

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1 Beton

Beton adalah campuran semen, agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa bahan tambah atau admixture (SNI 2847-2013). Campuran yang masih plastis ini dicor ke dalam cetakan dan dirawat supaya mendapatkan kekuatan reaksi hidrasi campuran semen-air yang menyebabkan pengerasan yang baik terhadap beton. Beton yang memiliki mutu beton baik adalah beton yang mempunyai kepadatan dan kuat, dengan kata lain beton mempunyai porositas yang sangat kecil.

Menurut Nugraha & Antoni (2007), beton mempunyai keunggulan karena memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Ketersediaan (*availability*) bahan dasar seperti agregat dan air umumnya dapat diperoleh secara lokal.
2. Kemudahan (*versatility*) penggunaan terlihat dari kemampuan beton untuk diangkut secara terpisah dan dapat digunakan dalam berbagai struktur seperti pondasi jalan, landasan bandara, dan sebagainya. Selain itu, beton bertulang dapat digunakan dalam struktur berat seperti jembatan dan gedung.
3. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*) beton terlihat dalam sifat monolitnya yang tidak memerlukan sambungan seperti baja. Beton dapat dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran, serta diproduksi dengan metode yang disesuaikan dengan kondisi sekitar. Selain itu, konsumsi energi per kapasitasnya lebih rendah daripada baja dan bahkan lebih rendah daripada proses pembuatan batu bara.
4. Kebutuhan pemeliharaan minimal karena beton umumnya memiliki ketahanan yang tinggi, tahan terhadap karat sehingga tidak memerlukan pengecatan, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

Selain itu, terdapat beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan beton, yaitu:

1. Beton memiliki berat yang besar, yakni sekitar 2400 kg/m³.
2. Meskipun beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, namun kekuatan tariknya rendah.

3. Beton cenderung retak karena semennya bersifat hidraulis. Selain itu, baja tulangan yang digunakan dapat berkarat, meskipun tidak seburuk struktur baja pada umumnya.
4. Kualitas beton sangat bergantung pada cara pelaksanaannya di lapangan.
5. Struktur beton sulit untuk dipindahkan.
6. Proses penggunaan kembali atau daur ulang beton sulit dilakukan dan tidak menguntungkan secara ekonomis.

II.2 Bahan Penyusun Beton

II.2.1 Agregat

Agregat merupakan kumpulan butir-butir kerikil, batu pecah, pasir ataupun mineral lainnya yang berupa hasil alam maupun buatan. Pemilihan agregat dalam pembuatan beton sangat penting dikarenakan agregat mengisi kurang lebih 70% hingga 75% volume dari beton itu sendiri, selain itu agregat juga sangat berpengaruh mutu dari beton tersebut (Nugraha & Antoni, 2007). Secara umum agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat Halus

Agregat halus dipakai untuk bahan pengisi yang memberikan sifat kaku dan stabil dimensi dari beton. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 - No.100 atau dengan kata lain agregat halus adalah batuan yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4.75mm (Standar ASTM).

Untuk memastikan kualitas yang baik, agregat halus yang digunakan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh American Society for Testing and Materials (ASTM). Setelah semua persyaratan terpenuhi, maka agregat dapat dianggap memiliki kualitas yang baik. Beberapa spesifikasi tersebut antara lain:

a. Gradasi

Agar beton menjadi padat, penting untuk menggunakan agregat halus yang memiliki gradasi yang optimal. Gradasi yang baik akan mengisi dengan sempurna ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh bahan

lain. Menurut SNI, ada batasan tertentu mengenai gradasi yang harus dipenuhi. Hal ini dapat dilihat pada tabel yang disediakan sebagai berikut.

Table II. 1 Gradasi Agregat Halus (Sumber: SNI 2914, 1992)

Lubang Ayakan (mm)	Batas % Berat yang Lewat Ayakan			
	Umum	Khusus		
		Kasar	Sedang	Halus
10,00	100	-	-	-
4,76	89 – 100	-	-	-
2,36	60 – 100	60 – 100	65 – 100	80 – 100
1,18	30 – 100	30 – 90	45 – 100	70 – 100
0,60	15 – 100	15 – 54	25 – 80	55 – 100
0,30	5 – 70	5 – 45	5 – 40	5 – 70
0,15	0 – 15			

