

## Pengaruh Penambahan *Admixture Integral Waterproofing* terhadap Kuat Tekan dan Penetrasi Air Beton *Ready Mix*

Ilham Fajar Khairi<sup>1)</sup>, Masdar Helmi<sup>2)</sup>, Mohd Isneini<sup>3)</sup>, Chatarina Niken<sup>4)</sup>, Vera Agustriana<sup>5)</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5)</sup> Magister Teknis Sipil Universitas Lampung,  
JL. Prof. Soemantri Brojonegoro No 1, Raja Basa, Bandar Lampung  
Email: [ilhamfajar03@gmail.com](mailto:ilhamfajar03@gmail.com)<sup>1)</sup>, [masdar.helmi@eng.unila.id](mailto:masdar.helmi@eng.unila.id)<sup>2)</sup>,  
[mohd.isneini@eng.unila.ac.id](mailto:mohd.isneini@eng.unila.ac.id)<sup>3)</sup>, [chatarinaniken@yahoo.com](mailto:chatarinaniken@yahoo.com)<sup>4)</sup>,  
[veraagustriana@yahoo.co.id](mailto:veraagustriana@yahoo.co.id)<sup>5)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v16i1.1352>

(Received: 27 January 2026 / Revised: 01 February 2025 / Accepted: 25 February 2026)

### Abstrak

Beton *ready mix* banyak digunakan pada proyek konstruksi berskala menengah hingga besar, terutama pada struktur yang terpapar air dan lingkungan agresif. Selain memenuhi kuat tekan rencana, beton juga dituntut memiliki kinerja kedap air yang baik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan *admixture integral waterproofing* terhadap kuat tekan dan penetrasi air pada beton *ready mix* proyek di Bakauheni, Lampung Selatan. Beton mutu rencana  $f'c$  24,9 MPa diuji dalam tiga variasi: tanpa *admixture*, dengan *admixture integral waterproofing*, dan kombinasi *admixture* dengan *finishing coating*. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 28 dan 56 hari dengan perendaman air tawar dan air laut, sedangkan uji penetrasi air dilakukan pada umur 28 hari. Analisis menggunakan metode deskriptif dan ANOVA ( $\alpha = 5\%$ ). Hasil menunjukkan seluruh variasi melampaui kuat tekan rencana dan *admixture* tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan. Namun, kombinasi *admixture* dan *coating* secara signifikan menurunkan penetrasi air sesuai SNI 03-2914-1992.

Kata kunci: *Beton ready mix, admixture integral waterproofing, kuat tekan beton, penetrasi air, beton kedap air*

### Abstrack

Ready-mix concrete is widely used in medium- to large-scale construction projects, particularly for structures exposed to water and aggressive environments. In such conditions, concrete is required not only to achieve the specified compressive strength but also to provide adequate watertight performance. This study aims to evaluate the effect of integral waterproofing admixture on compressive strength and water penetration depth of ready-mix concrete used in an actual construction project in Bakauheni, Lampung Selatan. Concrete with a design strength of  $f'c$  24.9 MPa was tested under three variations: without admixture, with integral waterproofing admixture, and with integral waterproofing admixture combined with a finishing coating. Compressive strength tests were conducted at 28 and 56 days under freshwater and seawater immersion, while water penetration tests were performed at 28 days. Data were analyzed using descriptive analysis and two-way ANOVA ( $\alpha = 5\%$ ). Results indicate that all variations exceeded the design strength, and the admixture had no significant effect on compressive strength. However, the combination of admixture and coating significantly reduced water penetration depth in accordance with SNI 03-2914-1992.

Keywords: *Ready-mix concrete, integral waterproofing admixture, compressive strength, water penetration, waterproof concrete*

## 1. Latar Belakang

Beton merupakan bahan baku utama dalam konstruksi gedung, bendungan, jalan raya, dan bangunan lainnya. Beton adalah material komposit yang sangat tergantung pada kualitas dan jumlah masing-masing material pembentuknya (Hamdi *et al.*, 2022). Material ini banyak digunakan karena memiliki kuat tekan tinggi, kemudahan pelaksanaan, dan biaya yang relatif ekonomis. Namun demikian, beton memiliki struktur mikro berpori yang memungkinkan terjadinya pergerakan air dan zat agresif ke dalam matriks beton, sehingga dapat menurunkan durabilitas, terutama pada struktur yang terpapar lingkungan lembap, air tanah, maupun lingkungan laut (Neville, 2011).

Porositas dan permeabilitas beton merupakan faktor penting yang menentukan tingkat keawetan beton. Air yang masuk melalui pori kapiler dapat membawa ion klorida, sulfat, dan zat agresif lainnya yang berpotensi menyebabkan degradasi beton serta mempercepat terjadinya korosi tulangan (Mehta and Monteiro, 2014). Oleh karena itu, pengendalian kemampuan beton dalam menyerap dan meloloskan air menjadi aspek krusial dalam peningkatan kinerja beton jangka panjang.

Pada lingkungan pesisir, struktur beton secara langsung terpapar air laut yang memiliki salinitas tinggi dan bersifat agresif. Kandungan ion klorida dalam air laut dapat menembus pori-pori beton, merusak lapisan pasif beton yang bersifat basa, dan memicu korosi tulangan secara bertahap (Kusminah and Aadziima, 2018). Paparan air laut juga dilaporkan dapat mengganggu mikrostruktur beton dan menurunkan kuat tekan, sehingga mempercepat degradasi material beton (Tijani *et al.*, 2015). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya perlakuan khusus untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air dan lingkungan agresif.

