STUDI PENELITIAN PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI PERSENTASE AIR TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT FISIS BETON F'C 30 MPA PRODUKSI READY MIX

Rafael Alexandro Djawa Nuwa[1], Yosimson P. Manaha[2], Ester Priskasari[3]

[1)]Jurusan Teknik Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: exandj11@gmail.com
[2)]Jurusan Teknik Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: yosimson_m@yahoo.co.id
[3)]Jurusan Teknik Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: ester_priskasari@ymail.com

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the effect of adding variations of water percentage on the mechanical and physical properties of ready-mix concrete with a target strength of f'c 30 MPa. The additional water percentages used were 0%, 1%, 2%, 3%, and 4% of the planned water volume. The tests conducted included slump, compressive strength, modulus of elasticity, and porosity. This study employed an experimental method in the laboratory with cylindrical specimens measuring 15 cm × 30 cm. The results showed that adding up to 4% water generally increased the slump value, thereby improving the workability of concrete. However, this improvement was accompanied by a reduction in mechanical properties, where compressive strength recorded the largest decrease at the 4% variation, with a decline of 23.18% compared to the control condition. A similar trend was observed in the modulus of elasticity, which decreased by up to 11.47%. These findings indicate that additional water increases the water-cement ratio (w/c), leading to reduced concrete strength. On the other hand, the porosity value tended to increase but did not show a significant change, with an average of 0.1879% across all test specimens.

Keywords: Compressive Strength, Modulus of Elasticity, Porosity.

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan variasi persentase air terhadap sifat mekanis dan sifat fisis beton mutu rencana f'c 30 MPa produksi *ready mix*. Persentase penambahan air yang digunakan adalah 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari volume air rencana. Pengujian yang dilakukan meliputi uji *slump*, kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas beton. Metode penelitian bersifat eksperimental di laboratorium dengan benda uji berbentuk silinder berdimensi 15 cm × 30 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan jumlah air hingga 4% dari volume rencana secara umum meningkatkan nilai *slump* sehingga *workability* beton menjadi lebih baik. Namun, peningkatan ini dibarengi dengan penurunan sifat mekanis beton, di mana kuat tekan mengalami penurunan terbesar pada variasi 4% dengan nilai penurunan mencapai 23,18% dibandingkan kondisi kontrol. Hal yang sama ditunjukkan pada hasil uji modulus elastisitas yang mengalami penurunan capaian hingga 11,47%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan air akan meningkatkan rasio air-semen (fas) yang menyebabkan berkurangnya kekuatan beton. Di sisi lain, nilai porositas cenderung meningkat namun tidak tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan rata-rata pengujian seluruh benda uji sebesar 0,1879%.

Kata kunci: Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Porositas.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, daya tahan baik, serta kemudahan pengerjaan dan pembentukan sesuai kebutuhan. Pada proyek berskala besar, beton diproduksi sebagai *ready mix concrete*, yang diproses di *batching plant* dengan kontrol kualitas dan spesifikasi tertentu sesuai permintaan. Namun dalam praktik di lapangan, sering terjadi penyesuaian dengan penambahan air untuk memudahkan proses pengecoran. Hal ini perlu dikontrol karena meskipun dapat meningkatkan *workability*, penambahan air berlebih akan menurunkan mutu beton.

American Concrete Institute (ACI 211, 1997) menyebutkan bahwa *workability* dipengaruhi langsung oleh kadar air dalam campuran beton. Penambahan air akan meningkatkan nilai *slump*,

tetapi menurunkan kekuatan mekanis beton akibat peningkatan rasio air-semen. Atas dasar itu, perlu dilakukan studi penelitian untuk mengevaluasi berapa dan sejauh mana persentase penambahan air mempengaruhi sifat mekanis dan sifat fisis beton f'c 30 MPa produksi *ready mix.*

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi persentase penambahan air 0%, 2%, 3%, dan 4% dari volume air rencana terhadap *workability* (nilai *slump*), sifat mekanis yang meliputi kuat tekan dan modulus elastisitas, dan sifat fisis (porositas beton).
Tujuan dalam penelitian ini disusun sesuai rumusan masalah di atas, yaitu untuk menganalisis dan mengevaluasi pengaruh penambahan persentase air 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari volume air rencana terhadap *workability*, sifat mekanis, dan sifat fisis beton f'c 30 MPa produksi *ready mix.*

2. KAJIAN PUSTAKA

Teori Umum Beton

Beton adalah material komposit yang tersusun atas agregat halus, agregat kasar, air, serta semen portland sebagai bahan pengikat, dengan atau tanpa bahan tambahan *(admixture)*. Proporsi setiap komponen harus dihitung secara tepat agar beton yang dihasilkan efisien, memiliki kekuatan sesuai rencana, serta memenuhi syarat keandalan dan keawetan konstruksi (Mulyono, 2005).

Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kualitas dan jumlah semen, kebersihan serta kekuatan agregat, rasio air-semen, proses pencampuran, metode penempatan dan pemadatan, serta perawatan *(curing)* yang dilakukan. Nawy via Mulyono (2005) menekankan bahwa interaksi mekanis dan kimiawi antara pasta semen dan agregat sangat menentukan mutu beton. Selain itu, kadar klorida dalam campuran juga harus dikendalikan karena dapat menimbulkan korosi pada tulangan. Tidak hanya material penyusunnya, kualitas pelaksanaan juga berperan penting. Menurut Murdock via Mulyono (2005), keterampilan tenaga kerja dan prosedur pelaksanaan yang tepat merupakan faktor kunci untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi.

Material Dasar Beton

a. Semen

Semen adalah bahan pengikat yang mampu menyatukan material menjadi massa padat dan kuat melalui reaksi hidrasi dengan air. Jenis yang paling banyak digunakan adalah semen portland, yang termasuk semen hidrolik karena dapat mengeras di lingkungan basah. Sebaliknya, semen non-hidrolik hanya mengeras melalui reaksi dengan udara, misalnya kapur tohor yang menyerap CO_2 hingga membentuk kalsium karbonat (Oss & Padovani, 2002).

b. Air

Air berfungsi memicu reaksi hidrasi semen sekaligus meningkatkan kemudahan pengerjaan beton. Menurut SNI 03-2847-2002, air pencampur harus bebas dari zat merusak seperti oli, asam, garam, atau bahan organik. Hampir semua air layak minum memenuhi syarat sebagai air beton, sedangkan ketidakmurnian air dapat memengaruhi waktu ikat, kekuatan, stabilitas volume, dan korosi tulangan. Air yang ideal adalah aquades dengan pH netral dan bebas mineral tambahan.

c. Agregat

Agregat merupakan komponen terbesar dalam beton, yaitu sekitar 60–75% dari total volume, sehingga kualitasnya sangat memengaruhi mutu beton. Agregat yang baik akan menghasilkan beton yang mudah dikerjakan *(workable),* kuat, tahan lama, dan ekonomis (Nugraha, 2007).

Tabel 1 Pengaruh Sifat Agregat terhadap Sifat Beton

Sifat Agregat	Pengaruh pada	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton cair	Kelecakan *(workability),* pengikatan dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan *(durability)*

(Sumber: Teknologi Beton (Nugraha, 2007: 43))

Menurut SNI 03-2461-2002, agregat yang baik harus memenuhi syarat kekuatan, kebersihan, daya serap, gradasi, dan ketahanan kimia. Agregat kasar berperan memberikan daya dukung serta kekakuan, sedangkan agregat halus membantu meningkatkan *workability* sekaligus mengurangi porositas beton (SNI 03-2847-2019).

Pengujian Beton

a. Uji *Slump* beton

Slump merupakan salah satu parameter untuk menilai *workability* beton segar, yaitu kemudahan beton dalam pengerjaan, pemadatan, dan pembentukan tanpa terjadi segregasi. Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan kerucut Abrams sesuai standar ASTM C143 atau SNI 1972-2008. Berikut nilai *slump* untuk berbagai jenis pekerjaan struktur.

Tabel 2 *Slump* untuk Berbagai Jenis Pekerjaan Struktur

Tipe konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

(Sumber: SNI 7656:2012)

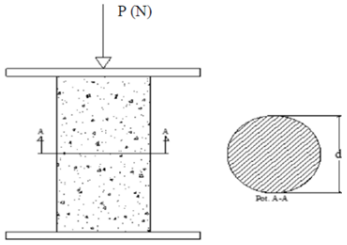
b. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan parameter utama yang menunjukkan kinerja beton dalam menahan beban tekan per satuan luas sebelum terjadi retak atau keruntuhan. Nilai kuat tekan dinyatakan dalam satuan mega pascal (MPa) atau kilogram per sentimeter persegi (kg/cm²).

