

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN TEGANGAN  
REGANGAN BETON YANG TERBUAT DARI LIMBAH BATU  
BATA TAHAN API JENIS ALUMINA DAN SEMEN  
PORTLAND KOMPOSIT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD FATHIR RAYHAN  
D011 19 1112**



**PROGRAM STUDI SARJANA 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 ALUMINA DAN  
SEMEN PORTLAND KOMPOSIT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD FATHIR RAYHAN**

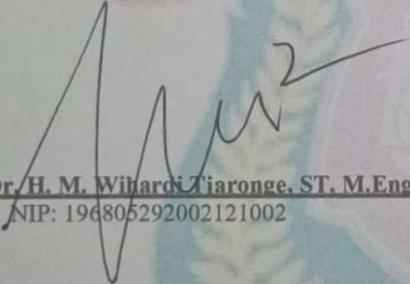
**D011 19 1112**

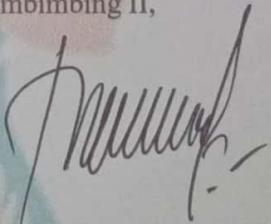
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

Ketua Program Studi,  
  
Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Fathir Rayhan

NIM : D011191112

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  
ALUMINA DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT}

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



Muhammad Fathir Rayhan

## ABSTRAK

**MUHAMMAD FATHIR RAYHAN.** *Studi Eksperimental Hubungan Tegangan Regangan Beton Yang Terbuat Dari Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Alumina Dan Semen Portland Komposit* (dibimbing oleh M. Wihardi Tjaronge dan Akbar Caronge)

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang banyak dipakai di Indonesia dalam pembangunan gedung, jembatan, dermaga, dan lain-lain. Dengan semakin berkembangnya pembangunan infrastruktur mengakibatkan peningkatan kebutuhan material beton dan menyebabkan menipisnya persediaan material pembuatan beton. Penggunaan material refraktori batu bata tahan api dalam pembuatan beton dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan sangat berpotensi pada produksi beton dalam pembangunan infrastruktur. Dalam penelitian ini terdapat 3 sampel beton dari tiap variasi, dimana variasi tersebut yaitu beton normal, dan beton substitusi agregat kasar dengan komposisi 15%, 30%, dan 50%. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan tegangan dan regangan beton, mengidentifikasi perilaku kuat tekan beton dan pola retak beton sebagai substitusi agregat kasar refraktori brick jenis alumina. Penelitian ini dilakukan pengujian perilaku mekanik dan pengamatan pola retak pada beton dari tiap variasi dengan menggunakan refraktori sebagai substitusi agregat kasar dalam pembuatan beton. Perilaku mekanik yang dimaksud berupa pengujian kuat tekan, dan modulus elastisitas. Perawatan beton dilakukan dengan cara beton direndam dalam bak curing. Pengujian kuat tekan yang dilaksanakan pada umur 7, dan 28 hari. Dari hasil pengujian terdapat peningkatan kuat tekan beton, pengujian beton dengan substitusi agregat kasar refraktori belum memenuhi target kuat tekan rencana beton. Dapat dilihat bahwa kuat tekan beton dengan batu bata tahan api sebagai substitusi agregat kasar tertinggi pada beton umur 28 hari dengan variasi komposisi substitusi 15% dengan nilai kuat tekan beton rata rata 25,15 Mpa.

Kata Kunci: Batu Bata Tahan Api, Kuat Tekan, Tegangan, Regangan, Modulus elastisitas.

## ABSTRACT

**MUHAMMAD FATHIR RAYHAN.** *Experimental Study of Stress-Strain Relationships of Concrete Made from Waste Alumina Refractory Bricks and Composite Portland Cement* (supervised by M. Wihardi Tjaronge and Akbar Caronge)

Concrete is a building material that is widely used in Indonesia in the construction of buildings, bridges, piers, and others. With the development of infrastructure development, it results in an increase in the need for concrete materials and causes a depletion of supplies of concrete-making materials. The use of refractory bricks in the manufacture of concrete can reduce environmental pollution and has great potential in the production of concrete in infrastructure development. In this study there were 3 concrete samples from each variation, where the variations were normal concrete, and coarse aggregate substituted concrete with a composition of 15%, 30% and 50%. The purpose of this study was to determine the relationship between stress and strain in concrete, to identify the compressive strength behavior of concrete and concrete crack patterns as a substitute for coarse aggregate of alumina refractory bricks. This research was carried out by testing the mechanical behavior and observing crack patterns in concrete of each variation using refractory as a substitute for coarse aggregate in the manufacture of concrete. The mechanical behavior in question is in the form of compressive strength and modulus of elasticity tests. Concrete curing is done by immersing the concrete in a curing bath. Compressive strength testing carried out at the age of 7 and 28 days. From the test results there was an increase in the compressive strength of concrete, testing of concrete with refractory coarse aggregate substitution did not meet the concrete design compressive strength target. It can be seen that the compressive strength of concrete with refractory bricks as a substitute for coarse aggregate is highest in concrete aged 28 days with a variation of 15% substitution composition with an average concrete compressive strength value of 25.15 MPa.

