

Pemanfaatan *Calcium Carbide* dan *Bottom Ash* sebagai Bahan Substitusi pada Beton

Ermita Datu Puang*¹, Frans Phengkarsa*², Lisa Febriani*³

*¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Indonesia, datupuangermita@gmail.com

*^{2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Indonesia, Fphengkarsa@hotmail.com dan lisa@ukipaulus.ac.id

Corresponding Author: datupuangermita@gmail.com

Abstrak

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pemanfaatan *calcium carbide* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi pada beton. Dimana *calcium carbide* ialah sebuah senyawa kimia yang tidak berwarna dengan rumus kimia (CaC_2), dan *calcium carbide* yang sering digunakan umumnya berwarna abu-abu atau coklat. sedangkan *bottom ash* adalah abu dasar yang dikeluarkan di bawah tungku pembakaran dari sisa pembakaran batu bara. Persentase penggunaan *calcium carbide* 10% sebagai bahan substitusi semen dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi agregat halus sebesar 25%, 30% dan 35%. Pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dan balok dengan ukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode ACI (*American Concrete Institute*) dengan Mutu beton rencana 30 MPa, Hasil pengujian kuat tekan pada 28 hari di peroleh hasil pada variasi 25%, 30%, dan 35% adalah 30,951 MPa, 31,328 MPa, dan 32,838 MPa. Hasil pengujian kuat tarik belah pada variasi 25%, 30%, dan 35% adalah 2,878 MPa, 2,972 MPa, dan 3,161 MPa. Hasil pengujian kuat lentur pada variasi 25%, 30% dan 35% yaitu 3,338 MPa, 3,390 MPa, 3,441 MPa. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan substitusi *calcium carbide* dan *bottom ash* memenuhi mutu rencana 30 MPa.

Kata kunci: *Calcium Carbide*, *Bottom Ash*, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Kuat Lentur.

Abstract

*The purpose of this research is to find out how to use calcium carbide and bottom ash as substitution materials in concrete. Where calcium carbide is a colorless chemical compound with the chemical formula (CaC_2), and the calcium carbide that is often used is generally gray or brown in color. while bottom ash is bottom ash that is released under the combustion furnace from the remaining coal combustion. The percentage of using 10% calcium carbide as a substitute for cement and bottom ash as a substitute for fine aggregate is 25%, 30% and 35%. In this study, a cylindrical specimen was used with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, and a block with a size of 15 cm × 15 cm × 60 cm. The method used in this study is the ACI (*American Concrete Institute*) method with a planned concrete quality of 30 MPa. The compressive strength test results at 28 days obtained results at variations of 25%, 30% and 35%, namely 30,951 MPa, 31,328 MPa, and 32,838 MPa. The split tensile strength test results at variations of 25%, 30% and 35% were 2.878 MPa, 2.972 MPa and 3.161 MPa. The results of the flexural strength test at variations of 25%, 30% and 35% are 3,338 MPa, 3,390 MPa, 3,441 MPa. The test results show that the use of calcium carbide and bottom ash substitution complies with the 30 MPa quality plan.*

Keywords: *Calcium Carbide*, *Bottom Ash*, *Compressive Strength*, *Split Tensile Strength*, *Flexural Strength*.

PENDAHULUAN

Banyaknya limbah di Indonesia yang tergolong dalam bahan berbahaya dan beracun (B3) sebagai Zat, energi, atau komponen yang dapat mencermari lingkungan, merusak lingkungan serta kesehatan dan kelangsungan hidup manusia dan makhluk sekitarnya. Limbah tersebut dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran beton. Penambahan limbah pada beton dapat bertujuan untuk meningkat kualitas mutu beton serta nilai ekonomi dari bahan yang tidak terpakai, seperti *calcium carbide*, *bottom ash* atau limbah dari beton itu sendiri. Adapun pengertian beton yaitu suatu campuran yang mengandung kerikil, pasir, semen, air, dan juga dapat ditambahkan dengan bahan-bahan yang lain.[1]

Calcium carbide merupakan sebuah senyawa kimia yang tidak berwarna (dengan rumus kimia CaC_2), dan *calcium carbide* yang sering digunakan umumnya berwarna abu-abu atau cokelat. Adapun limbah karbit yang belum digunakan secara efektif dapat menimbulkan beberapa masalah pada lingkungan sekitar. Adapun unsur kimia yang terkandung dalam limbah karbit yaitu Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO . [2]

