

**KUAT TEKAN BETON NORMAL MENGGUNAKAN LIMBAH
GENTENG KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT
KASAR DAN ABU KETEL SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN**

(Skripsi)

Oleh:

AZKA MUHAMMAD SAFARI

2015011073



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**KUAT TEKAN BETON NORMAL MENGGUNAKAN LIMBAH
GENTENG KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT
KASAR DAN ABU KETEL SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN**

Oleh

AZKA MUHAMMAD SAFARI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

COMPRESSIVE STRENGTH OF NORMAL CONCRETE USING CERAMIC TILE WASTE AS PARTIAL REPLACEMENT OF COARSE AGGREGATE AND BOILER ASH AS PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT

By

AZKA MUHAMMAD SAFARI

The combustion of palm oil waste produces boiler ash, which can be used as pozzolanic material. Tile waste is also used as a substitute for coarse aggregate. A 15cm x 15cm x 15cm cube specimen was produced to test the compressive strength at 3, 7, 14 and 28 days with variations in the constituents 5% boiler ash by weight of cement and 5%, 10%, 15% and 20% tile waste by weight of coarse aggregate. The highest compressive strength at 28 days for concrete with only tile waste substitution found in the 5% variation (G5) with a compressive strength of 34.86 MPa. Substituting 5% boiler ash for cement in G5, the compressive strength increased to 37,45 MPa. The compressive strength of other variations of tile waste increased after 5% substitution of boiler ash in cement. Therefore, 5% boiler ash substitution can increase the compressive strength of concrete with tile waste substitution.

Keywords: boiler ash, compressive strength, tile waste

ABSTRAK

KUAT TEKAN BETON NORMAL MENGGUNAKAN LIMBAH GENTENG KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR DAN ABU KETEL SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN

Oleh

AZKA MUHAMMAD SAFARI

Pembakaran limbah kelapa sawit menghasilkan abu ketel yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan. Limbah genteng juga dapat dimanfaatkan sebagai substitusi dari agregat kasar. Pembuatan benda uji kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk diuji kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari, dengan variasi pada bahan penyusunnya 5% abu ketel terhadap berat semen dan 5%, 10%, 15%, dan 20% limbah genteng terhadap berat agregat kasar. Kuat tekan terbesar pada umur 28 hari untuk beton dengan substitusi hanya limbah genteng terdapat pada variasi 5% (G5) dengan kuat tekan 34,86 MPa. Substitusi 5% abu ketel untuk semen pada G5, kuat tekan beton mengalami peningkatan yang cukup signifikan menjadi 37,45 MPa. Hasil kuat tekan pada benda uji dengan kadar limbah genteng lain seluruhnya mengalami peningkatan kuat tekan setelah dilakukan substitusi 5% abu ketel pada semen. Sehingga substitusi 5% abu ketel dapat meningkatkan kuat tekan pada beton dengan substitusi limbah genteng.

Kata kunci: *abu ketel, kuat tekan, limbah genteng*

Judul Skripsi

**: KUAT TEKAN BETON NORMAL
MENGUNAKAN LIMBAH GENTENG
KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI
SEBAGIAN AGREGAT KASAR DAN
ABU KETEL SEBAGAI PENGGANTI
SEBAGIAN SEMEN**

Nama Mahasiswa

: Azka Muhammad Safari

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015011073

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.
NIP 19580613 198403 2 003

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Ir. Laksmi Irianti, M.T.



Sekretaris

: Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.



Penguji

Bukan Pembimbing : Hasti Rlakara Husni, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP.19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Oktober 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azka Muhammad Safari
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015011073
Judul Skripsi : Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Limbah
Genteng Keramik Sebagai Pengganti Sebagian
Agregat Kasar dan Abu Ketel Sebagai Pengganti
Sebagian Semen
Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 7 Oktober 2024

Penulis



Azka Muhammad Safari

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Azka Muhammad Safari, lahir di Tangerang (Banten) pada tanggal 12 Februari 2002 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Asafari dan Ibu Rusi Maurita. Penulis menempuh pendidikan dari Sekolah Dasar di SDIT Al-Fatih 1 (2008-2014), kemudian Sekolah Menengah Pertama di SMPIT Al-Fatih 1 (2014-2017), dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Kabupaten Tangerang (2017-2020) dengan mengambil jurusan Ilmu Pengetahuan Alam. Pada tahun 2020, penulis menempuh pendidikan di Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Baros, Kecamatan Kota Agung, Kabupaten Tanggamus selama 40 hari pada Juli 2023. Penulis juga melakukan Kerja Praktek selama 3 bulan di Pembangunan GOR Way Halim, Bandar Lampung dimulai pada 18 Juli - 18 Oktober 2023. Selanjutnya penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi dengan judul skripsi “Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Limbah Genteng Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Dan Abu Ketel Sebagai Pengganti Sebagian Semen”.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbilalamin

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT. atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Karya ini dipersembahkan kepada:

Bapak Asafari, S.Pd., Ibu Rusi Maurita, S.Pd., dan Keluarga Besar

Yang telah senantiasa mendoakan, memberikan motivasi, mendidik dan membesarkanku dengan kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

**Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., Bapak Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A.,
Ph.D. dan Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.**

Yang sangat berjasa dan selalu memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga dapat diselesaikannya skripsi yang berjudul **“Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Limbah Genteng Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar dan Abu Ketel Sebagai Pengganti Sebagian Semen”** dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lampung.
5. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penelitian ini.
6. Bapak Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing penelitian ini.
7. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam penelitian ini.

8. Ibu Dr. Ir. Ika Kustiani, S.T., M.Eng.Sc., IPM., ASEAN Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik dan bimbingan dalam akademik.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Keluarga tercinta terutama kedua orang tuaku yang selalu mendukung dan memberikan doa terbaik
11. Annida Nurul Zahra, S.Gz., pendukung nomor satu penulis yang sudah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. Seluruh rekan-rekan Teknik Sipil 2020 Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, kritik serta doa.

Skripsi ini banyak kekurangan, baik dari isi maupun cara penulisannya. Diharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan wawasan baru dan memberikan manfaat bagi para pembacanya.

Bandar Lampung, 7 Oktober 2024
Penulis,

Azka Muhammad Safari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 Beton Normal	6
2.3 Bahan Penyusun Beton.....	6
2.4 Genteng Keramik	12
2.5 Abu Ketel	12
2.6 Pengujian Kuat Tekan Beton	13
2.7 Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	14
2.8 Penelitian Terkait	14
III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Pendahuluan	16
3.2 Lokasi Penelitian	17
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	17

3.4	Peralatan dan Bahan	19
3.5	Pemeriksaan Material	23
3.6	Pembuatan Benda Uji	37
3.7	Pengujian <i>Workability</i> Beton Segar	39
3.8	Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	39
3.9	Pengujian Benda Uji Menggunakan CTM	40
3.10	Perhitungan dan Analisis Data	41
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Umum	42
4.2	Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material Pembentuk Beton	42
4.3	Komposisi Material Campuran Beton	43
4.4	Kelecekan Adukan Beton (<i>Workability</i>)	44
4.5	Kuat Tekan Beton	46
4.6	Laju Peningkatan Kuat Tekan Beton	50
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (PENGUJIAN BAHAN)

LAMPIRAN B (*MIX DESIGN*)

LAMPIRAN C (HASIL PERHITUNGAN)

LAMPIRAN D (FOTO PENELITIAN)

LAMPIRAN E (LEMBAR ASISTENSI)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir penelitian.....	18
2. Gradasi agregat halus	29
3. Gradasi agregat kasar	31
4. Perbandingan nilai <i>slump</i> beton tanpa campuran abu ketel dan dengan campuran abu ketel.....	45
5. Perbandingan nilai kuat tekan beton dengan campuran genteng tanpa abu ketel dan dengan abu ketel	47
6. Perbandingan laju peningkatan kuat tekan beton.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persentase Kandungan Oksida pada OPC dan PCC	8
2. Komposisi Utama Semen <i>Portland</i>	8
3. Gradasi Agregat Halus Menurut <i>ASTM C 33-03</i>	10
4. Gradasi Agregat Kasar Menurut <i>ASTM C 33-03</i>	11
5. Perbandingan Kuat Tekan antara Silinder dan Kubus.....	13
6. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus	24
7. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	24
8. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Limbah Genteng Keramik	25
9. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Abu Ketel.....	25
10. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	26
11. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	27
12. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Semen	27
13. Batasan Gradasi Agregat Halus.....	28
14. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Halus.....	29
15. Batasan Gradasi Agregat Kasar.....	30
16. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Kasar.....	31
17. Berat Minimum Agregat	32
18. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus	32
19. Berat Minimum Agregat	33
20. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar	33
21. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus	34
22. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat kasar	35
23. Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji	36
24. Hasil Pemeriksaan <i>Los Angeles Test</i> Agregat Kasar	36
25. Hasil Pemeriksaan <i>Los Angeles Test</i> Limbah Genteng	36
26. Komposisi dan Kode Benda Uji.....	37

27. Hasil Pemeriksaan Material Pembentuk Beton.....	43
28. Komposisi Kebutuhan Material Per m ³ Beton Kubus Mutu Normal.....	44
29. Nilai <i>Slump</i> Beton	44
30. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari.....	47
31. Laju Peningkatan Kuat Tekan PBI 1971	51
32. Hasil Pengujian Laju Peningkatan Kuat Tekan Beton	51
33. Persentase Laju Peningkatan Kuat Tekan Beton.....	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan baku utama dalam konstruksi pembangunan gedung, jalan raya, bendungan, dan bangunan lainnya. Menurut SNI 2847:2019 beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Dalam proses pencampuran bahan penyusun beton, semen berfungsi sebagai perekat atau pengikat, air sebagai pereaksi, agregat kasar dan agregat halus sebagai penguat dan pengisi.

