

## Pengaruh Substitusi Bahan Penyusun Beton Menggunakan Abu Ketel dan Limbah Genteng Terhadap Kuat Tekan Beton

Azka Muhammad Safari<sup>1)</sup>, Laksmi Irianti<sup>2)</sup>, Masdar Helmi<sup>3)</sup>, Hasti Riakara Husni<sup>4)</sup>

<sup>1, 2, 3, 4)</sup> Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung

Email: [azka12.ams@gmail.com](mailto:azka12.ams@gmail.com)<sup>1)</sup>, [laksmi@eng.unila.ac.id](mailto:laksmi@eng.unila.ac.id)<sup>2)</sup>,  
[masdar.helmi@eng.unila.ac.id](mailto:masdar.helmi@eng.unila.ac.id)<sup>3)</sup>, [hasti.riakara@eng.unila.ac.id](mailto:hasti.riakara@eng.unila.ac.id)<sup>4)</sup>,

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i1.1198>

(Received: 20 September 2024 / Revised: 03 December 2024 / Accepted: 06 January 2025)

### Abstrak

Hasil dari pembakaran limbah kelapa sawit menghasilkan abu ketel yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan. Limbah genteng juga dimanfaatkan sebagai substitusi dari agregat kasar. Pembuatan benda uji kubus 15cm x 15cm x 15cm 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, limbah genteng, kuat tekan*

### Abstract

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, tile waste, compressive strength*

### 1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi diiringi dengan meningkatnya kebutuhan akan sarana dan prasarana yang memadai, oleh karena itu berbagai inovasi telah dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan teknologi konstruksi yang tidak hanya efektif, aman dan ekonomis, tetapi juga mampu mengatasi ketersediaan bahan baku dari alam dan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan selama proses produksi. Limbah produksi dapat dimanfaatkan kembali dalam proses pembuatan beton

dengan cara mensubstitusi sebagian atau seluruh bahan penyusun beton. Beberapa bahan yang dapat disubstitusi antara lain semen dan agregat kasar.

Semen yang berfungsi sebagai perekat dapat digantikan dengan bahan yang mengandung silika yang disebut dengan bahan pozzolan (Nagroekienė et al, 2024). Limbah pembakaran kelapa sawit, atau yang biasa disebut dengan abu ketel, memiliki kandungan silika yang memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan pozzolan (Kelin dkk, 2023). Perkebunan dan pabrik kelapa sawit di Indonesia mengalami pertumbuhan yang cukup signifikan, sehingga menghasilkan limbah yang cukup banyak. Abu ketel dari limbah pembakaran kelapa sawit belum banyak dimanfaatkan, sehingga berkontribusi terhadap berbagai masalah lingkungan. Abu ketel mengandung  $\text{SiO}_2$  yang berpotensi untuk digunakan sebagai komposit geopolimer. Komposisi senyawa  $\text{SiO}_2$  dalam abu ketel adalah sekitar 45,5-49,2% (Bukit et al, 2022). Kandungan silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup besar pada abu ketel sangat penting dalam pembentukan kalsium silikat hidrat (CSH). CSH kemudian berfungsi sebagai perekat antara pengikat beton dan agregat dengan cara menggandung dan secara efisien meningkatkan dan memadatkan matriks beton (Althoey et al, 2023).

Limbah genteng dapat diubah menjadi pengganti agregat kasar. Sifat-sifat limbah genteng memiliki kemiripan dengan sifat-sifat pada agregat kasar. Diperkirakan sekitar 30% dari produksi harian industri keramik terbuang sia-sia (Subedi et al, 2020). Saat ini, belum banyak pengolahan terhadap limbah genteng. Namun, dengan limbah genteng yang bersifat tahan lama, keras dan tahan terhadap kekuatan degradasi biologis, kimiawi dan fisik, limbah genteng yang didaur ulang juga dapat digunakan sebagai berbagai bentuk agregat (Soomrso et al, 2021).

