

SKRIPSI

**PENGARUH LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS
MAGNESIA SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA
HUBUNGAN BEBAN TARIK DAN WAKTU PADA BETON**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI MUHAMMAD IDZAM ALGIFARIE
D011 19 1087**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS
MAGNESIA SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA HUBUNGAN
BEBAN TARIK DAN WAKTU PADA BETON**

Disusun dan diajukan oleh

Andi Muhammad Idzam Algifarie
D011 19 1087

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.
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 Muhammad Idzam Algifarie

NIM : D011191087

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesia Seabagai Agregat Kasar pada Hubungan Beban Tarik dan Waktu pada Beton}

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, 19 Januari 2023

Yang Menyatakan



Andi Muhammad Idzam Algifarie

ABSTRAK

ANDI MUHAMMAD IDZAM ALGIFARIE. *Pengaruh Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesia Sebagai Agregat Kasar pada Hubungan Beban Tarik dan Waktu pada Beton* (dibimbing oleh Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng dan Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M. Eng)

Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah-limbah dalam perkembangan industri konstruksi. Salah satu contoh upaya mengurangi dampak tersebut adalah dengan menggunakan kembali limbah batu bata tahan api. Hal ini menjadi sangat menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah agregat yang telah dibuang. Sehingga pemanfaatan kembali limbah batu bata tahan api akan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan tiap tahunnya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara beban tarik belah dengan waktu yang dialami oleh benda uji, yaitu beton normal dan beton dengan substitusi agregat kasar dengan batu bata tahan api jenis magnesia. Hal ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah refraktori batu bata tahan api sebagai pengganti agregat kasar suatu beton dan mencari tahu hubungan beban tarik dan waktunya.

Metode pengujian yang dilakukan terhadap benda uji berdasarkan dengan Standar Nasional Indonesia dan *American Standar Testing Methods* (ASTM). Jumlah sampel yang dibuat sebanyak 24 sampel dengan perawatan (*curing*) perendaman dalam air selama 28 hari. 24 sampel terdiri dari beberapa variasi yaitu beton normal dan beton dengan substitusi agregat kasar dengan batu bata tahan api jenis magnesia dengan target mutu rencana masing-masing $f'c$ 21 MPa dan $f'c$ 25 MPa. Variasi sampel beton dengan substitusi agregat kasar yang disediakan yaitu dengan kadar magnesia 15%, 30%, dan 50%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil bahwa waktu yang diperlukan untuk beton normal dan beton dengan substitusi agregat untuk mencapai beban tarik belah puncaknya berbeda. Untuk benda uji dengan target mutu rencana $f'c$ 21 MPa menghasilkan bahwa beton dengan substitusi agregat memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai beban tarik belah puncaknya dibanding dengan beton normal. Sedangkan untuk benda uji dengan target mutu rencana $f'c$ 25 MPa menghasilkan bahwa beton normal memerlukan waktu lebih untuk mencapai beban tarik belah puncaknya dibanding dengan beton substitusi agregat.

Kata Kunci: Beton, Refraktori, Tarik Belah, Magnesia

ABSTRACT

ANDI MUHAMMAD IDZAM ALGIFARIE. *The Effect of Magnesia Type Refractory Brick Waste as Coarse Aggregate on the Relationship between Tensile Load and Time in Concrete* (supervised by Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng and Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng)

There is a need for a construction technology that can reduce the exploitation of nature and can utilize waste in the development of the construction industry. One example of an effort to reduce this impact is to reuse waste refractory bricks. This is particularly beneficial, as the aggregate used is discarded aggregate. Thus, the reuse of refractory brick waste will reduce the amount of waste generated each year. This study was conducted to determine the relationship between split tensile load and time experienced by the specimens, i.e. normal concrete and concrete with substitution of coarse aggregate with magnesia type refractory bricks. This was done to utilize refractory waste refractory bricks as a substitute for coarse aggregate in concrete and find out the relationship between tensile load and time.

The test methods performed on the specimens were based on the Indonesian National Standard and American Standard Testing Methods (ASTM). The number of samples made as many as 24 samples with treatment (curing) soaking in water for 28 days. The 24 samples consisted of several variations, namely normal concrete and concrete with coarse aggregate substitution with magnesia type refractory bricks with target plan quality of f_c 21 MPa and f_c 25 MPa, respectively. Variations of concrete samples with coarse aggregate substitution were provided with 15%, 30%, and 50% magnesia content.

Based on the research conducted, it was found that the time required for normal concrete and concrete with aggregate substitution to reach the peak split tensile load was different. For specimens with a target plan quality of f_c 21 MPa, it was found that concrete with aggregate substitution took longer to reach its peak tensile load than normal concrete. Whereas for specimens with a target plan quality of f_c 25 MPa, it is found that normal concrete takes more time to reach its peak tensile load than aggregate-substituted concrete.