Salah satu metode yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air adalah penggunaan *admixture* integral *waterproofing*. *Admixture* ini ditambahkan langsung ke dalam campuran beton dan bekerja dengan cara mengurangi ukuran pori kapiler, membentuk lapisan hidrofobik, atau menghasilkan kristal tidak larut yang menutup jalur pergerakan air di dalam beton. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan *admixture* integral *waterproofing* mampu menurunkan permeabilitas dan kedalaman penetrasi air secara signifikan (Jahandari *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, pengaruh *admixture* integral *waterproofing* terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan, masih menunjukkan hasil yang bervariasi. Beberapa studi menyatakan bahwa penambahan *admixture* *waterproofing* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton, sementara penelitian lain melaporkan adanya peningkatan atau penurunan kuat tekan tergantung pada jenis *admixture* dan komposisi campuran beton yang digunakan (Gojević *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi kinerja *admixture* perlu dilakukan secara spesifik sesuai kondisi beton yang digunakan.

Dalam praktik konstruksi modern, beton yang umum digunakan adalah beton *ready mix*, terutama pada proyek berskala menengah hingga besar. Beton *ready mix* merupakan beton siap pakai yang diproduksi di *batching plant* berdasarkan *mix design* tertentu dan dikirim ke lokasi proyek dalam kondisi segar (Shah, Pitroda and Bhavsar, 2014). Karakteristik beton *ready mix* yang diproduksi di *batching plant* dapat berbeda dengan beton yang dibuat di laboratorium karena

berbagai faktor produksi nyata seperti kontrol mutu fasilitas, kalibrasi peralatan, dan kondisi operasional produksi (Skrzypczak *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pengujian langsung terhadap beton *ready mix* proyek aktual menjadi penting untuk memperoleh data yang representatif terhadap kondisi lapangan.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa peningkatan durabilitas beton melalui penggunaan *admixture waterproofing* tidak selalu diikuti oleh peningkatan kuat tekan beton. Ayobami, Ameh and Oladipupo, (2025) melaporkan bahwa kombinasi *admixture waterproofing* dengan *admixture* pengurang air dapat memberikan efek sinergis terhadap kinerja beton apabila dirancang dengan komposisi campuran yang tepat. Sementara itu, Suwondo *et al.*, (2024) menegaskan bahwa mekanisme utama peningkatan kedekatan beton berasal dari modifikasi mikrostruktur beton melalui pembentukan kristal yang mengisi pori dan kapiler beton, sehingga mampu menurunkan penetrasi air secara signifikan. Dalam konteks beton *ready mix*, Setiawan, Nanda and Abdulgani, (2025) menunjukkan bahwa pengendalian mutu di *batching plant* menghasilkan mutu beton yang relatif homogen, sehingga penambahan integral *waterproofing* di lapangan lebih berperan dalam meningkatkan aspek durabilitas dibandingkan kuat tekan beton.

Penelitian terdahulu umumnya mengkaji penggunaan *admixture* integral *waterproofing* pada beton skala laboratorium dengan kondisi yang terkontrol. Kajian yang memanfaatkan beton *ready mix* dari proyek aktual dengan perlakuan *admixture* integral *waterproofing* dan *finishing coating* masih terbatas. Selain itu, penelitian yang secara simultan mengevaluasi aspek kekuatan mekanik melalui uji kuat tekan dan aspek durabilitas melalui uji penetrasi air pada beton *ready mix* proyek nyata masih jarang dilakukan secara komprehensif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh penambahan *admixture* integral *waterproofing* terhadap kinerja mekanik dan durabilitas beton *ready mix* yang digunakan pada proyek konstruksi aktual di Bakauheni, Lampung Selatan. Secara khusus, penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi perlakuan terhadap kuat tekan beton pada umur 28 dan 56 hari, termasuk kondisi perendaman air tawar dan air laut, serta terhadap kedalaman penetrasi air berdasarkan SNI 03-2914-1992. Penelitian ini juga menilai efektivitas kombinasi *admixture* integral *waterproofing* dan *finishing coating* dalam meningkatkan kedekatan beton tanpa menurunkan kapasitas strukturalnya pada kondisi aplikasi lapangan.

## **2. Metode Penelitian**

### **2.1 Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui pengujian laboratorium untuk menganalisis pengaruh penambahan *admixture* integral *waterproofing* terhadap kinerja beton. Metode eksperimen merupakan pendekatan sistematis yang memungkinkan pengujian pengaruh variabel secara terkontrol dan kuantitatif sehingga hasilnya dapat dianalisis secara statistik (Montgomery, 2017). Dalam penelitian ini, variabel bebas meliputi penambahan *admixture* integral *waterproofing* dan umur beton, sedangkan variabel terikat berupa kuat tekan beton (MPa) dan kedalaman penetrasi air (mm), dengan pengujian dilakukan pada benda uji beton sesuai variasi perlakuan dan umur yang telah ditentukan untuk mengevaluasi kinerja mekanik dan durabilitas beton.

## 2.2 Material dan Benda Uji

Sampel beton berasal dari beton *ready mix* yang diaplikasikan pada proyek konstruksi di Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. Beton dirancang dengan kuat tekan rencana  $f'_c = 24,90$  MPa dan faktor air semen (w/c) sebesar 0,44. Perencanaan campuran beton (*Job Mix Formula/JMF*) mengacu pada SNI 7656:2012 tentang tata cara perencanaan campuran beton normal.