Dalam perkembangan teknologi konstruksi tersebut, semakin banyak tuntutan dan kebutuhan akan sarana dan prasarana yang memadai. Akibatnya, banyak dilakukan inovasi terhadap teknologi konstruksi agar didapatkan teknologi konstruksi yang baik, aman, dan ekonomis. Inovasi yang dilakukan bertujuan untuk mengatasi ketersediaan masalah bahan baku dari alam, serta pengurangan jumlah limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Pemanfaatan limbah produksi dapat dilakukan pada proses pembuatan beton dengan melakukan substitusi sebagian atau seluruhnya terhadap bahan penyusun beton.

Beberapa bahan penyusun beton yang dapat dilakukan substitusi diantaranya adalah semen dan agregat kasar. Semen yang berfungsi sebagai perekat dapat disubstitusi dengan bahan yang mengandung silika disebut dengan bahan pozzolan. Limbah pembakaran kelapa sawit atau yang biasa disebut abu ketel memiliki kandungan silika yang memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan pozzolan.

Menurut data Dinas Perkebunan Provinsi Lampung, pada tahun 2020 perkebunan kelapa sawit Provinsi Lampung menduduki posisi ke-13 nasional dengan luas areal kelapa sawit sebesar 196.312 Ha. Hal ini menyebabkan limbah dari kelapa sawit memiliki kuantitas yang cukup banyak. Sering kali limbah dari kelapa sawit tidak dimanfaatkan kembali untuk sesuatu hal yang berguna. Limbah cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar industri, dimana proses pembakaran ini menghasilkan butiran halus abu ketel. Menurut Mulia 2007, sampai dengan 5 ton/minggu abu ketel dihasilkan dari pembakaran limbah kelapa sawit (Rahman dkk, 2020). Abu ketel yang dihasilkan dari pembakaran kelapa sawit mengandung 61% silika dimana silika merupakan bahan pozzolan yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen (Kelin dkk, 2023).

Bahan penyusun beton lainnya yang dapat disubstitusi adalah agregat kasar. Agregat kasar merupakan komponen yang paling berperan dalam menentukan kekuatan beton karena mengisi sebagian besar dari volume beton. Salah satu bahan yang dapat dijadikan substitusi sebagai agregat kasar adalah limbah genteng keramik. Genteng keramik merupakan produk hasil pembakaran dari tanah liat dan kaolin yang dicampur pasir kuarsa. Ketika campuran tersebut dibakar dengan suhu $\pm 1100^{\circ}\text{C}$ selama 16-17 jam, campuran akan melebur menjadi genteng keramik (Pithaloka, 2021).

Limbah genteng merupakan genteng yang memiliki kerusakan pada bentuknya sehingga tidak genteng memungkinkan untuk digunakan sebagai penutup atap. Material bahan limbah pecahan dari genteng tersebut dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton (Mulyadi & Rozi, 2018). Sifat limbah pecahan genteng dan agregat kasar yang hampir sama, yaitu memiliki sifat yang keras dan bentuk yang relatif sama sehingga limbah pecahan genteng dapat digunakan sebagai agregat kasar. Namun, penambahan limbah genteng sebagai pengganti agregat kasar akan mengurangi kekuatan pada beton karena kadar keausan limbah genteng yang cukup besar, daya serap yang tinggi, dan permukaan genteng keramik yang licin. Perlu dilakukan perlakuan khusus agar

campuran beton mengalami peningkatan kuat tekan, dengan menambahkan abu ketel yang memiliki kandungan Silikon Dioksida (SiO_2) yang berperan penting dalam pembentukan Kalsium Silikat Hidrat (CSH). CSH berfungsi sebagai perekat setelah bereaksi dengan Kalsium Hidrat (CH) yang merupakan sisi lemah beton (Murdock & Brook, 1986).

Berdasarkan referensi di atas, untuk menindaklanjuti penelitian mengenai pengaruh limbah genteng dan abu ketel terhadap karakteristik beton maka penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh penggunaan limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan abu ketel sebagai pengganti sebagian semen untuk melihat bagaimana pengaruh kuat tekan beton terhadap perkembangan umur beton dengan dan pengaruh limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan abu ketel sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton dengan waktu pengujian pada beton berumur 3 hari, 7 hari, 14, hari, dan 28 hari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh limbah genteng dan abu ketel sebagai substitusi pada bahan penyusun beton terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh limbah genteng dan abu ketel terhadap laju peningkatan kuat tekan pada beton normal?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisis pengaruh limbah genteng dan abu ketel sebagai substitusi pada bahan penyusun beton terhadap kuat tekan beton normal.
2. Untuk menganalisis pengaruh limbah genteng dan abu ketel terhadap laju peningkatan kuat tekan pada beton beton normal.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Perhitungan *mix design* beton mutu normal mengacu pada SNI 7656:2012.
2. Persentase pengaruh abu ketel yang digunakan adalah sebesar 5% dan variasi pengaruh limbah genteng sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.
3. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian terdahulu dimana kuat tekton beton mengalami peningkatan akibat penambahan abu ketel sebanyak 5%.
4. Limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar dihitung hanya berdasarkan berat.
5. Limbah genteng yang digunakan dalam penelitian merupakan limbah genteng hasil cacat produksi (pecah atau retak) yang tidak mengalami perubahan akibat faktor eksternal.
6. Penelitian menggunakan benda uji berupa kubus dengan ukuran panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm
7. Kuat tekan rencana benda uji memiliki mutu K-300 (f'_c 24,9 MPa) pada umur beton 28 hari.
8. Pelaksanaan pengujian benda uji dilakukan pada beton berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari setelah perendaman beton.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu teknologi beton tentang pengaruh perkembangan kuat tekan beton pada beton yang menggunakan limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan abu ketel sebagai pengganti sebagian semen terhadap perkembangan umur beton.
2. Memberikan informasi mengenai perbandingan kuat tekan beton antara beton yang menggunakan limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan abu ketel sebagai pengganti sebagian semen dengan beton normal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut SNI 2847:2019 beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton merupakan bahan baku utama dalam konstruksi pembangunan gedung, jalan raya, bendungan, dan bangunan lainnya. Beton adalah material komposit, oleh karena itu kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya. (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut Hamdi dkk, (2022) terdapat beberapa kelebihan beton yaitu:

1. Beton mampu untuk menahan beban tekan yang tinggi, sehingga bila dikombinasikan dengan baja tulangan yang memiliki kuat tarik tinggi beton dapat membentuk sebuah struktur yang kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan.
2. Beton tahan terhadap perubahan cuaca dimana beton ketahanan yang baik dalam kondisi panas yang mengakibatkan aus maupun dingin yang mengakibatkan karat dan pembusukan, sehingga biaya perawatan lebih rendah.
3. Beton segar mudah untuk dibentuk sesuai dengan keinginan menggunakan cetakan beton.

2.2 Beton Normal

Beton normal adalah beton yang memiliki berat satuan 2200 Kg/m³ sampai dengan 2500 Kg/m³ dan dibuat menggunakan agregat yang berasal dari alam baik dalam kondisi dipecah maupun tidak di pecah (Kandi dkk, 2012). Dalam SNI 03-2834-2000 dijelaskan beton normal memiliki kuat tekan 19-45 MPa tergantung umur dari beton tersebut. Beton normal memiliki material pembentuk yaitu agregat halus, agregat kasar, semen, dan air.

2.3 Bahan Penyusun Beton

Dalam pembuatan beton normal terdapat bahan-bahan penyusun yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*Admixture*).

2.3.1 Semen

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

Menurut SNI 15-2049-2004 berdasarkan jenis dan penggunaannya semen *portland* dibagi menjadi beberapa jenis:

1. Semen *Portland* tipe I

Semen *portland* tipe I adalah semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Semen *Portland* tipe II

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

3. Semen *Portland* tipe III

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

4. Semen *Portland* tipe IV

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

5. Semen *Portland* tipe V

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

2.3.2 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Portland composite cement adalah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menghasilkan klinker, terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolisis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan (Irawati & Prihatiningsih, 2018). Keunggulan yang dimiliki dari semen PPC adalah memiliki panas hidrasi yang lebih rendah sehingga akan lebih mudah dalam proses pengerjaan dan dapat menghasilkan permukaan beton serta plester yang lebih rapat dan halus. PCC juga memiliki daya rekat yang kuat, kedap air dan kekuatan tekan yang baik. Manfaat semen PCC adalah sebagai bahan pengikat untuk konstruksi beton umum, beton pracetak, plesteran dan acian, pasangan batu bata, *paving block*, dan sebagainya. Berikut adalah perbedaan kandungan oksida antara semen OPC dan PCC yang dijelaskan dalam Tabel 1 dan komposisi utama dalam semen *portland* dalam Tabel 2.

Tabel 1. Persentase Kandungan Oksida pada OPC dan PCC

Oksida	Persentase pada OPC (%)	Persentase pada PCC (%)
Kapur (CaO)	65,21	57,38
Silika (SiO ₂)	20,92	23,04
Alumina (Al ₂ O ₃)	5,49	7,40
Besi (Fe ₂ O ₃)	3,78	3,36
Bahan lain	4,60	8,82

(Sumber: Pradana dkk, 2016)

Tabel 2. Komposisi Utama Semen *Portland*

Nama komposisi	Rumus kimia	Bobot (%)
Tricacium Silika (C ₃ S)	3CaO. SiO ₂	60±10
Dicalcium Silika (C ₂ S)	2CaO. SiO ₂	16±10
Tricalcium Alumina (C ₃ A)	3CaO. Al ₂ O ₃	1-10
Tetracalcium AluminaFerrit (C ₄ AF)	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	0-16

(Sumber: Neville & Brooks, 2010)

2.3.3 Bahan Pozzolan

Dalam SNI 0302-2004 bahan pozzolan adalah bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

2.3.4 Agregat

Agregat merupakan material granular: pasir, krikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolis (SNI 03-2847-2002).

