

PENGARUH PENAMBAHAN ADMIXTURE CONSOL CR-93 PADA BETON NORMAL DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK

Mohamad Fiqy Dwi Ananda¹, Armin Naibaho², Lalu Aulia Rahman³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: fikidwi53@gmail.com¹, armin.naibaho@polinema.ac.id², aulia.rahman@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Salah satu penyebab meningkatnya karbon dioksida (CO_2) di bumi adalah penggunaan semen di bidang industri. Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi emisi karbon dioksida dengan cara menggunakan zat aditif pada beton. Consol CR – 93 adalah bahan tambah untuk beton yang di produksi oleh Kimia Konstruksi Indonesia yang memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kekuatan pada beton dan mengurangi penggunaan semen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif Consol CR – 93 terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton. Data yang dianalisa pada penelitian ini adalah hasil pengujian berat jenis, penyerapan, kadar air, berat isi dan gradasi untuk agregat halus dan agregat kasar, pengujian kuat tekan beton silinder dan pengujian kuat tarik belah beton silinder. Perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton normal tanpa menambahkan aditif (Variasi 1), beton dengan penambahan 0.75% aditif dari berat semen dengan pengurangan 0.75% semen (Variasi 2), dan beton dengan penambahan 0.9% aditif dari berat semen dengan pengurangan 0.9% semen (Variasi 3). Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan tarik belah, didapat kekuatan rata – rata kuat tekan beton pada umur 7 sebesar 27.1 Mpa (Variasi 1), 19.1 Mpa (Variasi 2) dan 23.9 Mpa (Variasi 3), dan kekuatan rata – rata kuat tarik belah beton pada umur 7 sebesar 2.6 Mpa (Variasi 1), 2.7 Mpa (Variasi 2), dan 2.5 Mpa (Variasi 3). Kekuatan rata – rata kuat tekan beton pada umur 14 sebesar 24.7 Mpa (Variasi 1), 23.1 Mpa (Variasi 2) dan 21.1 MPa (Variasi 3), dan kekuatan rata – rata kuat tarik belah beton pada umur 14 sebesar 2.5 Mpa (Variasi 1), 2.6 Mpa (Variasi 2), dan 2.4 MPa (Variasi 3). Kekuatan rata – rata kuat tekan beton pada umur 28 sebesar 33.5 Mpa (Variasi 1), 28.6 Mpa (Variasi 2) dan 27.4 MPa (Variasi 3), dan kekuatan rata – rata kuat tarik belah beton pada umur 28 sebesar 3.1 Mpa (Variasi 1), 3.2 Mpa (Variasi 2), dan 2.7 MPa (Variasi 3).

Kata kunci : beton normal, kuat tekan, kuat tarik belah, Consol CR – 93

ABSTRACT

One of the causes of increasing carbon dioxide (CO_2) on earth is the use of cement in the industrial sector. Various efforts are made to reduce carbon dioxide emissions by using additives in concrete. Consol CR-93 is an added material for concrete produced by Kimia Konstruksi Indonesia which has the advantage of increasing the strength of concrete and reducing the use of cement. The purpose of this study was to determine the effect of the addition of Consol CR – 93 additives on the compressive strength and split tensile strength of concrete. The data analyzed in this study are the results of testing the specific gravity, absorption, moisture content, content weight and gradation for fine aggregate and coarse aggregate, testing the compressive strength of cylindrical concrete and testing the split tensile strength of cylindrical concrete. The variations used in this study were normal concrete without adding additives (Variation 1), concrete with the addition of 0,75% additives by weight of cement with a reduction 0,75% cement (Variation 2), and concrete with the addition of 0,9% additives by weight of cement with a reduction of 0,9% cement (Variation 3). Based on the results of compressive strength and split tensile strength testing, the average compressive strength of concrete at age 7 was 27.1 MPa (Variation 1), 19.1 MPa (Variation 2) and 23.9 MPa (Variation 3), and the average split tensile strength of concrete at age 7 was 2.6 MPa (Variation 1), 2.7 MPa (Variation 2), and 2.5 MPa (Variation 3). The average compressive strength of concrete at age 14 was 24.7 MPa (Variation 1), 23.1 MPa (Variation 2), and 21.1 MPa (Variation 3), and the average split tensile strength of concrete at age 14 was 2.5 MPa (Variation 1), 2.6 MPa (Variation 2), and 2.4 MPa (Variation 3). The average compressive strength of concrete at age 28 was 33.5 MPa (Variation 1), 28.6 MPa (Variation 2), and 27.4 MPa (Variation 3), and the average split tensile strength of concrete at age 28 was 3.1 MPa (Variation 1), 3.2 MPa (Variation 2), and 2.7 MPa (Variation 3).

