

TESIS

**PERILAKU MEKANIK BETON YANG MENGGUNAKAN
LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE MAGNESIA SEBAGAI
PENGANTI AGREGAT KASAR AKIBAT BEBAN TEKAN**

*Mechanical Behavior of Concrete Using Magnesia Type Fire Brick
Waste as A Substitute for Coarse Aggregate due to Compressive Load*

DETI

D012221008



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2024

PENGAJUAN TESIS

**PERILAKU MEKANIK BETON YANG MENGGUNAKAN
LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE MAGNESIA SEBAGAI
PENGANTI AGREGAT KASAR AKIBAT BEBAN TEKAN**

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

DETI

D012221008

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2024**

TESIS**PERILAKU MEKANIK BETON YANG
MENGUNAKAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API
TIPE MAGNESIA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT
KASAR AKIBAT BEBAN TEKAN****DETI
D012221008**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 17 Desember 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof.Dr.Ir.H.M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng
NIP. 196805292002121002

Pembimbing Pendamping



Dr.Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng
NIP. 198604092019043001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr.Eng.Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT,IPM
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dr.Ir.M.Asad Abdurrahman, ST. M.Eng,PM,IPM
NIP. 197303061998021001

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Deti
Nomor mahasiswa : D012221008
Program studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Perilaku Mekanik Beton yang Menggunakan Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Magnesita sebagai Pengganti Agregat Kasar Akibat Beban Tekan” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diproses di *Innovative Infrastructure Solutions* dengan status *under review (revise)* sebagai artikel dengan judul (“*Compressive Loading and Response Time Behavior of Concrete Containing Refractory Brick Coarse Aggregates*”)

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 22 Februari 2024

Yang menyatakan,



ABSTRAK

DETI. *Perilaku Mekanik Beton Yang Mengandung Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Magnesita Sebagai Pengganti Agregat Kasar Akibat Beban Tekan* (dibimbing oleh **M.Wihardi Tjaronge dan Akbar Caronge**)

Jumlah limbah konstruksi dan pembongkaran terus meningkat dari tahun ketahun. Limbah- limbah ini mempunyai dampak berbahaya yang signifikan terhadap lingkungan, salah satunya yaitu limbah batu bata tahan api (*Refractory Brick*), jenis limbah ini dapat digunakan sebagai pengganti agregat alami. Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan limbah batu bata tahan api tipe magnesita sebagai pengganti agregat kasar dalam produksi beton dengan persentase 15%, 30% dan 50% dengan beton normal (SC) 0% sebagai pembanding. Dua target mutu digunakan pada pembuatan beton ini yaitu $f'c$ 21 MPa dan $f'c$ 25 MPa. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian sifat material, slump, kuat tekan, hubungan tegangan regangan, modulus elastisitas dan toughness. Berdasarkan hasil pengujian, bertambahnya limbah batu bata tahan api ke dalam proses pembuatan beton memberikan kontribusi yang baik terhadap nilai slump dan tidak mengubah pola perilaku dalam evolusi kurva hubungan tegangan regangan. Berdasarkan hasil analisis data pengujian, variasi RBC 15% dari dua target mutu beton memiliki kinerja lebih baik dibandingkan variasi RBC 30% dan RBC 50%. Penggunaan RBC 15% sebagai pengganti agregat kasar merupakan pilihan yang bisa diterapkan untuk produksi beton berkelanjutan.

Kata kunci : limbah batu bata tahan api, kuat tekan beton, kurva hubungan tegangan regangan, modulus elastisitas.

ABSTRACT

DETI. *Mechanical Behavior of Concrete Containing Waste Magnesia Type Fire Bricks as A Replacement of Coarse Aggregat due to Compressive Loads* (supervised by **M.Wihardi Tjaronge and Akbar Caronge**)

The amount of construction and demolition waste continues to increase from year to year. These wastes have a significant dangerous impact on the environment, one of which is refractory brick waste. This type of waste can be used as a substitute for natural aggregate. This research discusses the use of magnesia type refractory brick waste as a substitute for coarse aggregate in concrete production with percentages of 15%, 30% and 50% with 0% normal concrete (SC) as a comparison. Two quality targets are used in making this concrete, namely $f'c$ 21 MPa and $f'c$ 25MPa. Tests carried out in this research include testing material properties, slump, compressive strength, stress strain relationship, modulus of elasticity and toughness. Based on the test result, the addition of refractory brick waste into the concrete making process provides a good contribution to the slump value and does not change the behavioral pattern in the evolution of the stress-strain relationship curve. Based on the results of test data analysis, the 15% RBC variation of the two concrete quality targets has better performance than the 30% RBC and 50% RBC variations. The use of 15% RBC as sustainable concrete production.

Keywords : refractory brick waste, concrete compressive strength, stress strain relationship curve, modulus of elasticity.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah Yang Maha Esa, karena atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Dalam tesis ini, kami akan membahas mengenai “**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE ALUMINA TERHADAP PERILAKU BETON AKIBAT BEBAN TEKAN**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi Magister pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Kami menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT, IPM, ASEAN.Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku pembimbing I yang selalu memberikan arahan dan petunjuk dalam penyusunan Tesis ini.
4. **Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
5. **Prof. Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng, Prof. Dr. Ir Abd. Rachman Djamaluddin, MT, Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT** selaku penguji.
6. **Prof. Dr. Eng. Ir. Rudy Djamaluddin, ST, M. Eng.** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
7. Seluruh dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. **Teman-teman laboratorium riset *eco-material* (ummul, pororo, vira, kak niar, zair, kak risal, kak komang, kak erwin, kak haerul, kak hikmah dkk)** dan laboran laboratorium struktur dan bahan yang turut membantu dalam proses penelitian.
9. Teman – teman **angkatan 20221** terkhusus magister KKD struktur yang telah memberikan dukungan dan dorongan selama masa studi.
10. Pihak – pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan sedikit atau banyak andil dan doa kepada saya dalam menyelesaikan penulisan Tesis ini. Saya ucapkan banyak terima kasih.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Orangtuaku yang tercinta dan sangat kusayangi, dengan penghargaan tertinggi saya sebutkan dengan hormat nama kedua orang tua saya, yaitu **ayah (Mursidin)** dan **ibu (Nurhayati)**. Terima kasih banyak atas doa, kasih sayang, nasehat, dan segala dukungan yang telah diberikan sampai saat ini dan nanti. Mudah – mudahan ummul bisa menjadi anak sholehah dan berbakti kepada kedua orang tua, serta dapat ayah ibu banggakan di dunia dan akhirat, aamiin.
2. Keempat adikku tersayang yaitu **Endry, Nerlis, Kerlis, dan Muh Candra**. Terima kasih telah menjadi orang-orang yang turut menguatkan deti dalam menjalani kehidupan jauh dari keluarga, semangat, doa, dan dukungan lainnya yang turut membantu dalam penyelesaian tesis ini. Semoga kita bersaudara sukses di dunia dan akhirat, aamiin.
3. Tante tanteku yang tersayang, yaitu **Nirmawati, Arifana dan Hariani**. Terima kasih sudah jadi *rechargenya* ponakanmu deti di saat lelah, suara dan raut wajah kalian sangat menyenangkan hati. Semoga tante tanteku selalu menyebarkan kegembiraan, sholehah dan berakhlak mulia, aamiin.
4. **Ummul**, sahabatku yang sangat membantu deti menjalani kehidupan magister.
5. Hadist penyemangat selama studi: “*Barangsiapa yang menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah memudahkan untuknya jalan menuju surga.*” (HR. Muslim, 2699), dalam hal ini diutamakan ilmu agama kemudian ilmu duniawi yang bermanfaat untuk kehidupan manusia.