Bottom ash adalah abu dasar yang tertinggal dan dikeluarkan di bawah tungku pembakaran dari sisa pembakaran batu bara. Dari penggunaan batubara yang dapat menimbulkan limbah yang bisa mencemari lingkungan, mencemari udara, dan juga bisa menurunkan kualitas ekosistem. Hal itulah yang jadi dasar untuk memanfaatkan batu bara yaitu *bottom ash* sebagai bahan pengganti pada beton. [3]

Dari perbandingan benda uji yang digunakan pada *calcium carbide* Hasil penelitian ini mendapatkan nilai kuat tekan maksimal limbah karbit berada pada titik 10% yaitu 26,50, sedangkan pada titik 12% nilai kuat tekan mengalami penurunan yaitu 24,90 dengan mutu rencana 25 MPa. [4] Dari penelitian ini, dimana variasi limbah karbit 2,5% dan limbah granit 2,5% memiliki nilai kuat tekan yang relatif tinggi yaitu 27,27 MPa dibandingkan dengan limbah karbit 5% dan limbah granit 5% yang nilai kuat tekannya berada pada 24,05 MPa. [5] Dari penelitian ini persentase *fly ash* 25% dan limbah karbit 15% dimana nilai kuat tekan mengalami penurunan sebesar 20,6%. Pada umur 7 hari, beton mengalami penurunan kuat tekan yang dipengaruhi oleh *fly ash* yang dimana mengalami pengikatan sangat lambat. [6] Pada penelitian ini menunjukkan bahwa variasi 25% dan 35% *Bottom Ash* dapat mencapai mutu rencana 30 MPa dan bisa digunakan sebagai bahan pengganti pasir atau agregat halus pada beton. [7] Hasil penelitian ini menggunakan variasi *bottom ash* 10%, 20%, 30% dan 40% sebagai agregat halus dimana nilai kuat tekan optimum berada pada variasi 30% yaitu 20,756 MPa, sedangkan nilai kuat tekan minimum berada pada variasi 40% yaitu 19,556 MPa. [8] hasil penelitian ini menunjukkan dimana nilai rata-rata yang didapatkan pada kuat tekan pada umur 56 hari pada beton normal yaitu 23,64 MPa, nilai kuat tekan pada *bottom ash* sebagai substitusi agregat halus yaitu 18,83 MPa, nilai kuat tekan yang menggunakan *bottom ash* yang telah di cuci dan dikeringkan yaitu 24,84 MPa. [9]

Pada penelitian ini, dengan menggunakan *bottom ash* sebagai bahan substitusi dimana nilai kuat tekannya cenderung lebih meningkat dikarenakan dengan seiring bertambahnya umur pada beton dan semakin banyak *bottom ash* yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beton maka akan mengurangi tingkat susut dari sebuah beton. [10]

Kuat tekan dapat dipengaruhi oleh pengaturan dari perbandingan agregat kasar, agregat halus, semen, air dan jenis campuran lainnya. Benda uji kuat tekan berbentuk silinder ukuran 150 mm x 300 mm.



Gambar 1. Contoh pengujian kuat tekan beton

1. Kuat Tarik Belah

Pada pengujian ini menggunakan benda uji beton berbentuk tabung dengan ukuran diameternya 150 mm dan tinggi 300 mm dan benda uji tersebut diletakkan diantara dua belah plat landasan mesin uji tekan dengan posisi horizontal. Kuat tarik belah dapat dihitung dengan rumus :

$$f_t = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times l} \dots\dots\dots (1)$$

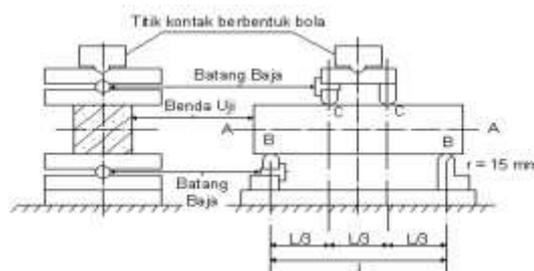


Gambar 2. Pengujian kuat tarik belah

2. Kuat Lentur Beton

Lentur ialah sesuatu yang diakibatkan oleh adanya regangan yang muncul karena adanya beban dari luar. Adapun kuat lentur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f_r = \frac{P \times L}{b \times h^2} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 3. Benda Uji Pembebanan dan Perletakan

