

TUGAS AKHIR

KUAT TEKAN BETON DENGAN PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN LIMBAH PENGELASAN



Diajukan kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh :

Zainal Abidin
STB. F 111 20 090

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU, 2025

HALAMAN PENGESAHAN

KUAT TEKAN BETON DENGAN PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN LIMBAH PENGELASAN

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

ZAINAL ABIDIN

F11120090

SKRIPSI

Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Sipil

Pada tanggal 30 April 2025

Mengesahkan,

UNIVERSITAS TADULAKO

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako,



Ir. Andi Arham Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19740323 199903 1 002

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,

Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 19750925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

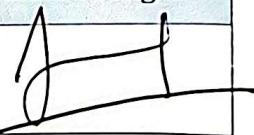
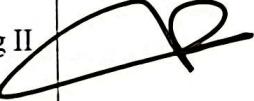
Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No. 3517/UN.28.6./DK/2025, Tanggal 13 Maret 2025 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggungjawabkan di hadapan Majelis Penguji pada Hari Kamis 30 Januari 2025 oleh :

Nama : Zainal Abidin

No. Stambuk : F 111 20 090

Judul : Kuat Tekan Beton dengan Penggantian Sebagian Agregat Halus Menggunakan Limbah Pengelasan

Dosen Pembimbing :

No.	Nama / NIP	Jabatan	Tanda Tangan
1.	<u>Dr. Fatmawati Amir, ST.,MT</u> NIP. 19770415 200212 2 001	Pembimbing I	
2.	<u>Ir. Andi Arham Adam, S.T., M.Sc(Eng), Ph.D.</u> NIP. 19740323 199903 1 002	Pembimbing II	

Palu, 2025

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Tadulako



Dr. Astri Rahayu, ST, MT

NIP. 19670705 199702 2 002

PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zainal Abidin

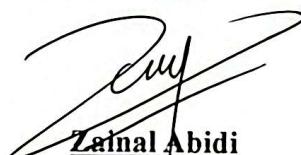
No. Stambuk : F 111 20 090

Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan duplikasi dari orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulus diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka. Apabila pada masa mendatang diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar adanya, maka saya bersedia menerima sanksi yang diberikan dengan segala konsekuensinya.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Palu, 30 Januari 2025



Zainal Abidi

Stb. F 111 20 090

Motto:

Semua jalan yang kita pilih memiliki keindahannya tergantung detail yang kita perhatikan.

Persembahan:

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk semua yang telah memberi saya pelajaran di perjalanan ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehidran Tuan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-nya segara urusan dapat terlaksana dan terselesaikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

“KUAT TEKAN BETON DENGAN PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN LIMBAH PENGELASAN”

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi di program studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu.

Penulis Menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak kesulitan yang dihadapi akibat keterbatasan pengetahuan. Namun, berkat bantuan, bimbingan, dan kerja sama dari berbagai pihak, serta berkah dari allah SWT, semua kesulitan tersebut dapat teratasi. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang setinggi-tingginya kepada Ibu Dr. Fatmawati Amir, ST.,M.Eng selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Andi Arham Adam, ST., M.Sc(Eng)., Ph.D selaku pembimbing II, yang senantiasa meluangkan waktu dan perhatian dalam memberikan arahan serta petunjuk kepada penulis, mulai dari penyusunan awal hingga akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat:

1. Ibu Dr. Sriyati Ramadhani. ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
2. Ibu Dr. Astri Rahayu, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
3. Ibu Hilda Listiawaty, ST, MT selaku ketua kelompok Dosen Keahlian (DK) Struktur Fakultas Teknik Universitas Tadulako
4. Bapak Gidion Turu'allo, ST, M.Sc., Ph.D Bapak Zet Mallisa, ST, MT dan Bapak Dr. Arifin B, ST, MT. tim penguji yang telah memberikan kritikan dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Dr. Arifin B, ST, MT., selaku Dosen Wali yang telah memberikan nasehat dan arahan selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Tadulako, khususnya Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Teknik Sipil yang telah berkanan mendidik dan mengajar penulis selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Sipil Tadulako.
7. Seluruh Pegawai Administrasi Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus segala administrasi selama berkuliahan.
8. Saya banyak ucapkan banyak terima kasih kepada Orang Tua dan Saudara (i) saya yang telah banyak memberikan motivasi, semangat dan juga dukungan dalam setiap langkah kehidupan ini dan menyelesaikan Tugas Akhir saya.
9. Saya mengucapkan terima kasih juga kepada Mismiana Ranggena atas dukungan dan semangat yang telah diberikan selama penulisan Tugas Akhir saya.
10. Tim saya yang saling suport dalam melakukan pengujian di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Sipil Universitas Tadulako.
11. Asisten Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
12. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako (HMTS – FT UNTAD), yang telah membantu saya dalam masa studi, tempat yang menyediakan segala kebutuhan saya selama kuliah di Teknik Sipil, baik itu lembar asistensi, soal soal tugas besar dll.

Palu, 30 Maret 2025
Penulis



Zainal Abidin
F11120090

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	XI
DAFTAR TABEL.....	XII
DAFTAR NOTASI	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1. Latar Belakang.....	I-1
1.2. Rumusan Masalah.....	I-2
1.3. Tujuan Penelitian.....	I-2
1.4. Manfaat Penelitian.....	I-2
1.5. Batasan Masalah.....	I-2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1. Beton.....	II-1
2.1.1. Semen.....	II-2
2.1.2. Air	II-7
2.1.3. Agregat.....	II-7
2.2. Limbah Potongan Baja	II-9
2.3. Kuat Tekan Beton	II-10
2.4. Penelitian yang Relevan	II-11
2.4.1. <i>Partial Replacement of Fine Aggregate with Welding Slag and Cement Replace with Furnace Slag in Concrete</i> (Maruthi dkk. 2023)	II-11
2.4.2. <i>Properties of Industrial Slag as Fine Aggregate in Concrete</i> (Ananthi dan Karthikeyan 2015).....	II-12
2.4.3. Effect of Steel Slag as Partial Replacement of Cement on Property of Concrete (Puspha dan Sharma 2021)	II-13
2.4.4. Pengembangan yang dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya.....	II-14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1. Bagan Alir.....	III-1
3.2. Material.....	III-2

3.2.1. Semen.....	III-2
3.2.2. Air	III-2
3.2.3. Agregat Kasar.....	III-3
3.2.4. Agregat Halus.....	III-3
3.2.5. Limbah potongan baja.....	III-3
3.3. Pengujian Material.....	III-4
3.3.1. Pengujian Agregat Kasar.....	III-4
3.3.2. Pengujian Agregat Halus.....	III-4
3.3.3. Pengujian Limbah Bengkel Las	III-5
3.4. Kebutuhan dan Variasi Material Campuran Beton	III-5
3.5. Pengujian Kuat Tekan Beton	III-7
3.6. Pengolahan data.....	III-7
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1. Persiapan Material	IV-1
4.1.1. Agregat Kasar.....	IV-2
4.1.2. Agregat Halus.....	IV-2
4.1.3. Limbah Pengelasan	IV-3
4.2. Pengujian Material.....	IV-4
4.2.1. Agregat Kasar.....	IV-4
4.2.2. Agregat Halus.....	IV-7
4.2.3. Limbah Pengelasan	IV-11
4.3. Persiapan Sampel.....	IV-11
4.3.1. Rancangan Campuran Sampel Beton.....	IV-11
4.3.2. Pengecoran Sampel Beton.....	IV-18
4.3.3. Pelepasan Cetakan Beton	IV-20
4.3.4. <i>Curing</i> Sampel Beton	IV-20
4.4. Pengujian Sampel	IV-20
4.5. Pengolahan Data Hasil Pengujian.....	IV-22
4.5.1. Pengolahan Data Uji Kuat Tekan Sampel Beton Umur 7 Hari.....	IV-22
4.5.2. Pengolahan Data Uji Kuat Tekan Sampel Beton Umur 28 Hari.....	IV-24

4.6.	Analisa Data Hasil Pengujian	IV-26
4.6.1.	Hubungan Kuat Tekan Beton Terhadap Penambahan Limbah Pengelasan.....	IV-26
4.6.2.	Komposisi Optimum dari Limbah Pengelasan Terhadap Kuat Tekan Beton	IV-28
4.6.3.	Perbandingan Kekuatan Antara Beton dengan Penambahan Limbah Pengelasan	IV-29
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1.	KESIMPULAN	V-1
5.2.	SARAN.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA		P-1
LAMPIRAN		L-1
Lampiran 1.	Model Perhitungan Analisa Saringan Untuk Agregat Kasar .	L-1
Lampiran 2.	Model Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	L-2
Lampiran 3.	Model Perhitungan Bahan lolos saringan No. 200 Agregat Kasar.....	L-3
Lampiran 4.	Model Perhitungan Keausan Agregat dengan Mesing Los Angeles.....	L-4
Lampiran 5.	Model Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus	L-5
Lampiran 6.	Model Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	L-6
Lampiran 7.	Model Perhitungan Bahan Lolos Saringan No.200 Agregat Halus.....	L-7
Lampiran 8.	Gradasi Agregat Gabungan.....	L-8

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bahan Penyusun Beton	II-1
Gambar 2.2 Proporsi Material pada Beton	II-2
Gambar 2.3 Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Setiap Unsur	II-3
Gambar 2.4 Representasi Dari Zona Transisi pada Pasta Semen dan Agregat.....	II-7
Gambar 2.5 Kuat Tekan Beton Terhadap Ketahanan Agregat dari Erosi-Abrasi	II-8
Gambar 2.6 Agregat Kasar.....	II-8
Gambar 2.7 Agregat Halus.....	II-9
Gambar 2.8 Proses Pemotongan Baja.....	II-10
Gambar 2.9 Kurva Tegangan-Regangan Beton dan Tahapan Retak Mikro.....	II-10
Gambar 2.10 Perbandingan kuat tekan beton dengan berbagai proporsi	II-12
Gambar 2.11 Hasil Kuat Tekan Beton Sampel Pengujian	II-13
Gambar 3.1 Hasil Kuat Tekan Beton Hasil Pengujian.....	II-14
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	III-1
Gambar 3.3 Semen Portland	III-2
Gambar 3.4 Air	III-2
Gambar 3.5 Agregat Kasar.....	III-3
Gambar 3.6 Agregat Halus.....	III-3
Gambar 3.7 Limbah Pengelasan	III-4
Gambar 4.1 Lokasi pengambilan material di Kota Palu	IV-1
Gambar 4.2 Pengambilan material agregat kasar	IV-2
Gambar 4.3 Lokasi pengambilan pasir	IV-3
Gambar 4.4 Lokasi pengambilan limbah pengelasan	IV-3
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara persen butiran lolos terhadap ukuran bukaan saringan.....	IV-5
Gambar 4.6 Grafik ubungan antara persen butiran lolos terhadap ukuran bukaan saringan.....	IV-8
Gambar 4.7 Hasil pengujian kotoran organik pada agregat halus	IV-10

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Senyawa pada Semen Portland Umum.....	II-2
Tabel 2.2 Tipikal Oksida dari Semen Portland Umum	II-3
Tabel 2.3 Produk umum dari semen	II-6
Tabel 2.4 Mutu Beton dan Penggunaannya	II-11
Tabel 2.5 Komposisi Material Pengganti pada Beton.....	II-12
Tabel 3.1 Pengujian Agregat Kasar dan Standar yang Digunakan	III-4
Tabel 3.2 Pengujian Agregat Halus dan Standar yang Digunakan	III-4
Tabel 3.3 Pengujian Limbah Bengkel Las dan Standar yang Digunakan.....	III-5
Tabel 3. 4 Proporsi Material pada Campuran	III-5
Tabel 3.5 Variasi Substitusi Limbah Las.....	III-5
Tabel 3. 6 Kebutuhan Material Per Kubik Beton.....	III-6
Tabel 3.7 Matriks Pengujian Beton.....	III-7
Tabel 4.1 Lokasi pengambilan material	IV-1
Tabel 4.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar.....	IV-4
Tabel 4.3 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.....	IV-5
Tabel 4.4 Tabel hasil pengujian bahan lolos saringan no. 200 agregat kasar	IV-6
Tabel 4.5 Tabel hasil pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles	IV-7
Tabel 4.6 Data hasil pengujian analisa saringan agregat halus	IV-8
Tabel 4.7 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus.....	IV-9
Tabel 4.8 Tabel hasil pengujian bahan lolos saringan no. 200 untuk agregat halus	IV-10
Tabel 4.9 Tabel nilai slump dari hasil pengujian	IV-18
Tabel 4.10 Tabel foto sampel setelah pengujian umur 7 hari.....	IV-20
Tabel 4. 11 Tabel foto sampel setelah pengujian umur 28 hari.....	IV-21
Tabel 4.12 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton untuk umur 7 hari	IV-22
Tabel 4.13 Tabel hasil pengolahan data kuat tekan beton untuk umur 7 hari	IV-24
Tabel 4.14 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton untuk umur 28 hari	IV-24
Tabel 4.15 Tabel hasil pengolahan data kuat tekan beton umur 28 hari	IV-26
Tabel 4.16 Hasil kuat tekan untuk umur 7 dan 28 hari	IV-26

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
Bk	= Berat Contoh Kering Oven
Bj	= Berat Contoh Kering Permukaan
Ba	= Berat Contoh dalam Air
Bj. Ov.	= Berat Jenis Bulk
Bj. SSD	= Berat Jenis Bulk Kering permukaan
Bj. App	= Berat Jenis Semu
Sr	= Deviasi Standar
M	= Nilai Margin
f_{cr}	= Kuat Tekan Beton Target
W_k	= Berat Agregat Kasar
W_h	= Berat Agregat Halus

KUAT TEKAN BETON DENGAN PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN LIMBAH PENGELASAN

Zainal Abidin, Fatmawati Amir, Andi Arham Adam

ABSTRAK

Perkembangan pengetahuan di zaman modern ini menuntut kita untuk lebih inovatif dalam memanfaatkan bahan-bahan yang tersedia di lingkungan kita. Dalam penelitian ini bahan yang dimanfaatkan adalah bahan yang berasal dari bengkel pengelasan yang berupa limbah dari proses pengelasan, limbah pengelasan yang dimaksud adalah limbah yang terdapat dari pemotongan baja menggunakan metode *oxy-fuel cutting*. Limbah ini memiliki tekstur yang kasar dan mengandung banyak unsur-unsur oksida logam sehingga menurut peneliti dapat meningkatkan kuat tekan jika ditambahkan dalam campuran beton. Perancangan campuran beton dilakukan dengan metode yang terdapat pada SNI 03-2843:2000 untuk campuran fc'25 MPa, campuran yang terdapat pada penelitian ini adalah campuran beton modifikasi penambahan limbah pengelasan, perbedaannya hanya pada pengurangan agregat halus yang digantikan dengan limbah pengelasan. Sampel yang dibuat memiliki dua variabel utama yaitu kadar limbah pengelasan dan umur beton, dimana kadar yang digunakan secara berturut-turut yaitu 2%, 4%, 6% dan 8% sedangkan umur beton yang di uji adalah 7 dan 28 hari. Hasil pengolahan data dari semua pengujian kuat tekan menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan beton yang berbanding lurus terhadap dua variabel yang telah didefinisikan sebelumnya dimana untuk kuat tekan beton pada umur 7 hari memiliki kuat tekan 22,35 MPa pada kadar 2% dan 26,69 MPa pada kadar 8% sedangkan untuk beton umur 28 hari memiliki kuat tekan 31,31 MPa pada kadar 2% dan 33,76 MPa pada kadar 8%.

Kata kunci : Campuran beton, Limbah pengelasan, umur beton, kuat tekan beton

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE USING WELDING WASTE

Zainal Abidin, Fatmawati Amir, Andi Arham Adam

ABSTRACT

The development of knowledge in this modern era demands us to be more innovative in utilizing materials available in our environment. In this research, the materials used are those derived from welding workshops, specifically waste from the welding process. The welding waste referred to is the waste from cutting steel using the oxy-fuel cutting method. This waste has a rough texture and contains many metal oxide elements, which, according to the researchers, can increase the compressive strength when added to concrete mixtures. The concrete mix design was carried out using the method specified in SNI 03-2843:2000 for an fc'25 MPa mix. The mixture in this study is a modified concrete mix with the addition of welding waste. The difference is only in the reduction of fine aggregates, which are replaced with welding waste. The samples made have two main variables: the amount of welding waste and the age of the concrete. The amounts used consecutively are 2%, 4%, 6%, and 8%, while the ages of the concrete tested are 7 and 28 days. The data processing results from all compressive strength tests show an increase in concrete compressive strength directly proportional to the two variables previously defined. For concrete compressive strength at 7 days, it has a compressive strength of 22.35 MPa at 2% and 26.69 MPa at 8%, whereas for 28-day-old concrete, it has a compressive strength of 31.31 MPa at 2% and 33.76 MPa at 8%.

Keywords : Concrete Mix, Welding waste, concrete age, concrete compressive strength

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan bahan bangunan seperti beton untuk pekerjaan infrastruktur semakin meningkat seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Edwin dkk. 2023). Dengan demikian perlu adanya pengembangan lebih lanjut mengenai bahan konstruksi beton agar didapatkan sebuah inovasi baru yang dapat digunakan pada masa yang akan datang.

Inovasi mengenai beton yang sering kita lihat akhir-akhir ini adalah inovasi yang berkaitan dengan penambahan atau penggantian bahan-bahan utama dari beton itu sendiri. Bahan yang sering ditambahkan pada beton berupa *plasticizer*, *fly ash* dan bahan serat sedangkan bahan pengganti yang digunakan pada beton dapat berupa pengganti agregat kasar seperti berbagai limbah potongan besi, berbagai jenis terak dan bahan-bahan lain yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas beton ataupun mengurangi limbah dari industri lainnya.

Salah satu industri yang cukup menghasilkan banyak limbah adalah industri perbungkelan. Dengan bertambahnya jumlah bengkel, baik bengkel yang berskala kecil atau *home industry* dan besar, kegiatan kegiatannya akan dapat menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan timbulnya permasalahan atau dampak yang serius terhadap lingkungan (Dinas Lingkungan Hidup, 2019). Dalam proses fabrikasi pada bengkel, baja akan dipotong atau disambung sesuai dengan pesanan. Proses fabrikasi baja tersebut akan menyisakan limbah berwujud padat berupa potongan-potongan baja dan juga limbah sisa las (Tiyani dkk. 2023).