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada tesis ini. Oleh karena itu saran serta kritik yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan guna penyempurnaan penulisan Tesis.

Demikian Tesis ini kami buat, semoga dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Makassar, 21 Februari 2024
Penulis,

Deti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
I.5 Ruang Lingkup.....	4
I.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1. Beton.....	7
II.2 Sifat-Sifat Beton.....	8
II.2.1 Kuat Tekan.....	8
II.2.2 Perilaku Tegangan Regangan Beton.....	9
II.2.3 Modulus Elastisitas.....	10
II.2.4 Toughness.....	11
II.2.5 Pola Retak.....	12
II.2.6 Model Eksisting Kurva Hubungan Tegangan Regangan Beton.....	13
II.3 Material Pembentukan Beton.....	14
II.3.1 Semen.....	14
II.3.2 Agregat.....	15

II.3.3 Batu Bata Tahan Api (<i>Refractory Brick</i>) Tipe Magnesita.....	18
II.3.4 Air.....	21
II.4 Penelitian Relavan.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
III.1 Tahapan Penelitian.....	27
III.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
III.3 Jenis Penelitian.....	29
III.4 Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	29
III.5 Pemeriksaan Karakteristik Semen.....	30
III.6 Analisa Rancangan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	30
III.7 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
III.8 Pembuatan Benda Uji.....	32
III.9. Metode Pemeriksaan <i>Slump Test</i>	34
III.10 Perawatan Benda Uji.....	35
III.11 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
IV.1 Karakteristik Material.....	37
IV.2 Pengujian Slump Beton.....	39
IV.3 Kuat Tekan Beton.....	40
IV.4 Kurva Tegangan Regangan.....	41
IV.5 Modulus Elastisitas Beton.....	45
IV.6 Regangan Elastis Beton.....	48
IV.7 Regangan Puncak Beton.....	49
IV.8 Regangan Ultimit Beton.....	50
IV.9 Nilai Toughness.....	51
IV.10 Perbandingan Hubungan Tegangan Regangan Beton dan Model Eksisting.....	52
IV.11 Pola Retak.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
V.1 Kesimpulan.....	60
V.2 Saran.....	60

DAFTAR PUSTAKA.....61
LAMPIRAN.....66

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Syarat – syarat gradasi agregat halus (ASTM C 33 -97).....	16
Tabel 2 Bahan baku <i>Refractory Brick</i> tipe magnesia.....	19
Tabel 3 Jenis batu bata tahan api (<i>Refractory Brick</i>).....	20
Tabel 4 Perbedaan batu bata dan batu bata tahan api.....	21
Tabel 5 Metode pengujian karakteristik agregat.....	29
Tabel 6 Standar pengujian karakteristik semen portland.....	30
Tabel 7 Komposisi Beton <i>mix design</i> ($f'c$).....	30
Tabel 8 Sampel benda uji.....	33
Tabel 9 Karakteristik agregat halus (Pasir).....	37
Tabel 10 Karakteristik agregat kasar batu pecah.....	37
Tabel 11 Karakteristik agregat kasar batu bata tahan api (<i>Refractory Brick</i>) tipe magnesia.....	38
Tabel 12 Persentase perbandingan nilai modulus elastisitas eksperimen dan teori.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Hubungan tegangan dan regangan linear.....	10
Gambar 2 Hubungan tegangan-regangan non linear.....	10
Gambar 3 Area ketangguhan di bawah kurva tegangan regangan.....	12
Gambar 4 Pola retak atau kehancuran pada benda uji beton	12
Gambar 5 Skema empat elemen tekstur refraktori dan hubungannya masing-masing	19
Gambar 6 Diagram alir.....	28
Gambar 7 Bahan material campuran beton.....	32
Gambar 8 Proses pembuatan benda uji.....	34
Gambar 9 Benda uji silinder.....	34
Gambar 10 Pemeriksaan <i>slump test</i>	34
Gambar 11 <i>Curing</i> benda uji.....	35
Gambar 12 Universal Testing Macine (UTM).....	35
Gambar 13 Pengujian kuat tekan beton.....	36
Gambar 14 Gradasi agregat halus dan agregat kasar.....	39
Gambar 15 Tampak fisik pengujian slump beton segar.....	39
Gambar 16 Nilai slump beton segar.....	40
Gambar 17 (a) kuat tekan beton 21 MPa (b) kuat tekan beton 25 MPa.....	41
Gambar 18 Kurva hubungan tegangan regangan 21 MPa.....	42
Gambar 19 Kurva tegangan regangan rata – rata dengan presentase penggunaan batu bata tahan api mutu 21 MPa.....	43
Gambar 20 Kurva hubungan tegangan regangan 25 MPa.....	44
Gambar 21 Kurva tegangan regangan rata - rata dengan persentase penggunaan batu bata tahan api mutu beton 25 MPa.....	44
Gambar 22 Perbandingan modulus elastisitas eksperimen dan teori target mutu $f'c$ 21 MPa dengan variasi penggunaan batu bata tahan api pada campuran beton.....	46
Gambar 23 Perbandingan modulus elastisitas eksperimen dan teori target mutu $f'c$ 25 MPa dengan variasi penggunaan batu bata tahan api pada campuran beton.....	46

Gambar 24	Grafik regangan elastis pada variasi campuran beton.....	48
Gambar 25	Grafik regangan puncak pada variasi beton.....	49
Gambar 26	Grafik regangan ultimit pada variasi campuran beton.....	50
Gambar 27	Grafik toughness.....	51
Gambar 28	Kurva hubungan tegangan regangan dan model eksisting dengan variasi campuran beton untuk mutu beton $f'c$ 21 MPa.....	53
Gambar 29	Kurva hubungan tegangan regangan dan model eksisting dengan variasi campuran beton untuk mutu beton $f'c$ 25 MPa.....	54
Gambar 30	Pola kehancuran benda uji beton pada umur 7 hari untuk mutu $f'c$ 21 MPa untuk semua variasi campuran beton.....	56
Gambar 31	Pola kehancuran benda uji beton pada umur 28 hari untuk mutu $f'c$ 21 MPa untuk semua variasi campuran beton.....	57
Gambar 32	Pola kehancuran benda uji beton pada umur 7 hari untuk mutu $f'c$ 25 MPa untuk semua variasi campuran beton.....	58
Gambar 33	Pola kehancuran benda uji beton pada umur 28 hari untuk mutu $f'c$ 25 MPa untuk semua variasi campuran beton.....	59

DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti dan keterangan
$f'c$	= Kuat tekan Beton (MPa)
μm	= Mikrometer
S_2	= Tegangan pada 40% tegangan runtuh (MPa atau N/mm^2)
S_1	= Tegangan pada saat regangan 0,000050 (MPa atau N/mm^2)
ϵ_2	= Regangan pada saat S_2
ϵ	= Regangan
σ	= Tegangan
ϵ_0	= Regangan Pada Tegangan Maksimum
E_c	= Modulus Elastisitas (MPa)
ϵ_L	= Regangan Horizontal
ϵ_a	= Regangan Vertikal
w/c	= Rasio Air Semen
E_c	= Modulus Elastisitas (N/mm^2)
A	= Luas Penampang Benda Uji (mm^2)
P	= Gaya Maksimum (N)
T	= Diameter Benda Uji
PCC	= <i>Portlant Composite Cement</i>
SC	= <i>Standar Concrete</i>
RBC	= <i>Refractory Brick Concrete</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
UTM	= <i>Universal Testing Machine</i>
ASTM	= <i>American society for testing and materials</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan konstruksi yang umum digunakan di Indonesia untuk konstruksi gedung, jembatan, dermaga dan lain sebagainya. Menurut SNI 2847 (2019), beton dapat dibuat dengan bahan hidrolis (semen Portland) agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture atau additive). Beton merupakan bahan bangunan yang banyak digunakan, dan 75% volumenya terdiri dari agregat, dimana 45% merupakan agregat kasar Meddah, Zitouni and Belâabes, (2010). Beton sering dipandang sebagai potensi limbah industri karena sifatnya yang kompleks (pengikat, air, agregat) dan penggunaannya yang luas. Dengan kata lain, jika limbah industri dapat digunakan dalam beton, sejumlah besar limbah tersebut secara alami akan didaur ulang. Salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan kembali limbah industri sebagai material beton, limbah industri termasuk fly ash, batu bata tahan api dan lain sebagainya.