Di Indonesia, pengujian kuat tekan diatur dalam SNI 1974:2011 dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm × 300 mm. Prosedur meliputi tahap persiapan, perawatan, serta pengujian dengan *compression testing machine*. Nilai kuat tekan dihitung dengan persamaan berikut.

$$fc = \frac{P}{A}$$

Dengan:
- fc = Kuat tekan beton (MPa atau kg/cm²)
- P = Beban maksimum (N atau kg)
- A = Luas penampang beton (mm² atau cm²)



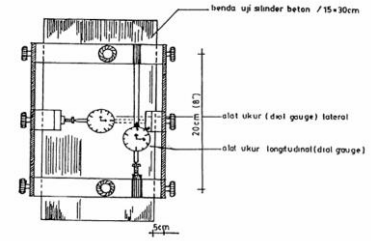
Gambar 1 Uji Kuat Tekan Beton
(Sumber: SNI 1974-2011, 2011)

c. Uji Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan kemampuan beton dalam menahan deformasi elastis akibat pembebanan. Parameter ini menggambarkan hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dalam batas elastis beton. Berdasarkan SNI 03-4169-1996, nilai modulus elastisitas (Ec) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$E = \frac{(S2 - S1)}{\varepsilon 2 - 0{,}00005}$$

Dengan:
- E = Modululus elastisitas beton (MPa)
- S_2 = Tegangan sesuai dengan 40% dari beban akhir (MPa)
- S_1 = Tegangan yang sesuai dengan regangan longitudinal 0,00005
- ε_2 = Regangan longitudinal dihasilkan oleh tegangan S_2



Gambar 2 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

(Sumber: SNI 03-4169-1996)

d. Uji Porositas

Porositas beton adalah ukuran volume rongga udara yang terbentuk di dalam struktur beton. Menurut SNI 03-2847:2019, beton dengan porositas rendah memiliki daya tahan lebih baik karena lebih resisten terhadap perembesan air dan ion yang dapat memicu korosi.

Pengujian porositas bertujuan mengetahui tingkat kekosongan pada beton, yang menentukan seberapa banyak air atau zat kimia dapat terserap melalui pori-pori. Hal ini berpengaruh langsung terhadap kekuatan serta ketahanan beton terhadap lingkungan agresif.

Perhitungan porositas dilakukan sesuai ASTM C642-06 dengan persamaan berikut.

$$Porositas = \frac{Wjenuh - Wkering}{Wjenuh - Wair} \times 100\%$$

Dengan:
- W_{jenuh} = berat sampel dalam kondisi jenuh (gram)
- W_{kering} = berat sampel dalam kondisi kering oven (gram)
- W_{air} = berat sampel saat terendam air (gram)

3. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang sejak Bulan November 2024 sampai Bulan Desember 2024.

Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas *(Independent Variable)*

Variabel bebas adalah variabel yang menjadi penyebab atau mempengaruhi perubahan pada variabel terikat. Variabel ini dapat dimodifikasi atau disesuaikan untuk menilai sejauh mana pengaruh yang diberikan terhadap variabel terikat. Pada penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah

variasi jumlah penambahan air 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari volume air rencana.

b. Variabel Terikat *(Dependent Variable)*

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah sifat mekanis dan sifat fisis beton yang dipengaruhi oleh variasi penambahan air. Sifat mekanis yang diamati meliputi kuat tekan beton (f'c) sesuai metode SNI 1974:2011 dan modulus elastisitas beton berdasarkan pengujian SNI 03-4169:1996. Sementara itu, sifat fisis yang diteliti adalah porositas beton, yang diuji sesuai standar ASTM C642-97.

Metode Pengumpulan Data

Untuk mendukung penelitian ini, penulis menggunakan dua pendekatan metode, yaitu studi pustaka dan studi eksperimental. Studi pustaka bertujuan untuk mengkaji hubungan variabel dalam penelitian dengan mempelajari teori-teori yang mendukung untuk memperkuat landasan dan hasil penelitian. Sementara studi eksperimental akan membuktikan teori yang telah disusun dalam rumusan masalah.

Saat pelaksanaan penelitian, khususnya saat pembuatan benda uji, diberikan perlakuan penundaan waktu pengecoran untuk menyimulasikan kondisi penundaan di lapangan. Proses pencampuran beton dilakukan menggunakan *concrete mixer* dengan urutan memasukkan agregat kasar dan agregat halus terlebih dahulu, kemudian ditambahkan semen, dan terakhir air secara bertahap hingga campuran homogen. Setelah itu dilakukan pengujian *slump* awal. Untuk menyimulasikan kondisi penundaan di lapangan, adukan beton kembali diputar selama 45 menit tanpa penambahan air. Selanjutnya, air tambahan diberikan sesuai variasi persentase yang direncanakan (kecuali pada campuran kontrol 0%), lalu *concrete mixer* diputar sebentar dan dilakukan pengujian *slump* akhir sebelum pencetakan benda uji.

