakan larutan NaOH 3% sesuai dengan PBI NI-2 1971. menurut PBI 1971 agregat halus tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai asal kekuatan tekan adukan tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan NaOH 3% yang kemudian dicuci sampai bersih dengan air dan umur yang sama.

1. Tujuan

Untuk mengetahui kadar zat organik dalam pasir berdasarkan Tabel perubahan warna seperti terlihat pada Tabel 3.4. berikut ini.

Tabel 3.4. Tabel Perubahan Warna

Warna	Penurunan Kekuatan
Jernih	0 %
Kuning muda	0 – 10 %
Kuning tua	10 – 20 %
Kuning kemerahan	20 – 30 %
Coklat kemerahan	30 - 50 %
Coklat tua	50 – 100 %

(sumber : Tabel Prof. Ir. Rooseno, 1995)

2. Alat dan bahan :
 - a. Pasir kering
 - b. Larutan NaOH 3%
 - c. Gelas ukur 250 cc
3. Cara kerja
 - a. Mengambil pasir sebanyak 130 cc yang telah di oven, dan memasukkannya kedalam gelas ukur.
 - b. Menuangkan NaOH 3 % hingga volume mencapai 200 cc.
 - c. Mengocok selama 10 menit.
 - d. Meletakkan campuran tersebut pada tempat telindung selama 24 jam.
 - e. Mengamati warna air yang ada gelas ukur, lalu membandingkan warna hasil pengamatan dengan warna tabel 3.2.

3.6.1.3. Pengujian *Specific Gravity* Agregat Halus

Mengetahui sifat-sifat bahan bangunan yang akan dicapai dalam suatu konstruksi adalah sangat penting, karena dengan sifat tersebut dapat ditentukan langkah-langkah yang tepat untuk mengerjakan bangunan tersebut. Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume pasir yang diperlukan.

1. Tujuan
 - a. Untuk mengetahui *bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir dalam kondisi volume kering dengan volume total.

- b. Untuk mengetahui *bulk specific gravity* SSD, yaitu perbandingan antara berat pasir jenuh kondisi kering permukaan dengan volume pasir total.
 - c. Untuk mengetahui *apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir kering dengan volume butir pasir.
 - d. Untuk mengetahui daya serap air (*absorbtion*), yaitu perbandinga antara berat air yang diserap dengan berat air kering.
2. Alat dan bahan
- a. Cawan aluminium.
 - b. *Volumetric flask*.
 - c. *Conical mould*.
 - d. Neraca.
 - e. Pasir kering oven.
3. Cara kerja
- a. Menyiapkan pasir kering oven dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*).
 - b. Pengamatan pasir kering oven dalam kondisi SSD dengan langkah sebagai berikut :
 1. Pasir dimasukkan ke dalam *Conical mould* 1/3 bagian lalu ditumbuk 10 kali.
 2. pasir ditambah lagi hingga 2/3 bagian lalu ditumbuk 10 kali.
 3. pasir ditambah hingga penuh lalu ditumbuk 10 kali.
 4. mengangkat *Conical mould* lalu mengukur penurunan pasir yang terjadi. Pasir berada dalam keadaan SSD apabila penurunan terjadi sebesar 1/3 tinggi *Conical mould*.
 - c. mengambil pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram dan memasukkanya ke dalam *Volumetric flask* dan direndam dalam air selama 24 jam.
 - d. Menimbang berat *Volumetric flask* + air + pasir (c).
 - e. Mengeluarkan pasir dari *Volumetric flask* lalu menimbang *Volumetric flask* + air (b).
 - f. Mengeringkan pasir dalam oven selama 24 jam.
 - g. Menimbang air yang telah kering oven (a).

h. Menganalisa hasil pengujian dengan persamaan 3.2 – 3.5 sebagai berikut :

$$\text{Bulk specific gravity} : \frac{a}{b + 500 - c} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{Bulk specific gravity SSD} : \frac{500}{b + 500 - c} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Apparent specific gravity} : \frac{a}{b + a - c} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{500 - a}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

3.6.1.4. Pengujian Gradasi Agregat Halus

Gradasi dan keseragaman diameter pasir sebagai agregat halus lebih diperhitungkan dari pada agregat kasar, karena sangat menentukan sifat pengerjaan dan sifat *kohesi* campuran adukan beton. Selain itu pasir sangat menentukan pemakaian semen dalam pembuatan beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi diameter butiran pasir, prosentase dan modulus kehalusan. Modulus kehalusan merupakan angka yang menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam agregat. Alat yang digunakan untuk pengujian gradasi agregat halus adalah satu set ayakan dengan susunan diameter lubang 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,30 mm, 0,15 mm, dan *pan*.

1. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi ukuran butiran pasir, persentase dan modulus kehalusannya.

2. Alat dan bahan

- a. Satu set satu set ayakan dengan susunan diameter lubang 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,30 mm, 0,15 mm, dan panci penampung (*pan*).
- b. Mesin penggetar.
- c. Neraca
- d. Pasir kering oven sebanyak 3000 gram.

3. Cara kerja

- a. Menyiapkan pair yang telah di oven sebanyak 3000 gram.
- b. Memasang ayakan dengan susunan sesuai dengan urutan besar diameter lubang dan yang terbawah adalah pan.
- c. Memasukkan pasir kedalam ayakan teratas kemudian ditutup rapat.
- d. Memasang susunan ayakan tersebut pada mesin penggetar dan digetarkan selama 5 menit, kemudian mengambil susunan ayakan tersebut.
- e. Memindahka pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ke dalam cawan lalu ditimbang.
- f. Menghitung prosentase berat pasir tertinggal pada masing-masing ayakan.
- g. Menghitung modulus kehalusan dengan menggunakan persamaan 3.6 :

$$\text{Modulus kehalusan pasir} = \frac{d}{c} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan : d = Σ prosentase komulatif berat pasir yang teringgal selain dalam pan.

c = Σ prosentase berat pasir yang tertinggal

3.6.2. Agregat Kasar

3.6.2.1. Pengujian *Spesific Grafity* Agregat Kasar ALWA

Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena dengan varialbel tersebut dapat dihitung volume dari ALWA yang diperlukan. Pengujian *spesific grafity* agregat kasar dalam penelitian ini menggunakan ALWA dengan diameter maksimal 10 mm.

1. Tujuan

- a) *Bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat ALWA dalam kondisi kering dengan volume ALWA besar.
- b) *Bulk specific gravity* dalam kondisi SSD, yaitu perbandingan antara berat ALWA jenuh kondisi kering permukaan dengan volume ALWA total.

- c) *Apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat butiran kondisi kering dan selisih berat butiran dalam keadaan kering dengan berat dalam air.
- d) *Absorbtion*, yaitu perbandingan berat air yang diserap ALWA jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan berat ALWA kering.

