

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MEKANIK BETON
AGREGAT LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS
ALUMINA DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT**

Disusun dan diajukan oleh:

**INDY RISFIANI THAMRIN
D011 19 1093**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MEKANIK BETON AGREGAT LIMBAH
BATU BATA TAHAN API JENIS ALUMINA DAN SEMEN PORTLAND
KOMPOSIT**

Disusun dan diajukan oleh:

INDY RISFIANI THAMRIN


D011 19 1093


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: 197305301998022001


Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng
NIP: 197605032002121001

Ketua Program Studi,


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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Indy Risfiani Thamrin
NIM : D011191093
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimental Perilaku Mekanik Beton Agregat Limbah Batu Bata Tahan
Api Jenis Alumina Dan Semen Portland Komposit}

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

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

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

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

Gowa, 9 Maret 2023

Yang Menyatakan



Indy Risfiani Thamrin

ABSTRAK

INDY RISFIANI THAMRIN. *Studi Eksperimental Perilaku Mekanik Beton Agregat Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Alumina Dan Semen Portland Komposit* (dibimbing oleh Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng dan Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng)

Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperature 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. Refraktori terbuat dari bahan organic bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi seperti bahan tungku dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk industri proses, material ini melapisi *furnace, tundis, ladle* dan sebagainya. Dengan kata lain refraktori adalah material yang dapat mempertahankan sifat-sifatnya yang berguna dalam kondisi yang sangat berat karena temperature tinggi dan kontak dengan bahan-bahan korosif. Refraktori dibuat dari berbagai jenis material terutama keramik yang mana termasuk bahan-bahan seperti alumina, lempung (*clay*), magnesia, chromit, silicon karbida dan lain-lain. Refraktori digunakan untuk mengkonstruksi atau melapisi struktur yang berhubungan dengan temperatur tinggi, dari perapian sampai blast furnace. Untuk dapat melayani aplikasi yang diminta, refraktori memerlukan sifat-sifat tertentu. Sifat-sifat ini diantaranya titik lebur yang tinggi, kekuatan yang bagus pada temperature tinggi, tahan terhadap degradasi, mudah dipasang dan biaya yang masuk akal.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian perilaku mekanik dan pengamatan sebaran agregat kasar pada beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api jenis magnesia 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 magnesia sebanyak 15%, 30% dan 50%.

Hasil dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada beton f'_c 21 MPa dan 25 MPa sebesar 18.32 dan 23.28. Nilai kuat tarik belah maksimum didapatkan nilai sebesar 2.47 MPa dan 3.23 MPa. Nilai kuat lentur maksimum didapatkan 5.00 MPa dan 4.87 MPa. Hasil perhitungan distribusi agregat menunjukkan bahwa penyebaran terjadi secara merata dan beton tidak mengalami segregasi pada semua jenis campuran.

Kata Kunci: Beton, Limbah, Alumina, Perilaku Mekanik, Distribusi Agregat

ABSTRACT

INDY RISFIANI THAMRIN. *Experimental Study of Mechanical Behavior of Aggregate Concrete Refractory Bricks Alumina and Portland Cement Composite Types* (supervised by Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng dan Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng)

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. . Refractories are made of non-metallic organic materials which are difficult to melt at high temperatures such as furnace materials and so on. Refractory materials are indispensable for the process industry, these materials line furnaces, tundis, ladles and so on. In other words, a refractory is a material that retains its useful properties under very severe conditions due to high temperatures and contact with corrosive materials. Refractories are made from various types of materials, especially ceramics which include materials such as alumina, clay, magnesia, chromite, silicon carbide and others. Refractories are used to construct or coat structures that are exposed to high temperatures, from hearths to blast furnaces. To be able to serve the requested application, refractories require certain properties. These properties include high melting point, good strength at high temperatures, resistance to degradation, ease of installation and reasonable cost.

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%.