Berdasarkan hal-hal yang melatarbelakangi penelitian ini, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh substitusi abu ketel dan limbah genteng pada beton terhadap kuat tekan beton.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung. Bahan abu ketel diperoleh dari PT Perkebunan Nusantara (PTPN 7), sedangkan limbah genteng diperoleh dari pabrik keramik SJG di Bandar Lampung. Material yang digunakan dalam penelitian ini harus memenuhi ketentuan standar yang diatur dalam standar nasional untuk masing-masing material yang akan digunakan untuk mengetahui kebutuhan campuran pada bahan penyusun beton (*mix design*). Perhitungan *mix design* beton mutu normal mengacu pada SNI 7656:2012. Bahan yang telah memenuhi persyaratan kemudian dibentuk menjadi benda uji setelah melalui proses pengecoran yang pada akhirnya dilakukan uji kuat tekan untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton menggunakan substitusi dengan kuat tekan beton normal.

Penelitian ini menyelidiki penggunaan abu ketel sebagai pengganti sebagian semen, dengan fokus pada kandungan abu ketel sebesar 5% dari berat semen (Hidayatullah dkk., 2024). Selain itu, penelitian ini juga mengkaji potensi limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar, dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat kasar (Mulyadi dan Rozi, 2019). Variasi kandungan pada abu ketel dan limbah genteng berdasarkan kepada kesimpulan penelitian terdahulu di mana kadar optimum abu ketel adalah 5% dan semakin besar substitusi limbah genteng semakin kecil kuat tekannya. Benda uji beton berbentuk

kubus dengan dimensi 150mm x 150mm x 150mm yang akan diuji kuat tekannya pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Hal ini memungkinkan untuk mengamati pengaruh kedua bahan tersebut terhadap peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton dan kuat tekan beton.

## 2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini akan menjalani serangkaian pengujian untuk memastikan kesesuaiannya untuk digunakan dalam *mix design*. Pengujian ini meliputi:

1. Pemeriksaan kadar air dilakukan untuk agregat halus dan agregat kasar yang prosedurnya diatur dalam SNI 1971:2011.
2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan untuk agregat halus yang prosedurnya diatur dalam SNI 1970:2008, agregat kasar yang diatur dalam SNI 1969:2008, dan semen yang diatur dalam SNI 2531:2015.
3. Pemeriksaan gradasi untuk agregat halus dan kasar yang prosedur pemeriksaannya diatur dalam *ASTM C33-03*.
4. Pemeriksaan kadar lumpur untuk agregat halus dan kasar yang diatur dalam *ASTM C117-03*.
5. Pemeriksaan berat volume untuk agregat halus dan kasar yang diatur dalam SNI 03-4804-1998.
6. Pengujian Los Angeles untuk agregat kasar dan limbah genteng keramik yang diatur dalam SNI 2417:2008.

## 2.2 Sampel Benda Uji

Benda uji dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori. Kategori pertama, benda uji yang tidak menggunakan bahan substitusi apapun. Kategori kedua, benda uji menggunakan satu bahan substitusi yaitu limbah genteng dan kategori ketiga menggunakan kombinasi limbah genteng dan abu boiler sebagai bahan substitusi. Pembagian benda uji dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 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 5% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar.

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

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

G20 = Beton dengan 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.

### 2.3 Pengujian *Workability*

*Workability* adalah sifat campuran beton yang menentukan kemudahan pencampuran, pengangkutan, pencetakan, pemadatan, dan *finishing* beton. *Workability* dapat dilihat melalui hasil uji *slump*. Pengujian nilai *slump* dilaksanakan sesuai SNI 1972:2008.

### 2.4 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.

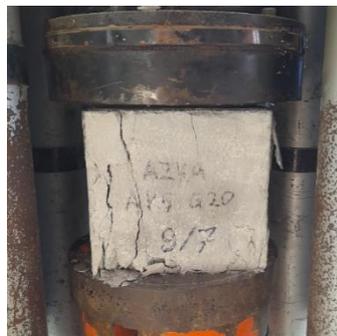
### 2.5 Pengujian Benda Uji Menggunakan CTM

Kuat tekan beton ditentukan dengan menguji 72 sampel benda uji kubus berukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm untuk diuji kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. 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:

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

Keterangan:

- $f'c$  = Kuat tekan beton (MPa)  
P = Gaya tekan maksimum (N)  
A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)