Keywords: normal concrete, compressive strength, tensile strength, Consol CR – 93

1. PENDAHULUAN

. Indonesia merupakan suatu negaraberkembang seiring dengan perkembangan konstruksinya, salah satunya konstruksi gedung. Beton merupakan salah satu komponen utama dalam pekerjaan konstruksi. Beton adalah salah satu bahan paling serbaguna yang digunakan dalam konstruksi bangunan, sistem kereta bawah tanah, dan banyak struktur teknik sipil lainnya(Mahmood et al., 2021). Salah satu material beton adalah semen. Semen didefinisikan sesuai dengan SNI 2049 tahun 2015 menyatakan bahwa semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Salah satu penyebab meningkatnya karbon dioksida (CO₂) di bumi adalah penggunaan semen di bidang industri. (Andrew et al., 2018) dalam (Khan et al., 2021) pada tahun 2016, semen global produksi menghasilkan sekitar 2,2 miliar metric ton CO₂, yang menyumbang sekitar 8% dari emisi CO₂ global. Consol CR – 93 adalah bahan tambah untuk beton yang di produksi oleh Kimia Konstruksi Indonesia. Pada keterangan yang tertera pada *flyer* Consol CR – 93, adalah bahan tambah yang larut dalam air yang memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kekuatan pada beton dan mengurangi penggunaan semen.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh Penambahan Admixture Consol CR – 93 Pada Beton Normal Ditinjau Dari Kuat Tekan dan Kuat Tarik*”.

2. METODE

Penelitian ini dimulai dengan pengujian fisik material meliputi pengujian berat jenis, penyerapan, kadar air, berat isi, dan gradasi. Selanjutnya pembuatan mix design sesuai dengan SNI 03 – 2834 – 2000. Dari perancangan mix design, akan dilakukan pembuatan benda uji silinder dimensi 150 mm x 300 mm dengan berbagai variasi. Pengujian benda uji silinder dilakukan pada saat benda uji berumur 7 dan 14 hari, pengujian meliputi pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah.

Table 1 Hasil Pengujian Fisik Material

Jenis Pengujian	Hasil (agg kasar)	Hasil (agg halus)
Berat Jenis		
a. Berat Jenis SSD	2.82	2.65
b. penyerapan	1.09	0.62
Kadar air (%)	2.37	4.56

Berat Isi		
a. Lepas	1.48	1.27
b. Tusuk	1.58	1.48
c. Goyang	1.43	1.45

Dari data yang di dapat dari pengujian fisik material, bisa dibuat mix design dengan berbagai variasi.

Table 2 Mix Design Variasi 1

Material	Sumber	Berat (kg)
Semen	Semen Gresik	55.7
Pasir	Lumajang	74.2
Kerikil	Pasuruan	111.9
Air		17.5