The results of the tests carried out obtained the highest compressive strength values for concrete f_c 21 MPa and 25 MPa at 18.32 and 23.28. The maximum split tensile strength values obtained were 2.47 MPa and 3.23 MPa. The maximum flexural strength values are 5.00 MPa and 4.87 MPa. The results of the calculation of the distribution of aggregates show that the distribution occurs evenly and the concrete does not experience segregation in all types of mixtures.

Keywords: Concrete, Waste, Alumina, 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	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton	5
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.2.1 Kuat Tekan.....	7
2.2.2 Kuat Tarik Belah.....	8
2.2.3 Kuat Lentur.....	8
2.2.4 Refractory Brick.....	9
2.3 Bahan Penyusun Beton	10
2.3.1 Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Alumina.....	10
2.3.2 Semen.....	12
2.3.3 Agregat.....	15
2.3.4 Air.....	19
2.4 Sifat Mekanik Beton	21
2.4.1 Kuat Tekan Beton.....	21
2.4.2 Kuat Tarik Belah Beton.....	21
2.4.3 Kuat Lentur Beton.....	22
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	23
3.1 Rancangan Penelitian.....	23
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	27
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.5 Desain Benda Uji	30
3.6 Pemeriksaan Material.....	32
3.7 Pembuatan Benda Uji.....	32
3.8 Metode Pemeriksaan <i>Slump Test</i>	34
3.9 Metode Perawatan.....	34
3.10 Pengujian Benda Uji	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Karakteristik Material	39
4.1.1 Agregat Kasar.....	39

4.1.2 Agregat Halus.....	41
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.....	50
4.3.5 Kuat Lentur.....	52
4.3.6 Distribusi Agregat.....	54
BAB V KESIMPULAN.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram Alir Rancangan Penelitian.....	24
Gambar 2 Material Campuran Beton	30
Gambar 3 Benda Uji Silinder 10x20 cm.....	31
Gambar 4 Benda Uji Balok 40x10x10 cm	31
Gambar 5 Proses Mengaduk Campuran Beton	33
Gambar 6 Proses Pengujian <i>Slump</i>	34
Gambar 7 Proses Curing Dalam Bak Perendam	35
Gambar 8 <i>Universal Testing Machine</i>	35
Gambar 9 Data Logger dan Satu Set Komputer.....	36
Gambar 10 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	36
Gambar 11 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	37
Gambar 12 Pengujian Kuat Lentur Beton.....	38
Gambar 13 Analisa Saringan Refraktori Brick Alumina	40
Gambar 14 Grafik Nilai <i>Slump</i> Beton	43
Gambar 15 <i>Slump</i> Beton Normal	44
Gambar 16 <i>Slump</i> Beton RB 15%.....	44
Gambar 17 <i>Slump</i> Beton RB 30%.....	44
Gambar 18 <i>Slump</i> 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.....	49
Gambar 21 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tekan Pada Beton $f'c$ 21 MPa	48
Gambar 22 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tekan Pada Beton $f'c$ 25 MPa	49
Gambar 23 Kuat Tarik Belah Beton Substitusi Limbah Batu Bata Tahan Api Alumina Pada Umur 28 Hari.....	50
Gambar 24 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tarik Belah Pada Beton $f'c$ 21 MPa	51
Gambar 25 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Tarik Belah Pada Beton $f'c$ 25 MPa	51
Gambar 26 Kuat Lentur Beton Substitusi Limbah Batu Bata Tahan Api Alumina Pada Umur 28 Hari.....	52
Gambar 27 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Lentur Pada Beton $f'c$ 21 MPa.....	53
Gambar 28 Hubungan Antara Berat Jenis Beton dan Kuat Lentur Pada Beton $f'c$ 25 MPa.....	53
Gambar 29 Distribusi Agregat Pada Beton Silinder $f'c$ 21 MPa	54
Gambar 30 Distribusi Agregat Pada Beton Silinder $f'c$ 25 MPa	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Bahan Baku Refraktori Jenis Netral.....	11
Tabel 2. Syarat Gradasi Agregat Sesuai ASTM C-33.....	17
Tabel 3. Gradasi Agregat Halus	19
Tabel 4. Variasi Benda Uji Silinder	30
Tabel 5. Variasi Benda Uji Balok	31
Tabel 6. Metode Pengujian Karakteristik Agregat.....	32
Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Kerikil 13 mm	39
Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Kerikil 28 mm	39
Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Refraktori Brick Alumina.....	40
Tabel 10. Hasil Pengujian Abrasi.....	41
Tabel 11. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir.....	41
Tabel 12. Komposisi Campuran Beton $f'c$ 21 MPa dan 25 MPa.....	42
Tabel 13. Nilai Berat Jenis Beton $f'c$ 25 MPa	45
Tabel 14. Nilai Berat Jenis Beton $f'c$ 25 MPa	45
Tabel 15. Distribusi Agregat Beton $f'c$ 21 MPa	56
Tabel 16. Distribusi Agregat Beton $f'c$ 25 MPa	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Penyiapan Material.....	62
Lampiran 2 Proses Pembuatan Benda Uji.....	63
Lampiran 3 Proses Pengujian Nilai Slump	64
Lampiran 4 Pengujian Benda Uji.....	65

