

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT LIMBAH BATU
BATA TAHAN API JENIS MAGNESIA SEBAGAI
PENGGANTI PARSIAL AGREGAT KASAR TERHADAP
SIFAT MEKANIS BETON**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD MUHAEMIN DENI DJAFAR
D011 19 1068**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT LIMBAH BATU BATA TAHAN API
JENIS MAGNESIA SEBAGAI PENGGANTI PARSIAL AGREGAT KASAR
TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD MUHAEMIN DENI DJAFAR

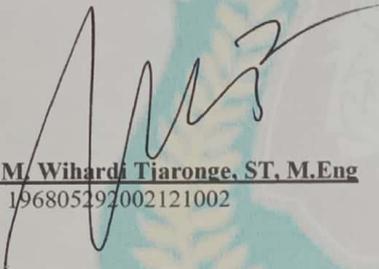
D011 19 1068

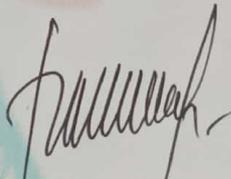
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

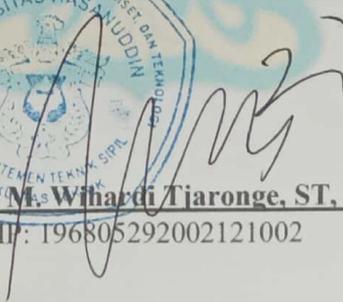
Pembimbing I,

Pembimbing II,


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


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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Muhaemin Deni Djafar
NIM : D011191068
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Penggunaan Agregat Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesia
Sebagai Pengganti Parsial Agregat Kasar Terhadap Sifat Mekanis 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, 9 Maret 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Muhaemin Deni Djafar

ABSTRAK

MUHAMMAD MUHAEMIN DENI DJAFAR. *Pengaruh Penggunaan Agregat Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Magnesita Sebagai Pengganti Parsial Agregat Kasar Terhadap Sifat Mekanis Beton* (dibimbing oleh Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng dan Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng)

Refraktori adalah bahan anorganik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku, dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk banyak industri proses. Material ini melapisi *furnace, tundish, ladle* dan sebagainya. Material ini juga digunakan sebagai nozzle, spout, dan sliding gate. Biaya untuk pembelian dan instalasi refraktori adalah faktor yang menentukan dalam biaya proses secara keseluruhan. Kegagalan (*failure*) material refraktori ketika digunakan dalam suatu proses dapat berarti suatu bencana. Material refraktori diharapkan dapat tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap korosi slag cair, logam cair dan gas-gas agresif, siklus termal (*thermal cycling*), tahan terhadap benturan dan abrasi dengan hanya sedikit perawatan. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi dibawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau slag.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian perilaku mekanik dan pengamatan sebaran agregat kasar pada beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api jenis magnesita sebagai pengganti agregat kasar. Perilaku mekanik yang dimaksud berupa pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur.

Metode pengujian karakteristik dan perilaku mekanik beton dilakukan berdasarkan standar ASTM dan SNI. Jumlah sampel yang dibuat sebanyak benda uji terdiri dari 48 benda uji untuk pengujian kuat tekan 7 hari dan 28 hari, 24 benda uji untuk pengujian kuat tarik belah, 16 benda uji untuk pengujian kuat lentur dengan variasi yang terdiri dari penambahan limbah batu bata tahan api jenis magnesita sebanyak 15%, 30% dan 50%.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada beton $f'c$ 21 MPa dan 25 MPa sebesar 20.32 MPa dan 25.63 MPa. Nilai kuat tarik belah maksimum didapatkan nilai sebesar 1.80 MPa dan 2.46 MPa. Nilai kuat lentur maksimum didapatkan 3.93 MPa dan 4.56 MPa. Hasil perhitungan distribusi agregat menunjukkan bahwa beton tidak mengalami segregasi pada semua jenis campuran.

Kata Kunci: Beton, Magnesita, Perilaku Mekanik, Distribusi Agregat

ABSTRACT

MUHAMMAD MUHAEMIN DENI DJAFAR. *The Effect of Aggregate Use of Magnesia Refractory Bricks as Partial Substitute for Coarse Aggregate on the Mechanical Properties of Concrete* (supervised by Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng dan Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng)

Refractories are non-metallic inorganic materials that are difficult to melt at high temperatures and are used in high temperature industries such as furnace materials, and so on. Refractory materials are indispensable for many process industries. This material coats furnaces, tundishes, ladles and so on. This material is also used as a nozzle, spout, and sliding gate. Costs for purchasing and installing refractories are a determining factor in the overall process cost. Failure of a refractory material when used in a process can spell disaster. Refractory materials are expected to withstand high temperatures, resist corrosion by molten slag, molten metal and aggressive gases, thermal cycling, withstand impact and abrasion with little maintenance. Refractories are defined as construction materials capable of retaining their shape and strength at very high temperatures under various conditions such as mechanical stress and chemical attack from hot gases, liquids or molten and semi-melted glass, metal or slag.