Keywords: Refractory Brick, Stress, Strain, Compressive Strength, Modulus of Elasticity.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan .....	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan .....	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Beton .....	5
2.1.1 Pengertian Beton .....	5
2.2 Penelitian Terdahulu .....	7
2.3 Bahan Penyusun Beton .....	9
2.3.1 Semen Portland .....	9
2.3.2 Air .....	12
2.3.3 Agregat .....	13
2.3.3.1 Agregat Kasar .....	14
2.3.3.2 Agregat Halus .....	15
2.3.4 Batu Bata Tahan Api ( <i>Refractory Bricks</i> ) Jenis Alumina .....	17
2.4 Sifat-Sifat Mekanis Beton .....	18
2.4.1 Kuat Tekan .....	18
2.4.2 Perilaku Tegangan Regangan Beton .....	19
2.4.3 Toughness .....	21
2.4.4 Modulus Elastisitas .....	21
2.5 Pola Retak .....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN</b> .....	24
3.1 Prosedur Penelitian .....	24
3.2 Lokasi Penelitian .....	25
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data .....	26
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	26
3.4.1 Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah .....	26
3.4.2 Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah .....	27
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material .....	28
3.5.1 <i>Refractory brick</i> dan Agregat Kasar .....	28
3.5.2 <i>Refractory brick</i> dan Agregat Halus .....	28
3.6 Pembuatan Benda Uji .....	29
3.7 Metode Pemeriksaan <i>Slump Test</i> .....	30

3.8 Perawatan ( <i>Curing</i> ) Benda Uji.....	30
3.9 Pengujian Benda Uji .....	31
3.9.1 Pengujian Kuat Tekan.....	31
3.9.2 Pengujian Modulus Elastisitas.....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Hubungan Tegangan Regangan .....	33
4.1.1 Agregat Kasar.....	33
4.1.1.1 Kerikil 14 mm.....	33
4.1.1.2 Kerikil 28 mm.....	34
4.1.1.3 Refraktori Brick Alumina.....	34
4.1.2 Agregat Halus.....	36
4.2 Rancangan Campuran Beton.....	37
4.3 Hubungan Tegangan Regangan .....	37
4.4 Beban Puncak.....	40
4.5 Regangan Puncak.....	42
4.6 Regangan Ultimate.....	42
4.7 Toughness .....	43
4.8 Modulus Elastisitas .....	44
4.9 Pola Retak .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik Hubungan Tegangan Regangan.....	19
Gambar 2 Area Toughness di Bawah Kurva Tegangan Regangan.....	20
Gambar 3 Sketsa Gambar Tipe/ Bentuk Kehancuran Benda Uji.....	22
Gambar 4 Material Beton.....	28
Gambar 5 Curing Air Benda Uji.....	30
Gambar 6 Pengujian Modulus Elastisitas.....	32
Gambar 7 Analisa Saringan <i>Refraktori Brick Sidewall</i> .....	36
Gambar 8 Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Normal A-0 ( $f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	38
Gambar 9 Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Substitusi <i>RB</i> <i>Sidewall</i> A-15 ( $f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	38
Gambar 10 Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Substitusi <i>RB</i> <i>Sidewall</i> A-30 ( $f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	39
Gambar 11 Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Substitusi <i>RB</i> <i>Sidewall</i> A-50 ( $f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	40
Gambar 12 Hasil Analisa Kuat Tekan.....	41
Gambar 13 Hasil Analisa Regangan Puncak Beton.....	42
Gambar 14 Hasil Analisa Regangan Ultimate Beton.....	43
Gambar 15 Hasil Analisa Toughness.....	44
Gambar 16 Hasil Pola Retak Sampel Beton Normal (A-0) (a) Umur 7 Hari ; (b) Umur 28 Hari.....	45
Gambar 17 Hasil Pola Retak Sampel Beton A-15 (a) Umur 7 Hari ; (b) Umur 28 Hari.....	46
Gambar 18 Hasil Pola Retak Sampel Beton A-30 (a) Umur 7 Hari ; (b) Umur 28 Hari.....	47
Gambar 19 Hasil Pola Retak Sampel Beton A-50 (a) Umur 7 Hari ; (b) Umur 28 Hari.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus.....	16
Tabel 2. Bahan Baku Refraktori Jenis Netral.....	18
Tabel 3. Pemeriksaan Karakteristik <i>Refractory brick</i> dan Agregat Kasar.....	28
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik <i>Refractory brick</i> dan Agregat Halus.....	29
Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Batu Pecah 10-20 mm.....	33
Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Batu Pecah 20-30mm.....	34
Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Refraktori Brick Sidewall</i> .....	35
Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir.....	36
Tabel 9. Komposisi Campuran Beton $f'c$ 25 MPa.....	37
Tabel 10. Hasil Modulus Elastisitas Beton Pada Setiap Variasi Beton Substitusi Agregat Kasar Dengan <i>Refractory brick</i> dan Beton Normal Sebagai Kontrol Pada Umur 28 Hari Secara Eksperimental.....	45