Dari segi ekonomi, limbah tidak ada nilainya, namun jika limbah tersebut digunakan dalam campuran beton untuk pekerjaan bangunan, hal ini mempunyai efek positif yaitu meningkatkan ketahanan beton dan mengurangi pencemaran lingkungan. Sementara itu, limbah dari industri konstruksi diestimasi sebesar 75 juta ton setiap tahunnya Kaarthik and Maruthachalam, (2020). Daur ulang limbah industri konstruksi dapat menjadi pilihan tidak hanya sebagai tindakan lingkungan untuk mencegah bencana alam, namun juga sebagai tindakan keberlanjutan ekonomi. Limbah konstruksi dan pembongkaran, fly ash, silica fume, berbagai slag, abu sekam padi, limbah karet, limbah batu bata tahan api (*Refractory brick*) merupakan diantara jenis – jenis limbah yang telah diteliti dan dapat digunakan untuk menggantikan material komposisi utama penyusun beton sampai presentasi tertentu dalam produksi beton yang berkelanjutan.

Dalam literatur beberapa penelitian, telah mempertimbangkan kemungkinan penggunaan limbah konstruksi dan pembongkaran sebagai agregat (agregat kasar, agregat halus atau keduanya) dalam produksi beton, dan para peneliti menunjukkan bahwa beton yang dibuat dengan agregat daur ulang memiliki kinerja lebih baik daripada agregat alami untuk rasio penggantian hingga 25% Khatab, Hachemi and

Jouni, (2021). Menurut Horckmans *et al.*, (2019) sekitar 28 juta ton limbah batu bata tahan api dihasilkan setiap tahunnya. Dan jumlah besar limbah dihasilkan ketika batu bata tahan api tersebut dipindahkan dan dibuang Hachemi, Khattab and Benzetta, (2022). Proses pembongkaran rutin ini membuang limbah batu bata tahan api dalam jumlah besar setiap tahunnya. Sementara itu limbah batu bata tahan api termasuk dalam limbah keramik (batu bata termasuk dalam subkelompok keramik) yang diklasifikasikan sebagai jenis limbah *nonbiodegradable* atau limbah dengan masa penguraian yang lama yaitu 4000 tahun Baradaran-Nasiri and Nematzadeh, (2017).

Limbah konstruksi dan pembongkaran menyumbang sebagian besar timbulan limbah global. Penggunaan limbah ini sebagai agregat penting secara lingkungan dan ekonomi serta membantu mengurangi konsumsi bahan mentah. Salah satu jenis limbah yang digunakan dalam pembuatan beton yaitu limbah batu bata tahan api (*Refractory brick*). Refraktori adalah bahan anorganik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk banyak industri proses. Material ini melapisi furnace, tundish, ladle dan sebagainya. Material ini juga digunakan sebagai nozzle, spout dan sliding gate. Biaya untuk pembelian dan instalasi refraktori adalah faktor yang menentukan dalam biaya proses secara keseluruhan. Kegagalan (*failure*) material refraktori ketika digunakan dalam suatu proses dapat berarti suatu bencana. Material refraktori tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap korosi slag cair, logam cair dan gas-gas agresif, siklus termal (*thermal cycling*), tahan terhadap benturan dan abrasi dengan hanya sedikit perawatan. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi dibawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau slag Fang, Smith and Peaslee, (1999).

Refraktori dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan komposisi kimia penyusunnya yang terdiri dari refraktori asam (MO_2), refraktori netral (M_2O_3), refraktori basa (MO), serta refraktori khusus seperti C, SiC, Borida Karbida, Sulfida dan lainnya. Berdasarkan metode pembentukannya refraktori ada yang dibentuk dengan tangan

(*hand molded*), refraktori yang dibentuk secara mekanik (tekanan tinggi), refraktori yang dibentuk melalui cetak tuang, refraktori yang berupa serbuk seperti castable dan gun mix mortar. Istilah refraktori basa adalah penggolongan refraktori secara umum yang bahan bakunya terbuat dari oksida-oksida yang bersifat basa, atau yang penggunaannya dalam lingkungan kondisi operasi basa. Alasan dari penggunaan refraktori basa, antara lain karena kemampuan operasinya pada temperatur tinggi dan memiliki ketahanan terhadap slag basa, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Magnesia (MgO) merupakan unsur yang utama dari kelompok refraktori basa. Oleh karena itu refraktori yang mengandung banyak magnesia termasuk ke dalam kelompok basa, umumnya terdapat jenis-jenis dari refraktori basa yaitu magnesia (MgO), *magnesia-chrome*, *magnesia-spinel*, *magnesia-carbon*, *dolomite*. Penggunaan refraktori basa terdapat pada tungku busur listrik, tungku sembur oksigen, hot metal car dan lain-lain Fang, Smith and Peaslee, (1999).

Material batu bata tahan api (*Refractory Brick*) banyak dibutuhkan dan sangat penting fungsinya untuk berbagai industry proses di Indonesia. PT. Vale Indonesia Tbk (PTVI) adalah salah satu perusahaan tambang pengolahan nikel yang beroperasi di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, yang menggunakan batu bata tahan api sebagai dinding tungku pembakaran peleburan nikel, peran batu bata tahan api adalah menjaga suhu didalam tungku tetap stabil, bahkan menahan perubahan suhu yang tiba-tiba atau disebut ketahanan kejutan termal.

Daur ulang limbah batu bata tahan api masih sangat jarang, tetapi sudah mulai mendapat perhatian lebih selama dua dekade terakhir karena masalah lingkungan dan meningkatnya biaya TPA. Menggunakan limbah batu bata tahan api sebagai pengganti bahan produksi beton mengurangi pencemaran lingkungan dan membantu melindungi bahan mentah. Penggunaan batu bata tahan api sebagai pengganti agregat dalam membuat beton akan berdampak ekonomi pada dunia usaha, pemerintah dan masyarakat jika digunakan dalam skala besar. Penggunaan limbah batu bata tahan api sebagai pengganti agregat kasar di harapkan dapat mengurangi limbah tungku pembakaran pada perusahaan industri. Berdasarkan latar belakang tersebut penulis mengangkat judul **“PERILAKU MEKANIK BETON YANG MENGANDUNG LIMBAH BATU**

BATA TIPE MAGNESIA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR AKIBAT BEBAN TEKAN”

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, diajukan beberapa masalah pokok dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku kuat tekan beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api tipe magnesia sebagai substitusi agregat kasar.
2. Bagaimana pengaruh hubungan tegangan dan regangan pada beton yang mengandung limbah batu bata tahan api tipe magnesia sebagai substitusi agregat kasar.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis perilaku kuat tekan beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api tipe magnesia sebagai substitusi agregat kasar.
2. Mengevaluasi pengaruh hubungan tegangan dan regangan pada beton yang mengandung limbah batu bata tahan api tipe magnesia sebagai substitusi agregat kasar.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah peningkatan pengetahuan tentang perilaku kuat tekan beton dan pengaruh hubungan tegangan regangan pada beton yang menggunakan batu bata tahan api tipe magnesia sebagai substitusi agregat kasar. Oleh karena itu diharapkan penggunaan batu bata tahan api pada campuran beton nantinya dapat mengurangi penggunaan agregat alami pada campuran beton.