2.3.5 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat halus adalah adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,00 mm.

Agregat halus merupakan bahan bangunan yang memiliki peran penting dalam proses konstruksi. Manfaat agregat halus adalah berfungsi sebagai bahan pengisi diantara agregat kasar. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang halus dan keras. Butir-butir halus dalam agregat halus harus bersifat kekal sehingga tidak boleh hancur akibat pengaruh cuaca.

Berdasarkan SK-SNI S-04-1989-F terdapat beberapa persyaratan pasir atau agregat halus yang baik digunakan sebagai bahan dasar pembentuk beton atau bahan bangunan lainnya, diantaranya:

1. Butiran agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan sebesar $< 2,2$
2. Pasir atau agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila agregat halus atau pasir mengandung kandungan lumpur lebih dari 5% maka pasir harus dicuci sampai kadar lumpur berada di bawah 5%.
3. Jika diuji dengan larutan jenuh garam sulfat memiliki sifat kekal sebagai berikut:
 - a) Jika diberikan natrium sulfat bagian hancur maksimal 12%
 - b) Jika diberikan magnesium sulfat bagian halus maksimal 10%
4. Pasir atau agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak. Hal ini dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrans-Harder dengan larutan jenuh NaOH 3%
5. Pasir terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam dengan susunan besar butir pasir yang memiliki modulus kehalusan antara 2,5-3,8.
6. Reaksi pasir terhadap alkali harus negatif untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi.
7. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemerintahan bahan bangunan yang diakui.
8. Persyaratan pasir pasangan harus dipenuhi untuk agregat halus yang akan digunakan untuk plesteran dan spesi terapan.
9. Berada pada syarat ambang batas gradasi yang baik.

Syarat beton yang baik salah satunya adalah gradasi yang sebagaimana teradapat dalam *ASTM C 33-03*. Pembagian gradasi pada agregat halus dijelaskan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Gradasi Agregat Halus Menurut *ASTM C 33-03*

Ukuran saringan (mm)	Persen lolos (%)
9,5 mm	100
4,75 mm	95-100
2,36 mm	80-100
1,18 mm	50-85
0,60 mm	25-60
0,30 mm	5-30
0,15 mm	0-10

(Sumber: *ASTM C 33-03*)

2.3.6 Agregat Kasar

Agregat Kasar adalah bahan yang membantu untuk menjaga stabilitas dan keawetan pada beton juga memberikan kekuatan pada beton. Agregat kasar yang baik adalah agregat kasar yang tidak berpori dan butirannya keras. Agregat kasar dapat diperoleh dari proses alami atau batu pecah yang dibuat dari industri pemecah batu. Menurut SNI 03-2847-2002, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Dalam penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
2. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
3. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
4. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

Gradasi agregat kasar untuk ukuran maksimum agregat 20 mm menurut *ASTM C 33-03* seperti terlampir pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Gradasi Agregat Kasar Menurut *ASTM C 33-03*

Ukuran saringan (mm)	Persen lolos (%)
25,0	100
19,0	90-100
12,5	20-55
9,5	0-15
4,75	0-5

(Sumber: *ASTM C 33-03*)

2.3.7 Air

Penggunaan air dalam pembuatan beton sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton karena air akan langsung bereaksi dengan semen. Apabila terjadi kelebihan air maka kuat tekan beton akan berkurang. Sebaliknya bila air terlalu sedikit beton akan mengeras sebelum diaplikasikan. Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus terhindar dari bahan-bahan berbahaya. Persyaratan air untuk campuran beton menurut SK-SNI S-04-1989-F adalah:

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan klorida (Cl) < 0,50 gram/liter dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃.
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang tidak diperiksa tidak lebih dari 10%.

2.4 Genteng Keramik

SNI 03-2095-1998 menjelaskan mengenai genteng keramik dimana genteng keramik ialah suatu unsur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap yang dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan lain, yang dibakar sampai suhu yang cukup tinggi sehingga tidak hancur jika direndam atau terkena air. Genteng memiliki bentuk yang bermacam macam seperti genteng biasa (berbentuk flam) adalah unsur bangunan yang dipakai sebagai pelapis atap. Genteng pres kodok mempunyai keuntungan ialah pencetakan dengan mesin menghasilkan bentuk yang lebih presisi dan alur-alur pencegah masuknya air hujan ke dalam atau lebih rapat daripada genteng biasa (flam) yang sederhana (Soemantoro dkk, 2017). Genteng keramik termasuk ke dalam golongan keramik kasar yang terbuat dari pasir kuarsa, tanah pekat dan termasuk abu tertentu yang dibakar pada suhu 1000-1400 °C dan dilapisi glazur dengan campuran felspar, kuarsa, kaolin, kapurspar dan dolomit yang diaduk dengan air. (Pithaloka, 2021).

2.5 Abu Ketel

Abu ketel adalah Limbah padat dari kelapa sawit yaitu cangkangnya dapat digunakan sebagai bahan bakar industri dan sisa pembakarannya banyak mengandung silika. Abu ketel yang dihasilkan dari pembakaran cangkang kelapa sawit mengandung 61% silika. Abu ketel Cangkang Kelapa Sawit ini telah melewati proses penggilingan pada suhu pembakaran 300 sampai dengan 500 derajat *celcius* (Kelin dkk, 2023).

Pada abu ketel memiliki senyawa Silikon Dioksida (SiO_2) yang cukup banyak. SiO_2 berperan penting dalam pembentukan Kalsium Silikat Hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat setelah reaksi dengan Kalsium Hidrat (CH) yang merupakan sisi lemah beton (Murdock & Brook, 1986)

2.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin pembebanan. Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton (Wariyatno & Haryanto, 2013).

Pada beton yang paling utama adalah kuat tekan pada beton itu sendiri. Nilai kuat tekan beton akan meningkat berdampingan dengan penambahan atau peningkatan umurnya, dan pada umur beton yang ke 28 hari, beton mencapai kekuatan maksimal. Penentuan nilai kekuatan tekan beton dapat dilakukan melalui pengujian di laboratorium atau di lapangan. Pengujian kuat tekan beton di laboratorium melibatkan pembuatan sampel kubus atau silinder. Perbandingan kuat tekan silinder dan kubus memiliki perbedaan relatif, sesuai dengan *ISO Standard 3893-1977* (Panennungi & Pertiwi, 2018). Perbandingan kuat tekan beton antara silinder disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan Kuat Tekan antara Silinder dan Kubus.

Kuat tekan silinder (MPa)	Kuat tekan kubus (MPa)
2	2,5
4	5
6	7,5
8	10
10	12,5
12	15
16	20
20	25
25	30
30	35
35	40
40	45
45	50
50	55

(Sumber: *ISO Standard 3893, 1997*)

2.7 Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton, yang disebut juga curing, adalah prosedur yang bertujuan untuk menjaga kelembaban beton dan mencegah retak saat mengering. Dalam konteks perawatan beton di laboratorium, ada dua metode yang dapat digunakan, yaitu dengan penguapan (*steaming*) atau perendaman. Tujuan utama dari perawatan ini adalah untuk melindungi beton dari beberapa masalah berikut:

1. Menghilangnya banyak air-semen pada waktu-waktu pengerasan (*setting time concrete*).
2. Menghilangnya air akibat penguapan yang terjadi pada hari-hari pertama.
3. Perbedaan suhu antara lingkungan beton dengan beton terlalu jauh.

2.8 Penelitian Terkait

Emda dkk, (2023) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh abu ketel terhadap kuat tekan beton normal. Pengujian ini menggunakan cetakan berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan FAS 0,37 umur pengujian kuat tekan beton yaitu 7 dan 28 hari. Hasil analisis dapat dilihat dari nilai rata-rata dari pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk beton normal yaitu 23,10 MPa. Pada campuran beton dengan penambahan 4% abu boiler dari berat semen pada umur 28 hari di dapat nilai sebesar 25,31 MPa, dan pada penambahan 6% abu boiler dari berat semen pada umur 28 hari di dapat hasil sebesar 40,67 MPa. Hasil kuat tekan dapat disimpulkan, pada penambahan abu boiler pada 4% mengalami kenaikan sebesar 2,21 MPa dan pada penambahan abu boiler pada 6% mengalami kenaikan sebesar 17,57 MPa.

Kelin dkk, (2023) melakukan penelitian menggunakan abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi semen pada campuran beton. Benda uji yang digunakan dalam penelitian merupakan benda uji silinder, dengan variasi komposisi abu ketel sebagai pengganti semen adalah 9%, 11%, dan

13%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi semen dan agregat sungai pada variasi 9% memenuhi nilai kuat tekan beton rencana, sedangkan variasi 11% dan 13% tidak memenuhi kuat tekan beton rencana.

