

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN TEGANGAN
REGANGAN BETON YANG TERBUAT DARI LIMBAH BATU
BATA TAHAN API JENIS MAGNESIA**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI KHAERUNNISA
D011 19 128**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN BETON YANG
TERBUAT DARI LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS MAGNESIA**

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI KHAERUNNISA

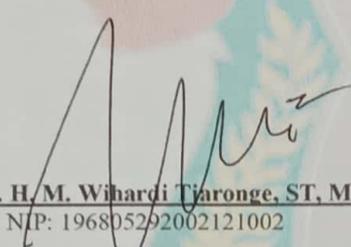
D011 19 1128

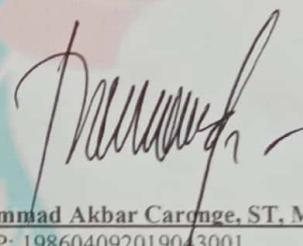
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,


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


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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Andi Khaerunnisa
NIM : D011 19 1128
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimental Hubungan Tegangan Regangan Beton yang Terbuat dari
Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesita}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 9 Maret 2023

Yang Menyatakan



Andi Khaerunnisa

ABSTRAK

ANDI KHAERUNNISA. Studi Eksperimental Hubungan Tegangan Regangan Beton yang Terbuat dari Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesita (dibimbing oleh Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.,)

Penggunaan batu bata tahan api sebagai pengganti agregat dapat mengurangi pencemaran lingkungan, salah satu industri yang memakai batu bata tahan api adalah PT. Vale Indonesia Tbk. ketika habis masa pakainya maka akan diganti, sehingga batu bata tahan api dikategorikan sebagai limbah. Dalam literatur masih terbatas penelitian beton agregat batu bata tahan api untuk itu diperlukan penelitian beton yang dibuat dengan agregat limbah batubata tahan api, Salah satu perilaku mekanik yang dimiliki oleh beton adalah kuat tekan yang dapat diketahui dari beban tekan. Perilaku tegangan regangan yang terjadi pada suatu material termasuk beton ketika merespons beban tekan merupakan parameter yang penting untuk diketahui. Tujuan penelitian adalah menganalisis perilaku hubungan tegangan regangan beton substitusi agregat kasar batu bata tahan api jenis magnesita, Menentukan nilai modulus elastisitas dari hubungan tegangan regangan dibawah kuat tekan dan Menggambarkan pola retak yang terjadi akibat beban tekan dan penambahan umur. Penelitian ini dilakukan di Lab.Riset Eco Material Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan bahan penyusun beton berupa agregat kasar, agregat halus, agregat batu bata tahan api, semen dan air, sampel beton adalah sampel beton silinder ukuran 10 x 20 dengan rancangan campuran beberapa variasi yaitu beton normal sebagai kontrol, dan 15% RB, 30% RB, 50% RB, 100 RB. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tekan dan pengujian modulus elastisitas. Hasil penelitian yakni berdasarkan grafik hubungan tegangan regangan yang terbentuk dapat dilihat hasil kuat tekan yaitu pada variasi A-15 menunjukkan nilai kuat tekan yang mampu memenuhi kuat tekan rencana dan modulus elastisitas optimum pada variasi A-15, serta hasil pola retak menunjukkan hidrasi berlangsung dengan baik.

Kata Kunci : Batu bata tahan api, Beton, Tegangan-Regangan

ABSTRACT

ANDI KHAERUNNISA *Experimental Study of Stress-Strain Relationships of Concrete Made from Waste Magnesite Refractory Bricks* (Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.,)

Use of refractory bricks as a substitute for aggregate can reduce environmental pollution, one of the industries that use refractory bricks is PT. Vale Indonesia Tbk. when it expires it will be replaced, so that refractory bricks are categorized as waste. In the literature there is still limited research on refractory brick aggregate concrete. For this reason, research is needed on concrete made with refractory brick waste aggregate. One of the mechanical properties possessed by concrete is compressive strength which can be known from the compressive load. The stress-strain behavior that occurs in a material including concrete when responding to compressive loads is an important parameter to know. The research objective is: to analyze the behavior of the stress-strain relationship of concrete substituted for coarse aggregate magnesite refractory bricks, to determine the elastic modulus value of the stress-strain relationship under compressive strength and to describe the pattern of cracks that occur due to compressive loads and increase in age. This research was conducted at the Eco Materials Research Lab, Faculty of Engineering, Hasanuddin University with concrete material in the form of coarse aggregate, fine aggregate, refractory brick aggregate, cement and water, the concrete sample was a 10 x 20 cylindrical concrete sample with a mixed design of several variations, namely normal concrete as a control, and 15% RB, 30% RB, 50% RB, 100 RB. Tests carried out in the form of compressive strength testing and elasticity modulus testing. The results of the research are based on the graph of the stress-strain relationship that is formed, it can be seen from the results of the compressive strength, namely the A-15 variation shows the compressive strength value that is able to meet the planned compressive strength. and optimum modulus of elasticity at variation A-15, and the crack pattern results show that hydration is going well.