I.5 Ruang Lingkup

Mengingat banyak hal yang dapat mempengaruhi dalam suatu perencanaan beton, maka permasalahan dalam penulisan penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Pedoman yang dipakai sebagai acuan adalah SNI (Standar Nasional Indonesia).
2. Batu bata tahan api yang digunakan ialah batu bata tahan api tipe magnesia yang berasal dari PT. Vale Indonesia.

3. Batu pecah dari PT. Vale Indonesia digunakan sebagai agregat kasar dengan ukuran 10 – 30 mm.
4. Pasir yang digunakan adalah hasil *crushing* batu *reject*, berasal dari PT. Vale Indonesia.
5. Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland komposit (PCC).
6. Air yang digunakan adalah air yang tersedia di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
7. Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas menggunakan benda uji berbentuk Silinder dengan ukuran $D = 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ jumlah benda uji yang direncanakan adalah 48 sampel, pengujian dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.
8. Proses Perawatan (*curing*) yang dilakukan adalah *curing* air.

I.6 Sistematika Penulisan

Dalam memudahkan pembahasan hasil penelitian laboratorium tentang PERILAKU MEKANIK BETON YANG MENGANDUNG LIMBAH BATU BATA TIPE MAGNESIA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR AKIBAT BEBAN TEKAN, penulis memberikan gambaran secara garis besar dan secara ringkas sistematika penulisan hasil studi diuraikan dalam komposisi bab-bab sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini penulis akan mengemukakan uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini penulis akan mengemukakan tentang gambaran umum beton, keunggulan dan kelemahan beton, sifat karakteristik campuran pasir material penyusun beton, faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton, perencanaan adukan beton kuat tekan beton, hubungan tegangan regangan nilai modulus elastisitas dan toughness.

Bab III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini penulis akan mengemukakan tentang tinjauan umum penelitian, lokasi dan waktu penelitian, teknik pengumpulan data, bahan penelitian, alat-alat penelitian, pelaksanaan penelitian serta bagan alir penelitian.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dalam bab ini penulis akan mengemukakan tentang hasil penelitian dan mengemukakan pembahasan penelitian sifat – sifat karakteristik material dan perbandingan kuat tekan beton terhadap agregat kasar batu bata tahan api tipe magnesia.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini penulis akan menguraikan tentang kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Beton

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia ikut mendorong bertambahnya penggunaan beton sebagai material perkuatan struktur. Selain itu, teknologi beton selalu mengalami perkembangan yang lebih dinamis.

Beton adalah sebuah bahan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen potland, yang terdiri dari agregat mineral (kerikil dan pasir), semen dan air. Beton mengering pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tapi semen berhidrasi, mengelem komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti batu. Menurut Standar Nasional Indonesia SNI 2847, (2019) beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture).

1. Keunggulan Beton.
 - a. Harga murah.
 - b. Beton memiliki kuat yang tekan tinggi.
 - c. Beton menahan gaya tekan dengan baik dan tahan terhadap korosi dan kondisi lingkungan.
 - d. Beton segar dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan. Cetakan juga dapat digunakan kembali, yang lebih ekonomis.
 - e. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak atau diisi ke dalam retakan beton selama perbaikan.
 - f. Kemungkinan untuk mengganti beton segar yang memungkinkan untuk memompa beton segar yang memungkinkan untuk dituangkan ke lokasi yang sulit.
 - g. Beton tahan terhadap aus dan api, sehingga biaya perawatannya rendah.
2. Kelemahan Beton
 - a. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.

- b. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retakan-retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
- c. Untuk mendapatkan beton kedapa air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
- d. Beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi sifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa.

II.2 Sifat-Sifat Beton

Beton mempunyai karakteristik yang harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut tujuan suatu konstruksi tertentu. Pendekatan praktis yang paling baik untuk mengusahakan kesempurnaan sifat suatu beton akan berarti suatu pemborosan bilamana dipandangi dari segi ekonomi. Yang paling diharapkan dalam suatu konstruksi ialah dapat memenuhi harapan maksimal, dengan tepat mengikuti variasi sifat-sifat beton, dan tidak hanya terpaku pada suatu pandangan saja, misalnya kekuatan yang harus semaksimal mungkin.

Usaha untuk mencapai kekuatan maksimum bukan merupakan satu-satunya kriteria perencanaan, ukuran dari kuat hancur kubus atau silinder beton sebagai bahan uji mencerminkan suatu usaha untuk mempertahankan mutu standar yang seragam. Karena sifat-sifat lain dari beton pada campuran tertentu tercermin dalam kuat kubus uji, maka satu-satunya pengujian ini masih dipandang memadai dan memberikan informasi yang cukup.

II.2.1 Kuat Tekan

Menurut (SNI 1974, 2011), kuat tekan ($f'c$) beton mengacu pada besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton runtuh ketika dikenai gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh suatu tekan. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang dipikul benda uji selama pengujian dengan luas penampang rata-rata yang ditentukan.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

- $f'c$ = kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)
 P = Gaya tekan aksial (N)
 A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain.

II.2.2 Perilaku Tegangan Regangan Beton

Tegangan merupakan perbandingan antara gaya yang bekerja pada beton dengan luas penampang beton. Regangan adalah perbandingan antara luas penampang panjang (ΔL) terhadap panjang mula-mula (L) regangan dinotasikan dengan ϵ dan tidak mempunyai satuan regangan yang terjadi pada beton dinyatakan dalam persamaan 2.

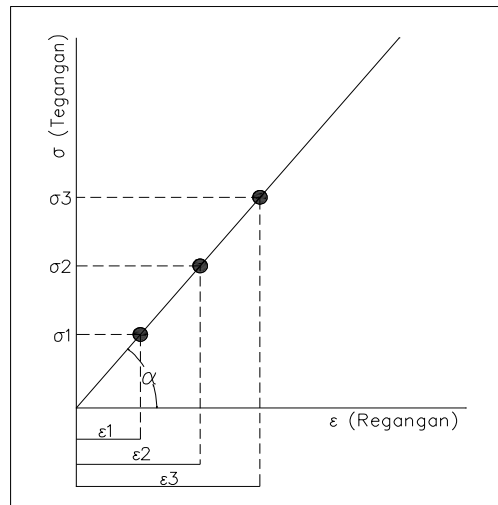
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

Dimana :

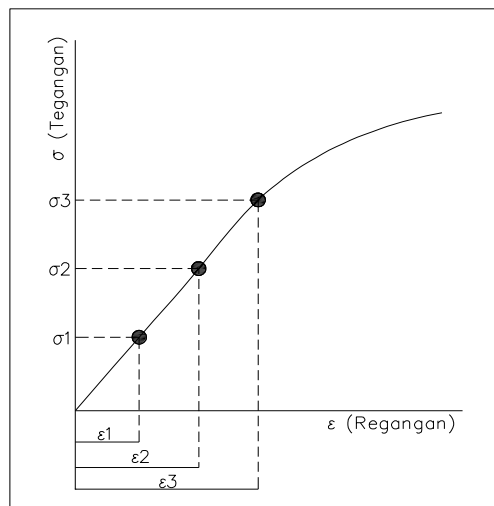
- ΔL = Perubahan panjang
 L = Panjang awal

Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamannya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis lurus sehingga terdapat kesebandingan antara hubungan tegangan. **Gambar 1** memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan linear.