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL**

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kuat tekan beton (MPa atau N/mm <sup>2</sup> )
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas penampang benda uji (mm <sup>2</sup> )
$f$	Tegangan
$\varepsilon$	Regangan
$\Delta L$	Perubahan panjang (mm)
L0	Panjang awal (mm)
E	Modulus elastisitas (N/mm <sup>2</sup> )
S2	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm <sup>2</sup> )
S1	Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm <sup>2</sup> )
Wc	Berat volume beton (Kg/m <sup>3</sup> )

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Persiapan Material.....	53
Lampiran 2 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	54
Lampiran 3 Dokumentasi Perawatan Benda Uji.....	55
Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Benda Uji.....	56

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN BETON YANG TERBUAT DARI LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS ALUMINA DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSITE”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan 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, 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., MT.**, 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 persembahkan kepada:

1. Almarhum ayah **Dr. drg. Muhammad Ilyas M.Kes** dan Almarhumah ibu **drg. Ratna Bima** yang sudah terlebih dahulu dipanggil oleh yang Maha Kuasa. Terima kasih semasa hidupnya telah merawat dan membesarkan saya dengan penuh rasa kasih sayang dan berharap semua anaknya menjadi anak yang baik, sholeh dan mejadi anak yang sukses dan berguna bagi orang lain. Semoga ayah dan ibu bangga kepada saya.
2. Kakak saya **Reski Wulan Salsabila** dan adik **Muhammad Fadil Zesa** yang saya sayangi yang selalu bergurau bersama dan selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Tante saya yaitu **Rosnidawati, Umiarni, dan Irawati** yang sudah saya anggap sebagai orang tua kandung saya sendiri yang sampai saat ini beliau yang membesarkan saya dan saudara saya dengan penuh rasa kasih sayang dan juga memberikan dukungan yang besar kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman terkasih di **Laboratorium Riset Eco Material** senantiasa bersama-sama saling memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Saudara-saudari **Portland 2020** yang menemani selama perkuliahan hingga sampai pada tahap ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil

Gowa, 9 Maret 2023

Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT Vale Indonesia merupakan anak perusahaan dari Vale, sebuah perusahaan pertambangan global yang berkantor pusat di Brasil. Perusahaan ini mengoperasikan tambang nikel open pit dan pabrik pengolahan di Sorowako, Sulawesi Selatan, sejak tahun 1968. PT Vale Indonesia merupakan perusahaan yang mendapat lisensi dari pemerintah Indonesia untuk melakukan eksplorasi, penambangan, pengolahan dan produksi nikel. Saat ini PT Vale Indonesia menjadi produsen nikel terbesar di Indonesia dan menyumbang 5% pasokan nikel di Indonesia. Saat ini jumlah dinding tungku pembakaran di PTVI yang dihasilkan mencapai sekitar 4500 ton per tahun atau sebesar 150 m<sup>3</sup>, dimana dinding tungku pembakaran tersebut digolongkan sebagai limbah. Sehingga hasil dari pembuangan limbah refraktori batu bata tersebut akan mencemari lingkungan sekitar pertambangan.

Refraktori adalah bahan padat yang dapat menahan suhu tinggi dan mempertahankan fungsi mekanisnya untuk jangka waktu yang diperlukan dalam segala keadaan, bahkan dalam kontak dengan cairan atau gas korosif. Refraktori sangat diperlukan untuk semua proses suhu tinggi, seperti produksi logam, semen, kaca, dan keramik. Ada berbagai macam refraktori yang dirancang untuk memenuhi persyaratan suhu dan proses dari setiap aplikasi. Refraktori dapat diaplikasikan dalam berbagai cara dengan yang paling umum berdasarkan metode pemasangan (berbentuk atau tidak berbentuk), jenis ikatan dan komposisi kimia (Fang et al. 1999). Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang banyak dipakai di Indonesia dalam pembangunan gedung, jembatan, dermaga, dan lain-lain. Pengertian beton itu sendiri adalah sebuah bahan bangunan komposit yang dimana komposisi utama penyusun beton yaitu agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimia sejumlah material pembentuknya (Nawy. 1985:8).

Dengan berkembangnya pembangunan infrastruktur yang sangat pesat, banyaknya jumlah penggunaan beton dalam konstruksi bangunan tersebut mengakibatkan peningkatan kebutuhan material beton, sehingga penambahan batuan

sebagai salah satu bahan campuran pembuatan beton secara besar-besaran dapat menyebabkan turunnya jumlah sumber daya alam yang tersedia untuk keperluan material pembuatan beton (Suharwanto, 2005). Dengan semakin meluasnya penggunaan beton dan makin meningkatnya skala pembangunan maka semakin banyak kebutuhan beton di masa yang akan datang sehingga berpengaruh terhadap perkembangan teknologi beton dimana akan ada inovasi-inovasi terhadap beton itu sendiri . Oleh karena itu berbagai penelitian dan percobaan tentang material untuk beton telah banyak dilakukan untuk mencari bahan lain sebagai penunjang bahan material beton. Pemanfaatan refraktori batu bata sebagai pengganti agregat kasar saat ini masih terbatas, akibat refraktori batu bata tahan api sebagai terkontaminasi logam berbahaya dari proses peleburan biji nikel di internal PTVI.