Gambar 1 Pengujian menggunakan CTM

Nilai  $f'_c$  pada perhitungan di atas merupakan nilai kuat tekan beton untuk benda uji silinder yang digunakan pada benda uji kubus, sehingga nilai kuat tekan perlu dikonversi kembali ke dalam kuat tekan benda uji silinder dengan mengalikan nilai  $f'_c$  dengan 0,83. Pengujian dengan CTM berdasarkan SNI 03-1974-1990 dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengujian Material

Material-material yang telah dilakukan pengujian sesuai ketentuan yang akan menghasilkan data hasil pengujian. Data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan material digunakan untuk menentukan kebutuhan campuran beton (*mix design*) yang akan digunakan untuk melakukan pekerjaan campuran beton sesuai dengan SNI 7656:2012. Adapun hasil dari beberapa pemeriksaan material tersebut dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pemeriksaan material penyusun beton

Jenis pengujian	Material	Nilai hasil pengujian	Standar pengujian
Kadar air	Agregat halus	0,84%	-
	Agregat kasar	1,39%	-
	Limbah genteng	16,82%	-
	Abu ketel	28,53%	-
Berat jenis SSD	Agregat halus	2,49	-
	Agregat kasar	2,68	-
	Semen	3,03	-
Modulus kehalusan	Agregat halus	2,82	2,3 – 3,1
	Agregat kasar	7,93	-
Kadar lumpur	Agregat halus	3,73%	< 5%
	Agregat kasar	0,45%	< 1%
Berat volume padat	Agregat halus	1533 kg/m <sup>3</sup>	-
	Agregat kasar	1492,5 kg/m <sup>3</sup>	-
Pengujian los angeles	Agregat kasar (100 putaran)	3,86%	-
	Agregat kasar (500 putaran)	17,18%	-
	Limbah genteng keramik (100 Putaran)	22,4%	-
	Limbah genteng keramik (500 Putaran)	72,8%	-

#### 3.2 Komposisi Material

Kebutuhan material dihitung sesuai dengan metode SNI 7656:2012. Variasi yang digunakan mencakup limbah genteng keramik dengan persentase 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat kasar yang digunakan. Selain itu, melibatkan kombinasi abu ketel dan limbah genteng keramik dengan persentase abu ketel sebesar 5% dari berat semen yang digunakan dan persentase limbah genteng keramik sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat kasar yang digunakan. Semua variasi tersebut berfungsi sebagai substitusi untuk semen dan agregat kasar dalam beton mutu normal. Penelitian ini menggunakan sampel berbentuk kubus dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk pengujian kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Hasil perhitungan menghasilkan komposisi kebutuhan material per m<sup>3</sup> beton yang dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi kebutuhan material per m<sup>3</sup> beton kubus

No	Kode benda uji beton	Kebutuhan material (kg)						Total
		Agregat kasar	Agregat halus	Air	Semen	Abu ketel	Limbah genteng	
1	BN	935,05	704,55	205	434,14	-	-	2278,74
2	G5	888,30	704,55	205	434,14	-	46,75	2278,74
3	G10	841,55	704,55	205	434,14	-	93,51	2278,74
4	G15	794,04	704,55	205	434,14	-	140,26	2278,74
5	G20	748,04	704,55	205	434,14	-	187,01	2278,74
6	AKG5	888,30	704,55	205	412,43	21,71	46,75	2278,74
7	AKG10	841,55	704,55	205	412,43	21,71	93,51	2278,74
8	AKG15	794,04	704,55	205	412,43	21,71	140,26	2278,74
9	AKG20	748,04	704,55	205	412,43	21,71	187,01	2278,74

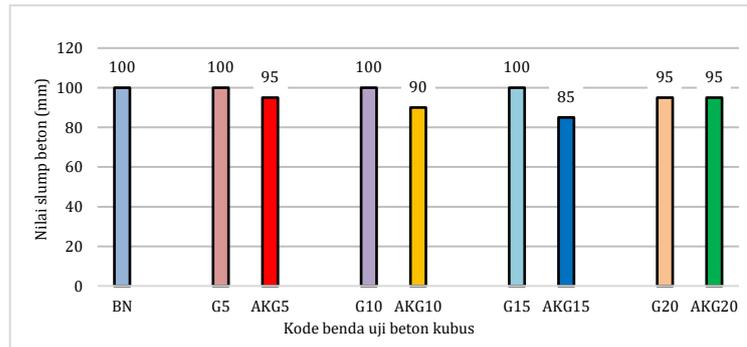
### 3.3 Keleccakan Adukan Beton (*Workability*)