Pithaloka (2021) melakukan penelitian menggunakan limbah genteng keramik sebagai substitusi agregat kasar. Benda uji yang digunakan merupakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 50 sampel dengan 5 variasi. Campuran beton yang direncanakan merupakan campuran untuk beton normal. Variasi komposisi limbah genteng keramik yang digunakan sebagai substitusi agregat kasar adalah 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian yang telah dilakukan adalah kuat tekan rata-rata maksimum pada campuran beton yang menggunakan limbah genteng keramik pada komposisi 10% sebesar 12,748 MPa. Semakin banyak kandungan limbah genteng keramik pada campuran beton, kuat tekan beton semakin menurun. Nilai absorpsi beton juga akan semakin tinggi dikarenakan sifat genteng keramik yang menyerap air.

Mulyadi dan Rozi (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan limbah pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton. Pada penelitian ini benda uji dicetak dengan menggunakan kubus baja ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm, masing-masing umur perendaman yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Variasi komposisi limbah pecahan genteng sebagai komposisi agregat kasar adalah 0%, 10%, 25% dan 50%.

Hasil evaluasi uji kuat tekan yaitu pada beton limbah pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar 10% umur beton 28 hari didapat kuat tekan beton 173,73 kg/cm², pada limbah pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar 25% umur beton 28 hari didapat kuat tekan beton 141,12 kg/cm² dan limbah pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar 50% umur beton 28 hari didapat kuat tekan beton sebesar 133,81 kg/cm².

III. METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Metode yang akan dipakai pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dimana akan dilakukan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan data dan hasil dari penelitian dilakukan. Penelitian ini menggunakan variasi dari abu ketel sebesar 5% dari berat semen yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dan variasi limbah genteng keramik sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat kasar sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar. Penelitian ini menggunakan sampel beton berbentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 yang akan diuji kuat tekan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk melihat pengaruh kedua material terhadap peningkatan kuat tekan terhadap umur beton dan kuat tekan beton. Metode Perhitungan yang menjadi pedoman pada penelitian ini adalah SNI 7656:2012.

Permulaan penelitian dilakukan dengan studi literatur terlebih dahulu sebelum melakukan sebuah proses praktik. Pada proses praktik dilakukan penyediaan material dan pengujian material untuk beton, syarat pada material harus sesuai dengan persyaratan yang tertera pada SNI atau *ASTM*. Material yang telah dinyatakan lulus syarat menurut SNI atau *ASTM* maka disimpan dan dilanjutkan dengan perhitungan *mix design* dan *trial mix* untuk memastikan mutu beton yang dibuat sesuai dengan rencana. Adukan beton yang sudah memenuhi mutu rencana dilakukan pengujian *slump* untuk memastikan *workability* sesuai dengan rencana. Beton tanpa bahan pengganti yang telah sesuai dengan rencana akan disubstitusi dengan bahan-bahan pengganti berupa abu ketel sebagai pengganti semen dan limbah genteng keramik sebagai

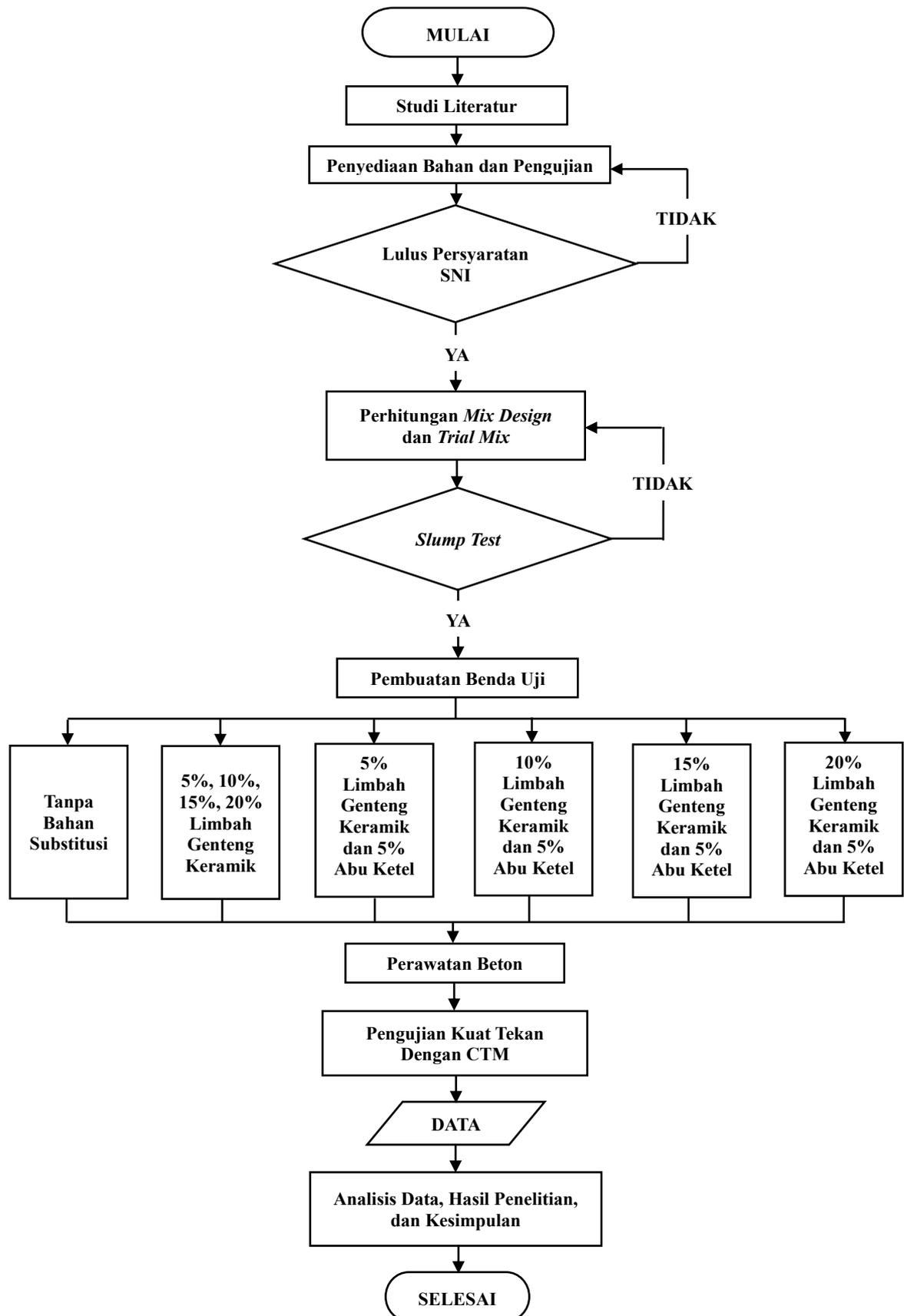
pengganti agregat kasar. Sampel yang telah selesai dibuat akan direndam terlebih dahulu sebagai proses perawatan beton (*curing*). Beton yang telah melewati masa curing akan dilakukan pengujian pada umur beton 3, 7, 14, dan 28 hari untuk menganalisis peningkatan kuat tekan beton terhadap umur dan kuat tekan beton. Pembuatan sampel beton juga dilakukan dengan melakukan substitusi pada agregat kasar dengan limbah genteng tanpa abu ketel yang akan dilakukan pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari. Seluruh sampel beton yang telah mencapai umur pengujian akan diuji kuat tekan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*). Data yang telah didapat diolah untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan dari penelitian ini.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dengan judul “Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Limbah Genteng Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Dan Abu Ketel Sebagai Pengganti Sebagian Semen” ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1 di bawah ini yang akan menjelaskan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

3.4 Peralatan dan Bahan

3.4.1 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Oven

Oven pada penelitian ini digunakan untuk mengeringkan bahan material yang akan diuji. Oven yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas 110°C serta memiliki daya sebesar 2800 Watt.

b. Satu set saringan

Saringan yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set saringan dengan diameter 37,5 mm; 25 mm; 19 mm; 12,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; 0,02 mm dan pan. Satu set saringan ini berfungsi untuk memisahkan dan mengelompokkan gradasi agregat halus dan agregat kasar.

c. Timbangan

Pada penelitian ini timbangan digunakan untuk mengukur berat dari suatu material yang akan digunakan pada adukan beton. Timbangan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram dan memiliki kapasitas 30 kg.

d. Piknometer

Piknometer berfungsi untuk menguji dari kandungan zat organik dan berat jenis pada agregat halus.

e. Gelas ukur 1000 cc

Gelas ukur 1000 cc pada penelitian ini digunakan untuk mengukur volume air yang dibutuhkan pada pengujian analisis kadar lumpur dan analisis berat jenis.

f. Cetakan kerucut pasir

Cetakan kerucut pasir pada penelitian ini digunakan untuk pengujian kondisi SSD (*surface saturated dry*) pada agregat halus (pasir).

g. Bejana silinder

Bejana silinder pada penelitian ini digunakan untuk pengujian berat volume agregat kasar dan agregat halus dalam kondisi kering, basah, maupun SSD (*surface saturated dry*). Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis bejana yaitu bejana dengan kapasitas 5 liter yang digunakan untuk pengujian berat volume agregat halus dan bejana dengan kapasitas 10 liter yang digunakan untuk pengujian berat volume agregat kasar.

h. *Concrete mixer*

Concrete mixer pada penelitian ini digunakan untuk mencampur semua material pembentuk beton. Alat concrete mixer yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas 0,125 m³ yang memiliki kecepatan putaran sebesar 20-30 putaran setiap 1 menit.

i. Satu set alat *slump test*

Alat yang dipakai pada penelitian ini adalah satu set kerucut abrams dengan diameter atas 102 mm, diameter bawah 203 mm, tinggi 305 mm dan *base plate* yang digunakan memiliki ketebalan 3 mm dengan ukuran sisi 900 x 900 mm. Alat ini digunakan untuk menguji *workability* beton mutu normal yang telah memenuhi syarat pada *slump test*.

j. Meteran

Meteran pada penelitian ini digunakan untuk mengukur ketinggian *slump test* pada pengujian *slump test* untuk beton dengan mutu normal.

k. Cetakan benda uji (*mold*)

Cetakan benda uji digunakan untuk mencetak beton sesuai dengan bentuk dan kebutuhan penelitian. Penelitian ini menggunakan cetakan benda uji berbentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm.

l. Bak perendam

Bak perendam pada penelitian ini digunakan untuk merendam beton beton dalam proses perawatan. Perawatan beton ini dilakukan untuk menjaga kelembaban beton agar beton tidak cepat kehilangan air saat beton sudah dalam fase mengering.

m. *Compression testing machine* (CTM)

Compression testing machine digunakan untuk menguji kuat tekan pada sampel beton mutu normal yang telah dibuat. Alat CTM yang digunakan pada penelitian ini memiliki beban kapasitas maksimal sebesar 3000 KN dengan merk CONTROLS.

n. Alat bantu lainnya

Alat bantu yang digunakan untuk memaksimalkan penelitian yang dilakukan seperti tongkat pemadat, kode warna untuk analisis zat organis agregat halus, sekop, sendok semen, ember, kontainer, kuas, dan alat tulis.