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Pengadaan Bahan

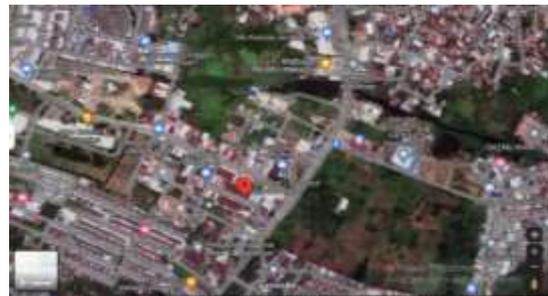
Lokasi pengadaan Bahan agregat halus dan agregat kasar yaitu di sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Lokasi bahan substitusi *Bottom Ash* terletak di PT.Makassar Tene, sedangkan bahan substitusi *Calcium Carbide* terletak di bengkel las bubut sumber Jaya, Jl.Perintis Kemerdekaan No.1B, Daya.



Gambar 4. Lokasi Pengadaan Agregat Kasar dan Halus



Gambar 5. Lokasi Pengadaan *Bottom Ash*



Gambar 6. Lokasi Pengadaan *Calcium Carbide*

2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

Portland Composite Cement (PCC) yang bersumber dari PT. Semen Tonasa. Agregat halus dan kasar diambil dari sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa. *Bottom Ash* bersumber dari PT. Makassar Tene. *Calcium carbide* yang digunakan bersumber dari Bengkel Las Bubut Sumber Jaya, Jl.Perintis Kemerdekaan No.1B, Daya.



Gambar 7. Semen



Gambar 8. Agregat Kasar



Gambar 9. Agregat Halus



Gambar 10. Bottom Ash



Gambar 11. Calcium Carbide

3. Pemeriksaan Karakteristik Material

Karakteristik Agregat yang digunakan untuk mencampur dalam penelitian ini harus diperiksa terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai benda uji, guna untuk menjamin kualitas mutunya. Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk mengetahui apakah layak untuk digunakan dalam campuran penyusun beton. Hasil pemeriksaan karakteristik dapat dilihat pada tabel dibawah dibawah ini.

Tabel 1. Karakteristik Agregat Halus

No	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1	Kadar Air	4059%	3,00 % - 5,00 %	Memenuhi
2	Berat Volume Gembur	1424,765 kg/m ³	>1,200 kg/ltr	Memenuhi
3	Berat Volume Padat	1590,909 kg/ m ³	>1,200 kg/ltr	Memenuhi
4	Berat Jenis SSD	2,499	1,60 – 3,20	Memenuhi
5	Absorpsi (Penyerapan)	0,735%	0,20 % - 2,00 %	Memenuhi
5	Kadar Lumpur	0,908%	0,20 % - 6,00 %	Memenuhi
7	Kadar Organik	No.1	< No.3	Memenuhi
8	Modulus Kehalusan	2,680	2,20 – 3,10	Memenuhi

Dari tabel diatas merupakan beberapa macam karakteristik yang digunakan pada agregat halus, dimana bertujuan untuk mengetahui bahwa agregat yang digunakan memenuhi standar yang telah di tentukan dan dapat digunakan sebagai salah satu bahan penyusun beton.

Tabel 2. Karakteristik Agregat Kasar

No	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1	Kadar Air	0,624%	0,50 % - 2,00 %	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0,543%	0,2 % - 1,00 %	Memenuhi
3	Berat Volume Padat	1517,667kg/liter	1,40 – 1,90 kg/ltr	Memenuhi
4	Berat Volume Gembur	1438 kg/liter	1,40 – 1,90 kg/ltr	Memenuhi
5	Berat Jenis SSD	2,737	1,60 – 3,20	Memenuhi
6	Absorpsi (Penyerapan)	1,051%	0,20 % - 2,00 %	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	6,986	5,50 – 8,50	Memenuhi

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa karakteristik yang telah dilakukan pada agregat kasar telah memenuhi standar yang telah di tentukan dan layak digunakan sebagai salah satu material penyusun beton.

4. *Mix Design*

Komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada metode ACI (*American Concrete Institute*), dengan kuat tekan rencana $f'c$ 30 MPa. *mix design* ini bertujuan apakah material yang akan digunakan mampu membuat beton bermutu serta memiliki kekuatan yang berkualitas.

Tabel 3. Material yang dibutuhkan dalam campuran beton 1 m³

Bahan	Berat (kg/m ³)
Jumlah Semen	417,50
Jumlah Air	173,093
Jumlah Agregat Halus	727,301
Jumlah Agregat Kasar	1030,601

Dari tabel diatas dapat dilihat komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini.

5. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Semua bahan di satukan dalam mesin pencampur (molen) sesuai dengan takaran yang telah ditentukan.
- Pemeriksaan *slump test* yang dilakukan mengacu pada metode ACI (*American Concrete Institute*) dengan nilai *slump test* 70 – 100 mm.
- Proses untuk mencetak benda uji dilakukan dengan menggunakan alat yang berbentuk silinder dengan ukuran 15 × 30 cm dan alat yang berbentuk balok dengan ukuran 15 × 60 cm, dan didiamkan selama 24 jam.
- Pemberian kode pada benda uji disesuaikan dengan umur benda uji serta variasi benda uji.

6. Perawatan Benda Uji

Setelah sampel didiamkan selama 24 jam, sampel kemudian dilepas dari masing-masing cetakan dan diletakkan pada suhu ruangan pada batas waktu yang telah ditentukan. Perawatan dilakukan dengan tujuan:

- Agar benda uji mengalami pengerasan secara cepat.
- Untuk menjaga kestabilan dari hidrasi semen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Trial Mix

Pengujian ini dimaksudkan agar komposisi yang telah dihitung sebelumnya apakah memenuhi nilai kuat tekan yang direncanakan 30 MPa, jika kuat tekan rencana telah memenuhi maka dilanjutkan ke pembuatan benda uji dengan jumlah sebanyak 60 sampel.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan *Trial Mix*

Sampel	Umur	Kuat Tekan Beton (MPa)	Rata - rata Kuat Tekan Beton (MPa)
I	7 Hari	31,139	31,611
II		31,139	
III		32,555	

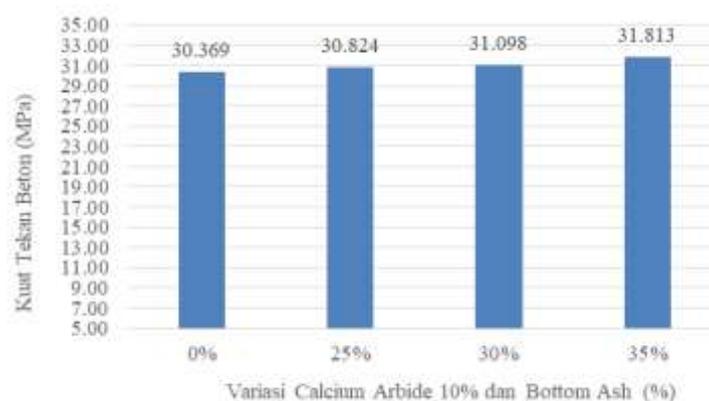
Hasil *trial mix* diatas menunjukkan bahwa telah memenuhi mutu rencana 30 MPa, sehingga bisa dilanjutkan untuk proses pembuatan sampel.

2. Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan yang didapatkan dari pengujian dengan menggunakan alat mesin penekan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Umur 28 Hari

Benda Uji 28 hari	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Rata-Rata Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	30,290	30,762
	30,573	
	31,423	
25%	30,290	30,951
	30,856	
	31,706	
30%	32,555	31,328
	30,290	
	31,139	
35%	32,838	32,838
	32,272	
	33,404	



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari

Dari Tabel dan Gambar diatas menunjukkan semakin bertambah umur beton maka semakin meningkat pula nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari pada variasi *calcium carbide* 10% dan

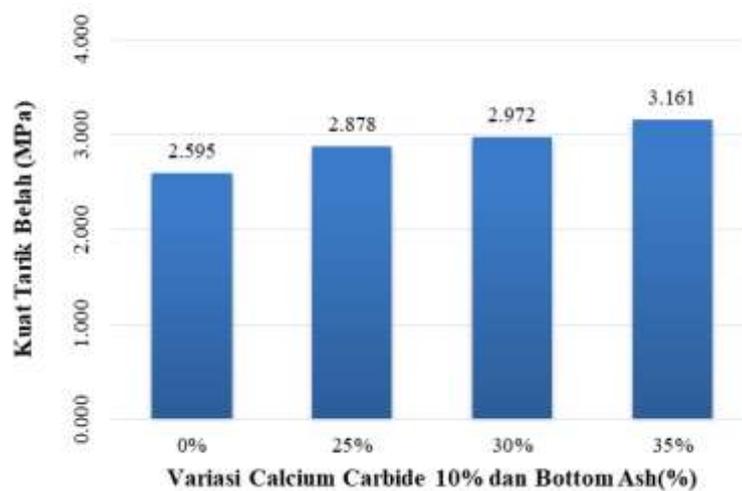
bottom ash 0%, 25%, 30% dan 35% adalah 30,369 MPa, 30,824 MPa, 31,098 dan 31,813 MPa sehingga mencapai nilai kuat tekan rencana yaitu 30 MPa. Dan hasil pengujian Kuat Tekan pada beton dengan calcium carbide 10% sebagai substitusi semen dan bottom ash sebagai substitusi agregat halus dengan nilai persentase 25% kuat tekan mengalami peningkatan 0,613%, nilai persentase 30% kuat tekan mengalami peningkatan 1,84%, dan nilai persentase 35% kuat tekan mengalami peningkatan 6,57%.

3. Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian ini dilakukan ketika benda uji berumur 28 hari menggunakan alat mesin penekan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Variasi	umur beton	Kuat Tarik Belah Beton	rata-rata
Normal	28	2,548	2,595
		2,406	
		2,831	
25%	28	2,972	2,878
		2,619	
		3,043	
30%	28	2,972	2,972
		2,831	
		3,114	
35%	28	3,043	3,161
		3,255	
		3,185	



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

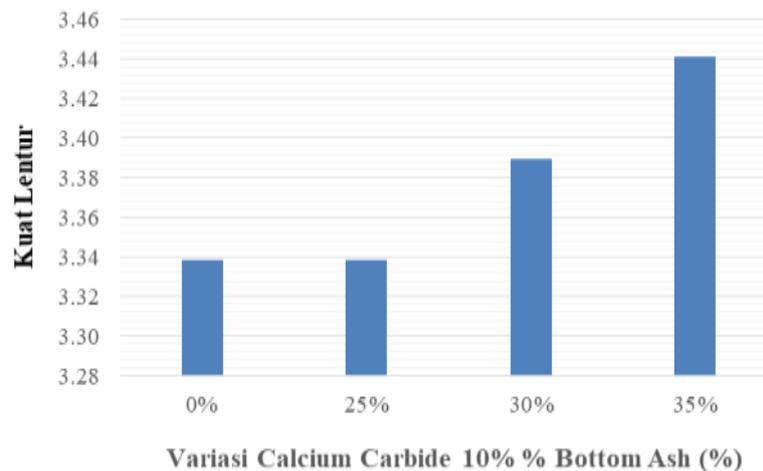
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi variasi substitusi bottom ash maka kuat tarik belah beton semakin meningkat. Nilai kuat tarik belah optimum berada di variasi 35% adalah 3,161. Adapun hasil nilai Kuat Tarik Belah (f_t) dengan substitusi calcium carbide 10% dan bottom ash variasi 25% kuat tarik belah mengalami peningkatan 10,909%, nilai persentase 30% kuat tarik belah mengalami peningkatan 14,545% , dan nilai persentase dari 35% kuat tarik belah mengalami peningkatan 21,818%.

4. Kuat Lentur Beton

Benda uji pada pengujian kuat lentur berbentuk balok dan pengujian ini dilakuakn ketika umur benda uji 28 hari. Nilai hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Variasi	Umur Beton	Kuat Tarik Lentur <i>fr</i>	Rata-Rata Kuat Lentur
Normal	28	3,236	3,338
		3,544	
		3,236	
25%	28	3,236	3,338
		3,544	
		3,236	
30%	28	3,698	3,390
		3,081	
		3,390	
35%	28	3,544	3,441
		3,390	
		3,390	



Gambar 9. Grafik Pengujian Kuat Lentur

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara variasi substitusi *Bottom ash*, *Calcium carbide* dengan kuat lentur dimana semakin meningkat. Pada substitusi 35% nilai kuat lentur adalah 3,441 MPa. Dan hasil persentase Kuat Lentur (*fr*) dengan substitusi calcium carbide 10% dan bottom ash variasi 25% berbanding lurus dengan 0%, nilai persentase 30% mengalami peningkatan 1,538% , dan nilai persentase dari 35% mengalami peningkatan yaitu 3,077%.

PEMBAHASAN

1. Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah

Hubungan kuat tarik belah dan kuat tekan adalah untuk melihat berapa nilai dari persentase kuat tekan terhadap kuat tarik belah Hasil pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah didapatkan pada umur 28 hari.