Penggunaan limbah refraktori batu bata tahan api dalam pembuatan beton dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan sangat berpotensi pada produksi beton dimana penggunaan beton sangat besar untuk pembangunan sarana dan prasarana. Pemanfaatan limbah refraktori batu bata tahan api sebagai agregat kasar pada beton akan memberi dampak ekonomi yang baik bagi pemerintah dan masyarakat sekitar jika mampu digunakan secara baik . Selain itu, pemanfaatan limbah refraktori batu bata sebagai agregat akan menghemat pemakaian sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Kajian atau penelitian yang lebih komprehensif tentang penggunaan agregat refraktori batu bata pada beton sangat dibutuhkan agar dapat digunakan secara umum yang memenuhi aspek kekuatan dan lingkungan sesuai dengan peraturan yang ditetapkan di Indonesia.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini menggunakan refraktori sebagai pengganti agregat kasar pada beton dengan variasi penggantian agregat sebesar 15%, 30% dan 50% terhadap jumlah agregat kasar yang digunakan. Dalam penelitian ini yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui perilaku hubungan tegangan dan regangan beton dengan penambahan refraktori brick.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis mengangkat judul **“STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN BETON YANG TERBUAT DARI LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS ALUMINA DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSITE”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Perilaku hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada beton yang menggunakan *refractory brick* jenis alumina sebagai substitusi agregat kasar.
2. Hasil modulus elastisitas beton yang menggunakan *refractory brick* jenis alumina sebagai substitusi agregat kasar.
3. Pola retak beton yang menggunakan *refractory brick* jenis alumina sebagai substitusi agregat kasar.

## 1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

1. Menganalisis perilaku hubungan antara tegangan dan regangan beton yang menggunakan *refractory brick* jenis alumina sebagai substitusi agregat kasar.
2. Mengidentifikasi modulus elastisitas beton yang menggunakan *refractory brick* jenis alumina sebagai substitusi agregat kasar.
3. Mengklasifikasikan pola retak pada beton yang menggunakan *refractory brick* jenis alumina sebagai substitusi agregat kasar.

## 1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan wawasan mengenai hubungan tegangan dan regangan beton dengan menggunakan *refractory brick* sebagai pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton.

## 1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan diatas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium yang sesuai dengan standar (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang sesuai diharapkan.
2. *Refractory brick* yang digunakan adalah jenis alumina.
3. Penelitian pembuatan beton menggunakan cetakan silinder (tinggi 20 cm diameter 10 cm).

4. Beton yang diproduksi dengan menggunakan jenis semen Portland Komposit (PCC).
5. Batu bata tahan api jenis alumina sebagai pengganti 15%, 30%, dan 50% agregat kasar pada campuran beton.
6. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 7 dan 28 hari pada kondisi curing air.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Beton**

#### **2.1.1 Pengertian Beton**

Menurut SNI 03-2847-2002, beton didefinisikan sebagai campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *additive*) yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f'c$ ) usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan.

Bahan-bahan dasar penyusun beton merupakan faktor yang sangat menunjang terhadap kualitas beton. Pada dasarnya, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, 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. 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.

Perencanaan campuran, jenis, mutu, dan jumlah bahan susunan beton harus dihitung dalam proporsi atau perbandingan tertentu agar menghasilkan kualitas beton yang diinginkan. Kualitas beton yang dihasilkan dari campuran bahan-bahan dasar penyusun beton meliputi kekuatan dan keawetan. Sifat-sifat sangat ditentukan oleh sifat penyusunnya, cara pengadukan, cara pengerjaan selama penuangan adukan beton ke dalam cetakan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan. Perencanaan campuran beton yang sebaik-baiknya, yaitu: kuat tekannya tinggi, mudah dikerjakan, dan murah.

Dimana dalam hal ini beton memiliki kelebihan dan kekurangan dalam sebagai bahan struktur bangunan. Adapun kelebihan dan kekurangan dari beton sebagai bahan struktur bangunan adalah:

Kelebihan beton sebagai suatu bahan struktur bangunan:

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik dan tahan terhadap korosi dan pembusukan yang disebabkan oleh kondisi lingkungan.
2. Bahan- bahan penyusun beton mudah didapat.
3. Perawatan beton dapat dilakukan dengan mudah.
4. Beton dapat dengan mudah dicetak sesuai keinginan.
5. Dalam pelaksanaan beton dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang terdapat retakan.
6. Beton tahan terhadap aus dan tahan bakar, sehingga perawatan relatif lebih murah.

Kekurangan beton sebagai suatu bahan struktur bangunan:

1. Beton lemah terhadap gaya tarik, sehingga dapat menyebabkan retakan pada beton.
2. Bentuk beton dapat menyusut dan mengembang, jika terjadi perubahan suhu.
3. Pelaksanaan beton harus dilakukan dengan teliti agar mendapatkan beton kedap air secara sempurna.
4. Beton tidak kedap terhadap air (permeabilitas beton relatif tinggi), mudah terdesintegrasi oleh sulfat yang dikandung oleh tanah (Murdock, 1991).