*Admixture* yang digunakan adalah integral *waterproofing* jenis crystalline (Conplast CWP produksi PT Fosroc Indonesia) dengan dosis 0,8% terhadap w/c, sesuai rekomendasi pabrikan (0,6–1,0%). Penambahan dilakukan di lokasi proyek setelah beton tiba dan sebelum pengecoran.

Untuk merepresentasikan kondisi aktual di lapangan, sebagian sampel juga diberi perlakuan finishing *coating waterproofing* guna mengevaluasi efektivitas kombinasi *admixture* dan perlindungan permukaan terhadap kinerja beton.

Penelitian menggunakan tiga variasi beton: beton normal, beton dengan *admixture* integral *waterproofing*, serta beton dengan *admixture* yang dikombinasikan dengan *finishing coating*. Benda uji berupa silinder  $\varnothing 150$  mm  $\times$  300 mm untuk uji kuat tekan dan kubus  $200 \times 200 \times 120$  mm untuk uji penetrasi air, dengan tiga benda uji untuk setiap variasi dan umur, total 36 benda uji.

Pengujian dilakukan pada umur 28 dan 56 hari. Pada umur 28 hari dilakukan uji kuat tekan dan penetrasi air, sedangkan benda uji yang tersisa direndam dalam air tawar dan air laut hingga umur 56 hari untuk pengujian kuat tekan lanjutan. Rincian jumlah dan perlakuan benda uji disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Benda uji

Benda Uji	Kuat Tekan			Permeabilitas Standar
	28 hari (buah)	56 hari (buah)	28 hari (buah)	28 hari (buah)
Umur	28 hari (buah)	56 hari (buah)	28 hari (buah)	28 hari (buah)
Perlakuan Rendaman	<i>Curing</i> 7 hari	Air Tawar	Air Laut	<i>Curing</i> 7 hari
Cetakan	Silinder	Silinder	Silinder	Kubus
Beton Normal	3	3	3	3
Beton Integral <i>Waterproofing</i>	3	3	3	3
Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	3	3	3	3
Jumlah	9	9	9	9
Total	36			

## 2.3 Prosedur Pengujian

### 2.3.1 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan menggunakan mesin CTM (*Compression Testing Machine*) dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung beralamat di Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1 Kota Bandar Lampung. Acuan standar untuk uji kuat tekan beton metode *compression test* menggunakan SNI 1974-2011 “Cara Uji Kuat Tekan Beton Silinder”. Beban diberikan secara kontinu hingga benda uji runtuh, dan nilai kuat tekan dihitung dari perbandingan antara beban maksimum terhadap luas penampang silinder. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

- $f'c$  = kuat tekan beton (MPa)  
 $P$  = beban maksimum saat runtuh (N)  
 $A$  = luas penampang silinder (mm<sup>2</sup>)

### 2.3.2 Uji Penetrasi

Pengujian penetrasi menggunakan alat permeabilitas standar dilakukan di Laboratorium Uji Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia beralamat di Kampus UI, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat. Pengujian dilakukan berdasarkan BS EN 12390-8:2009 dengan tekanan air  $\pm 5$  bar selama 72 jam. Setelah pengujian, benda uji dibelah dan diukur kedalaman tembus maksimum air (mm). Kemudian nilai penetrasi rata-rata dihitung dengan persamaan berikut (Walpole *et al.*, 2016):

$$d_{avg} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (2)$$

Keterangan:

- $d_{avg}$  = kedalaman penetrasi rata-rata (mm)  
 $d_i$  = kedalaman penetrasi masing-masing benda uji (mm)  
 $n$  = jumlah benda uji

Hasil dibandingkan dengan batas maksimum kedalaman tembus air menurut SNI 03-2914-1992, yaitu 30 mm (agresif kuat) dan 50 mm (agresif sedang).

## 2.4 Analisis Data

Data hasil uji kuat tekan dan uji penetrasi air dianalisis menggunakan metode Analisis Varian (*Analysis of Variance/ANOVA*) sebagai analisis statistik inferensial, kemudian dilengkapi dengan analisis deskriptif untuk memberikan gambaran karakteristik data.

### 2.4.1 Analisis Varian (ANOVA)

Analisis varian merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata lebih dari dua kelompok melalui perbandingan variasi antar kelompok dan variasi dalam kelompok. Field, (2013) menjelaskan bahwa ANOVA merupakan pengembangan dari uji  $t$  yang memungkinkan evaluasi simultan perbedaan antar kelompok dengan menggunakan statistik F untuk menentukan signifikansi perbedaan. ANOVA dua arah digunakan pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Statistik F dan *mean square* diperoleh dengan persamaan berikut (Montgomery, 2017):

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{within}} \quad (3)$$

$$MS = \frac{SS}{df} \quad (4)$$

Keterangan :

- $F$  = nilai statistik F  
 $MS_{between}$  = *mean square* antar kelompok  
 $MS_{within}$  = mean square dalam kelompok  
 $MS$  = *mean square*  
 $SS$  = *sum of squares* (jumlah kuadrat)  
 $df$  = derajat kebebasan

Keputusan pengujian didasarkan pada nilai *p-value*, di mana  $p < 0,05$  menunjukkan perbedaan yang signifikan.