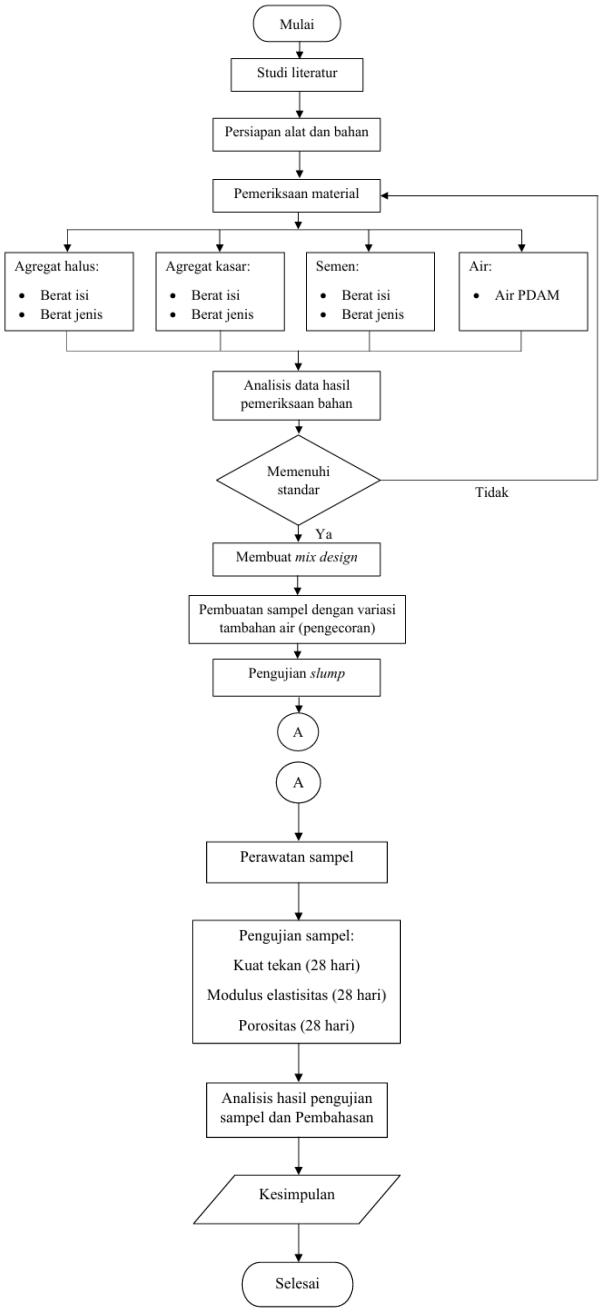
Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh campuran beton dengan mutu rencana f'c 30 MPa yang diberi variasi penambahan air sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari volume air rencana. Dari populasi tersebut diambil sampel berupa benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm × 30 cm sebanyak 30 buah. Setiap variasi penambahan air terdiri atas 6 sampel, dengan rincian 3 sampel digunakan untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas, serta 3 sampel lainnya untuk pengujian porositas.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menggambarkan urutan kegiatan mulai dari persiapan hingga analisis data yang berfungsi sebagai pedoman sistematis agar penelitian berjalan sesuai tujuan yang telah ditetapkan.

Berikut disajikan urutan rangkaian proses penelitian dalam diagram alir.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Campuran

Berikut disajikan data perancangan campuran beton f'c 30 MPa sesuai metode dalam SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

- F'c = 30 MPa
- *Slump* rencana = 100 ± 20 mm
- Tipe semen = Tipe I
- Ukuran agregat kasar maksimal = 25 mm
- Jenis agregat kasar = Dipecah
- Zona agregat halus = Zona II
- Bj agregat halus kondisi SSD = 2,745
- Bj agregat kasar kondisi SSD = 2,746

Berdasarkan data perancangan di atas, kebutuhan seluruh campuran beton untuk tiap variasi persentase penambahan air (0% - 4%) ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 3 Kebutuhan Komposisi Campuran Seluruh Benda Uji

Penambahan Air	Komposisi Bahan Campuran				
	Total Benda Uji	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg)
0%	6	15.01	34.45	44.08	7.40
1%	6	15.01	34.45	44.08	7.48
2%	6	15.01	34.45	44.08	7.55
3%	6	15.01	34.45	44.08	7.63
4%	6	15.01	34.45	44.08	7.70

