

TESIS

**PERILAKU BETON YANG MENGGUNAKAN LIMBAH BATU
BATA TAHAN API TIPE ALUMINA SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT KASAR DIBAWAH PENGUJIAN KUAT TARIK**

*Behavior of concrete using alumina firebrick waste as a
replacement for coarse aggregate Indirect tensile strength testing*

**HASNIAR
D012221022**



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

PENGAJUAN TESIS

PERILAKU BETON YANG MENGGUNAKAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE ALUMINA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR DIBAWAH PENGUJIAN KUAT TARIK

Tesis

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

Disusun dan diajukan oleh

**HASNIAR
D012221022**

Kepada

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

TESIS**PERILAKU BETON YANG MENGGUNAKAN
LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE ALUMINA
SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR
DIBAWAH PENGUJIAN KUAT TARIK****HASNIAR
D012221022**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 April 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



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

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 : Hasniar
Nomor mahasiswa : D012221022
Program studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Perilaku Beton Yang Menggunakan Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Alumina Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dibawah Pengujian Kuat Tarik" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng dan Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, 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 ("*Highlighting the Tensile Stress-Time History Relationship and Porosity of Eco-Friendly Concrete Produced with Demolished Silika Alumina Ferrite Refractory Bricks*")

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

Gowa, 02 Mei 2024

Yang menvatakan,



HASNIAR

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 **“DURABILITAS BETON DENGAN DAUR ULANG LIMBAH BATU BATA TAHAN API SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR”** 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. **Dr. Eng. M. Akbar Caronge, 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. **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
5. **Prof.Dr.Ir.Abd. Rachman Djamaluddin, MT, Prof.Dr.Eng.Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT, Dr. Eng. Fakhruddin, ST., M.Eng** 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. Orangtuaku yang tercinta dan sangat kusayangi, serta saudara-saudariku. Terima kasih untuk dukungan, semangat, dan doa,yang turut membantu dalam penyelesaian tesis ini
9. **Teman-teman laboratorium riset *eco-material***, laboran laboratorium struktur & bahan.
10. Teman – teman **angkatan 20221** terkhusus magister KKD struktur yang telah memberikan dukungan dan dorongan selama masa studi.

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, 02 Mei 2024
Penulis,

Hasniar

ABSTRAK

Hasniar. Perilaku Beton Yang Menggunakan Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Alumina Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dibawah Pengujian Kuat Tarik (dibimbing oleh **Akbar Caronge dan M. Wihardi Tjaronge**)

Penelitian eksperimental ini membahas tentang penggunaan batu bata tahan api tipe alumina (RB) dari hasil pembongkaran dinding tungku pembakaran menjadi alternatif sebagai pengganti agregat kasar alami dalam produksi beton ramah lingkungan. Untuk tujuan ini, delapan campuran beton dibuat menggunakan dua mutu w/c, yaitu 0.52 dan 0.49, dengan masing-masing mutu w/c mengakomodasi RB sebesar 0%, 15%, 30%, dan 50 % dengan target mutu ($f'c = 21$ MPa, $f'c = 25$ MPa) sebagai pengganti agregat kasar alami dalam produksi beton. Penelitian ini mengevaluasi kuat tarik, hubungan beban terhadap waktu dari beton dengan pengakomodiran RB. Selain itu, semua fase dalam rasio berat terhadap waktu, dan daya tahan menurun seiring dengan meningkatnya pengakomodiran RB dalam campuran beton. Hasil uji menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan RB memberikan kontribusi positif terhadap nilai slump dan tidak mengubah pola perilaku kurva hubungan beban dan waktu beton. Penggunaan RB tidak memberikan pengaruh khusus terhadap pola retak, dan analisis mikrostruktur ITZ menunjukkan bahwa RB dapat melekat dengan baik pada matriks semen. Berdasarkan bukti eksperimental, penggantian agregat kasar dengan 15% RB menunjukkan perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan beton normal, sehingga penggunaan 15% RB sebagai pengganti agregat kasar merupakan pilihan yang dapat diterima dan layak untuk produksi beton berkelanjutan.

Kata kunci: Beton, Agregat Batu Bata Tahan Api (RB), Kuat Tarik, Beton Berkelanjutan.