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 “**STUDI EKSPERIMENTAL PERIKALU MEKANIK BETON AGREGAT LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS ALUMINA DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT**”, 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 **Thamrin Thaif** dan ibunda **Gusniar Rani** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Chaerul Agil Thamrin** sebagai saudara tercinta dan teman seumur hidup yang selalu memberikan tunjangan serta dukungannya dalam hidup penulis.
3. **Muhammad Muhaemin Deni Djafar** 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. **Dhea, Iin, Ima dan Paris** sebagai teman seperjuangan penulis yang senantiasa menemani, memberikan semangat dan sebagai tempat cerita untuk penulis di kala senang maupun susah sejak masa SMP.
5. **Nindya, Ira, Bile dan Amirah** sebagai teman seperjuangan penulis yang senantiasa menemani dan memberikan semangat, warna yang indah dan kasih sayangnya baik di kala senang maupun susah selama masa perkuliahan.
6. **Sainal, Zatirah, Ucil, Alip, Lopa, Deden dan Imal** sebagai teman seperjuangan sedari awal kuliah yang senantiasa menghibur, memberi warna dan memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
7. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Eco Material** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. 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.

9. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

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

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. Refraktori terbuat dari bahan organik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi seperti bahan tungku dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk industri proses, material ini melapisi *furnace*, *tundis*, *ladle* dan sebagainya. Dengan kata lain refraktori adalah material yang dapat mempertahankan sifat-sifatnya yang berguna dalam kondisi yang sangat berat karena temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan korosif. Refraktori dibuat dari berbagai jenis material terutama keramik yang mana termasuk bahan-bahan seperti alumina, lempung (*clay*), magnesia, chromit, silicon karbida dan lain-lain. Refraktori digunakan untuk mengkonstruksi atau melapisi struktur yang berhubungan dengan temperatur tinggi, dari perapian sampai *blast furnace*. Untuk dapat melayani aplikasi yang diminta, 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 yang masuk akal (H Fang, 1998).

Material refraktori berdasarkan bentuknya dapat dibagi menjadi bata (*shaped*) dan monolitik (*unshaped*). Bentuk-bentuk bata refraktori tersedia dalam banyak bentuk dan ukuran, antara lain lurus, kevil, kubah, belahan, tabung dan lain-lain. Sedangkan untuk refraktori monolitik merupakan campuran butiran serbuk mineral (agregat) material refraktori yang kering dengan bahan pengikat (*binder*) baik cair maupun bahan kimia cair lainnya yang berfungsi sebagai pengikat, sehingga diperoleh campuran yang homogen dan bersifat plastis apabila bercampur dengan air dan digunakan segera setelah proses pencampuran dilakukan. Refraktori yang baik diharapkan tidak memiliki pori-pori, bersamaan dengan komposisi fasa, dan porositas merupakan faktor yang sangat penting untuk diperhatikan selama