#### 2.4.2 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk menyajikan dan menggambarkan karakteristik data secara sistematis melalui ringkasan numerik, seperti nilai rata-rata dan standar deviasi, serta penyajian data dalam bentuk tabel atau grafik. Analisis ini bertujuan melengkapi hasil ANOVA dengan memberikan informasi mengenai kecenderungan dan sebaran data tanpa melakukan generalisasi ke populasi yang lebih luas (Martias, 2021). Nilai rata-rata dan standar deviasi dihitung menggunakan persamaan berikut (Montgomery, 2017):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Keterangan :

$s$  = standar deviasi

$x_i$  = nilai pengamatan ke- $i$

$\bar{x}$  = nilai rata-rata

$n$  = jumlah sampel

#### 2.5 Evaluasi Kekedapan

Selain dianalisis secara statistik, hasil uji penetrasi air juga dievaluasi berdasarkan ketentuan standar nasional, yaitu SNI 03-2914-1992. Standar tersebut menetapkan batas maksimum kedalaman tembus air sebesar 30 mm untuk lingkungan agresif kuat dan 50 mm untuk lingkungan agresif sedang. Evaluasi ini digunakan untuk menilai efektivitas *admixture* integral *waterproofing*, baik dengan maupun tanpa *finishing coating*, dalam meningkatkan durabilitas beton pada kondisi proyek aktual.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas hasil uji kuat tekan dan penetrasi air beton *ready mix* pada tiga variasi perlakuan, yaitu beton normal, beton dengan *admixture* integral *waterproofing*, serta beton dengan kombinasi *admixture* dan *finishing coating*. Analisis dilakukan menggunakan statistik deskriptif dan ANOVA, serta dibandingkan dengan ketentuan SNI 03-2914-1992 tentang beton kedap air. Pembahasan ini bertujuan untuk menjelaskan pengaruh *admixture* terhadap kinerja mekanik dan kededapan beton serta implikasinya pada penerapan di lapangan.

#### 3.1 Kuat Tekan Beton

Pembahasan kuat tekan beton difokuskan pada evaluasi pengaruh penambahan *admixture* integral *waterproofing* terhadap kinerja mekanik beton *ready mix* pada umur 28 dan 56 hari. Analisis dilakukan melalui pendekatan deskriptif dan analisis varian (ANOVA) untuk menilai kecenderungan serta

signifikansi pengaruh perlakuan dan kondisi perendaman terhadap kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari direndam *curing* 7 hari

Umur Beton (hari)	Jenis Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
	Beton Normal	25.76	
28	Beton Normal	33.64	30.55
	Beton Normal	32.24	
	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	31.8	
28	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	30.51	30.68
	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	29.72	
	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	34.87	
28	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	35.6	33.84
	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	31.06	

Hasil pengujian kuat tekan umur 56 hari dengan perlakuan rendaman air tawar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil uji kuat tekan beton umur 56 hari perendaman air tawar

Umur Beton (hari)	Jenis Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
	Beton Normal	34.41	
56	Beton Normal	17.8	29.52
	Beton Normal	36.36	
	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	36.1	
56	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	35.56	35.02
	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	33.39	
	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	23.85	
56	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	30	29.18
	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	33.69	

Hasil pengujian kuat tekan umur 56 hari dengan perlakuan rendaman air laut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji kuat tekan beton umur 56 hari perendaman air laut

Umur Beton (hari)	Jenis Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
	Beton Normal	32.21	
56	Beton Normal	32.88	32.35
	Beton Normal	31.97	
	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	26.54	
56	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	30.8	28.03
	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	26.74	
	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	29.44	
56	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	24.92	25.48
	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	22.07	

Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 dan 56 hari disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi rata-rata hasil uji kuat tekan

Umur Beton (hari)	Jenis Benda Uji	Perlakuan Rendaman	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
28	Beton Normal	<i>Curing</i> 7 Hari	30.55
28	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	<i>Curing</i> 7 Hari	30.68
28	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	<i>Curing</i> 7 Hari	33.84
56	Beton Normal	Air Tawar	29.52
56	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	Air Tawar	35.02
56	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	Air Tawar	29.18
56	Beton Normal	Air Laut	32.35
56	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	Air Laut	28.03
56	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	Air Laut	25.48

### 3.1.1 Analisis statistik metode ANOVA

Hasil pengujian kuat tekan beton dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) dua arah karena penelitian ini melibatkan dua faktor utama, yaitu jenis beton dan umur/perlakuan perendaman, yang masing-masing terdiri atas beberapa tingkat. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui adanya perbedaan kuat tekan beton yang signifikan, baik akibat pengaruh masing-masing faktor maupun interaksi antara keduanya. Rangkuman hasil analisis ANOVA dua arah terhadap kuat tekan beton disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil distribusi analisis ANOVA dua arah uji kuat tekan beton

Sumber Variasi	DF	SS	MS	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub> (5%)	Keterangan
Jenis Beton (A) (SSA)	2	8.55	4,28	0,22	3.55	Tidak signifikan
Perlakuan (B) (SSB)	2	41.15	20,58	1,07	3.55	Tidak signifikan
Interaksi (A×B) (SSAB)	4	163.56	40,89	2,13	2.93	Tidak signifikan
Error (SSE)	18	346,26	19,24			
Total (SST)	26	559.52				

Hasil analisis ANOVA dua arah pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ) menunjukkan bahwa variasi perlakuan beton, umur dan kondisi rendaman, serta interaksi keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton. Nilai F<sub>hitung</sub> faktor perlakuan beton (0,22) lebih kecil dari F<sub>tabel</sub> (3,554), sehingga penambahan *admixture* integral *waterproofing*, baik tanpa maupun dengan *coating*, tidak menyebabkan perbedaan kuat tekan yang signifikan dibandingkan beton tanpa *admixture*.