(Sumber: SNI 7656:2012)

Pengujian *Slump* Beton

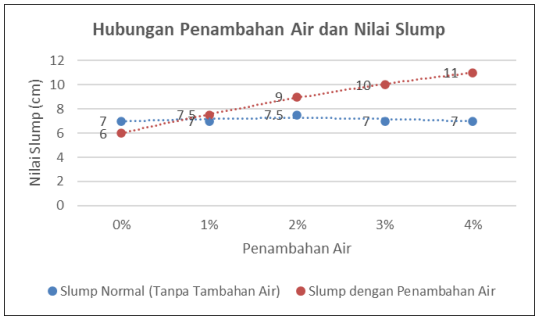
Pengujian *slump* pada beton segar dilakukan untuk mengukur kekonsistenan adukan beton serta kemudahan beton untuk dikerjakan *(workability)* sebelum pengecoran. Seperti dijelaskan dalam metode pengumpulan data sebelumnya, uji *slump* dilakukan sebanyak dua kali, yaitu sebelum penambahan persentase air dan 45 menit setelah penambahan air. Berikut merupakan nilai rata-rata hasil pengujian *slump* terhadap masing-masing variasi campuran beton.

Tabel 4 Hasil Pengujian *Slump* per Variasi

Persentase Penambahan Air (%)	Slump Awal (Sebelum Penambahan Air) (cm)	Slump Akhir (45 Menit Setelah Penambahan Air) (cm)
0%	7	6
1%	7	7.5
2%	7.5	9
3%	7	10
4%	7	11

(Sumber: Hasil Penelitian)

Data pengujian pada tabel 4 kemudian diinterpretasikan dalam grafik hubungan persentase penambahan air dan nilai *slump* berikut.



Gambar 4 Grafik Hubungan Penambahan Air dan Nilai *Slump*
(*Sumber: Hasil Penelitian)*

Pengujian Kuat Tekan Beton

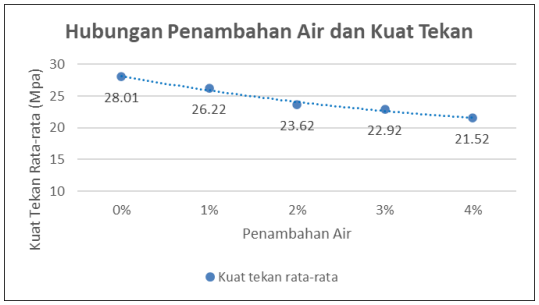
Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap beton silinder 15 × 30 cm setelah melalui proses *curing* 17, 18, dan 19 hari. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tekan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Benda Uji	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (hari)	Tekan Hancur (kN)	Kuat Tekan Riil (MPa)	Faktor Umur	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Tekan Rata-Rata 28 Hari (MPa)	Penurunan (%)
0%	X1.4	12/01/2025	29/01/2025	17	454	25,70	0,91	28,24	28,01	- (acuan)
	X1.5	12/01/2025	29/01/2025	17	442	25,01	0,91	27,48		
	X1.6	12/01/2025	29/01/2025	17	455	25,75	0,91	28,30		
1%	X2.4	13/01/2025	30/01/2025	18	419	23,71	0,92	25,77	26,22	6,37%
	X2.5	13/01/2025	30/01/2025	18	454	25,69	0,92	27,93		
	X2.6	13/01/2025	30/01/2025	18	406	22,97	0,92	24,97		
2%	X3.4	13/01/2025	30/01/2025	18	373	21,11	0,92	22,95	23,62	15,65%
	X3.5	13/01/2025	30/01/2025	18	409	23,15	0,92	25,16		
	X3.6	13/01/2025	30/01/2025	18	370	20,94	0,92	22,76		
3%	X4.4	13/01/2025	30/01/2025	18	395	22,35	0,92	24,29	22,92	18,16%
	X4.5	13/01/2025	30/01/2025	18	355	20,09	0,92	21,84		
	X4.6	13/01/2025	30/01/2025	18	368	20,82	0,92	22,63		
4%	X5.4	14/01/2025	31/01/2025	19	351	19,86	0,93	21,35	21,52	23,18%
	X5.5	14/01/2025	31/01/2025	19	344	19,46	0,93	20,92		
	X5.6	14/01/2025	31/01/2025	19	366	20,71	0,93	22,27		

(Sumber: Hasil Penelitian)

Data pengujian kuat tekan beton dengan variasi penambahan air kemudian diplot ke dalam grafik untuk mengetahui hubungan penambahan air terhadap kuat tekan beton. Berikut ditampilkan grafik korelasi yang dimaksud.