In this research, the mechanical behavior was tested and the distribution of coarse aggregate was observed in concrete using magnesia refractory brick waste as a substitute for coarse aggregate. The mechanical behavior in question is testing compressive strength, split tensile strength and flexural strength.

Test methods for the characteristics and mechanical behavior of concrete are carried out based on ASTM and SNI standards. The number of samples made was 48 specimens for 7 days and 28 days compressive strength testing, 24 specimens for split tensile strength testing, 16 specimens for flexural strength testing with variations consisting of the addition of refractory brick waste. magnesia as much as 15%, 30% and 50%.

From the test results, the highest compressive strength values were obtained for concrete f_c 21 MPa and 25 MPa of 20.32 MPa and 25.63 MPa. The maximum split tensile strength values obtained are 1.80 MPa and 2.46 MPa. The maximum flexural strength values were 3.93 MPa and 4.56 MPa. The results of the calculation of the distribution of aggregates show that the concrete does not experience segregation in all types of mixtures.

Keywords: Concrete, Waste, Magnesia, Mechanical Behaviour, Aggregat Distribution

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	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Beton	6
2.2 Penelitian Terdahulu	8
2.2.1 Kuat Tekan.....	8
2.2.2 Kuat Tarik Belah.....	8
2.2.3 Kuat Lentur.....	9
2.2.4 Refraktori Brick.....	10
2.3 Bahan Penyusun Beton	11
2.3.1 Semen.....	11
2.3.2 Agregat.....	14
2.3.3 Limbah Batu Bata Tahan Api Magnesia.....	19
2.3.4 Air.....	20
2.4 Sifat Mekanik Beton	22
2.4.1 Kuat Tekan.....	23
2.4.2 Kuat Tarik Belah.....	23
2.4.3 Kuat Lentur.....	24
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	25
3.1 Prosedur Penelitian	25
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	28
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	28
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.5 Desain Benda Uji	31
3.6 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	32
3.7 Pembuatan Benda Uji.....	33
3.8 Metode Pemeriksaan Slump.....	34
3.9 Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji.....	35
3.10 Pengujian Benda Uji	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Karakteristik Agregat	40
4.1.1 Agregat Halus.....	40

4.1.2 Agregat Kasar.....	40
4.2 Rancangan Campuran Beton.....	42
4.3 Hasil Pengujian Beton.....	43
4.3.1 Slump Test.....	43
4.3.2 Berat Jenis Beton.....	45
4.3.3 Kuat Tekan 7 Hari dan 28 Hari.....	46
4.3.4 Kuat Tarik Belah Beton.....	51
4.3.5 Kuat Lentur.....	53
4.3.6 Distribusi Agregat.....	57
BAB V KESIMPULAN.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 2 Material Campuran Beton	30
Gambar 3 Benda Uji Silinder 100 mm x 200 mm	31
Gambar 4 Benda Uji Balok 400 mm x 100 mm x 100 mm	32
Gambar 5 Proses Mengaduk Campuran Beton	34
Gambar 6 Proses Pengujian Nilai Slump	35
Gambar 7 Proses Curing Benda Uji	35
Gambar 8 <i>Universal Testing Machine</i>	36
Gambar 9 Data Logger dan Satu Set PC	36
Gambar 10 Pengujian Kuat Tekan Beton	37
Gambar 11 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	38
Gambar 12 Pengujian Kuat Lentur Beton	39
Gambar 13 Analisa Saringan Refraktori Brick Magnesia	42
Gambar 14 Grafik Nilai Slump Beton	43
Gambar 15 Slump Beton Normal	44
Gambar 16 Slump Beton RB 15%	44
Gambar 17 Slump Beton RB 30%	44
Gambar 18 Slump Beton RB 50%	44
Gambar 19 Kuat Tekan Beton $f'c$ 21 MPa Pada 7 dan 28 Hari	47
Gambar 20 Kuat Tekan Beton $f'c$ 25 MPa Pada 7 dan 28 Hari	48
Gambar 21 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tekan Pada Beton $f'c$ 21 MPa	49
Gambar 22 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tekan Pada Beton $f'c$ 25 MPa	50
Gambar 23 Kuat Tarik Belah Beton Pada Umur 28 Hari	51
Gambar 24 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tarik Belah Pada Beton $f'c$ 21 MPa	52
Gambar 25 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tarik Belah Pada Beton $f'c$ 25 MPa	53
Gambar 26 Kuat Lentur Beton Pada Umur 28 Hari	54
Gambar 27 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Lentur Pada Beton $f'c$ 21 MPa	55
Gambar 28 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Lentur Pada Beton $f'c$ 25 MPa	56
Gambar 29 Distribusi Agregat Pada Beton Silinder $f'c$ 21 MPa	57
Gambar 30 Distribusi Agregat Pada Beton Silinder $f'c$ 25 MPa	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Gradasi Agregat Halus	16
Tabel 2. Syarat Gradasi Agregat Sesuai ASTM C33	18
Tabel 3. Bahan Baku Refraktori Brick Jenis Basa	19
Tabel 4. Perbedaan Batu Bata Dan Batu Bata Tahan Api.....	20
Tabel 5. Mutu Pelaksanaan Standar Deviasi	22
Tabel 6. Jumlah Benda Uji.....	32
Tabel 7. Metode Pengujian Karakteristik Agregat.....	33
Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir	40
Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Kerikil 14 mm	40
Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Kerikil 28 mm	41
Tabel 11. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Refraktori Brick Magnesia	41
Tabel 12. Komposisi Campuran Beton $f'c$ 21 MPa dan 25 MPa.....	42
Tabel 13. Nilai Berat Jenis Beton $f'c$ 21 MPa	45
Tabel 14. Nilai Berat Jenis Beton $f'c$ 25 MPa	46
Tabel 15. Distribusi Agregat Beton $f'c$ 21 MPa	58
Tabel 16. Distribusi Agregat Beton $f'c$ 25 MPa	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Penyiapan Material.....	64
Lampiran 2 Proses Pembuatan Benda Uji.....	65
Lampiran 3 Proses Pengujian Nilai Slump	66
Lampiran 4 Pengujian Benda Uji.....	67