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Semen PCC

Semen yang digunakan adalah semen jenis PCC dengan merek Semen Padang. Semen yang digunakan diperoleh dari toko dalam kondisi tertutup dengan berat 50 kg per sak.

b. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari Gunung Sugih, Lampung Tengah yang harus memenuhi standar SNI dalam beberapa pengujian seperti kadar air, berat jenis, dan absorpsi (penyerapan), kadar lumpur, gradasi agregat halus, berat volume, dan pengujian lainnya.

c. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan berasal dari daerah Tanjungan, Lampung Selatan dengan ukuran maksimum 20 mm. Agregat yang digunakan harus memenuhi standar pada SNI dari beberapa pengujian seperti kadar air agregat kasar, gradasi agregat kasar, berat jenis dan absorpsi (penyerapan), dan berat volume agregat kasar.

d. Air

Air yang digunakan dalam penelitian adalah air keran yang berasal dari pipa PDAM.

e. Limbah Genteng Keramik

Limbah genteng keramik pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar dengan kadar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat agregat kasar yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar. Limbah genteng keramik pada penelitian ini berasal dari limbah genteng pabrik SJG keramik Bandar Lampung.

f. Abu Ketel

Abu ketel pada penelitian ini berasal dari PT. Perkebunan Nusantara (PTPN 7) dengan variasi kadar 5% terhadap berat semen yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen.

3.5 Pemeriksaan Material

3.5.1 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Kadar air agregat halus merupakan perbandingan dari berat air yang terdapat dalam agregat halus dengan agregat halus pada kondisi kering. Jumlah air yang terkandung dalam agregat halus perlu untuk diketahui karena akan mempengaruhi kebutuhan air yang digunakan pada campuran beton. Agregat halus yang jenuh (mengandung banyak air) akan membuat nilai *slump* pada campuran beton semakin besar (Van Gobel, 2019).

Tujuan dari pemeriksaan kadar air agregat halus adalah untuk mengetahui persentase kadar air yang terkandung dalam agregat halus. Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan kadar air agregat halus berdasarkan SNI 1971:2011 yaitu:

1. Timbang agregat halus dalam keadaan lapangan sebanyak 500 gram (W1)
2. Masukkan agregat halus ke dalam oven dengan suhu $100 \pm 5^\circ \text{C}$
3. Timbang berat agregat halus dalam keadaan kering oven (W2)

Rumus mencari kadar air agregat halus:

$$\text{Kadar air} = \frac{W1-W2}{W2} \times 100\%$$

Dengan:

W1 = Berat agregat halussebelum dioven (gr)

W2 = Berat agregat halus kering oven (gr)

Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

	Berat benda uji (gram)
Berat benda uji mula-mula	1000
Berat benda uji kering oven	991,7
Kadar air	0,84%

Kadar air yang terkandung dalam agregat halus adalah 0,84%.

3.5.2 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Kadar air agregat kasar merupakan perbandingan dari berat air yang terdapat dalam agregat kasar dengan agregat kasar pada kondisi kering. Jumlah air yang terkandung dalam agregat kasar perlu untuk diketahui karena akan mempengaruhi kebutuhan air yang digunakan pada campuran beton. Agregat kasar yang jenuh (mengandung banyak air) akan membuat nilai *slump* pada campuran beton semakin besar (Van Gobel, 2019).

Tujuan dari pemeriksaan kadar air agregat kasar adalah untuk mengetahui persentase kadar air yang terkandung dalam agregat kasar. Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan kadar air agregat kasar sama dengan yang digunakan dalam prosedur pelaksanaan untuk mencari kadar air agregat halus yaitu berdasarkan SNI 1971:2011. Hasil pemeriksaan kadar air agregat kasar didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

	Berat sampel (gram)
Berat benda uji mula-mula	3000
Berat benda uji kering oven	2959
Kadar air	1,39%

Kadar air yang terkandung dalam agregat kasar adalah 1,39%.

3.5.3 Pemeriksaan Kadar Air Limbah Genteng Keramik dan Abu Ketel

Kadar air pada bahan substitusi penyusun beton juga perlu untuk dilakukan pemeriksaan karena kadar air yang terkandung akan memengaruhi nilai *slump* pada campuran beton.

Prosedur pelaksanaan dalam pemeriksaan kadar air pada limbah genteng keramik dan abu ketel dilakukan dengan prosedur yang sama dengan pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar yang berdasar kepada SNI 1971:2011. Hasil pemeriksaan kadar air limbah genteng keramik dan abu ketel didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Limbah Genteng

	Berat sampel (gram)
Berat benda uji mula-mula	1000
Berat benda uji kering oven	856
Kadar air	16,82%

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Abu Ketel

	Berat sampel (gram)
Berat benda uji mula-mula	1000
Berat benda uji kering oven	778
Kadar air	28,53%

Kadar air yang terkandung dalam limbah genteng keramik adalah 16,82% dan kadar air yang terkandung dalam abu ketel adalah 28,53%.

3.5.4 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tujuan dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah untuk menentukan berat jenis pada agregat halus untuk kondisi SSD (*Surface Saturated Dry*) dan untuk kondisi kering. Nilai ini diperlukan untuk menetapkan besar komposisi volume agregat halus

dalam adukan beton. Pemeriksaan ini akan didapatkan nilai berat jenis kering, semu, SSD, dan persentase absorpsi.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus berdasarkan SNI 1970:2008. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Data hasil pengujian (gram)		
Benda Uji Kondisi SSD (S)		500
Benda Uji Kering (A)		487,8
Piknometer + Air (B)		680,0
Piknometer + Air + Benda Uji (C)		979,0
Pengujian	Rumus	Hasil perhitungan
Berat Jenis Kering	$\frac{A}{(B+S-C)}$	2,43
Berat Jenis SSD	$\frac{S}{(B+S-C)}$	2,49
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{(B+A-C)}$	2,58
Absorpsi (%)	$\frac{(S-A) \times 100}{A}$	2,50

Pemeriksaan berat jenis agregat halus untuk kondisi SSD didapatkan hasil 2,49 dan persentase absorpsi sebesar 2,50%.

3.5.5 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tujuan dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah untuk menentukan berat jenis pada agregat kasar untuk kondisi SSD dan untuk kondisi kering. Nilai ini diperlukan untuk menetapkan besar komposisi volume agregat kasar dalam adukan beton.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan SNI 1969:2008. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Data hasil pengujian (gram)		
Benda Uji Kondisi SSD (A)		7000
Benda Uji Kondisi Jenuh (B)		4390
Benda Uji Kondisi Kering (C)		6870
Pengujian	Rumus	Hasil perhitungan
Berat Jenis Kering	$\frac{C}{A-B}$	2,63
Berat Jenis SSD	$\frac{A}{A-B}$	2,68
Berat Jenis Semu	$\frac{C}{C-B}$	2,77
Absorpsi (%)	$\frac{(A-C) \times 100}{C}$	1,89

Pemeriksaan berat jenis agregat kasar untuk kondisi SSD didapatkan hasil 2,68 dan persentase absorpsi sebesar 1,89%.

3.5.6 Pemeriksaan Berat Jenis Semen

Tujuan dari pemeriksaan berat jenis semen adalah untuk menentukan berat jenis semen dengan perbandingan antara berat volume kering semen dengan berat volume air.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan berat jenis semen berdasarkan SNI 2531:2015. Hasil pemeriksaan berat jenis semen didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Semen

Data hasil pengujian		
Berat semen (W)		64 gr
Berat isi air pada suhu 4°C (d)		1 gr
Pembacaan pertama pada skala botol (V1)		0,4 ml
Pembacaan kedua pada skala botol (V2)		21,5 ml
Pengujian	Rumus	Hasil perhitungan
Berat Jenis Semen	$\frac{\text{berat semen} / (V2-V1)}{d}$	3,03

Pemeriksaan untuk berat jenis semen berdasarkan dengan SNI 2531:2015 didapatkan hasil 3,03 untuk berat jenis semen.

3.5.7 Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

Gradasi pada agregat halus akan memengaruhi kekuatan pada campuran beton. Agregat dengan gradasi yang jelek mengakibatkan terbentuknya ruang-ruang kosong yang tidak terisi oleh material lain (Hutagalung, 2022).