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

Mohammad Zeghad dkk (2017) melakukan penelitian untuk mengevaluasi potensi limbah batu bata tahan api sebagai bahan tambahan semen (dengan total substitusi asap silika) untuk menghasilkan beton kinerja ultra tinggi (UHPC). Dalam prakteknya, perumusan beton ini membutuhkan komponen yang memadai dan parameter komposisi yang dikontrol dengan baik seperti rasio W/C, campuran pengikat (penambahan semen dan mineral, dan dengan harus lebih tinggi dengan air minimum (W/C lebih rendah) untuk mencapai kinerja mekanik terbaik. Peneliti menyajikan studi eksperimental tentang formulasi dan karakteristik fisiko-mekanik beton bertulang serat kinerja ultra tinggi berdasarkan tiga jenis limbah batu bata tahan api yang dihancurkan halus. Tiga komposisi beton (UHPC) dikembangkan berdasarkan tiga jenis bata tahan api limbah (ditumbuk halus), dosis masing-masing jenis bata dijaga konstan dengan dosis asap silika yang sama digunakan untuk beton kontrol. Sementara semua konstituen lainnya dan rasio air / pengikat dipertahankan. Batu bata tahan api yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah; Alumina berbasis batu bata (BRAL); Magnesium berbasis batu bata (BRMg); Silica-Zirconium (BRZr) berbahan dasar bata tahan api. Komposisi kimia dari batu bata refraktori yang digunakan dalam pekerjaan ini sangat luar biasa bahwa kandungan oksida berbeda di setiap batu bata. Memang, batu bata berbasis alumina mengandung lebih dari 40% alumina dari batu bata magnesium oksida mengandung lebih dari 45% MgO. Kekurangannya, batu bata Zirkonium tidak hanya mengandung Zirkonia 40% tetapi juga silika sekitar 12%, tetapi batu bata jenis ini harus memiliki Zr lebih dari 30%.

Ardalan Baradaran-Nasiri dkk (2017) menyajikan studi komprehensif tentang penggunaan agregat halus batu bata tahan api yang dihasilkan dari penghancuran limbah pabrik batu bata tahan api. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki keefektifan agregat halus bata refraktori yang mengandung Aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) dalam tingkat yang signifikan dalam meningkatkan sifat beton pada suhu tinggi relatif terhadap beton biasa. Selain itu, semen aluminat adalah bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini, dan mengingat kandungan  $Al_2O_3$  yang tinggi, kinerja yang baik diharapkan dibandingkan dengan semen biasa. Banyak penelitian telah dikhususkan untuk penggunaan kembali batu bata sejauh ini, tetapi

literatur mengenai batu bata alumina dan aplikasinya dalam campuran beton yang mengandung semen aluminat masih langka, karena kemampuan pengerjaan benda uji beton yang dibuat dengan agregat bata tahan api dipengaruhi oleh jumlah air yang diserap oleh butiran agregat bata tahan api dipengaruhi oleh jumlah air yang diserap oleh butiran agregat bata tahan api yang dihancurkan, agregat bata tahan api yang digunakan dalam penelitian ini dibasahi untuk mencapai tingkat penyerapan air dari butirannya dan kemudian diletakkan di bawah kondisi SSD selama 24 jam sebelum menyiapkan campuran beton. Dimana didapatkan hasil kuat tekan benda uji semua menurun dengan meningkatnya suhu, dengan hilangnya kuat tekan pada benda uji yang mengandung semen biasa setelah mengalami 400° C menjadi lebih kuat dibandingkan dengan suhu lainnya. Kehilangan kuat tekan untuk specimen yang mengandung semen aluminat, tinggi pada suhu 110° C dan kecepatannya menurun diatas suhu ini. Modulus elastisitas semua benda uji menurun dengan naiknya suhu. Di atas suhu 200° C dan mencapai 400° C, terjadi penurunan drastis pada modulus elastisitas, dengan eksperimen yang mengandung semen aluminat menunjukkan nilai reduksi yang lebih tinggi, yang menunjukkan peningkatan tajam dalam tingkat porositas specimen pada temperature ini.

Nematzadeh, Mahdi et al. (2018) menggunakan batu bata tahan api yang telah didaur ulang menjadi agregat dan dicampur dengan serat Calcium Aluminate Cement (CAC) dan Polyvinyl Alcohol (PVA) dalam beton di lingkungan asam untuk peninjauan perilaku optimasi kuat beton tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki perilaku tekan beton yang mengandung agregat bata refraktori daur ulang halus bersama dengan serat Calcium Aluminate Cement (CAC) dan Polyvinyl Alcohol (PVA)) di bawah lingkungan asam. Untuk mencapai tujuan tersebut, 96 benda uji beton agregat halus dipaparkan dengan serangan asam sulfat 5% selama periode 0, 7, 21, dan 63 hari, kemudian dilakukan berbagai percobaan. Untuk mengetahui tingkat korosi benda uji terlebih dahulu dilakukan pengujian variasi berat, kemudian dilakukan pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), yaitu pengujian beton non destruktif untuk mendapatkan tingkat porositas dan densitas, dan pada akhir fase percobaan, spesimen dilakukan pengujian tekan setelah diperiksa

secara visual untuk memeriksa tingkat korosi. Akhirnya, dengan menggunakan Respon Surface Method (RSM), solusi optimal untuk parameter desain disajikan dengan memaksimalkan kuat tekan beton berserat serta membuat campuran beton hemat biaya. Secara umum, hasil menunjukkan bahwa spesimen yang mengandung semen kalsium aluminat bersama dengan serat PVA menunjukkan sifat mekanik yang baik dalam hal pengendalian korosi terhadap serangan asam, sementara spesimen yang mengandung agregat bata tahan api yang halus menunjukkan kinerja yang kurang memuaskan dalam hal ini.