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'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 PENGGUNAAN AGREGAT LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS MAGNESIA SEBAGAI PENGANTI PARSIAL AGREGAT KASAR TERHADAP SIFAT MEKANIS 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 persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Dheni Ikramsyah Djafar S.** dan ibunda **Nursyamsi** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Rayhani Putri Dheni** sebagai saudari tercinta dan teman seumur hidup yang selalu memberikan tunjangan serta dukungannya dalam hidup penulis.
3. **Indy Risfiani Thamrin** sebagai teman seperjuangan penulis sejak awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan yang senantiasa menasihati, menjadi teman bertukar pikiran serta menemani di kala senang maupun susah.
4. **Sainal, Zatirah, Ucil, Alip, Lopa, Deden, Imal, Nindya, Bile, Ira dan Amirah** sebagai teman seperjuangan sedari awal kuliah yang senantiasa menghibur, memberi warna dan memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
5. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Eco Material** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Teman-teman asisten **Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu membantu dalam pengujian tugas akhir ini.
7. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan 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

Pada saat ini, perkembangan sains dan teknologi sangat pesat seiring dengan penyesuaian kebutuhan manusia yang terus meningkat. Salah satunya dapat dilihat dari perkembangan teknologi dibidang konstruksi. Pembangunan dalam bidang konstruksi di era modern menunjukkan perkembangan yang signifikan, diantaranya dalam pembangunan jembatan, terowongan, perumahan, gedung perkantoran, rumah sakit, pusat perbelanjaan dan sebagainya. Bagian terpenting dari hal tersebut salah satunya dilihat dari kualitas beton itu sendiri.

Beton adalah bahan konstruksi yang paling banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan, diperoleh dengan cara mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen dan air. Untuk mendapatkan beton yang direncanakan, campuran material beton dapat ditambah dengan menggunakan bahan *admixture (additive)*. Penggunaan bahan *admixture (additive)* pada beton sangat tergantung pada tujuan pembuatan konstruksi yang direncanakan. Kelebihan yang dimiliki dari seperti mudah dalam pengerjaan (*workability*), memiliki kuat tekan yang tinggi, ekonomis dalam hal pembuatan dan perawatan. Namun terdapat beberapa kelemahan yang diperoleh dari penggunaan beton seperti kuat tarik yang rendah, mudah retak dan bersifat getas (*brittle*) (Edward G. Nawy, 1998).

Dari kelemahan tersebut diperlukan penelitian material baru sebagai bahan tambah dari beton sehingga mampu meminimalisir kekurangan yang dimiliki dari beton serta dapat bersifat daktail. Salah satu material yang dapat dicampurkan sebagai bahan substitusi dengan menggunakan refraktori brick sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton.

Refraktori adalah bahan anorganik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk banyak industri proses. Material ini melapisi furnace, tundish, ladle dan sebagainya. Material ini juga digunakan sebagai nozzle, spout dan sliding gate. Biaya untuk pembelian dan instalasi refraktori adalah faktor yang menentukan dalam biaya proses secara

keseluruhan. Kegagalan (*failure*) material refraktori ketika digunakan dalam suatu proses dapat berarti suatu bencana. Material refraktori diharapkan dapat tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap korosi slag cair, logam cair dan gas-gas agresif, siklus termal (*thermal cycling*), tahan terhadap benturan dan abrasi dengan hanya sedikit perawatan. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi dibawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau slag (H. Fang, 1998).