- b. Agar agregat dapat digunakan, kadar lumpur atau bahan yang berukuran lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200), harus kurang dari 5% terhadap berat kering. Jika kandungan lumpur melebihi batas tersebut, maka perlu dilakukan pencucian pada agregat.
- c. Agregat halus perlu bersih dari zat organik yang dapat merusak beton, atau jika diuji di laboratorium, kadar organiknya tidak boleh menghasilkan warna yang lebih gelap daripada standar percobaan Abrams-Harder dengan batasan standarnya pada acuan No. 3.
- d. Bahan baku beton seperti agregat halus harus selalu terjaga kelembabannya dan tidak boleh terkontaminasi dengan tanah yang basah. Selain itu, bahan tersebut harus bebas dari bahan yang dapat bereaksi dengan alkali dalam semen yang dapat menyebabkan pembengkakan berlebih pada mortar atau beton. Untuk menghindari hal ini, kadar alkali dalam semen tidak boleh lebih dari 0,60% dan bahan tambah harus ditambahkan untuk mencegah pembengkakan berlebih.
- e. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat:
 - Natrium Sulfat : Bagian yang hancur maksimal 10%
 - Magnesium Sulfat : Bagian yang hancur maksimal 15%

2. Agregat Kasar

Agregat kasar merujuk pada agregat yang terdiri dari partikel-partikel yang keras dan tidak berpori. Jika agregat kasar mengandung partikel-partikel yang pipih, penggunaannya hanya diperbolehkan jika persentase partikel-partikel pipih tersebut tidak melebihi 20% dari total berat agregat. Agregat kasar umumnya merupakan batuan dengan ukuran partikel lebih besar dari 4.75mm, sesuai dengan standar ASTM. Sifat-sifat agregat kasar memiliki pengaruh terhadap kekuatan akhir beton yang keras serta ketahanannya terhadap kerusakan akibat perubahan cuaca dan faktor-faktor merusak lainnya.

Agregat kasar ini harus bebas dari material organik dan harus memiliki ikatan yang kuat dengan semen. Terdapat beberapa jenis agregat kasar yang umum digunakan, yaitu:

- Batu pecah alami: diperoleh melalui penggalan batu pecah alami seperti cadas yang berasal dari gunung api.
- Kerikil alami: terbentuk secara alami melalui erosi tepi dan dasar sungai oleh arus air sungai.
- Agregat kasar buatan: seperti slag atau shale yang sering digunakan dalam beton ringan.

Gradasi agregat harus memenuhi standar yang baik, yang berarti terdiri dari butiran dengan berbagai ukuran yang berbeda. Hal ini bertujuan agar dapat mengisi rongga-rongga yang dihasilkan oleh butiran yang lebih besar, sehingga penggunaan semen dapat dikurangi. Agregat kasar harus memenuhi kriteria tertentu seperti yang terlihat pada tabel.

Table II. 2 Gradasi Agregat Kasar (Sumber: SNI 2914, 1992)

Lubang Ayakan (mm)	% Berat yang Lewat Ayakan		
	40 – 5 mm	20 – 5 mm	10 – 5 mm
50,0	100	-	-
37,5	95 – 100	100	100
20,0	35 – 70	95 – 100	90 – 100
10,0	10 – 40	30 – 60	50 – 85
5,0	0 – 5	0 – 10	0 – 10

II.2.2 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis (semen yang tidak hanya mengeras dengan bereaksi dengan air tetapi juga membentuk produk tahan air) yang dihasilkan oleh klinker penghancur yang pada dasarnya terdiri dari kalsium silikat hidrolis, biasanya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai penambahan antar-tanah (ASTM C185-20, 2009).

Semen Portland dibuat dengan menggunakan serbuk mineral kristal halus yang umumnya terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Kapur (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang alkali sedikit digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan semen Portland. Untuk mengontrol komposisinya terkadang oksida besi ditambahkan, sementara gypsum (CaSO₄.2H₂O) digunakan untuk mengendalikan waktu pengerasan semen (Mulyono, 2004).

Sesuai dengan standar SNI 15-2049-2004, semen *portland* dibagi menjadi lima klasifikasi berdasarkan jenis dan penggunaannya sebagai berikut:

- a. Semen Portland kategori I digunakan secara umum tanpa persyaratan khusus seperti jenis semen lainnya.
- b. Semen Portland kategori II digunakan dalam kondisi yang membutuhkan ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi dengan tingkat sedang.
- c. Semen Portland kategori III digunakan untuk mencapai kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
- d. Semen Portland kategori IV digunakan dalam situasi yang membutuhkan tingkat kalor hidrasi yang rendah.
- e. Semen Portland kategori V digunakan dalam kondisi yang membutuhkan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

II.2.3 Air

Air merupakan komponen beton yang paling terjangkau secara ekonomi dan mudah diakses. Ketika air bereaksi dengan semen, terbentuklah pasta semen yang membuat beton menjadi mudah dibentuk (*workable*). Air berperan sebagai agen pengikat semen dan menyatukan butiran-butiran agregat dalam beton. Berdasarkan

SNI 2847-2013, air yang digunakan dalam campuran beton harus memiliki persyaratan berikut.