Keywords: Concrete, Refractory, Split Tensile, Magnesia

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Beton.....	4
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.2.1 Kuat Tarik Belah.....	7
2.2.2 Batu Bata Tahan Api (<i>Refractory Brick</i>).....	9
2.3 Bahan Penyusun Beton	11
2.3.1 Semen Portland	11
2.3.2 Air.....	13
2.3.3 Agregat	13
2.3.3.1 Agregat Kasar.....	15
2.3.3.2 Agregat Halus.....	17
2.4 Batu Bata Tahan Api (<i>Refractory Bricks</i>) Jenis Magnesita	18
2.5 Sifat Mekanis Beton (Kuat Tarik)	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Bagan Alir Penelitian	22
3.2 Lokasi Penelitian.....	24
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Daya.....	24
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	26
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	26
3.7 Metode Pemeriksaan Slump Test.....	27
3.8 Desain Benda Uji	28
3.9 Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji	29
3.10 Pengujian Benda Uji	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Karakteristik Agregat	32
4.2 Rancangan Campuran Beton	34
4.3 Hubungan Beban Tarik dan Waktu.....	34
4.3.1 Mutu Rencana 21 MPa	34
4.3.2 Mutu Rencana 25 MPa	39

4.4 Waktu Puncak.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian.....	23
Gambar 2. Material Campuran Beton (a. Refractory Bricks 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.....	25
Gambar 3. Proses Pencampuran Beton dengan <i>Mixer</i>	27
Gambar 4. Pengujian Slump.....	28
Gambar 5. Benda Uji Silinder 100 mm x 200 mm.....	28
Gambar 6. <i>Curing Air</i> Benda Uji 28 Hari.....	29
Gambar 7. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	30
Gambar 8. Universal Testing Machine.....	31
Gambar 9. <i>Data Logger</i> dan Satu Set Komputer.....	31
Gambar 10. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Variasi Normal A-0 ($f'c = 21$ MPa) Umur 28 hari.....	35
Gambar 11. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Substitusi Agregat RB Variasi A-15 ($f'c = 21$ MPa) Umur 28 hari.....	36
Gambar 12. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Substitusi Agregat RB Variasi A-30 ($f'c = 21$ MPa) Umur 28 hari.....	37
Gambar 13. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Substitusi Agregat RB Variasi A-50 ($f'c = 21$ MPa) Umur 28 hari.....	38
Gambar 14. Hasil Pengujian Sampel Beton Silinder Variasi Normal, A-15, A-30, dan A-50 ($f'c = 21$ MPa).....	40
Gambar 15. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Variasi Normal B-0 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	41
Gambar 16. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Substitusi Agregat RB Variasi B-15 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 hari.....	41
Gambar 17. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Substitusi Agregat RB Variasi B-30 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 hari.....	42
Gambar 18. Hubungan Beban dan Waktu Sampel Beton Substitusi Agregat RB Variasi B-50 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 hari.....	44
Gambar 19. Hasil Pengujian Sampel Beton Silinder Variasi Normal, B-15, B-30, dan B-50 ($f'c = 25$ MPa).....	45
Gambar 20. Waktu Puncak Sampel Beton Silinder Variasi Normal, A-0, A-15, A-30, A-50 ($f'c = 21$ MPa) Umur 28 Hari.....	46
Gambar 21. Waktu Puncak Sampel Beton Silinder Variasi Normal, B-0, B-15, B-30, B-50 ($f'c = 25$ MPa) Umur 28 Hari.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	17
Tabel 2. Bahan Baku <i>Refractory Brick</i> Jenis Magnesia	19
Tabel 3. Perbedaan Batu Bata dan Batu Bata Tahan Api	20
Tabel 4. Standar Pengujian Karakteristik.....	26
Tabel 5. Variasi Benda Uji Silinder	29
Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus.....	32
Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar 20 mm - 30 mm	33
Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar 10 mm – 20 mm	33
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar RB 10 mm – 20 mm	33
Tabel 10. Komposisi Campuran Beton.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Penyiapan Sampel	50
Lampiran 2 Pembuatan Benda Uji.....	52
Lampiran 3 Perawatan Benda Uji.....	53
Lampiran 4 Pengujian Tarik Belah.....	54

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamin, Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**PENGARUH LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS MAGNESIA SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA HUBUNGAN BEBAN TARIK DAN WAKTU PADA BETON**”, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen 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 ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu **ayahanda Mustakim Toba** dan **ibunda Andi Misrayanti** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan yang telah diberikan selama ini. Serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Kakanda **Andi Muhammad Afif Ramadhani** dan Adinda **Andi Humaerah Zahra Finastika** yang selalu mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman jajaran pengurus **Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2021/2022** yang turut mendukung dan telah memberikan banyak pengalaman.
4. Teman-teman seperjuangan di **Laboratorium Riset Eco Material**. Kepada **Hera, Fathir, Juna, Megumi, Naro, Fazil, Indy** dan **Muhe** yang senantiasa membantu dalam penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman-teman asisten **Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu membantu dalam pengujian tugas akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan angkatan 2019 “Portland 2020” yang telah memeberikan banyak cerita dan warna selama berkuliah. *WE ARE THE CHAMPION, KEEP ON FIGHTING TILL THE END, NOW AND FOREVER.*

Gowa, 18 Januari 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era yang berkembang pada zaman ini menghasilkan industri konstruksi yang semakin maju. Hal ini mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan material konstruksi yang tepat agar dapat mendukung dunia konstruksi. Banyaknya aktifitas proyek infrastruktur atau konstruksi yang ada ternyata menimbulkan banyak dampak, salah satunya adalah limbah konstruksi yang berlebihan dan mengganggu alam sekitar. Batu bata sebagai salah satu ilmu disiplin teknologi konstruksi menjadi bahan material yang mudah dibuat secara masif dan yang paling sering digunakan. Limbah material yang berlebih sering kali tidak diolah atau dimanfaatkan dengan baik, sehingga perlu adanya pendauran ulang bahan material yang menjadi limbah untuk dapat digunakan kembali.

Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah-limbah dalam perkembangan industri konstruksi. Salah satu contoh upaya mengurangi dampak tersebut adalah dengan menggunakan kembali limbah batu bata tahan api. Hal ini menjadi sangat menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah agregat yang telah dibuang. Sehingga pemanfaatan kembali limbah batu bata tahan api akan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan tiap tahunnya. 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.

Salah satu industri di Indonesia yang menggunakan batu bata tahan api atau *refractory brick* adalah PT. Vale Indonesia Tbk. Jumlah dinding tungku pembakaran yang diproduksi oleh PT. Vale Indonesia Tbk saat ini mencapai sekitar 4500 ton per tahun, atau sebesar 150 m³. Salah satu jenis batu bata tahan api yang menjadi tungku pembakaran mengandung magnesia, yaitu jenis batu bata tahan api yang terletak pada lapisan dalam tungku pembakaran dengan masa pakai selama

empat tahun. Sehingga pembuangan limbah *refractory brick* akan mempengaruhi lingkungan sekitar.

Limbah batu bata tahan api umumnya terdiri dari bahan-bahan yang tidak terbakar seperti tanah liat dan pasir, serta aditif tambahan seperti keramik atau serat. Sebelum memanfaatkan limbah batu bata tahan api, perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk memastikan bahwa limbah tersebut memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Hal ini penting untuk memastikan keamanan dan efektivitas penggunaannya. Kegiatan penelitian tentang sifat mekanik beton dengan agregat pengganti limbah batu bata tahan api masih terbatas, untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api.

Salah satu perilaku mekanik yang dimiliki oleh beton adalah kuat tarik. Kuat tarik beton merupakan hal yang penting dalam perencanaan konstruksi seperti perkerasan kaku jalan raya, perkerasan landasan terbang bandara, analisis retak, dan yang lebih penting lagi dalam perencanaan beton bertulang atau beton prategang dimana semua analisis didasarkan pada penampang utuh. Menurut Sudjono (2005), beton memiliki sifat semi permanen yang dapat bertahan sampai waktu tertentu. Sering terjadi kerusakan pada bangunan beton yang disebabkan oleh alam yang terjadi secara perlahan-lahan, atau bencana alam seperti gempa bumi yang menyebabkan kerusakan secara mendadak. Salah satu penyebab kerusakan beton yaitu karena kelebihan beban statis atau dinamis dari beban desain rencananya. Kerusakan secara mendadak tentunya sangat membahayakan masyarakat umum, dimana bangunan struktural beton akan dipengaruhi oleh beban tarik atau tekan yang besar. Kekuatan tarik beton dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa metode pengujian yang berbeda. Secara umum terdapat dua metode untuk mendapatkan kekuatan tarik, yaitu uji tarik langsung (*direct tensile strength test*) dan uji tarik tidak langsung (*indirect tensile strength test*). Metode pengujian yang berbeda menghasilkan nilai kekuatan tarik yang berbeda dan oleh karena itu rasio kekuatan tarik/kekuatan tekan juga berbeda. Kuat tarik yang dimiliki oleh beton biasanya mempunyai nilai yang beragam dikisaran 9-15% dari kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan terdapat retakan halus pada beton yang sangat berpengaruh

apabila diberikan beban tekan atau tarik. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui waktu berapa lama suatu beton mengalami kegagalan akibat beban tarik.

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

**“PENGARUH LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS MAGNESIA
SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA HUBUNGAN BEBAN TARIK DAN
WAKTU PADA BETON”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka penelitian ini dilaksanakan dalam upaya mencari perilaku hubungan beban tarik dengan waktu substitusi agregat kasar *refractory bricks* jenis magnesia.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk menyusun perilaku hubungan beban tarik dengan waktu pada beton substitusi agregat kasar *refractory bricks* jenis magnesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan referensi terkait dengan pengaruh beban tarik dengan waktu dalam penggunaan batu bata tahan api jenis magnesia sebagai agregat kasar 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 magnesia.
2. Penelitian menggunakan cetakan silinder (tinggi 20 cm diameter 10 cm).
3. Pengujian dilaksanakan pada umur 28 hari pada kondisi curing air.
4. Pengujian ini meneliti beton yang diberikan beban tarik belah.
5. 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 ACI (*American Concrete Institute*) *Committee 544* beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana pada 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.