ABSTRACT

Hasniar. *Behavior of concrete using alumina firebrick waste as a replacement for coarse aggregate under tensile strength testing* (supervised by **Akbar Caronge and M. Wihardi Tjaronge**)

This experimental research discusses the use of alumina type refractory bricks (RB) from the demolition of kiln walls as an alternative to replace natural coarse aggregate in environmentally friendly concrete production. For this purpose, eight concrete mixtures were made using two w/c ratios, namely 0.52 and 0.49, with each w/c ratio accommodating RB at 0%, 15%, 30%, and 50%, with quality targets ($f'_c = 21$ MPa, $f'_c = 25$ MPa) as substitutes for natural coarse aggregate in concrete production. This study evaluates the tensile strength, load versus time relationship of concrete with RB accommodation. Additionally, all phases in the weight-to-time ratio, and durability decrease with increasing RB accommodation in the concrete mix. The test results show that increasing the use of RB in concrete production makes a positive contribution to the slump value and does not change the behavioral pattern of developing the load and time relationship curve of concrete. Furthermore, the use of RB does not have a specific effect on crack patterns, and microstructure analysis of the ITZ indicates that RB material can adhere well to the cement matrix. Based on experimental evidence, the replacement of coarse aggregate with RB affects the performance of concrete. However, the 15% RB substitution shows a value difference that is not too significant compared to normal concrete. Thus, the use of 15% RB as a substitute for coarse aggregate is an acceptable and feasible option for sustainable concrete production.

Keywords: Concrete, Refractory Brick Aggregate (RB), Tensile Strength, Sustainable Concrete.

DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK (BAHASA INDONESIA)	vii
ABSTRAK (BAHASA INGGRIS).....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian.....	3
I.5 Ruang Lingkup	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Beton	5
II.2 Bahan Penyusun Beton.....	6
II.2.1 Semen portland.....	6
II.2.2 Semen portland komposit (PCC).....	7
II.2.3 Air.....	8
II.2.4 Agregat halus.....	8
II.2.5 Agregat kasar.....	9
II.2.6 Batu bata tahan api atau <i>refractory brick</i> (RB)	10
II.3 Sifat Mekanis Beton	11
II.3.1 Kuat tarik beton	11
II.3.2 Toughness	12
II.4 Penelitian Terdahulu	12

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	16
III.1 Tahapan Penelitian	16
III.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	18
III.3 Jenis dan Sumber Penelitian.....	18
III.4 Alat dan Bahan Penelitian	18
III.4.1 Alat	18
III.4.2 Bahan.....	19
III.5 Pemeriksaan Karakteristik Material	20
III.6 Rancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	20
III.7 Pembuatan Benda Uji.....	21
III.8 Pemeriksaan <i>Slump Test</i> pada Beton.....	22
III.9 Perawatan Benda Uji	23
III.10 Pengujian Benda Uji.....	24
III.10.1 Pengujian kuat tarik beton silinder.....	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
IV.1 Karakteristik Material	25
IV.2 Slump Beton.....	26
IV.3 Kuat Tarik Beton.....	28
IV.4 Hubungan Beban dan Waktu.....	30
IV.5 Waktu Untuk Mencapai Beban Elastis Beton	32
IV.6 Waktu Untuk Mencapai Beban Puncak	34
IV.7 Waktu Untuk Mencapai Beban Ultimit	34
IV.8 Nilai Toughness Index Beton	35
IV.9 Analisis Mikrostruktur ITZ	37
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	40
V.1 Kesimpulan.....	40
V.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1. Batas – batas dari gradasi agregat halus.....	9
Tabel 2. Batas – batas dari gradasi agregat kasar.....	10
Tabel 3. Standar rujukan pemeriksaan karakteristik agregat.....	20
Tabel 4. Rancangan campuran beton (<i>mix design</i>).....	21
Tabel 5. Tabel identifikasi benda uji beton	22
Tabel 6. Karakteristik fisik agregat kasar batu pecah.....	25
Tabel 7. Karakteristik fisik agregat kasar limbah batu bata tahan api (RB) tipe alumina.....	25
Tabel 8. Karakteristik fisik agregat halus.....	25
Tabel 9. Analisis Nilai Toughness Index	36

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Singkatan/symbol	Arti dan keterangan
RB	= limbah batu bata tahan api atau <i>refractory brick</i>
w/c	= rasio air/semen
PCC	= <i>portland composite cement</i>
fr	= Kuat tarik beton (MPa atau N/mm ²)
P	= beban pada waktu belah (N)
L	= Panjang benda uji silinder (mm)
D	= Diameter benda uji siliner (mm)
UTM	= <i>universal testing machine</i>
SNI	= standar nasional indonesia
ASTM	= <i>american society for testing and materials</i>
NC	= beton kontrol
SEM	= <i>scanning electron microscopy</i>
ITZ	= <i>interfacial transition zone</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu konstruksi yang telah umum digunakan dengan mencampur air, semen, agregat kasar, agregat halus dan bahan campuran tambahan jika diperlukan, adalah komponen penyusun utama beton. Pada umumnya proporsi agregat dalam campuran beton yang diproduksi sekitar 60 – 75% dari volume keseluruhan, dengan proporsi agregat kasar sekitar 45% (Meddah et al., 2010, Cachim, 2009). Setiap tahun, sekitar 13.12 miliar ton agregat alami digunakan secara global (Mohammed et al., 2015). Tingginya persentase agregat pada komposisi campuran beton, menunjukkan bahwa kebutuhan bahan penyusun beton yaitu agregat alami juga tinggi, yang apabila dieksploitasi secara terus - menerus, maka akan terjadi kelangkaan serta akan berdampak terhadap kerusakan lingkungan.