- a. Air yang digunakan harus bersih dan tidak mengandung lumpur, minyak, atau benda terapung lainnya yang dapat terlihat dengan mata telanjang.
- b. Kandungan benda-benda tersuspensi dalam air tidak boleh melebihi 2 gram per liter.
- c. Kandungan garam yang dapat larut dan berpotensi merusak beton, seperti asam, zat organik, dan sejenisnya, tidak boleh melebihi 15 gram per liter.
- d. Kandungan klorida (Cl) harus kurang dari 0,50 gram per liter, dan kandungan senyawa sulfat (SO₃) harus kurang dari 1 gram per liter.

II.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan substansi dalam bentuk serbuk atau cairan yang ditambahkan kedalam adukan beton selama proses pencampuran dengan jumlah tertentu, dengan tujuan mengubah beberapa karakteristiknya (SNI 03-2495-1991). Bahan tambah digunakan untuk mengubah sifat dan karakteristik beton, seperti mempermudah proses pengerjaan, mempercepat pengerasan, meningkatkan kekuatan tekan, menghemat bahan, atau mencapai tujuan lain seperti penghematan energi. Biasanya, bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dan harus diawasi dengan ketat agar penggunaannya tidak berlebihan yang justru dapat merusak sifat beton.

Umumnya, bahan tambah yang digunakan dalam campuran beton dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu bahan tambah kimia (chemical admixture) dan bahan tambah mineral (additive). Bahan tambah (admixture) ditambahkan saat proses pengadukan atau pengecoran, sementara bahan tambah additive ditambahkan selama proses pengadukan (Mulyono, 2004).

Bahan tambah kimia umumnya berfungsi untuk mengubah karakteristik beton selama pelaksanaan konstruksi dengan memperbaiki kinerjanya. Di sisi lain, bahan tambah additive lebih fokus pada penyemenan, sehingga lebih sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton (Umum, 1991).

II.3 Bahan Tambah Damdex

Damdex adalah merek bahan tambah berwarna coklat yang memiliki sifat tahan air. Damdex merupakan larutan kimia yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan ketahanan terhadap kebocoran dan menjadikannya kedap air. Ketika Damdex dicampur dengan mortar atau semen, akan meningkatkan kecepatan pengerasan campuran semen, meningkatkan kualitas dan kekuatan tekan beton, meningkatkan daya rekat campuran mortar atau semen, dan sekaligus menjadikan campuran mortar atau semen tahan terhadap air (Nurmaidah, 2016).

Menurut informasi yang ditemukan di situs resmi Damdex Indonesia, Damdex memiliki kemampuan untuk meningkatkan kualitas campuran beton dengan meningkatkan kekuatan tekan beton hingga 30%, mempercepat proses pengerasan beton hingga 50%, serta membuat beton menjadi tahan terhadap air. Penggunaan Damdex sebagai bahan tambah dalam campuran beton, pada kemasan Damdex disarankan penggunaan sebanyak 2% dari berat semen.



Gambar II. 1 Tampilan Produk Damdex

(Sumber: Damdex Indonesia)

II.4 Pengujian Material

Bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel beton harus melewati serangkaian uji, yang bertujuan untuk mengidentifikasi jenis agregat, ukuran, berat jenis, kandungan lumpur, dan kadar airnya. Hasil dari uji ini akan menjadi dasar untuk merancang campuran beton yang tepat. Uji material ini harus dilakukan sesuai

dengan peraturan dan pedoman yang telah ditetapkan agar data hasil uji dapat digunakan dalam proses perencanaan beton.

II.4.1 Analisa Saringan

Menurut SNI 03-1968-1990, analisis saringan agregat adalah proses menentukan berat persentase butiran agregat yang berhasil melewati serangkaian saringan. Kemudian, data persentase tersebut dapat digambarkan dalam bentuk grafik distribusi butiran. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan gradasi atau distribusi ukuran butiran agregat kasar dan halus dengan menggunakan saringan. Berikut rumus yang digunakan dalam perhitungan analisa saringan.