Limbah sisa potongan besi merupakan hasil dari pemotongan besi menggunakan metode *oxy-fuel cutting*. Bahan ini memiliki kandungan oksida-oksida logam dan memiliki tekstur yang kasar sehingga secara bentuk dan kandungan cocok sebagai campuran ataupun bahan tambah dalam pembuatan beton.

Berdasarkan urian diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul: **“Kuat Tekan Beton dengan Penggantian Sebagian Agregat Halus Menggunakan Limbah Pengelasan”**

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana Pengaruh penggantian sebagian agregat dengan limbah pengelasan terhadap kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari?
2. Bagaimana komposisi paling optimal dari pemanfaatan limbah pengelasan berupa limbah pengelasan?
3. bagaimana perbandingan kekuatan antara beton tanpa penambahan limbah pengelasan dan dengan penambahan limbah pengelasan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kuat tekan beton dengan penambahan limbah pengelasan.
2. Mengetahui komposisi optimum dari limbah yang digunakan terhadap kuat tekan beton.
3. Mengetahui perbandingan kekuatan antara beton dengan penambahan limbah pengelasan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai hasil yang didapatkan dari penambahan limbah pengelasan terhadap kuat tekan beton

1.5. Batasan Masalah

Dalam penulisan laporan ini peneliti membatasi permasalahan yang akan diuraikan mengenai kuat tekan beton dengan penambahan limbah serbuk pengelasan sebagai berikut:

1. Limbah pengelasan yang digunakan adalah limbah hasil dari pemotongan besi menggunakan *oxy-fuel cutting*.
2. Limbah pengelasan hanya digunakan sebagai pengganti sebagian dari agregat halus.
3. Gradiasi agregat kasar dan halus yang digunakan merupakan agregat yang memenuhi ketentuan standar nasional indonesia (SNI C136:2012).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

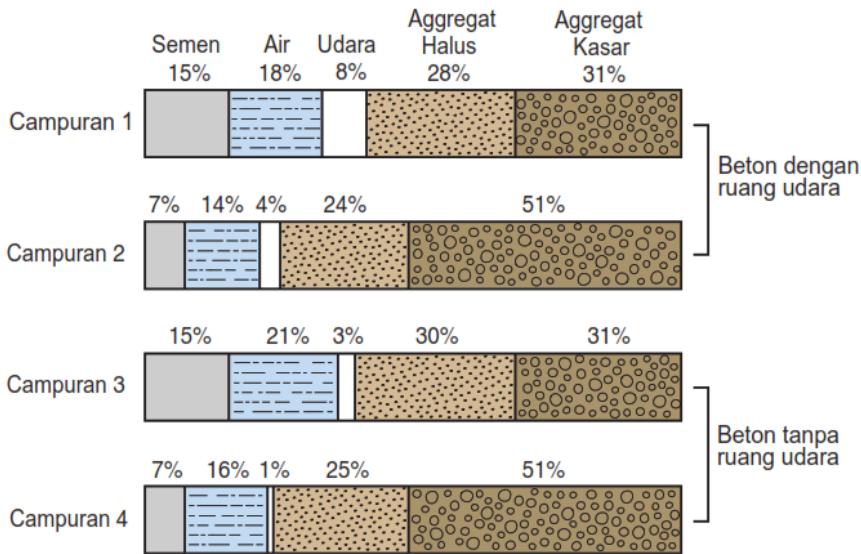
Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur. Bisa dikatakan semua bangunan struktur dibangun menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, contohnya struktur gedung, struktur bangunan air, struktur bangunan transportasi dan banyak lagi bangunan struktur lainnya. Salah satu kelebihan beton yaitu mampu menahan beban tekan, perubahan cuaca, suhu yang tinggi, dapat dibentuk dan mudah dirawat (Hamdi dkk., 2021). Berdasarkan bahan Penyusunnya Beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik jenis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang setelah mengeras membentuk masa padat (Tampubolon, 2002).



Gambar 2.1 Bahan Penyusun Beton
Sumber : (Kosmatka dkk., 2002)

Pada dasarnya campuran dari beton hanya terdiri dari dua komponen yaitu agregat dan pasta semen. Pasta semen terdiri dari semen portland dan air yang mengikat agregat (umumnya pasir dan kerikil atau batu pecah) menjadi mengeras seperti batu saat pasta mengeras karena reaksi kimia antara air dan semen.

Dari Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa proporsi dari pasta sekitar 25% sampai dengan 40% dari volume total beton. Berdasarkan gambar juga diketahui bahwa volume absolut dari semen umumnya berada diantara 7% sampai dengan 15%, air berada diantara 14% sampai dengan 21%. Udara pada beton berada pada rentang 4% sampai dengan 8% dan agregat memiliki proporsi paling besar yaitu 60% sampai dengan 75% dari volume total beton.



Gambar 2.2 Proporsi Material pada Beton

Sumber : (Kosmatka dkk., 2002)

2.1.1. Semen

Semen merupakan bahan yang paling penting pada beton. Semen terdiri dari berbagai oksida seperti kalsium oksida, silicon oksida, dan oksida lainnya. Persamaan Bogue's untuk mendapatkan persentase dari senyawa utama semen yang telah populer sebagai berikut:

$$C_3S = 4.07(CaO) - 7.60(SiO) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$$

$$C_2S = 2.87(SiO_2) - 0.754(3CaO.SiO_2)$$

$$C_3A = 2.65(Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3.04(Fe_2O_3)$$

Semen terutamanya terdiri dari empat senyawa yang dikenal sebagai senyawa Bogue's seperti diatas. Nama lain dari senyawa-senyawa diatas adalah Alite (C_3S), Belite (C_2S) dan Ferrite (C_4AF) (Mandal dkk., 2023). Berikut adalah komposisi senyawa oksida dari semen biasa:

Tabel 2.1 Komposisi Senyawa pada Semen Portland Umum

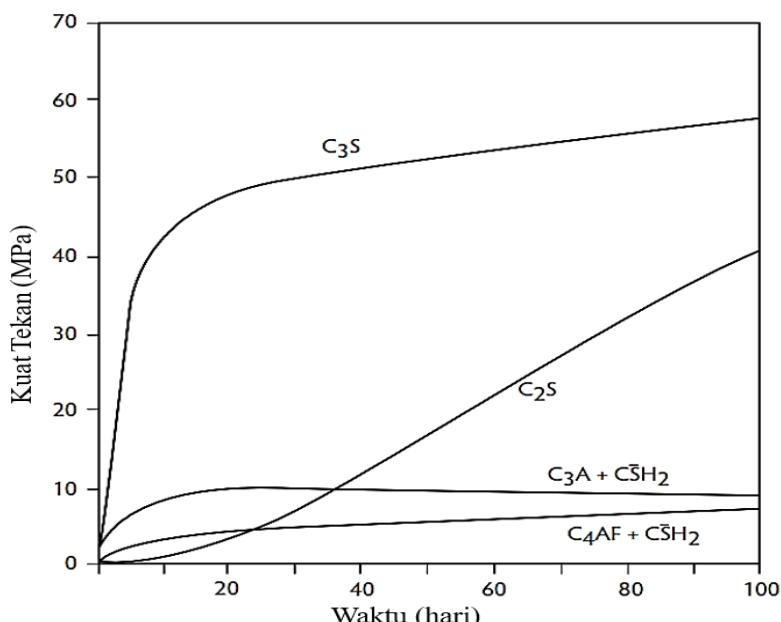
Rumus Kimia	Notasi	Nama Kimia	Persen Berat
$3CaO.SiO_2$	C_3S	Trikalsium Silikat	50
$2CaO.SiO_2$	C_2S	Dikalsium Silikat	25
$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	Trikalsium Aluminat	12
$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	Tetrakalsium Aluminoferrite	8
$CaSO_4.2H_2O$	CSH_2	Kalsium Sulfat Dihidrat (Gipsum)	3.5

Sumber : (Nawy, 2008)

Tabel 2.2 Tipikal Oksida dari Semen Portland Umum

Oksida	Notasi	Nama umum	Persen berat
CaO	C	Kapur	63
SiO ₂	S	Silika	20
Al ₂ O ₃	A	Alumina	6.3
Fe ₂ O ₃	F	Besi Oksida	3.3
MgO	M	Magnesium Oksida	2.4
SO ₃	S	Belerang Oksida	1.5
NaO	N	Alkalis	0.6
K ₂ O	K		0.4
CO ₂	C	Carbon dioksida	-
H ₂ O	H	Air	-

Sumber : (Nawy, 2008)



Gambar 2.3 Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Setiap Unsur

Sumber : (Nawy, 2008)

A. Klasifikasi Semen berdasarkan *American Society for Testing and Materials* (ASTM C 150-07)

Beberapa tipe dari semen yang pernah di produksi memiliki sifat fisik dan sifat kimia yang berbeda dan ditujukan untuk tujuan yang spesifik. Berdasarkan ASTM C 150-07 terdapat delapan jenis semen yaitu:

1. Semen Normal (Tipe I)

Semen tipe I atau semen normal adalah semen yang dibuat tanpa sifat khusus dan dapat digunakan di semua jenis pekerjaan. Beberapa contoh penggunaan semen ini yaitu dapat digunakan sebagai lantai, beton bertulang pada bangunan, jembatan, tangki, dan beton prategang.

2. Semen dengan Ketahanan Sulfat Sedang (Tipe II)

Semen tipe II atau semen dengan ketahanan sulfat sedang adalah semen yang dibuat dengan tujuan untuk menanggulangi kerusakan yang dapat disebabkan oleh sulfat. Jenis semen ini digunakan pada beberapa konstruksi normal yang bersentuhan langsung dengan tanah ataupun air tanah dimana konsentrasi sulfat lebih banyak dari biasanya.

3. Semen dengan Kekuatan Tinggi pada Umur Awal (Tipe III)

Semen tipe III adalah semen yang diproduksi dengan sifat khusus yaitu memiliki kekuatan yang tinggi pada umur awal pengecoran, umumnya pada minggu pertama bahkan kurang. Sifat fisik dan kimianya sama dengan semen tipe I akan tetapi partikelnya lebih dihaluskan. Semen ini biasa digunakan pada musim dingin untuk mengurangi lamanya waktu perawatan beton.

4. Semen dengan Panas Saat Hidrasi Rendah (Tipe IV)

Semen tipe IV adalah semen yang digunakan ketika laju dan jumlah panas yang diciptakan oleh hidrasi harus dikurangi. Ini akan membuat kekuatan beton meningkat dengan lambat dibandingkan semen tipe lain. Semen tipe ini biasa digunakan pada struktur yang memiliki ukuran masif.

5. Semen dengan Ketahanan Sulfat Tinggi (Tipe V)

Semen tipe V adalah semen yang digunakan ketika struktur yang dibangun akan terkontaminasi dengan kadar sulfat yang sangat tinggi. Kekuatan beton ini juga memiliki peningkatan kekuatan terhadap umur yang lebih rendah dibandingkan dengan semen tipe I.

6. Semen dengan *air-entraining* material (Tipe IA, IIA, & 3A)

Semen ini memiliki komposisi yang sama dengan semen tipe I, II dan III masing-masing tetapi dengan penambahan sejumlah kecil material *air-entraining* pada klinker saat proses manufaktur. Semen tipe ini digunakan untuk mencegah terjadinya *freezing and thawing* pada beton.

B. Klasifikasi semen berdasarkan *European Standard (EN 197-1)*

Berdasarkan EN 197-1 semen dibagi menjadi 27 produk semen umum yang dibagi berdasarkan penambahan sejumlah kecil bahan. akan tetapi dikelompokkan menjadi 5 tipe semen secara garis besar yaitu:

1. Semen Portland (CEM I)

Semen tipe ini merupakan semen portland murni yang dibuat tanpa bahan tambahan, komposisi utamanya adalah klinker semen portland. Digunakan hampir di semua konstruksi yang tidak memerlukan persyaratan hidrasi ataupun ketahanan sulfat.

2. Semen Portland-Komposit (CEM II)

Semen tipe ini merupakan semen portland yang dicampur dengan bahan tambah seperti abu terbang, terak, batu kapur dan lain-lain. Beton ini merupakan beton ramah lingkungan karena menggunakan lebih sedikit klinker.

3. Semen Tungku Lebur (CEM III)

Semen yang memiliki sebagian besar bahannya adalah terak dari tungku lebur. Memiliki ketahanan yang baik terhadap sulfat dan panas hidrasi rendah cocok untuk konstruksi yang berinteraksi langsung dengan tanah ataupun konstruksi yang masif.

4. Semen Pozzolana (CEM IV)

Semen tipe ini merupakan semen materialnya terdiri dari bahan pozzolana dan abu terbang. Semen tipe ini memiliki ketahanan terhadap bahan kimia sehingga cocok digunakan pada lingkungan yang kurang baik ataupun struktur bawah tanah.

5. Semen Komposit (CEM V)

Semen tipe ini adalah semen yang dibuat dengan campuran klinker, terak tungku lebur dan abu terbang. Semen ini digunakan pada lingkungan yang sangat agresif, selain itu tipe ini juga memiliki ketahanan sulfat yang baik dan ketahanan terhadap reaksi alkali-silika

Tabel 2.3 Produk umum dari semen

Tipe Utama	Notasi dari 27 produk (tipe umum semen)	komposisi (persen terhadap massa ^a)										Bahan lain	
		Komposisi Utama											
		Klinker	Terak Tungku lebur	Debu Silika	Pozzolana	abu terbang	serpihan terbakar	Batu kapur					
						natural	natural terkalsinasi	bersilika	berkapur				
		K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL		
CEM I	Semen Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Semen Portland-terak	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Semen Portland-debu silika	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Semen Portland-pozzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	Semen Portland-abu terbang	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
	Semen Portland-serpihan terbakar	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	Semen Portland-batu kapur	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
	Semen Portland-komposit ^c	CEM II/A-M	80-94	<-----6-20----->									
		CEM II/B-M	65-79	<-----31-25----->									
CEM III	Semen Tungku lebur	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Semen Pozzolana	CEM IV/A	65-89	-	<-----11-35----->				-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<-----36-55----->				-	-	-	0-5	
CEM V	Semen Komposit	CEM V/A	40-64	18-30	-	<-----18-30----->				-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	<-----31-50----->				-	-	0-5	

Sumber : (EN 197-1)

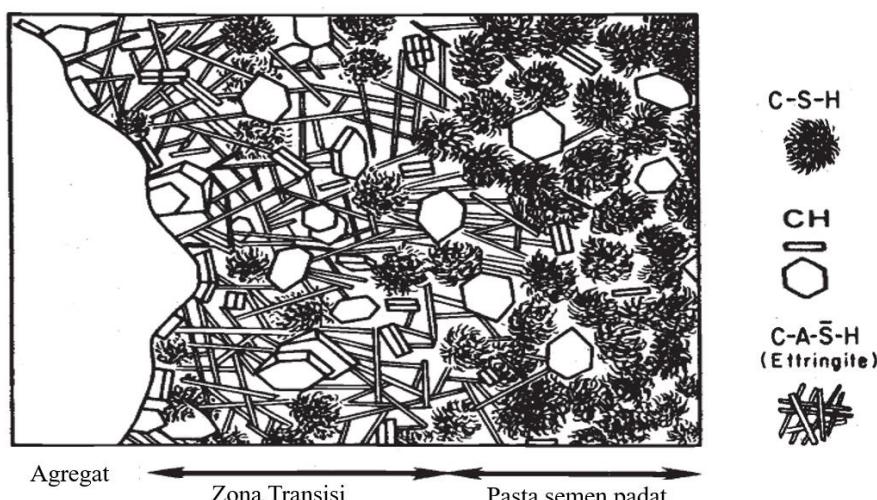
2.1.2. Air

Air merupakan bahan yang sangat penting pada pembuatan beton karena berkaitan dengan hidrasi yang terjadi pada semen, umumnya digunakan 150 hingga 200 kg/m³ air dalam pembuatan beton.

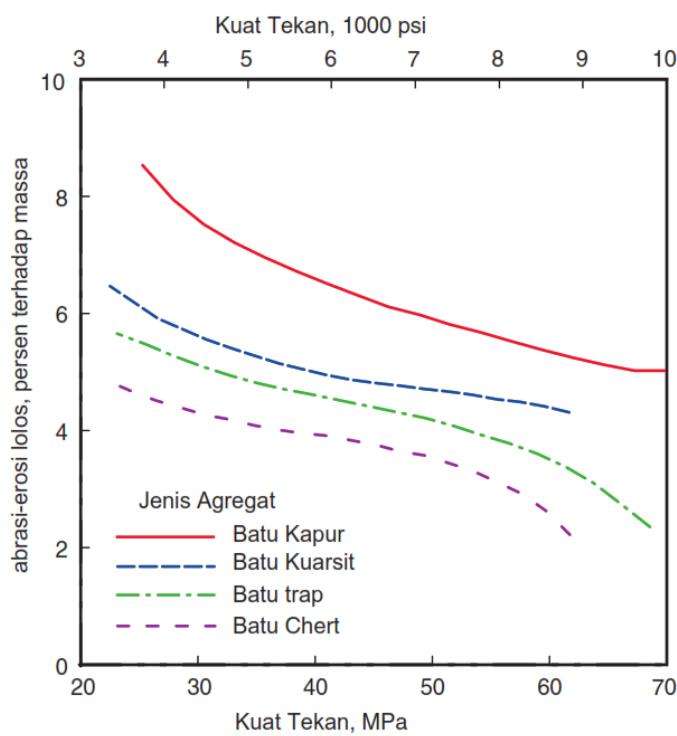
2.1.3. Agregat

Berdasarkan (ASTM C 125 - 03) agregat adalah material berbutir, seperti pasir, batu pecah, atau terak dari tungku peleburan, digunakan sebagai media pengecoran untuk beton dan mortar yang menggunakan semen hidrolik. Agregat merupakan bahan yang memiliki efek signifikan terhadap sifat dari beton yang akan dibuat. berikut adalah beberapa kriteria yang dapat mengindikasikan bahwa agregat memiliki sifat yang baik untuk dijadikan bahan pada beton.