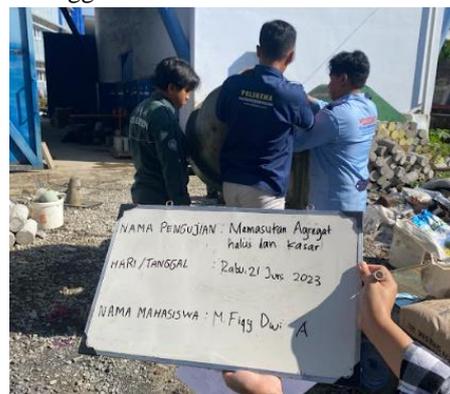
Table 3 Mix Design Variasi 2

Material	Sumber	Berat (kg)
Semen	Semen Gresik	55.3
Pasir	Lumajang	74.2
Kerikil	Pasuruan	111.9
Air		17.5
Aditif	Consol CR - 93	417.8 gr

Table 4 Mix Design Variasi 3

Material	Sumber	Berat (kg)
Semen	Semen Gresik	55.2
Pasir	Lumajang	74.2
Kerikil	Pasuruan	111.9
Air		17.5
Aditif	Consol CR - 93	501.3 gr

Setelah perancangan mix design, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji silinder dimensi 150 mm x 300 mm menggunakan mixer beton.



Gambar 1 Pembuatan Benda Uji Silinder

Setelah beton segar telah terbuat, beton segar dimasukkan kedalam cetakan silinder beton.



Gambar 2 Memasukkan Beton Segar ke Cetakan

Kemudian beton segar didiamkan didalam cetakan selama ± 24 jam agar mengeras. Setelah beton mengeras, beton dilepas dari cetakan dan dimasukkan kedalam bak *curing*. Kemudian benda uji dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah. Sebelum dilakukan pengujian, silinder beton dikeluarkan dahulu dari bak *curing* ± 24 jam sebelum dilakukannya pengujian.



Gambar 3 Curing Beton



Gambar 4 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 5 Pengujian Kuat Tarik Belah



Gambar 6 Retak dalam Benda Uji Silinder

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan skema yang dibahas sesuai metode dan alur penelitian, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

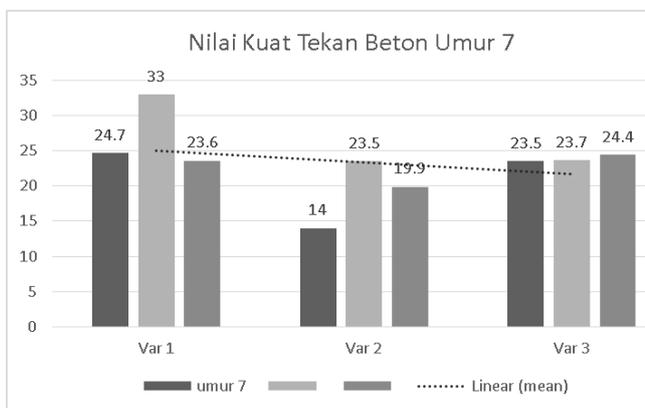
Benda Uji Umur 7

Pada pengujian kuat tekan, benda uji dengan variasi 1, yaitu penambahan 0% aditif (beton control) memiliki berat 12.5 kg, 12.6 kg, dan 12.8 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 24.7 MPa, 33 MPa, dan 23.6 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 27.1 MPa. Benda uji dengan variasi 2, yaitu penambahan 0.75% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.75% semen memiliki berat 13 kg, 12.9 kg, dan 12.8 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 14 MPa, 23.5 MPa, dan 19.9 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 19.1 MPa. Benda uji dengan variasi 3, yaitu penambahan 0.9% aditif dari berat semen serta pengurangan

0.9% semen memiliki berat 12.6 kg, 12.6 kg, dan 12.6 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 23.5 MPa, 23.7 MPa, dan 24.4 MPa sehingga memiliki rata – raa sebesar 23.9 MPa.