Keywords: Refractory bricks, Concrete, Stress-Strain

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Beton	4
2.2 Penelitian Terdahulu Beton Agregat Batu Bata Tahan Api	5
2.3 Bahan Penyusun Beton	7
2.3.1 Semen Portland.....	7
2.3.2 Air.....	9
2.3.3 Agregat	10
2.3.3.1 Agregat Kasar	11
2.3.3.1 Agregat Halus	12
2.4 Batu Bata Tahan Api (<i>Refractory bricks</i>) jenis magnesia.....	13
2.5 Sifat – Sifat Mekanis Beton	16
2.5.1 Kuat Tekan	16
2.5.2 Perilaku Tegangan Regangan	16
2.5.3 Modulus Elastisitas	18
2.5.4 Pola Retak	19
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Bagan Alir Penelitian	20
3.2 Lokasi Penelitian.....	22
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	22
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material	24
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	24
3.6 Metode Pemeriksaan <i>Slump Test</i>	25
3.7 Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji.....	25
3.8 Pengujian Benda Uji	26
3.8.1 Pengujian Kuat Tekan	26
3.8.2 Pengujian Modulus Elastisitas	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Karakteristik Agregat	28

4.2 Rancangan Campuran Beton.....	29
4.3 Hubungan Tegangan Regangan	30
4.3.1 Beban Puncak	34
4.3.2 Regangan Puncak	36
4.3.3 Regangan Ulitimit	37
4.3.3 Toughness	37
4.4 Modulus Elastisitas	38
4.5 Pola Retak	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.2 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik Hubungan Tegangan Regangan	17
Gambar 2. Area Toughness dibawah kurva Tegangan Regangan	18
Gambar 3. Sketsa gambar tipe/ bentuk kehancuran benda uji	19
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian	21
Gambar 5. Material Beton (a. Refractory brick Lolos saringan $\frac{3}{4}$ mm; b. Agregat kasar ukuran 20-30 mm(G2); c. Agregat kasar ukuran 10-20 mm (G1); d. Agregat Halus; e. Semen Portland; f. Air bersih.)...	23
Gambar 6. Curing air benda uji.....	25
Gambar 7. Pengujian Modulus Elastisitas	27
Gambar 9. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Normal A-0 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	30
Gambar 10. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Subtitusi RB Converter A-15 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari	31
Gambar 11. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Subtitusi RB Converter A-30 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari	32
Gambar 12. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Subtitusi RB Converter A-50 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari	33
Gambar 13. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Subtitusi RB Converter A-100 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari	33
Gambar 14 Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Subtitusi RB Umur 28 Hari	34
Gambar 15. Hasil Analisa Kuat Tekan	35
Gambar 16. Hasil Analisa Regangan Puncak	36
Gambar 17. Hasil Analisa Regangan Ultimit.....	37
Gambar 18. Hasil Analisa Nilai Toughness Beton Umur 28 Hari.....	38
Gambar 19. Hasil Pola Retak Beton Normal (A- 0) Umur 7 Hari.....	39
Gambar 20. Hasil Pola Retak Beton Normal (A- 0) Umur 28 Hari.....	39
Gambar 21. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 15) Umur 7 Hari.....	40
Gambar 22. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 15) Umur 28 Hari.....	40
Gambar 23. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 30) Umur 7 Hari.....	40
Gambar 24. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 30) Umur 28 Hari.....	41
Gambar 25. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 50) Umur 7 Hari.....	41
Gambar 26. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 50) Umur 28 Hari.....	41
Gambar 27. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 100) Umur 7 Hari.....	42
Gambar 28. Hasil Pola Retak Beton Variasi (A- 100) Umur 7 Hari.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Presentase Komposisi Semen Portland	8
Tabel 2. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	13
Tabel 3. Bahan baku refractory brick jenis magnesia	14
Tabel 4. Komposisi kima semen dan refractory brick	15
Tabel 5. Stadar Pengujian Karakteristik.....	24
Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus	28
Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar 20 mm – 30 mm.....	28
Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar 10 mm - 20 mm	29
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar RB 10 mm – 20 mm	29
Tabel 10. Komposisi Campuran Beton	30
Tabel 11. Modulus Elastisitas Beton.....	38

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kuat tekan beton (MPa atau N/mm ²).
P	Gaya tekan aksial (N).
A	Luas penampang melintang benda uji (mm ²).
ε	Regangan
ΔL	Perubahan Panjang
L0	Panjang Awal
E	Modulus Elastisitas
S ₂	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm ²)
S ₁	Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm ²)
W _c	Berat Volume (Kg/m ³)
RB	<i>Refractory bricks</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Dokumentasi Persiapan Material.....	46
Lampiran. 2 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	47
Lampiran. 3 Dokumentasi Perawatan Benda Uji.....	48
Lampiran. 4 Dokumentasi Pengujian.....	49