- Karena agregat merupakan tulang dari beton, maka agregat harus kuat dan mempunyai dampak yang cukup terhadap kehancuran dan kekuatan abrasi.
- Untuk mencapai susunan yang baik pada beton, agregat harus mempunyai bentuk yang ukuran yang beragam. Agregat seperti itu disebut agregat ber gradasi baik.
- Partikel agregat harus mempunyai bentuk yang bersudut dan bertekstur kasar untuk mempunyai ikatan yang kuat terhadap pasta semen
- Agregat harus bersifat inert/lembam agar tidak beraksi dengan bahan lainnya pada beton.
- Agregat harus bebas dari kotoran organik. Jika terdapat kotoran organik, maka akan terjadi pembusukan terhadap waktu dan meninggalkan rongga hampa yang besar.



Gambar 2.4 Representasi Dari Zona Transisi pada Pasta Semen dan Agregat
Sumber : (Joseph, 2006)



Gambar 2.5 Kuat Tekan Beton Terhadap Ketahanan Agregat dari Erosi-Abrasi
Sumber : (Kyritsis dkk., 2005)

A. Agregat Kasar

Berdasarkan (ASTM C 125 - 03) agregat kasar adalah agregat yang sebagian besar tertahan pada saringan 4.75 mm (No. 4) atau bagian dari agregat yang tertahan pada saringan 4.75 mm (No.4).



Gambar 2.6 Agregat Kasar
Sumber : (Mandal dkk., 2023)

B. Agregat Halus

Berdasarkan (ASTM C 125 - 03) agregat halus adalah agregat yang lolos saringan 9.5 mm (3/8-in.) dan hampir seluruhnya lolos saringan 4.75-mm (No. 4) dan sebagian

besar tertahan pada saringan 75- μm (No. 200).; atau bagian dari agregat yang lolos saringan 4.75-mm (No.4) dan tertahan di saringan (No.200).



Gambar 2.7 Agregat Halus
Sumber : (Mandal dkk., 2023)

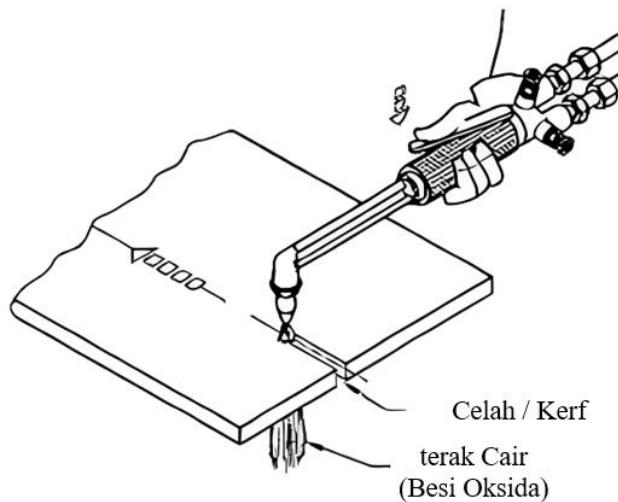
2.2. Limbah Potongan Baja

Ketika logam besi dipanaskan hingga menjadi merah dan terpapar langsung oleh oksigen murni, reaksi kimia antara logam panas dan oksigen akan terjadi. Karena reaksi oksidasi ini panas dalam jumlah besar tercipta dan pemotongan logam dapat berlangsung.

Pada pemotongan menggunakan *oxy-fuel* kombinasi antara metal panas dan oksigen murni menyebabkan pembakaran yang berlangsung cepat sehingga menyebabkan besi berubah menjadi besi oksida (oksidasi). Dengan berlangsungnya proses oksidasi logam dapat terpotong dengan sangat cepat. Besi oksida memiliki berat yang lebih rendah dibandingkan dengan logam dasar sebelum oksidasi.

Besi oksida dalam kondisi cair disebut juga sebagai terak. Jadi jet oksigen datang melalui alat pemotong dan meniup terak cair menjauh dari pelat besi sehingga menciptakan celah yang disebut “*Kerf*” (Indian Railways Centre for Advanced maintenance Technology, n.d.).

Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja yang umum digunakan selain besi (Fe) yaitu carbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Kromium (Cr), Nikel (Ni) dan Tembaga (Cu) yang saling membentuk ikatan dalam membentuk baja.

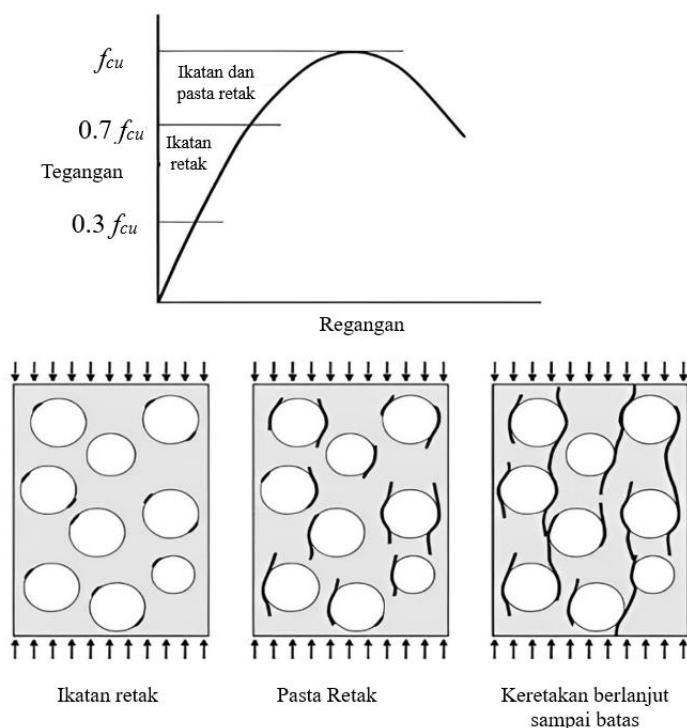


Gambar 2.8 Proses Pemotongan Baja

Sumber : (Indian Railways Centre for Advanced maintenance Technology, n.d.)

2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton yang dibuat menggunakan agregat memiliki kekuatan yang cukup ditentukan, pada umumnya ditentukan oleh kekuatan pasta semen atau ikatan antara pasta semen dengan partikel agregat. Pada umur awal kekuatan ikatan antara pasta dan beton lebih lemah dibandingkan dengan kekuatan pasta, ketika umur lanjut kekuatan ikatan akan menjadi lebih kuat (Fintel, 1985).



Gambar 2.9 Kurva Tegangan-Regangan Beton dan Tahapan Retak Mikro

Sumber : (Joseph, 2006)

Tabel 2.4 Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton	f_c' (MPa)	Uraian
Mutu Tinggi	$f_c' \geq 45$	Umumnya digunakan pada beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan dan sejenisnya.
Mutu Sedang	$20 \leq f_c' < 45$	Umumnya digunakan pada beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non-pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu Rendah	$15 \leq f_c' < 20$	Umumnya digunakan pada beton tanpa tulangan seperti beton siklop dan trotoar.
	$f_c' < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.4. Penelitian yang Relevan

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian tentang kuat tekan beton dengan yang menggunakan material limbah las sebagai bahan tambah ataupun pengganti sebagian dari agregat pada beton.

2.4.1. *Partial Replacement of Fine Aggregate with Welding Slag and Cement Replace with Furnace Slag in Concrete* (Maruthi dkk., 2023)

Pada penelitian ini dilakukan sebuah percobaan dengan mengganti sebagian agregat halus dengan terak las, terak las yang digunakan adalah terak dari hasil pengelasan dengan metode *arc welding* atau busur las. Selain itu juga ada penambahan terak dari tungku peleburan yang digunakan sebagai pengganti semen.

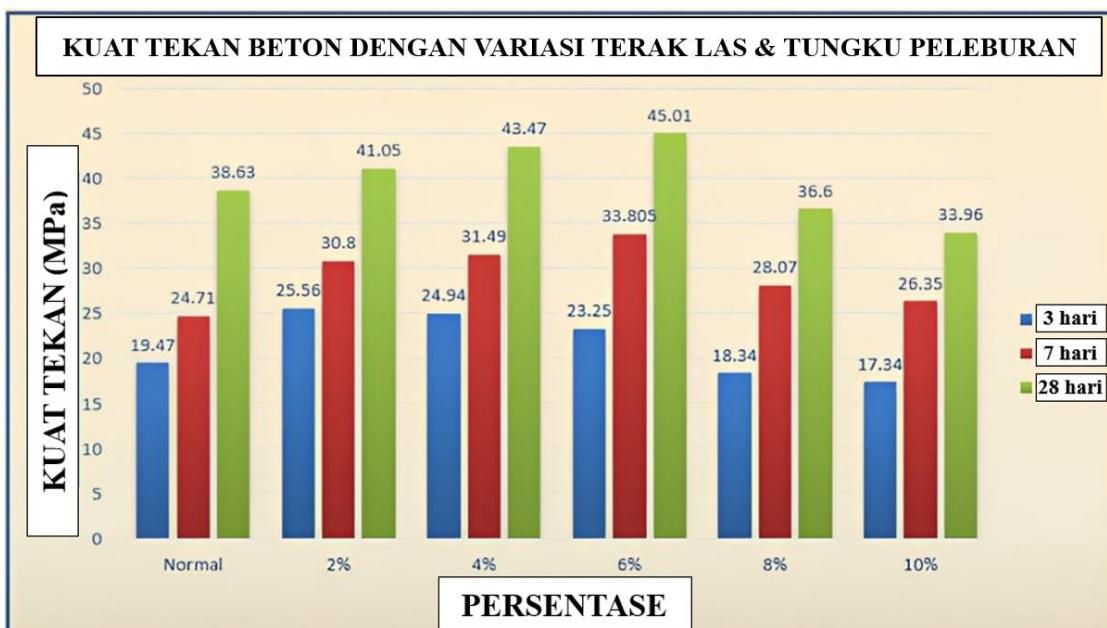
Terdapat 6 jenis sampel beton yang dibuat dalam penelitian ini dengan komposisi penggantian sebagian agregat halus dengan terak las dan penggantian semen menggunakan terak tungku lebur yang memiliki komposisi sebagai berikut.

Tabel 2.5 Komposisi Material Pengganti pada Beton

No. Sampel	Penggantian	
	Terak las (%)	Terak tungku lebur (%)
1	0	0
2	2	2
3	4	4
4	6	6
5	8	8
6	10	10

Sumber : (Maruthi dkk., 2023)

Dari 6 sampel yang dibuat pada penelitian ini semua di uji dengan pengujian kuat tekan dan mendapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 2.10 Perbandingan kuat tekan beton dengan berbagai proporsi

Sumber : (Maruthi dkk., 2023)

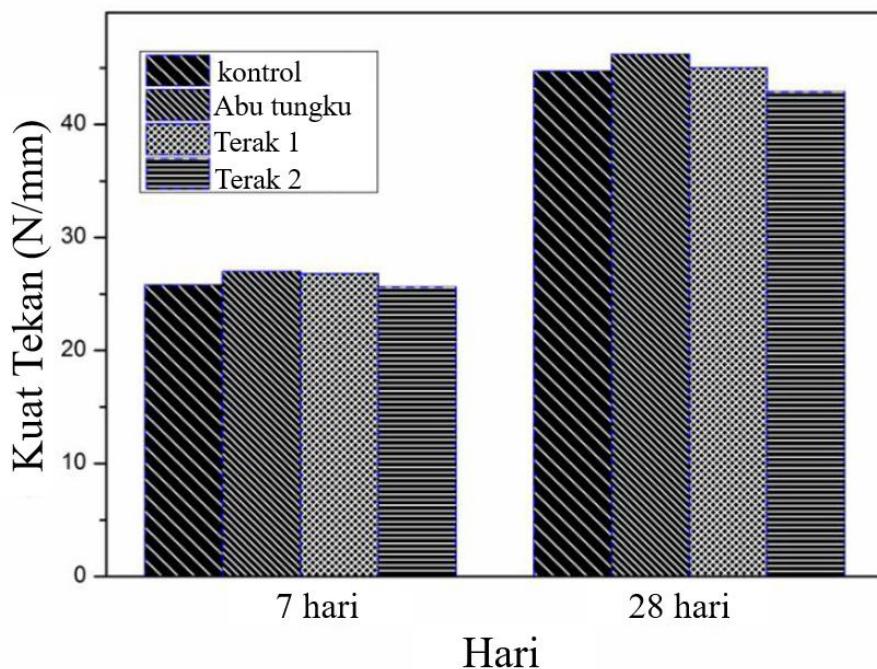
Kesimpulan yang dihasilkan dari percobaan ini adalah terjadi sedikit peningkatan kuat tekan dari penggantian semen dengan abu dari tungku peleburan dan penggantian agregat dengan terak las, Peningkatan yang paling tinggi terjadi saat penggantian 6% dari semen dan agregat halus.

2.4.2. Properties of Industrial Slag as Fine Aggregate in Concrete (Ananthi & Karthikeyan, 2015)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan bahan apa saja yang terkandung pada 2 jenis terak yang berasal industri logam dan abu sisa pembakaran pada tungku batu bara. Diketahui dari percobaan ini bahwa kedua jenis terak yang di teliti memiliki

kandungan senyawa kimia diantaranya Kalsium Oksida (CaCO_3), Mangan Oksida (Mn_3O_4) dan Silika (SiO_2).

Pada penelitian ini juga dilakukan uji coba kuat tekan beton dengan mengganti agregat halus sejumlah 10% dengan 3 jenis bahan seperti terak tipe 1, terak tipe 2 dan abu sisa pembakaran pada tungku batu bara. Berikut adalah hasil dari percobaan uji tekan yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2.11 Hasil Kuat Tekan Beton Sampel Pengujian
Sumber : (Ananthi & Karthikeyan, 2015)

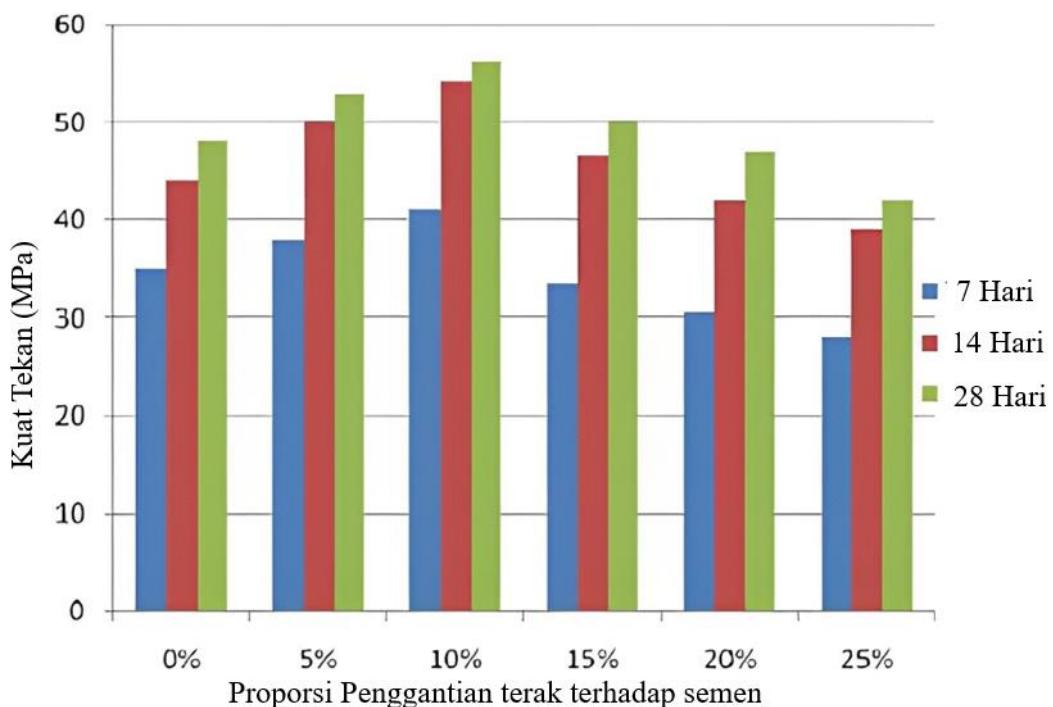
Kesimpulan yang timbul dari penelitian ini adalah kuat tekan beton dengan mengganti agregat halus sebesar 10% menggunakan abu tungku batu bara mengalami peningkatan sekitar $1,2 \text{ N/mm}^2$ pada umur 7 hari dan $1,5 \text{ N/mm}^2$ pada umur 28 hari, terak tipe 1 mengalami peningkatan 1 N/mm^2 pada umur 7 hari dan 0.3 N/mm^2 pada umur 28 hari, terak tipe 2 memiliki kuat tekan yang sama dengan kontrol pada umur 7 hari dan mengalami penurunan pada $1,8 \text{ N/mm}^2$ pada umur 28 hari.

2.4.3. Effect of Steel Slag as Partial Replacement of Cement on Property of Concrete (Puspha & Sharma, 2021)

Penelitian ini dilakukan dengan mengganti sebagian semen menggunakan terak hasil pemotongan baja yang berasal dari pabrik baja. Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya pengujian lentur dan kuat tekan beton, adapun proporsi

terak hasil pemotongan baja yang digunakan sebagai pengganti semen adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%.

Hasil dari pengujian yang dilakukan pada percobaan ini dapat kita lihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 3.1 Hasil Kuat Tekan Beton Hasil Pengujian
Sumber : (Puspha & Sharma, 2021)

Dari pengujian diatas dapat dilihat bahwa kuat tekan beton yang paling tinggi berada pada penggantian 10% berat semen menggunakan terak potongan baja. Sehingga kadar optimum dari penggantian sebagian semen menggunakan terak hasil potongan baja berada pada proporsi 10%.