Hubungan tegangan – regangan seperti yang ditunjukkan pada gambar adalah hubungan yang linear, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya. Hukum Hooke berlaku dalam keadaan ini. Akan tetapi dalam kondisi yang sebenarnya, tegangan tidak selalu berbanding lurus dengan regangan, hubungan tersebut apabila dipetakan dalam bentuk titik-titik, maka akan berbentuk seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Hubungan tegangan dan regangan linear



Gambar 2. Hubungan tegangan regangan non linear

II.2.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan rasio tegangan terhadap regangan dibawah batas proposional material. Proporsi campuran beton yang digunakan turut mempengaruhi nilai modulus elastisitas yang diperoleh. Nilai modulus elastisitas turut dipengaruhi oleh proporsi campuran, rasio dari agregat kasar dan halus, kualitas material yang digunakan, rasio air dan semen, suhu, serta perawatan beton menurut Baradaran-Nasiri dan Nematzadeh, (2017).

Nilai modulus elastisitas dari beton dapat diperoleh dari hasil pengujian dilaboratorium menggunakan alat compressometer yang dipasang pada benda uji beton

silinder. Berdasarkan ASTM C469, (2014) nilai modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,000050} \quad (3)$$

Keterangan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Tegangan pada saat 40% dari beban maksimum beton (MPa)

S_1 = Tegangan pada saat regangan mencapai $\varepsilon_1 = 0,000050$ (MPa)

ε_1 = Regangan yang dihasilkan pada saat S_2

Selain itu, nilai modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan rumus empiric yang diberikan dalam SNI 2847 (2019), yaitu sebagai berikut :

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} \quad (4)$$

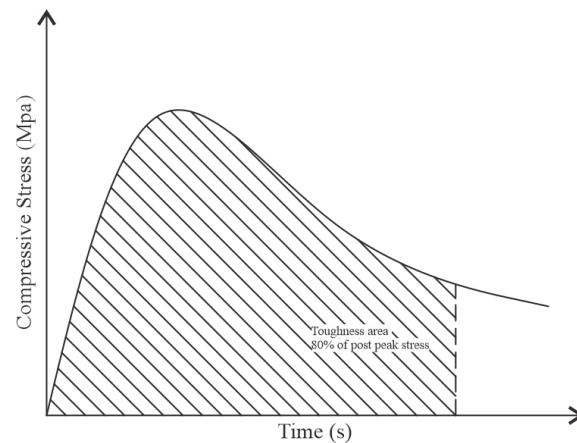
Keterangan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

II.2.4 Toughness

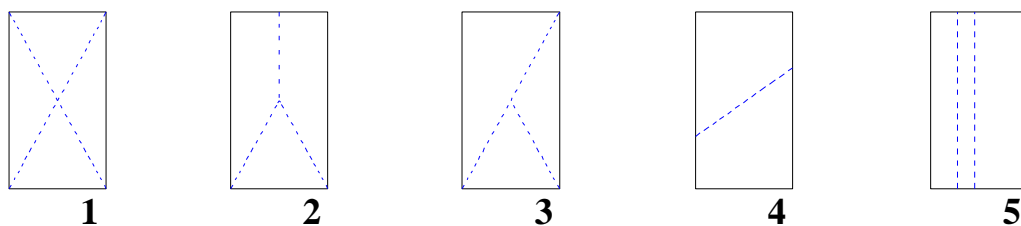
Toughness adalah suatu ukuran kapasitas penyerapan energi suatu material selama pembebanan dan digunakan untuk mengkarakterisasi potensi material untuk menahan fraktur. Nilai toughness benda uji beton dihitung sebagai area yang berada dibawah kurva tegangan – regangan sampai 80% dari tegangan pasca puncak (Irmawaty *et al.*, (2023) ; Meddah, Zitouni and Belâabes, (2010) ; Munir *et al.*, (2020) ; Yan *et al.*, (2022). Area perhitungan toughness ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Area ketangguhan di bawah kurva tegangan – regangan

II.2.5 Pola Retak Beton

Retak yang terjadi pada struktur beton, dapat diartikan sebagai suatu kondisi dimana terjadi pecah atau pemisahan pada suatu struktur, yang tidak menyebabkan terjadinya sebuah keruntuhan. Retak berdasarkan jenis polanya, menurut SNI 1974 (2011) terdapat lima jenis pola keretakan atau kehancuran pada beton, yaitu kehancuran kerucut, kehancuran kerucut dan belah, kehancuran kerucut dan geser, kehancuran geser, kehancuran sejajar sumbu tegak atau kolumnar. Kelima jenis pola retak ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 1 Pola retak atau kehancuran pada benda uji beton

Dengan keterangan:

- 1 Bentuk kehancuran kerucut
- 2 Bentuk kehancuran kerucut dan belah
- 3 Bentuk kehancuran kerucut dan geser
- 4 Bentuk kehancuran geser
- 5 Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)

II.2.6 Model Eksisting Kurva Hubungan Tegangan Regangan Beton

Untuk mengevaluasi hubungan tegangan regangan, terdapat pada dua model eksisting yang dapat digunakan pada beton, yaitu model eksisting Popovic dan model eksisting Carreira & Chu. Menurut Popovics (1973), hubungan tegangan regangan dapat diprediksi dengan menggunakan rumus berikut :

$$\sigma = f'c \beta \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right) / \left[\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^\beta\right] \quad (5)$$

$$\beta = 1 + 0.058f'c \quad (6)$$

$$\varepsilon_0 = 735(f'c)^{0.25} \times 10^{-6} \quad (7)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan (mm/mm)

ε_0 = Regangan prediksi (mm/mm)

Sedangkan menurut Carreira and Kuang-Han Chu, (1985) hubungan tegangan regangan beton dapat diprediksi dengan menggunakan rumus berikut :

$$\sigma = f'c \beta \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right) / \left[\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^\beta\right] \quad (8)$$

$$\beta = 1/[1 - (f'c/(\varepsilon_0 E_{it}))] \quad (9)$$

$$E_{it} = 0.073\rho^{1.51}(f'c)^{0.3} \quad (10)$$

$$\varepsilon_0 = (1680 + 7.1f'c) \times 10^{-6} \quad (11)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan (mm/mm)

ρ = Berat jenis beton (kg/m^3)

Pada penelitian ini, regangan yang digunakan dalam satuan μ atau μ *strain*. Sehingga pada perhitungan regangan prediksi tidak dikalikan dengan 10^{-6} melainkan menjadi 10^6 .

II.3 Material Pembentukan Beton

Untuk memahami dan mempelajari seluruh perilaku elemen gabungan diperlukan pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen. Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentukannya. Dengan demikian perlu dibicarakan fungsi dari masing-masing komponen tersebut sebelum mempelajari beton secara keseluruhannya.

II.3.1 Semen

Semen berasal dari kata *Caementum* yang berarti bahan perekat yang mampu mempesatkan atau mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kokoh atau suatu produk yang mempunyai fungsi sebagai bahan perekat antara dua atau lebih bahan sehingga, menjadi suatu bagian yang kompak atau dalam pengertian yang luas adalah material plastis yang memberikan sifat rekat antara batuan-batuan konstruksi bangunan.