2. Alat dan bahan

- a) Oven listrik.
- b) Neraca.
- c) Bejana dan kontainer.
- d) ALWA.
- e) Air bersih

3. Cara kerja

- a) Mencuci ALWA lalu keringkan dengan oven pada suhu 110⁰ C selama 24 jam.
- b) Mengambil ALWA kering permukaan lalu ditimbang seberat 1500 gram (f) dan didiamkan hingga mencapai suhu kamar.
- c) Merendam ALWA dalam air, selama 24 jam, lalu keringkan dengan kain lap agar permukaan ALWA kering, lalu menimbang ALWA tersebut (g).
- d) Memasang kontiner pada neraca, lalu menuangkan air dalam bejana hingga kontainer terendam seluruhnya dan mengatur posisinya agar posisi seimbang. Memasukkan ALWA kedalam konteiner hingga seluruhnya terendam air.
- e) Menimbang ALWA tersebut (h).
- f) Menganalisa hasil penguian tersebut dengan persamaan 3.7-3.10 :

$$\text{Bulk specific gravity} : \frac{f}{g - h} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\text{Bulk specific gravity SSD} : \frac{g}{g - h} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\text{Apparent specific gravity} : \frac{f}{f - h} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\text{Absorbtion} \quad : \quad \frac{g-h}{h} \times 100\% \dots\dots\dots(3.10)$$

3.6.2.2. Pengujian Gradasi Agregat Kasar ALWA

Gradasi dan keseragaman diameter agregat kasar sangat penting untuk diketahui, karena sangat menentukan sifat pengerjaan dan sifat *kohesi* campuran adukan beton, selain itu jumlah kerikil sangat menentukan pemakaian semen dalam pembuatan beton, semakin menggunakan agregat kasar akan menghemat pemakaian semen tapi juga akan mengurangi mutu beton. Agregat yang digunakan untuk membuat beton ringan dalam penelitian ini adalah ALWA.

1. Tujuan

Pengujian ini untuk mengetahui susunan gradasi dari ALWA yang akan digunakan.

2. Alat dan Bahan :

- a. Satu set ayakan dengan susunan diameter lubang 25 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,30 mm, 0,15 mm, dan panci penampung (pan).
- b. Mesin penggetar.
- c. Neraca
- d. ALWA kering oven.

3. Cara kerja

- a. Menyiapkan ALWA sebanyak 1500 gram.
- b. Memasang saringan dengan susunan sesuai dengan urutan besar diameter lubang dan yang terbawah adalah pan.
- c. Memasukkan ALWA dalam saringan teratas kemudian ditutup rapat.
- d. Memasang susunan saringan tersebut pada mesin penggetar dan digetarkan selama 5 menit, kemudian mengambil susunan saringan tersebut.
- e. Memindahkan ALWA yang tertinggal dalam masing-masing saringan kedalam cawan lalu ditimbang.

- f. Menghitung presentase berat ALWA tertinggal pada masing-masing saringan.
- g. Menghitung modulus kehalusan dengan persamaan 3.11 :

$$\text{Modulus kehalusan ALWA} = \frac{m}{n} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan : m = Σ prosentase komulatif berat kerikil yang tertinggal selain dalam pan.

n = Σ prosentase berat pasir yang tertinggal.

3.6.2.3. Pengujian Abrasi Agregat Kasar ALWA

Agregat kasar ALWA merupakan salah satu bahan dasar beton yang harus memenuhi standar tertentu untuk daya tahan keausan terhadap gesekan. Standar ini dapat diketahui dengan alat yang disebut Bejana *Los Angelos*. Agregat kasar harus tahan terhadap gaya aus gesek dan bagian yang hilang karena gesekan tidak boleh lebih dari 50 %.

1. Tujuan :

Untuk mengetahui daya tahan agregat kasar dan ALWA terhadap gesekan.

2. Alat dan Bahan :

- a. Bejana *Los Angelos* dan 11 bola baja.
- b. Saringan
- c. Neraca
- d. ALWA

3. Cara kerja :

- a. Mencuci agregat kasar ALWA dari kotoran dan debu yang melekat, kemudian dikeringkan dengan oven bersuhu 110⁰ C selama 24 jam.
- b. Mengambil ALWA dari oven dan membiarkannya hingga suhu kamar kemudian mengayak dengan ayakan 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm. Dengan ketentuan lolos ayakan 12,5 mm dan tertampung 9,5 mm sebanyak 2,5 kg. Lolos ayakan 9,5 mm dan tertampung 4,75 mm sebanyak 2,5 kg.

- c. Memasukkan agregat kasar ALWA yang sudah di ayak sebanyak 5 kg ke mesin *Los Angelos* (i).
- d. Mencuci lubang mesin *Los Angelos* rapat-rapat lalu menghidupkn mesin dan mengatur perputaran mesin sampai 500 kali putaran.
- e. Mengeluarkan ALWA lalu disaring menggunakan saringan 2.36 mm (j).
- f. Menganalisa prosentase berat agregat yang hilang dengan persamaan 3.12:

$$\text{Persentase berat yang hilang} : \frac{i-j}{j} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.12)$$

3.7. Perencanaan Campuran Beton

Rencana campuran antara semen, air dan agregat-agregat sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang sesuai dengan yang diidnginkan. Perancangan campuran adukan beton dimaksudkan untuk memperoleh kualitas beton yang seragam. Dalam rancangan ini digunakan rancang campur beton ringan dengan metode *Dreux-corrise* direncanakan dengan $f'c > 17$ Mpa. Langkah-langkah perancanganya sebagai berikut :

3.7.1. Penentuan Rasio Semen dan Air

Rasio semen dan air dihitung dengan menggunakan rumus Bolomey, tertera pada persamaan 3.13 :

$$\sigma_{28'} = G \sigma_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \dots\dots\dots (3.13)$$

- Dimana :
- $\sigma_{28'}$ = kuat tekan beton pada umur 28 hari
 - G = koefisien kekuatan butir agregat (Tabel 3.3)
 - σ_c = kuat aduk semen pada umur 28 hari
 - C = kadar semen dalam Kg/m^3 beton
 - E = jumlah air koefisien

Tabel 3.5. Niali koefisien G

Ukuran butir mutu agregat	Kecil	Sedang
	D < 10 mm	10 mm < D < 15 mm
Baik sekali	0,45	0,40
Baik	0,40	0,35
Cukup	0,15	0,30

(Sumber : Haryono, 2001)

Keterangan :

Nilai G ini untuk beton dengan *slump* 4-8 cm

Untuk nilai *slump* < 3 cm, nilai tabel dikurangi 0,03

Untuk nilai *slump* > 9 cm, nilai tabel dikurangi 0,03

3.7.2. Penentuan Kadar Semen

Untuk menentukan kadar semen dipakai grafik penentuan kadar semen untuk berbagai nilai semen *slump* yang terdapat pada Gambar 3.2. Dengan mengetahui rasio semen dengan air (rumus Bolomey) dan besarnya nilai *slump* yang diinginkan, dari Gambar 3.2 dapat diketahui kadar semen yang diperlukan. Selanjutnya kebutuhan air efektif dapat dihitung, bila terdapat perbedaan dengan nilai *slump* yang diinginkan maka perlu diadakan penyesuaian (biasanya dilakukan dengan menambahkan sejumlah air pada agregat).