Hasil pengecekan nilai *slump* adukan beton secara rinci dijelaskan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Nilai *slump* beton

No	Kode benda uji	Variasi komposisi	Hasil <i>slump</i> (mm)
1	BN	Ag.K 100% + G 0% dan S 100% + AK 0%	100
2	G5	Ag.K 95% + G 5% dan S 100% + AK 0%	100
3	G10	Ag.K 90% + G 10% dan S 100% + AK 0%	100
4	G15	Ag.K 85% + G 15% dan S 100% + AK 0%	100
5	G20	Ag.K 80% + G 20% dan S 100% + AK 0%	95
6	AKG5	Ag.K 95% + G 5% dan S 95% + AK 5%	95
7	AKG10	Ag.K 90% + G 10% dan S 95% + AK 5%	90
8	AKG15	Ag.K 85% + G 15% dan S 95% + AK 5%	85
9	AKG20	Ag.K 80% + G 20% dan S 95% + AK 5%	95

Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa beton yang menggunakan campuran abu ketel memiliki nilai *slump* yang lebih kecil dari beton yang tidak menggunakan campuran abu ketel. Diketahui dalam prosedur pemeriksaan kadar air yang dilakukan pada abu ketel terkandung 28,53% air di mana abu ketel akan menyerap air ketika proses pembuatan adukan beton. Berbeda dengan limbah genteng keramik yang juga memiliki kadar air yang cukup besar sebanyak 16,82% namun tidak memengaruhi nilai *slump* karena limbah genteng keramik telah melewati proses persiapan bahan dengan dilakukan perendaman agar mendapatkan kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) sehingga pada proses pembuatan adukan beton, tidak terjadi proses penyerapan air oleh limbah genteng. Pada Gambar 2 disajikan perbandingan nilai *slump* pada beton yang menggunakan abu ketel dan tanpa menggunakan abu ketel.



Gambar 2 Perbandingan nilai slump beton tanpa campuran abu ketel dan dengan campuran abu ketel.

Gambar 2 menjelaskan Perbandingan nilai slump beton tanpa campuran abu ketel dan dengan campuran abu ketel. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa beton yang mengandung abu ketel menunjukkan nilai slump yang lebih rendah jika dibandingkan dengan beton yang tidak mengandung abu ketel. Dalam Gambar 4 terlihat bahwa beton yang tidak menggunakan abu ketel memiliki nilai slump yang stabil pada semua kode benda uji beton selain kode benda uji G20 dengan nilai slump 100 mm dengan penurunan pada G20 menjadi 95 mm. Pada Gambar 4 terlihat bahwa beton yang menggunakan abu ketel memiliki nilai slump yang bervariasi pada setiap kode benda uji beton di mana beton yang mengandung abu ketel semuanya memiliki nilai slump yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal.

Hasil nilai slump yang diperoleh terkait dengan reaksi kimia antara komponen-komponen dalam campuran beton. Proses hidrasi antara air dan semen dalam PCC menghasilkan Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), yang memiliki sifat larut dalam air. Selanjutnya, Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) berinteraksi dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan membentuk Kalsium Silikat Hidrat (CSH), yang memiliki peran signifikan dalam pengerasan semen pada campuran beton (Althoey et al, 2023).

### 3.4 Kuat Tekan Beton

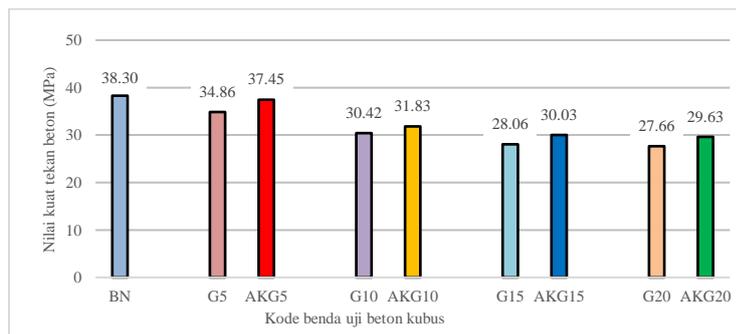
Hasil pengujian kuat tekan beton mutu normal didapatkan dari pengujian kuat tekan rata-rata tiga buah benda uji beton kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm pada beton yang hanya menggunakan campuran genteng dan beton yang menggunakan campuran abu ketel dan genteng terhadap beton normal pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 5