Refraktori dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan komposisi kimia penyusunnya yang terdiri dari refraktori asam (MO_2), refraktori netral (M_2O_3), refraktori basa (MO), serta refraktori khusus seperti C, SiC, Borida Karbida, Sulfida dan lainnya. Berdasarkan metode pembentukannya refraktori ada yang dibentuk dengan tangan (*hand molded*), refraktori yang dibentuk secara mekanik (tekanan tinggi), refraktori yang dibentuk melalui cetak tuang, refraktori yang berupa serbuk seperti castable dan gun mix mortar (H. Fang, 1998).

Istilah refraktori basa adalah penggolongan refraktori secara umum yang bahan bakunya terbuat dari oksida-oksida yang bersifat basa, atau yang penggunaannya dalam lingkungan kondisi operasi basa. Alasan dari penggunaan refraktori basa, antara lain karena kemampuan operasinya pada temperatur tinggi dan memiliki ketahanan terhadap slag basa, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Magnesia (MgO) merupakan unsur yang utama dari kelompok refraktori basa. Oleh karena itu refraktori yang mengandung banyak magnesia termasuk ke dalam kelompok basa, umumnya terdapat jenis-jenis dari refraktori basa yaitu magnesia (MgO), *magnesia-chrome*, *magnesia-spinel*, *magnesia-carbon*, *dolomite*. Penggunaan refraktori basa terdapat pada tungku busur listrik, tungku sembur oksigen, hot metal car dan lain-lain (H. Fang, 1998).

Di bidang pertambangan sendiri, Indonesia menjadi salah satu negara dengan jumlah cadangan mineral tertinggi di dunia. Hal ini di buktikan dengan catatan kontribusi Indonesia di berbagai komoditi pertambangan dunia seperti emas, timah, tembaga dan nikel. Hal inilah yang menjadikan Indonesia masuk kedalam 10 besar negara eksportir hasil pertambangan terbesar di dunia. Salah satu komoditi

pertambangan yang memberikan kontribusi paling besar pada neraca ekspor Indonesia adalah nikel. Saat ini jumlah dinding tungku pembakaran nikel yang dihasilkan mencapai sekitar 4500 ton per tahun, atau sebesar 150 m^3 , dimana dinding tungku pembakaran tersebut dikategorikan sebagai limbah. Banyaknya limbah yang dihasilkan tidak seiring dengan cara penanganannya. Sebagian besar masih terbatas melalui penimbunan lahan (*landfill*). Jika tidak dimanfaatkan dan tidak ditangani dengan baik, maka dapat berpotensi menimbulkan pencemaran. Maka dalam pemanfaatan refraktori brick, khususnya dalam penelitian ini, refraktori digunakan sebagai bahan pengganti parsial dari agregat kasar. Sehingga penggunaan refraktori sebagai pengganti parsial agregat dapat mengurangi tumpukan limbah di pertambangan nikel.

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

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukanlah penelitian dengan judul:

**“PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT LIMBAH BATU BATA
TAHAN API JENIS MAGNESIA SEBAGAI PENGGANTI PARSIAL
AGREGAT KASAR TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Pengaruh limbah batu bata jenis magnesia sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap nilai kuat tekan?
2. Pengaruh limbah batu bata jenis magnesia sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap nilai kuat tarik belah?
3. Pengaruh limbah batu bata jenis magnesia sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap nilai kuat lentur?
4. Sebaran agregat pada beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api jenis magnesia sebagai pengganti parsial agregat kasar?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melaksanakan pengujian eksperimental kuat tekan untuk menentukan pengaruh limbah batu bata jenis magnesita sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap nilai kuat tekan.
2. Melaksanakan pengujian eksperimental kuat tarik belah untuk menentukan pengaruh limbah batu bata jenis magnesita sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap nilai kuat tarik belah.
3. Melaksanakan pengujian eksperimental kuat lentur untuk menentukan pengaruh limbah batu bata jenis magnesita sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap nilai kuat lentur.
4. Menghitung sebaran agregat kasar untuk menentukan pengaruh limbah batu bata tahan api jenis magnesita sebagai pengganti parsial agregat kasar terhadap segregasi beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk menentukan perilaku mekanik (kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur) pada beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api jenis magnesita sebagai pengganti agregat kasar.

1.5 Ruang Lingkup

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

1. Batu bata tahan api yang digunakan merupakan batu bata tahan api jenis magnesita.
2. Semen yang digunakan adalah salah satu jenis semen campuran (*blended cement*), yaitu semen Portland Komposit (PCC).
3. Batu bata tahan api jenis magnesita sebagai pengganti parsial 15%, 30% dan 50% agregat kasar pada campuran beton.
4. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada beton umur 7 hari dan 28 hari.

5. Pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur dilaksanakan pada beton umur 28 hari.
6. Perawatan benda uji dilakukan dengan rendaman air tawar.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut SNI 2847-2013, 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*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) 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.