Usaha untuk membuat semen pertama kali dilakukan dengan cara membakar batu kapur dan tanah liat. Joseph Aspadain yang merupakan orang inggris, pada tahun 1824 mencoba membuat semen dari kalsinasi campuran batu kapur dengan tanah liat yang telah dihaluskan, digiling, dan dibakar menjadi lelehan dalam tungku, sehingga terjadi penguraian batu kapur (CaCO_3) menjadi batu tohor (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Batu kapur tohor (CaO) bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk klinker kemudian digiling sampai menjadi tepung yang kemudian dikenal dengan Portland. Semen Portland menurut (SNI 15-2049, 2015) adalah semen hidrolis dengan menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Jenis dan penggunaannya adalah sebagai berikut :

- a. Tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Tipe II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

- c. Tipe III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Semen tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe II yang memiliki kadar C3A tidak lebih dari 8% digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa. Semen tipe III, memiliki kadar C3A serta C3S yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (winter season). Semen tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C3S nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C3A nya maksimum 5%. Semen tipe V digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam presentase yang tinggi total alkali yang terkandung dalam semen dalam campuran beton harus dibatasi sekitar 0.5% - 0.6% Stanton, (1940).

II.3.2 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya kekuatan beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Persyaratan agregat kasar adalah agregat batuan yang ukuran butirnya lebih besar 4,75mm dan agregat halus adalah

batuan yang lebih kecil dari 4,75 mm. untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat yang mempunyai kualitas agregat yang baik pula, agregat yang baik dalam pembuatan beton harus memenuhi persyaratan, yaitu menurut (SNI 2847, 2013). Agregat memiliki dua jenis yaitu :

1. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5mm, menurut (SNI 2847, 2013).

Syarat-syarat agregat halus (pasir) sebagai bahan material pembuatan beton sesuai dengan (ASTM C 33) adalah :

1. Material dari bahan alami dengan kekasaran permukaan yang optimal sehingga kuat tekan beton besar.
2. Butiran tajam, keras awet (*duracble*) dan tidak bereaksi dengan material lainnya.
3. Berat jenis agregat tinggi yang berarti agregat padat sehingga beton yang dihasilkan padat dan awet.
4. Gradasi sesuai spesifikasi dan hindari *gap graded aggregate* akan membutuhkan semen lebih banyak untuk mengisi rongga.
5. Bentuk yang baik adalah bulat, karena akan saling mengisi rongga dan jika ada bentuk yang pipih dan lonjong dibatasi maksimal 15% berat total agregat.
6. Kadar lumpur agregat tidak lebih dari 5% terhadap berat kering karena akan berpengaruh pada kuat tekan beton.

Syarat-syarat gradasi agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Syarat-syarat gradasi agregat halus (ASTM C C.33-97)

Ukuran saringan (mm)	Presentasi Lolos Saringan (%)
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	55 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	2 – 10

2. Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan dan sifat-sifat struktural beton. Oleh karena itu, agregat kasar bebas dari retakan atau bidang-bidang yang lemah, bersih dan permukaannya tidak tertutupi oleh lapisan. Selain itu, sifat-sifat agregat kasar juga memengaruhi lekatan antara agregat-mortar dan kebutuhan air pencampur. Agregat yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki potensial untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi.

Syarat – syarat agregat kasar menurut ASTM C 33 adalah :

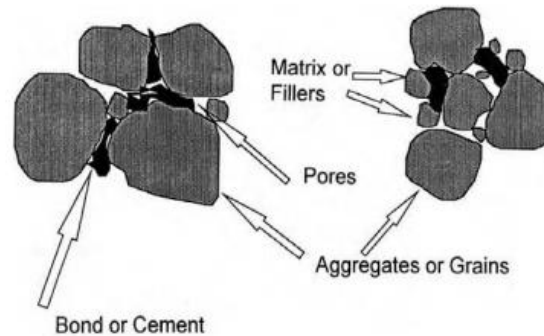
1. Agregat kasar yang akan dipergunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup untuk menimbulkan pemuaihan yang berlebihan didalam mortar atau beton.
2. Kerikil atau batu pecah harus terdiri dari butir – butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal. Agregat yang mengandung butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir – butir tersebut melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan – bahan yang dapat merusak beton seperti bahan- bahan yang reaktif sekali dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan NaOH.
4. Sifat kekal di uji dengan larutan jenuh Garam – Sulfat :
 Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12% berat agregat.
 Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12% berat agregat.
5. Kekerasan dari agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan penguji 20 ton dan harus memenuhi syarat –syarat berikut :
 Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22% berat.
6. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1% agregat kasar tersebut harus dicuci.

7. Butir – butir agregat kasar maksimum tidak boleh lebih daripada $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ dari tebal pelat atau $3/4$ dari jarak bersih minimum antara batang –batang atau berkas tulangan.
8. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila di ayak dengan menggunakan ayakan standar ISO harus memenuhi persyaratan.

II.3.3 Batu Bata Tahan Api (*Refractory Brick*) Tipe Magnesita

Bahan baku refraktori magnesita adalah magnesium oksida. Magnesium oksida memiliki titik leleh yang sangat tinggi sekitar 2800°C Schacht, (2004). Beberapa bahan baku produk refraktori dapat digunakan secara langsung, sebagian dapat diubah dari endapan alami atau diproduksi secara sintesis dengan berbagai kombinasi proses kimia dan perlakuan panas. Jika perlakuan panasnya ringan ($900-1300^{\circ}\text{C}$), bahan bakunya digambarkan sebagai dikalsinasi, jika perlakuan panasnya lebih kuat ($1500-2200^{\circ}\text{C}$), maka bahan mentah tersebut digambarkan sebagai disinter (bahan terbakar mati termasuk dalam kelompok ini), jika perlakuan panas berlanjut ke keadaan cair (misalnya untuk MgO, lebih dari 2800°C) maka bahan baku dikatakan tergabung atau menyatu. Secara umum, setiap refraktori terdiri dari empat elemen struktural utama yang ditampilkan pada **Gambar 5**.

1. Komponen utama dari refraktori diberi nama butiran atau agregat; komponen ini terdiri dari bahan mentah yang berukuran besar sekitar $200\mu\text{m}$ dan 70% beratnya merupakan produk bahan tahan api. Beberapa ukuran agregat yang digradasi dengan hati-hati digunakan untuk membangun tekstur produk yang padat.
2. Matriks atau bahan pengisi yang lebih kecil dari $150\mu\text{m}$ kemudian digunakan untuk mengemas ruang diantara agregat yang terisi.
3. Istilah pengikat, ikatan atau semen digunakan untuk menggambarkan struktural unit yang mengikat material agregat dan bahan matriks untuk membentuk kekuatan refraktori.
4. Terdapat ruang kosong didalam refraktori dan volume terbuka yang disebut dengan pori-pori.



Gambar 5. Skema empat elemen tekstur refraktori dan hubungannya masing-masing.