Jensen dan Chenoweth (1989) menyatakan bahwa beton adalah suatu campuran semen, pasir dan kerikil yang ditambahkan air secukupnya untuk membentuk aksi kimia semen dengan sempurna dan mampu dituang menjadi bentuk permukaan luar yang halus setelah kering. Karena kualitas kekuatan dan tahan api serta mudahnya dicampur dan dicetak menjadi bentuk yang diinginkan harus dimiliki oleh beton, dalam setengah abad yang silam beton telah menjadi salah satu bahan struktur yang sangat penting. Di samping itu, bahan tambahan yang diperlukan dapat dijumpai dengan mudah di segala tempat pada permukaan bumi dalam jumlah yang sangat besar dan dengan biaya rendah.

Kusnadi (tanpa tahun) menyatakan bahwa 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. Campuran–campuran beton bertahun-tahun lamanya telah merupakan salah satu objek penelitian yang dilaksanakan oleh para ahli untuk menentukan sifat-sifat serta perbandingan bahan-bahan campurannya. Seperti telah diketahui bahan-bahan campuran itu terdiri dari:

1. Semen

2. Agregat
3. Air
4. Bahan tambahan (*admixture*) jika diperlukan.

Banyak sekali data telah dihimpun serta dibukukan, yang memungkinkan pembuat beton untuk menilai bahan-bahan campuran yang tersedia serta menetapkan perbandingan-perbandingan bahan yang paling cocok untuk pekerjaan beton yang sedang digarapnya. Pada khususnya beton itu harus; sesuai dengan persyaratan kekuatan tekan yang dikehendaki, biasanya hal ini ditentukan dengan menguji benda-benda uji beton; awet, dengan arti kata bahwa beton itu harus tahan terhadap serangan-serangan oleh lingkungannya; mempunyai permukaan yang mulus, sesuai dengan persyaratan-persyaratan tentang “*exposed concrete*”; sepraktis mungkin, yang berarti bahwa beton itu harus dapat dengan mudah diaduk, diangkat, dicor serta dipadatkan; se-ekonomis mungkin, penggunaan semen seminimum mungkin.

Nawy (1998, 2010) menyatakan bahwa 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. Beton mempunyai karakteristik yang spesifikasinya terdiri dari beberapa bahan penyusun.

Perancangan komposisi bahan pembentuk beton merupakan penentu kualitas beton, yang berarti pula kualitas sistem struktur. Bukan hanya bahannya harus baik, melainkan juga keseragamannya harus dipertahankan pada keseluruhan produk beton. Karakteristik beton yang baik disimpulkan sebagai berikut:

1. Kepadatan
Ruang yang ada pada beton sedapat mungkin terisi oleh agregat dan pasta semen. Kepadatan mungkin saja merupakan kriteria primer untuk beton yang dipakai pada radiasi nuklir.
2. Kekuatan
Beton harus mempunyai kekuatan dan daya tahan internal terhadap berbagai jenis kegagalan.
3. Faktor Air Semen

Faktor air semen harus terkontrol sehingga memenuhi persyaratan kekuatan beton yang direncanakan.

4. Tekstur

Permukaan beton ekspos harus mempunyai kerapatan dan kekerasan tekstur yang tahan segala cuaca.

5. Parameter-Parameter yang Mempengaruhi Kualitas Beton

Parameter-parameter yang paling penting untuk mencapai kualitas beton yang baik, antara lain:

- a. Kualitas semen
- b. Proporsi semen terhadap air dalam campurannya
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dan agregat
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
- f. Perawatan pada temperatur yang tidak lebih rendah dari 50°F pada saat beton hendak mencapai kekuatannya
- g. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton ekspos dan 1% untuk beton terlindung.

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 bendungan, saluran, dan drainase perkotaan. Beton juga digunakan dalam teknik sipil bidang transportasi untuk pekerjaan *rigid pavement* (lapis keras permukaan kaku), saluran samping, gorong-gorong, dan lainnya.

Untuk memahami dan mempelajari seluruh perilaku elemen gabungan diperlukan pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen. Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya. Dengan demikian perlu dibicarakan fungsi dari masing-masing komponen tersebut sebelum seorang ahli bahan dapat mengembangkan pemilihan material yang layak dan komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan yang disyaratkan oleh perencana, dan memenuhi persyaratan *serviceability*.