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil‘aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata’ala, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng. .**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis pesembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda Andi Mukhsin, dan ibu Andi Rahma, beserta seluruh keluarga, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materi.
2. Saudara- saudari tercinta Andi Husnatunnisa, Andi Ahmad Munadir dan Arifa Shakira yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Struktur dan Bahan, yang selalu senantiasa meluangkan waktu untuk penulis, selama proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir.
4. Seluruh rekan-rekan di Laboratorium Riset Eco Material, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Lab.
5. Teman- teman S & K yang selalu ada dari semester pertama menemani hingga saat ini, terima kasih.
6. Teman-teman KKN PPM Bulukumba 108, terima kasih atas canda tawa, jalan- jalan dan pengalamannya.
7. Saudara-saudariku seangkatan 2019 Teknik Sipil dan Lingkungan, PORTLAND 2020, terkhusus Muh.Syahrul Ihsan, Armin Nur Fajar, dan Nadya Zulfia. *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*

Gowa, 18 Januari 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan teknologi dibidang konstruksi sangat pesat dan terus meningkat, pembangunan dalam bidang konstruksi memperlihatkan perkembangan yang signifikan diantaranya dalam pembangunan bendungan, jembatan, perumahan, gedung perkantoran, rumah sakit, pusat perbelanjaan dan sebagainya. Pada bangunan konstruksi salah satu bagian yang terpenting ialah kualitas beton. Beton merupakan suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar, agregat halus, dengan atau tanpa bahan tambahan.

Batu bata tahan api adalah bahan padat yang dapat menahan suhu tinggi. Batu bata tahan api dipasang pada dinding dan lantai tungku pembakaran untuk memberikan insulasi termal yang baik. Secara umum, ketika batu bata tahan api telah habis masa pakainya, maka akan dibongkar dan diganti dengan yang baru. Dalam hal ini, sekitar 28 juta ton limbah bata tahan api dihasilkan setiap tahun, sehingga pemindahan dan pembuangan bata tahan api ini menghasilkan limbah dalam jumlah besar. (Samya Hacemi, Muhammed Khatab.dkk 2022)

Salah satu industri yang menggunakan batu bata tahan api atau *refractory brick* adalah PT. Vale Indonesia Tbk. Saat ini jumlah dinding tungku pembakaran di PT. Vale Indonesia Tbk yang dihasilkan mencapai sekitar 4500 ton per tahun, atau sebesar 150 m³, dimana dinding tungku pembakaran tersebut dikategorikan sebagai limbah, salah satu jenis batu bata tahan api adalah jenis magnesita, batu bata tahan api ini terletak pada lapisan dalam pada tungku pembakaran dengan masa pakai selama empat tahun. Sehingga pembuangan limbah refraktori batu bata akan mempengaruhi lingkungan sekitar pertambangan.

Menggunakan limbah batu bata tahan api sebagai pengganti agregat sebagai bahan untuk membuat beton dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan membantu melindungi bahan mentah. Penggunaan batu bata tahan api sebagai pengganti agregat sebagai bahan untuk membuat beton akan memberi dampak ekonomi yang besar baik bagi perusahaan, pemerintah dan masyarakat sekitar jika mampu digunakan secara meluas. Dalam literatur, masih terdapat kegiatan penelitian yang terbatas mengenai sifat mekanik dan fisik beton yang dibuat dengan limbah batu bata tahan api sebagai agregat (kasar dan halus), untuk itu

diperlukan penelitian terhadap beton yang dibuat dengan limbah batu bata tahan api.

Salah satu perilaku mekanik yang dimiliki oleh beton adalah kuat tekan yang dapat diketahui dari beban tekan. Perilaku tegangan regangan yang terjadi pada suatu material termasuk beton ketika merespons beban tekan merupakan parameter yang penting untuk diketahui.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian dengan judul :

“Studi Eksperimental Hubungan Tegangan Regangan Beton Yang Terbuat Dari Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesita”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka penelitian ini dilaksanakan dalam upaya mencari:

1. Perilaku hubungan tegangan regangan beton substitusi agregat kasar *refractory bricks* jenis magnesita
2. Hasil modulus elastisitas dari hubungan tegangan regangan dibawah beban tekan
3. Pola retak yang terjadi akibat beban tekan dan penambahan umur.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menyusun perilaku hubungan tegangan regangan beton substitusi agregat kasar *refractory bricks* jenis magnesita.
2. Menentukan nilai modulus elastisitas dari hubungan tegangan regangan dibawah kuat tekan.
3. Menggambarkan pola retak yang terjadi akibat beban tekan dan penambahan umur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan referensi terkait dengan studi eksperimental tegangan regangan dalam penggunaan batu bata tahan api sebagai agregat dalam pembuatan beton.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan limbah batu bata tahan api jenis magnesita.
2. Penelitian menggunakan cetakan silinder (tinggi 20 cm diameter 10 cm).
3. Pengujian dilaksanakan pada umur 7 dan 28 hari pada kondisi curing air.
4. Pengujian dilakukan di laboratorium yang sesuai dengan standar resmi dan akan didapatkan hasil pengujian yang diharapkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002) beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air bersih dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan campuran yang homogen sehingga dapat dimasukkan dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan seperti cetakan silinder, cetakan balok dan lain sebagainya, Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya.