Demikian pula, faktor umur dan kondisi rendaman menunjukkan F<sub>hitung</sub> sebesar  $1,07 < F_{tabel} 3,554$ , yang mengindikasikan tidak adanya pengaruh signifikan dalam rentang pengujian 28 dan 56 hari pada perendaman air tawar maupun air laut. Nilai F<sub>hitung</sub> interaksi A × B sebesar 2,13 juga lebih kecil dari F<sub>tabel</sub> 2,930, sehingga tidak terdapat interaksi signifikan antara perlakuan beton dan umur atau kondisi rendaman.

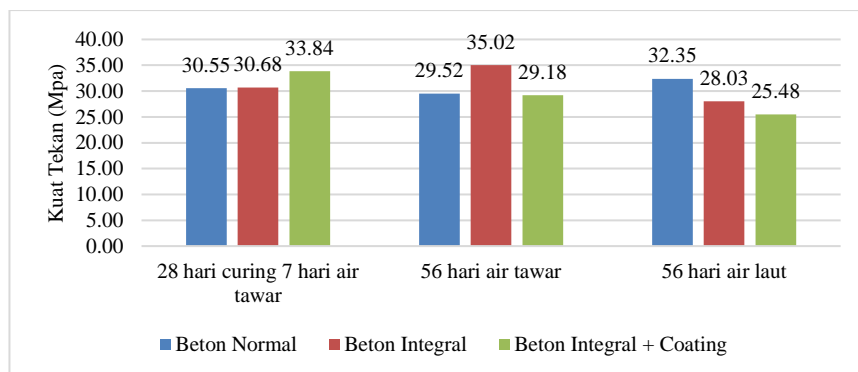
Secara keseluruhan, penambahan *admixture* integral *waterproofing* pada beton *ready mix* dalam penelitian ini tidak berdampak signifikan terhadap kuat tekan, meskipun memberikan implikasi pada aspek durabilitas.

### 3.1.2 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan untuk memberikan gambaran umum, deteksi data ekstrim, serta interpretasi yang lebih jelas sebagai analisis pendukung dari analisis statistik ANOVA. Data dan diagram rata-rata sebaran per kombinasi hasil dari uji kuat tekan disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 1.

Tabel 7 Data rata-rata dan sebaran per kombinasi hasil dari uji kuat tekan

Perlakuan Beton	Umur dan Rendaman	Nilai Kuat Tekan (MPa)			Rata-rata (MPa)	Min	Maks	Selisih
Beton Normal	28 hari	25.76	33.64	32.24	30.55	25.76	33.64	7.88
	56 hari air tawar	34.41	17.8	36.36	29.52	17.8	36.36	18.56
	56 hari air laut	32.21	32.88	31.97	32.35	31.97	32.88	0.91
Beton Integral <i>Waterproofing</i>	28 hari	31.8	30.51	29.72	30.68	29.72	31.8	2.08
	56 hari air tawar	36.1	35.56	33.39	35.02	33.39	36.1	2.71
	56 hari air laut	26.54	30.8	26.74	28.03	26.54	30.8	4.26
Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	28 hari	34.87	35.6	31.06	33.84	31.06	35.6	4.54
	56 hari air tawar	23.85	30	33.69	29.18	23.85	33.69	9.84
	56 hari air laut	29.44	24.92	22.07	25.48	22.07	29.44	7.37



Gambar 1 Diagram trend rata-rata kuat tekan dengan variasi perlakuan

Berdasarkan analisis deskriptif, seluruh variasi beton pada umur 28 hari melampaui kuat tekan rencana 24,9 MPa dengan kisaran 30–34 MPa. Nilai tertinggi diperoleh pada beton dengan *integral waterproofing* dan *coating*, menunjukkan bahwa penambahan *admixture* tidak menghambat proses hidrasi awal.

Pada umur 56 hari perendaman air tawar, beton dengan *integral waterproofing* memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi dan variasi data paling kecil, mencerminkan kestabilan mutu yang baik. Sebaliknya, beton tanpa *admixture* menunjukkan variasi yang lebih besar, mengindikasikan potensi ketidakhomogenan atau pengaruh eksternal. Beton dengan kombinasi *integral waterproofing* dan *coating* menunjukkan nilai rata-rata yang relatif lebih rendah dengan variasi sedang.

Pada perendaman air laut 56 hari, beton tanpa *admixture* justru memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi dan variasi terkecil, sedangkan beton dengan *admixture*, baik tanpa maupun dengan *coating*, menunjukkan nilai yang sedikit lebih rendah dan variasi lebih besar, mengindikasikan adanya pengaruh lingkungan laut terhadap perkembangan kuat tekan.