Beton struktur adalah beton yang memiliki nilai kuat tekan yang tidak boleh kurang dari 17 MPa. Nilai kuat tekan maksimum tidak dibatasi kecuali bilamana dibatasi oleh ketentuan Standar tertentu (SNI 2847-2013). Beton struktural adalah jenis beton yang akan dimanfaatkan untuk menanggung beban struktur. Contoh penggunaan beton struktural ialah untuk pondasi, lantai dan kolom.

Dalam desain perkerasan kaku, kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) pada beton umur 28 hari. Nilai kuat lentur didapatkan dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik. Selain itu, kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0.25 MPa (2.5 kg/cm²) terdekat (Pd T-14-2003).

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 adesi antara pasta semen dan agregat
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
- f. Perawatan pada temperature 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 (Edward G. Nawy, 1998).

Penyelidikan mengenai persyaratan ini membuktikan bahwa hampir semua kontrol menyangkut hal-hal sebelum pengecoran beton segar. Karena kontrol ini menyangkut penentuan komposisi dan kemudahan mekanis atau kemudahan pengangkutan dan pengecoran, maka perlu pula dipelajari kriteria-kriteria yang berdasarkan teori penentuan komposisi untuk setiap campuran beton. Dua metode yang diterima secara umum untuk perancangan campuran beton berbobot ringan dan beton berbobot berat adalah metode perancangan campuran American Concrete Institute yang berupa rekomendasi praktis untuk perancangan campuran pada beton berbobot normal, berat, massa dan rekomendasi praktis untuk perancangan campuran pada beton struktural ringan (Edward G. Nawy, 1998).

Beton dapat diklasifikasikan berdasarkan berat jenisnya (SNI 03-2847-2002), yaitu:

1. Beton Ringan

Beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3 .

2. Beton Normal

Beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3. Beton Berat

Beton yang mempunyai berat satuan lebih dari 2500 kg/m^3 .

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Kuat Tekan

Hamed Dabiri dkk (2021), melakukan penelitian mengenai kuat tekan beton dengan menggunakan agregat daur ulang. Saat ini mengganti agregat alam dengan agregat daur ulang semakin menarik karena aset ekonomi dan lingkungan. Oleh karena itu dalam penelitian ini telah dilakukan upaya untuk menilai pengaruh penggunaan agregat halus daur ulang, agregat kasar daur ulang dan agregat halus dan kasar daur ulang terhadap beton. Pengujian dilakukan pada beton umur 3, 7 dan 28 hari. Dapat disimpulkan bahwa mengganti agregat alam dengan agregat daur ulang terlepas dari jenis agregat dan umur beton dapat menurunkan nilai kuat tekan beton secara signifikan. Dalam hal ini mengganti agregat kasar dengan agregat daur ulang menyebabkan penurunan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan agregat halus daur ulang.

2.2.2 Kuat Tarik Belah

Cristian Gaedicke dkk (2016), melakukan penelitian terhadap suatu metode untuk mengkorelasikan kekuatan tarik belah dan kekuatan tekan dari silinder dan inti beton yang tembus air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis korelasi antara kuat tarik belah dan kuat tekan pada beton, mengetahui pengaruh variasi porositas antara kuat tarik belah dan kuat tekan benda uji. Semen yang digunakan pada pembuatan benda uji adalah semen Portland tipe I (PC) dan *Ground Granulated Blast-Furnace Slag* (GGBFS). GGBFS yang digunakan untuk menggantikan hingga 30% semen. Jenis variasi yang digunakan pada penelitian ini

adalah 0%, 15% dan 30%. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder berdiameter 100 mm, yang merupakan ukuran silinder paling umum digunakan untuk menentukan sifat-sifat beton. Hasil dari penelitian ini mengatakan bahwa jenis agregat berpengaruh pada kekuatan tarik belah terhadap hubungan kekuatan tekan. Secara khusus campuran RCAB memiliki kekuatan pemisahan yang lebih tinggi untuk kekuatan tekan yang diberikan. Pada pengujian ini benda uji yang menggunakan RCAB memiliki nilai kuat tekan yang rendah. Sebaliknya untuk nilai kuat tarik belah tidak mengalami efek yang cukup besar ketika benda uji menggunakan RCAB. Agregat seperti batu kapur dan kerikil tidak menunjukkan perbedaan besar dalam kekuatan tarik belah dibandingkan dengan hubungan kekuatan tekan.