Gambar 5 Grafik Hubungan Penambahan Variasi Air dan Kuat Tekan
(*Sumber: Hasil Penelitian)*




Gambar 6 Pengujian Tekan Silinder X1.6 dan Pola retak Silinder X4.6
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Pengujian Modulus Elastisitas Beton

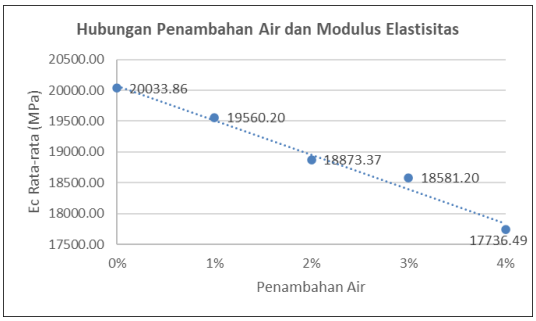
Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersama dengan uji kuat tekan, di mana pembacaan perubahan tinggi benda uji pada dial *extensometer* dilakukan tiap kenaikan beban 50 kN sampai benda uji hancur. Data hasil pengujian dan perhitungan nilai modulus elastisitas beton pada masing-masing persentase penambahan air diberikan dalam tabel berikut.

Tabel 6 Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas

Variasi Benda Uji	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Riil (Mpa)	Kuat Tekan Riil Rata-rata (Mpa)	Ec Empiris (4700*√fc) (Mpa)	Ec Empiris Rata-rata (Mpa)	Ec Perhitungan (Mpa)	Ec Perhitungan Rata-rata (Mpa)
0%	X1.4	25,69	25,48	23822,622	23725,71	19839,997	20033,86
	X1.5	25,01		23505,678		19204,089	
	X1.6	25,75		23848,844		21057,479	
1%	X2.4	23,71	24,13	22885,935	23078,89	19484,235	19560,20
	X2.5	25,69		23822,622		19839,997	
	X2.6	22,97		22528,105		19356,375	
2%	X3.4	21,11	21,73	21593,153	21903,49	18622,889	18873,37
	X3.5	23,14		22611,184		19094,033	
	X3.6	20,94		21506,142		18903,190	
3%	X4.4	22,35	21,09	22220,826	21578,15	18694,122	18581,20
	X4.5	20,09		21065,696		18402,506	
	X4.6	20,82		21447,938		18646,970	
4%	X5.4	19,86	20,01	20946,680	21024,34	17380,919	17736,49
	X5.5	19,47		20736,758		17134,505	
	X5.6	20,71		21389,576		18694,031	

(Sumber: Hasil Penelitian)

Data hasil pengujian ini kemudian diplot ke dalam grafik untuk mengetahui hubungan penambahan air terhadap nilai modulus elastisitas.



Gambar 7 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Penambahan Variasi Air
(*Sumber: Hasil Penelitian)*




Gambar 8 Pembacaan Dial Silinder X3.5 dan Silinder X4.4
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Pengujian Porositas Beton

Uji porositas dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder dengan dimensi 15 × 30 cm sesuai dengan metode ASTM C642 untuk mengukur jumlah air yang diserap beton dalam kondisi jenuh. Berikut disajikan data hasil pengujian porositas rata-rata terhadap 15 silinder dengan variasi penambahan air yang berbeda-beda.

Tabel 7 Rekapitulasi Perhitungan Porositas Beton

Variasi (Kode) (%)	Porositas (%)
0 (X1.1)	0,1848
0 (X1.2)	0,1831
0 (X1.3)	0,1989
1 (X2.1)	0,1859
1 (X2.2)	0,1910
1 (X2.3)	0,1900
2 (X3.1)	0,1880
2 (X3.2)	0,1812
2 (X3.3)	0,1905
3 (X4.1)	0,1849
3 (X4.2)	0,1825
3 (X4.3)	0,1789
4 (X5.1)	0,1873
4 (X5.2)	0,1903
4 (X5.3)	0,2004
Rata-rata	0,1879

(Sumber: Hasil Penelitian)

Nilai porositas yang diperoleh pada masing-masing variasi penambahan air tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan rata-rata sebesar 0,1879%. Nilai ini menunjukkan bahwa hanya sedikit rongga udara yang terdapat dalam beton tersebut, yang berarti hanya sedikit air atau cairan yang dapat meresap ke dalam struktur beton.