## **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 hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (Tri Mulyono, 2005). 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 (SiO<sub>3</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sedikit magnesia (MgO), terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksida besi, sedangkan gipsum (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen.

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (clinker) portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat ( $x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4\cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen portland bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ( $x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4\cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara irreversible, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 15-2049-2004, terdapat beberapa jenis dan penggunaan semen yaitu:

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan 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.

Semen tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Contohnya, ketika pemilik rumah atau tukang batu yang sedang mengerjakan proyek atau merenovasi rumah, pada saat membeli semen di toko bangunan, mereka hanya menyebut semen, tanpa menyebut jenis semen apa yang seharusnya digunakan cocok dengan lingkungan pemukiman mereka berada, antara lain: bangunan, perumahan gedung-gedung bertingkat, jembatan, landasan pacu dan jalan raya.

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 ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase. Semen portland tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

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). Kegunaan pembuatan jalan beton, landasan lapangan udara, bangunan, tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

Semen tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C3S nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C3A nya maksimum 5%. Semen tipe ini digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang portland tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis. Cocok digunakan untuk daerah yang bersuhu panas.

Semen tipe V yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir. Dan untuk memenuhi kebutuhan di wilayah dengan kadar asam sulfat tinggi seperti air laut, serta kawasan tambang. Jenis bangunan yang membutuhkan jenis ini diantaranya bendungan, pelabuhan konstruksi dalam air, hingga pembangkit tenaga nuklir.

### 2.3.2 Air

Air merupakan komponen penting yang diperlukan untuk pembuatan beton. Mengingat beton merupakan material komposit dimana air memiliki 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. Selain itu air merupakan bahan utama selain dari agregat yang digunakan untuk membuat beton. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan- bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat dari semen serta mengganggu reaksi hidrasi antara air dan semen. 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) (Veliyati 2010). Air berfungsi untuk melakukan reaksi hidrolis dengan semen sehingga dapat membentuk pasta. Jumlah air harus diperhitungkan agar dapat mencukupi kebutuhan untuk melaksanakan reaksi hidrolis dengan semen dan diserap oleh pori-pori agregat. Persyaratan air sebagai bahan bangunan harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam- asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO<sub>3</sub>.
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Semua air yang mutunya merugikan harus dianalisa secatra kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.
7. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut diatasair tidak

boleh mengandung khlorida lebih dari 50 p.p.m.

Menurut SNI – 03 – 2847 – 2002 air yang digunakan dalam pembuatan beton adalah:

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. 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 mengisi sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Agregat mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat beton, oleh karena itu pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 1996). 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. Praktek di lapangan menurut Tjokrodinuljo (1996) pada umumnya agregat dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- a. Batu ( besar butiran > 40 mm),
- b. Kerikil ( besar butiran antara 5 mm – 40 mm)
- c. Pasir ( besar butiran antara 0,15 mm – 5 mm).

### **2.3.3.1 Agregat Kasar**

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat kasar adalah 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 tidak boleh mengandung bahan-bahan organik dan mampu memiliki ikatan yang baik. 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), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%. Mutu agregat kasar menurut ASTM C 33-02 (2002) disyaratkan sebagai berikut.

1. Tidak reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen mengandung natrium oksida kurang dari 0,6%.
2. Susunan gradasi memenuhi syarat.
3. Kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton.
4. Sifat fisika (kekerasan butir agregat yang diuji dengan *Los Angeles Abrasion*).

### **2.3.3.2 Agregat Halus**

Menurut SNI Menurut SNI – 03 – 2847 – 2002 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. Agregat material yang memiliki fungsi sebagai bahan isi dalam adukan beton. Karakteristik agregat sangat mempengaruhi kualitas dari beton itu sendiri. Agregat ditujukan untuk memberikan bentuk pada beton, dan memberikan kekerasan atau kekuatan terhadap beton. 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. 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 1

Tabel 1. 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

Agregat halus harus memenuhi persyaratan dibawah ini:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\leq 2,2$ .
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
  - 1) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%.
  - 2) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm. apabila lumpur melampaui 5%, maka agregat harus dicuci.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama, tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

6. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

#### **2.3.4 Batu Bata Tahan Api (*Refractory Bricks*) Jenis Alumina**

Batu bata tahan api adalah salah satu kelompok refractory material jenis *formed refractory* atau *shaped refractory* dari bahan tahan api dengan unsur alumina dan silica yang digunakan untuk melapisi tungku, kiln (pembakaran), dan ruang api lainnya. Batu bata tahan api dibangun terutama untuk menahan suhu tinggi, tetapi juga harus memiliki konduktivitas termal yang rendah untuk menghemat energi, dimana refraktori berbentuk atau batu bata ditekan dalam geometri yang telah ditentukan dan dipasang seperti itu, sedangkan refraktori tidak berbentuk, biasanya disebut sebagai monolitik, disediakan dalam bentuk bubuk dan dibentuk di lokasi selama pemasangan dengan cara dituang, diratakan, ditusuk, ditabrak, digetarkan, dan disuntikkan. (Fang et al., 1999).