pembuatan produk refraktori. Mengurangi porositas akan meningkatkan kekuatan dan tahanan terhadap korosi. Berdasarkan bentuknya refraktori dapat dibagi ke dalam empat kategori, yaitu bata api refraktori (*refractory brick*), castable/beton refraktori (*refractory castable*), mortar refraktori (*refractory mortars*) dan refraktori *anchor* (H. Fang, 1998).

Refraktori alumina tinggi (Al_2O_3) memiliki kandungan alumina di atas 47.5% hal ini sesuai menurut standar ASTM dan digunakan temperatur operasi 2050°C. Beberapa kelompok refraktori yang lain adalah mullite, alumina-chrome, alumina-carbon. Produk refraktori alumina tinggi dengan kandungan alumina antara 70%-80% dimasa fasanya adalah mullite termasuk kategori refraktori mullite alumina tinggi. Refraktori jenis ini memiliki ketahanan *spalling* yang sangat baik dan ketahanan pembebanan yang tinggi. Penggunaan refraktori alumina biasanya terdapat pada tungku peleburan nikel, baja, besi, cor, keramik, kaca dan lain-lain. (H. Fang, 1998).

Indonesia merupakan negara penghasil nikel terbesar pertama di dunia. Dengan cadangan sumber daya alam berupa nikel sebesar 21 juta MT. Saat ini jumlah dinding tungku pembakaran nikel yang dihasilkan mencapai sekitar 4500 ton atau sebesar 150 m³ yang akan diganti setiap 4 tahun sekali, dimana dinding tungku pembakaran tersebut dikategorikan sebagai limbah. Sehingga pembuangan limbah refraktori batu bata akan mempengaruhi lingkungan sekitar pertambangan.

Tingginya konsumsi nikel di Indonesia menyebabkan kapasitas refraktori brick yang dihasilkan dari industri pertambangan nikel menjadi sangat banyak. Pemanfaatan refraktori brick sebagai pengganti agregat kasar saat ini masih terbatas. Meskipun refraktori brick terkontaminasi logam dari proses peleburan biji nikel, tetapi berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah slag hasil peleburan nikel dikategorikan sebagai limbah non-B3.

Penggunaan material refraktori brick sangat berpotensi pada produksi beton dimana penggunaan material beton sangat besar untuk pembangunan sarana dan prasarana. Penggunaan material dari sumber daya alam untuk kebutuhan industri beton setelah 2010 mencapai 8 – 10 juta ton pertahun. Secara volumetris beton diisi oleh agregat kasar sebanyak 60 - 80% (Edward G. Nawy, 1998).

Pemanfaatan refraktori brick sebagai agregat kasar/halus pada beton akan memberi dampak ekonomi yang besar baik bagi perusahaan, pemerintah dan masyarakat sekitar jika mampu digunakan secara meluas. Selain itu, pemanfaatan refraktori brick sebagai agregat akan menghemat pemakaian sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Kajian atau penelitian yang lebih komprehensif tentang penggunaan agregat refraktori brick pada beton sangat dibutuhkan agar dapat digunakan secara umum yang memenuhi aspek kekuatan dan lingkungan sesuai dengan peraturan yang ditetapkan di Indonesia.