Klasifikasi refraktori berdasarkan senyawa penyusunnya ada tiga jenis yaitu jenis asam, netral dan basa. Pada penelitian digunakan *refractory brick* tipe magnesita yang termasuk kedalam refraktori jenis basa, bahan baku refraktori jenis magnesita dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Bahan baku *Refractory Brick* tipe magnesita

Magnesite ($MgCO_3$)	Magnesite berkristal sangat halus merupakan perwujudan dari Serpentine $\{Mg_3Si_2O_5(OH)_4\}$, Talc $\{Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2\}$, Olivin $\{(Mg,Fe)_2SiO_4\}$ Magnesite berkristal kasar merupakan hasil metamorfosa batuan kapur yang mengandung Mg.
Brucite ($MgO.H_2O$)	Merupakan ubahan dari serpentine.
Air laut	Mengandung $MgO \leq 8\%$.
Periclase (MgO)	Titik lebur $\sim 2300^\circ C$
Dolomite- $CaMg(CO_3)_2$	Ubahan dari batu kapur, Titik lebur $1650^\circ C$ Tahan terhadap slag besi dan kapur
Forsiterite ($MgO.SiO_2$)	Hasil ubahan dari batuan basa-ultra basa (dunite, peridotite, serpentinite) Kekuatan pada suhu tinggi bagus, Titik lebur : $1730 - 1920^\circ C$.
Chromite (Cr_2O_3)	Hasil ubahan dari peridotite dan serpentinite. Kekuatan pada suhu tinggi bagus, Titik lebur $> 1900^\circ C$. Tahan terhadap slag basa.

Batu bata tahan api adalah material yang mempertahankan sifat-sifatnya yang berguna dalam kondisi yang sangat berat karena temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan yang korosif. Batu bata tahan api dibuat dari berbagai jenis material terutama keramik yang mana termaksud bahan-bahan seperti alumina, lempung (*clay*), magnesita chromit, silikon karbida dan lainnya. Beberapa sifat dari batu bata tahan api (*Refractory Brick*) ialah sebagai berikut.

1. Tahan terhadap suhu tinggi
2. Tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak
3. Tahan terhadap lelehan terak logam, kaca, dan gas panas
4. Tahan terhadap beban dan gaya abrasi
5. Menghemat panas
6. Memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah
7. Tidak boleh mencemari bahan yang bersinggungan

Beberapa sifat fisik dari batu bata tahan api ini sebagai berikut.

1. Titik leleh
2. Porositas
3. Kekuatan terhadap panas dan dingin
4. Ekspansi thermal
5. Konduktivitas panas
6. Sintering temperature
7. Susut

Batu bata tahan api (*Refractory Brick*) adalah bahan keramik yang dirancang untuk menahan berbagai kondisi layanan yang parah, termasuk suhu tinggi, cairan dan gas korosif, abrasi dan tekanan yang disebabkan oleh mekanik termal. Batu bata tahan api digunakan oleh berbagai perusahaan, termasuk produsen logam, keramik, semen dan kaca Fang, Smith and Peaslee, (1999). Menurut ketahanannya terhadap temperatur pembagian dari *Refractory*, yaitu sebagai berikut.

1. *Refractory* biasa (1580°C – 1770°C)
2. *Refractory* tinggi (1780°C – 2000°C)
3. *Refractory* super (>2000°C)

Beberapa jenis *Refractory* sebagai berikut.

Tabel 3. Jenis batu bata tahan api (*Refractory Brick*)

Acid	Basic	Neutral	Special
Fire Brick	Magnesite	Choromite	Pure Alumina
Semi Silica	Dolomite	Carbon	Zirconthoria
Silika	Chrome Magneite	Grafit	Spinel
	Forsterite	Silicon Carbide	Boran Nitride

Adapun perbedaan batu bata tahan api dan batu bata biasa disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4. Perbedaan batu bata dan batu bata tahan api

Batu Bata	Batu Bata Tahan Api
Dibakar pada suhu 920°C – 1020°C	Dibakar pada suhu 1500°C – 1750°C
Penggunaan pada konstruksi bangunan rumah permukiman seperti dinding, atap maupun lantai	Penggunaan pada konstruksi bangunan pabrik dan bangunan yang sering terpapar reaksi kimia dan bersuhu tinggi
Tanah liat dengan penambahan pasir atau abu (sekam)	Tanah liat dan penambahan silica dan unsur lain seperti Calcium Oxide, Magnesium, Besi dan lain - lain
Berwarna merah kecoklatan	Berwarna putih kekuningan

II.3.4 Air

Salah satu bahan penting pembuatan beton adalah air. Air sangat diperlukan pada saat pembuatan beton untuk membantu memicu reaksi kimia pada semen, air berfungsi membasahi agregat sehingga memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Oleh karena itu, air sangat diperlukan untuk memulai reaksi pada semen, serta sebagai bahan pelumas antar butir-butir pada agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air yang dapat diminum pada umumnya bisa digunakan sebagai campuran beton. Air yang digunakan sebagai campuran haruslah bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak struktur pada beton. Dan bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas pada beton, bahkan dapat mengubah sifat dari beton yang dihasilkan. Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan (PBI 1971) :

1. Tidak mengandung Lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

Menurut (SNI 03 - 2847 - 2002) bahwa air dapat digunakan pada campuran beton haruslah memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Pada campuran beton Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari bahan – bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik atau bahan – bahan lainnya yang dapat merugikan beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang dapat digunakan pada beton prategang atau dalam beton yang tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang bisa membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh dipergunakan pada beton pada pembuatan beton, kecuali : - Pemilihan proporsi campuran pada beton harus didasarkan dengan campuran beton yang menggunakan dari air sumber yang sama.

II.4 Penelitian Relavan

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan berbagai referensi yang berkaitan dengan pokok bahasan yang sedang dibahas. Penggunaan referensi dimaksudkan untuk memberikan batasan system yang nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut, mengacu pada referensi yang digunakan, diharapkan pengembangan system nantinya dapat menghasilkan system baru yang belum ada pada referensi sebelumnya.

Baradaran-Nasiri dan Nematzadeh, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh temperature tinggi terhadap sifat mekanik beton agregat bata tahan api dan semen aluminat. Pada penelitian ini digunakan agregat yang dibuat dengan menghancurkan batu bata tahan api. Kemudian dibuat 210 benda uji dengan rasio penggantian 0, 25, 50, 75 dan 100% agregat halus bata tahan api sebagai pengganti pasir alam. Benda uji dibuat dalam dua kelas, yaitu benda uji yang mengandung semen Portland biasa dan yang mengandung semen kalsium aluminat. Sifat fisik-mekanis benda uji beton meliputi kuat tekan, modulus elastisitas dan kehilangan berat beton setelah dipaparkan pada suhu 110°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C dan 1000°C serta porositasnya. Penyerapan air, dan kepadatan beton sebelum mengalami kebakaran diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat bata tahan api dan semen aluminat

meningkatkan kekuatan sisa beton sebanyak dua kali lipat pada suhu di atas 800°C. selain itu, pengaruh penggunaan agregat halus bata tahan api yang dikombinasikan dengan dengan semen aluminat terhadap peningkatan modulus elastisitas beton yang dibakar tidak signifikan. Kemudian porositas, penyerapan air dan kepadatan beton sebelum mengalami kebakaran juga diteliti.