Salah satu hal yang bisa dilakukan yaitu memanfaatkan kembali limbah dari industri yang memungkinkan dapat digunakan sebagai salah satu material penyusun dari beton. Dari segi ekonomis dapat dikatakan bahwa limbah tersebut tidak ada nilainya, akan tetapi jika limbah tersebut digunakan dalam campuran beton maka akan memberikan dampak positif yaitu dapat mengganti material alam dalam campuran beton dan mengurangi pencemaran lingkungan (Katz, 2003). Selain jenis limbah tersebut, Caronge et al., (2017) menemukan bahwa limbah padat dari teh dengan penggunaan sampai 10% sebagai pengganti semen dalam produksi beton berkelanjutan, menghasilkan kekuatan yang mirip dengan beton kontrol yang menggunakan semen Portland.

Batu bata tahan api atau *refractory brick* merupakan bahan padat dan keras yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan fungsi mekanisnya dalam jangka waktu tertentu pada berbagai kondisi termasuk di bawah suhu tinggi maupun pada cairan kimia serta gas korosif. Batu bata tahan api umumnya digunakan pada cerobong asap, perapian, maupun tungku pembakaran nikel. Dalam siklus penggunaannya, batu bata tahan api harus dibongkar dan diganti dengan yang baru. Kegiatan rutin pembongkaran ini menyebabkan banyaknya limbah batu bata tahan api yang dibuang setiap tahunnya. Menurut Horckmans et

al., (2019), sekitar 28 juta ton limbah batu bata tahan api dihasilkan per tahun. Sementara limbah batu bata tahan api termasuk dalam limbah keramik (batu bata termasuk dalam sub kelompok keramik) yang diklasifikasikan sebagai jenis limbah *nonbiodegradable* atau limbah dengan periode dekomposisi yang lama yaitu 4000 tahun lamanya (Baradaran-Nasiri & Nematzadeh, 2017). Areal pembuangan dari limbah batu bata yang terus meluas tentunya akan mengurangi optimasi pemanfaatan lahan yang ada, hal ini menunjukkan bahwa perlunya dilakukan pemanfaatan kembali limbah batu bata tahan api dalam rangka agar tidak menjadi beban bagi lingkungan di sekitarnya. Studi tentang eksplorasi penggunaan limbah batu bata tahan api dalam pembuatan beton, maupun mortar telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya (Safi et al., 2013, Saidi et al., 2015).

Nematzadeh & Baradaran-Nasiri, (2018) meneliti tentang penggunaan limbah batu bata tahan api sebagai pengganti agregat halus dari persentase 0% sampai 100% dari volume agregat halus yang digunakan setelah terpapar suhu tinggi. Hasilnya diperoleh bahwa peningkatan persentase agregat halus dari limbah batu bata meningkatkan kinerja tekan beton pada suhu yang lebih tinggi. Khattab et al. (2021) meneliti tentang penggunaan limbah batu bata tahan api sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase 10 sampai 100% penggantian menggunakan dua w/c yaitu 0.59 dan 0.38. Hasilnya diperoleh bahwa penggunaan limbah batu bata sampai 30% penggantian, menghasilkan beton dengan kualitas yang baik. Selanjutnya Khattab et al., (2021) meneliti pengaruh penggantian 20% agregat kasar alami dengan limbah batu bata tahan api menggunakan tiga w/c yaitu 0.59, 0.47, dan 0.38. Diperoleh bahwa limbah batu bata tahan api merupakan alternatif potensial untuk menggantikan agregat kasar alami dalam campuran beton. Hchemi et al., (2022) dalam penelitiannya, memperoleh bahwa penggantian 20% agregat halus dan agregat kasar alami dengan limbah batu bata tahan api menghasilkan sifat fisik dan mekanik beton yang lebih baik dibandingkan dengan penggantian 20% agregat kasar dengan limbah batu bata. Zeghad et al., (2017) memperoleh bahwa limbah batu bata tahan api berpotensi digunakan sebagai bahan semen atau tambahan dalam produksi beton.