Beton adalah elemen struktur yang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Kualitas beton sangat tergantung pada kualitas masing-masing material pembentuk. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan pembentuknya serta cara pengerjaannya. Semen mempengaruhi kecepatan pengerasan beton.

Pada dasarnya, beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan.

Beton memiliki sifat-sifat positif dan negatif atau dengan kata lain beton memiliki kelebihan serta kelemahan. Kelebihan dalam pemakaian bahan beton untuk struktur bangunan dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya adalah:

1. Beton dapat mudah dibentuk sesuai dengan keinginan sehingga dapat menghasilkan bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, kolom.
2. Bahan-bahan penyusun beton mudah didapat.
3. Perawatan beton dapat dilakukan dengan mudah.
4. Beton tahan terhadap tekanan, dan tahan terhadap cuaca.
5. Tahan terhadap temperatur yang tinggi

6. Dibandingkan dengan bahan lain, beton memiliki usia layan yang sangat panjang.
7. Harga relatif rendah.

Kelemahan beton sebagai suatu bahan struktur bangunan :

1. Beton memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
2. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
3. Selama proses pengerasan campuran beton, kelembaban beton harus dipertahankan untuk mendapatkan hasil yang direncanakan. Fungsi dari air adalah untuk mempermudah dalam proses pencampuran beton, tetapi jika kelebihan air akan menimbulkan banyak pori-pori pada beton sehingga hasilnya kekuatan beton akan berkurang.
4. Beton tidak kedap terhadap air (permeabilitas beton relatif tinggi), mudah terdesintegrasi oleh sulfat yang dikandung oleh tanah.

Sifat positif dan negatif dari beton tersebut ditentukan oleh sifat-sifat material pembentuknya, perbandingan campuran, dan cara pelaksanaan pekerjaan.

Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi, dapat dimanfaatkan untuk banyak hal. Dalam ilmu teknik sipil, struktur beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat atau pelat cangkang. Dalam teknik sipil bidang hidrologi, beton digunakan untuk bangunan air seperti bendung, bendungan, saluran, dan drainase perkotaan. Beton juga digunakan dalam teknik sipil bidang transportasi untuk pekerjaan rigid pavementI (lapis keras permukaan kaku), saluran samping, gorong-gorong, dan lainnya.

2.2 Penelitian Terdahulu Beton Agregat Batu Bata Tahan Api

Taner Kanvas dkk. (2006) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah bata *refractory brick* sebagai agregat. Pada penelitian ini menggunakan limbah *refractory brick* jenis magnesita dan alumina, hasil penelitian menunjukkan yang mengandung refraktori jenis magnesita, kekuatan lentur meningkat, namun kuat tekan lebih rendah dari campuran biasa akan tetapi nilainya mendekati.

Samya Hachemi dkk (2022) melakukan penelitian mengenai pengaruh Agregat Bata Tahan Api (RBA) daur ulang dan rasio air/semen (w/c) terhadap sifat fisik dan mekanik beton, penelitian dilakukan dengan membuat beberapa

variasi, variasi pertama yaitu beton kontrol dengan 100% *Natural Aggregates* (NA), variasi ketiga beton diproduksi dengan mengganti 20% NA kasar dengan RBA kasar. dan variasi ketiga beton diproduksi dengan mengganti 20% NA kasar dan halus dengan RBA kasar dan halus. Beberapa pengujian pada penelitian adalah penyerapan air, porositas air, densitas, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), kuat tekan dan modulus elastisitas dinamis. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kinerja beton yang dibuat dengan RBA sedikit lebih rendah dari beton konvensional. Di sisi lain, kerusakan UPV dan modulus elastisitas dinamis beton yang dibuat dengan RBA kasar dan halus 20% sedikit lebih tinggi daripada beton yang dibuat dengan RBA kasar 20%. Hasil yang sama diamati untuk penyerapan air dan porositas air. Namun, mengganti 20% RBA kasar dan halus mengarah pada peningkatan kuat tekan dan kerapatan beton. Sementara itu, berdasarkan perbandingan dengan data yang ada, ditemukan bahwa rasio w/c yang lebih rendah menghasilkan porositas beton yang lebih rendah, dan penurunan porositas secara umum mengarah pada peningkatan kinerja beton.