Table 5 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Umur 7

Kode	Variasi	Umur	Berat (kg)	Nilai (MPa)	Nilai rata – rata
BU 1			12.5	24.7	
BU 2	1	7	12.6	33	27.1
BU 3			12.8	23.6	
BU 1			13	14	
BU 2	2	7	12.9	23.5	19.1
BU 3			12.8	19.9	
BU 1			12.6	23.5	
BU 2	3	7	12.6	23.7	23.9
BU 3			12.6	24.4	



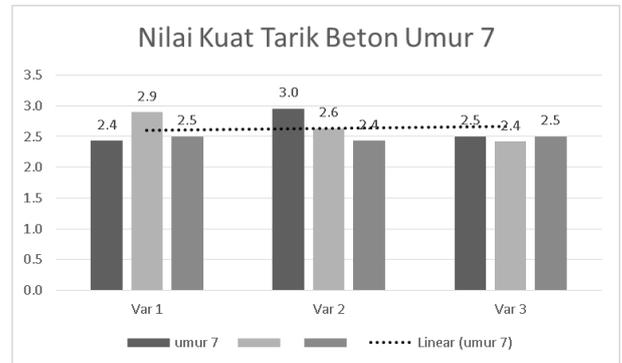
Gambar 7 Tabel Nilai Kuat Tekan Umur 7

Pada pengujian kuat tarik, benda uji dengan variasi 1, yaitu penambahan 0% aditif (beton control) memiliki berat 12.9 kg, 12.5 kg, dan 12.9 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 2.4 MPa, 2.9 MPa, dan 2.5 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.6 MPa. Benda uji dengan variasi 2, yaitu penambahan 0.75% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.75% semen memiliki berat 12.6 kg, 12.6 kg, dan 12.7 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 3 MPa, 2.6 MPa, dan 2.4 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.7 MPa. Benda uji dengan variasi 3, yaitu penambahan 0.9% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.9% semen memiliki berat 12.6 kg, 12.7kg, dan 12.8 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 2.5 MPa, 2.4 MPa, dan 2.5 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.5 MPa.

Table 6 Nilai Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 7

Kode	Variasi	Umur	Berat (kg)	Nilai (MPa)	Nilai rata – rata
BU 1			12.9	2.4	
BU 2	1	7	12.5	2.9	2.6
BU 3			12.9	2.5	
BU 1			12.6	3	

BU 2			12.6	2.6	
BU 3			12.7	2.4	
BU 1			12.6	2.5	
BU 2	3	7	12.7	2.4	2.5
BU 3			12.8	2.5	



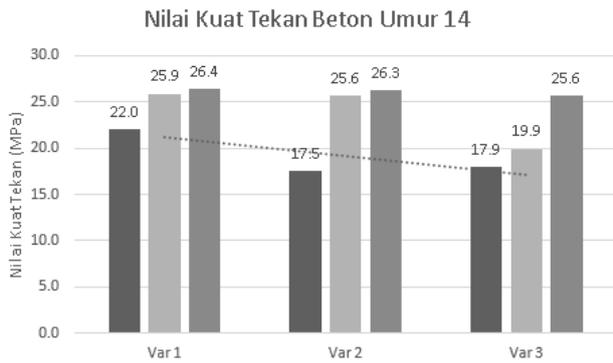
Gambar 8 Tabel Nilai Kuat Tarik Belah Umur 7

Benda Uji Umur 14

Pada pengujian kuat tekan, benda uji dengan variasi 1, yaitu penambahan 0% aditif (beton control) memiliki berat 12.8 kg, 12.5 kg, dan 12.7 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 22 MPa, 25.9 MPa, dan 26.4 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 24.7 MPa. Benda uji dengan variasi 2, yaitu penambahan 0.75% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.75% semen memiliki berat 12.8 kg, 12.6 kg, dan 13 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 17.5 MPa, 25.6 MPa, dan 26.3 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 23.1 MPa. Benda uji dengan variasi 3, yaitu penambahan 0.9% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.9% semen memiliki berat 12.7 kg, 12.6 kg, dan 12.7 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 17.9 MPa, 19.9 MPa, dan 25.6 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 21.1 MPa.