3.7.3. Penentuan Rasio ALWA Dengan Pasir

Dengan mengetahui kadar semen dan ukuran besar butir maksimum dari agregat ringan, maka dengan grafik pada Gambar 3.3 dapat dicari besarnya rasio antara volume kerikil dengan volume pasir. Bila syarat keringannya ditinjau maka dapat ditambah faktor koreksi antara 0,00 sampai 0,10. Sebaiknya sebaiknya bila kekuatannya lebih menentukan, nilai ini digunakan untuk pengurangan dari nilai yang didapatkan

3.7.4. Kemampatan

Koefisien kemampatan adalah perbandingan volume absolut dari bahan-bahan padat terhadap volume total dari beton cair, tertera pada persamaan 3.14 :

$$\gamma = \frac{V_k + V_p + V_{sm}}{1000} = \frac{V_{bp}}{1000} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

V_k = Volume kerikil

V_p = Volume kerikil

V_{sm} = Volume semen

V_{bp} = Volume bahan padat (liter)

Koefisien kemampuan dapat ditentukan berdasarkan tabel 3.4 untuk berbagai kondisi kekentalan beton, nilai slump dan cara pemampatan yang dilakukan.

Tabel 3.6. Koefisien kemampatan beton untuk berbagai kondisi nilai *slump*

Cara pemampatan	Kekentalan Beton		
	Kental	Plastis	Encer
	<i>Slump</i> < 4 cm	<i>Slump</i> 4 – 8 cm	<i>Slump</i> > 8 cm
Dengan tangan	-	-	0,80
Digetar lemah	-	-	0,81
Digetar normal	0,84	0,83	-
Digetar keras	0,85	-	-

(Sumber : Hartono, 2001)

3.7.5. Pengujian Nilai *Slump*

Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*)/ plastisitas dan *kohesif* dari beton segar. Menurut SK-SNI M-12-1989-F, cara pengujian nilai *slump* adalah sebagai berikut :

1. Membasahi cetakan dan plat dengan kain basah.
2. Meletakkan cetakan diatas plat dengan kokoh.

3. Mengisi cetakan sampai penuh dengan 3 lapisan, tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan, kemudian setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.
4. Segera setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang ada disekitar cetakan harus disingkirkan.
5. mengangkat cetakan perlahan-lahan tegak lurus keatas.
6. Mengukur *slump* yang terjadi.

3.8. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

1. Menyiapkan material (air, semen, pasir, ALWA) dan peralatan yang akan digunakan untuk campuran beton.
2. Menyiapkan cetakan beton.
3. Menimbang masing-masing material berdasarkan perhitungan *mix design* beton.
4. Membuat adukan beton dengan cara mencampur material yang telah ditimbang ke dalam tempat pengadukan, dengan urutan alwa terlebih dahulu, kemudian pasir, semen, dan air.
5. Memeriksa nilai *slump* dari adukan beton tersebut.
6. Selanjutnya dilakukan pengecoran dengan menuangkan beton ke dalam cetakan dan memberi tanda untuk masing-masing benda uji.
7. Setelah cetakan terisi penuh dilakukan pemadatan, kemudian permukaan diratakan dan Bekisting atau cetakan dapat dibuka apabila pengerasan sudah berlangsung selama satu hari.
8. Merawat beton dengan cara menutupinya dengan karung goni basah sampai 28 hari atau dengan merendam benda uji kedalam air.

3.9. Perawatan Benda Uji

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan yang menjaga permukaan beton segar selalu lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin.

Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan, kemudian benda uji direndam didalam bak selama 28 hari. Setelah itu dilakukan pembakaran pada suhu bervariasi yaitu 300 °C, 400 °C, 500 °C terhadap benda-benda uji tersebut sesuai dengan pengelompokan masing-masing.

3.10. Pembakaran Benda Uji

Pembakaran benda uji dilakukan dengan tungku pembakaran di Laboratorium Kerajinan Keramik di desa Wedi, Bayat, Klaten pada suhu bervariasi yaitu 300 °C, 400 °C, 500 °C. suhu ini diusulkan dengan asumsi bahwa proses terbakarnya gedung / struktur berangsur-angsur dari suhu kamar sampai pada suhu yang sangat tinggi. Selain itu, variasi suhu juga berdasarkan referensi yang mendukung pada penelitian ini

Pembakaran dilakukan dengan menggunakan tungku bakar dengan kompor sembur horizontal (*burner*). Suhu dalam ruangan tungku diukur dengan menggunakan alat ukur suhu *digital high temperature tester*.

1. Tujuan :

Untuk membakar beton sampai suhu tertentu.

2. Alat dan bahan :

- a. Tungku bakar.
- b. Kompor sembur horizontal (*burner*).
- c. *Digital high temperature tester*.

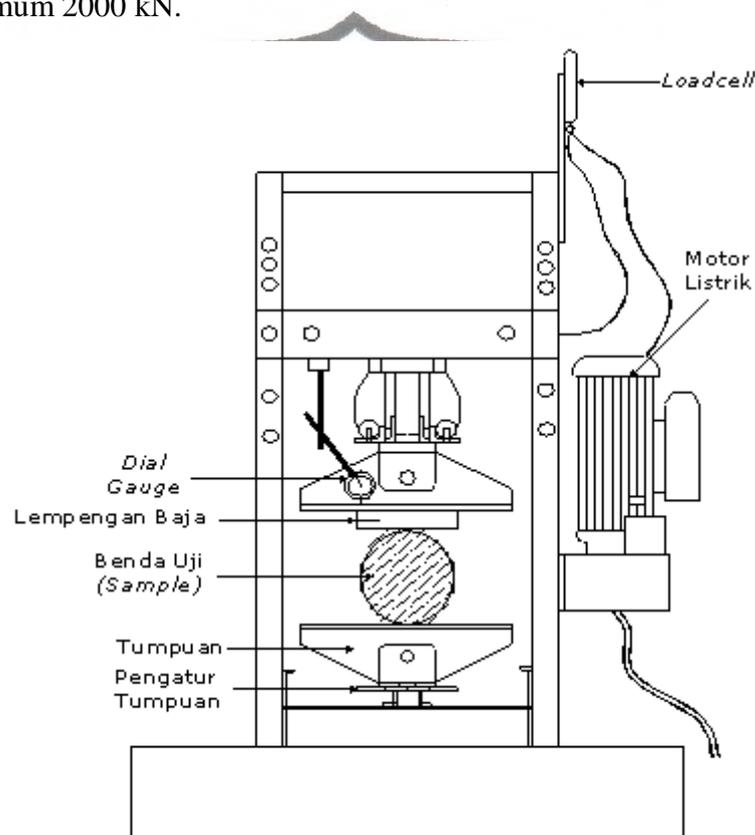
- d. Benda uji silinder beton.
 - e. LPG (*Liquid Petroleum Gas*)
 - f. Batuan tahan api
3. Cara kerja :
- a. Menyiapkan benda uji.
 - b. Mempersiapkan tungku dan menyusun benda uji dalam tungku.
 - c. Setelah benda uji tersusun dalam tungku kemudian tungku ditutup dengan batu tahan api. Alat pengukur temperatur dipasang di pintu tungku sehingga ujung dari *high temperature tester* berada dalam tungku.
 - d. Setelah selesai penutupan pintu, kompor dinyalakan dan mengatur nyala kompor agar penambahan suhu tidak terlalu cepet.
 - e. Mengamati perubahan suhu dalam tungku dan setelah mencapai temperature yang diharapkan nyala kompor diatur agar suhu dalam tungku dapat konstan selama satu jam.
 - f. Setelah suhu dalam tungku dapat ditahan tetap selama satu jam kompor dimatikan dan benda uji dibiarkan dalam tungku sampai dingin.
 - g. Setelah dibiarkan selama 24 jam benda uji dikeluarkan dari dalam tungku dan mengulangi proses pembakaran untuk temperature lainnya. Pada tahap ini, benda-benda uji selanjutnya dibakar pada suhu bervariasi yaitu 300 °C, 400 °C, 500 °C.