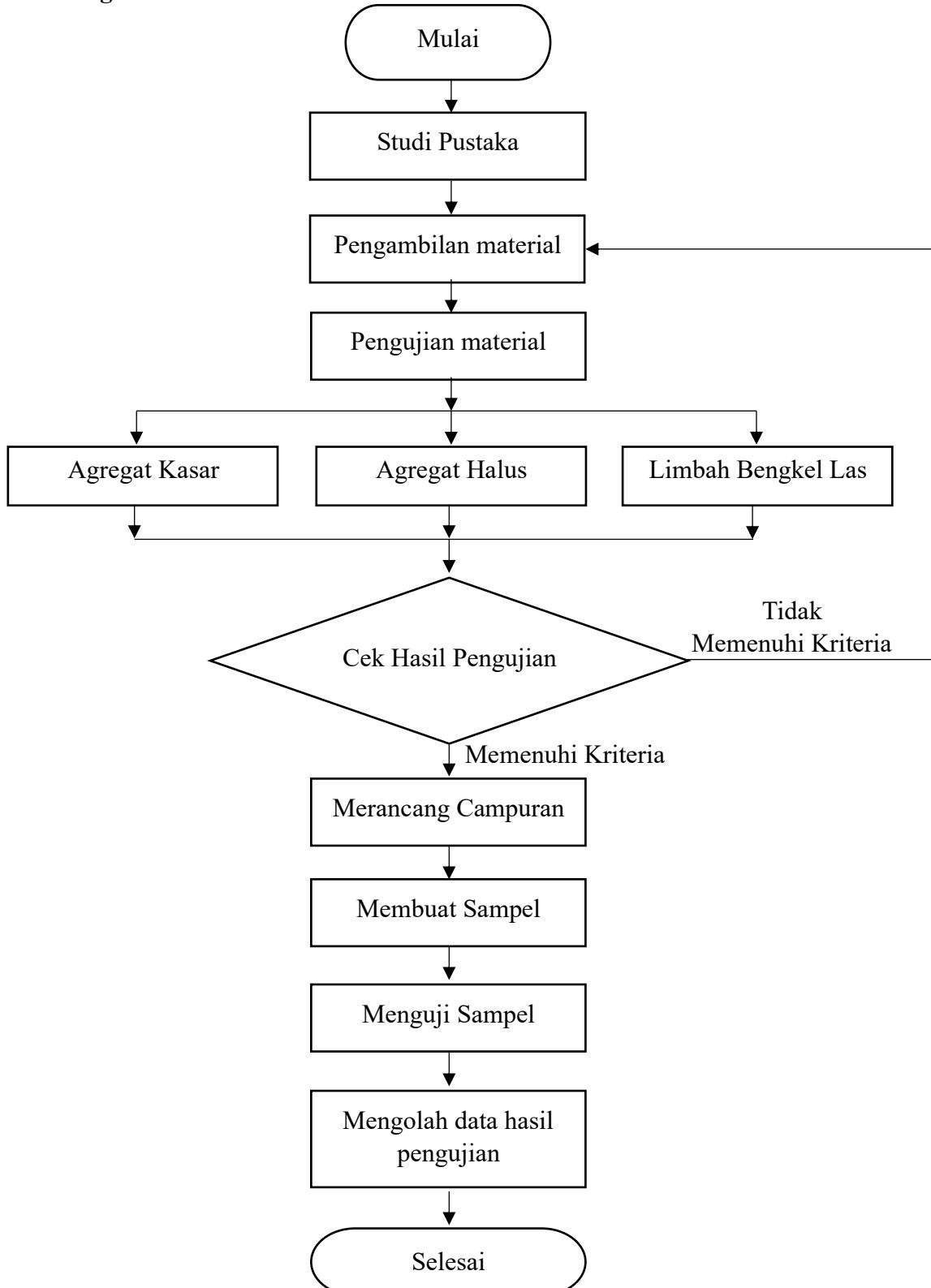
2.4.4. Pengembangan yang dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya

- 1.) Penelitian yang dilakukan sebelumnya dilakukan pada 3 umur berbeda yaitu 3,7 & 28 hari atau 7,14 & 28 hari sedangkan pada penelitian ini dilakukan pada umur 7 & 28 karena hanya untuk melihat perkembangan kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari.
- 2.) Penggunaan material pada penelitian ini berasal dari material lokal yang terdapat pada daerah Kota Palu Sulawesi Tengah.
- 3.) Pengujian-Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh pemerintah indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

3.2. Material

Material yang digunakan pada penelitian berupa material dasar penyusun beton diantaranya semen, air, agregat kasar dan agregat halus tetapi dengan melakukan modifikasi terhadap agregat halus dan agregat kasar. Modifikasi yang dilakukan adalah mengganti sebagian agregat dengan limbah las. Berikut material yang digunakan dalam pembuatan sampel beton pada penelitian ini:

3.2.1. Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini berupa semen portland dengan merek tiga roda.



Gambar 3.3 Semen Portland

3.2.2. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berupa air yang umum digunakan tanpa adanya modifikasi.



Gambar 3.4 Air

3.2.3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berupa agregat yang telah lolos melalui serangkaian uji yang di syaratkan pada standar yang dikeluarkan oleh badan standarisasi nasional Indonesia.



Gambar 3.5 Agregat Kasar

3.2.4. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini juga merupakan agregat yang telah lolos serangkaian uji yang di syaratkan pada standar yang dikeluarkan oleh badan standarisasi nasional Indonesia.



Gambar 3.6 Agregat Halus

3.2.5. Limbah potongan baja

Limbah potongan baja yang digunakan pada penelitian ini berupa limbah hasil pemotongan baja dengan menggunakan metode *oxy-fuel cutting*.



Gambar 3.7 Limbah Pengelasan

3.3. Pengujian Material

Pengujian material ini dilakukan sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh badan standarisasi nasional (BSN) Indonesia.

3.3.1. Pengujian Agregat Kasar

Berikut adalah pengujian-pengujian agregat kasar yang akan dilakukan beserta standar yang digunakan.

Tabel 3.1 Pengujian Agregat Kasar dan Standar yang Digunakan

Pengujian	Standar Acuan
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
Bahan Lolos Saringan No. 200	SNI ASTM C117:2012
Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 1969:2016
Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417:2008

3.3.2. Pengujian Agregat Halus

Berikut adalah pengujian-pengujian agregat halus yang akan dilakukan beserta standar yang digunakan.

Tabel 3.2 Pengujian Agregat Halus dan Standar yang Digunakan

Pengujian	Standar Acuan
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
Bahan Lolos Saringan No. 200	SNI ASTM C117:2012
Kotoran Organik dalam Pasir	SNI 2816:2016
Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 1970:2016

3.3.3. Pengujian Limbah Bengkel Las

Berikut adalah pengujian limbah bengkel las yang akan dilakukan beserta acuan standar yang diikuti.

Tabel 3.3 Pengujian Limbah Bengkel Las dan Standar yang Digunakan

Pengujian	Standar Acuan
Analisa Saringan	SNI C136:2012

3.4. Kebutuhan dan Variasi Material Campuran Beton

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 buah benda uji untuk setiap variasi dan akan di uji pada 2 umur yang berbeda, yaitu 7 dan 28 hari. Adapun material yang digunakan berupa bahan dasar penyusun beton dan juga bahan tambah berupa limbah hasil pengelasan. Berdasarkan gambar 2.1 untuk campuran 4 jika berat isi beton per satuan volume adalah 2400 kg/m^3 dan volume sebuah sampel beton silinder dengan tinggi 0,3 m dan diameter 0,15 m adalah 0.0053 m^3 maka dapat dihitung kebutuhan material sebagai berikut.

Tabel 3.4 Proporsi Material pada Campuran

Jenis Bahan	Proporsi pada campuran (%)
Agregat Kasar	51
Agregat Halus	25
Semen + Udara	8
Air	16

Dengan mempertimbangkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya maka rancangan campuran yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.5 Variasi Substitusi Limbah Las

No. Benda Uji	Limbah Pengelasan Terhadap Agregat Halus (%)
1	2
2	4
3	6
4	8

Tabel 3. 6 Kebutuhan Material Per Kubik Beton

Kode Sampel	Berat material (kg)				
	Agregat Kasar	Agregat Halus	Limbah pengelasan	Semen	Air
2%	1224	588	12	192	384
4%	1224	576	24	192	384
6%	1224	564	36	192	384
8%	1224	552	48	192	384
Total (Σ)	4896	2280	120	768	1536

Sehingga kebutuhan material masing-masing adalah

1. Kebutuhan agregat kasar

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.Kasar}} &= \sum W_{\text{ag.kasar}} \times \text{sampel} \times \text{pengujian} \times \text{Vol. sampel} \\
 &= 4896 \times 3 \times 2 \times 0,0053 \\
 &= 155,74 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

2. Kebutuhan agregat halus

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.Halus}} &= \sum W_{\text{ag.Halus}} \times \text{sampel} \times \text{pengujian} \times \text{Vol. sampel} \\
 &= 2280 \times 3 \times 2 \times 0,0053 \\
 &= 72,53 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

3. Kebutuhan limbah potongan besi

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Las}} &= \sum W_{\text{Las}} \times \text{sampel} \times \text{pengujian} \times \text{Vol. sampel} \\
 &= 120 \times 3 \times 2 \times 0,0053 \\
 &= 3,82 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

4. Kebutuhan semen

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Semen}} &= \sum W_{\text{Semen}} \times \text{sampel} \times \text{pengujian} \times \text{Vol. sampel} \\
 &= 768 \times 3 \times 2 \times 0,0053 \\
 &= 24,43 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

5. Kebutuhan air

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Air}} &= \sum W_{\text{Air}} \times \text{sampel} \times \text{pengujian} \times \text{Vol. sampel} \\
 &= 1536 \times 3 \times 2 \times 0,0053 \\
 &= 48,86 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

3.5. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari dan setiap variasi substitusi limbah las dibuat 3 buah sampel. Pengujian kuat tekan beton ini mengacu pada SNI 1974:2011. Berikut adalah matriks pengujian yang akan dilakukan pada sampel yang dibuat.

Tabel 3.7 Matriks Pengujian Beton

No Benda Uji	Jumlah Sampel	
	Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	3	3
2	3	3
3	3	3
4	3	3

3.6. Pengolahan data

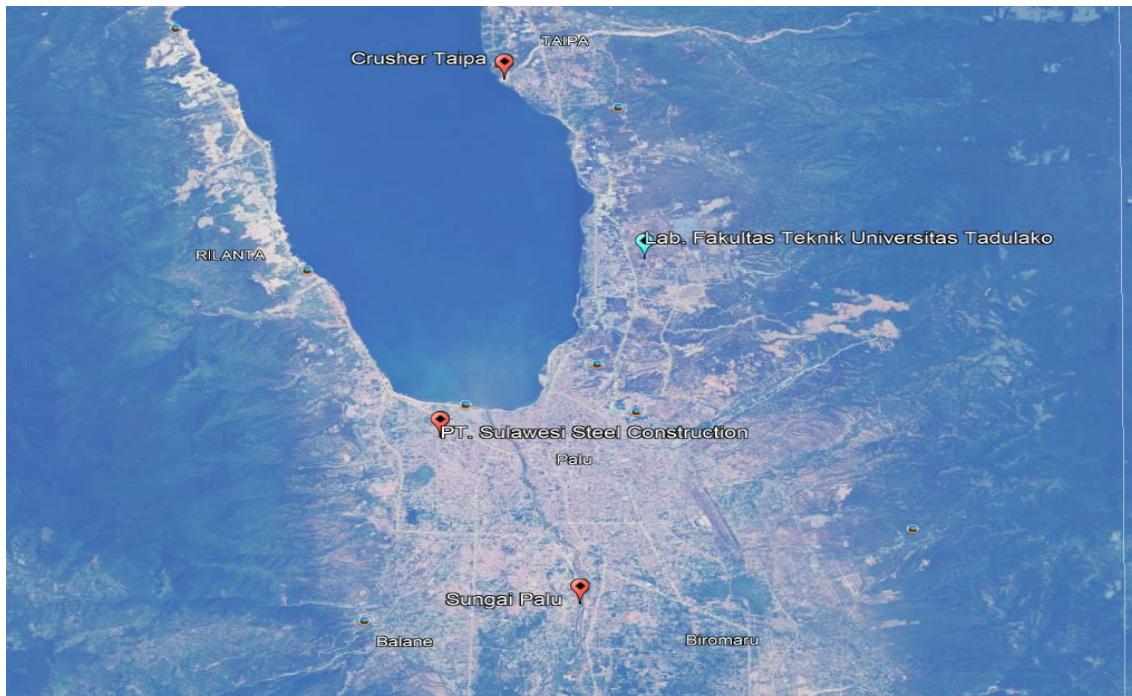
Berdasarkan pengujian-pengujian yang dilakukan maka akan diperoleh data-data. Data-data ini kemudian akan diolah dan di analisis agar didapatkan sebuah kesimpulan mengenai bagaimana pengaruh penggantian sebagian agregat halus menggunakan limbah pengelasan.

BAB IV

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Persiapan Material

Material yang disiapkan untuk penelitian ini berasal dari Kota Palu yang terletak pada provinsi Sulawesi Tengah. Berikut tiga tempat pengambilan masing-masing material yang berupa agregat kasar, agregat halus dan limbah pengelasan.



Gambar 4.1 Lokasi pengambilan material di Kota Palu
Sumber : Google Earth

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat tiga lokasi yang ditandai dengan warna merah, lokasi-lokasi yang ditandai tersebut merupakan tempat peneliti mengambil material yang akan digunakan pada penelitian ini sedangkan lokasi yang ditandai dengan warna toska merupakan lokasi laboratorium yang digunakan penelitian untuk melakukan penelitian. Berikut adalah lokasi yang ditandai beserta keterangan lokasi tersebut.

Tabel 4.1 Lokasi pengambilan material

Nama Lokasi	Keterangan
Crusher Taipa	Lokasi pengambilan Agregat kasar
Sungai Palu	Lokasi pengambilan Agregat halus
PT. Sulawesi Steel Construction	Lokasi pengambilan limbah pengelasan
Lab. Fakultas Teknik Universitas Tadulako	Lokasi penelitian

4.1.1. Agregat Kasar

Sesuai dengan Tabel 4.1 pengambilan agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari pemecah batu yang berada pada daerah Taipa di Kota Palu. Agregat kasar yang diambil pada *crusher* ini berupa batu pecah berukuran maksimum 20 mm. Pengambilan material ini dilakukan dengan cara menyekop langsung dari gundukan material yang telah mengalami proses pemecahan pada alat *stone crusher* dan memasukannya langsung ke dalam karung yang kemudian diangkut ke laboratorium menggunakan mobil pickup.



Gambar 4.2 Pengambilan material agregat kasar

Alasan digunakan batu pecah yang berada pada daerah Taipa ini karena jaraknya yang cukup dekat dengan lokasi laboratorium yang berada pada Fakultas Teknik Universitas Tadulako sehingga memudahkan pada proses pengambilan.

4.1.2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berupa pasir alami yang berasal dari sungai Palu yang berada di Kota Palu. Pasir alami ini diambil dengan cara memasukannya ke dalam karung yang kemudian diangkut menggunakan pickup ke lokasi laboratorium. Pasir yang diambil berupa pasir yang cukup kasar.



Gambar 4.3 Lokasi pengambilan pasir

Pasir sungai palu yang digunakan adalah pasir yang di ambil dari para penjual pasir di daerah kalukubula. pasir ini merupakan pasir alam yang mengendap di sepanjang sungai.

4.1.3. Limbah Pengelasan

Limbah pengelasan yang digunakan berupa sisa potongan besi yang berasal berasal dari PT. Sulawesi Steel Construction yang berada di Kota Palu Sulawesi Tengah. Pengambilan bahan ini tidak disarankan menggunakan tangan secara langsung karena bahan ini memiliki permukaan yang cukup tajam sehingga dapat melukai tangan pada saat pengambilanya.



Gambar 4.4 Lokasi pengambilan limbah pengelasan

Pengambilan material pada PT. Sulawesi Steel Construction karena pada bengkel ini memiliki kapasitas produksi yang cukup besar sehingga limbah pengelasan yang bisa didapatkan cukup banyak, selain itu bengkel ini juga sangat dekat dengan rumah peneliti.

4.2. Pengujian Material

Pengujian material yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar yang dibuat oleh pemerintah negara indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI). Material yang di uji adalah agregat kasar, agregat halus dan limbah pengelasan.

4.2.1. Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar yang dilakukan menggunakan metode yang sesuai dengan yang tertera pada Tabel 3.1.

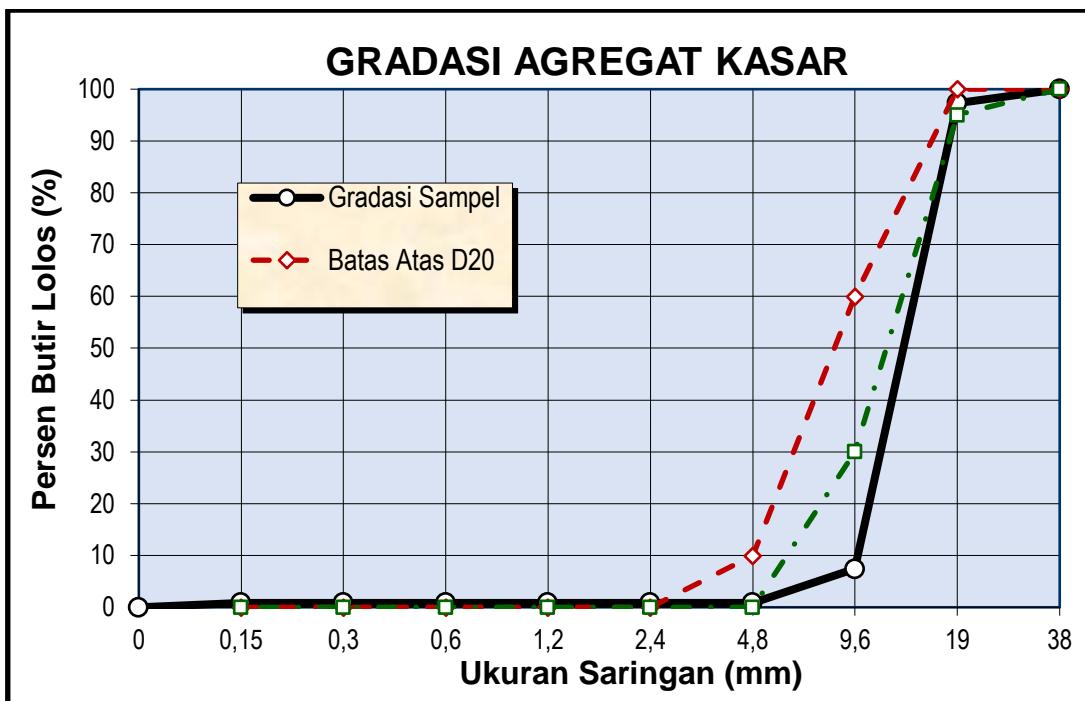
A. Analisa Saringan agregat kasar

Pengujian analisa saringan digunakan untuk mengetahui apakah agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini sudah cukup memenuhi spesifikasi untuk digunakan sebagai bahan campuran beton atau tidak, metode analisa saringan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada SNI ASTM C136:2012.