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

**“STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MEKANIK BETON
AGREGAT LIMBAH BATU BATA TAHAN API JENIS ALUMINA
DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSITE”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat dirumuskan sesuai dengan latar belakang yang telah dijelaskan, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh limbah batu bata tahan api yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap nilai kuat tekan?
2. Bagaimana pengaruh limbah batu bata tahan api yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap nilai kuat tarik belah?
3. Bagaimana pengaruh limbah batu bata tahan api yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap nilai kuat lentur?
4. Bagaimana sebaran agregat pada beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menentukan pengaruh limbah batu bata yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap nilai kuat tekan

2. Menentukan pengaruh limbah batu bata yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap nilai kuat tarik belah
3. Menentukan pengaruh limbah batu bata yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap nilai kuat lentur
4. Menentukan pengaruh limbah batu bata tahan api yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar terhadap segregasi beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk menentukan perilaku mekanik (kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur) pada beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api yang mengandung alumina sebagai pengganti agregat kasar.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini maka ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Batu bata tahan api yang digunakan merupakan batu bata tahan api yang mengandung alumina
2. Semen yang digunakan adalah salah satu jenis semen campuran (*blended cement*), yaitu semen Portland Komposit (PCC).
3. Batu bata tahan api jenis alumina sebagai pengganti 15%, 30% dan 50% agregat kasar pada campuran beton.
4. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 7 hari dan 28 hari pada kondisi curing air tawar.
5. Pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur dilaksanakan pada umur 28 hari pada kondisi curing air tawar.
6. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan ASTM.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. Pada dasarnya, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya 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 (Edward G. Nawy, 1998).

Berdasarkan SNI 2847-2013, 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.

Beberapa bahan bersifat semen seperti abu terbang, pozolan alam/tras, tepung terak tanur tinggi dan serbuk silika dapat digunakan bersama-sama dengan semen hidrolis untuk menekan harga atau untuk memberikan sifat-sifat tertentu misalnya untuk mengurangi panas hidrasi awal, menambah perkembangan kekuatan akhir, menambah daya tahan terhadap reaksi alkali-agregat atau serangan sulfat, menambah kerapatan dan ketahanan terhadap masuknya larutan-larutan perusak. Umumnya proporsi beton yang tidak mengandung bahan tambahan kimia dan atau bahan-bahan selain semen hidrolis, dicampur ulang dengan menggunakan bahan-bahan di atas atau semen yang berbeda. Karakteristik dari beton yang dicampur ulang ini harus diperiksa kembali dengan campuran percobaan di laboratorium atau di lapangan (SNI 7656:2012).

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 mempengaruhi kualitas beton antara lain :

1. Kualitas semen
2. Proporsi semen terhadap air dalam campurannya
3. Kekuatan dan kebersihan agregat
4. Interaksi atau adesi antara pasta semen dan agregat
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
6. Perawatan pada temperature yang tidak lebih rendah dari 50°F pada saat beton hendak mencapai kekuatannya
7. 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 (Edward G. Nawy, 1998).

Menurut Edward G. Nawy (1998), teori faktor air semen (faktor w/c) menyatakan bahwa untuk suatu kombinasi bahan yang diberikan yang sudah memenuhi konsistensi yang sudah dikerjakan, kekuatan beton pada umur tertentu bergantung pada perbandingan berat air dan berat semen dalam campuran beton. Dengan perkataan lain, jika angka perbandingan air terhadap semen sudah tertentu, maka kekuatan beton pada umur tertentu pada dasarnya dapat diperoleh, dengan syarat bahwa campurannya plastis, dapat dikerjakan, agregatnya baik, tahan lama dan bebas material merugikan. Sementara kekuatan bergantung pada faktor air semen, nilai ekonomis bergantung pada persentase agregat yang ada yang masih menghasilkan campuran yang dapat dikerjakan.

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).

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 asset ekonomi dan lingkungan. Oleh karena ini 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 hari, 7 hari dan 28 hari. Dapat disimpulkan bahwa mengganti agregat alam dengan agregat daur ulang terlepas dari jenis agregat dan umur beton dapat menurunkan 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

Danying Gao dan Feihu Wang (2021), melakukan penelitian terhadap pengaruh daur ulang agregat halus dan serat baja terhadap sifat tekan dan tarik belah beton. 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 pertikel yang tidak beratur, 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.