3.11. Analisis Hasil

Analisis data adalah proses penyederhanaan data kedalam bentuk yang lebih mudah dibaca dan diinterpretasikan. Dalam proses ini digunakan uji statistik yang merupakan salah satu fungsi untuk menyederhanakan data menjadi informasi yang lebih sederhana dan mudah dimengerti.

3.11.1. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji silinder beton dengan cara pembelahan silinder oleh suatu desakan kearah diameternya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji desak (*Compression Testing Machine*) merk *Controls* dengan kapasitas desak maksimum 2000 kN.



Gambar 3.2. *Setting Up* Pengujian kuat tarik belah

Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Menghitung berat, tinggi dan diameter benda uji.
2. silinder beton dipasang pada mesin dengan posisi rebah secara tepat serta bagian selimut silinder dibersihkan dari butiran yang dapat mempengaruhi kekuatannya.
3. Mesin diaktifkan, pendesakan dimulai dan pada mesin desak terlihat jarum penunjuk bergerak sesuai dengan besarnya pembebanan

4. pengujian dihentikan jika benda uji sudah terbelah dan pengambilan data beban maksimum (P) dapat dilakukan.

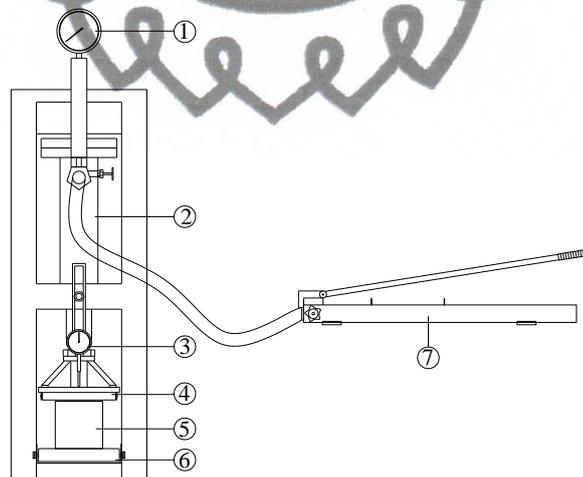
3.11.2. Pengujian MOR Balok Beton

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kuat lentur beton. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji lentur terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan memberikan tekanan hingga benda uji tersebut runtuh.

Langkah-langkah pengujian kuat lentur beton:

- a. Menyiapkan benda uji balok beton yang akan diuji.
- b. Meletakkan benda uji pada alat uji lentur dengan posisi mendatar.
- c. Mengatur jarum penunjuk tepat pada titik nol.
- d. Pembacaan beban dimulai dengan Bergeraknya jarum penunjuk lendutan.
- e. Mencatat besarnya beban yang terjadi tiap perubahan lendutan sampai mencapai lendutan tertentu.

Mekanisme uji lentur dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 *Setting Up* Pengujian MOR

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| 1. Loadcell | 5. Benda uji (<i>sample</i>) |
| 2. Hidraulic Jack | 6. Tumpuan |
| 3. Dial gauge | 7. Hidraulic Pump |
| 4. Pembagi beban | |

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat

4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah kadar Lumpur, kadar zat organik, *Specific Gravity* dan gradasi agregat halus. Hasil pengujian dapat kita lihat pada Tabel 4.1, untuk data hasil pengujian selengkapnya ada pada Lampiran A.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat (Standar)	Kesimpulan
Kandungan Lumpur	2,3%	5%	Memenuhi syarat
Kandungan zat organik	Jernih	Kuning	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	2,48%	1,3 - 3,1	Memenuhi syarat
Kadar air	3%	-	-
<i>Bulk specific gravity</i>	2,425	-	-
<i>Bulk spesific gravity SSD</i>	2,5	-	-
<i>Apparent spesific gravity</i>	2,6216	-	-
<i>Absorbtion</i>	3	-	-

Pengujian gradasi agregat halus berdasarkan ASTM C 33 – 97 dapat dilihat pada Table 4.2. dan Gambar 4.1. Data hasil pengujian dan analisa selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.

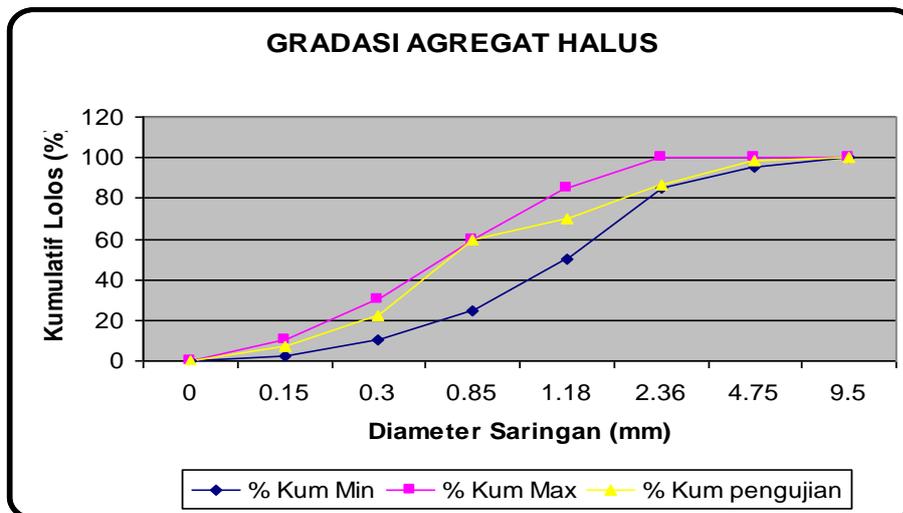
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	Diameter Ayakan	Berat Tertinggal			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C.33-84
		Berat (gr)	Presentase (%)	Kumulatif (%)		
1	9,5				100	100
2	4,75	50	1.6807	1.68067	98.3193	95 – 100
3	2,36	350	11.765	13.4454	86.5546	85 – 100
4	1,18	485	16.303	29.7479	70.2521	50 – 85
5	0,85	320	10.756	40.5042	59.4958	25 – 60
6	0,3	1105	37.143	77.6471	22.3529	10 – 30
7	0,18	450	15.126	92.7731	7.22689	2 – 10
8	PAN	215	7.2269	100	0	0
Jumlah		2975	100	348.236		

Modulus kehalusan ditentukan dengan rumus:

$$\text{Modulus Kehalusan (MK)} = \frac{\sum \text{berat kumulatif tertinggal} - 100}{100} = \frac{348,236 - 100}{100} = 2,48$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{(3000 - 2975) \times 100\%}{3000} = 0,833 \%$$