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Kuat Tarik Belah

Zain dkk (2002) menyatakan bahwa pekerjaan penelitian dan penggunaan beton kinerja tinggi atau *High-Performance Concrete* (HPC) telah meningkat pesat. HPC adalah produk yang relatif baru dan karakteristiknya berbeda dengan beton biasa. HPC didefinisikan sebagai beton, yang memenuhi persyaratan kinerja dan keseragaman khusus yang tidak selalu dapat dicapai secara rutin dengan menggunakan bahan konvensional dan praktik pencampuran, penempatan, dan perawatan normal. Kekuatan tekan dan tarik diperlukan dalam suatu desain struktur. Kekuatan tarik penting untuk struktur beton tak bertulang seperti bendungan di bawah eksitasi gempa. Selain itu, pelat perkerasan dan landasan udara yang dirancang berdasarkan kuat lentur mengalami gaya tarik. Oleh karena itu, dalam perancangan struktur ini, nilai kuat tarik lebih penting daripada kuat tekannya. Kekuatan tarik beton jauh lebih rendah daripada kekuatan tekan, sebagian besar karena mudahnya retakan dapat menyebar di bawah beban tarik. Meskipun kekuatan tarik biasanya tidak diperhitungkan secara langsung dalam desain (biasanya diasumsikan sama dengan nol), nilainya tetap diperlukan karena retak pada beton cenderung bersifat tarik. Beton dapat dianggap sebagai material rapuh, dan kekuatan tarik material rapuh disebabkan oleh perambatan cepat dari satu cacat atau retakan mikro. Oleh karena itu, beton mutu tinggi lebih rapuh dan lebih kaku daripada beton mutu normal. Banyak peneliti beralih ke uji STS (*Splitting Tensile Strength*) karena metode pengujiannya sederhana dan nilainya merupakan salah satu sifat mekanik beton. Pola pengembangan kekuatan untuk STS mirip dengan kekuatan tekan. Hubungan antara kekuatan tarik dan tekan bukanlah hubungan yang sederhana. Itu tergantung pada umur dan kekuatan beton, jenis perawatan, jenis agregat, jumlah masuknya udara dan tingkat pemadatan.

Selim (2008) menyatakan bahwa beton yang biasa digunakan dalam struktur teknik adalah bahan yang memiliki kuat tekan tinggi tetapi kuat tariknya rendah. Kekuatan tarik beton yang kekuatannya berada pada level sekitar 200 MPa adalah antara 1/8 dan 1/20 dari nilai ini. Jadi, kuat tarik beton pada umumnya diasumsikan nol dalam desain beton bertulang. Namun dalam desain beberapa

struktur, kekuatan tarik harus diketahui. Ini adalah parameter desain yang penting terutama dalam struktur seperti bendungan beton, landasan pacu lapangan terbang, jalan dan trotoar beton, dan pelat lainnya. Oleh karena itu, banyak studi eksperimental dan teoritis telah dilakukan untuk menentukan kekuatan tarik beton. Diketahui bahwa tegangan yang diperoleh dengan mematahkan benda uji yang dikenai beban uniaksial, menunjukkan kuat tarik beton yang sebenarnya, tetapi kuat tarik beton diperoleh dengan metode tidak langsung seperti uji belah dan uji lentur. Keadaan tegangan yang tidak seragam ditumpangkan di atas fluktuasi tegangan lokal yang disebabkan oleh struktur material itu sendiri. Karena itu, metode ini memiliki kelemahan. Namun, kekuatan tarik yang diperoleh dari uji tarik uniaksial lebih andal dibandingkan dengan metode uji lainnya. Tetapi metode pengujian ini membutuhkan lebih banyak perawatan dibandingkan dengan metode tidak langsung. Khususnya, setelah produksi perekat berbasis epoksi yang kuat, uji tarik uniaksial dilakukan dengan sedikit masalah. Banyak penelitian eksperimental yang dilakukan di masa lalu untuk menentukan kekuatan tarik uniaksial gagal karena penghancuran tak terduga yang terjadi sebagai hasil dari konsentrasi tegangan lokal. Kesulitan lain dalam uji tarik uniaksial adalah benda uji berada di bawah pengaruh efek momen selama uji tarik karena eksentrisitas. Peningkatan eksentrisitas beban dapat menurunkan tegangan tarik. Zain dkk (2002) mengusulkan beberapa persamaan yang menunjukkan kekuatan tarik belah beton mutu tinggi berdasarkan kuat tekan beton dari segala usia.

Gao dan Wang (2021) menyatakan bahwa umumnya agregat termasuk pasir dan kerikil mengambil 60 – 80% volume beton. Penggunaan daur ulang limbah konstruksi dan substitusi agregat tidak hanya mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan tetapi juga menjaga kelestarian sumber daya alam yang terbatas. Agregat halus daur ulang (RFA) memiliki partikel yang tidak beraturan, bersudut dan berpori dibandingkan dengan agregat halus alami (NFA). Hasil dari penelitian ini yaitu kekuatan tekan, beban puncak tarik belah, deformasi puncak tarik belah dan ketangguhan RFAC lebih rendah daripada NFAC karena RFAC memiliki porositas yang lebih besar. Kekuatan tekan, puncak kuat tarik belah RFAC meningkat secara signifikan dengan peningkatan fraksi volume serat baja dan penurunan dengan peningkatan rasio penggantian RFA.

2.2.2 Batu Bata Tahan Api (*Refractory Brick*)

Goncalves dan Pacheco (2015) menyatakan bahwa bahan refraktori (tahan api) mencakup berbagai macam oksida atau campuran oksida serta bahan lain seperti karbon, karbida, nitrida, dan borida. Bahan-bahan ini menunjukkan sifat fisikokimia, termodinamika, dan struktural yang unggul pada suhu tinggi, seperti titik leleh/refraktori yang tinggi, ketahanan terhadap korosi kimia dalam media yang agresif, dan stabilitas struktural. Pelanggan terbesar industri refraktori adalah industri baja, dengan 70% dari total produksi dunia, diikuti oleh industri semen dan kapur, dengan 7% produksi refraktori untuk pasar-pasar ini. Dalam industri semen, pembuatan semen portland melibatkan langkah-langkah penggilingan bahan mentah (tanah liat, batu kapur, bauksit, dll). Refraktori magnesia-spinel menunjukkan kinerja yang sangat baik di sebagian besar tanur putar. Namun, keausan dini dapat terjadi karena fluktuasi kondisi operasi.