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari

Kode benda uji	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan aktual (MPa)	Rata-rata kuat tekan aktual (MPa)
BN	1032,1	38,07	38,30
	1058,8	39,06	
	1023,8	37,77	
G5	959,6	35,40	34,86
	913,3	33,69	
	962,4	35,50	
G10	849,6	31,34	30,42
	808,2	29,81	
	815,8	30,09	

G15	772,3	28,49	28,06
	760,5	28,05	
	749,3	27,64	
G20	766,3	28,27	27,66
	726,9	26,81	
	756,1	27,89	
AKG5	1013,5	37,39	37,45
	1019,1	37,59	
	1013,0	37,37	
AKG10	866,6	31,97	31,83
	869,0	32,06	
	852,8	31,46	
AKG15	796,5	29,38	30,03
	808,1	29,81	
	837,3	30,89	
AKG20	807,3	29,78	29,63
	811,4	29,93	
	791,0	29,18	

Substitusi abu ketel sebesar 5% dari banyaknya semen yang digunakan terdapat peningkatan yang cukup signifikan pada kuat tekan di semua benda uji yang menggunakan substitusi sebagian agregat kasar dengan limbah genteng. Kenaikan kuat tekan pada beton yang diberikan abu ketel akan dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3 Perbandingan nilai kuat tekan beton dengan campuran genteng tanpa abu ketel dan dengan abu ketel.

Gambar 3 menjelaskan Perbandingan nilai kuat tekan beton dengan campuran genteng tanpa abu ketel dan dengan abu ketel. Berdasarkan Gambar 3, pada umur beton 28 hari terdapat kenaikan kuat tekan beton dengan substitusi abu ketel pada setiap kode benda uji yang memiliki rentang peningkatan kuat tekan sebesar 1,41-2,59 MPa dibandingkan beton tanpa substitusi abu ketel. Kuat tekan terbesar ditunjukkan oleh benda uji dengan kode AKG5 yang merupakan beton normal dengan substitusi 5% agregat kasar dengan limbah genteng dan substitusi 5% semen dengan abu ketel yaitu sebesar 37,45 MPa. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan variasi lainnya dan hampir menyerupai kuat tekan beton normal. Peningkatan kuat tekan beton juga terjadi pada benda uji dengan kode AKG5 di mana terjadi peningkatan sebesar 2,59 MPa dibandingkan dengan beton dengan kode benda uji G5. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan peningkatan kuat tekan beton dengan kode benda uji lain.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat penurunan kuat tekan pada beton dengan kode benda uji G5, G10, G15, dan G20. Hal tersebut terjadi akibat substitusi sebagian agregat kasar dengan limbah genteng di mana substitusi limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat kasar akan mengurangi kuat tekan beton (Soemantoro dkk, 2017). Salah satu hal yang memengaruhi pengurangan nilai kuat tekan beton ini adalah perbedaan kekuatan pada uji abrasi pada agregat kasar dan limbah genteng. Hasil pemeriksaan los angeles test untuk agregat kasar dan limbah genteng didapatkan persentase keausan agregat kasar saat putaran ke 100 sebesar 3,86% dan saat putaran ke 500 sebesar 17,18%. Persentase keausan limbah genteng saat putaran ke 100 sebesar 22,4% dan saat putaran ke 500 sebesar 72,8%. Perbedaan keausan yang sangat signifikan ini mengakibatkan kuat tekan dari beton yang menggunakan substitusi limbah genteng pada sebagian agregat kasar mengalami penurunan.