Setelah semua perhitungan untuk setiap saringan sudah dilakukan maka data-datanya dapat disusun dalam sebuah tabel. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat data-data yang didapatkan dari percobaan analisa saringan yang telah dilakukan.

Tabel 4.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Ukuran Saringan		Berat Tertahan		Percentase Berat		Spesifikasi uk.		
		Masing ²	Komulatif	Tertahan	Lolos	Butir max		
Inch	mm	gram	gram	%	%	D = 20 mm		
1 1/2"	38	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
3/4"	19	134.00	134.00	2.69	97.31	95	-	100
3/8"	9,6	4,484.00	4,618.00	92.59	7.41	30	-	60
No. 4	4,8	325.40	4,943.40	99.11	0.89	0	-	10
No. 8	2,4	0.00	4,943.40	99.11	0.89	0	-	0
No.16	1,2	0.00	4,943.40	99.11	0.89	0	-	0
No.30	0,6	0.00	4,943.40	99.11	0.89	0	-	0
No.50	0,3	0.00	4,943.40	99.11	0.89	0	-	0
No.100	0,15	0.00	4,943.40	99.11	0.89	0	-	0
Pan		44.20	4,987.60	100.00	0.00	0	-	0
Modulus Halus Butir (MHB)					6.900	6.75	-	6.30



Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara persen butiran lolos terhadap ukuran bukaan saringan

Berdasarkan data pada Gambar 4.5 diketahui bahwa gradasi dari agregat yang di uji sudah cukup memenuhi kriteria untuk agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm sehingga bisa digunakan sebagai campuran beton. Akan tetapi hasil analisa saringan ini masih akan di campurkan lagi dengan agregat halus sehingga hasil akhir yang menentukan adalah gradasi agregat campuran yang akan digunakan pada *mix design*.

B. Berat Jenis dan Penyerapan agregat kasar

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode yang mengacu pada SNI 1969:2016 yang bertujuan untuk mendapatkan berat jenis agregat beserta penyerapannya.

Hasil dari pengujian secara ringkas dituangkan dalam Tabel 4.3 agar memudahkan dalam mengidentifikasi data-data tersebut.

Tabel 4.3 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Uraian Pemeriksaan	No. Sampel		Ket.
	I	II	
Berat contoh kering oven	Bk	(gr)	4,971 4,958
Berat contoh kering permukaan	Bj	(gr)	5,038 5,041
Berat contoh dalam air	Ba	(gr)	3,162 3,187

Tabel 4.3 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan (Lanjutan)

Uraian Pemeriksaan	No. Sampel		Ket.
	I	II	
Berat jenis bulk (Bj. Ov.)	2.650	2.675	
Rata-rata	2.662		
Berat jenis bulk SSD (BJ. SSD)	2.685	2.720	Memenuhi
Rata-rata	2.702	$\geq 2,3$	
Berat Jenis Semu (Bj. App)	2.747	2.800	
Rata-rata	2.774		
Penyerapan Air (%)	1.344	1.674	Memenuhi
Rata-rata	1.509	$\leq 2\%$	

Berdasarkan data dari pengujian berat jenis dan penyerapan yang telah dilakukan maka diketahui berbagai berat jenis dan penyerapan. Data ini diperlukan untuk melakukan perancangan campuran beton nantinya.

C. Bahan lolos saringan No. 200 Agregat Kasar

Pengujian bahan lolos saringan no. 200 untuk agregat kasar yang kami gunakan adalah pengujian dengan melakukan pencucian tanpa cairan pembersih yang mengacu pada SNI ASTM C117:2012. Setelah semua data yang dibutuhkan telah diperhitungkan maka data-data tersebut dapat dibuat menjadi sebuah tabel agar terlihat lebih simpel.

Tabel 4.4 Tabel hasil pengujian bahan lolos saringan no. 200 agregat kasar

Uraian Pemeriksaan	No. Sampel		Ket.
	I	II	
Berat kering benda uji sebelum dicuci + wadah	W ₁	(gr)	2704.6 2500.0
Berat wadah	W ₂	(gr)	190.8 181.8
Berat kering benda uji sesudah dicuci + wadah	W ₃	(gr)	2680.2 2487.0
Berat kering benda uji sebelum dicuci	W ₄	(gr)	2513.8 2318.2
Berat kering benda uji sesudah dicuci	W ₅	(gr)	2489.4 2305.2
Kadar Lumpur Agregat Kasar			0.971 0.561 Syarat
Rata-rata (%)			$\leq 1\%$ 0.766

D. Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

Pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles dilakukan dengan mengacu pada SNI 2417:2008 menggunakan cara B yang bertujuan untuk mengetahui nilai erosi dan abrasi dari material yang digunakan.

Untuk memudahkan membaca data hasil pengujian maka dapat dibuat menjadi sebuah tabel seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel hasil pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles

Ukuran Saringan	Gradasi dan Berat		Keterangan
	Lolos	Tertahan	
76,2 mm (3")	63,5 mm (2½")		
63,5 mm (2½")	50,8 mm (2")		
50,8 mm (2")	37,5 mm (1½")		
37,5 mm (1½")	25,4 mm (1")		
25,4 mm (1")	19,0 mm (¾")		
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	2501.4	
12,5 mm (½")	9,5 mm (⅜")	2501.2	
9,5 mm (⅜")	6,3 mm (¼")		
6,3 mm (¼")	4,75 mm (No.4)		
4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No. 8)		
A. Berat Benda Uji Semula (A)		5002.6	
B. Berat Tertahan Saringan No. 12 (B)		3627.0	
C. Berat Lolos Saringan No. 12, (A - B)		1375.6	
D. Keausan Agregat		27.50%	Maks. 40%

Berdasarkan pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan maka diketahui bahwa nilai erosi dan abrasi dari agregat yang di uji adalah 27,50% sehingga agregat telah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai material campuran beton.

4.2.2. Agregat Halus

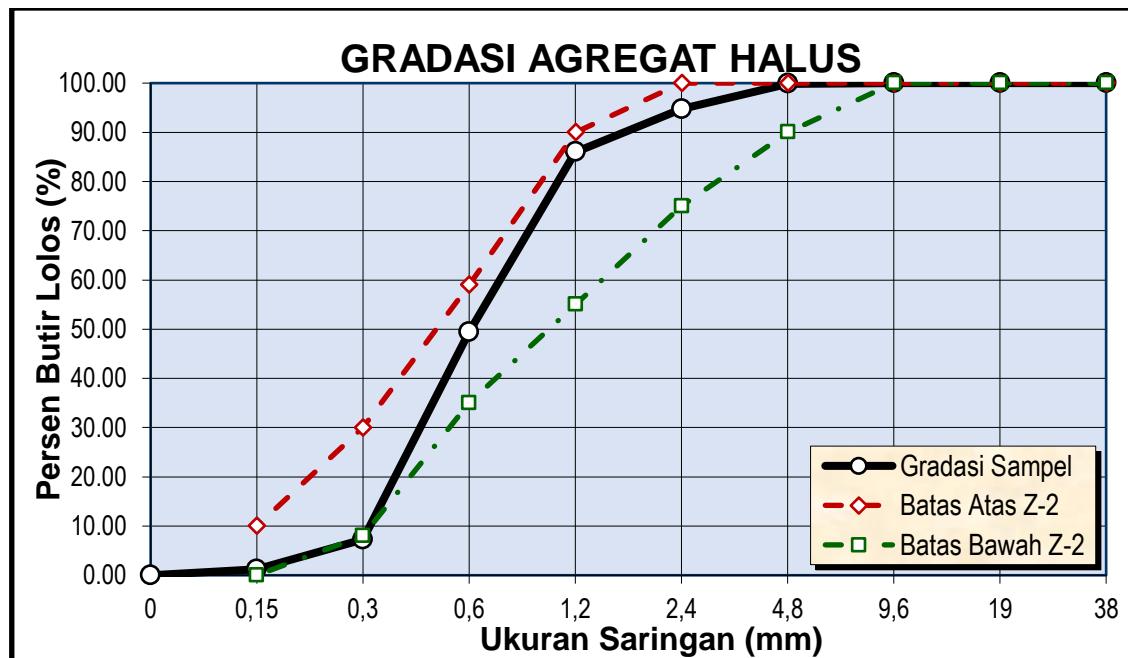
Pengujian agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan standar yang tercantum pada Tabel 3.2.

A. Analisa Saringan agregat halus

Metode analisa saringan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada SNI ASTM C136:2012 dengan tujuan untuk mengetahui gradasi dari material agregat halus. Berikut adalah data yang didapatkan dari analisa saringan yang telah dilakukan.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Ukuran Saringan	Berat Tertahan		Percentase Berat		Spesifikasi	
	Masing ²	Komulatif	Tertahan	Lolos		
Inch	mm	gram	gram	%	%	Zona : 2
1 1/2"	38.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
3/8"	9.600	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
No. 4	4.800	1.60	1.60	0.16	99.84	90 - 100
No. 8	2.400	51.40	53.00	5.30	94.70	75 - 100
No.16	1.200	87.40	140.40	14.03	85.97	55 - 90
No.30	0.600	365.60	506.00	50.57	49.43	35 - 59
No.50	0.300	422.00	928.00	92.74	7.26	8 - 30
No.100	0.150	60.60	988.60	98.80	1.20	0 - 10
Pan		12.00	1,000.60	100.00	0.00	0 - 0
Modulus Halus Butir (MHB)				2.62	3.37	- 2.11



Gambar 4.6 Grafik ubungan antara persen butiran lolos terhadap ukuran bukaan saringan

Berdasarkan data pada Gambar 4.6 diketahui bahwa gradasi dari agregat yang di uji sudah cukup memenuhi kriteria untuk gradasi zona 2 sehingga bisa digunakan sebagai campuran beton.

B. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan yang terdapat pada agregat halus di uji dengan metode yang mengacu pada SNI 1970:2016.

Setelah semua data yang dibutuhkan telah dihitung, maka hasil perhitungan dapat dituangkan dalam sebuah tabel agar memudahkan dalam mengidentifikasi data-data tersebut.

Tabel 4.7 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Uraian Pemeriksaan	No. Sampel		Ket.
	I	II	
Berat contoh kering oven	Bk (gr)	496,20	495,80
Berat contoh kering permukaan	Bj (gr)	665,20	646,80
Berat contoh dalam air	Ba (gr)	971,40	956,20
		2,560	2,601
Berat jenis bulk (Bj. Ov.)	Rata-rata	2,581	
		2,580	2,623 Memenuhi
Berat jenis bulk SSD (BJ. SSD)	Rata-rata	2,602	$\geq 2,3$
		2,612	2,660
Berat Jenis Semu (Bj. App)	Rata-rata	2,636	
		0,766	0,847 Memenuhi
Penyerapan Air (%)	Rata-rata	0,806	$\leq 2\%$

Berdasarkan pengolahan data dari pengujian berat jenis dan penyerapan yang telah dilakukan maka diketahui berbagai berat jenis dan penyerapan. Data ini diperlukan untuk melakukan perancangan campuran beton nantinya.

C. Bahan Lulus Saringan No. 200 Agregat Halus

Pengujian bahan lolos saringan No. 200 ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada agregat halus, Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI ASTM C117:2012.

Setelah pengolahan data selesai diperhitungkan, maka dapat dilanjutkan dengan merapikanya dalam sebuah tabel agar lebih mudah untuk dipahami, pada Tabel 4.8 dapat dilihat data-data hasil pengujian bahan lolos saringan no. 200 untuk agregat halus.

Tabel 4.8 Tabel hasil pengujian bahan lolos saringan no. 200 untuk agregat halus

Uraian Pemeriksaan	No. Sampel		Ket.	
	I	II		
Berat kering benda uji sebelum dicuci + wadah	W ₁ (gr)	693.6	796.4	
Berat wadah	W ₂ (gr)	189.8	296.4	
Berat kering benda uji sesudah dicuci + wadah	W ₃ (gr)	690.8	790.2	
Berat kering benda uji sebelum dicuci	W ₄ (gr)	503.8	500.0	
Berat kering benda uji sesudah dicuci	W ₅ (gr)	501.0	493.8	
Kadar Lumpur Agregat Halus	W (%)	0.556	1.240	Syarat
Rata-rata	(%)	0.898		≤ 3%

D. Kotoran Organik dalam Pasir

Kotoran organik dalam pasir di uji untuk mengontrol seberapa banyak kandungan bahan organik yang mudah terurai pada bahan agregat halus yang akan digunakan, pengujian ini dilakukan dengan acuan SNI 2816:2016. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mengecek kotoran organik di dalam pasir.



Gambar 4.7 Hasil pengujian kotoran organik pada agregat halus

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa air yang berada di dalam botol pengujian berubah warna dari yang berwarna bening menjadi kekuningan, warna ini menjadi indikator bahan organik yang berada di dalam material tersebut. Dengan membandingkan warna yang terdapat pada botol pada pelat indikator organik maka diketahui bahwa bahan yang kami ini termasuk dalam kandungan organik no. 1 yang berarti bahan organik yang terkandung di dalamnya sangat sedikit.

4.2.3. Limbah Pengelasan

Limbah pengelasan yang digunakan pada penelitian ini hanya yang lolos saringan no. 4 karena akan digunakan sebagai pengganti agregat halus.

4.3. Persiapan Sampel

Sampel yang akan dibuat pada penelitian ini berupa beton normal yang dirancang berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil dari perancangan ini kemudian akan di modifikasi dengan mengganti sebagian agregat halus menggunakan limbah pengelasan yang memiliki kadar 2, 4, 6 dan 8 persen dari total berat agregat halus yang terdapat pada proporsi campuran beton.

4.3.1. Rancangan Campuran Sampel Beton

Perancangan campuran beton ini dilakukan dengan mengikuti tahapan perancangan beton normal yang terdapat pada SNI 03-2843:2000 dengan menggunakan material-material yang telah di uji sebelumnya, Berikut tahapan perancangannya.

A. Kuat tekan beton pada umur 28 hari (f_c')

Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang direncanakan pada pengujian ini adalah 25 MPa untuk sampel beton silinder berdiameter (D) 150 mm dan tinggi sampel 300 mm, adapun alasan dipilihnya mutu karena mempertimbangkan nilai abrasi material agregat kasar yang cukup besar dan mutu beton ini masih mudah didapatkan dalam percobaan campuran beton.

B. Deviasi Standar (S_r)

Deviasi standar yang ditetapkan pada penelitian ini disesuaikan dengan yang terdapat pada SNI 03-2843:2000 yaitu berdasarkan jumlah sampel. Dimana setiap variabel waktu dan variabel penambahan limbah las akan dibuat 3 buah sampel sehingga nilai deviasi standarnya tidak dapat ditetapkan karena kurang dari 15 sampel untuk setiap variabel benda uji.

C. Nilai Margin (M)

Karena nilai dari deviasi standar tidak dapat ditetapkan maka nilai margin yang digunakan pada penelitian ini dapat ditetapkan 12 MPa sesuai dengan yang terdapat pada SNI 03-2843:2000.

D. Kekuatan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr})

Kekuatan rata-rata yang ditargetkan untuk beton yang dirancang ini dapat ditentukan sesuai dengan nilai margin dan mutu rencana yang direncanakan sebelumnya sehingga nilai kekuatan yang ditargetkan menjadi 37 MPa.

E. Jenis semen

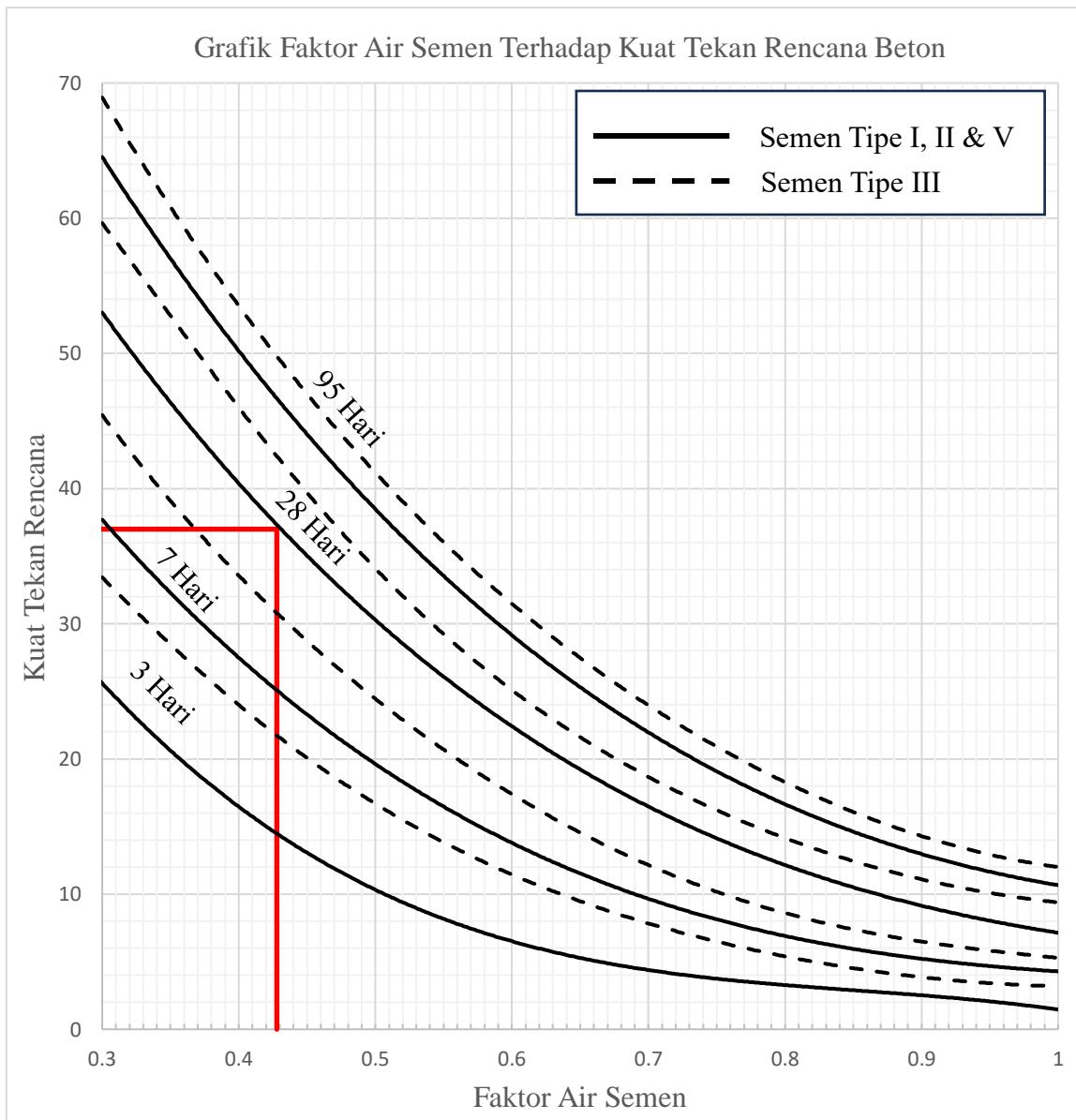
Jenis semen yang digunakan pada campuran ini adalah semen tipe I, alasan digunakannya semen tipe ini karena mudah untuk diperoleh di pasaran. Selain itu semen tipe ini adalah semen yang paling umum digunakan dalam konstruksi.