Gambar 4.1. Kurva Daerah Susunan Gradasi Agregat Halus

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar ALWA

Pada agregat kasar (ALWA), pengujian yang dilakukan meliputi pengujian abrasi, *specific gravity*, dan gradasi. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 4.3

Table 4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar (ALWA)

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1.	Abrasi	27.2	Maks 50 %	Memenuhi syarat
2.	<i>Bulk specific gravity SSD</i>	1.478	-	-
3.	<i>Bulk specific gravity</i>	1.308	-	-
4.	Modulus kehalusan	6.84	5 – 8	Memenuhi syarat

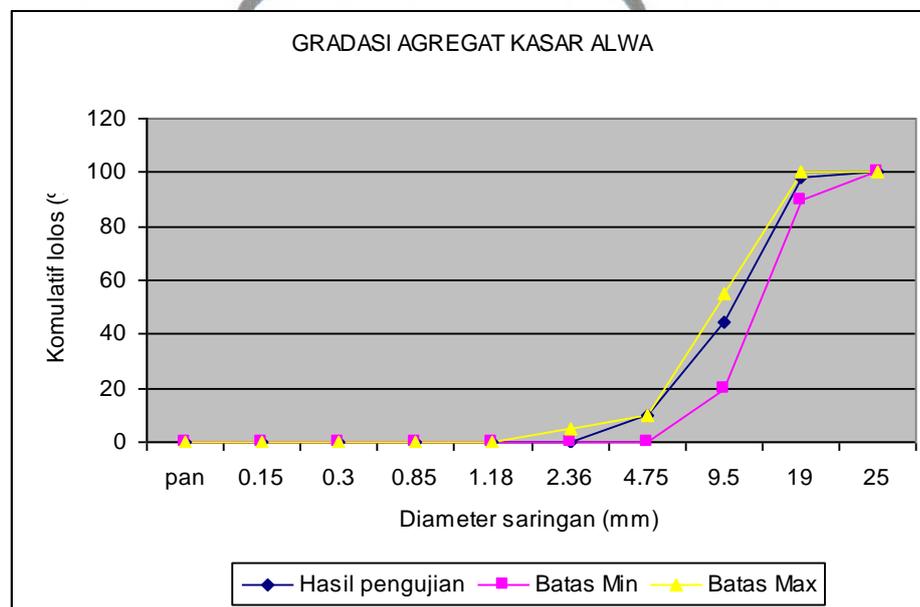
Untuk hasil pengujian gradasi agregat kasar yang berdasarkan persyaratan ASTM C 33 – 97 dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.2. Data hasil pengujian dan analisa selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar (ALWA)

No	Diameter Ayakan	Berat Tertinggal			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C.33-84
		Gram	%	Kumulatif (%)		
1	25	0	0	0	100	100
2	19	28.5	1.91	1.91	98.09	90-100
3	12.5	534	35.77	37.68	62.32	-
4	9.5	261.5	17.52	55.2	44.8	20-55
5	4.75	521	34.90	90.1	9.89	0-10
6	2.36	147.7	9.89	100	0	0-5
7	1.18	0	0	100	0	
8	0.85	0	0	100	0	
9	0.3	0	0	100	0	
10	0.15	0	0	100	0	
11	Pan	0	0	100	0	
Jumlah		1492.7	100	100		

$$\begin{aligned} \text{Modulus Kehalusan (MK)} &= \frac{\sum \text{berat kumulatif tertinggal} - 100}{100} \\ &= \frac{784,29 - 100}{100} = 6,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat yang hilang} &= \frac{(1500 - 1492,7) \times 100}{3000} \\ &= 0,48\% \end{aligned}$$



Gambar 4.2. Kurva Daerah Susunan Gradasi agregat Kasar (ALWA)

Dari Gambar 4.2. dapat dilihat gradasi sgregat kasar yang telah diuji berada pada batas maksimum dan minimum, sehingga agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat dan layak digunakan dalam pembuatan beton benda uji.

4.2. Rencana Campuran

Penghitungan rancang campur adukan beton menggunakan metode *Dreux-Corrise*. Kebutuhan bahan untuk 1 m³ beton ringan adalah:

- Semen : 400 kg
- Pasir : 634.9 kg

- ALWA : 644.064 kg
- Air : 160 liter
- Superplasticizer sika viscocrete 5 : 1 % dari berat semen : 4 kg

4.3. Data Hasil Pengujian *Slump*

Dari pembuatan campuran adukan beton akan didapatkan nilai *slump* dari campuran adukan beton tersebut. Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui tingkat *workabilitas* campuran beton. Hasil nilai *slump* adalah 13 cm.

4.4. Data Hasil Pengujian dan Analisa Data

4.4.1. Penghitungan dan Analisa Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian dilakukan pada umur 28 hari pada beton. Dari pengujian tegangan yang dilakukan dengan alat *compression testing Machine*. Didapatkan beban maksimum, yaitu pada saat beton hancur menerima beban tersebut (P_{max}). dari data tersebut maka diperoleh tegangan hancur (kuat belah maksimum) beton dengan rumus seperti persamaan (2.1)

Sebagai contoh perhitungan diambil dari data benda uji silinder beton diperoleh sebagai berikut :

$$P_{rata-rata} = \frac{120.000 + 130.000 + 130.000}{3} = 126666.67 \text{ N}$$

$$\pi * L * D = \pi \times 300 \times 150 = 141300 \text{ mm}^2$$

Maka kuat tarik belah betonya adalah :

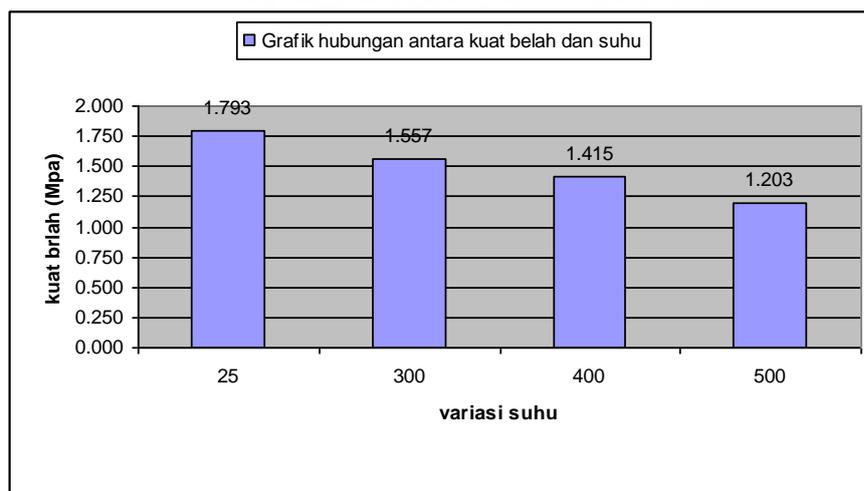
$$f_{st} = \frac{P}{\frac{1}{2} \pi \cdot D \cdot L} = \frac{140000}{\frac{1}{2} \pi \times 300 \times 150} = 1,7929 \text{ MPa}$$

Selanjutnya pengujian kuat tarik belah beton terhadap benda uji lainnya di sajikan dalam tabel 4.6