2.2.3 Kuat Lentur

Mohd. Ahmad dkk (2014), melakukan penelitian terkait faktor-faktor yang mempengaruhi kuat lentur beton. Perilaku lendutan dan retak struktur beton tergantung pada kekuatan tarik lentur beton. Agregat halus yang digunakan adalah pasir silika biasa dengan modulus kehalusan dan berat jenis masing-masing 2.61 dan 2.45. Basalt hancur dengan ukuran maksimum 10 mm digunakan sebagai agregat kasar. Berat jenis agregat kasar ditemukan 2.75 dan memiliki daya serap air sebesar 1.01% dalam kondisi SSD. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji direndam dalam air selama 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Nilai kuat tarik lentur meningkat ketika kuat tekan dan umur beton meningkat. Persentase peningkatan kuat tarik lentur semakin menurun dengan bertambahnya tingkat kekuatan beton. Untuk kuat tekan 24.1 MPa, 31.8 MPa dan 37.7 MPa kuat lenturnya adalah 3.17 MPa, 4.85 MPa dan 5.35 MPa masing-masing pada umur 7, 28 dan 56 hari. Sedangkan untuk kuat tekan 58.7 MPa, 81.2 MPa dan 98.6 MPa kuat tarik lenturnya adalah 5.6 MPa, 6.96 MPa dan 8.29 MPa masing-masing pada umur yang sama. Untuk kuat tekan 24.1 MPa, 31.8 MPa dan 37.7 MPa pada beton umur 7 hari, 28 hari dan 56 hari peningkatan persentase yang sesuai dari kekuatan tarik lentur terkekang terhadap kekuatan tarik lentur bebas masing-masing adalah 66.9%, 46.8% dan 61.7%. Sedangkan untuk kuat tekan 58.7 MPa, 81.2 MPa dan 98.6 MPa persentase kuat tarik lentur terkekang

meningkat 202.9%, 228.6% dan 231.3% masing-masing pada umur 7 hari, 28 hari dan 56 hari.

2.2.4 Refraktori Brick

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mahdi Nematzadeh, Javad Dashti, Behnoud Ganjavi (2017) terhadap perilaku kuat tekan beton yang mengandung agregat halus dari daur ulang batu bata tahan api bersama dengan serat kalsium aluminat semen (CAC) dan polivinil alcohol (PVA) di bawah lingkungan asam. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir mineral alam dengan modulus kehalusan 2.6, berat jenis 2.63 pada kondisi SSD, penyerapan air 1.73% dan ukuran nominal agregat 4.75 mm. Agregat halus yang digunakan memiliki berat jenis 2.61 dan daya serap air 2.18%. Serat yang digunakan pada benda uji beton dalam penelitian ini adalah serat polivinil alkohol (PVA), variasi yang digunakan dalam desain campuran semua benda uji beton berserat adalah 0.5%. Pada spesimen yang mengandung serat PVA, peningkatan kekuatan tekan diamati pada awal hari perendaman. Ketika spesimen ini terkena asam, serat PVA berperan untuk mengurangi kecenderungan retak dan menjaga integritas spesimen. Pada penelitian ini terdapat 96 benda uji berupa beton yang akan dimasukkan kedalam tangki yang berisi asam sulfat dengan pH 1 dan konsentrasi 5% selama periode waktu 7 hari, 21 hari dan 63 hari. Setelah direndam benda uji akan dibilas dengan air ledeng. Hal yang pertama dilakukan adalah menentukan tingkat korosi spesimen dan dilakukan pengujian variasi berat. Setelah itu akan dilakukan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yaitu pengujian beton non destruktif, pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan tingkat porositas dan densitas. Pengujian UPV dilakukan pada 5 titik terhadap permukaan benda uji. Pada hasil penelitian dapat diketahui semua benda uji tanpa serat PVA mengalami penurunan kuat tekan relatif terhadap benda uji referensi (tanpa paparan asam) pada semua umur perendaman. Selanjutnya pada semua benda uji dengan serat PVA mengalami peningkatan kekuatan hingga 7 hari perendaman dan setelah itu penurunan kekuatan terjadi secara bertahap hingga 63 hari perendaman. Nilai UPV yang didapatkan pada benda uji dengan serat PVA mengalami peningkatan hingga hari ke 7 perendaman, kemudian mengalami penurunan hingga 63 hari waktu perendaman.

Vivian W.Y. Tam dkk (2018), melakukan penelitian mengenai tinjauan agregat daur ulang dalam aplikasi beton. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meninjau literatur tentang produksi dan pemanfaatan agregat daur ulang pada beton, perkerasan beton, konstruksi jalan raya dan pekerjaan teknik sipil lainnya. Limbah dapat berupa struktur beton yang dihancurkan, produk beton yang ditolak jalur produksi, trotoar yang rusak dan batu bata dari bangunan. Beberapa penelitian memperkirakan bahwa hingga 90% limbah penghancuran yang dibuang ke tempat pembuangan sampah dapat di daur ulang dan digunakan kembali. Limbah C&D dibagi menjadi lima fraksi utama, yaitu loam, beton, mineral, kayu, dan campuran lain-lain. Banyak penelitian di seluruh dunia dilakukan untuk mengevaluasi kemungkinan penggunaan limbah C&D daur ulang, khususnya agregat beton daur ulang (RCA) dan batu bata daur ulang (RCB) dalam konstruksi lapisan bawah jalan raya. China dan India saat ini adalah konsumen utama agregat konstruksi dan karenanya memiliki potensi tinggi untuk mendaur ulang dan menggunakan kembali limbah C&D. Namun terlepas dari potensinya, terdapat variasi yang sangat besar dalam tingkat daur ulang dan pemulihan material di berbagai negara di seluruh dunia, misalnya Brasil (6.14%), Denmark (94%) dan Belanda (98%). Variasi ini disebabkan perbedaan besar dalam tradisi konstruksi, undang-undang tentang tempat pembuangan sampah dan karena tingkat persepsi serta penerimaan konstruktor dan pembangun.