F. Jenis Agregat

Agregat yang digunakan pada campuran ini adalah agregat kasar yang merupakan batu pecah dan agregat halus yang merupakan pasir alam. Kedua jenis agregat ini dipilih karena sangat mudah diperoleh dalam kuantitas yang cukup banyak daerah Kota Palu.

G. Faktor air semen

Faktor air semen yang digunakan dalam campuran beton ini ditentukan berdasarkan Grafik 4.1 .Pertimbangan yang digunakan dalam menentukan faktor air semen ini adalah campuran yang telah dilakukan sebelumnya dimana hasil yang didapatkan masih dibawah dari target sehingga pengambilan nilai faktor air semenya seperti yang terlihat pada Grafik 4.1. Nilai faktor air semen yang didapatkan adalah 0,428.



Grafik 4.1 Nilai Kuat tekan beton terhadap faktor air semen

H. Faktor air semen maksimum

Faktor air semen maksimum ditetapkan berdasarkan lokasi pengecoran dan kondisi lokasi pengecoran sesuai dengan SNI 03-2843:2000, untuk percobaan ini lokasi pengecoran berada di dalam ruangan yang memiliki kondisi non-korosif sehingga jumlah semen minimumnya adalah 275 kg/m^3 dan faktor air semen maksimumnya 0,6.

I. Slump

Nilai slump rencana yang digunakan pada percobaan ini adalah 100 mm, sehingga dalam perancangan campuran yang mengacu SNI 03-2843:2000 nilai yang digunakan adalah 60 – 180 mm. Alasan dipilihnya nilai slump ini karena sangat umum digunakan dalam berbagai jenis konstruksi.

J. Ukuran agregat maksimum

Ukuran agregat maksimum yang digunakan dalam pencampuran ini adalah 20 mm. Digunakannya agregat dengan ukuran maksimum seperti itu karena cukup mudah didapatkan selain itu juga dengan ukuran agregat yang lebih kecil maka syarat minimum jarak antar tulangan menjadi lebih besar

K. Kadar air bebas

Sesuai dengan SNI 03-2843:2000 penentuan kadar air bebas dilakukan berdasarkan jenis agregat dan ukuran maksimum agregat yang digunakan. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya pada penelitian ini digunakan jenis agregat kasar batu pecah dan pasir alam (batu tidak pecah) sehingga nilai kadar air bebas yang didapatkan adalah.

$$\text{Agregat Kasar } W_k = 225 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat Halus } W_h = 195 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga nilai kadar air bebas yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\ &= 205 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

L. Jumlah semen maksimum

Jumlah atau kadar semen maksimum yang digunakan dalam penelitian ini tidak ditetapkan.

M. Jumlah semen minimum

Berdasarkan ketentuan lokasi pengecoran yang sudah ditentukan sebelumnya maka jumlah semen minimum yang diketahui adalah 275 kg/m³.

N. Faktor air semen yang disesuaikan

Karena faktor air semen maksimum yang ditentukan oleh lokasi pengecoran masih diatas oleh faktor air semen yang didapatkan dari Grafik 4.1 maka nilai faktor air semen yang digunakan adalah yang terkecil yaitu 0,428.

O. Susunan besar butir agregat halus

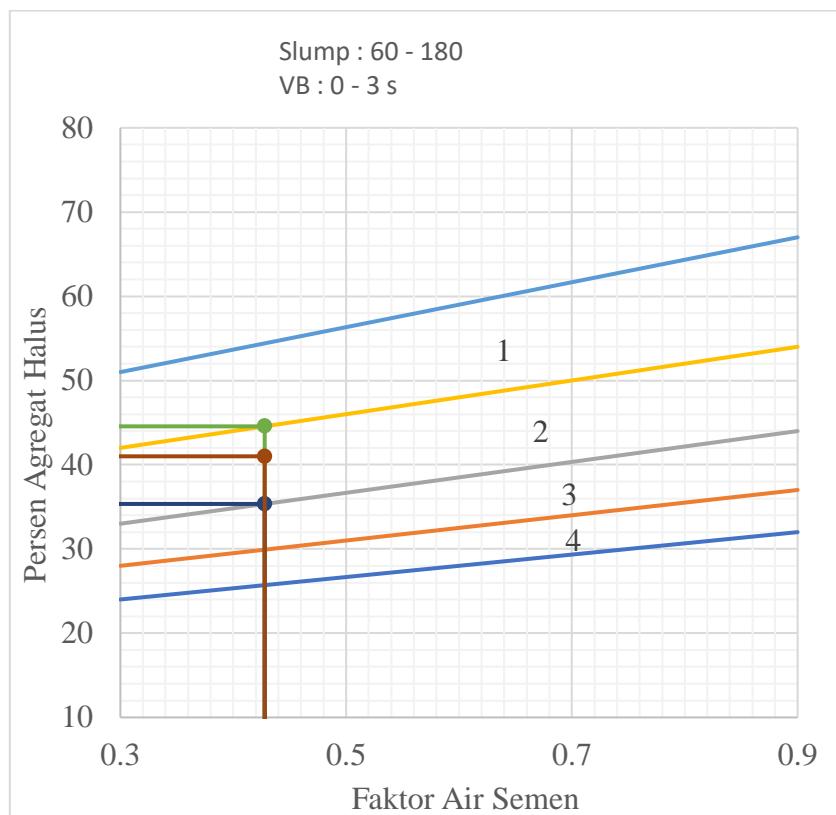
Berdasarkan data analisa saringan yang telah didapatkan pada percobaan sebelumnya maka zona gradasi agregat halus yang digunakan dalam percobaan ini adalah pasir yang masuk dalam zona gradasi 2.

P. Susunan agregat kasar

Berdasarkan pengujian analisa saringan yang dilakukan sebelumnya maka diketahui bahwa agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm yang akan kami gunakan sudah masuk ke dalam spesifikasi agregat dengan ukuran butir maksimum 20 mm.

Q. Persen agregat halus

Penentuan persen agregat halus yang digunakan didasarkan ukuran butir maksimum, nilai slump, faktor air semen dan zona gradasi agregat halus yang digunakan yang digunakan dalam campuran sesuai dengan Grafik 4.2.



Grafik 4.2 Persen agregat halus terhadap faktor air semen untuk nilai slump
60 – 180 mm

Berdasarkan Grafik 4.2 diketahui bahwa nilai persen agregat halus yang didapatkan adalah berada pada rentang 35,34% sampai dengan 44,56%. Sehingga persen yang digunakan adalah 41% karena dengan nilai tersebut maka zona gradasi agregat gabungan sudah terpenuhi.

R. Berat jenis relatif agregat kering permukaan

Berat jenis relatif agregat dihitung berdasarkan proporsi campuran agregat dan masing – masih berat jenis kering permukaannya. Berikut data-data yang telah didapatkan sebelumnya dan perhitungannya.

$$\text{Proporsi agregat halus (\%ag. Kasar)} = 41\%$$

$$\text{Proporsi agregat kasar (\%ag. Halus)} = 100\% - 41\% = 59\%$$

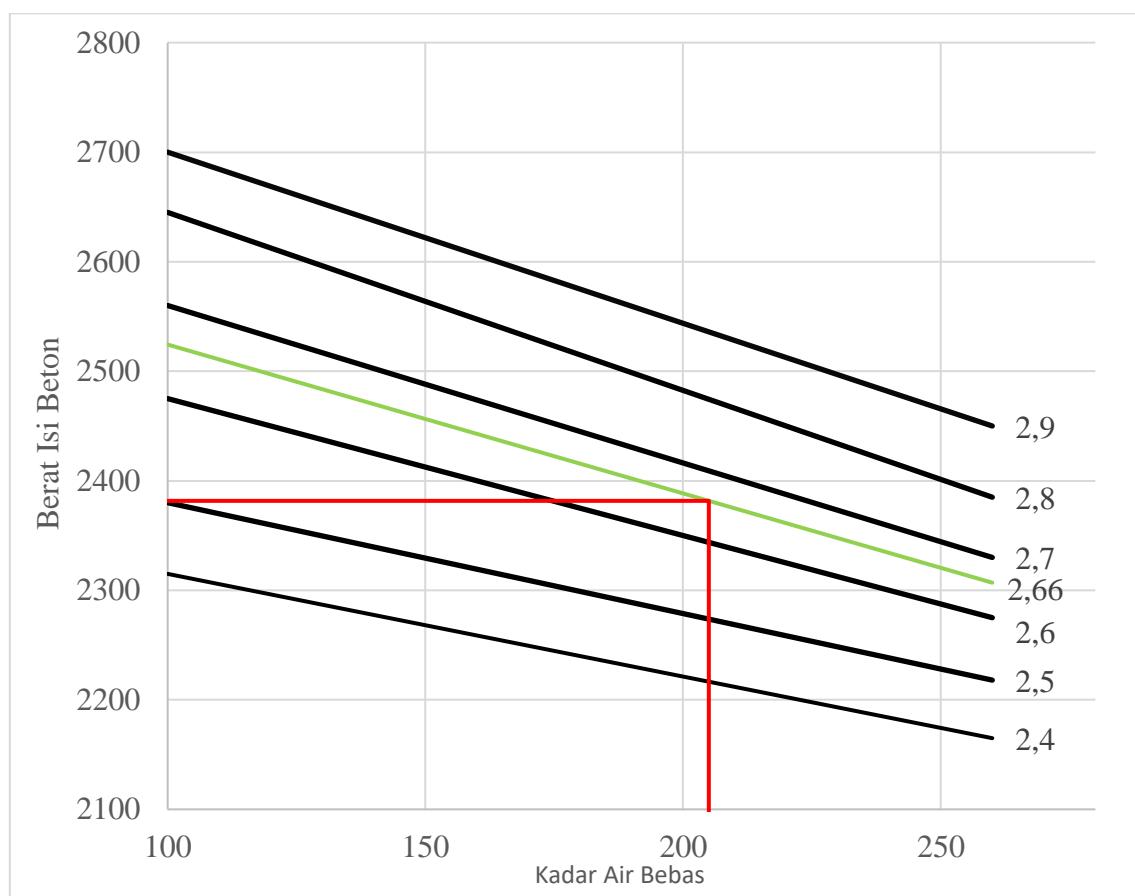
$$\text{Berat jenis kering permukaan agregat halus (BJ. Ag. Halus)} = 2,602$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan agregat kasar (BJ. Ag. Kasar)} = 2,702$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis relatif agregat} &= 41\% \times 2.602 + 59\% \times 2.702 \\ &= 2,66\end{aligned}$$

S. Berat isi Beton

Penentuan berat isi beton didasarkan pada nilai kadar air bebas dan berat jenis agregat relatif yang digunakan yang kemudian di plot pada Grafik 4.3.



Grafik 4.3 Grafik hubungan berat isi beton terhadap kadar air bebas dan berat jenis agregat.

Dengan menggunakan Grafik 4.3 diatas maka didapatkan nilai berat jenis beton (γ_{beton}) yang akan dibuat adalah 2383,6 kg/m³.

T. Kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan dihitung berdasarkan berat jenis beton yang telah ditentukan pada tahapan sebelumnya, berikut adalah perhitungan untuk menentukan kadar agregat gabungan.

Berat agregat campuran (b.ag.campuran)

$$\begin{aligned} b.\text{ag.campuran} &= \gamma_{\text{beton}} - b.\text{semen} - \text{berat air} \\ &= 2383,6 - 479,1 - 205 \\ &= 1699,5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

U. Kadar agregat halus

Penentuan kadar agregat halus didasarkan pada kadar agregat campuran yang telah dihitung, Berikut adalah perhitungan kadar agregat halus.

$$\begin{aligned} \text{Agregat Halus} &= \% \text{ag. Halus} \times b.\text{ag. campuran} \\ &= 41\% \times 1699,5 \\ &= 696,8 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

V. Kadar agregat kasar

Kadar agregat kasar dapat dihitung dari berat agregat campuran dan berat agregat halus yang telah didapatkan sebelumnya, Berikut perhitungannya.

$$\begin{aligned} \text{Agregat Kasar} &= b.\text{ag. campuran} - \text{Agregat halus} \\ &= 1698 - 696 \\ &= 1002,7 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

W. Proporsi campuran

Setelah semuanya sudah dihitung maka didapatkanlah proporsi campuran beton yang akan dicampur untuk setiap kubiknya sebagai berikut.

Agregat Halus = 696,8 kg

Agregat Kasar = 1002,7 kg

Semen = 479,1 kg

Air = 205 kg

4.3.2. Pengecoran Sampel Beton

A. Pencampuran material

Material dicampur dengan menggunakan molen elektrik yang terdapat di laboratorium. Adapun tahapan-tahapan dalam pencampuran yaitu memasukan agregat kasar, halus dan semen kemudian molen diputar hingga agregat dan semen tercampur. Setelah sudah cukup tercampur kemudian diputar lagi sambil memasukan air yang telah di takar sedikit demi sedikit hingga tercampur merata. Setelah itu uji slump perlu dilakukan agar kekentalan dari campuran dapat di kontrol, jika nilai slump yang di uji masih terlalu rendah maka perlu ditambah air lagi hingga nilai slumphya terpenuhi. Berikut beberapa nilai dari pengujian slump yang kami dapatkan.

Tabel 4.9 Tabel nilai slump dari hasil pengujian

No. Sampel	Nilai Slump (mm)	Foto Slump
1	100	
2	100	

Tabel 4.9 Tabel nilai slump dari hasil pengujian (Lanjutan)

3	90	
4	100	

B. Penuangan Beton Kedalam Cetakan

Setelah campuran siap maka sudah dapat dimasukan ke dalam cetakan yang sudah ditentukan sebelumnya dalam percobaan ini cetakan yang digunakan berbentuk silinder.

C. Pemadatan Beton

Pemadatan campuran beton dilakukan dengan cara manual dengan memadatkan beton menjadi 3 lapisan yang diberi perlakuan yang sama yaitu di tusuk sebanyak 25 kali dan di pukul menggunakan palu karet sebanyak 25 kali.

4.3.3. Pelepasan Cetakan Beton

Pelepasan cetakan dilakukan sehari setelah pengecoran dilakukan. Pelepasan dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi kerusakan pada sampel beton yang telah dibuat sebelumnya.

4.3.4. Curing Sampel Beton

Curing beton dilakukan setelah beton berhasil dikeluarkan dari cetakannya. Curing dilakukan dengan perendaman pada bak perendam dan dikeluarkan sehari atau dua hari sebelum pengujian beton dilakukan.

4.4. Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan setelah umur beton sudah mencapai umur rencana yaitu umur 7 dan 28 hari, Pengujian di awali dengan penimbangan sampel dan mencatat beratnya, setelah itu melakukan *capping* pada bagian atas sampel dan memasukannya ke alat tekan hidrolik, setelah sampel berhasil di masukan ke alat tekan hidrolik selanjutnya di tekan hingga sampel hancur dan mencatat bacaan beban yang terdapat pada dial beban. Berikut adalah hasil dari pengujian sampel yang telah dilakukan. Berikut hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.10.

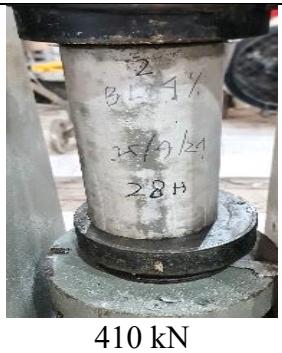
Tabel 4.10 Tabel foto sampel setelah pengujian umur 7 hari.

No. Sampel	Foto Kehancuran Sampel & Bacaan Dial Beban		
	1	2	3
2%	 345 kN	 375 kN	 465 kN
4%	 375 kN	 410 kN	 435 kN

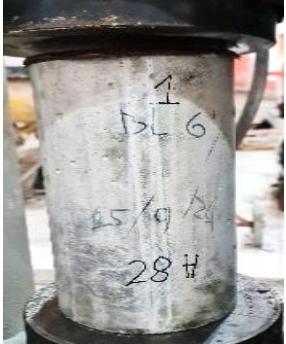
Tabel 4.10 Tabel foto sampel pengujian umur 7 hari. (Lanjutan)

No. Sampel	Foto Kehancuran Sampel & Bacaan Dial Beban		
	1	2	3
6%			
	430 kN	450 kN	500 kN
8%			
	485 kN	470 kN	460 kN

Tabel 4. 11 Tabel foto sampel setelah pengujian umur 28 hari.

No. Sampel	Foto Kehancuran Sampel & Bacaan Dial Beban		
	1	2	3
2%			
	345 kN	375 kN	465 kN
4%			
	375 kN	410 kN	435 kN

Tabel 4.11 Tabel foto sampel setelah pengujian umur 28 hari (Lanjutan)

No. Sampel	Foto Kehancuran Sampel & Bacaan Dial Beban		
	1	2	3
6%	 430 kN	 450 kN	 500 kN
8%	 485 kN	 470 kN	 460 kN

4.5. Pengolahan Data Hasil Pengujian

Pengolahan data dilakukan terhadap setiap sampel beton yang telah di uji kuat tekan sebelumnya.