Perhitungan persentase berat tertahan :

$$(\%) \text{ Tertahan} = \frac{\text{Berat Tertahan}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \quad \text{II. 1}$$

Perhitungan persentase berat tertahan :

$$(\%) \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - (\%) \text{ Berat Tertahan} \quad \text{II. 2}$$

Perhitungan Fineness Modulus (FM) :

$$\text{FM} = \frac{\sum \% \text{ Kumulatif tertahan dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \quad \text{II. 3}$$

II.4.2 Berat Isi Agregat

Berat isi agregat adalah rasio antara berat agregat dan isi/volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran beton, apabila jumlah bahan ditakar dengan ukuran volume. Berat isi agregat dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis, ukuran, bentuk, porositas, dan kelembaban agregat. Adapun rumus yang digunakan dalam berat isi agregat adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat isi lepas / Lepas} : \frac{A - C}{B - C} \quad \text{II. 4}$$

Dimana:

A = Berat wadah + sampel (gr)

B = Berat wadah + air (gr)

C = Berat wadah (gr)

II.4.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besar berat jenis dan kadar air dalam agregat. Hasilnya berupa berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan air yang akan digunakan dalam menentukan perencanaan campuran pengendalian mutu beton. Hitungan berat jenis dan penyerapan agregat dengan rumus :

$$\text{Berat jenis (bulk): } \frac{Bk}{B + Bssd - BT} \quad \text{II. 5}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD): } \frac{Bssd}{B + Bssd - BT} \quad \text{II. 6}$$

$$\text{Berat jenis semu (apparent): } \frac{Bk}{B + Bk - BT} \quad \text{II. 7}$$

$$\text{Penyerapan air (absorption): } \frac{Bssd - Bk}{Bk} \times 100\% \quad \text{II. 8}$$

Dimana:

B = Berat piknometer + air (gram)

BT = Berat piknometer + benda uji + air (gram)

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bssd = Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) (gram)

II.4.4 Pemeriksaan Kadar Air

Pemeriksaan kadar air agregat adalah suatu proses untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam suatu agregat dengan cara pengeringan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dibandingkan dengan berat agregat dalam keadaan kering. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi takaran air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat di

lapangan. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung persentase kadar air agregat adalah sebagai berikut.

$$\text{Kadar air (\%)}: \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\% \quad \text{II. 9}$$

Dimana :

W1 = Berat benda uji sebelum di oven (gr)

W2 = Berat benda uji setelah di oven (gr)

II.4.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat adalah proses untuk menentukan jumlah lumpur dalam agregat (baik halus maupun kasar) yang digunakan. Lumpur adalah endapan atau lapisan yang menutupi permukaan agregat dan mampu melewati ayakan No. 200. Kandungan lumpur pada permukaan butiran agregat dapat mempengaruhi ikatan antara pasta semen dan agregat, sehingga mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Untuk mencapai kuat tekan beton yang tinggi, perlu mengurangi kadar lumpur dalam agregat halus maupun kasar. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung persentase kadar lumpur pada agregat.

$$\text{Kadar lumpur (\%)}: \frac{B1 - B2}{B1} \times 100\% \quad \text{II. 10}$$

Dimana :

B1 = Berat benda uji sebelum dicuci (gr)

B2 = Berat benda uji setelah dicuci (gr)

II.5 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974 (1990), kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur apabila diberikan beban dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan. Berdasarkan kuat tekannya, beton dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut.

Table II. 3 Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekan (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	≤ 10 MPa
Beton normal	15 - 30 MPa
Beton pra tegang	30 - 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 - 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 MPa

Berdasarkan berat jenis beton yang digunakan, beton dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu sebagai berikut.

Table II. 4 Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	$< 1,00$	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,40	Struktur
Beton berat	$> 3,00$	Perisai sinar X

Besarnya kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton ($f'c$)

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{II. 11}$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

2. Kuat tekan rata-rata perlu ($f'cr$)

$$f'cr = f'c + 8,3 \quad \text{II. 12}$$

Dimana:

$f'cr$ = Kuat tekan rata-rata perlu (MPa)