Berdasarkan penjabaran tersebut, penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian terkait potensi pemanfaatan limbah batu bata tahan api sebagai substitusi parsial agregat kasar pada campuran beton dengan harapan pemanfaatan limbah batu bata tahan api ini akan berdampak pada pengurangan limbah industri, serta mengurangi penggunaan agregat alami pada campuran beton sehingga dihasilkan beton yang ramah lingkungan dan ekonomis. Limbah batu bata tahan api dengan kandungan alumina dipilih, mengingat penelitian terkait RB tipe alumina dalam campuran beton masih langka dilakukan.

Adapun judul yang diangkat oleh penulis adalah **“Perilaku Beton Yang Menggunakan Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Alumina Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dibawah Pengujian Kuat Tarik”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku kuat tarik beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai substitusi agregat kasar?
2. Bagaimana Pengaruh hubungan beban dan waktu yang mengandung limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai substitusi agregat kasar dibawah pengujian kuat tarik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya, maka tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perilaku kuat tarik beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai substitusi agregat kasar,
2. Mengevaluasi hubungan beban dan waktu yang mengandung limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai substitusi agregat kasar dibawah pengujian kuat tarik.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu selain untuk menambah ilmu pengetahuan, juga sebagai langkah untuk mengurangi salah satu limbah industri berupa limbah batu bata tahan api melalui pemanfaatan sebagai

substitusi parsial agregat kasar di campuran beton, serta mengurangi penggunaan agregat alami pada campuran beton sehingga akan dihasilkan beton yang ramah lingkungan dan ekonomis.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun dalam penelitian ini, ruang lingkup permasalahan dibatasi pada:

1. Penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium berdasarkan SNI dan ASTM yang sesuai,
2. Semen yang digunakan adalah jenis semen Portland komposit (PCC) yang tersedia di pasaran,
3. Pasir yang digunakan merupakan hasil dari *crushing* batu yang berasal dari PT. Vale Indonesia,
4. Agregat kasar yang digunakan berasal dari batu pecah PT. Vale Indonesia,
5. Limbah batu bata tahan api yang digunakan merupakan limbah batu bata tahan api tipe alumina dari *roof* yang berasal dari PT. Vale Indonesia,
6. Persentase penggunaan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebesar 0%, 15%, 30%, dan 50% dari total volume agregat kasar dalam campuran beton,
7. Target mutu beton rencana yaitu 21 MPa dan 25 MPa,
8. Proses perawatan (*curing*) yang dilakukan adalah *curing* air,
9. Pengujian kuat tarik menggunakan sampel berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang diuji pada umur 28 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut, 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). Bahan- bahan dasar penyusun beton merupakan faktor yang sangat menunjang terhadap kualitas beton. Perencanaan campuran, jenis, mutu dan jumlah bahan susunan beton harus dihitung dalam proporsi atau perbandingan tertentu agar menghasilkan kualitas beton yang diinginkan.

Pada dasarnya, beton terdiri dari semen hidrolis, agregat, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya, yaitu : kuat tekannya tinggi, mudah dikerjakan, tahan aus, dan murah (ekonomis). Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari beton :

1. Kelebihan dari beton antara lain :
 - a Harga yang relative lebih murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah didapat sehingga beton mampu menahan gaya tekan dengan baik.
 - b Bahan beton yang awet, tahan aus, tahan panas, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan menjadi lebih murah.
 - c Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan.
 - d Memiliki pengerjaan (*workability*) mudah karena beton mudah untuk dicetak dalam bentuk dan ukuran yang diinginkan. Cetakan beton dapat dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomis menjadi lebih murah.

2. Kekurangan dari beton
 - a Bahan dasar untuk pembuatan beton baik agregat kasar maupun halus bermacam-macam sesuai dengan lokasi tempat pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam.
 - b Beton bersifat getas
3. Kebersihan dan kekuatan dari agregat;
4. Interaksi antara agregat dan pasta semen;
5. Pencampuran dari komponen – komponen pembentuk beton yang proporsional;
6. Penempatan yang tepat, penanganan dan kompaksi dari beton segar;
7. Perawatan dilakukan pada suhu tidak kurang dari 50⁰F;
8. Kandungan klorida tidak lebih dari 0.15% pada beton ekspos dan 1% pada beton terlindung.