4.5.1. Pengolahan Data Uji Kuat Tekan Sampel Beton Umur 7 Hari

Data-data yang didapatkan dari pengujian kuat tekan beton untuk umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton untuk umur 7 hari

Kadar limbah pengelasan		Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Berat Sampel (gram)	Pembacaan dial beban (kN)
2%	1	25/09/2024	02/10/2024	7	12630	345
	2	25/09/2024	02/10/2024	7	13010	375
	3	25/09/2024	02/10/2024	7	12660	465
4%	1	25/09/2024	02/10/2024	7	12590	375
	2	25/09/2024	02/10/2024	7	12660	410

Tabel 4.12 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton untuk umur 7 hari (Lanjutan)

Kadar limbah pengelasan	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Berat Sampel (gram)	Pembacaan dial beban (kN)
6%	3 25/09/2024	02/10/2024	7	12670	435
	1 25/09/2024	02/10/2024	7	12710	430
	2 25/09/2024	02/10/2024	7	12710	450
	3 25/09/2024	02/10/2024	7	12790	500
8%	1 20/09/2024	27/09/2024	7	12740	485
	2 20/09/2024	27/09/2024	7	12720	470
	3 20/09/2024	27/09/2024	7	12780	460

Data yang didapatkan pada Tabel 4.12 kemudian diolah agar didapatkan nilai kuat tekan dari sampel berbentuk silinder. Berikut adalah tahapan pengolahan data kuat tekan beton yang didapatkan.

1. Menghitung Luas Penampang yang Mengalami Tekan (A)

Perhitungan luas penampang beton yang mengalami tekan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus luas lingkaran karena sampel beton berbentuk silinder dan yang mengalami tekan adalah bagian atas dan bawahnya.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\
 &= 17671.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Tegangan yang Terjadi pada Beton Terhadap Beban yang Bekerja (f_c')

Perhitungan yang dilakukan hanya sebagai contoh dari semua data yang didapatkan, data yang diperhitungkan adalah data untuk beton dengan kadar las 2% pada sampel nomor 1 dengan nilai pembacaan beban dirubah ke satuan newton (N).

$$\begin{aligned}
 f_c' &= \frac{\text{Pembacaan dial beban}}{A} \\
 &= \frac{345000}{17671,46} \\
 &= 19,52 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Setelah semua data dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama selanjutnya akan disusun dalam sebuah tabel agar pembacaannya menjadi lebih mudah. Pada Tabel 4.13 dapat dilihat semua data hasil pengolahan dari data pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan.

Tabel 4.13 Tabel hasil pengolahan data kuat tekan beton untuk umur 7 hari

Kadar limbah pengelasan	Umur (hari)	Berat Sampel (gram)	Kuat Tekan Beton (MPa)
2%	1	12630	19,52
	2	13010	21,22
	3	12660	26,31
4%	1	12590	21,22
	2	12660	23,20
	3	12670	24,62
6%	1	12710	24,33
	2	12710	25,46
	3	12790	28,29
8%	1	12740	27,44
	2	12720	26,60
	3	12780	26,03

4.5.2. Pengolahan Data Uji Kuat Tekan Sampel Beton Umur 28 Hari

Data-data yang didapatkan dari pengujian kuat tekan beton untuk umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton untuk umur 28 hari

Kadar limbah pengelasan	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Berat Sampel (gram)	Pembacaan dial beban (kN)
2%	1	25/09/2024	23/10/2024	28	12660
	2	25/09/2024	23/10/2024	28	12690
	3	25/09/2024	23/10/2024	28	12670
4%	1	25/09/2024	23/10/2024	28	12630
	2	25/09/2024	23/10/2024	28	12680

Kadar limbah pengelasan	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Berat Sampel (gram)	Pembacaan dial beban (kN)
6%	3 25/09/2024	23/10/2024	28	12650	550
	1 25/09/2024	23/10/2024	28	12920	580
	2 25/09/2024	23/10/2024	28	12840	535
	3 25/09/2024	23/10/2024	28	12870	625
8%	1 20/09/2024	18/10/2024	28	12810	595
	2 20/09/2024	18/10/2024	28	12830	580
	3 20/09/2024	18/10/2024	28	12800	615

Data yang didapatkan pada Tabel 4.14 kemudian diolah agar didapatkan nilai kuat tekan dari sampel berbentuk silinder. Berikut adalah tahapan pengolahan data kuat tekan beton yang didapatkan.

3. Menghitung Luas Penampang yang Mengalami Tekan (A)

Perhitungan luas penampang beton yang mengalami tekan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus luas lingkaran karena sampel beton berbentuk silinder dan yang mengalami tekan adalah bagian atas dan bawahnya.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\
 &= 17671.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4. Menghitung Tegangan yang Terjadi pada Beton Terhadap Beban yang Bekerja (f_c')

Perhitungan yang dilakukan hanya sebagai contoh dari semua data yang didapatkan, data yang diperhitungkan adalah data untuk beton dengan kadar limbah las 2% pada sampel nomor 1 dengan nilai pembacaan beban dirubah ke satuan newton (N).

$$\begin{aligned}
 f_c' &= \frac{\text{Pembacaan dial beban}}{A} \\
 &= \frac{540000}{17671,46} \\
 &= 30,55 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Setelah semua data dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama selanjutnya akan disusun dalam sebuah tabel agar pembacaannya menjadi lebih mudah.

Pada Tabel 4.15 dapat dilihat semua data hasil pengolahan dari data pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan.

Tabel 4.15 Tabel hasil pengolahan data kuat tekan beton umur 28 hari

Kadar limbah pengelasan		Umur (hari)	Berat Sampel (gram)	Kuat Tekan Beton (MPa)
2%	1	28	12660	30,56
	2	28	12690	32,25
	3	28	12670	31,12
4%	1	28	12630	31,69
	2	28	12680	32,54
	3	28	12650	31,12
6%	1	28	12920	32,82
	2	28	12840	30,27
	3	28	12870	35,37
8%	1	28	12810	33,67
	2	28	12830	32,82
	3	28	12800	34,80

4.6. Analisa Data Hasil Pengujian

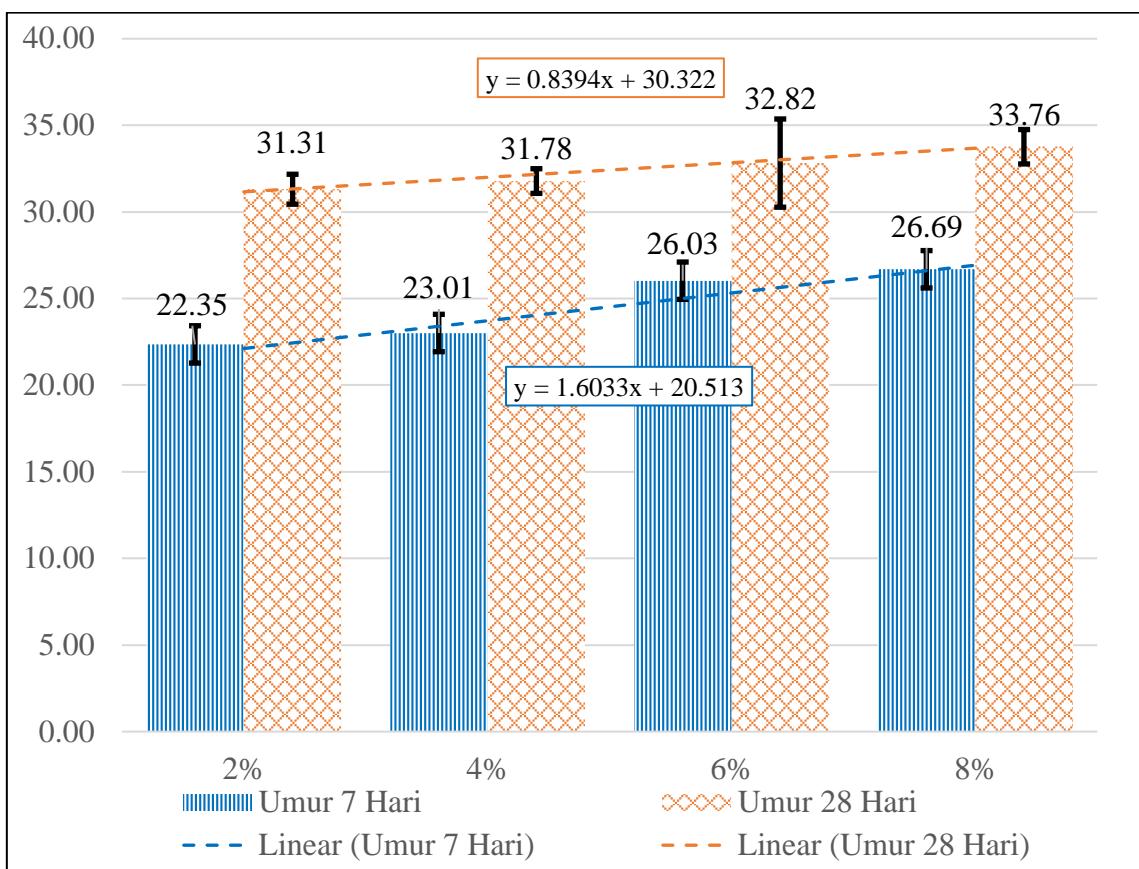
Setelah semua pengujian berhasil dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah pengolahan data, berikut beberapa data pengolahannya yang dilakukan.

4.6.1. Hubungan Kuat Tekan Beton Terhadap Penambahan Limbah Pengelasan.

Berdasarkan pengujian sampel yang telah dilakukan maka selanjutnya data-data yang telah didapatkan dapat diolah dan di analisa. Analisa hubungan kuat tekan beton terhadap limbah pengelasan dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara kuat tekan terhadap penambahan limbah pengelasan.

Tabel 4.16 Hasil kuat tekan untuk umur 7 dan 28 hari

Kadar limbah pengelasan	Rata-rata kuat tekan beton umur 7 hari	Rata-rata kuat tekan beton umur 28 hari
2%	22,35	31,31
4%	23,01	31,78
6%	26,03	32,82
8%	26,69	33,76



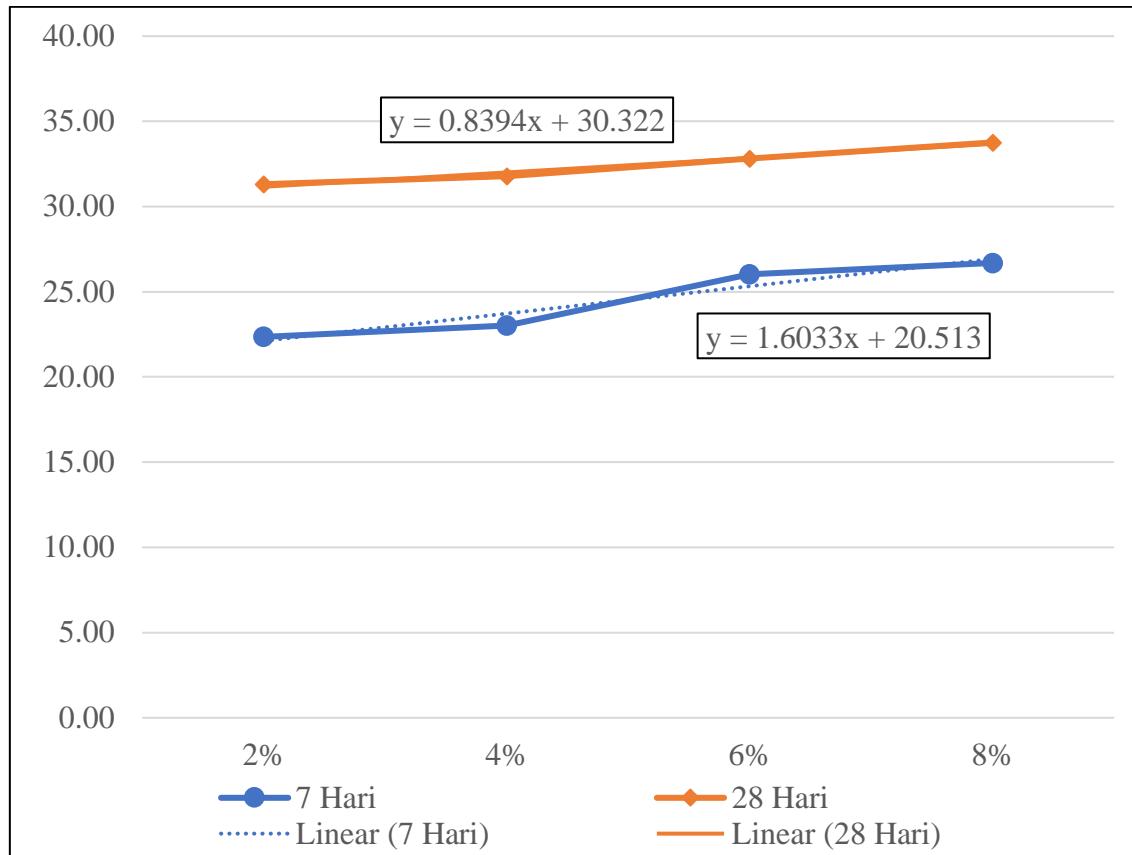
Grafik 4.4 Grafik batang hubungan kuat tekan beton terhadap kadar limbah pengelasan untuk umur 7 dan 28 hari.

Dari Grafik 4.4 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan untuk umur 7 hari cenderung meningkat seiring dengan penambahan limbah pengelasan. Begitu juga dengan beton umur 28 hari kuat tekannya mengalami peningkatan. Hubungan ini sesuai dengan teori yang telah ditinjau dimana semakin banyak kandungan semen atau bahan pengikat maka akan semakin kuat beton yang tercipta.

Sesuai dengan literatur yang ada di tinjauan pustaka diketahui bahwa kandungan yang terdapat pada bahan tambah memiliki unsur yang mirip dengan yang terdapat pada semen yaitu besi (Fe) dan silikon (Si) dimana kedua unsur ini dapat bersenyawa membentuk ikatan dengan unsur lainnya.

Bentuk dari bahan tambah yang digunakan juga memiliki kontribusi terhadap kuat tekan sesuai dengan skema yang terdapat pada Gambar 2.4 dimana senyawa-senyawa yang terbentuk dari hidrasi akan mengisi rongga-rongga yang terdapat pada agregat dan Gambar 2.9 dimana dapat dilihat bahwa keruntuhan beton dimulai oleh keruntuhan antara

ikatan pasta terhadap agregat sehingga jika bentuk dari material yang digunakan semakin kasar maka ikatannya akan semakin kuat.



Grafik 4.5 Diagram garis hubungan antara kuat tekan beton terhadap limbah pengelasan untuk umur 7 hari dan 28 hari.

Pada Grafik 4.5 dapat dilihat bahwa grafik berwarna jingga yang mewakili kuat tekan beton umur 28 hari akan semakin berhimpit dengan grafik berwarna biru yang mewakili kuat tekan beton umur 7 hari pada saat kadar dari limbah pengelasan ditingkatkan, hal ini berarti penggantian agregat halus menggunakan limbah pengelasan berpengaruh terhadap kuat tekan beton, akan tetapi semakin banyak agregat halus yang digantikan dengan limbah pengelasan pada sampel beton maka peningkatan kekuatan beton dari umur 7 hari ke 28 hari akan semakin tidak signifikan.

4.6.2. Komposisi Optimum dari Limbah Pengelasan Terhadap Kuat Tekan Beton

Komposisi optimum penambahan limbah pengelasan pada percobaan ini adalah 8% karena sesuai dengan kesimpulan sebelumnya bahwa semakin banyak penambahan dari limbah pengelasan maka kekuatan pada umur awal beton semakin kuat dan juga masih

ada penambahan kekuatan pada umur 28 hari walaupun hanya berbeda sedikit dibandingkan dengan tanpa modifikasi limbah pengelasan.

4.6.3. Perbandingan Kekuatan Antara Beton dengan Penambahan Limbah Pengelasan

Perbandingan kekuatanya jika dilihat dari Grafik 4.5 untuk data asli sesuai rentang kadar limbah yang di uji maka kekuatan beton dengan modifikasi limbah las memiliki peningkatan yang cukup acak, tetapi data yang digunakan sebagai perbandingan adalah data regresi linear dimana untuk penambahan kekuatan untuk setiap umurnya mengikuti persamaan berikut.

1. Persamaan penambahan kekuatan untuk umur 7 hari

Persamaan penambahan kekuatan ini didapatkan menggunakan metode regresi liner dengan menggunakan aplikasi microsoft excel.

$$\text{Kuat tekan 7 hari} = 160,3(\% \text{limbah}) + 20,513$$

Dimana jika nilai 2% dan 8% dimasukan kedalam persamaan itu maka didapatkan nilai kuat tekan untuk beton modifikasi secara berturut-turut adalah 23,719 MPa dan 33,337 MPa, sehingga selisih kekuatannya adalah 9,618 MPa

2. Persamaan penambahan kekuatan untuk umur 28 hari

Sama halnya dengan persamaan kuat tekan beton untuk umur 7 hari persamaan ini didapatkan dengan metode yang serupa.

$$\text{Kuat tekan 28 hari} = 83,94(\% \text{limbah}) + 30,322$$

Dimana jika nilai 2% dan 8% dimasukan kedalam persamaan itu maka didapatkan nilai kuat tekan untuk beton modifikasi secara berturut-turut adalah 32 MPa dan 37,037 MPa, sehingga selisih kekuatannya adalah 5,037 MPa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai kuat tekan beton dengan penggantian sebagian agregat halus menggunakan limbah pengelasan maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton yang didapatkan dengan penambahan limbah pengelasan terhadap berat pasir secara berturut-turut pada umur 7 hari untuk 2%, 4%, 6% dan 8% adalah 22,35 MPa, 23,01 MPa, 26,03 MPa dan 26,69 MPa dan untuk umur 28 hari secara adalah 31,31 MPa, 31,78 MPa, 32,82 MPa, dan 33,76 MPa.
2. Komposisi penambahan limbah pengelasan terhadap berat pasir pada percobaan ini mencapai kekuatan tertinggi pada penambahan 8% untuk umur 7 hari dan 28 hari, tetapi tidak menutup kemungkinan jika penambahan limbah pengelasan terus dilakukan akan menambah atau menurunkan kuat tekan beton, sehingga kadar optimumnya masih belum didapatkan.
3. Beton dengan penambahan limbah pengelasan yang lebih banyak, memiliki kuat tekan yang lebih tinggi untuk kadar limbah yang di uji pada penelitian ini.