2.2.3 Kuat Lentur

Mohd. Ahmad dkk (2014), mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tarik lentur beton terhadap perilaku lendutan dan retak struktur beton. Komponen beton pada umumnya berukuran besar dan memiliki tulangan minimum. Benda uji yang digunakan adalah beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji direndam dalam air selama 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Untuk setiap campuran diuji kemudian nilainya di rata-ratakan. Nilai kuat tarik lentur meningkat ketika nilai kuat tekan dan umur beton meningkat. Nilai peningkatan kuat lentur lebih rendah dari peningkatan kekuatan tekan pada umur beton yang sama. 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 pada beton umur 7 hari, 28 hari 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. 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 Refractory Brick

Mahdi Nematzadeh dkk (2017), melakukan penelitian terhadap perilaku tekan beton yang mengandung agregat halus dari daur ulang batu bata tahan api bersama dengan serat kalsium aluminat semen (CAC) dan polivinil alkohol (PVA) di bawah lingkungan asam. Setiap tahun, kerusakan yang disebabkan oleh korosi karena adanya struktur beton di lingkungan asam atau korosif menyebabkan banyak kerusakan pada struktur sehingga menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar. Untuk menghilangkan kerusakan ini, praktik perkuatan struktur dan pembangunan kembali akan dilakukan dalam skala besar, yang pada akhirnya akan mengarah pada produksi beton dalam jumlah besar. 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.

Belen Gonzales-Fonteboa dkk (2011), melakukan penelitian terhadap pengaruh agregat kasar daur ulang terhadap kerusakan beton yang menggunakan agregat daur

ulang. Pada penelitian ini digunakan dua beton konvensional dengan rasio aw/c 0.55 dan 0.65. Persentase penggantian agregat kasar menggunakan agregat daur ulang sebesar 20%, 50% dan 100%. Beton dengan agregat daur ulang dirancang sebanyak delapan jenis beton (H-0.65-0, H-0.65-20, H-0.65-50, H-0.65-100, H-0.50-0, H-0.50-20, H-0.50-50 dan H-0.50-100). Metode Faury digunakan sebagai dasar untuk desain campuran beton. Untuk memperhitungkan kapasitas penyerapan yang tinggi dari agregat daur ulang, sebelum digunakan agregat dibasahi terlebih dahulu selama 10 menit. Hasil dari penelitian menunjukkan kapasitas penyerapan air yang rendah sebesar 5% yang berarti bahwa mereka adalah agregat daur ulang dengan kualitas yang relatif baik. Dari hasil pengujian didapatkan beton dengan penggantian agregat sebesar 20% sangat mirip dengan beton konvensional.

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

2.3 Bahan Penyusun Beton

2.3.1 Limbah Batu Bata Tahan Api Jenis Alumina

Refraktori adalah bahan keramik yang dirancang untuk menahan berbagai kondisi layanan yang parah, termasuk suhu tinggi, cairan gas korosif, abrasi dan tekanan yang disebabkan oleh mekanik dan termal. Refraktori digunakan oleh berbagai perusahaan, termasuk produsen logam, keramik, semen dan kaca. Ketika bahan refraktori telah mencapai akhir masa pakainya, bahan tersebut diganti dengan

refraktori baru yang harus dibuat dari bahan mentah murni dan refraktori bekas biasanya dibuang di tempat pembuangan sampah yang membuang limbah alam yang berharga (H. Fang, 1998).

Refraktori netral yang paling umum adalah alumina dan kromia. Produksi refraktori Chromia telah menurun selama dekade terakhir karena masalah lingkungan dengan pembentukan kromium heksavalen. Oleh karena itu, refraktori alumina adalah bahan netral yang paling tersedia. Bahan-bahan ini digunakan secara luas oleh industri logam karena suhu lelehnya yang tinggi, harga sedang dan kemampuan untuk digunakan dalam lingkungan asam dan basa (H. Fang, 1998).