Secara keseluruhan, penggunaan beton *ready mix* dengan pengendalian mutu yang baik menghasilkan mutu awal yang homogen, sehingga penambahan *integral waterproofing* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan secara statistik. Hal ini menegaskan bahwa *admixture* tersebut tidak ditujukan untuk meningkatkan kuat tekan, melainkan berperan dalam aspek durabilitas, sementara variasi data pada beberapa kondisi turut menjelaskan tidak signifikannya hasil ANOVA meskipun terdapat kecenderungan teknis tertentu.

### 3.2 Uji Penetrasi Air

Pembahasan uji penetrasi air difokuskan pada evaluasi tingkat kedekatan beton akibat penambahan *admixture integral waterproofing* dan pelapisan *coating*. Analisis dilakukan dengan membandingkan kedalaman tembus air antar variasi beton serta mengaitkannya dengan ketentuan SNI 03-2914-1992 yang menetapkan batas maksimum penetrasi air untuk beton kedap air pada lingkungan agresif. Pembahasan ini bertujuan untuk menilai efektivitas *admixture integral waterproofing*, baik dengan maupun tanpa *coating*, dalam meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air serta kesesuaiannya dengan persyaratan standar. Hasil pengujian penetrasi air melalui uji permeabilitas standar disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil uji penetrasi melalui uji permeabilitas standar

Umur	Jenis Beton	Penetrasi (mm)	Rata-rata (mm)
28 hari	Beton Normal	28.5	
28 hari	Beton Normal	31.1	30.80
28 hari	Beton Normal	32.8	
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	31.7	
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	30.3	30.83
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	30.5	
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	8	
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	6.6	8.1
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	9.7	

#### 3.2.1 Analisis Statistik Metode ANOVA

Setelah dilakukan uji penetrasi maka data hasil pengujian analisis. Pada hasil uji penetrasi menggunakan analisis statistik ANOVA satu arah karena ada tiga replikasi per perlakuan dan hanya ada satu faktor. Analisis hasil pengujian penetrasi dengan metode ANOVA satu arah dirinci pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil distribusi ANOVA satu arah uji penetrasi standar

Sumber Variasi	df	SS	MS	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>	Keterangan
Antar Kelompok (SSB)	2	1032.1	516.05	201.76	5,14	Signifikan
Dalam Kelompok (SSE)	6	15.35	2.56			
Total	8	1047.44				

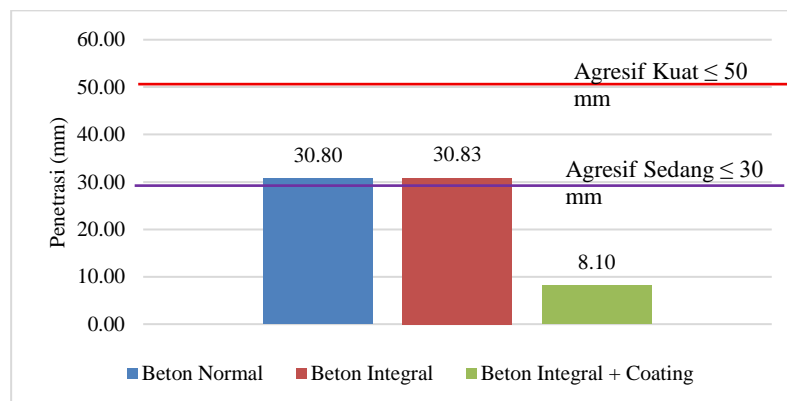
Nilai  $F_{hitung}$  (201.76) jauh lebih besar dibanding  $F_{tabel}$  ( $\alpha = 0.05$ ;  $df_1 = 2$ ;  $df_2 = 6 \approx 5.14$ ). Dengan demikian, hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak. Artinya terdapat perbedaan signifikan rata-rata penetrasi beton antar perlakuan. Dari nilai rata-rata tiap kelompok, perbedaan signifikan terutama disebabkan oleh perlakuan Beton dengan *admixture* integral *waterproofing* dengan *finishing coating* yang memberikan penetrasi jauh lebih rendah (8.10 mm) dibanding beton tanpa *admixture* integral *waterproofing* (30.55 mm) maupun beton dengan *admixture* integral *waterproofing* tanpa *finishing coating* (30.83 mm).

### 3.2.2 Analisis Deskriptif

Data dan diagram rata-rata sebaran per kombinasi hasil dari uji penetrasi disajikan pada Tabel 10 dan Gambar 2.

Tabel 10 Data rata-rata dan sebaran per kombinasi hasil dari uji penetrasi

Umur	Jenis Beton	Penetrasi (mm)	Rata-rata (mm)	Min	Maks	Selisih
28 hari	Beton Normal	28.5	30.80	28.5	32.8	4.3
		31.1				
		32.8				
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing</i>	31.7	30.83	30.3	31.7	1.4
		30.3				
		30.5				
28 hari	Beton Integral <i>Waterproofing Coating</i>	8	8.1	6.6	9.7	3.1
		6.6				
		9.7				