Mahdi Nematzadeh dkk (2017) melakukan penelitian mengenai perilaku tekan beton yang mengandung agregat bata tahan api daur ulang dengan semen kalsium alumina (CAC) dan polivinil alkohol (PVA). Pada penelitian ini dibuat benda uji yang mengandung agregat batu bata tahan api sebagai pengganti agregat halus, 96 benda uji beton dipaparkan dengan serangan asam sulfat 5% selama periode 0, 7, 21, dan 63 hari, kemudian dilakukan berbagai percobaan. Pertama, untuk menentukan tingkat korosi spesimen, dilakukan pengujian variasi berat, kemudian dilakukan pengujian *ultrasonic pulse velocity* (UPV) dan pengujian tekan. Secara umum, hasil menunjukkan bahwa spesimen yang mengandung semen kalsium aluminat bersama dengan serat PVA menunjukkan sifat mekanik yang baik, sifat-sifat dalam hal pengendalian korosi terhadap serangan asam, sedangkan spesimen yang mengandung agregat bata refraktori halus menunjukkan kinerja yang kurang memuaskan.

Ardalan Baradaran-Nasiri dkk (2022) melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu tinggi pada sifat mekanik beton agregat bata tahan api dan semen aluminat, pada penelitian ini menggunakan agregat yang dihasilkan oleh penghancuran 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 fisiko-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 hingga dua kali lipat melebihi suhu 800 °C. Selain itu, pengaruh penggunaan agregat halus bata tahan api bersama dengan semen aluminat terhadap peningkatan modulus elastisitas beton di bawah api tidak signifikan. kemudian porositas, penyerapan air, dan kepadatan beton sebelum mengalami kebakaran juga diteliti.

2.3 Bahan Penyusun Beton

2.3.1 Semen Portland

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen, jika ditambah agregat halus pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (concrete). Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Bahan utama pembentuk semen portland adalah kapur (CaO), silika (SiO₃), alumina (Al₂O₃), sedikit magnesia (MgO), terkadang sedikit alkali. Untuk

mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksida besi, sedangkan gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen.

Semen Portland (menurut SNI 15-2049-2004) 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 :

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

Tabel 1. Presentase Komposisi Semen Portland

Tipe Semen	Komposisi dalam persen (%)							Karakter umum
	C3S	C2S	C3A	C4AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Tipe III, Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari

Tipe IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose 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 prosentase yang tinggi total alkali yang terkandung dalam semen dalam campuran beton harus dibatasi sekitar 0.5% - 0.6%

2.3.2 Air

Air adalah unsur penting yang digunakan untuk pembuatan beton, karena beton merupakan material komposit dimana air mempunyai peran utama agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan workabilitas beton. Air yang digunakan dalam campuran beton haruslah air bersih dan tidak mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, air yang mengandung senyawa berbahaya bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan

kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Air berfungsi sebagai bahan pengikat (bahan penghidrasi semen) dan bahan pelumas antara butir - butir agregat supaya mempermudah proses pencampuran agregat dengan binder serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton (*workability*). Menurut PBI 1979, air untuk campuran beton secara umum adalah air yang dapat di minum, namun secara detail air harus terbebas dari minyak, asam alkali, garam dan bahan-bahan organik. Air pada campuran beton berperan ganda yaitu menjadi bahan penting dalam reaksi kimiawi semen sebagai bahan perekat serta untuk melumasi agregat sehingga beton mudah dikerjakan. Menurut SNI – 03 – 2847 – 2012, Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:

1. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
2. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C 109).

2.3.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat ini pun menjadi penting. Karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan.

Berasarkan sumbernya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu agregat yang berasal dari alam dan agregat buatan (*artificial aggregates*). Contoh agregat yang berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan

contoh agregat buatan adalah agregat yang berasal dari *stone crusher*, hasil residu terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pecahan genteng, pecahan beton, fly ash dari residu PLTU, extended shale, expanded slag dan lainnya.

Secara umum agregat penyusun beton ada dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus biasanya dalam bentuk alami berupa pasir, sedang agregat kasar yang alami berupa kerikil. Sebagai bahan pengisi pada beton, agregat mempunyai peran penting bagi sifat beton keras dan sifat beton segar. Perubahan gradasi, ukuran butir maksimum, berat jenis dan kadar air adalah sifat agregat yang dapat mempengaruhi sifat beton. Oleh karena itu, pemilihan agregat dengan tepat akan menghasilkan kualitas beton yang baik. Selain itu, Karakteristik agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton, salah satu karakteristik agregat dapat dilihat pada gradasi agregat tersebut, Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai persentase dari total agregat atau persentase kumulatif butiran yang lebih kecil atau lebih besar dari masing-masing seri saringan. Gradasi agregat akan mempengaruhi luas permukaan agregat yang sekaligus akan mempengaruhi jumlah pasta/air yang lebih sedikit karena luas permukaan lebih kecil. Apabila ditinjau dari volume pori (ruang kosong) antara agregat, maka butir yang bervariasi akan mengakibatkan volume pori lebih kecil dengan kata lain kemampuan menjadi tinggi. Hal ini berbeda dengan ukuran agregat yang seragam, yaitu mempunyai volume ruang kosong yang lebih besar. Dalam pembuatan beton, yang paling banyak digunakan adalah agregat normal dengan gradasi yang harus memenuhi syarat standar. Namun untuk beberapa keperluan yang khusus sering digunakan agregat ringan maupun agregat berat. Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam tiga kelompok yaitu, Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm; Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm; Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