Pemeriksaan gradasi pada agregat halus bertujuan untuk menentukan susunan pembagian butir (gradasi) dari agregat halus dan menghitung modulus kehalusannya (*Fineness Modulus*). Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan gradasi agregat halus berdasarkan *ASTM C 33-03*. Batasan gradasi berdasarkan standar *ASTM C 33-03* pada agregat halus dijelaskan pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Batasan Gradasi Agregat Halus

Diameter saringan (mm)	% Berat yang Lolos
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,60	25-60
0,30	5-30
0,15	0-10

(Sumber: *ASTM C 33-03*)

Nilai *Fineness Modulus* dapat dicari dengan rumus:

$$Fineness\ Modulus = \frac{\sum \%Tertahan\ Kumulatif}{100}$$

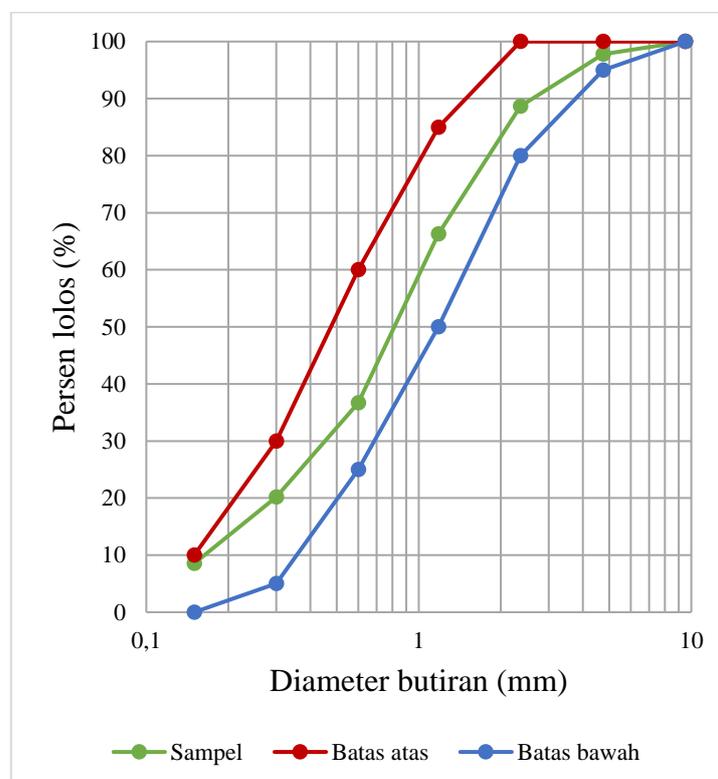
Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Halus

Diameter saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	% berat tertahan	Kumulatif tertahan (gram)	% kumulatif tertahan	% lolos
9,5	0	0	0	0	100
4,75	22,2	2,22	22,2	2,22	97,78
2,36	91,4	9,14	113,6	11,36	88,64
1,18	223,4	22,34	337	33,7	66,3
0,6	296,2	29,62	633,2	63,32	36,68
0,3	164,8	16,48	798	79,8	20,2
0,15	116,5	11,65	914,5	91,45	8,55
pan	85,5	8,55	1000		0
Jumlah	1000			281,85	

$$\text{Fineness Modulus} = \frac{281,85}{100} = 2,82$$

Hasil percobaan diperoleh nilai *Fineness Modulus* (FM) sebesar 2,82. Nilai tersebut memenuhi standar ASTM C 33-03 untuk agregat halus yang berkisar antara 2,3-3,1. Sehingga agregat halus tersebut baik untuk campuran beton. Gambar 2 menjelaskan kondisi persentase lolos agregat halus terhadap batas atas dan batas bawah yang ditentukan oleh *ASTM C 33-03*.



Gambar 2. Gradasi agregat halus.

3.5.8 Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar

Gradasi pada agregat kasar akan memengaruhi kekuatan pada campuran beton. Agregat dengan gradasi yang jelek mengakibatkan terbentuknya ruang-ruang kosong yang tidak terisi oleh material lain.

Pemeriksaan gradasi pada agregat kasar bertujuan untuk menentukan susunan pembagian butir (gradasi) dari agregat kasar dan menghitung modulus kehalusannya (*Fineness Modulus*). Prosedur pelaksanaan yang digunakan pada pemeriksaan gradasi agregat kasar berdasarkan *ASTM C 33-03*. Batasan gradasi berdasarkan standar *ASTM C 33-03* pada agregat kasar dijelaskan pada Tabel 15 berikut.

Tabel 15. Batasan Gradasi Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)	Persen lolos (%)
25,0	100
19,0	90-100
12,5	20-55
9,5	0-15
4,75	0-5

(Sumber: *ASTM C 33-03*)

Nilai *Fineness Modulus* dapat dicari dengan rumus:

$$Fineness\ Modulus = \frac{\sum \%Tertahan\ Kumulatif}{100}$$

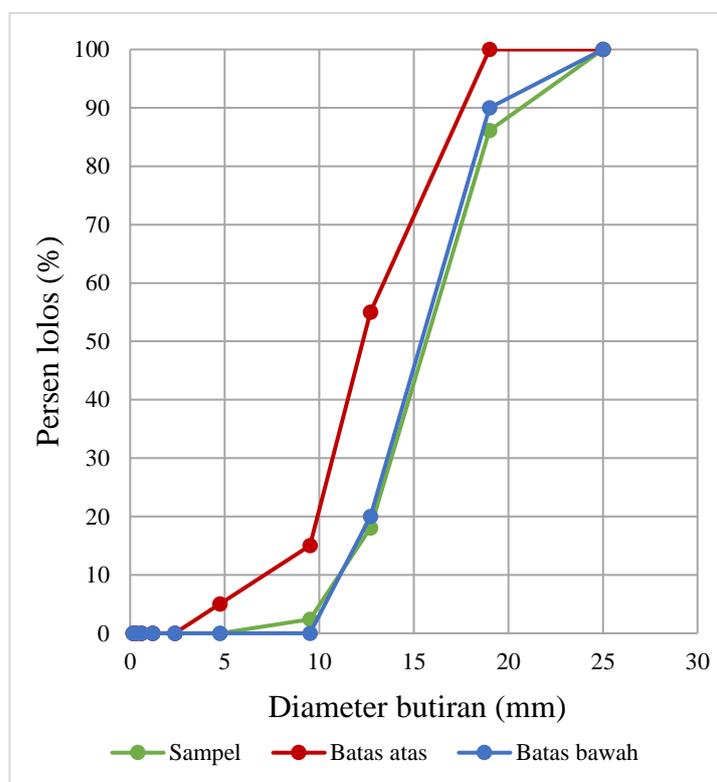
Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar didapat hasil yang dijelaskan pada Tabel 16 berikut.

Tabel 16. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Kasar

Diameter saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	% berat tertahan	Kumulatif tertahan (gram)	% kumulatif tertahan	% lolos
25	0	0	0	0	100
19	694	13,88	694	13,88	86,12
12,5	3404	68,08	4098	81,96	18,04
9,5	782	15,64	4880	97,6	2,4
4,75	120	2,4	5000	100	0
2,36	0	0	5000	100	0
1,18	0	0	5000	100	0
0,6	0	0	5000	100	0
0,3	0	0	5000	100	0
0,15	0	0	5000	100	0
pan	0	0	5000		0
Jumlah	5000			793,44	

$$Fineness\ Modulus = \frac{793,44}{100} = 7,93$$

Hasil percobaan diperoleh nilai *Fineness Modulus* (FM) sebesar 7,93. Gambar 3 menjelaskan kondisi persentase lolos agregat kasar terhadap batas atas dan batas bawah yang ditentukan oleh *ASTM C 33-03*.



Gambar 3. Gradasi agregat kasar.

3.5.9 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus menentukan kelayakan agregat halus berdasarkan kadar lumpur yang dikandungnya. SK SNI S-04-1989-F mensyaratkan dimana untuk agregat halus kadar lumpur maksimum adalah 5%.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan dalam pengujian kadar lumpur agregat halus berdasarkan *ASTM C 117-03*.

Persentase kadar lumpur dapat dihitung dengan cara:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{W1-W2}{W2} \times 100\%$$

Dengan:

W1 = Berat agregat halus sebelum dioven (gr)

W2 = Berat agregat halus kering oven (gr)

Persiapan pengujian kadar lumpur adalah dengan menimbang berat contoh agregat kering minimum sesuai dengan persyaratan pada *ASTM C 117-03* yang dijelaskan pada Tabel 17 berikut.

Tabel 17. Berat Minimum Agregat

Ukuran saringan (mm)	Berat minimum (gr)
≤ 4,75 mm	300
9,5 mm	1000
19,0 mm	2500
37,5 mm	5000

(Sumber: *ASTM C 117-03*)

Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus didapat hasil seperti yang dijelaskan pada Tabel 18 berikut.

Tabel 18. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

		Berat benda uji (gram)
Berat benda uji mula-mula	(W1)	1000
Berat benda uji tertahan saringan no.200	(W2)	962,7
Kadar Lumpur	$\frac{W1-W2}{W2} \times 100\%$	3,73%

Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus didapatkan hasil 3,73% dimana agregat halus tersebut baik digunakan sebagai campuran beton karena memenuhi persyaratan $< 5\%$.

3.5.10 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar menentukan kelayakan agregat kasar berdasarkan kadar lumpur yang dikandungnya. SK SNI S-04-1989-F mensyaratkan dimana untuk agregat kasar kadar lumpur maksimum adalah 1%.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan dalam pengujian kadar lumpur agregat kasar sama dengan prosedur pengujian pada agregat halus yaitu berdasarkan *ASTM C 117-03*. Persiapan pengujian kadar lumpur adalah dengan meninmbang berat contoh agregat kering minimum sesuai dengan persyaratan pada *ASTM C 117-03* yang dijelaskan pada Tabel 19 berikut.