Tabel 8. Persentase Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah (%)

Variasi CC 10% & BA (%)	$f'c$	Ft	Persentase Hubungan
0%	30,762	2,595	8,436
25%	30,951	2,878	9,299
30%	31,328	2,972	9,488
35%	32,838	3,161	9,626

Dari tabel diatas, didapatkan nilai persentase hubungan antara kuat tekan ($f'c$) dengan kuat tarik belah (ft) pada variasi *calcium carbide* 10% dan *bottom ash* 0%, 25%, 30%, dan 35% adalah 8,436 %, 9,299%, 9,488 dan 9,626 %.

2. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

Hubungan kuat lentur dan kuat tekan dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai persentase kuat lentur terhadap kuat tekan, dan juga untuk mengetahui nilai koefisien kolerasi antara kuat tekan dan kuat lentur beton. Hasil Pengujian didapatkan pada umur 28 hari.

Tabel 9. Persentase Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Lentur(%)

Variasi CC 10% & Bottom Ash (%)	$f'c$	Fr	Hubungan KT dan KL (%)
0%	30,369	3,338	0,606
25%	30,824	3,338	0,601
30%	31,098	3,390	0,608
35%	31,813	3,441	0,610

Sehingga diperoleh nilai perbandingan kuat lentur dari nilai kuat tekan pada *Calcium carbide* 10% dan *bottom ash* 0%, 25%, 30%, dan 35% berturut-turut yaitu 0,606 MPa, 0,601 MPa, 0,608 MPa, 0,610 MPa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian “Pemanfaatan *Calcium Carbide* Sebagai Substitusi Semen dan *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Beton” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, nilai kuat tekan dari substitusi *calcium carbide* 10% dan *bottom ash* 25%, 30% dan 35% adalah 30,369 MPa, 30,824 MPa, 31, 098 dan 31,813 MPa sehingga mencapai nilai kuat tekan rencana yaitu 30 MPa.
2. Berdasarkan hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa komposisi campuran yang optimum adalah berada divariasi 10% *calcium carbide* dan 35% *bottom ash* dengan nilai kuat tekan yaitu 32,838, nilai kuat tarik belah optimum berada pada variasi 35% yaitu 3,161 dan nilai optimum dari kuat lentur juga berada variasi 35% yaitu 3,441.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Mahendra Dan Y. Risdianto, “Pemanfaatan Limbah Karbit Sebagai Material Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”. Tugas Akhir, Teknik Sipil
- [2] L. J. Somalinggi, F. Phengkarsa, Dan L. Febriani, “Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Carbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton,” *Paulus Civ. Eng. J.*, Vol. 2, No. 4, Hlm. 289–297, Jan 2021, Doi: 10.52722/Pcej.V2i4.187.
- [3] A. C. Posedung, F. Phengkarsa, Dan D. Sandy, “Pemanfaatan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kekuatan Beton,” *Paulus Civ. Eng. J.*, Vol. 2, No. 3, Hlm. 187–195, Okt 2020, Doi: 10.52722/Pcej.V2i3.142.
- [4] L. C. Pratiwi Dan I. A. Wardana, “Pengaruh Limbah Granit Dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton,” *J. Kacapuri J. Keilmuan Tek. Sipil*, Vol. 5, No. 1, Hlm. 381, Jun 2022, Doi: 10.31602/Jk.V5i1.7567.
- [5] N. R. Dewi, D. Dermawan, Dan M. L. Ashari, “Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit Dan Fly Ash Sebagai Bahan Campuran Beton Siap Pakai (Bsp) (Studi Kasus : Pt. Varia Usaha Beton),” *J. Presipitasi Media Komun. Dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, Vol. 13, No. 1, Hlm. 34, Mar 2016, Doi: 10.14710/Presipitasi.V13i1.34-43.
- [6] A. C. Posedung, F. Phengkarsa, Dan D. Sandy, “Pemanfaatan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kekuatan Beton,” *Paulus Civ. Eng. J.*, Vol. 2, No. 3, Hlm. 187–195, Okt 2020, Doi: 10.52722/Pcej.V2i3.142.
- [7] I. W. Suarnita, “Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash) Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Beton,” *PCEJ*. Vol. 2, No. 2.
- [8] Z. Darwis Dan S. Soelarso, “Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Sebagai Substitusi Agregat Halus Dalam Pembuatan Beton,” *Fondasi J. Tek. Sipil*, Vol. 4, No. 1, Apr 2015, Doi: 10.36055/Jft.V4i1.1226.
- [9] S. Pradita, A. Kurniawandy, Dan Z. Djauhari, “Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash) Sebagai Bahan Substitusi Pasir Pada Beton Mutu Normal”.Tugas Akhir, Teknik Sipil.