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

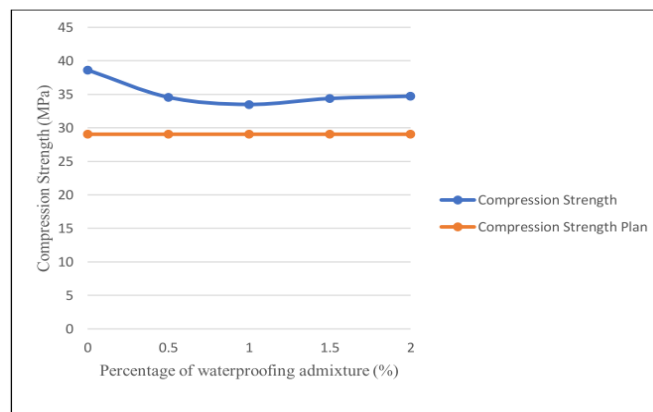
II.6 Penelitian Terdahulu

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir, terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang dapat dipahami dan bermanfaat sebagai bahan informasi ataupun bahan acuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Penelitian mengenai penggunaan bahan tambah Damdex dalam pembuatan beton telah dilakukan oleh beberapa orang sebelumnya, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Mechanical Characteristics of Concrete with The Addition of Integral Waterproof Using Local Aggregate East Kalimantan (Jamal et al., 2022)

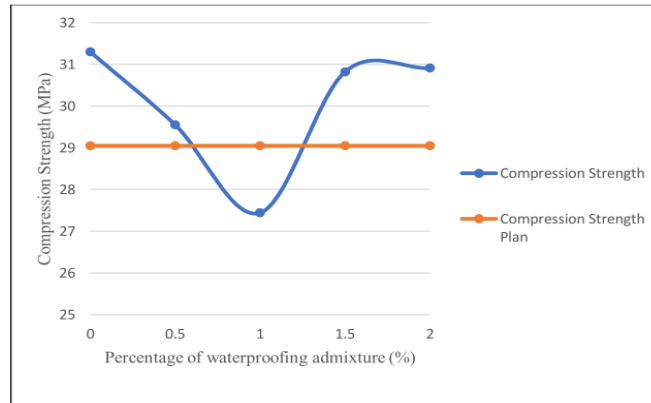
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan integral waterproofing terhadap kuat tekan dan tarik beton serta untuk menentukan tingkat penambahan integral waterproofing yang optimal. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar Palu dan agregat halus lokal Kalimantan untuk memanfaatkan sumber daya alam di Kalimantan Timur.

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 60 benda uji, terbagi menjadi 2 jenis, yaitu 30 benda uji menggunakan agregat halus sambera dan 30 benda uji menggunakan agregat halus Mahakam. Bahan tambah yang digunakan adalah merek "Damdex". Proporsi campuran bahan pengikatan integral adalah 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat semen.



Gambar II. 2 Nilai Kuat Tekan Beton untuk Beberapa Variasi Penggunaan Waterproofing Menggunakan Agregat Halus Mahakam

Berdasarkan grafik di atas, nilai kuat tekan untuk semua persentase Damdex melebihi kuat tekan rencana, dan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan Damdex 2%, yaitu 34,73 MPa.



Gambar II. 3 Nilai Kuat Tekan Beton untuk Beberapa Variasi Penggunaan Waterproofing Menggunakan Agregat Halus Sambera

Berdasarkan grafik di atas, nilai kuat tekan dengan penambahan Damdex melebihi kuat tekan rencana kecuali pada persentase 1%. Penurunan nilai rata-rata kuat tekan pada persentase 1% disebabkan oleh adanya satu benda uji dengan nilai yang sangat rendah dibandingkan dengan yang lainnya. Kemungkinan penyebabnya adalah pencampuran yang kurang optimal atau proses pemadatan yang tidak memadai sehingga mempengaruhi nilai rata-rata pada persentase 1%.

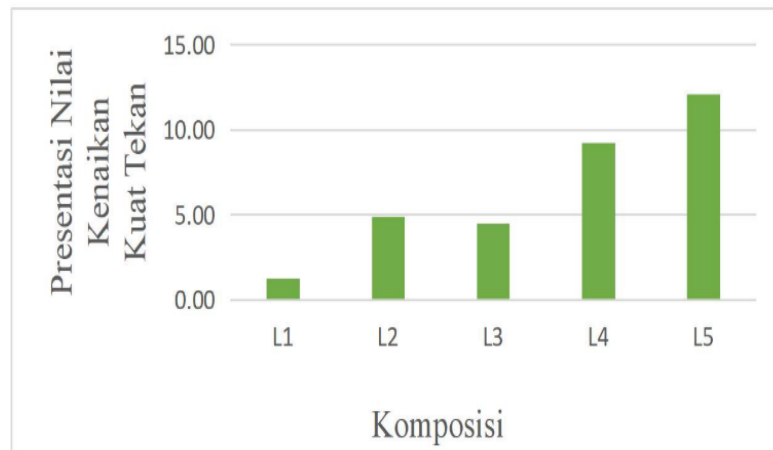
Nilai kuat tekan tertinggi untuk penambahan Damdex menggunakan agregat halus Mahakam adalah pada persentase 2%, yaitu 30,91 MPa. Nilai kuat tekan tersebut lebih rendah daripada nilai kuat tekan menggunakan agregat halus Mahakam. Dari hasil kuat tekan beton untuk agregat halus menggunakan pasir Mahakam atau pasir Sambera, tingkat penambahan Damdex yang optimal adalah 2%.