Pengujian Interval Kepercayaan

Uji interval kepercayaan dilakukan untuk memastikan validitas data pada setiap variasi penambahan air. Data yang berada dalam batas interval dianggap memenuhi syarat (valid), sedangkan data yang berada di luar interval

dikategorikan sebagai outlier dan tidak digunakan dalam analisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sampel pada variasi 0% hingga 4% memenuhi standar minimum baik untuk kuat tekan, modulus elastisitas, maupun porositas beton. Dengan demikian, seluruh data dapat dinyatakan valid dan layak digunakan dalam analisis lebih lanjut.

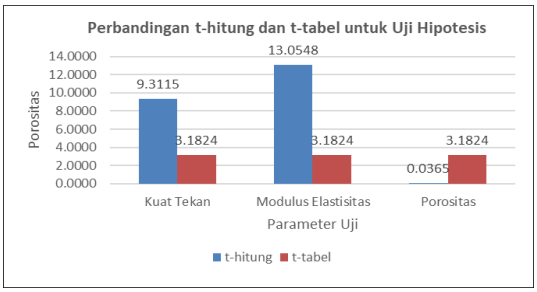
Pengujian Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui hubungan antara variasi penambahan air dengan kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas beton. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penambahan air memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap kuat tekan beton dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 96,66%, dan terhadap modulus elastisitas dengan nilai R^2 sebesar 98,27%. Sebaliknya, pada porositas beton, nilai R^2 hanya 0,044%, yang mengindikasikan bahwa variasi penambahan air tidak menjadi faktor dominan, melainkan dipengaruhi oleh variabel lain seperti gradasi dan distribusi agregat, proses pemadatan, serta kandungan udara dalam beton.

Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui signifikansi pengaruh variasi penambahan air terhadap sifat mekanis dan fisis beton. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada kuat tekan dan modulus elastisitas, nilai t_{hitung} lebih besar daripada t_{tabel} sehingga H_0 ditolak. Hal ini menandakan bahwa penambahan air berpengaruh signifikan terhadap kedua parameter tersebut. Sebaliknya, pada porositas beton, nilai t_{hitung} lebih kecil dari t_{tabel} sehingga H_0 diterima, yang berarti variasi penambahan air tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai porositas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan air lebih dominan memengaruhi sifat mekanis dibandingkan sifat fisis beton.

Berikut diberikan grafik perbandingan antara nilai t_{hitung} dan t_{tabel} untuk memberikan interpretasi secara visual.



Gambar 9 Grafik Perbandingan Nilai t_{hitung} dan t_{tabel} untuk Ketiga Parameter Uji
(Sumber: Hasil Analisis)

Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Penambahan Air dan Kombinasi Air dan Semen

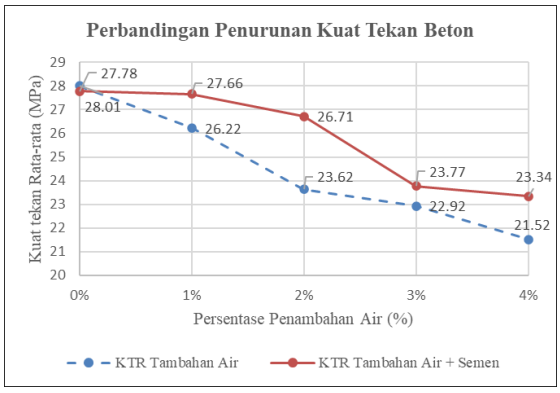
Analisis ini dilakukan untuk membandingkan pengaruh penambahan air saja dengan kombinasi penambahan air yang diimbangi dengan penambahan semen terhadap kuat tekan beton. Data hasil pengujian kuat tekan dengan perlakuan penambahan air dan semen diperoleh dari studi penelitian berjudul *Studi Penelitian Pengaruh Penambahan Air Semen pada Beton Ready-Mix Mutu Beton F'c=30 Mpa terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisis.* Data hasil pengujian pada masing-masing perlakuan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 8 Data Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Beton dengan Air + Semen dan Beton dengan Air Saja

Persentase penambahan (½ Air + ½ Semen)	Kuat Tekan Rata-rata – Air + Semen (MPa)	Penurunan (%)	Persentase Air	Kuat Tekan Rata-rata – Air Saja (MPa)	Penurunan (%)
0%	27,78	0,00	0%	28,01	0,00
2% (1% air–1% semen)	27,66	0,43	1%	26,22	6,37
4% (2% air–2% semen)	26,71	3,85	2%	23,62	15,65
6% (3% air–3% semen)	23,77	14,43	3%	22,92	18,16
8% (4% air–4% semen)	23,34	15,98	4%	21,52	23,18