Tabel 19. Berat Minimum Agregat

Ukuran saringan (mm)	Berat mininum (gr)
$\leq 4,75$ mm	300
9,5 mm	1000
19,0 mm	2500
37,5 mm	5000

(Sumber: *ASTM C 117-03*)

Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar didapat hasil seperti yang dijelaskan pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

		Berat benda uji (gram)
Berat benda uji mula-mula	(W1)	2000
Berat benda uji tertahan saringan no.200	(W2)	1991
Kadar Lumpur	$\frac{W1-W2}{W2} \times 100\%$	0,45%

Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar didapatkan hasil 0,45% dimana agregat kasar tersebut baik digunakan sebagai campuran beton karena memenuhi persyaratan $< 1\%$.

3.5.11 Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus

Pemeriksaan berat volume agregat halus bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat material kering dengan volumenya.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan dalam pengujian berat volume agregat halus berdasarkan SNI 03-4804-1998. Hasil pemeriksaan berat volume agregat halus didapatkan hasil yang dijelaskan dalam Tabel 21 berikut.

Tabel 21. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus

		Berat benda uji (kg)
Bejana silinder 5L	(B1)	3,53
Agregat halus kondisi gembur dalam bejana	(B2)	10,095
Agregat halus kondisi padat dalam bejana	(B3)	11,195
Volume bejana	(V)	0,005 m ³
Berat volume agregat halus gembur	$\frac{B2-B1}{V}$	1313 kg/m ³
Berat volume agregat halus padat	$\frac{B3-B1}{V}$	1533 kg/m ³

Hasil pemeriksaan berat volume agregat halus didapatkan berat volume agregat halus gembur sebesar 1313 kg/m³ dan berat volume agregat halus padat sebesar 1533 kg/m³

3.5.12 Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar

Pemeriksaan berat volume agregat kasar bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat material kering dengan volumenya.

Prosedur pelaksanaan yang digunakan dalam pengujian berat volume agregat kasar berdasarkan SNI 03-4804-1998. Hasil pemeriksaan berat volume agregat kasar didapatkan hasil yang dijelaskan dalam Tabel 22 berikut.

Tabel 22. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat kasar

		Berat benda uji (kg)
Bejana silinder 10L	(B1)	3,85
Agregat kasar kondisi gembur dalam bejana	(B2)	17,690
Agregat kasar kondisi padat dalam bejana	(B3)	18,775
Volume bejana	(V)	0,01 m ³
Berat volume agregat kasar gembur	$\frac{B2-B1}{V}$	1384 kg/m ³
Berat volume agregat kasar padar	$\frac{B3-B1}{V}$	1492,5 kg/m ³

Hasil pemeriksaan berat volume agregat kasar didapatkan berat volume agregat kasar gembur sebesar 1384 kg/m³ dan berat volume agregat kasar padat sebesar 1492,5 kg/m³

3.5.13 Los Angeles Test

Los angeles test bertujuan untuk mengetahui ketahanan aus agregat kasar dan limbah genteng dengan menggunakan mesin *los angeles*. Prosedur pelaksanaan yang dalam pengujian *los angeles* berdasarkan SNI 2417:2008. Persiapan bahan untuk pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan berdasarkan SNI 2417:2008 dijelaskan pada Tabel 23 berikut.

Tabel 23. Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji

Ukuran saringan		Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan mm	Tertahan saringan mm	A	B	C	D	E	F	G
75	63	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	50	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	37,5	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37,5	25	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
25	19	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19	12,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	9,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	6,3	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	4,75	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	2,36	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah bola		12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)		5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

(Sumber: SNI 2417:2008)

Hasil pemeriksaan ketahanan agregat kasar dan limbah genteng terhadap keausan didapatkan hasil yang dijelaskan dalam Tabel 24 dan Tabel 25 berikut.

Tabel 24. Hasil Pemeriksaan *Los Angeles Test* Agregat Kasar

	Berat Benda Uji (gram)	
Berat benda uji setelah dioven	(A)	5000
Berat benda uji setelah 100 putaran	(B)	4807
Berat benda uji setelah 500 putaran	(C)	4141
Keausan (putaran 100 kali)	$\frac{A-B}{A} \times 100 \%$	3,86%
Keausan (putaran 500 kali)	$\frac{A-C}{A} \times 100 \%$	17,18%

Tabel 25. Hasil Pemeriksaan *Los Angeles Test* Limbah Genteng

	Berat Benda Uji (gram)	
Berat benda uji setelah dioven	(A)	5000
Berat benda uji setelah 100 putaran	(B)	3880
Berat benda uji setelah 500 putaran	(C)	1360
Keausan (putaran 100 kali)	$\frac{A-B}{A} \times 100 \%$	22,4%
Keausan (putaran 500 kali)	$\frac{A-C}{A} \times 100 \%$	72,8%

Hasil pemeriksaan *los angeles test* didapatkan persentase keausan agregat kasar saat putaran ke 100 sebesar 3,86% dan saat putara ke 500 sebesar 17,18%. Persentase keausan limbah genteng saat putaran ke 100 sebesar 22,4% dan saat putaran ke 500 sebesar 72,8%

3.6 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini benda uji yang akan dibuat adalah benda uji dengan bentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm yang akan digunakan untuk pengujian kuat tekan. Terdapat 3 kategori benda uji yaitu benda uji yang tidak menggunakan substitusi kedua material, benda uji yang hanya menggunakan satu material substitusi saja yaitu limbah dan benda uji yang menggunakan kombinasi bahan substitusi material keduanya yang akan diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28. Data dari jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 26 berikut.

Tabel 26. Komposisi dan Kode Benda Uji

No	Kode benda uji	Komposisi campuran		Jumlah sampel
		Limbah genteng keramik (%)	Abu ketel (%)	
1	BN	-	-	12 sampel
2	G5	5	-	3 sampel
3	G10	10	-	3 sampel
4	G15	15	-	3 sampel
5	G20	20	-	3 sampel
6	AKG5	5	5	12 sampel
7	AKG10	10	5	12 sampel
8	AKG15	15	5	12 sampel
9	AKG20	20	5	12 sampel
			Total	72 sampel

Keterangan:

BN = Beton Normal

G5= Beton dengan campuran 5% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar.

G10 = Beton dengan campuran 10% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar.

G15 = Beton dengan campuran 15% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar.

G20 = Beton dengan campuran 20% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar.

- AKG5 = Beton dengan campuran 5% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 5% abu ketel dari berat semen.
- AKG10 = Beton dengan campuran 10% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 5% abu ketel dari berat semen.
- AKG15 = Beton dengan campuran 15% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 5% abu ketel dari berat semen.
- AKG20 = Beton dengan campuran 20% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 5% abu ketel dari berat semen.

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pembuatan sampel benda uji adalah seperti berikut:

1. Pada pembuatan sampel benda uji dilakukan pengecoran yang dimulai dengan memasukkan agregat kasar dan agregat halus terlebih dahulu ke dalam *concrete mixer* dan tunggu hingga agregat kasar dan agregat halus tercampur merata.
2. Jika agregat halus dan agregat kasar telah tercampur merata maka langkah selanjutnya adalah memasukkan semen untuk beton normal (Nomor 1), semen dan limbah genteng untuk (nomor 2-5), dan semen, abu ketel dan limbah genteng (nomor 6-9).
3. Setelah agregat halus, agregat kasar, semen, dan masing masing jenis campuran sudah tercampur merata maka selanjutnya memasukkan air secara bertahap.
4. Setelah seluruh campuran sudah masuk ke dalam *concrete mixer* dan campuran sudah merata maka selanjutnya campuran beton dituangkan dalam *mold* (cetakan benda uji) sembari dilakukan proses penghilangan rongga udara beton menggunakan *vibrator* dan sebagian adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut abrams untuk dilakukan *slump test*.

3.7 Pengujian *Workability* Beton Segar

Pada saat sebelum beton segar dimasukkan ke dalam mold untuk dicetak, beton segar harus diuji terlebih dahulu *workability*nya dengan menggunakan *slump* test. Berdasarkan SNI 1972:2008, tahapan pada pelaksanaan pengujian *slump* adalah sebagai berikut:

1. Kerucut abrams dibersihkan terlebih dahulu dengan air baik pada bagian dalamnya maupun bagian luarnya
2. Kerucut abrams yang telah dibersihkan diletakkan di atas pelat baja dengan ukuran 900 mm x 900 mm.
3. Setelah diletakkan di atas pelat baja, kerucut abrams dipegang pada bagian kakinya dengan kuat agar tidak terjadi pergeseran saat adukan beton dimasukkan ke dalamnya.
4. Adukan beton yang segar dimasukkan ke dalam kerucut abrams dengan ketinggian 1/3 dari kerucut abrams lalu ditumbuk dengan tongkat penumbuk sebanyak 25 kali.
5. Lakukan hal yang sama setiap penambahan ketinggian 1/3 dari ketinggian kerucut abrams.
6. Ratakan permukaan adonan pada bagian atas kerucut abrams dengan menggunakan sendok semen.
7. Kemudian kerucut abrams diangkat perlahan-lahan secara tegak lurus ke atas.
8. Ukur penurunan adonan beton dari tinggi mula-mula, dengan mengurangi tinggi kerucut abrams dengan tinggi adonan sekarang. Hasil pengurangan tersebut disebut nilai *slump*.