Table 7 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Umur 14

Kode	Variasi	Umur	Berat (kg)	Nilai (MPa)	Nilai rata – rata
BU 1			12.8	22	
BU 2	1	14	12.5	25.9	24.7
BU 3			12.7	26.4	
BU 1			12.8	17.5	
BU 2	2	14	12.6	25.6	23.1
BU 3			13	26.3	
BU 1			12.7	17.9	
BU 2	3	14	12.6	19.9	21.1
BU 3			12.7	25.6	

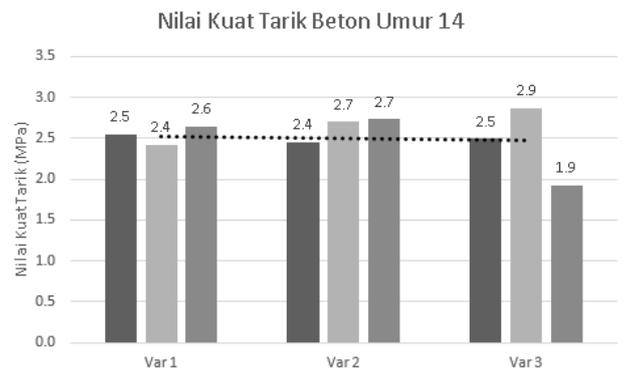


Gambar 9 Tabel Nilai Kuat Tekan Umur 14

Pada pengujian kuat tarik, benda uji dengan variasi 1, yaitu penambahan 0% aditif (beton control) memiliki berat 12.8 kg, 12.9 kg, dan 12.8 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 2.5 MPa, 2.4 MPa, dan 2.6 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.5 MPa. Benda uji dengan variasi 2, yaitu penambahan 0.75% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.75% semen memiliki berat 13 kg, 12.6 kg, dan 13 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 2.4 MPa, 2.7 MPa, dan 2.7 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.6 MPa. Benda uji dengan variasi 3, yaitu penambahan 0.9% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.9% semen memiliki berat 12.7 kg, 12.7kg, dan 13 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 2.5 MPa, 2.9 MPa, dan 1.9 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.4 MPa.

Table 8 Nilai Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 14

Kode	Variasi	Umur	Berat (kg)	Nilai (MPa)	Nilai rata – rata
BU 1			12.8	2.5	
BU 2	1	14	12.9	2.4	2.5
BU 3			12.8	2.6	
BU 1			13	2.4	
BU 2	2	14	12.6	2.7	2.6
BU 3			13	2.7	
BU 1			12.7	2.5	
BU 2	3	14	12.7	2.9	2.4
BU 3			13	1.9	

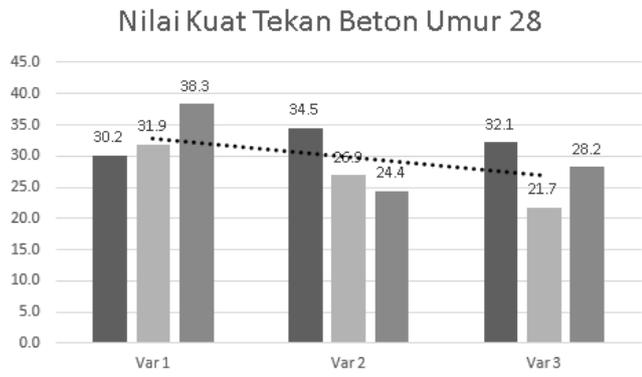


Gambar 10 Tabel Nilai Kuat Tarik Belah Umur 14 Benda Uji Umur 28

Pada pengujian kuat tekan, benda uji dengan variasi 1, yaitu penambahan 0% aditif (beton control) memiliki berat 12.9 kg, 12.7 kg, dan 12.9 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 30.2 MPa, 31.9 MPa, dan 38.3 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 33.5 MPa. Benda uji dengan variasi 2, yaitu penambahan 0.75% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.75% semen memiliki berat 12.6 kg, 12.9 kg, dan 12.8 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 34.5 MPa, 34.5 MPa, dan 34.5 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 28.6 MPa. Benda uji dengan variasi 3, yaitu penambahan 0.9% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.9% semen memiliki berat 12.9 kg, 12.5 kg, dan 12.9 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 32.1 MPa, 21.7 MPa, dan 28.2 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 27.4 MPa.