Arianpour dan Kazemi (2010) meyakini bahwa refraktori adalah bahan keramik yang dirancang untuk menahan berbagai kondisi layanan yang parah, suhu tinggi, cairan dan gas korosif, abrasi, tekanan yang diinduksi mekanik dan termal. Refraktori digunakan oleh berbagai industri, termasuk produsen logam, keramik, semen, dan kaca. Fang dkk (1999) berpendapat bahwa ketika bahan refraktori telah mencapai akhir masa pakainya, bahan tersebut diganti dengan refraktori baru yang harus dibuat dari bahan baku alami dan refraktori bekas biasanya dibuang di tempat pembuangan sampah yang membuang-buang sumber daya alam yang berharga. Dapat dipahami bahwa daur ulang mengacu pada penggunaan bahan limbah dengan cara yang mirip dengan aplikasi aslinya. Sebaliknya bahan limbah biasanya didefinisikan sebagai digunakan kembali bila digunakan berbeda dari produk asli. Mula-mula lapisan yang ditembus (3–5 cm dari muka panas) dipotong dan dihilangkan dan kemudian daerah yang tidak bereaksi dihancurkan dan disaring. Agregat daur ulang dari sendok dicampur dengan agregat yang diperoleh dari EAF dalam persen berat yang sama. Setelah dihancurkan, agregat disaring dalam porsi ukuran partikel yang berbeda. Untuk menghilangkan sisa grafit dari agregat magnesia daur ulang, mereka dipanaskan dalam tungku skala laboratorium putar pada suhu 1400°C selama 2 jam. Untuk mengevaluasi penggunaan agregat daur

ulang untuk produksi bata refraktori magnesia, agregat daur ulang ditambahkan dalam berbagai persen ke dalam komposisi bata magnesia sebagai aditif.

Calvo dkk (2018) menyatakan bahwa hasil karakterisasi material alumina-magnesia-karbon ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$, AMC). Data yang dihasilkan dalam jenis penelitiannya sangat penting untuk memahami perilaku material dalam kondisi layanan, dengan tujuan akhir untuk menentukan faktor penentu. Dengan informasi ini, desain dan kinerja batu bata dapat ditingkatkan. Batu bata tahan api AMC digunakan terutama pada dinding lapisan (*sidewalls*) dan lapisan kerja bawah ladle pembuatan baja, sebuah bejana yang memiliki peran penting dalam proses metalurgi terintegrasi saat ini. Penerapan batu bata AMC di jalur *slag* terbatas karena kerentanannya terhadap serangan leleh pada suhu tinggi. Refraktori ini terpapar pada mekanik yang parah dan pemuatan termal selama masa pakainya, di lingkungan yang agresif yang terdiri dari lelehan (logam dan *slag*), gas, dan partikel padat. Tidak seperti refraktori AMC yang dikarakterisasi sebelumnya yang hanya memiliki aluminium sebagai antioksidan, batu bata yang juga mengandung silikon dianalisis secara komparatif dalam penelitian ini. Bersama dengan aluminium logam, silikon adalah salah satu aditif antioksidan yang paling umum digunakan karena harganya yang murah.

Gokce dan Gurcan (2008) menyatakan bahwa refraktori magnesia-karbon (MgO-C) banyak digunakan dalam tungku oksigen dasar, tungku busur listrik, dan sendok baja. Refraktori ini memiliki ketahanan *slag* yang sangat baik dan ketahanan kejutan termal karena sifat karbon yang baik. *Slag* tidak dapat membasahi struktur MgO-C karena rendahnya keterbasahan karbon, sehingga masa pakai batu bata MgO-C meningkat. Namun, karbon cenderung teroksidasi pada suhu tinggi. Setelah oksidasi karbon, struktur batu bata magnesia-karbon hancur dan *slag* dapat menembus ke dalam struktur. Oleh karena itu, logam, senyawa atau paduan yang disebut antioksidan ditambahkan selama fabrikasi untuk mencegah oksidasi karbon.

Omary dkk (2016) menyatakan bahwa penelitian mengenai hubungan antara karakteristik agregat dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang dan sifat-sifat beton yang menggunakan agregat daur ulang bertujuan untuk menganalisis kualitas dan kesesuaian agregat beton daur ulang (RCA) yang didapatkan dari penghancuran balok beton yang disediakan dari limbah pembongkaran bangunan

dibandingkan dengan agregat alami. Pengujian dilakukan setelah beton direndam dalam air selama 28 hari. Porositas beton sangat dipengaruhi oleh rasio substitusi, volume pasta dan porositas campuran butirannya. Peningkatan kuat tekan beton memiliki hubungan dengan kekuatan dari kerikilnya (LA). Dapat dikatakan, kuat tekan dan kuat tarik belah beton menurun sedangkan koefisien LA dan porositas campuran butirannya meningkat. Nilai modulus meningkat dengan meningkatnya nilai porositas beton.