Dalam kelompok refraktori berbentuk perbedaan lebih lanjut dapat dibuat antara keramik dan karbon bata berikat. Batu bata yang diikat atau dibakar keramik dibentuk pada suhu (1500°C) menggunakan pengikat hidrokarbon dan kekuatan akhir dikembangkan selama penembakan *in situ*. Klasifikasi menjadi asam, basa atau netral didasarkan pada interaksi bahan baku utama dengan air. Refraktori asam seperti bahan alumina-silikat, silika dan zirkon biasanya digunakan untuk suhu operasi yang lebih rendah daripada refraktori lain dan cenderung jauh lebih murah untuk diproduksi (Fang et al., 1999).

Refraktori netral yang paling umum adalah alumina dan kromia. Produksi *refraktori kromia* telah menurun selama dekade terakhir karena masalah lingkungan dengan pembentukan *kromium heksavalen*. Oleh karena itu, refraktori alumina adalah bahan netral yang paling tersedia. Bahan-bahan ini digunakan secara luas oleh industri logam karena suhu lelehnya yang tinggi, harga sedang, dan kemampuan untuk digunakan dalam lingkungan asam dan basa.

Tabel 2 Bahan baku refraktori jenis netral

Bauxite	-Campuran antara diaspor (α-AlO.OH), gibbsite { Al(OH) <sub>3</sub> } dan boehmit (AlO.OH). -Hasil pelapukan dan leaching silika dari batuan yang kaya alumina (granit, syenit).
Corundum / Alumina	-Formula Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Kadar Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 88 – 99% -Titik lebur 1850 – 2050 °C -Merupakan mineral tambahan pada batuan metamorf (mica-schist, gneiss)
Carbon	-Coke, Antrachite, Bituminous, Graphite, Charcoal -Titik lebur 2000 – 2990 °C -Termal ekspansi rendah -Ketahanan terhadap suhu kejut bagus -Tidak mudah terbasahi oleh cairan besi
Silicon Carbide	-SiC (85-99 %) -Titik lebur 1730 – 2000 °C -Ketahanan terhadap suhu kejut bagus -Kekuatan pada suhu tinggi bagus

## 2.4 Sifat-Sifat Mekanis Beton

### 2.4.1 Kuat Tekan

Menurut SNI 03-1974-1990 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.

Menurut (Edward G. Nawy, 2009) kuat tekan beton banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor, parameter - parameter yang paling penting mempengaruhi kekuatan beton antara lain:

1. Kualitas semen.
2. Proporsi semen terhadap campuran ialah Faktor Air Semen (FAS).

3. Kekuatan agregat adalah nilai abrasi dari agregat kasar dan luas permukaan agregat.
4. Interaksi atau adesi antara pasta semen dengan agregat berupa rasio agregat-semen.

Menurut SNI 1974-2011 nilai kuat tekan benda uji dengan membagi nilai maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan sebagai mana yang diuraikan pada pasal 5 dan nyatakan hasilnya dengan dibulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 MPa.

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

Keterangan :

- $f'c$  = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm<sup>2</sup>)
- P = Gaya tekan aksial (N)
- A = Luas penampang melintang benda uji (mm<sup>2</sup>)

#### 2.4.2 Perilaku Tegangan Regangan Beton

Tegangan ( $f$ ) merupakan besarnya gaya yang bekerja pada tiap satuan luas penampang yang dirumuskan:

$$f = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- $f$  = Tegangan
- P = Gaya tekan aksial (N)
- A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

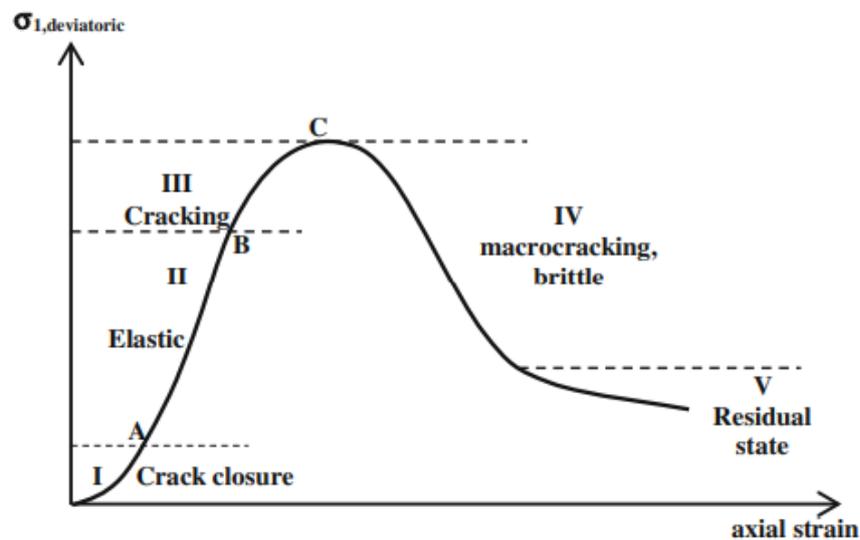
Regangan merupakan pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang mula-mula yang disebabkan oleh adanya gaya luar yang mempengaruhi benda, dimana dinyatakan dalam persamaan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- $\varepsilon$  = Regangan
- $\Delta L$  = Perubahan panjang (mm)
- $L_0$  = Panjang awal (mm)

Adapun 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 1.