Table 9 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Umur 28

Kode	Variasi	Umur	Berat (kg)	Nilai (MPa)	Nilai rata – rata
BU 1			12.9	30.2	
BU 2	1	28	12.7	31.9	33.5
BU 3			12.9	38.3	
BU 1			12.6	34.5	
BU 2	2	28	12.9	34.5	28.6
BU 3			12.8	34.5	
BU 1			12.9	32.1	
BU 2	3	28	12.5	21.7	27.4
BU 3			12.9	28.2	

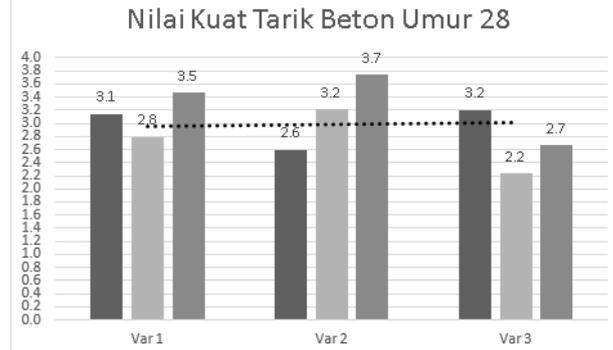


Gambar 11 Tabel Nilai Kuat Tekan Umur 28

Pada pengujian kuat tarik, benda uji dengan variasi 1, yaitu penambahan 0% aditif (beton control) memiliki berat 12.6 kg, 12.7 kg, dan 12.6 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 3.1 MPa, 2.8 MPa, dan 3.5 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 3.1 MPa. Benda uji dengan variasi 2, yaitu penambahan 0.75% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.75% semen memiliki berat 12.8 kg, 12.6 kg, dan 12.5 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 2.6 MPa, 3.2 MPa, dan 3.7 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 3.2 MPa. Benda uji dengan variasi 3, yaitu penambahan 0.9% aditif dari berat semen serta pengurangan 0.9% semen memiliki berat 12.5 kg, 12.7kg, dan 12.5 kg, memiliki nilai kuat tekan sebesar 3.2 MPa, 2.2 MPa, dan 2.7 MPa sehingga memiliki rata – rata sebesar 2.7 MPa.

Table 10 Nilai Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 28

Kode	Variasi	Umur	Berat (kg)	Nilai (MPa)	Nilai rata – rata
BU 1	1	28	12.6	3.1	3.1
BU 2			12.7	2.8	
BU 3			12.6	3.5	
Bu 1	2	28	12.8	2.6	3.2
BU 2			12.6	3.2	
BU 3			12.5	3.7	
BU 1	3	28	12.5	3.2	2.7
BU 2			12.7	2.2	
BU 3			12.5	2.7	



Gambar 12 Tabel Nilai Kuat Tarik Belah Umur 28

Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya menjadi poin penting dalam penelitian ini, karena analisis biaya bisa menjadi acuan harga untuk produksi yang lebih besar. Pada penelitian ini, rencana anggaran biaya dilakukan pada 3 variasi beton per 0.105975 m³. Harga material didapat dari harga per m³ untuk agregat kasar serta agregat halus, per kg untuk semen ,dan per gr untuk zat aditif.