2.3.3.1 Agregat Kasar

Menurut SNI – 03 – 2847 – 2012 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. agregat kasar dapat dibedakan menjadi dua yaitu agregat kasar tak dipecahkan

dan agregat kasar dipecahkan, Agregat kasar tak dipecahkan merupakan agregat alami berupa batu kerikil alami yang banyak ditemukan di daerah pegunungan, endapan aliran sungai dan juga pesisir pantai. Bentuk agregat kasar ini dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Agregat kasar dipecahkan artinya agregat yang diperoleh dengan cara menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) melalui hasil residu terak tanur tinggi, pecahan beton, extended shale, expanded slag, dan lain sebagainya.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200). Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

Adapun kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah:

1. Agregat kasar harus merupakan butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar tidak boleh hancur karena adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula, sifat tidak berpori untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air.
2. Agregat kasar harus bersih dari unsur organik.
3. Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Agregat mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan memerlukan pasta semen sehingga akan mengikat dengan lebih baik.

2.3.3.1 Agregat Halus

Menurut SNI – 03 – 2847 – 2012 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

SNI 03 – 2834 – 1992 Mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zone yaitu : zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), batas-batas gradasi dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 2. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

No saringan	Ukuran saringan (mm)	Presentase Berat yang lolos saringan (%)			
		Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8"	9,6	100	100	100	100
No.4	4,8	90-100	90-100	90-100	90-100
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	0-20	8-30	12-40	15-50
No.100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Tabel 2 menunjukkan batas-batas gradasi untuk agregat halus yang terbagi dalam beberapa zona yang menunjukkan klasifikasi agregat halus.

Gradasi agregat diperoleh dengan metode analisa saringan atau sieve analysis yang dilakukan dengan memasukkan agregat pada satu set saringan. Agregat halus yang dipakai harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat dan untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka *Fine Modulus*. Klasifikasi *Fine modulus* dapat di golongkan menjadi tiga jenis pasir yaitu :

1. Pasir Kasar : $2.9 < FM < 3.2$
2. Pasir Sedang : $2.6 < FM < 2.9$
3. Pasir Halus : $2.2 < FM < 2.6$.

2.4 Batu Bata Tahan Api (*Refractory bricks*) jenis magnesia

Refractory bricks atau batu bata tahan api merupakan Material yang tahan terhadap temperatur $> 1500^{\circ}\text{C}$ tanpa perubahan bentuk atau melebur umumnya digunakan pada tanur pembakaran. Umumnya bahan baku refractory adalah oksida - oksida logam kurang mulia seperti silika, magnesia, dan alumina lime. Beberapa Sifat *refractory bricks* yaitu :

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

Refraktori diklasifikasikan sebagai asam, basa, atau netral berdasarkan rasio anion terhadap kation. Bila rasionya 1,5:1 refraktori dianggap netral seperti halnya aluminium oksida (Al_2O_3) di mana tiga anion (oksigen) dan dua kation (aluminium) menghasilkan rasio 1,5:1. Ketika rasio lebih besar dari 1,5:1,0, refraktori bersifat asam. Misalnya, silikon oksida (SiO_2) bersifat asam dengan dua anion dan satu kation menghasilkan rasio 2:1. Refraktori magnesium oksida (MgO) memiliki rasio 1,0:1,0, menunjukkan sebuah bahan dasar. (H.fang, J.D Simth dkk 1998).

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

Tabel 3. Bahan baku refractory brick jenis magnesita

Magnesite ($MgCO_3$)	Magnesite berkristal sangat halus merupakan hasil peruraian dari Serpentin $\{Mg_3Si_2O_5(OH)_4\}$, 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 $\sim 2300\text{ }^\circ\text{C}$
Dolomite- $CaMg(CO_3)_2$	Ubahan dari batu kapur, Titik lebur $1650\text{ }^\circ\text{C}$ Tahan terhadap slag besi dan kapur
Forsiterite ($MgO.SiO_2$)	Hasil ubahan dari batuan basa-ultra basa (dunite, peridotite,serpentine) Kekuatan pada suhu tinggi bagus, Titik lebur : $1730 - 1920\text{ }^\circ\text{C}$.