2.2 Bahan Penyusun Beton

Hal yang paling penting pada penyusunan beton adalah penggunaan material yang baik sebagai bahan konstruksi. Penggunaan material yang baik dapat mempengaruhi kualitas suatu beton. Material pembuatan beton terdiri dari air, agregat kasar, agregat halus, dan semen.

2.2.1 Semen portland

Semen merupakan serbuk halus yang memiliki fungsi untuk merekatkan butiran agregat kasar dan halus untuk mengisi celah – celah diantara butiran agregat. Bahan yang hendak mengeras apabila bereaksi dengan air disebut dengan semen hidrolik. Diantara tipe semen yang biasa digunakan dalam campuran beton adalah semen portland.

Menurut SNI 2049(2004), semen portland adalah semen hidrolis yang diperoleh dari penggilingan terak semen portland dengan kandungan utama berupa kalsium silikat yang bersifat hidrolis serta digiling secara bersamaan dengan satu bahan tambahan atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Berdasarkan jenis dan penggunaannya, semen portland terdiri atas:

1. Jenis I adalah semen portland dengan peruntukan umum dan tidak membutuhkan kualifikasi khusus sebagaimana yang disyaratkan pada jenis lainnya;
2. Jenis II adalah semen portland yang dalam pemanfaatannya membutuhkan ketahanan terhadap sulfat atau kalor dengan hidrasi menengah atau sedang;
3. Jenis III adalah semen portland yang dalam pemanfaatannya membutuhkan kekuatan tinggi pada fase pendahuluan setelah terjadi pengikatan;
4. Jenis IV adalah semen portland yang dalam pemanfaatannya membutuhkan kalor dengan hidrasi rendah;
5. Jenis V adalah semen portland yang dalam pemanfaatannya membutuhkan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.2 Semen portland komposit (PCC)

Semen portland komposit (*Portland composite cement* atau PCC) merupakan semen hidrolis yang terbuat dari penggilingan terak (dinker) semen portland dengan gipsum dan bahan pozzolan dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lainnya. Peneliti sebelumnya seperti (Caronge et al., 2017; Mansyur et al., 2022) menemukan bahwa penggunaan PCC dapat menghasilkan kinerja beton yang baik.

Menurut SNI 7064 (2014), semen portland komposit adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut seperti terak tanur tinggi (blast furnace slag), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen portland komposit. Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasangan bata, dan bangunan khusus seperti beton pracetak, bata beton (paving block) dan sebagainya.

2.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting dan paling murah. Air berfungsi sebagai reaktor ($\pm 25\%$ berat semen) semen dan pelumas antar butir-butir agregat. Selain itu, air juga diperlukan untuk perawatan beton. Proses kimiawi yang terjadi antara semen dan air menyebabkan terjadinya proses pengikatan dan pengerasan pada beton setelah melewati rentang waktu tertentu. Air juga berperan dalam memudahkan terjadinya pencampuran bahan – bahan Pada pembuatan beton biasanya menggunakan air yang merupakan faktor utama dan faktor paling penting. Pencampuran air dan semen nantinya akan bereaksi dan menjadi pasta pengikat pada agregat. Air berperan penting terhadap kuat tekan pada beton karena jika kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Sehingga pencampuran air harus pas dan sesuai dengan standar yang ada.

Berdasarkan SNI-2847 (2019), kelebihan air dalam proses pencampuran dapat mempengaruhi waktu proses, kekuatan dari beton, dan stabilitas volume, serta kemungkinan mengakibatkan perubahan warna pada beton. Kualitas air yang digunakan haruslah berkualitas baik, air yang digunakan pada campuran tidak boleh mengandung ion klorida dalam kadar yang merusak, tidak mengandung larutan asam lainnya, tidak mengandung minyak, garam maupun kandungan – kandungan merugikan yang lain.

2.2.4 Agregat halus

Agregat halus memiliki fungsi sebagai bahan isi dalam adukan beton. Karakteristik agregat halus sangat mempengaruhi kualitas dari beton itu sendiri. Agregat halus ini harus memenuhi persyaratan karakteristik seperti pemeriksaan kadar lumpur, kadar air, kadar organik, berat jenis dari agregat halus agar beton dapat mencapai kekuatan yang diinginkan / dibutuhkan. Berdasarkan SNI 1970 (2008) agregat halus mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (saringan No. 4). Agregat halus yang digunakan pada campuran beton hendaknya tidak mengandung kadar lumpur lebih dari 5%, tidak mengandung zat – zat organik yang turut serta mengurangi mutu dari beton, tidak mengandung bahan reaktif alkali, agregat halus terdiri dari butir yang keras dan tidak mudah pecah. Selain itu menurut ASTM C33 (2003), agregat halus memiliki modulus kehalusan butir

pada rentang 2.3 – 3.1. Menurut SNI 03-2834 (200), distribusi ukuran butir agregat halus diklasifikasikan menjadi empat kategori, yaitu pasir kasar (gradasi no. 1), pasir sedang (gradasi no. 2), pasir agak halus (gradasi no. 3), pasir halus (gradasi no. 4). Batas – batas dari gradasi agregat halus ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Batas – batas dari gradasi agregat halus