Tabel 4.6 Analisis uji kuat tarik belah

suhu	Kode benda uji	P maks (kN)	P maks (N)	Rata-rata beban maks (N)	Luas penampang (mm ²)	Kuat belah (Mpa)	Kuat belah rata-rata (Mpa)	Prosentase penurunan
25 °C	SNI-1	120	120000	126666.67	141300	1.699	1.793	0
	SNI-2	130	130000		141300	1.840		
	SNI-3	130	130000		141300	1.840		
300 °C	SNI 3-1	100	100000	110000	141300	1.415	1.557	-13.1579
	SNI 3-2	120	120000		141300	1.699		
	SNI 3-3	110	110000		141300	1.557		
400 °C	SNI 4-1	110	110000	100000	141300	1.557	1.415	-21.0526
	SNI 4-2	100	100000		141300	1.415		
	SNI 4-3	90	90000		141300	1.274		
500 °C	SNI 5-1	95	95000	85000	141300	1.345	1.203	-32.8947
	SNI 5-2	75	75000		141300	1.062		
	SNI 5-3	85	85000		141300	1.203		

Dari tabel 4.6 dapat dibuat grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh variasi penambahan suhu terhadap kuat tarik belah yang dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3. Graifk hubungan pengaruh suhu terhadap kuat tarik belah

Hasil pengujian kuat belah beton ringan dengan *curing* ulang pada benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Data Hasil Analisis Penghitungan Kuat belah Beton Ringan Suhu Pembakaran 500°C dan Setelah mendapat Perawatan Ulang

suhu	Kode benda uji	P maks (kN)	P maks (N)	Rata-rata beban maks (N)	Luas penampang (mm ²)	Kuat belah (Mpa)	Kuat belah rata-rata (Mpa)	Prosentase penurunan
500 °C	SNI 5-1	95	95000	85000	141300	1.345	1.203	-32.8947
	SNI 5-2	75	75000		141300	1.062		
	SNI 5-3	85	85000		141300	1.203		
500 °C + <i>curing</i>	SNI 5C-1	135	135000	120000	141300	1.911	1.699	29.16667
	SNI 5C-2	120	120000		141300	1.699		
	SNI 5C-3	105	105000		141300	1.486		

4.4.2. Hasil Pengujian MOR

Pegujian ini menggunakan benda uji berupa balok dengan ukuran 10 x 10 x 40 cm, dua beban terpusat pada jarak 10 cm dari masing-masing tumpuan yang dilakukan pada benda uji beton berumur 28 hari. Dari hasil pengujian ini didapatkan beban maksimum, yaitu pada saat beton hancur (P_{max}).

Pada saat pengujian semua balok uji patah dibagian tengah bentang efektif, dapat dihitung berdasarkan rumus (2.2). sebagai contoh perhitungan untuk beton dengan kadar penambahan suhu 25 °C.

$$P_{rata-rata} = \frac{1271 + 8474 + 10456.2}{3} = 10550.4 \text{ N}$$

$$\text{MOR adalah : } \frac{\frac{1}{2} P x \frac{1}{3} L}{\frac{1}{6} b h^2} = \frac{P L}{b h^2}$$

$$= \frac{10550.4 \times 300}{100 \times 100^2} = 3.16512 \text{ Mpa}$$

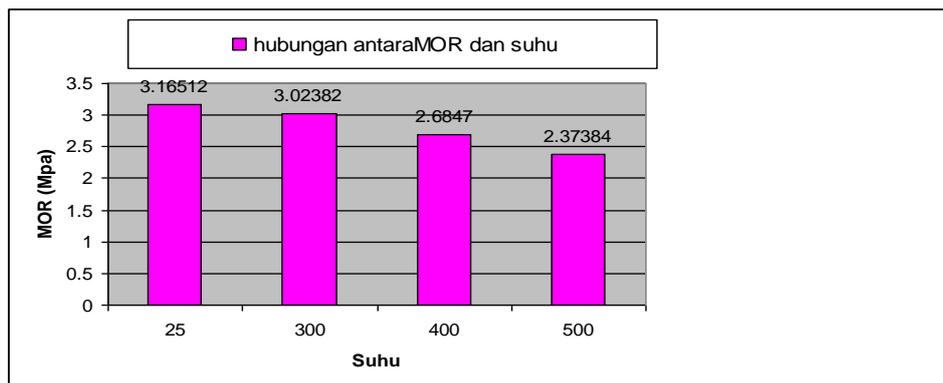
commit to user

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan dalam tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 Analisis MOR beton ringan

Suhu	Kode benda uji	Beban max (Kg/cm ²)	Beban max (N)	Rata-rata beban maks (N)	Luas penampang (b.h ²) (mm ²)	Panjang (mm)	MOR (Mpa) $\frac{PL}{bh^2}$	MOR (Mpa)	Prosen tase penurunan
25 ^o C	SF 3-1	45	12717	10550.4	1000000	300	3.8151	3.16512	0
	SF 3-2	30	8478		1000000	300	2.5434		
	SF 3-3	37	10456.2		1000000	300	3.13686		
300 ^o C	SF 3-1	42	11869.2	10079.4	1000000	300	3.56076	3.02382	-4.464286
	SF 3-2	30	8478		1000000	300	2.5434		
	SF 3-3	35	9891		1000000	300	2.9673		
400 ^o C	SF 4-1	40	11304	8949	1000000	300	3.3912	2.6847	-15.17857
	SF 4-2	25	7065		1000000	300	2.1195		
	SF 4-3	30	8478		1000000	300	2.5434		
500 ^o C	SF 5-1	29	8195.4	7912.8	1000000	300	2.45862	2.37384	-25
	SF 5-2	25	7065		1000000	300	2.1195		
	SF 5-3	30	8478		1000000	300	2.5434		

Dari tabel 4.7 dapat di buat grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh suhu terhadap MOR yang dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.4. grafik hubungan pengaruh variasi suhu terhadap MOR beton ringan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui perubahan nilai MOR beton tanpa pembakaran dan setelah pembakaran yang disajikan dalam

Tabel 4.9.

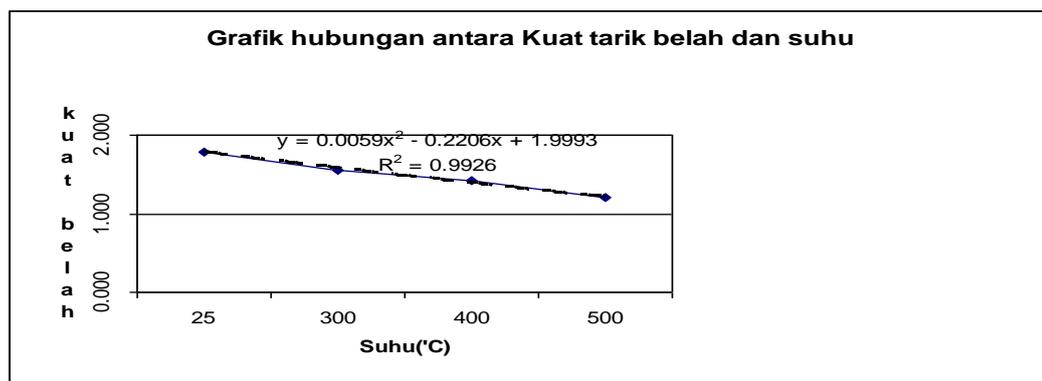
Tabel 4.9. Perubahan MOR Beton Ringan Tanpa Pembakaran dan Setelah Pembakaran