Chromite (Cr ₂ O ₃)	Hasil ubahan dari peridolite dan serpentinite. Kekuatan pada suhu tinggi bagus, Titik lebur > 1900 OC. Tahan terhadap slag basa.
--	---

Refractory brick dasar umum termasuk magnesia, doloma dan spinel. Bahan-bahan ini sering digabungkan dengan karbon dan grafit dan digunakan di lingkungan di mana terdapat kondisi yang sangat mendasar. Bahan dasar cenderung paling tahan api (suhu operasi tertinggi) dari kelas refraktori.

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 dan termal. *Refractory brick* digunakan oleh berbagai perusahaan, termasuk produsen logam, keramik, semen, dan kaca. Ketika bahan *Refractory brick* telah mencapai akhir masa pakainya, bahan tersebut diganti dengan yang baru yang harus dibuat dari bahan mentah murni dan *Refractory brick* bekas biasanya dibuang. (H.fang, J.D Simth dkk 1998).

Dalam literatur oleh Taner Kavas, dkk.2006. menunjukkan perbandingan komposisi kimia bahan semen Portland dengan batu bata tahan api jenis magnesia, dapat dilihat pada tabel :

Tabel 4. Komposisi kima semen dan refractory brick

Chemical Composition (%)	Portland Cement	Magnesium Chromite
SiO ₂	21.43	2.63
Al ₂ O ₃	5.63	2.44
Fe ₂ O ₃	3.4	7.49
Cr ₂ O ₃	0	4.81
CaO	61.53	3.68
MgO	2.26	67.64
SO ₃	2.89	4.63
Na ₂ O	0.22	1.37
K ₂ O	1.05	3.18
Losses on ignition	1.59	2.13

2.5 Sifat – Sifat Mekanis Beton

2.5.1 Kuat Tekan

Menurut SNI 1974-2011 Kuat tekan beton ($f'c$) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan.

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

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.

2.5.2 Perilaku Tegangan Regangan

Tegangan merupakan perbandingan antara gaya yang bekerja pada beton atau mortar terhadap luas penampangnya. Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) terhadap panjang mula-mula (L) regangan dinotasikan dengan ϵ . Regangan yang terjadi pada beton dinyatakan dalam persamaan.

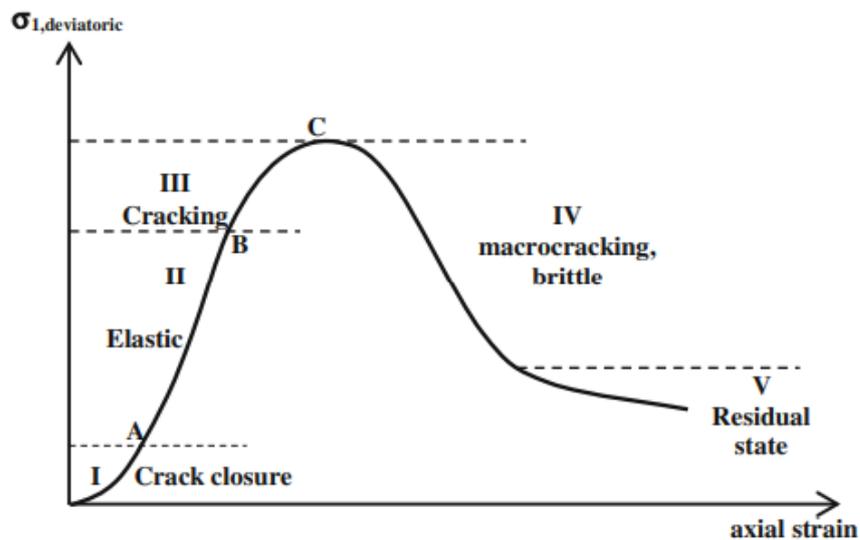
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

ΔL = Perubahan Panjang

L_0 = Panjang awal

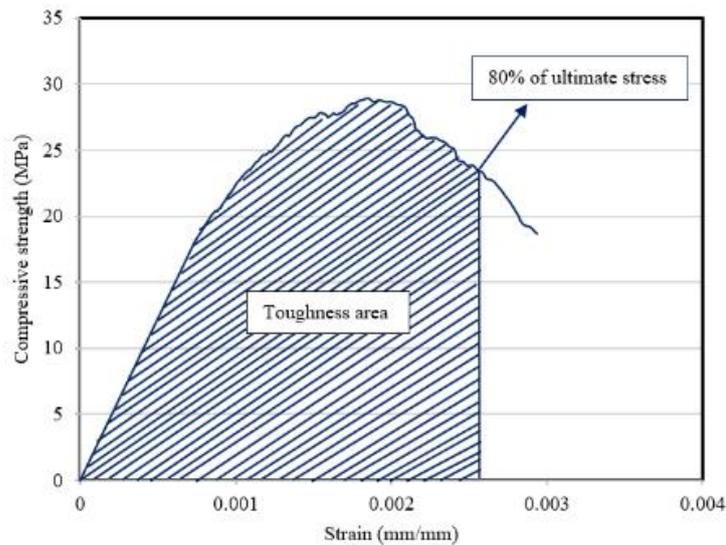
Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamnya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis seperti pada Gambar.