Nomor saringan	Ukuran saringan (mm)	% Lolos saringan			
		Pasir kasar	Pasir sedang	Pasir agak halus	Pasir halus
3/8"	9.6	100 – 100	100 – 100	100 – 100	100 – 100
No. 4	4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
No. 8	2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
No. 16	1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
No. 30	0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
No. 50	0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
No. 100	0.15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

2.2.5 Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton, umumnya merupakan agregat yang didapatkan dari hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah dari hasil pemecahan batu. Karakteristik dari agregat kasar akan turut mempengaruhi kekuatan akhir dari beton keras dan ketahanannya terhadap deteriorasi beton, cuaca, maupun dampak dari perusak lainnya. Berdasarkan SNI 1969 (2016), agregat kasar memiliki ukuran butiran antara 4,75 mm sampai 40 mm. Agregat kasar pada campuran beton tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat kering, tidak mengandung zat organik yang dapat menyebabkan penurunan pada mutu beton, tidak mengandung bahan reaktif alkali, jumlah butir pipih ditambah agregat panjang tidak lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya, memiliki butiran tajam, kuat, dan bersudut, serta memenuhi gradasi butir agregat kasar yang disyaratkan.

Menurut SNI 03-2834 (2000), distribusi ukuran butir agregat kasar diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu ukuran maksimum 10 mm, ukuran maksimum 20 mm, dan ukuran maksimum 40 mm. Batas – batas dari gradasi agregat kasar ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Batas – batas dari gradasi agregat kasar

Nomor saringan	Ukuran saringan (mm)	% Lolos saringan		
		Ukuran maks. 10 mm	Ukuran maks. 20 mm	Ukuran maks. 40 mm
3"	76			100 – 100
1½"	38		100 – 100	95 – 100
¾"	19	100 – 100	95 – 100	35 – 70
⅜"	9.6	50 – 85	30 – 60	10 – 40
No. 4	4.8	0 – 10	0 – 10	0 – 5

2.2.6 Batu bata tahan api atau *refractory brick*

Refraktori merupakan bahan padat yang dapat menahan suhu tinggi dan mempertahankan fungsi mekanisnya untuk jangka waktu tertentu dalam segala keadaan, bahkan jika bersentuhan dengan cairan maupun gas korosif. Refraktori sangat diperlukan untuk semua kegiatan yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi, misalnya produksi logam, semen, kaca, serta keramik. Refractory brick adalah batu bata tahan api yang termasuk dalam bahan keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada berbagai kondisi termasuk pada kondisi bersuhu tinggi, cairan bersifat korosif termasuk zat – zat kimia lainnya, gas – gas panas, tahan terhadap abrasi, serta tegangan mekanik akibat panas.

Batu bata tahan api merupakan salah satu bahan padat dan salah satu jenis bahan keramik yang dapat menahan suhu tinggi (temperatur tinggi yaitu 1.000°C), dan memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya (Baradaran-Nasiri & Nematzadeh, 2017). Batu bata tahan api (*refractory brick particle*) yang digunakan dalam pembuatan sampel dipecahkan manual menggunakan palu besi. Refractory brick yang digunakan adalah tipe magnesita (*Converter*). Refraktori yang mengandung Magnesita adalah salah satu jenis refraktori yang paling banyak digunakan, dengan aplikasi di industri baja (*converter*, tungku busur listrik, ladle), industri semen (zona panas tanur putar), industri tembaga (*konverter*, peleburan flash) dan industri kaca (*recuperator*). Batu bata tahan api termasuk dalam bahan keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada berbagai kondisi termasuk pada kondisi bersuhu tinggi, cairan bersifat korosif termasuk zat – zat kimia lainnya, gas – gas panas, tahan terhadap

abrasi, serta tegangan mekanik akibat panas (Kavas & Karasu, 2006). Beberapa sifat dari Refractory Brick yang diperlukan 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 abrasi
5. Menghemat panas
6. Memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah

2.3 Sifat Mekanis Beton

2.3.1 Kuat tarik beton

Menurut Standar Nasional Indonesia SNI 2491-2014 kuat tarik belah benda uji beton berbentuk silinder adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji. Beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Faktor pembentuk kekuatan tarik sama dengan kuat tekan hanya besarnya kuat tarik untuk beton normal pada umumnya adalah antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kekuatan tarik dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan percobaan belah silinder (*the split cylinder*) dimana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horisontal diatas pelat mesin percobaan. Benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik. Nilai kuat tarik beton dapat dihitung menggunakan persamaan 1, sebagai berikut:

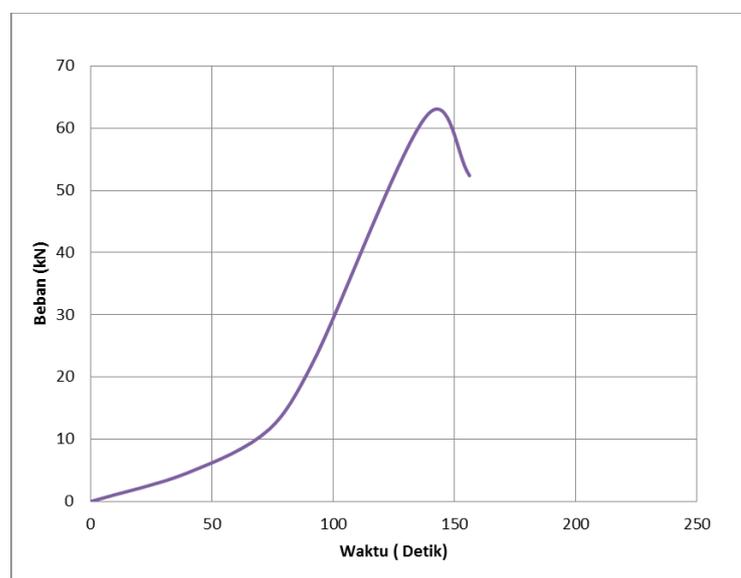
$$f_r = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1)$$

Dengan pengertian:

- | | |
|-------|--|
| f_r | = Kuat tarik beton benda uji silinder (N/mm^2) |
| P | = beban pada waktu belah (N) |
| L | = Panjang benda uji silinder (mm) |
| D | = Diameter benda uji silinder (mm) |

2.3.2 Toughness

Toughness merupakan energi yang diserap oleh sebuah elemen struktural pada saat pembebanan, dimana hal ini menunjukkan seberapa besar kemampuan sebuah elemen struktur untuk menyebarkan secara merata energi yang diterimanya akibat pembebanan ke seluruh elemen struktur. Nilai toughness benda uji mortar dihitung sebagai area di bawah kurva beban-waktu sampai dengan waktu untuk mencapai beban ultimit seperti yang ditunjukkan pada gambar menentukan area tertentu di bawah beban-waktu sebesar 80% untuk waktu mencapai beban puncak di area pasca-puncak yang diberikan (Irmawaty et al., 2023) (Alwesabi et al., 2022). Area perhitungan toughness ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Area toughness di bawah kurva beban-waktu

2.4 Penelitian Terdahulu

Cachim. (2009), melakukan penelitian tentang sifat mekanik beton dengan agregat batu bata. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sifat-sifat beton yang menggunakan agregat batu bata sebagai pengganti dari agregat kasar. Dua jenis batu bata diteliti, batu bata tersebut dipecahkan untuk mendapatkan agregat yang akan digunakan dalam penelitian. Sifat-sifat yang diteliti ialah workability dan densitas beton segar, kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan perilaku tegangan-regangan beton. Rasio penggantian agregat alami sebesar 15% dan 30% dan rasio air semen 0,45 dan 0,5. Indeks kekuatan digunakan untuk

menilai efektivitas penggantian agregat. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sisa batu bata dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat alam pada beton tanpa pengurangan sifat beton untuk variasi 15% dan dengan pengurangan hingga 20% untuk variasi 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.

Omary et al. (2016) melakukan penelitian mengenai hubungan antara karakteristik agregat dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang dan sifat-sifat beton yang menggunakan agregat daur ulang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas dan kesesuaian agregat beton daur ulang (RCA) yang didapatkan dari penghancuran balok beton yang disediakan dari limbah pembongkaran bangunan dibandingkan dengan agregat alami. Pengujian dilakukan setelah beton direndam dalam air selama 28 hari berturut-turut. Porositas beton sangat dipengaruhi oleh rasio substitusi, volume pasta dan porositas campuran butirannya. Peningkatan kuat tekan beton memiliki hubungan dengan kekuatan dari kerikilnya (LA). Dapat dikatakan, kuat tekan dan kuat tarik belah beton menurun sedangkan koefisien LA dan porositas campuran butirannya meningkat. Nilai modulus meningkat dengan meningkatnya nilai porositas beton.