2.3 Bahan Penyusun Beton

2.3.1 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi akan aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah selesai pengadukan, dan juga dapat memperbaiki keawetan dari beton yang dikerjakan. Beton pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam

pekerjaan beton maupun mortar. Semen portland didefinisikan sebagai perekat hidrolis, yaitu bahan perekat yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan berbentuk benda padat yang tidak larut dalam air.

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 (SNI 15-2049-2004).

Semen dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain :

a. Semen Portland

Semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland, terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004).

b. Semen Portland Komposit

Bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit (SNI 15-7064-2004).

c. Semen Portland Putih

Semen hidrolis yang berwarna putih dan dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland putih yang terutama terdiri atas kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat (SNI 15-0129-2004).

d. Semen Portland Pozzolan

Suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozolan (SNI 15-0302-2004).

e. Semen Masonry

Semen hidrolis yang digunakan terutama dalam pekerjaan menembok dan memplester konstruksi yang terdiri dari campuran dari semen portland atau campuran semen hidrolis dengan bahan yang bersifat menambah keplastisan (seperti batu kapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis) bersamaan dengan bahan lain yang digunakan untuk meningkatkan satu atau lebih sifat seperti waktu pengikatan (*setting time*), kemampuan kerja (*workability*), daya simpan air (*water retention*) dan ketahanan (*durability*) (SNI 15-3758-2004).

f. Semen Portland Campur

Suatu bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama dari terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik yang bersifat tidak bereaksi (*inert*) (SNI 15-3500-2004).

Berdasarkan SNI 2049-2015 *Semen Portland/Ordinary Portland Cement (OPC)* dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

a. Jenis I

Semen portland tipe I merupakan jenis semen yang digunakan dalam penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

b. Jenis II

Semen portland tipe II merupakan semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

c. Jenis III

Semen portland tipe III merupakan semen yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

d. Jenis IV

Semen portland tipe IV merupakan semen yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

e. Jenis V

Semen portland tipe V merupakan semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.3.2 Agregat

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 2847-2019), agregat adalah bahan berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah dan slag tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

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 Halus

Berdasarkan SNI 1970-2016, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4.75 mm (No.4).

Agregat halus harus memenuhi persyaratan di bawah ini:

- a. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras dengan indeks kekerasan ≤ 2.2 .
- b. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. 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%.
- d. 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 kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat harus dicuci.
- e. 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.

- f. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1.5 – 3.8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut zone: 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
 1. Sisa di atas ayakan 4.8 mm, harus maksimum 2% berat.
 2. Sisa di atas ayakan 1.2 mm, harus minimum 10% berat.
 3. Sisa di atas ayakan 0.30 mm, harus minimum 15% berat.
- g. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
- h. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
- i. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan di atas (pasir pasang).

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 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 dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus (Edward G. Nawy, 1998).

Agregat halus memiliki zona-zona berdasarkan ukuran lolos saringannya, gradasi pasir dibagi menjadi empat kelompok yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus dan pasir halus seperti tersaji pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran Yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV

10	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	33 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 - 15

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah IV : Pasir Halus

2. Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969-2016, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4.75 mm (No.4) sampai dengan 40 mm (1 ½ inci).

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya melebihi ¼ in. (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir pada beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organis, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Jenis agregat kasar yang umum adalah:

a. 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.

b. Kerikil Alami

Kerikil didapat dari proses alami, yaitu pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih

rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

c. 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.

d. 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 dan 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, magnetit dan limonit.

Berdasarkan ASTM C33 gradasi agregat melalui persentase berat yang melalui masing-masing tabel ayakan yaitu seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Syarat Gradasi Agregat Sesuai ASTM C33

No. Ayakan		% Berat melalui ayakan			
		Agregat Kasar		Agregat Halus	
		Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
1 in	25	95	100	-	-
¾ in	19	-	-	-	-
½ in	12.5	25	60	-	-
3/8 in	10	-	-	100	100
No. 4	15	0	10	95	100
No. 8	2.5	0	5	80	100
No. 16	1.2	-	-	50	85
No. 30	0.6	-	-	25	60
No. 50	0.3	-	-	10	30
No. 100	0.15	-	-	2	10
Dasar		-	-	-	-

2.3.3 Limbah Batu Bata Tahan Api Magnesia

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, chromit, 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 (H. Fang, 1998).