Gambar 1. Grafik Hubungan Tegangan Regangan

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi grafik hubungan tegangan regangan yang terbagi menjadi beberapa kondisi kurva, daerah I kondisi kurva sedikit cekung keatas menandakan Celah terbuka, retakan, pori-pori, dan cacat lainnya mulai menutup; ini adalah bukti pertama nonlinier di kurva. Daerah II Kurva dalam kondisi elastis, Menunjukkan karakteristik bagian yang hampir linier sebagai indikasi perilaku elastis linier. Daerah III kondisi dimana kurva sedikit cekung ke bawah menunjukkan daerah kurva berada di sekitar tingkat tegangan di atas 50% dari maksimum dan menutupi kurva hingga keadaan kegagalan puncak atau titik luluh. Titik C merupakan Titik tegangan maksimum ini ditandai sebagai titik C pada Gambar, Daerah IV menunjukkan keadaan puncak kegagalan berada pada titik luluh dimana kemiringan kurva menurun sampai nol. Daerah V menunjukkan kondisi kurva menurun pasca-kegagalan, material kehilangan kemampuannya untuk menahan atau mempertahankan beban dengan meningkatnya deformasi atau regangan (Levent Tutluoglu, Ibrahim Ferid, dkk 2014).

Pada kurva tegangan regangan juga dapat dihitung nilai toughness (keuletan), dihitung sebagai area di bawah kurva tegangan regangan sampai dengan regangan ultimit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. (Emad A.H. Alwesabi, dkk, 2022).



Gambar 2. Area Toughness dibawah kurva Tegangan Regangan

2.5.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan Panjang. Beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan semen dan agregat.

Nilai modulus elastisitas beton dapat dihasilkan pada pengujian dilaboratorium menggunakan alat kompressometer yang dipasang pada benda uji beton silinder . hasil pengujian dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut (ASTM C 469 – 02):

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \dots\dots\dots (3)$$

keterangan,

- E = Modulus Elastisitas (N/mm²)
- S₂ = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm²)
- S₁ = Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm²)
- ε₂ = Regangan pada saat S₂

Modulus Elastisitas beton juga dapat dihitung dengan rumus empiris menurut (SNI 2847-2013), yaitu :

1. Beton Normal

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

2. Beton ($W_c = 1440 - 2560 \text{ Kg/m}^3$)

$$E = W_c^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f'c} \quad (5)$$

keterangan,

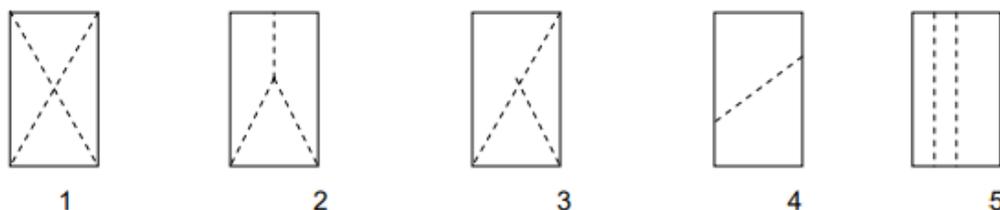
E = Modulus Elastisitas (N/mm^2)

$f'c$ = Kuat Tekan Beton (N/mm^2)

W_c = Berat Volume Beton (Kg/m^3)

2.5.4 Pola Retak

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, dimana terjadi pemisahan antara massa beton yang relatif panjang dengan yang sempit. Secara visual retak nampak seperti garis. Retak pada struktur beton terjadi sebelum beton mengeras maupun setelah beton mengeras. Retak akan terjadi saat beton mulai mengeras tapi telah dibebani, beton mengeras pada musim dingin, susut (shrinkage), penurunan (settlement) dan penurunan acuan (formwork). Menurut SNI 1974:2011 pola keretakan beton ada 5 jenis yaitu, kehancuran kerucut, kehancuran kerucut dan belah, kehancuran kerucut geser, kehancuran geser dan kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar).



Gambar 3. Sketsa gambar tipe/ bentuk kehancuran benda uji

Gambar 3 menunjukkan bentuk kehancuran benda uji, menurut SNI 1974:2011 dengan keterangan gambar sebagai berikut :

Gambar 1 : Bentuk kehancuran kerucut

Gambar 2 : Bentuk kehancuran kerucut dan belah

Gambar 3 : Bentuk kehancuran kerucut dan geser

Gambar 4 : Bentuk kehancuran geser

Gambar 5 : Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)