Ghosh & Samanta. (2023) melakukan studi tentang pengaruh dari daur ulang agregat batu bata tahan api atau refractory brick aggregates (RRB) dan rasio air/semen terhadap sifat mekanik dan fisik beton melalui pengujian secara eksperimental. Penelitian dilakukan dengan menggunakan delapan variasi campuran yaitu dengan penggantian agregat halus (FA) 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 70%, dan 100% RRB. Parameter lainnya juga turut diperiksa yaitu kuat tekan, uji slump, dan kuat tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan RRB meningkatkan perilaku tekan pada semua benda uji beton dimana penggantian 10% dan 20% memberikan hasil yang optimal. Sedangkan untuk pengujian STS diperoleh penggantian 10 – 30% memberikan kinerja yang lebih baik dari benda uji beton lainnya dengan penggantian 10% memberikan hasil yang optimal. Berdasarkan keseluruhan pengujian, diperoleh bahwa penggunaan hingga

30% agregat limbah batu bata tahan api sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton dianggap layak.

Velosa & Cachim.(2009) melakukan penelitian mengevaluasi sifat fisik dan mekanik beton yang menggunakan limbah batu bata yang dihancurkan menggantikan agregat alami. 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. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sisa keramik dapat digunakan sebagai pengganti agregat alam pada beton tanpa pengurangan sifat beton untuk penggantian 15%. 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.

Nematzadeh & Baradaran-Nasiri.(2018) tentang perilaku tegangan-regangan tekan beton yang mengandung agregat halus dari limbah batu bata tahan api (RRBC) tipe alumina bersama dengan semen aluminat dan semen portland biasa setelah terpapar suhu tinggi. Penelitian ini menggunakan RRBC dengan tingkat penggantian berdasarkan volume sebesar 0, 25, 50, 75, dan 100%, yang terbagi atas dua kelompok yaitu satu mengandung semen Portland biasa dan yang kedua mengandung semen kalsium aluminat, dengan suhu paparan 110, 200, 400, 600, 800, dan 1000C. Parameter yang diperiksa dalam penelitian ini adalah kuat tekan, modulus elastisitas, tegangan regangan puncak, toughness, dan membandingkan kurva tegangan regangan setelah terpapar suhu tinggi dengan kode internasional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi degradasi secara signifikan pada sebagian besar sifat mekanik beton yang mengandung semen biasa pada suhu 400C dan untuk beton yang mengandung semen aluminat pada suhu 1100C. Selain itu, peningkatan penggunaan limbah batu bata tahan api sebagai substitusi agregat halus turut meningkatkan perilaku tekan beton pada suhu yang lebih tinggi.

Zeghad et al. (2017) melakukan penelitian eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah batu bata tahan api (RWB) sebagai

bahan pelengkap pada semen dengan penggantian total silica fume, untuk menghasilkan beton bertulang berbasit serat kinerja tinggi (HPFRC). Penelitian ini menggunakan tiga jenis limbah batu bata tahan api (batu bata yang berbahan dasar utama dari alumina (BRAL), magnesia (BRMg), dan silika-zirkonium (BRZr)) yang ditumbuk halus, dosis dijaga tetap konstan dan serupa dengan dosis asap silika yang digunakan pada beton control. Selain itu, semua komponen seperti rasio air/pengikat dijaga tetap konstan begitupun superplastisizer. Penelitian ini menguji karakteristik dari pengujian beton segar dan keras. Hasil pengujian menunjukkan bahwa limbah batu bata tahan api berpotensi untuk digunakan sebagai bahan semen atau tambahan untuk pembuatan campuran beton.

Omary et al. (2016) melakukan penelitian mengenai hubungan antara karakteristik agregat dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang dan sifat-sifat beton yang menggunakan agregat daur ulang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas dan kesesuaian agregat beton daur ulang (RCA) yang didapatkan dari penghancuran balok beton yang disediakan dari limbah pembongkaran bangunan dibandingkan dengan agregat alami. Pengujian dilakukan setelah beton direndam dalam air selama 28 hari berturut-turut. Porositas beton sangat dipengaruhi oleh rasio substitusi, volume pasta dan porositas campuran butirannya. Peningkatan kuat tekan beton memiliki hubungan dengan kekuatan dari kerikilnya (LA). Dapat dikatakan, kuat tekan dan kuat tarik belah beton menurun sedangkan koefisien LA dan porositas campuran butirannya meningkat. Nilai modulus meningkat dengan meningkatnya nilai porositas beton.