2.3 Bahan Penyusun Beton

2.3.1 Semen Portland

Murdock dan Brook (1991) menyatakan bahwa Semen Portland diproduksi untuk pertama kalinya pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin, dengan memanaskan suatu campuran tanah liat yang dihaluskan dengan batu kapur atau kapur tulis dalam suatu dapur sehingga mencapai suatu suhu yang cukup tinggi untuk menghilangkan gas asam karbon. Sebelum tahun 1845 Isaac Johnson membakar bahan yang sama bersama-sama dalam suatu dapur atau pembakaran kapur sampai melebur dan mengeras kembali, sehingga dihasilkan sejenis semen yang amat mirip dan cocok dengan sifat kimia pokok dari semen portland modern. Semenjak itu banyak usaha peningkatan mutu dengan perubahan-perubahan skala dari jenis pabrik, serta penyempurnaan cara-cara pengujian dan control yang pernah dipakai. Batu kapur dan tanah liat biasanya merupakan bahan-bahan pokok pabrik semen portland. Kapur tulis dan marl (sejenis tanah yang biasa dipakai untuk pupuk) umumnya menghasilkan bahan kapur dalam bentuk kalsium karbonat, sedang tanah liat atau batu tulis menghasilkan bahan yang mengandung tanah liat, terutama alumina dan silikat. Lokasi pembuatan semen umumnya dipilih pada tempat-tempat di mana jenis-jenis bahan baku berdekatan satu dengan lainnya.

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. 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 (CaSO₄.2H₂O) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland 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.

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 *workability* 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*). 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.

2.3.3 Agregat

Nawy (2010) menyatakan bahwa agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, di mana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. Dua jenis agregat adalah:

1. Agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari blast-furnace) dan,
2. Agregat halus (pasir alami dan buatan).

Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut.

Jensen dan Chenoweth (1989) menyatakan bahwa agregat yang paling umum digunakan adalah pasir dan batu kerikil atau batu kapur yang telah dihancurkan, yang bersih dan bebas dari alkali serta bahan-bahan organik. Untuk menghasilkan beton yang siap dituangkan pada acuan, semen, pasir, dan batu kerikil dicampur dengan perbandingan volume tertentu sehingga diperoleh kekuatan yang diharapkan. Jika perbandingan 1:3:5 maka dapat diperoleh suatu kekuatan batas 1500 psi, campuran 1:2:4 akan menghasilkan kekuatan batas beton 2500 psi, dan campuran 1:1½:2½ akan menghasilkan kekuatan batas beton 3500 psi. Beton berkekuatan rendah digunakan untuk massa yang berat seperti pondasi, dermaga, bendungan, sementara beton berkekuatan lebih tinggi umumnya digunakan pada jembatan dan rangka bangunan beton bertulang.

Murdock dan Brook (1991) menyatakan bahwa hampir semua faktor yang berkenaan dengan kelayakan suatu agregat endapan (deposit) berhubungan dengan sejarah geologi dari daerah sekitarnya. Proses geologis yang membentuk suatu deposit atau modifikasi yang berturutan, menentukan ukuran, bentuk, lokasi, jenis, keadaan dari batuan, serta gradasi, kebulatan dan derajat informitasnya, dan sejumlah faktor lain yang berkaitan dengan pertanyaan tentang penggunaannya.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia terhadap penyusutan.

Kusnadi (tanpa tahun) menyatakan bahwa agregat yang digunakan untuk campuran beton, terdiri 60% sampai dengan 75% dari volume totalnya. Oleh karena itu perlu dicurahkan cukup perhatian terhadap bahan ini, sebab sifat-sifatnya sangat

mempengaruhi hasil beton. Agregat itu relatif murah harganya, dari itu disarankan agar menggunakan bahan ini sebanyak mungkin agar supaya beton yang dihasilkan ekonomis. Disamping itu pemakaian banyak agregat dapat mengurangi penyusutan akibat mengerasnya (mengeringnya) beton, pula dapat mempengaruhi koefisien ekspansi akibat panas.

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.

Nawy (2010) menyatakan bahwa agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ inchi. (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Jenis agregat kasar yang umum adalah:

1. Batu pecah alami, bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen, atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.
2. Kerikil alami, kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

3. Agregat kasar buatan, terutama berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari *blast-furnace* dan lain-lain.
4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dari stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma, dan neutron. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan di sini misalnya baja pecah, barit, magnantit, dan limonit.

Berat volume beton yang menggunakan agregat biasa adalah sekitar 144 lb/ft³, sedangkan beton dengan agregat berbobot berat volume sekitar 225 sampai 330 lb/ft³. Sifat-sifat beton penahan radiasi yang berbobot berat ini bergantung pada kerapatan dan kepadatannya, hampir tidak bergantung pada sektor air semennya. Dalam hal demikian, kerapatan yang tinggi merupakan satu-satunya kriteria di samping kerapatan dan kekuatannya.

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.