Data penelitian menunjukkan bahwa substitusi penggunaan abu ketel pada kode benda uji AKG5, AKG10, AKG15, dan AKG20, memiliki karakteristik nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa substitusi abu ketel, di mana pada kode benda uji AKG5 kuat tekan beton hampir serupa dengan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan abu ketel sebanyak 5% untuk menggantikan sebagian semen dapat diterapkan dalam pembuatan beton normal dengan substitusi agregat kasar dengan manfaat tambahan dalam mengurangi penggunaan semen serta memanfaatkan limbah genteng. Berdasarkan hasil penelitian, abu ketel dapat digunakan untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran beton, di mana kode benda uji AKG5, AKG10, AKG15, dan AKG20 mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton tanpa substitusi abu ketel dengan kode benda uji G5, G10, G15, dan G20 pada beton umur 28 hari dengan kekuatan tekan beton yang optimal terjadi pada campuran dengan kadar abu ketel 5% dan limbah genteng 5% (AKG5).

### 3.5 Laju Peningkatan Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari setelah pengecoran dilakukan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan laju peningkatan nilai kuat tekan beton normal dan beton yang menggunakan bahan substitusi. Hasil pengujian kuat tekan beton normal dan beton yang menggunakan bahan substitusi pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari akan dibandingkan dengan persentase peningkatan kuat tekan beton yang berada pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971 (PBI 1971) yang dijelaskan pada Tabel 6.

Tabel 6 Laju peningkatan kuat tekan PBI 1971

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90
Semen <i>portland</i> biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20
Semen <i>portland</i> dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15

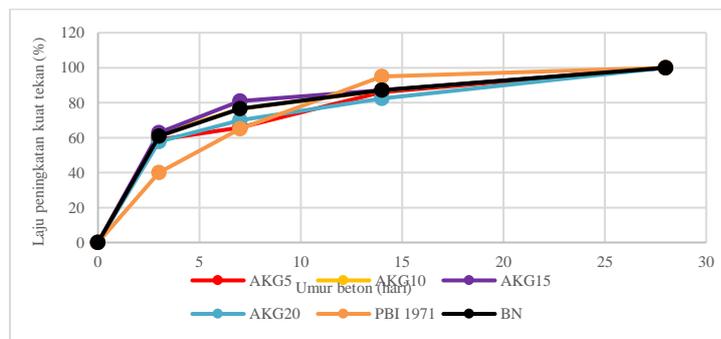
Laju peningkatan kuat tekan beton yang digunakan sebagai acuan adalah semen *portland* biasa karena pada penelitian ini tidak digunakan bahan *additive* dalam campuran beton. Hasil laju peningkatan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8, dan Gambar 4.

Tabel 7 Hasil pengujian laju peningkatan kuat tekan beton

Kode benda uji	Kuat tekan (MPa)			
	Umur 3 hari	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari
BN	23,29	29,35	33,36	38,30
AKG5	22,05	24,65	32,25	37,45
AKG10	19,77	24,35	27,68	31,83
AKG15	18,85	24,30	26,16	30,03
AKG20	17,08	20,72	24,43	29,63

Tabel 8 Persentase laju peningkatan kuat tekan beton

Kode benda uji	Persentase peningkatan kuat tekan (%)			
	Umur 3 hari	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari
BN	60,81	76,62	87,11	100
AKG5	58,88	65,83	86,11	100
AKG10	62,10	76,51	86,96	100
AKG15	62,76	80,93	87,09	100
AKG20	57,65	69,93	82,45	100
PBI 1971	40,00	65,00	95,00	100



Gambar 4 Perbandingan laju peningkatan kuat tekan beton.

Berdasarkan Gambar 4 dapat disimpulkan laju peningkatan kuat tekan pada PBI 1971 dengan hasil penelitian uji laboratorium memiliki perbedaan pada persentase peningkatan untuk setiap kode benda uji beton. Perbedaan persentase yang terjadi tidak signifikan karena memiliki pola laju peningkatan yang menyerupai antara satu kode benda uji dengan yang lainnya. Menurut Ginting (2011) peningkatan kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor air semen, suhu perawatan dan, jenis semen yang digunakan. Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatan beton dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan beton.