Dabbaghi *et al.*, (2021) Studi eksperimental ini menyelidiki perilaku tekan beton ringan setelah terpapar suhu tinggi. Secara keseluruhan, 240 sampel dari 30 campuran yang berbeda disiapkan dan diuji untuk mengevaluasi kuat tekan, modulus elastisitas, regangan pada tegangan puncak, dan hubungan tegangan-regangan beton agregat ringan (LWAC) setelah terpapar suhu tinggi 250, 500, dan 750 C. Variabel pengujian terdiri dari kandungan semen yang bervariasi antara 300 dan 700 kg/m³ volumetrik persentase agregat tanah liat ringan yang diperluas (Leca) yang menggantikan pasir dan kerikil alami pada 0, 25, 50, 75, dan 100% (berat), silica fume yang menggantikan semen pada 5, 7,5, 10, 12,5, dan 15% (berat) dan rasio air terhadap semen yang berbeda yaitu 0,250, 0,313, 0,375, 0,438, dan 0,500. Kekuatan tekan, elastis modulus elastisitas, dan regangan pada tegangan maksimum dibandingkan dengan prediksi dari Amerika dan Eropa dan model analitis yang diusulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan kuat tekan dan modulus elastisitas LWAC menurun dengan meningkatnya suhu. Sampel S6, S4 dan S23 berkinerja lebih baik dibandingkan dengan spesimen lain pada suhu tinggi karena mereka mempertahankan sekitar 96%, 75% dan 42% dari kuat tekan, masing-masing setelah terpapar 250, 500 dan 750 C. Lebih tinggi kekuatan tekan sisa diamati pada sampel termasuk 75% Leca pada 750 C. Hubungan tegangan-regangan eksperimental diverifikasi sesuai dengan model analitik yang tersedia dan model analitik model analitis diusulkan untuk memperkirakan perilaku tekan LWAC pada suhu tinggi.

Debieb dan Kenai, (2008) meneliti tentang kemungkinan penggunaan batu bata pecah sebagai agregat kasar dan halus untuk pembuatan beton. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan agregat alami (kasar, halus ataupun keduanya) yang beratnya disubstitusi dengan batu bata pecah yaitu 0, 25, 50, 75, atau 100%. Kuat tekan dan kuat lentur pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari dievaluasi dan dibandingkan dengan beton yang terbuat dari agregat alami. Penyerapan air Porositas, penyusutan, dan permeabilitas juga

diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembuatan beton menggunakan batu bata pecah baik sebagai agregat kasar maupun agregat halus mungkin untuk dilakukan, karena karakteristik beton menggunakan variasi batu bata pecah sebagai agregat kasar, maupun halus mirip dengan beton yang terbuat dari agregat alami, dengan ketentuan persentase penggunaan agregat batu bata pecah dibatasi masing – masing 25% untuk agregat kasar, dan 50% untuk agregat halus.

González-Fonteboa *et al.*, (2011), penelitian mengevaluasi kemungkinan mengukur kerusakan beton daur ulang. Dengan cara ini, dirancang dua beton konvensional dengan rasio w/c 0,55 dan 0,65. Berdasarkan hal tersebut diperoleh enam beton daur ulang dengan persentase penggantian agregat kasar daur ulang (20, 50 dan 100%). Untuk memperhitungkan kapasitas penyerapan yang tinggi dari agregat daur ulang, sebelum digunakan agregat tersebut dibasahi terlebih dahulu selama 10 menit. Hasilnya menyimpulkan bahwa mekanika kerusakan skalar (berdasarkan variasi modulus elastisitas) dan kurva regangan volumetrik dapat digunakan untuk mengukur kerusakan beton daur ulang. Hasil dari kedua pendekatan tersebut menunjukkan bahwa kerusakan beton bergantung pada persentase penggantian, dan semakin meningkat seiring dengan semakin tingginya persentase penggantian. Selain itu, nilai-nilai kerusakan yang diukur menggunakan tegangan kritis dan menurut mekanisme kerusakan skalar, diberikan.

Khatab and Hachemi, (2020) melakukan studi eksperimental tentang pengaruh peningkatan suhu terhadap sifat fisik dan mekanik beton yang dibuat dengan substitusi 20% limbah batu bata tahan api (RBA) terhadap agregat kasar alami (NCA), dan dibandingkan dengan beton konvensional yang terbuat dari 100% NCA. Penelitian ini menggunakan dua tipe RBA yaitu RBA yang telah digunakan dan RBA yang belum digunakan dengan tiga variasi rasio air/semén (w/c) yaitu 0,59, 0,47, dan 0,38 untuk pembuatan campuran beton. Spesimen dipanaskan dengan laju 30C/menit dari 200C hingga 800C kemudian dipertahankan selama 1 jam saat memperoleh suhu yang diinginkan, dan didinginkan sampai mencapai suhu kamar. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah kuat tekan, ultrasonic pulse velocity, modulus elastisitas dinamis, kepadatan, kehilangan berat, porositas, perubahan volume, dan tingkat kerusakan sebelum dan sesudah dilakukannya pemanasan. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa penggunaan RBA merupakan alternatif potensial untuk menggantikan NCA dalam campuran beton, serta penggunaan 20% RBA sebagai NCA dapat membantu mempertahankan sifat – sifat beton setelah dilakukan pemanasan.

Hchemi, Khattab and Benzetta, (2022) melakukan penelitian eksperimental terkait penggunaan limbah batu bata tahan api (RBA) sebagai substitusi agregat kasar dan halus menggantikan agregat alam (NA). Penelitian ini menggunakan dua campuran beton, variasi pertama terbuat dari NA kasar dan halus yang berperan sebagai beton referensi, variasi kedua terbuat dari 20% NA kasar dan halus dengan RBA. Setiap variasi menggunakan tiga jenis dosis semen yaitu 350 kg/m³ , 400 kg/m³ , dan 450 kg/m³ . Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini berupa kuat tekan, ultrasonic pulse velocity, kepadatan, dan porositas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan RBA sebagai substitusi agregat kasar dan halus dalam campuran beton turut meningkatkan nilai kuat tekan, sedangkan untuk kepadatan beton nilai yang diperoleh sedikit menurun, serta terhadap ultrasonic pulse velocity dan porositas RBA memberikan pengaruh yang relatif. Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan RBA sebagai agregat kasar dan halus dalam campuran beton menghasilkan karakteristik yang dapat diterima.

Cachim, (2009) penelitian mengevaluasi sifat-sifat beton yang dibuat dengan batu bata yang dihancurkan menggantikan agregat alami. Dua jenis batu bata diselidiki. Batu bata dihancurkan untuk mendapatkan agregat yang dapat digunakan, sifat-sifat yang diteliti adalah workability dan densitas beton segar, kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas dan perilaku tegangan regangan beton keras. Rasio pergantian agregat alami sebesar 15% dan 30% diselidiki serta rasio air semen 0,45 dan 0,5. Indeks kekuatan digunakan untuk menilai eektivitas penggantian agregat. Hasil beton yang diproduksi dengan agregat daur ulang dibandingkan dengan beton acuan yang diproduksi dengan agregat batu kapur alami yang saat ini digunakan diportugal. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sisa keramik dapat digunakan sebagai pengganti agregat alam pada beton tanpa pengurangan sifat beton tanpa pengurangan sifat beton untuk penggantian 15% dan pengurangan hingga 20% untuk penggantian 30%. Jenis dan proses pembuatan batu bata tampaknya mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan, sifat dan estetika beton dengan batu bata menunjukkan kemungkinan

penggunaan beton jenis ini dalam aplikasi pracetak. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sisa keramik dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat alam pada beton tanpa pengurangan sifat beton untuk penggantian 15% dan dengan pengurangan hingga 20% untuk penggantian 30%, jenis dan proses pembuatan batu bata tampaknya mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan. Sifat dan estetika beton dengan batu bata menunjukkan kemungkinan penggunaan beton jenis ini dalam aplikasi pracetak. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sisa keramik dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat alam pada beton tanpa pengurangan sifat beton untuk penggantian 15% dan dengan pengurangan hingga 20% untuk penggantian 30%, jenis dan proses pembuatan batu bata tampaknya mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan, sifat dan estetika beton batu menunjukkan kemungkinan penggunaan beton jenis ini dalam aplikasi pracetak.