(Sumber: Hasil Penelitian)

Data pada tabel 8 kemudian diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui tingkat perbedaan hasil pengujian pada masing-masing perlakuan.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Penurunan Kuat Tekan Beton akibat Penambahan Air + Semen dan Beton dengan Air Saja
(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil pada tabel 8, campuran dengan penambahan air + semen menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata yang lebih stabil, dengan penurunan

maksimum 15,98% pada variasi 4%. Sebaliknya, beton dengan penambahan air saja mengalami penurunan yang lebih tajam hingga 23,18% pada variasi yang sama. Dari grafik pada gambar 10 terlihat bahwa kurva beton dengan penambahan air murni memiliki kemiringan penurunan lebih besar dibandingkan dengan campuran air + semen. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan semen mampu mengimbangi penurunan kekuatan akibat penambahan air dengan meningkatkan jumlah pasta pengikat, sehingga kualitas beton dapat lebih terjaga.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Penambahan variasi air 0%–4% dari volume rencana meningkatkan nilai *slump* secara signifikan, sehingga *workability* beton segar bertambah.
- Sifat mekanis beton (kuat tekan dan modulus elastisitas) mengalami penurunan seiring bertambahnya air akibat peningkatan rasio air-semen yang melemahkan ikatan pasta semen.
- Penambahan air cenderung meningkatkan porositas beton, meskipun hasil uji hipotesis menunjukkan pengaruhnya tidak signifikan secara statistik karena porositas juga dipengaruhi faktor lain, seperti gradasi agregat dan proses pemadatan.
- Kuat tekan pada variasi 0% tidak mencapai mutu rencana 30 MPa, namun data penelitian tetap menunjukkan hubungan linear antara variasi penambahan air dengan sifat mekanis dan fisis beton.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan variasi persentase air terhadap sifat mekanis dan fisis beton f'c 30 MPa produksi *ready mix*, maka disampaikan beberapa saran sebagai berikut.

- Untuk Praktisi Lapangan
  - Penambahan air pada beton *ready mix* sebaiknya dilakukan secara terkontrol sesuai batas toleransi standar agar peningkatan *workability* tidak menurunkan kuat tekan secara signifikan.
- Untuk Penelitian Selanjutnya
  - Disarankan menambahkan variabel berupa penggunaan *admixture* pengurang air *(water reducing admixture)* untuk meningkatkan workability tanpa menurunkan kekuatan beton.
  - Penelitian dapat diarahkan untuk menentukan batas optimal penambahan air yang tetap menghasilkan *workability* baik sekaligus mempertahankan sifat mekanis beton.
  - Perlu diteliti pengaruh umur beton pada berbagai jenis semen, seperti OPC, PCC, dan variasi semen lainnya untuk melihat dampaknya terhadap kekuatan serta durabilitas beton.
  - Tujuan penelitian selanjutnya dapat diperluas untuk menemukan penambahan persentase air yang optimal, di mana *workability*-nya baik dan sifat mekanis dapat dicapai

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. (1997). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. (ACI 211.1-97), American Concrete Institute.

ASTM International. (2006). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete* (ASTM C642–06), ASTM International.

Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2000. *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal* (SNI 03-2834-2000), Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2002. *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Struktural*. (SNI 03-2461-2002), Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* (SNI 03-2847-2002), Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa.* (SNI 7656:2012), Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. (SNI 2847: 2019), Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional, 1996. *Metode Pengujian Modulus Elastisitas Beton.* (SNI 03-4169-1996), Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional, 2002. *Metode Pengujian Slump Beton.* (SNI 03 6825-2002), Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.* (SNI 1974:2011), Badan Standardisasi Nasional.

Dody, Julia (2025). *Studi Penelitian Pengaruh Penambahan Air Semen pada Beton Ready-Mix Mutu Beton F'c=30 Mpa terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisis* [Institut Teknologi Nasional Malang].

Montgomery, Ron. 2003. *Advanced Concrete Technology*. Butterworth Heinemann.

Mulyono, Tri. 2005. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Nawy, E. G. (1985). *Reinforced concrete*. Hoboken, NJ, USA: Prentice-Hall.

Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete (5th ed.). Pearson Education Limited.

Nugraha, P., Antoni. (2007). *Teknologi Beton: dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Van Oss, H. G., & Padovani, A. C. (2002). *Cement manufacture and the environment: part I: chemistry and technology.* Journal of Industrial Ecology, 6(1), 89-105.