Gambar 2 Diagram rata-rata hasil uji penetrasi standar umur 28 hari

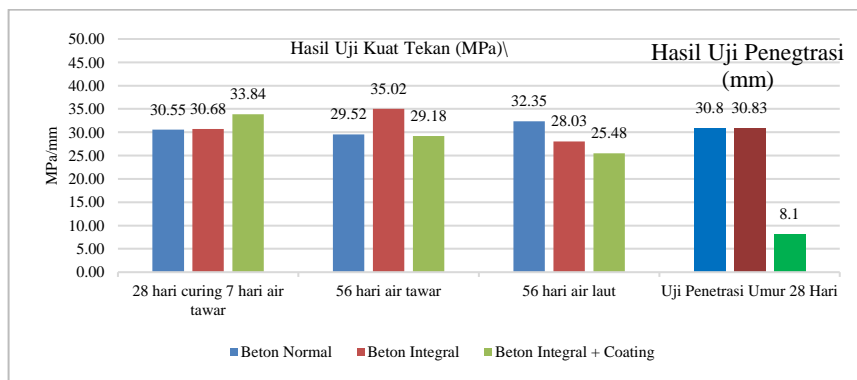
Hasil uji penetrasi air pada umur 28 hari menunjukkan perbedaan kinerja yang tegas antar variasi beton. Beton normal memiliki penetrasi 28,5–32,8 mm dengan rata-rata 30,80 mm, yang berada tepat pada batas maksimum beton kedap air untuk lingkungan agresif kuat menurut SNI 03-2914-1992, sehingga secara teknis berada pada kondisi batas (*borderline*). Beton dengan *admixture* integral *waterproofing* menunjukkan nilai yang hampir identik (rata-rata 30,83 mm), menandakan bahwa penambahan *admixture* tanpa perlindungan tambahan belum mampu meningkatkan kedapannya secara berarti pada umur awal.

Sebaliknya, kombinasi *admixture* integral *waterproofing* dan *coating* menurunkan penetrasi air secara drastis menjadi rata-rata 8,1 mm, atau lebih dari 70% lebih rendah dibandingkan beton normal. Nilai ini jauh di bawah batas

maksimum untuk lingkungan agresif sedang maupun agresif kuat, menunjukkan efektivitas nyata perlindungan ganda (integral dan permukaan). Perbedaan yang kontras ini menegaskan bahwa peningkatan kededapan beton pada umur 28 hari tidak ditentukan oleh capaian kuat tekan, yang seluruhnya telah memenuhi mutu rencana, melainkan oleh mekanisme pengendalian pori dan perlindungan permukaan. Dengan demikian, *coating* berperan dominan dalam membatasi jalur penetrasi air, sedangkan penggunaan *admixture* integral *waterproofing* tanpa *coating* belum menunjukkan kontribusi signifikan terhadap kededapan beton pada fase ini.

### 3.3 Hubungan Kuat Tekan dengan Penetrasi Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara kuat tekan dan tingkat penetrasi beton tidak bersifat linier. Grafik gabungan hasil uji kuat tekan dan penetrasi air disajikan dalam Gambar 3. Seluruh variasi beton *ready mix* memenuhi bahkan melampaui kuat tekan rencana pada umur 28 dan 56 hari, namun nilai kuat tekan yang tinggi tidak selalu diikuti oleh penetrasi air yang rendah. Beton tanpa *admixture* memiliki kuat tekan yang baik, tetapi masih menunjukkan kedalaman tembus air yang relatif besar, sehingga menegaskan bahwa kuat tekan tidak secara langsung menjamin sifat kedap air beton.



Gambar 3 Diagram rata-rata gabungan hasil uji kuat tekan dan uji penetrasi

Sebaliknya, penambahan *admixture* integral *waterproofing*, terutama yang dikombinasikan dengan *coating*, secara signifikan menurunkan penetrasi air tanpa meningkatkan kuat tekan secara berarti. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kededapan lebih dipengaruhi oleh modifikasi struktur pori dan perlindungan permukaan dibandingkan oleh peningkatan kekuatan tekan. Temuan ini sejalan dengan Ayobami, Ameh and Oladipupo (2025) yang menyatakan bahwa peningkatan durabilitas melalui *waterproofing* tidak selalu diikuti peningkatan kuat tekan. Selain itu, hasil ini juga mendukung penjelasan Suwondo *et al.* (2024) bahwa mekanisme utama peningkatan kededapan berasal dari pembentukan kristal yang mengisi pori dan kapiler beton. Dalam konteks beton *ready mix*, kestabilan kuat tekan yang relatif homogen pada seluruh variasi perlakuan turut mengonfirmasi temuan Setiawan, Nanda, dan Abdulgani (2025) mengenai konsistensi mutu akibat pengendalian kualitas di *batching plant*. Dengan demikian, evaluasi beton kedap air tidak cukup didasarkan pada kuat tekan saja, tetapi harus mempertimbangkan hasil uji penetrasi air sebagai indikator utama durabilitas beton.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, beton *ready mix* yang diaplikasikan pada proyek konstruksi aktual di Bakauheni, Lampung Selatan, mampu memenuhi bahkan melampaui kuat tekan rencana pada seluruh variasi dan umur pengujian. Analisis ANOVA dua arah ( $\alpha = 5\%$ ) menunjukkan bahwa penambahan *admixture* integral *waterproofing*, baik tanpa maupun dengan *finishing coating*, tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton, sehingga tidak menurunkan kinerja mekanik dalam kondisi lapangan.

Sebaliknya, pada aspek durabilitas, kombinasi integral *waterproofing* dan *finishing coating* secara signifikan menurunkan kedalaman penetrasi air dari sekitar 30 mm menjadi 8,10 mm. Beton normal dan beton dengan *admixture* integral *waterproofing* tanpa *coating* hanya memenuhi kategori lingkungan agresif sedang ( $\leq 50$  mm), sedangkan kombinasi *admixture* integral *waterproofing* dan *coating* memenuhi kriteria lingkungan agresif kuat ( $\leq 30$  mm) berdasarkan SNI 03-2914-1992. Temuan ini menunjukkan bahwa strategi kombinasi perlindungan integral dan pelapisan permukaan merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan kedekatan beton *ready mix* pada kondisi proyek aktual, tanpa mengurangi kinerja mekaniknya.