2.3.3.2 Agregat Halus

Nawy (2010) menyatakan bahwa agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara nomor 4 dan nomor 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan nomor 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai 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 mm. ACI 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 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

Tabel 1 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* (FM). Klasifikasi *fine modulus* (FM) dapat di golongan 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

Fang dkk (1999) menyatakan bahwa jenis limbah batu bata tahan api yang digunakan pada penelitian ini adalah batu bata tahan api yang mengandung magnesia. Magnesit adalah bahan baku utama untuk memproduksi batu bata Mg O-C, yang dapat dibagi menjadi magnesia leburan dan magnesia sinter. Refraktori adalah material yang dapat mempertahankan sifat-sifatnya yang berguna dalam kondisi yang sangat berat karena temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan yang korosif. Refraktori dibuat dari berbagai jenis material terutama keramik yang mana termasuk bahan-bahan seperti alumina, lempung (*clay*), magnesia, kromit, silikon karbida dan lain-lain. Refraktori digunakan untuk mengkonstruksi atau melapisi struktur yang berhubungan dengan temperatur tinggi, dari perapian sampai *blast furnace*. Refraktori 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 tetapi rentan terhadap hidrasi dan karenanya harus ditangani dengan tepat.

Refraktori memerlukan sifat-sifat tertentu. Sifat-sifat ini diantaranya titik lebur yang tinggi, kekuatan yang bagus pada temperatur tinggi, tahan terhadap degradasi, mudah dipasang, dan biaya murah. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi dibawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau *slag*.

Tabel 2. Bahan Baku *Refractory Brick* Jenis Magnesia

Magnesit ($MgCO_3$)	Magnesit berkristal sangat halus merupakan hasil peruraian dari serpentinit $\{Mg_3Si_2O_5(OH)_4\}$, Talc $\{Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2\}$, olivin $\{(Mg,Fe)_2SiO_4\}$ Magnesit berkristal kasar merupakan hasil metamorfosa batuan kapur yang mengandung Mg.
Brucite ($Mg(OH)_2$)	Merupakan ubahan dari serpentinit.
Air laut	Mengandung $MgO \leq 8 \%$.
Periklas (MgO)	Titik lebur $\sim 2300 \text{ }^\circ\text{C}$
Dolomit- $CaMg(CO_3)_2$	Ubahan dari batu kapur, titik lebur 1650°C tahan terhadap <i>slag</i> besi dan kapur
Forsterite (Mg_2SiO_4)	Hasil ubahan dari batuan basa-ultra basa (dunit, peridotit, serpentinit) Kekuatan pada suhu tinggi bagus, titik lebur : 1730 - 1920 OC.
Chromite ($FeCr_2O_4$)	Hasil ubahan dari peridotit dan serpentinit. Kekuatan pada suhu tinggi bagus, Titik lebur $>1900 \text{ }^\circ\text{C}$. Tahan terhadap <i>slag</i> basa.

Adapun perbedaan batu bata tahan api jenis magnesia dan batu bata biasa sebagai berikut :

Tabel 3. Perbedaan Batu Bata dan Batu Bata Tahan Api

Batu Bata	Batu Bata Tahan Api
Dapat mencapai suhu 1150°C	Dapat mencapai 1000-1800°C
Penggunaan pada konstruksi bangunan rumah permukiman	Penggunaan pada konstruksi bangunan pabrik dan bangunan yang sering terpapar reaksi kimia
Tanah liat dan penambahan abu (sekam)	Tanah liat dan penambahan silika dan unsur lain seperti kalsium oksida, magnesium, besi,dll.
Memiliki berat 1/3 lebih kecil dari batu tahan api dengan ukuran yang sama	Memiliki berat 3 kali lebih besar dari batu bata dengan ukuran yang sama
Berwarna merah kecoklatan	Berwarna putih kekuningan

2.5 Sifat Mekanis Beton (Kuat Tarik)

Berdasarkan SNI 2491:2014, kuat tarik belah benda uji beton berbentuk silinder adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji ditekan.

Percobaan ini dilakukan dengan memberikan pada silinder standar ukuran 100-200 mm. Suatu beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horizontal di atas pelat mesin percobaan. Hasil-hasil percobaan ini memberikan kepada perencana ukuran kekuatan yang diharapkan dari beton yang didesain pada struktur nyata.

Kekuatan tarik relatif rendah untuk beton normal berkisar antara 9% -15% dari kuat tekan. Pengujian kuat tarik beton dilakukan melalui pengujian *split cilinder*. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,50-0,60 kali $\sqrt{f_c}$, sehingga untuk beton normal digunakan nilai 0,57 $\sqrt{f_c}$. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cilinder strength*.

Besarnya tegangan tarik beton (tegangan rekah beton) dapat dihitung dengan rumus:

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

dimana,

- f_r = Kuat Tarik Belah (N/mm^2)
- P = Beban pada Waktu Belah (N)
- L = Panjang Benda Uji Silinder (mm)
- D = Diameter Benda Uji Silinder (mm)

Kekuatan Tarik beton relatif rendah. Pendekatan yang baik untuk menghitung kekuatan tarik beton $f_c't$ adalah dengan rumus $0,10 f_c' < f_c't < 0,2 f_c'$. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Ada sejumlah metode yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik, dan yang paling sering digunakan adalah tes pembelahan silinder atau *brazilian test*.