Table 9 Rencana Anggaran Biaya Variasi 1

Material	Kuantitas	Harga	Harga kebutuhan per 0.105975 m3
Semen	1 sak (40kg)	Rp 57,000.00	Rp 79,379.35
Kerikil	1 m3	Rp 1,550,000.00	Rp 164,261.25
Pasir	1 m3	Rp 1,900,000.00	Rp 201,352.50
Total			Rp 444,993.10

Table 10 Rencana Anggaran Biaya Variasi 2

Material	Kuantitas	Harga	Harga kebutuhan per 0.105975 m3
Semen	1 sak (40kg)	Rp 57,000.00	Rp 78,784.01
Kerikil	1 m3	Rp1,550,000.00	Rp 164,261.25
Pasir	1 m3	Rp1,900,000.00	Rp 201,352.50
Admix	5 ltr	Rp 8,325.00	Rp 3,479.77
Total			Rp 447,877.52

Table 11 Rencana Anggaran Biaya Variasi 3

Material	Kuantitas	Harga	Harga kebutuhan per 0.105975 m3
Semen	1 sak (40kg)	Rp 57,000.00	Rp 78,664.94
Kerikil	1 m3	Rp1,550,000.00	Rp 164,261.25
Pasir	1 m3	Rp1,900,000.00	Rp 201,352.50
Admix	5 ltr	Rp 8,325.00	Rp 4,173.32
Total			Rp 448,452.01

Berdasarkan hasil tabel rencana anggaran biaya dari 3 variasi, didapat harga tertinggi yaitu pada variasi 3 sebesar Rp. 448.452,01 sedangkan harga terendah pada variasi 1

sebesar Rp. 444.993,10. Dapat disimpulkan bahwa seiring penambahan zat aditif dan pengurangan semen lebih banyak, harga kebutuhan per $0,105975 \text{ m}^3$ semakin tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan diatas, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil diantaranya:

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, bahwa garis tren di umur 7, seiring ditambahkan zat aditif nilai kuat tekan rerata benda uji semakin menurun sedangkan nilai kuat tarik belah cenderung tidak konsisten. Pada pengujian kuat tekan, didapat nilai tertinggi sebesar 27.1 MPa pada Variasi 1 atau beton control. Sedangkan, pada pengujian kuat tarik belah didapat nilai tertinggi sebesar 2.7 MPa pada Variasi 2 atau penambahan 0.75% Consol CR – 93 dan pengurangan 0.75% semen
2. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, bahwa garis tren di umur 14, seiring ditambahkan zat aditif nilai kuat tekan rerata benda uji semakin menurun sedangkan nilai kuat tarik belah cenderung tidak konsisten. Pada pengujian kuat tekan, didapat nilai tertinggi sebesar 24.7 MPa pada Variasi 1 atau beton control. Sedangkan, pada pengujian kuat tarik belah didapat nilai tertinggi sebesar 2.6 MPa pada Variasi 2 atau penambahan 0.75% Consol CR – 93 dan pengurangan 0.75% semen.
3. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, bahwa garis tren di umur 28, seiring ditambahkan zat aditif nilai kuat tekan rerata benda uji semakin menurun sedangkan nilai kuat tarik belah cenderung tidak konsisten. Pada pengujian kuat tekan, didapat nilai tertinggi sebesar 33.5 MPa pada Variasi 1 atau beton control. Sedangkan, pada pengujian kuat tarik belah didapat nilai tertinggi sebesar 3.2 MPa pada Variasi 2 atau penambahan 0.75% Consol CR – 93 dan pengurangan 0.75% semen.
4. Berdasarkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya, didapat harga termurah pada variasi 1 yaitu sebesar Rp. 444.993,10, sedangkan harga termahal pada variasi 3 yaitu sebesar Rp. 448.452,01.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 2049 Semen Portland (2015). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [2] Khan, M. M. H ., Havukainen, J., & Horttanainen, M. (2021). Impact of utilizing solid recovered fuel on the global warming potential of cement production and waste management system: A life cycle assessment

approach. *Waste Management & Research*, 39(4), 561-572.

- [3] SNI 03 – 2834 – 2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (2000). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [4] Ahmad, M., Hu, J. L., Ahmad, F., Tang, X. W., Amjad, M., Iqbal, M. J., ... & Farooq, A. (2021). Supervised learning methods for modeling concrete compressive strength prediction at high temperature. *Materials*, 14(8), 1983.