Laju peningkatan kuat tekan yang terjadi pada beton yang menggunakan substitusi bahan mengalami penurunan pada kode benda uji AKG5 dan AKG20 di mana pada umur 3 hari, 7 hari, dan 14 hari persentase laju kuat tekan betonnya semua berada di Bawah laju peningkatan kuat tekan beton normal. Pada kode benda uji AKG10 dan AKG15 terjadi kenaikan laju peningkatan kuat tekan beton pada umur 3 hari dan 7 hari dibandingkan dengan laju peningkatan kuat tekan beton normal. Namun pada umur 14 hari laju peningkatan kuat tekan beton pada kode benda uji mengalami penurunan Kembali. Hal tersebut terjadi karena Ketika setelah proses pengecoran beton dengan kode benda uji AKG10 dan AKG15 lebih lama berada di luar ruangan sebelum memasuki proses curing yang mengakibatkan suhu

perawatan beton lebih tinggi di mana semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan beton (Ginting, 2011).

#### **4. Kesimpulan dan Saran**

##### **4.1 Kesimpulan**

Penelitian terdahulu menyatakan bahwa agregat kasar yang dilakukan substitusi dengan menggunakan limbah genteng akan mengalami penurunan kuat tekan. Semakin besar persentase kandungan limbah genteng maka akan semakin rendah kuat tekan yang dimiliki beton. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian di mana semakin banyak campuran limbah genteng yang digunakan maka semakin rendah kuat tekan yang dimiliki beton. Untuk menangani hal tersebut dilakukan substitusi pada semen dengan menggunakan abu ketel. Kadar abu ketel optimum yang digunakan sebagai substitusi semen pada campuran beton sebesar 5%. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil dari penelitian yang telah dilakukan di mana substitusi abu ketel dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan substitusi limbah genteng. Sehingga dapat disimpulkan substitusi 5% abu ketel pada semen dapat meningkatkan kuat tekan pada beton dengan substitusi limbah genteng.

##### **4.2 Saran**

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

1. Dalam 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 Kepustakaan**

- Althoey, F., Zaid, O., Martinez-Garcia, R., Alsharari, F., Ahmed, M., & Arbili, M. (2023). Impact of Nano-silica on the hydration, strength, durability, and microstructural properties of concrete: A state-of-the-art review, *Case Studies in Construction Materials*, 18.
- ASTM C33-03. (2010). Standard Specification for Concrete Aggregates. USA: *Association of Standard Testing Materials*.
- ASTM C117-03. (2023). Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. USA: *Association of Standard Testing Materials*.
- Bukit, B.F., Frida, E., Humaidi, S., Sinuhaji, P., & Bukit, N. (2022). Optimization of Palm Oil Boiler Ash Biomass Waste as a Source of Silica with Various Preparation Methods, *Journal of Ecological Engineering*, 23(8), pp. 193–199.

- Ginting, A. (2011) Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur pada Berbagai Umur Beton, *Jurnal Teknik Sipil*, 7, pp. 98–192.
- Hidayatullah, H., Irianti, L., Helmi, M., & Widyawati, R. (2024). Pengaruh Abu Ketel sebagai Bahan Penambah Campuran Beton Normal terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 12(1), 13-26.
- 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), pp. 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 Teknik Sipil*, 7(13), 4-11.
- Nagroekienė, D., Rutkauskas, A., Vaičekauskienė, V., & Jarmolajeva, E. (2024). The Effect of Pozzolanic Waste as Cement Substitute on The Properties of Cement Mortar and Resistance to Alkali-Silica Reaction, *Ceramics - Silikaty*, 68(1), pp. 14–23.
- PBI 1971. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia. *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*
- SNI 03-1974-1990. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 03-4804-1998. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 1969:2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 1970:2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 1971:2011. (2011). Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 1972:2008. (2008). Cara Uji Slump Beton. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 2417:2008. (2008). Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 2531:2015. (2015). Metode Uji Densitas Semen Hidraulic. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 7656:2012. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- Soemantoro, M., Zuraidah, S., & Nosen, R. (2017). Pemanfaatan Limbah Genteng Sebagai Bahan Alternatif Agregat Kasar Pada Beton', *Jurnal Teknik Sipil Unitomo*.
- Soomro, B., Mangi, S.A., Bajkani, R.A., & Junejo, A.Q. (2021). Recycling of Ceramic Tiles and Marble Powder waste as Partial Substitution in Concrete, *Neutron*, 20(2).
- Subedi, B., Basnet, K. & Wagle, D.K. (2020). Utilization of Crushed Ceramic Tile Wastes as Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Production, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(07), pp. 1572–1584.