3.8 Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji yang telah didiamkan selama 24 jam selanjutnya dikeluarkan dari *mold* dan direndam di dalam bak berisi air selama 1, 5, 12, dan 26 hari. Proses ini dilakukan untuk menjamin proses hidrasi dapat terlaksana dengan baik sehingga proses pengerasan dapat terjadi dengan sempurna dan tidak terjadi

keretakan saat beton sudah mengering. Proses ini juga berguna untuk menjaga mutu beton yang telah direncanakan. Setelah sampel uji dikeluarkan dari bak berisi air, sampel uji didiamkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.

3.9 Pengujian Benda Uji Menggunakan CTM

Sampel beton yang telah selesai dilakukan *curing*, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan dengan benda uji berbentuk kubus. Kuat tekan beton adalah kekuatan tekan beton yang merujuk pada kapasitas beton untuk menahan gaya tekan tertentu (yang diterapkan oleh mesin pengujian) dengan beban per satuan area sampai mencapai titik kegagalan (SNI 03-1974-1990). Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan *compression testing machine* (CTM) yang memiliki kapasitas maksimal sebesar 3000 kN dengan kecepatan pembebanan sebesar 0,14-0,34 MPa/detik. Rumus yang dapat dipakai pada kuat tekan beton adalah:

$$f'_c = P/A$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm.

3.10 Perhitungan dan Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian pada sampel beton, maka dapat dilakukan perhitungan dan analisis data sebagai berikut:

1. Menghitung kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan umur beton 3, 7, 14, dan 28 hari pada beton normal dan beton dengan bahan pengganti untuk melihat pengaruhnya terhadap peningkatan kuat tekan beton terhadap umur beton.
2. Menghitung kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan umur beton 3, 7, 14, dan 28 hari untuk melihat kuat tekan beton.
3. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dibuat grafik perbandingan peningkatan kuat tekan beton terhadap umur beton antara beton tanpa bahan pengganti dengan beton yang bahan pengganti dengan kadar persentase tertentu yang kemudian dilakukan analisis data.
4. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dibuat diagram batang perbandingan kuat tekan antara beton tanpa bahan pengganti dengan beton yang menggunakan kombinasi bahan pengganti yang kemudian dilakukan analisis data.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan data hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Substitusi sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik tanpa abu ketel tidak merubah nilai *slump* yang dimiliki oleh campuran beton. Ketika dilakukan substitusi pada sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik dan sebagian semen dengan abu ketel terjadi penurunan nilai *slump* yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan permukaan abu ketel yang tidak rata dan penyerapannya yang tinggi.
2. Kekuatan beton yang menggunakan limbah genteng sebagai substitusi sebagian agregat kasar tanpa abu ketel mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan beton normal. Kekuatan terbesar pada beton yang menggunakan substitusi sebagian agregat kasar dengan limbah genteng tanpa abu ketel terdapat pada beton dengan kode G5 (substitusi 5% agregat kasar dengan limbah genteng) sebesar 34,86 MPa. Sedangkan kuat tekan terkecil terdapat pada beton dengan kode G20 (substitusi 20% agregat kasar dengan limbah genteng) sebesar 27,66 MPa.
3. Kekuatan beton yang berkurang akibat substitusi agregat kasar dengan limbah genteng keramik mengalami kenaikan yang signifikan setelah dilakukan substitusi sebagian semen dengan abu ketel. Kuat tekan terbesar terdapat pada benda uji dengan kode AKG5 (beton dengan substitusi genteng 5% dan abu ketel 5%) sebesar 37,45 MPa. Sedangkan kuat tekan terkecil terdapat pada benda uji dengan kode AKG20 (beton dengan substitusi genteng 20% dan abu ketel 5%) sebesar 29,63 MPa.

4. Laju peningkatan kuat tekan beton dengan campuran bahan substitusi baik hanya menggunakan limbah genteng atau menggunakan limbah genteng dan abu ketel tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Semua kode benda uji mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Begitupun dengan persentase kuat tekan beton, semua kode benda uji memiliki tren yang menyerupai dengan persentase peningkatan kuat tekan beton pada PBI 1971.

5.2 Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini, maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk melengkapi dan menyempurnakan serta mengembangkan penelitian ini. Saran yang dapat diberikan penulis adalah:

1. Dalam proses pemeriksaan kadar air pada bahan pengganti, sesuaikan ukuran nominal maksimum agregat dengan ketentuan massa minimum benda uji agregat normal.
2. Sebaiknya benda uji yang telah dicetak segera dilakukan proses curing agar tidak terjadi lonjakan kekuatan beton pada hari-hari awal akibat dari kenaikan suhu yang terjadi.
3. Pada penelitian selanjutnya dalam penggunaan abu ketel dan limbah genteng disarankan untuk menggunakan variasi pada substitusi limbah genteng yang lebih banyak sehingga bisa didapatkan beton dengan berat yang ringan namun memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding beton ringan tanpa substitusi abu ketel.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 117-03. (2023). *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 33-03. (2010). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- Emda, F. A., Safriani, M., & Farizal, T. (2023). *Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Campuran Abu Boiler Pada Proyek Jembatan di PT. Socfindo Kebun Seunagan*. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 7(1), 132-137.
- Ginting, A. (2011). *Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur pada Berbagai Umur Beton*. Jurnal Teknik Sipil, 7(2), 112
- Hamdi, F., Lopian, F. E. P., Tumpu, M., Mabui, D. S. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., & Rangan, P. R. (2022). *Teknologi Beton*. Tohar Media.
- Hutagalung, E. P. (2022). *Pengaruh Penambahan Serat Serabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton*.
- Irawati, A., & Prihatiningsih, A. (2018). *Penggunaan White Portland Cement Dan Portland Composite Cement Terhadap Kekuatan Tanah Ekspansif Dengan Unconfined Compression Test*. JMITS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 39-47.
- Irianti, L., & Purwanto, E. (2009). *PENGGUNAAN ACCELERATOR PADA BETON ABU KETEL SEBAGAI UPAYA MEMPERCEPAT LAJU Pengerasan (The use of accelerator in Kettle-ash concrete as the effort of hardening accelerate)*. Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung, 13(1), 50-57.
- Irianti, L., Freddi, & Virmasyah. (1998). *Pengaruh Kadar Abu Ketel Terhadap Perilaku Beton Mutu Tinggi*. Laporan Penelitian. Lampung: LPIU DUE Universitas Lampung
- Kandi, Y. S., Ramang, R., & Cornelis, R. (2012). *Substitusi Agregat Halus Beton Menggunakan Kapur Alam dan Menggunakan Pasir Laut pada Campuran Beton*. Jurnal Teknik Sipil, 1(4), 74-86.

- Kelin, E., Mara, J., & Sandy, D. (2023). *Pengaruh Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen dan Agregat Sungai Pada Beton*. Paulus Civil Engineering Journal, 5(1), 76-84.
- Mulyadi, A., & Rozi, F. (2018). *Pengaruh Limbah Pecahan Genteng Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Mutu Beton 16, 9 MPa (K. 200)*. Jurnal Teknil Sipil, 7(13), 4-11.
- Murdock, L.J, Brook, K.M. (1986). *Bahan dan Praktek Beton, Edisi Ke-4*. Jakarta: Erlangga
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology Second Edition*. England: Pearson
- Panennungi, T., & Pertiwi, N. (2018). *Ilmu bahan Bangunan*. Malang: Badan Penerbit UNM.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. (1971). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
- Pithaloka, E. I. (2021). *Pengaruh Penggantian Sebagian Agregat Kasar Dengan Limbah Genteng Keramik Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Dan Absorpsi Pada Beton Bersilica Fume*. Universitas Islam Yogyakarta
- Pradana, T., Olivia, M., & Sitompul, R.I. (2016). *Kuat Tekan dan Porositas Beton Semen OPC, PCC, dan OPC POFA di Lingkungan Gambut*. JORN FTEKNIK, 3, 1–10.
- Rahman, F., Hidayat, G., & Bertiani, N. (2020). *Studi Pemanfaatan Abu Terbang Limbah Hasil Pembakaran Campuran Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton Normal di Lahan basah*. INFO-TEKNIK, 21(2), 227-242.
- Reza, M., Karolina, R., & Tarigan, J. (2014). *Pengaruh Limbah Abu Boiler Dan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Dalam Campuran Beton*. Universitas Sumatera Utara.
- SK SNI S-04-1989-F. (1998). *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 0302-2004. (2004). *Semen portland pozolan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1974-1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2095-1998. (1998). *Genteng Keramik*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2461-1991. (1991). *Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4804-1998. (1998). *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6820-2002. (2002). *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-7064-2004. (2004). *Semen Portland Komposit*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1969:2008. (2008). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1970:2008. (2008). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1972:2008. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1972:2011. (2011). *Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2417-2008. (2008). *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2531:2015. (2015). *Metode uji densitas semen hidraulis*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2847:2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7656-2012. (2012). *Tata cara pemilihan campuran beton normal, beton berat dan beton massa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Soemantoro, M., Zuraidah, S., & Nosen, R. (2017). *Pemanfaatan limbah genteng sebagai bahan alternatif agregat kasar pada beton*. Jurnal Teknik Sipil Unitomo, 1(1).
- Suryanto, R. F. (2014). *Pengaruh Penambahan Fly Ash atau Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton dan Setting Time Pada Semen*. Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents, cm, 34–54.
- Tjokrodinuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, UGM Pres, Yogyakarta.

Van Gobel, F. M. (2019). Nilai kuat tekan beton pada slump beton tertentu. *Radial*, 5(1), 22-33.

Wariyatno, N. G., & Haryanto, Y. (2013). *Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Sebagai Nilai Estimasi Kekuatan Sisa Pada Beton Serat Kasa Aluminium akibat Variasi Suhu*. *Dinamika Rekayasa*, 9(1), 21-28.