### 4.2 Saran

Disarankan penelitian lanjutan menggunakan variasi mutu beton *ready mix* serta jenis dan dosis *admixture* integral *waterproofing* yang lebih beragam agar pengaruhnya terhadap kuat tekan dan kedekatan dapat dievaluasi secara lebih komprehensif. Pengujian tambahan terkait durabilitas, seperti serapan air, porositas, dan ketahanan terhadap lingkungan agresif jangka panjang, juga direkomendasikan untuk memperoleh gambaran kinerja beton yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

Untuk penerapan praktis, penggunaan beton *ready mix* dengan kombinasi integral *waterproofing* dan *finishing coating* direkomendasikan pada struktur yang terpapar air atau lingkungan agresif, dengan memastikan prosedur pencampuran dan aplikasi dilakukan sesuai standar guna menjaga konsistensi mutu beton.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Lampung, khususnya Program Studi Magister Teknik Sipil, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan dan penulisan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para dosen atas bimbingan dan arahan yang diberikan. Selain itu, apresiasi disampaikan kepada orang tua, keluarga, dan para sahabat atas dukungan moral dan spiritual selama proses penelitian.

### Daftar Kepustakaan

- Ayobami, S., Ameh, J. and Oladipupo, O. (2025) 'Viability of Combining Water Reducing Admixtures and Waterproofing Admixtures in Concrete', *Construction Research Journal Volume*, 6(1), pp. 71–80. Available at: <https://doi.org/https://crj.unilag.edu.ng/article/view/2594>.
- BS EN 12390-8:2009 (2009) 'Testing hardened concrete', *British Standards*.
- Field, A. (2013) *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (4th ed.)*, SAGE. Sage Publisher.
- Gojević, A. *et al.* (2021) 'The effect of crystalline waterproofing admixtures on the self-healing and permeability of concrete', *Materials*, 14(8). Available at: <https://doi.org/10.3390/ma14081860>.
- Hamdi, F. *et al.* (2022) *TEKNOLOGI BETON, TOHAR MEDIA*.
- Jahandari, S. *et al.* (2023) 'Integral waterproof concrete: A comprehensive review', *Journal of Building Engineering*, 78(September), p. 107718. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107718>.
- Kusminah, I.L. and Aadziima, A.F. (2018) 'Pengaruh Salinitas Air Laut Terhadap Nilai Potensial Proteksi Anoda Dengan Metode Iccp', *Jurnal Untag Surabaya*, (Vol. 1 No. 01 (2018)), pp. 251–258. Available at: <http://jurnal.untag-sby.ac.id/index.php/semnasuntag/article/view/1674>.
- Martias, L.D. (2021) 'Statistika Deskriptif Sebagai Kumpulan Informasi', *FIHRIS: Jurnal Ilmu Perpustakaan dan Informasi*, 16(1), pp. 40–59. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.14421/fhrs.2021.161.40-59>.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. (2014) *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 3rd edn, *The McGraw-Hill*. 3rd edn. Available at: <https://doi.org/10.1036/0071462899> worksaccounts.com.
- Montgomery, D.C. (2017) *Design and Analysis of Experiments*. 9th edn, *Translational Radiation Oncology*. 9th edn. Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc.
- Neville, A.M. (2011) *Properties of Concrete*. 5th edn, *Pearson Education Limited*. 5th edn. Pearson Education Limited. Available at: <https://doi.org/http://www.pearsoned.co.uk>.
- Setiawan, E.Y., Nanda, M.P. and Abdulgani, H. (2025) 'Analisis Pengendalian Mutu Beton Ready Mix Pada Pekerjaan Pile Cap Menggunakan Statistical Quality Methods Control', *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure (JACEIT)*, 6(1), pp. 8–18.
- Shah, A., Pitroda, J. and Bhavsar, J.J. (2014) 'Ready Mix Concrete : Economic and Qualitaitve Growth for Constraction Industry', *Civil Engineering Department S.N.P.I.T. & R.C* [Preprint].
- Skrzypczak, I. *et al.* (2020) 'A Proposal of a Method for Ready-Mixed Concrete Quality Assessment Based on Statistical-Fuzzy Approach', *Materials*, 13 (24)(5674), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma13245674>.

- SNI 03-2914-1992 (1992) ‘Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air’, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- SNI 1974-2011 (2011) ‘Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder’, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- SNI 7656:2012 (2012) ‘Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal Beton Berat dan Beton Massa’, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- Suwondo, R. *et al.* (2024) ‘Enhancing concrete durability through crystalline waterproofing admixtures: A comprehensive performance evaluation’, *International Journal of GEOMATE*, 26(114), pp. 17–24. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.21660/2024.114.4074>.
- Tijani, M.N. *et al.* (2015) ‘Experimental Study of Influence of Seawater on Strength of Concrete Structures’, *Fifth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment (GEOMATE)* [Preprint]. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/311994427>.
- Walpole, R. *et al.* (2016) *Probability & Statistics for Engineers & Scientists : Global Edition*, Pearson Education Limited. Available at: <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9781292161419>.