Suhu	Kode benda uji	Beban max (Kg/cm ²)	Beban max (N)	Rata-rata beban maks	Luas penampang (b.h ²) (mm ²)	Panjang	MOR (Mpa) $\frac{PL}{bh^2}$	MOR (Mpa)	Prosen tase penurunan
500 °C	SF 5-1	29	8195.4	7912.8	1000000	300	2.45862	2.37384	-25
	SF 5-2	25	7065		1000000	300	2.1195		
	SF 5-3	30	8478		1000000	300	2.5434		
500 °C + curing	SF 5C-1	42	11869.2	9608.4	1000000	300	3.56076	2.88252	17.647059
	SF 5C-2	25	7065		1000000	300	2.1195		
	SF 5C-3	35	9891		1000000	300	2.9673		

4.4.3. Analisis Regresi

4.4.3.1. Analisis Regresi Kuat Belah Terhadap variasi suhu

Dengan menggunakan fasilitas *Trateline* pada *Microsoft Excel* maka dapat diperoleh regresi dari data-data perubahan suhu dan kuat belah. Hubungan antara perubahan suhu terhadap kuat belah dari hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut



Gambar 4.5 Grafik Analisis regresi hubungan antara kuat tarik belah dan suhu pembakaran

Dari grafik di atas didapat persamaan hubungan antara kuat tarik belah dan Variasi suhu :

$$Y = 0,0424 x^2 - 0,0593x + 3,2782$$

$$R^2 = 0,9932$$

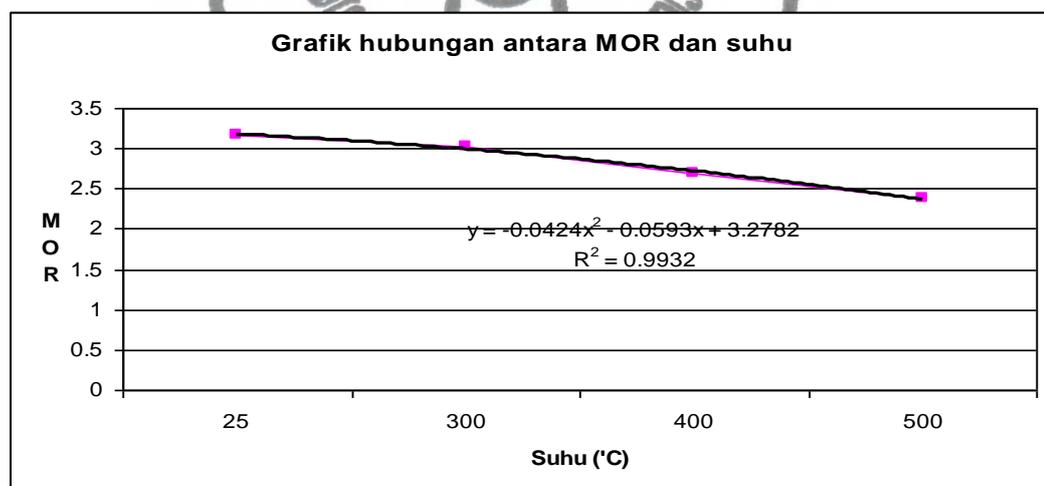
Dimana :

Y = kuat tarik belah (Mpa)

X = variasi suhu pembakaran ($^{\circ}\text{C}$)

4.4.3.2. Analisis Regresi MOR Terhadap variasi suhu

Dengan menggunakan fasilitas *Tredeline* pada *Microsoft Excel* maka dapat diperoleh regresi dari data-data perubahan suhu dan MOR. Hubungan antara perubahan suhu terhadap MOR dari hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut :



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara MOR dan variasi suhu pembakaran

Dari grafik di atas didapat persamaan hubungan antara MOR dan variasi suhu :

$$Y = 0,0059 x^2 - 0,2206x + 1,9993$$

$$R^2 = 0,9926$$

Dimana :

Y = MOR (Mpa)

commit to user

X = variasi suhu pembakaran ($^{\circ}\text{C}$)

4.5. Pembahasan

4.5.1. Dari Tabel 4.6. nilai kuat belah rata-rata beton sebelum dan setelah dibakar karena penambahan suhu pembakaran berturut-turut 25°C (suhu kamar), 300°C , 400°C , 500°C adalah 1,793 MPa; 1,557 MPa; 1,415 MPa; 1,203 MPa.

4.5.2. Pada Tabel 4.6. terlihat penambahan suhu pembakaran mengakibatkan penurunan kuat belah beton ringan, pada suhu berturut-turut 300°C , 400°C , 500°C mengalami penurunan sebesar 13,1579 %; 21,0526 %; 32,8947%. Penurunan nilai kuat tarik pada beton setelah dilakukan pembakaran disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya :

a. Pada suhu 150°C - 300°C

Air yang terkandung dalam pori-pori beton mulai keluar. Perbedaan koefisien panas antar bahan penyusun beton menimbulkan tegangan *intern*, adapun koefisien muai pasta semen sekitar 10.8×10^{-6} dan bila melebihi tegangan ikat maka akan timbul retak diantara pasta semen dan agregat.

b. Pada suhu 300°C - 400°C

Terjadi penguapan air bebas dalam pori-pori kapiler yang berukuran besar, kemudian disusul penguapan air dalam pori-pori yang lebih kecil ukurannya. Karena migrasi molekul air yang akan keluar, maka terjadi friksi dengan dinding pori beton, akibatnya akan timbul retak-retak pada permukaan beton, sehingga porositas beton meningkat maka kekuatan tekan menjadi turun.

c. Pada suhu 400°C - 500°C

Volume agregat meningkat sehingga menimbulkan tekanan pori. Hal ini menjadi penyebab beton mengalami *spalling* (terlepasnya lapisan atau bagian beton dari permukaannya). Oleh karena itu kuat belah beton mengalami penurunan yang cukup signifikan.