5.2. SARAN

1. Percobaan perlu ditingkatkan lagi untuk kadar yang lebih banyak seperti 10, 12, 14 dan seterusnya hingga penambahan kekuatan terhadap kadar tidak terjadi atau kekuatannya menurun.
2. Pengujian harus dilakukan untuk sampel yang lebih banyak agar hasil pengujian yang didapatkan lebih presisi.
3. Pengujian juga perlu dibuat lagi untuk beton umur 56 dan 84 hari agar pengaruh penambahan limbah terhadap umur yang lebih tua dapat diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Material. (2003). *ASTM C 125 - 03 Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate* (hal. 1–4).
- American Society for Testing and Material. (2007). ASTM C 150-07 Standard Specification of Portland Cement. *Standard specification for portland cement*, 1–8. www.astm.org,
- Ananthi, A., & Karthikeyan, J. (2015). Properties of industrial slag as fine aggregate in concrete. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 5(2), 132–140.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. In *Badan Standarisasi Nasional* (hal. 1–34). Badan Standar Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417:2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. In *Badan Standarisasi Nasional*. Badan Standar Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012a). SNI ASTM C117:2012 Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 0.075 mm (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian. In *Badan Standarisasi Nasional*. Badan Standar Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012b). SNI ASTM C136:2012: Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2816:2014 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016a). SNI 1969:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20. <https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-1969-2016-metode-uji-berat-jenis-dan-penyerapan-air-agregat-kasar/KB19B>
- Badan Standardisasi Nasional. (2016b). SNI 1970:2016 Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus. In *Badan Standar Nasional Indonesia* (hal. 1–22).
- Dinas Lingkungan Hidup. (2019). *Pengelolaan Air Limbah Kegiatan Bengkel PEMERINTAH KOTA SURABAYA DINAS LINGKUNGAN HIDUP*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2*, 6.1-6.104.
- Edwin, R. S., Sartini, W. O., & Masud, F. (2023). Kinerja Beton Mutu Tinggi Kandungan Slag Nikel Terhadap Kuat Tekan Dan Workability. *STABILITÀ || Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(3), 178. <https://doi.org/10.55679/jts.v11i3.41202>
- European Committe for Standardization. (2000). EN 197-1 Cement - Part 1 : Composition, Specification and Conformity Criteria for Common Cement. *BBA - Biomembranes*. [https://doi.org/10.1016/0005-2736\(80\)90400-9](https://doi.org/10.1016/0005-2736(80)90400-9)
- Fintel, M. (1985). *Handbook of Concrete Engineering 2nd Edition*.
- Hamdi, F., Franky Edwin, L., Tumpu, M., Mansyur, Irianto, Suryamiharja S, M., Raidyarto, A., Azis Sila, A., Masiana, Rusan Rangan, P., & Hamkah. (2021).

TEKNOLOGI BETON.

Indian Railways Centre for Advanced maintenance Technology. (n.d.). *Handbook on Welding Technologies*.

Joseph, F. (2006). Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. *ASTM Special Technical Publication, STP 169D*.
<https://doi.org/10.1520/stp169b-eb>

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and Control of Design and Control*.

Kyritsis, A. C., Papanikolaou, N. P., Tatakis, E. C., & Kobougias, J. C. (2005). *Design and control of*.

Mandal, S., Anand, V., & Agarwala, S. K. (2023). *Concrete Technology : Theory and Practice* All India Council for Technical Education.

Maruthi, T. P., Narasimha, N. S. A. I., Rajesh, T., Yadav, G. L., & Raghavendra, T. (2023). *PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH WELDING SLAG AND CEMENT REPLACE WITH FURNACE SLAG IN CONCRETE A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE AWARD OF DEGREE OF BACHELOR OF TECHNOLOGY IN CIVIL ENGINEERING Under the*. 2019–2023.

Nawy, E. G. (2008). Concrete Construction Engineering Handbook. *Analytical Biochemistry*, 11(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl sync/showroom/lam/es/>

Puspha, & Sharma, M. R. P. (2021). *Effect of Steel Slag as Partial Replacement of Cement on Property of Concrete.pdf*.

Tampubolon, S. P. (2002). *STRUKTUR BETON - 1* (Nomor November 2009).

Tiyani, L., Sukarman, & Andika Sastro Widjoyo. (2023). Pemanfaatan Substitusi Slag Welding Saw Sebagai Agregat Kasar Pada Beton. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 10(1). <https://doi.org/10.33197/jitter.vol10.iss1.2023.1542>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Model Perhitungan Analisa Saringan Untuk Agregat Kasar

Model perhitungan yang digunakan pada penelitian ini adalah saringan No. 4.

a. Data yang didapatkan dari pengujian

Berikut adalah data-data yang telah didapatkan dari pengujian analisa saringan yang telah dilakukan.

- Berat contoh sebelum disaring (w) = 4987,60
- Berat tertahan saringan No.1½" (a) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. ¾" (b) = 134,00 gram
- Berat tertahan saringan No. ⅜" (c) = 4484,00 gram
- Berat tertahan saringan No. 4 (d) = 325,40 gram
- Berat tertahan saringan No. 8 (e) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. 16 (f) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. 30 (g) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. 50 (h) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. 100 (i) = 0 gram
- Berat tertahan saringan pan (p) = 44,20 gram

b. Perhitungan persen lolos saringan No.4

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah material yang memiliki ukuran lebih kecil dari bukaan saringan yang teradapat pada saringan No. 4 yang memiliki lebar bukaan 4,8 mm. Berikut perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui jumlah material yang dapat melewati saringan No.4.

- Kumulatif tertahan pada saringan No.4 ($\Sigma_{No.4}$)

$$\begin{aligned}\Sigma_{No.4} &= a + b + c + d \\ &= 0 + 134,00 + 4484,00 + 325,40 \\ &= 4943,40 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Persentase tertahan (%tertahan)

$$\begin{aligned}\%_{\text{tertahan}} &= \frac{\Sigma_{No.4}}{w} \times 100\% \\ &= \frac{4943,40}{4987,60} \times 100\% \\ &= 99,11\%\end{aligned}$$

- Persentase lolos (%lolos)

$$\%_{\text{lolos}} = 100\% - \%_{\text{tertahan}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 100\% - 99,11 \\
 &= 0,89 \%
 \end{aligned}$$

Berikut adalah nilai-nilai persen lolos setiap saringan yang dihitung dengan menggunakan cara yang sama.

- Persen tertahan saringan No. $1\frac{1}{2}''$ ($\%_a$) = 0%
- Persen tertahan saringan No. $\frac{3}{4}''$ ($\%_b$) = 2,69%
- Persen tertahan saringan No. $\frac{3}{8}''$ ($\%_c$) = 92,59%
- Persen tertahan saringan No. 4 ($\%_d$) = 99,11%
- Persen tertahan saringan No. 8 ($\%_e$) = 99,11%
- Persen tertahan saringan No. 16 ($\%_f$) = 99,11%
- Persen tertahan saringan No. 30 ($\%_g$) = 99,11%
- Persen tertahan saringan No. 50 ($\%_h$) = 99,11%
- Persen tertahan saringan No. 100 ($\%_i$) = 99,11%

c. Perhitungan modulus halus Butir

- Akumulasi persen lolos saringan ($\Sigma\%_{\text{tertahan}}$)

$$\begin{aligned}
 \Sigma\%_{\text{tertahan}} &= \%_a + \%_b + \%_c + \%_d + \%_e + \%_f + \%_g + \%_h + \%_i \\
 &= 0\% + 2,69\% + 92,59\% + 99,11\% + 99,11\% + 99,11\% + \\
 &\quad 99,11\% + 99,11\% + 99,11\% \\
 &= 689,96 \%
 \end{aligned}$$
- Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma\%_{\text{tertahan}}}{100\%} \\
 &= \frac{689,96\%}{100\%} \\
 &= 6,90
 \end{aligned}$$

Lampiran 2. Model Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Karena percobaan ini dilakukan menggunakan dua buah sampel maka yang digunakan sebagai contoh perhitungan kali ini adalah sampel No. 1.

a. Data yang diketahui dari pengukuran

- Berat contoh kering oven (Bk) = 4971 gram
- Berat contoh kering permukaan (Bj) = 5038 gram
- Berat contoh dalam air (Ba) = 3162 gram

b. Perhitungan berat jenis dan penyerapan

- Berat jenis *bulk* (Bj.Ov)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ.Ov} &= \frac{\text{Bk}}{(\text{Bj}-\text{Ba})} \\
 &= \frac{4971}{(5038-3162)} \\
 &= 2.650
 \end{aligned}$$

- Berat jenis *bulk* SSD (Bj.SSD)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ.SSD} &= \frac{\text{Bj}}{(\text{Bj}-\text{Ba})} \\
 &= \frac{5038}{(5038-3162)} \\
 &= 2.685
 \end{aligned}$$

- Berat jenis semu (BJ.App)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ.App} &= \frac{\text{Bk}}{(\text{Bk}-\text{Ba})} \\
 &= \frac{4971}{(4971-3162)} \\
 &= 2.747
 \end{aligned}$$

- Penyerapan (Cn)

$$\begin{aligned}
 \text{Cn} &= \frac{\text{Bj}-\text{Bk}}{\text{Bk}} \times 100\% \\
 &= \frac{5038-4971}{4971} \times 100\% \\
 &= 1,344\%
 \end{aligned}$$

Lampiran 3. Model Perhitungan Bahan lolos saringan No. 200 Agregat Kasar

Dikarenakan pada pengujian ini digunakan 2 buah sampel pengujian maka sebagai contoh perhitungan hanya digunakan satu buah data yaitu data yang terdapat pada sampel 1.

a. Data yang didapatkan dari pengujian bahan lolos saringan No. 200

- Berat cawan + Berat kering oven sebelum di cuci (W_1) = 2704,6 gram
- Berat cawan (W_2) = 190,8 gram
- Berat cawan + Berat kering oven setelah di cuci (W_3) = 2680,2 gram

b. Perhitungan kadar lumpur agregat halus

- Berat kering sebelum di oven (W_4)

$$W_4 = W_1 - W_2$$

$$= 2704,6 - 190,8$$

$$= 2513,8 \text{ gram}$$

- Berat agregat setelah di cuci dan di oven (W_5)

$$W_5 = W_3 - W_2$$

$$= 2680,2 - 190,8$$

$$= 2489,4 \text{ gram}$$

- Kadar lumpur (W)

$$W = \frac{W_4 - W_5}{W_4} \times 100\%$$

$$= \frac{2513,8 - 2489,4}{2513,8} \times 100\%$$

$$= 0,971 \%$$

Lampiran 4. Model Perhitungan Keausan Agregat dengan Mesing Los Angeles

Berikut adalah perhitungan yang dilakukan dalam pengolahan data pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles.

a. Data yang diketahui

Berikut adalah data-data yang didapatkan setelah melakukan pengujian dengan menggunakan mesin los angeles terhadap agregat kasar.

- Berat benda uji lolos saringan No. $\frac{3}{4}$ " dan tertahan saringan No. $\frac{1}{2}$ " (W_a) adalah 2501,4 gram
- Berat benda uji lolos saringan No. $\frac{1}{2}$ " dan tertahan saringan No. $\frac{3}{8}$ " (W_b) adalah 2501,2 gram
- Berat benda uji semula (A) $= W_a + W_b$
 $= 2501,4 + 2501,2$
 $= 5002,6 \text{ gram}$
- Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (B) = 3627,0 gram

b. Menghitung nilai abrasi dari material yang digunakan

Berikut adalah perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai abrasi dari material yang akan digunakan.

- Berat benda uji lolos saringan No. 12 (A-B) $= A - B$
 $= 5002,6 - 3627,0$
 $= 1375,6 \text{ gram}$
- Keausan agregat $= \frac{A-B}{A} \times 100\%$

$$= \frac{1375,6}{5002,6} \times 100\% \\ = 27,50\%$$

Lampiran 5. Model Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus

Contoh perhitungan yang digunakan pada penelitian ini adalah saringan No. 4.

a. Data yang didapatkan dari pengujian

Berikut adalah data-data yang telah didapatkan dari pengujian analisa saringan yang telah dilakukan.

- Berat contoh sebelum disaring (w) = 1000,60 gram
- Berat tertahan saringan No. $1\frac{1}{2}$ " (a) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. $\frac{3}{4}$ " (b) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. $\frac{3}{8}$ " (c) = 0 gram
- Berat tertahan saringan No. 4 (d) = 1,60 gram
- Berat tertahan saringan No. 8 (e) = 51,40 gram
- Berat tertahan saringan No. 16 (f) = 87,40 gram
- Berat tertahan saringan No. 30 (g) = 365,60 gram
- Berat tertahan saringan No. 50 (h) = 422,00 gram
- Berat tertahan saringan No. 100 (i) = 60,60 gram
- Berat tertahan saringan pan (p) = 12,00 gram

b. Perhitungan persen lolos saringan No.4

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah material yang memiliki ukuran lebih kecil dari bukaan saringan yang teradapat pada saringan No. 4 yang memiliki lebar bukaan 4,8 mm. Berikut perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui jumlah material yang dapat melewati saringan No.4.

- Kumulatif tertahan pada saringan No.4 ($\Sigma_{No.4}$)

$$\begin{aligned}\Sigma_{No.4} &= a + b + c + d \\ &= 0 + 0 + 0 + 1,60 \\ &= 1,60 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Persentase tertahan (%tertahan)

$$\begin{aligned}\%_{\text{tertahan}} &= \frac{\Sigma_{No.4}}{w} \times 100\% \\ &= \frac{1,60}{1000,60} \times 100\% \\ &= 0,16\%\end{aligned}$$

- Persentase lolos (%lolos)

$$\begin{aligned}
 \%_{\text{lolos}} &= 100\% - \%_{\text{tertahan}} \\
 &= 100\% - 0,16\% \\
 &= 99,84\%
 \end{aligned}$$

Berikut adalah nilai-nilai persen lolos setiap saringan yang dihitung dengan menggunakan cara yang sama.

- Persen tertahan saringan No. $1\frac{1}{2}''$ ($\%_a$) = 0%
- Persen tertahan saringan No. $\frac{3}{4}''$ ($\%_b$) = 0%
- Persen tertahan saringan No. $\frac{3}{8}''$ ($\%_c$) = 0%
- Persen tertahan saringan No. 4 ($\%_d$) = 0,16%
- Persen tertahan saringan No. 8 ($\%_e$) = 5,30%
- Persen tertahan saringan No. 16 ($\%_f$) = 14,03%
- Persen tertahan saringan No. 30 ($\%_g$) = 50,57%
- Persen tertahan saringan No. 50 ($\%_h$) = 92,74%
- Persen tertahan saringan No. 100 ($\%_i$) = 98,80%

c. Perhitungan modulus halus Butir

- Akumulasi persen lolos saringan ($\Sigma\%_{\text{lolos}}$)

$$\begin{aligned}
 \Sigma\%_{\text{lolos}} &= \%_a + \%_b + \%_c + \%_d + \%_e + \%_f + \%_g + \%_h + \%_i \\
 &= 0\% + 0\% + 0\% + 0,16\% + 5,30\% + 14,03\% + 50,57\% \\
 &\quad + 92,74\% + 98,80\% \\
 &= 261,60\%
 \end{aligned}$$

- Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma\%_{\text{lolos}}}{100\%} \\
 &= \frac{261,60\%}{100\%} \\
 &= 2,62
 \end{aligned}$$

Lampiran 6. Model Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Karena percobaan ini dilakukan menggunakan dua buah sampel maka yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah kali ini adalah sampel No. 1.

a. Data yang diketahui dari pengukuran

- Berat contoh kering oven (Bk) = 496,20 gram
- Berat botol + air (B) = 665,20 gram
- Berat contoh + botol + air (Bt) = 971,40 gram

b. Perhitungan berat jenis dan penyerapan

- Berat jenis *bulk* (Bj.Ov)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ.Ov} &= \frac{\text{Bk}}{(\text{B} + 500 - \text{Bt})} \\
 &= \frac{496,20}{(665,20 + 500 - 971,40)} \\
 &= 2,560
 \end{aligned}$$

- Berat jenis *bulk* SSD (Bj.SSD)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ.SSD} &= \frac{500}{(\text{B} + 500 - \text{Bt})} \\
 &= \frac{665,20}{(665,20 + 500 - 971,40)} \\
 &= 2,580
 \end{aligned}$$

- Berat jenis semu (BJ.App)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ.App} &= \frac{\text{Bk}}{(\text{B} + \text{Bk} - \text{Bt})} \\
 &= \frac{496,20}{(665,20 + 496,20 - 971,40)} \\
 &= 2,612
 \end{aligned}$$

- Penyerapan (Cn)

$$\begin{aligned}
 \text{Cn} &= \frac{(500 - \text{Bk})}{\text{Bk}} \times 100\% \\
 &= \frac{5038 - 4971}{4971} \times 100\% \\
 &= 1,344\%
 \end{aligned}$$

Lampiran 7. Model Perhitungan Bahan Lulus Saringan No.200 Agregat Halus

Dikarenakan pada pengujian ini digunakan 2 buah sampel pengujian maka sebagai contoh perhitungan hanya digunakan satu buah data yaitu data yang terdapat pada sampel 1.

a. Data yang didapatkan dari pengujian bahan lolos saringan No. 200

- Berat cawan + Berat kering oven sebelum di cuci (W_1) = 693,6 gram
- Berat cawan (W_2) = 189,8 gram
- Berat cawan + Berat kering oven setelah di cuci (W_3) = 690,8 gram

b. Perhitungan kadar lumpur agregat halus

- Berat kering sebelum di oven (W_4)

$$\begin{aligned}
 W_4 &= W_1 - W_2 \\
 &= 693,6 - 189,8 \\
 &= 503,8 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Berat agregat setelah di cuci dan di oven (W_5)

$$\begin{aligned}
 W_5 &= W_3 - W_2 \\
 &= 690,8 - 189,8 \\
 &= 501,8 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Kadar lumpur (W)

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{W_4 - W_5}{W_4} \times 100\% \\
 &= \frac{503,8 - 501,8}{503,8} \times 100\% \\
 &= 0,556 \%
 \end{aligned}$$

Lampiran 8. Gradasi Agregat Gabungan