Tabel 1. Bahan Baku Refraktori Jenis Netral

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

2.3.2 Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air dengan menggunakan reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air. Semen *portland* adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*clinker*) *portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4\cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen *portland* bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ($x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4\cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara *irreversible*, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula (SNI 15-2049-2004).

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. Berat jenisnya berkisar antara 3.12 dan 3.16. Berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft^3 . Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur
2. Silika (SiO_2) – dari lempung
3. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO , dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G.Nawy, 1998).

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 pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozzolan (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).

Menurut Standar Nasional Indonesia 2049-2015 *Semen Portland/Ordinary Portland Cement (OPC)* dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan penggunaannya, 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.

2.3.3 Agregat

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 (SNI 2847-2019).

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. 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 (Edward G. Nawy, 1998).

Agregat merupakan bahan penyusun beton yang menempati 70 - 75% dari total volume beton sehingga kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, berperan sebagai bahan pengisi saja, kini disadari adanya kontribusi positif agregat pada sifat beton, seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi dan ketahanan umum (*durability*) diakui. Bahkan beberapa sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat seperti kepadatan, panas jenis dan modulus elastisitas. Agregat berdasarkan ukuran butirnya dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Agregat Kasar

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000), agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm.

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 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.

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 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.

Berat volume beton yang menggunakan agregat biasa adalah sekitar 144 lb/ft³. Sedangkan beton dengan agregat berbobot berat mempunyai 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 (Edward G. Nawy, 1998).

Menurut ASTM C-33 gradasi agregat melalui persentase berat yang melalui masing-masing tabel ayakan yaitu seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Syarat Gradasi Agregat Sesuai ASTM C-33

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. Agregat Halus

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000), agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau pasir yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5.0 mm.

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).

Syarat-syarat agregat halus adalah :

- a. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat halus harus dicuci.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH). 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 aduk agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
- d. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
 - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - Sisa di atas ayakan 0.25 mm, harus berkisar antara 80% dan 95% berat.

Pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu :

- a. Pasir galian, dapat diperoleh diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut berpori dan bebas dari kandungan garam.
- b. Pasir sungai diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus bulat-bulat akibat proses gesekan, sehingga daya lekat antar butir-butir berkurang. Pasir ini paling baik dipakai untuk memplester tembok.
- c. Pasir laut diambil dari pantai, butir-butirnya halus dan bulat akibat gesekan. Banyak mengandung garam yang dapat

menyerap kandungan air dari udara. Pasir laut tidak baik digunakan sebagai bahan bangunan.

Agregat halus memiliki zona-zona berdasarkan ukuran lolos saringannya. Menurut SNI-T-15-1990-03, gradasi pasir dibagi menjadi empat kelompok yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus dan pasir halus seperti tersaji pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Gradasi Agregat Halus

Lubang____ (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan (%)			
	Kasar	Agak kasar	Agak halus	Halus
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	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

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 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

2.4.1 Kuat Tekan Beton

Menurut Standar Nasional Indonesia (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.

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

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 Beton

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 2491-2014), kuat tarik belah benda uji beton berbentuk silinder adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji ditekan.

Beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Faktor pembentuk kekuatan tarik sama dengan kuat tekan hanya besarnya kuat tarik untuk beton normal pada umumnya adalah antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kekuatan tarik dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan percobaan belah silinder (*the split cylinder*) dimana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horizontal diatas pelat mesin percobaan. Benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik.

Nilai kuat Tarik belah beton dapat dihitung dengan rumus:

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

dimana,

- fr = 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 Beton

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 4431-2011), kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji. Gaya tersebut diberikan kepada balok beton sampai benda uji menjadi patah. Hasil pengujian ini dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas.

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:

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

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:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \dots\dots\dots(4)$$

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.