2. Pengaruh Agregat Halus Pasir Hitam dan Coklat dengan Zat Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton dan Modulus (Tunabenani et al., 2022)

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir hitam, pasir coklat, dan bahan Damdex terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dibuat berbentuk silinder 15 cm × 30 cm sebanyak 25 sampel dengan komposisi 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil. Variasi dilakukan pada pasir hitam dan pasir coklat, sementara bahan aditif Damdex ditambahkan sebanyak 0,4%. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari.

Table II. 5 Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Menggunakan Damdex Terhadap Beton Tanpa Damdex

Komposisi	fcr (MPa)		Persentase Kenaikan (%)	Persentase Perbedaan Kuat Tekan	
	Damdex	Tampa Damdex		Terhadap L1 Damdex (%)	Terhadap L1 Tanpa Damdex (%)
L1 1 Pc : (2 Psh + 0 Psc) : 3 Kr	13,9	13,7	1,25	0,00	101,25
L2 1 Pc : (1,5 Psh : 0,5 Psc) : 3 Kr	13,5	12,9	4,90	-2,45	98,77
L3 1 Pc : (1 Psh : 1 Psc) : 3 Kr	12,7	12,3	3,57	-8,16	92,98
L4 1 Pc : (0,5 Psh : 1,5 Psc) : 3 Kr	12,3	11,3	9,23	-11,02	90,09
L5 1 Pc : (0 Psc + 2 Psh) : 3 Kr	11,2	10,0	12,10	-19,18	81,83
Rata - rata			6,21	-8,16	92,98



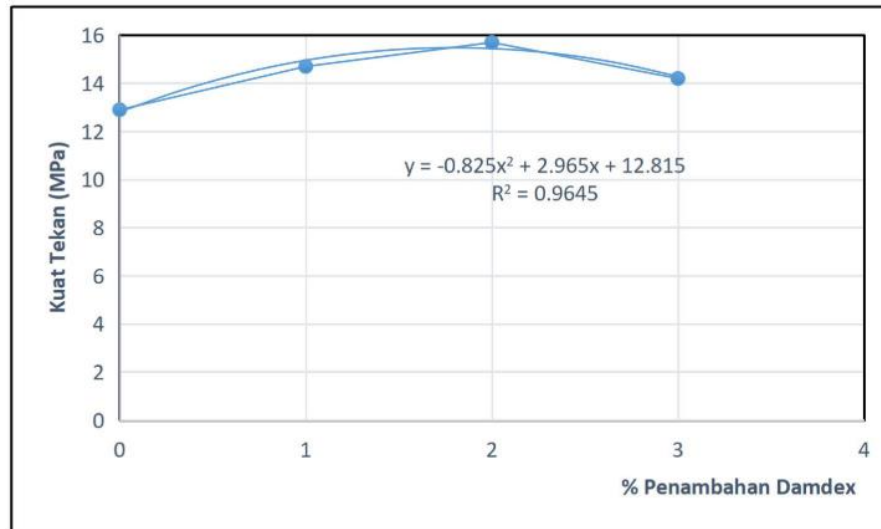
Gambar II. 4 Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Menggunakan Damdex Terhadap Beton Tanpa Damdex

Berdasarkan Tabel II.3 dan Gambar II.4 di atas, diketahui bahwa terjadi kenaikan kuat tekan beton dengan penambahan Damdex pada semua variasi komposisi beton dibandingkan tanpa Damdex. Dari semua variasi komposisi tersebut, kenaikan kuat tekan beton tertinggi terjadi pada komposisi L5 sebesar 12,1% terhadap beton tanpa Damdex dengan nilai kuat tekan sebesar 11,2 MPa.