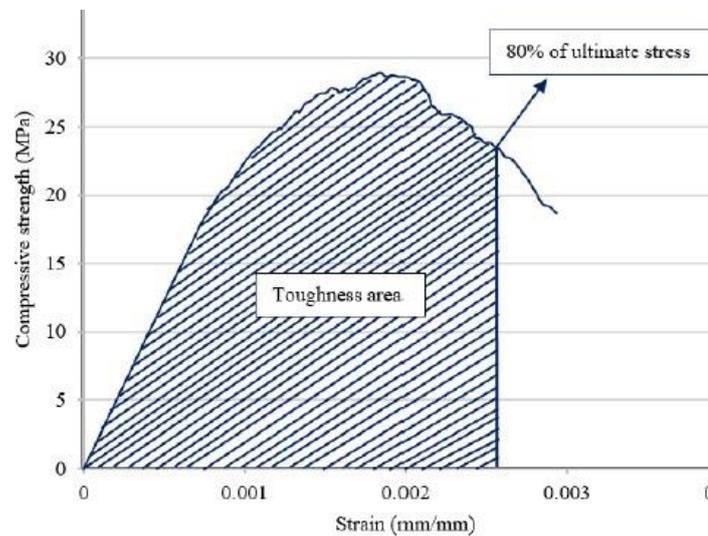


Gambar 1 Grafik hubungan tegangan regangan

Gambar 1 menggambarkan ilustrasi grafik hubungan tegangan regangan yang terbagi menjadi beberapa kondisi kurva, daerah I kondisi kurva sedikit cekung ke atas 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).

### 2.4.3 Toughness

Nilai toughness benda uji beton dihitung sebagai area di bawah kurva tegangan-regangan sampai dengan regangan ultimit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 . Menentukan area tertentu di bawah kurva tegangan-regangan sebesar 80% untuk tegangan ultimit di area pasca-puncak yang diberikan (Emad A.H. Alwesabi, dkk, 2022).



Gambar 2 Area toughness di bawah kurva tegangan regangan

### 2.4.4 Modulus Elastisitas

Sifat elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, semakin besar modulus elastisitas maka semakin kecil lendutan yang terjadi. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh modulus elastisitas agregat dan perbandingan volume dari agregat di dalam beton. Modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada suatu waktu tertentu dari hasil eksperimen. (Murdock, dalam penelitian Andi 2014)

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

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,000050)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- $E$  = Modulus elastisitas ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $S_2$  = Tegangan pada 40% tegangan runtuh ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $S_1$  = Tegangan pada saat regangan 0,000050 ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $\epsilon_2$  = Regangan pada saat  $S_2$

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

1. Beton Normal

$$E = 4700\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (5)$$

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

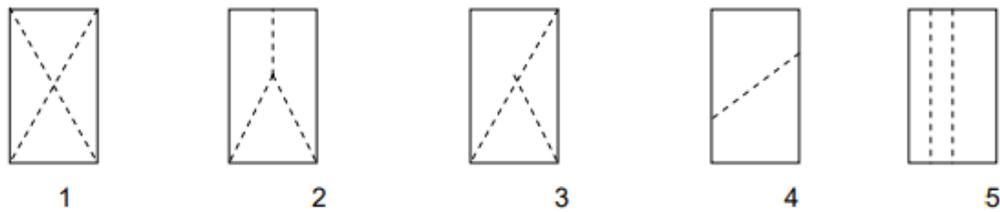
$$E = W_c^{1,5} \times 0,043\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan,

- $E$  = Modulus elastisitas ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $f'c$  = Kuat tekan beton ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $W_c$  = Berat volume beton ( $\text{Kg/m}^3$ )

## 2.5 Pola Retak

Beton merupakan salah satu bahan yang paling sering digunakan di dunia konstruksi. Dalam pelaksanaannya di lapangan tidak menutup kemungkinan terjadi kegagalan. Salah satu kegagalan yang terjadi adalah keretakan pada beton (*crack*). Retak pada struktur beton adalah suatu keadaan dimana terjadi pecah atau permisahan struktur, tanpa terjadinya keruntuhan. Pada kondisi di lapangan, variasi pola retak berbeda satu dengan yang lainnya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban, momen dan geser. 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 :

- a. Gambar 1 : Bentuk kehancuran kerucut
- b. Gambar 2 : Bentuk kehancuran kerucut dan belah
- c. Gambar 3 : Bentuk kehancuran kerucut dan geser
- d. Gambar 4 : Bentuk kehancuran geser
- e. Gambar 5 : Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)