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 3. Bahan Baku Refraktori Jenis Basa

Magnesite (MgCO ₃)	Magnesite berkristal sangat halus merupakan hasil peruraian dari serpentin (Mg ₃ Si ₂ O ₅), Talc (Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂), Olivin ((Mg,Fe) ₂ SiO ₄) magnesite berkristal kasar merupakan hasil metamorfosa batuan kapur yang mengandung Mg
Brucite (MgOH ₂ O)	Merupakan ubahan dari serpentine
Air laut	Mengandung MgO ≤ 8%

Periclase (MgO)	Titik lebur ~ 2300°C
Dolomite-CaMg (CO ₃) ₂	Ubahan dari batu kapur, titik lebur 1650°C Tahan terhadap slag besi dan kapur
Forsiterite (MgO.SiO ₂)	Hasil ubahan dari batuan basa-ultra basa (dunite, periodite serpentine) Kekuatan pada suhu tinggi bagus Titik lebur: 1730 - 1920°C
Chromite (Cr ₂ O ₃)	Hasil ubahan dari peridolite dan serpentine Kekuatan pada suhu tinggi bagus Titik lebur > 1900°C Tahan terhadap slag basa

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

Tabel 4. Perbedaan Batu Bata dan Batu Bata Tahan Api

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

2.3.4 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang

tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Edward G. Nawy, 1998).

Menurut SNI 03-2847-2002, persyaratan air sebagai bahan bangunan sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat antara lain:

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 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:
 - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - b. Hasil pengujian pada umur 7 hari 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 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 persyaratan.

2.4 Sifat Mekanik Beton

Beton merupakan material komposit yang terdiri atas agregat kasar dan agregat halus yang saling terikat oleh campuran semen, air dan bahan aditif atau biasa disebut dengan mortar. Secara garis besar, beton diklasifikasikan menjadi tiga sifat mekanik yaitu kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur. Untuk mengetahui sifat mekanik dari 3 klasifikasi tersebut, perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan banyak sampel agar dapat menghasilkan nilai yang nantinya dapat dipakai untuk menentukan jenis mutu pekerjaan dari ketiga klasifikasi tersebut. Nilai ini kemudian dipakai sebagai batas keseragaman dari berbagai nilai yang dihasilkan oleh sampel-sampel yang telah diuji untuk menunjukkan adanya kevalidan suatu data. Nilai ini disebut dengan standar deviasi. Standar deviasi adalah nilai dengan perhitungan yang menentukan apakah data tersebut telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan atau tidak. Untuk mendapatkan standar deviasi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(f'_{ci} - f'_{cm})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana,

Sd = standar deviasi

f'ci = kuat tekan benda uji

f'cm = kuat tekan rata-rata benda uji

n = jumlah benda uji

Berikut tabel standar deviasi yang dipakai untuk menentukan mutu suatu pekerjaan.

Tabel 5. Mutu Pelaksanaan Standar Deviasi

Volume pekerjaan		Deviasi Standart sd (MPa)		
Sebutan	volume beton (m ³)	Mutu Pekerjaan		
		baik sekali	baik	dapat diterima
Kecil	< 1000	4.5 < s ≤ 5.5	5.5 < s ≤ 6.5	6.5 < s ≤ 8.5
Sedang	1000-3000	3.5 < s ≤ 4.5	4.5 < s ≤ 5.5	5.5 < s ≤ 7.5
Besar	> 3000	2.5 < s ≤ 3.5	3.5 < s ≤ 4.5	4.5 < s ≤ 6.5

2.4.1 Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 1974-2011, kuat tekan beton (f'_c) adalah besarnya beban per-satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Nilai kecepatan pembebanan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 1.3 mm/menit.

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

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

dimana,

f'_c = kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = gaya tekan aksial (N)

A = luas penampang melintang benda uji (mm²)

2.4.2 Kuat Tarik Belah

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.

Kekuatan tarik relatif rendah untuk beton normal berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekan. Pengujian kuat tarik beton dilakukan melalui pengujian split silinder. 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 cylinder strength*.

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

$$f_r = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (3)$$

dimana,

f_r = kuat tarik belah (N/mm²)

P = beban pada waktu belah (N)

L = panjang benda uji silinder (mm)

D = diameter benda uji silinder (mm)

2.4.3 Kuat Lentur

Berdasarkan SNI 4431-2011, yang dimaksud dengan kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas. Metode pengujian kuat lentur di laboratorium dengan menggunakan balok uji yaitu balok beton yang berpenampang bujur sangkar dengan panjang total balok empat kali lebar penampangnya.

Jarak titik belah balok beton sampai ujung balok beton sangat penting untuk menentukan rumus yang dipakai, yaitu:

1. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan:

$$R = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots(4)$$

2. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada diluar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \dots\dots\dots(5)$$

dimana,

R = kuat lentur (N/mm²)

P = beban maksimum total (N)

L = Panjang bentang (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

a = Jarak rata-rata dari garis keruntuhan dan titik perletakan terdekat diukur pada bagian tarik spesimen