3. Meningkatkan Mutu Beton dan Mempercepat Pengerasan dengan Penambahan Zat Admixture Damdex pada Campuran Beton (Halim et al., 2022)

Penelitian ini untuk mengetahui pemakaian bahan admixture Damdex pada campuran beton dengan komposisi 1 semen : 2 Pasir : 3 kerikil sebagai upaya

meningkatkan mutu beton dan mempercepat pengerasan. Untuk mengetahui mutu beton dilakukan pengujian terhadap kuat tekan, modulus elastisitas dan kekedapan beton terhadap air. Penambahan Damdex dilakukan dengan 4 Perlakuan terhadap komposisi campuran beton yaitu 0%, 1%, 2% dan 3%. Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm × 30 cm.



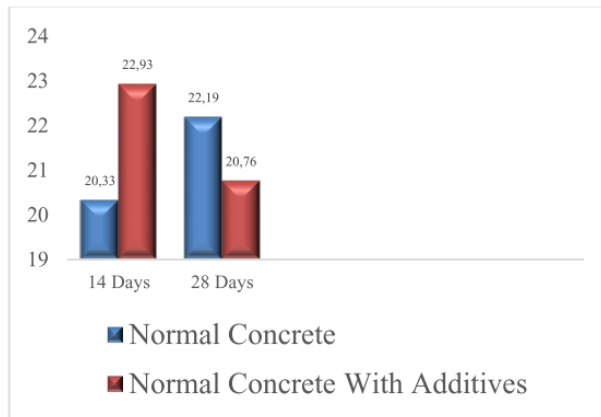
Gambar II. 5 Pengaruh Penambahan Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton

Penambahan Damdex berpengaruh terhadap kuat tekan beton, kuat tekan yang dihasilkan pada penambahan Damdex sebesar 1%, 2% dan 3% masih di atas kuat tekan beton normal. Perbedaan kuat tekan beton terhadap beton normal dengan penambahan Damdex 1% didapat perbedaan kuat tekan sebesar 13.95%, untuk penambahan Damdex 2% didapat kuat tekan 21,7 % dan penambahan Damdex 3% didapat kenaikan kuat tekan sebesar 10,078 %. Penambahan Damdex maksimal sebesar 3,59 % apabila lebih daripada itu maka kekuatan tekan beton akan berada di bawah kuat tekan beton normal.

4. Study of The Effect of The Use of Additional Additives Damdex and Bestmittel on The Compressive Strength of Concrete F’c 20 Mpa (Heldita, 2021)

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbandingan kuat tekan (N/mm²) beton normal dengan beton yang menggunakan bahan tambahan Damdex dan Bestmittel, benda uji yang digunakan adalah silinder dengan persentase penambahan Damdex 2% dan Bestmittel 0.2% dari berat semen dengan

komposisi campuran yang digunakan menggunakan Formula Campuran Kerja f_c 20 MPa untuk proyek pekerjaan Rehabilitasi Berat Blok B/F, Kompleks Pasar Kemakmuran, Kecamatan Kotabaru, yaitu untuk 1 m^3 menggunakan 442.00 kg semen, 681.79 kg agregat halus, 1065.72 kg agregat kasar, dan 215 liter air.

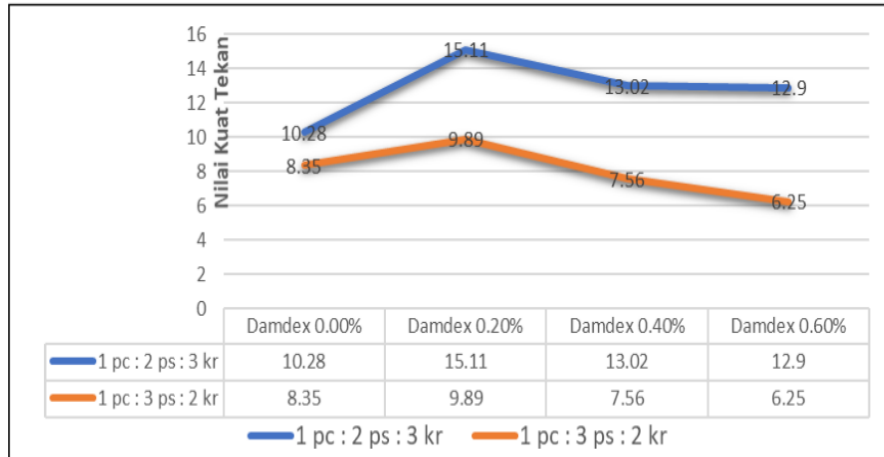


Gambar II. 6 Pengaruh Penambahan Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton

Dari Gambar II.6 di atas, nilai rata-rata uji kuat tekan beton normal pada umur 14 dan 28 hari adalah 20.33 MPa dan 22.19 MPa dari kuat tekan rencana (f_c) sebesar 20 MPa. Sementara itu, nilai rata-rata untuk campuran dengan penambahan Damdex 2% dan Bestmittel 0.2% pada umur 14 dan 28 hari adalah 22.93 MPa dan 20.76 MPa dari kekuatan tekan desain (f_c) 20 MPa.