- 4.5.3. Dari Tabel 4.8. nilai MOR rata-rata beton sebelum dan setelah dibakar karena penambahan suhu pembakaran berturut-turut 25 °C (suhu kamar), 300°C, 400°C, 500°C adalah 3,16512 MPa; 3,02382 MPa; 2,6847 MPa; 2,37384 MPa
- 4.5.4. Pada Tabel 4.8. terlihat penambahan suhu pembakaran mengakibatkan menurunnya MOR beton ringan, pada suhu berturut-turut 300°C, 400°C, 500°C mengalami penurunan sebesar 4,4642 %; 15,1785 %; 25 %.
- 4.5.5. Beton yang sudah rapuh dan retak akibat pembakaran tentu akan mengurangi regangan efektif dari beton tersebut, sehingga kekuatan MOR pun akan berkurang seiring kerusakan yang terjadi pada beton itu. Penurunan nilai MOR disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya :
- Pada suhu 150°C - 300°C
Terjadi proses pengeluaran air yang terkandung dalam pori-pori beton. Karena adanya perbedaan koefisien panas antar bahan penyusun beton maka menimbulkan tegangan *intern*, adapun koefisien muai bekisar antara $5,4 \times 10^{-6}$ sampai $12,6 \times 10^{-6}$, untuk pasta semen $10,8 \times 10^{-6}$ sampai $16,2 \times 10^{-6}$ per drajat celsius. Karena koefisien besar maka perubahan suhu dalam pembakaran atau perubahan suhu mengakibatkan perbedaan gerakan, yang lama kelamaan akan mengakibatkan keretakan diantara pasta semen dan agregat. Hal ini menyebabkan beton kehilangan regangan efektifnya.
 - Pada suhu 300°C - 400°C
Mulai terjadi penguapan air bebas dalam pori-pori *kapiler* yang berukuran besar, kemudian disusul penguapan air dalam pori-pori yang lebih kecil ukurannya. Karena molekul-molekul air yang akan keluar terhalang, maka terjadi friksi dengan dinding pori beton, akibatnya akan timbul retak-retak pada permukaan beton, sehingga porositas beton meningkat maka keelastisitasan dari beton menjadi turun.
 - Pada suhu 400°C - 500°C
Akibat panas menyebabkan agregat mengembang, sehingga menimbulkan tekanan pori. Karena adanya tekanan dari dalam beton, menyebabkan

beton mengalami *spalling* (terlepasnya lapisan atau bagian beton dari permukaannya). Kerusakan yang terjadi ini berdampak negatif terhadap MOR beton itu.

- 4.5.6. Dari Tabel 4.7. nilai kuat belah beton yang telah dibakar pada suhu 500°C dan dilakukan perawatan ulang adalah sebesar 1.699 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 29.166 %, dan dari Tabel 4.13. nilai MOR beton yang telah dibakar pada suhu 500°C dan dilakukan perawatan ulang adalah sebesar 2.8825 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 17.647 %.

Kenaikan yang terjadi pada nilai kuat belah maupun nilai MOR disebabkan oleh adanya air yang mengisi rongga-rongga di dalam beton pada saat proses perawatan ulang, sehingga terjadi perubahan senyawa beton dari αCSH menjadi βCSH , dimana β adalah perubahan yang menguntungkan. Pengaruh air pada saat perawatan ulang terbukti mampu meningkatkan kekuatan beton pasca kebakaran.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan nilai kuat belah beton karena pembakaran berturut-turut ; 300⁰C, 400⁰C, 500⁰C, mengalami penurunan berturut-turut 1,793 MPa; 1,557 MPa; 1,415 MPa; 1,203 Mpa atau megalami penurunan sebesar 13,1579 %; 21,0526 %; 32,8947%.
2. Pada suhu 500 °C dan dilakukan perawatan ulang megalami peningkatan kuat belah beton sebesar 1,699 Mpa atau 29,166%.
3. Penurunan nilai MOR beton karena pembakaran berturut-turut ; 300°C, 400°C, 500°C, mengalami penurunan berturut-turut adalah 3,16512 MPa; 3,02382 MPa; 2,6847 MPa; 2,37384 MPa atau menengalami penurunan sebesar 4,4642 %; 15,1785 %; 25 %.
4. Pada suhu 500° C dan dilakukan perawatan ulang megalami peningkatan MOR beton sebesar 2,8825 Mpa atau 17,647 %.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberi beberapa saran untuk para peneliti yang bertujuan untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut. Adapun saran yang perlu dikembangkan dari penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi penambahan bahan tambah atau serat, digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui peningkatan kekuatan dari beton ringan ke beton serat.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan pemakaian agregat kasar yang lain, agar dapat diketahui mana yang lebih tahan terhadap temperatur tinggi.
3. Perlunya dilakukan penelitian dengan variasi suhu yang lebih beragam sehingga dapat menggambarkan fenomena-fenomena yang terjadi pada setiap suhu pembakaran.

commit to user

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1988. *Annual Book of American Society for Testing and Materials Standard (ASTM)*. Philadelphia.
- Anonim, 1971. *Spesifikasi agregat Halus Untuk Beton Struktural, PBI 1971/NI-2 Pasal 3.3*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim. 1990. *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural, SK SNI T-15 1990-03*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI 03-xxx-2002)*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2004. *Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ahmad Khaerun. 2004. *Kajian penetrasi dan permeabilitas Beton Ringan Terhadap Air tawar*. Skripsi jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS, Surakarta.
- Alsayed, S. H., 1998, *Flexural Behaviour of Concrete Beam Reinforced With GFRP Bars*, Cemen and Concrete Composite, Vol.20, 1-11
- As'ad, Sholihin. 2008. *Evaluasi Jumlah Serat dan Distribusinya di Bidang Retak terhadap Variasi Kuat Lentur dan Kuat Lentur Ekuivalen Beton Serat Baja*. Prosiding vol. II Seminar Nasional Pascasarjana VIII – ITS, Surabaya 13 Agustus 2008 ISBN 978-979-96565-4-4
- Bambang suhendro B, 1991, *Pengaruh pemakaian fiber secara parsial pada perilaku dan kapasitas balok beton bertulang*, Seminar mekanika bahan untuk peningkatan potensi bahan local, PAU UGM.
- Lilik S, Karunia, 2007, *Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan Alwa Metakaolin Berserat Bendrat Pasca Bakar*, Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Malhotra, V. M. and Mehta, P. K. 1996. *Pozzolanic and Cementitious Materials Advance Concrete Tecnology Program, CANMET, Volume 1*. Gordon and Breach Publishers. Canada.
- Gambir, M. L. 1986 *Cocrete Technology*. Tata Mc Grow Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- Gustaferro, A. H, 1987, "Fire Resistance" Handbook Of Concrete Engineering (Ed. Mark Fintel). Van Nostrand Reinhold Company. New York.1-40.
- Murdock, L. j dan K.M Brook (Terjemahan : Stepanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.

- Mediyanto, A., 2004, *Kajian sifat mekanik dan kapasitas elemen Struktur beton ringan berserat aluminium*, Penelitian Dosen, Universitas sebelad Maret, Surakarta.
- Murdock. L. J. and Brook, K. M., (alih bahasa : Stepanus Hendarko), 1991, *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta.
- Neville, A. M., and J.J Brook. 1987. *Concrete Teknology*. New York: Longman Scientific & Tecnikal.
- Nugroho, Paulus.1989, *properties of Concrete The English Language Book Society And Pitman Publishing*, London.
- Nawy Edward G.,(alih bahasa : Bambang Suryo Atmono), 2001, *Beton Prategang*, Erlangga, Jakarta.
- Soroushian, P., Lee, and Bayasi, Z. 1987. *Concept of Fiber Reinforced Concrete*. Michigan State University. Michigan.
- Tjokrodijuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wibowo, (2002), “*Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Serat Plastik Hasil Pemanfaatan Botol Bekas*”, Penelitian Dosen Muda, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Zollo, R. F. (1997), “*Fiber Reinforced Concrete: an overview after 30 years of development*”, *Cemen and Concrete Composite*, Vol.19, pp 107-122.