5. Pengaruh Penambahan Damdex pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton (Prakaryuda et al., 2021)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan Damdex sebagai bahan tambah. Benda uji yang akan dibuat berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15cm. Komposisi campuran beton yang digunakan adalah 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr dan 1 Pc : 3 Ps : 2 Kr. Variasi Damdex yang akan ditambahkan adalah 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%.

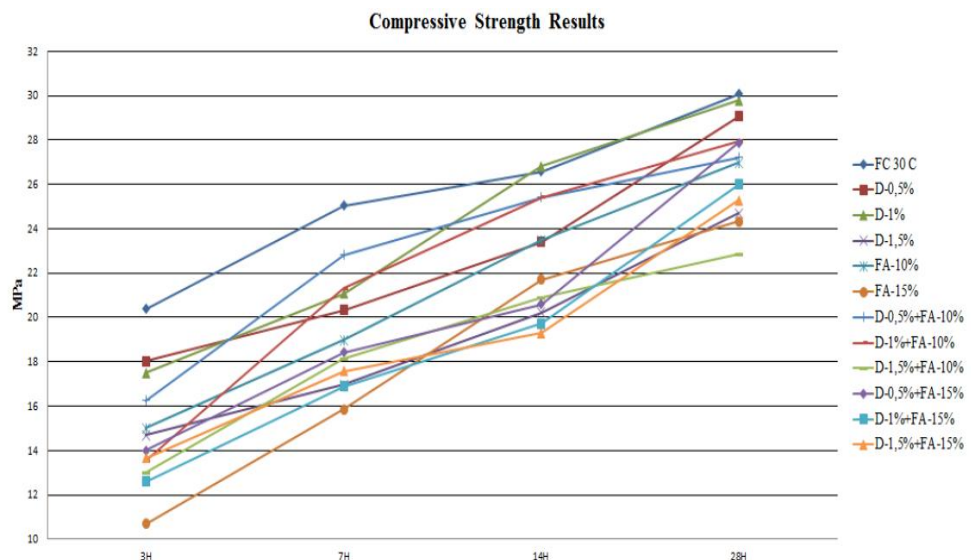


Gambar II. 7 Diagram Hasil Kuat Tekan Rata-Rata

Berdasarkan Gambar II.7 di atas, didapatkan nilai rata-rata kuat tekan tertinggi pada penambahan Damdex 0,20% dengan campuran 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr sebesar f_c 15,11 Mpa, dan nilai kuat tekan terendah pada penambahan Damdex 0,40% dengan campuran 1 Pc : 3 Ps : 2 Kr sebesar f_c 6,25 Mpa.

6. Analysis of the Pressure Strength and Drying Time of Concrete Using an Integral Waterproof Mixture and Adding Fly Ash as a Cement Replacement Material (Syafwandi et al., 2021)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kuat tekan, waktu curing awal dan permeabilitas dengan mengganti waterproofing integral dan fly ash.



Gambar II. 8 Hasil Kuat Tekan Umur 3, 7, 14, dan 28 Hari

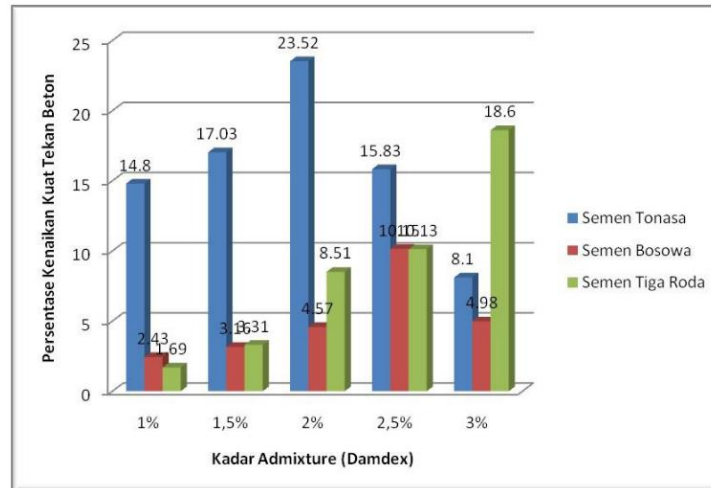
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, beton yang ditambah dengan integral kedap air (Damdex) akan berdampak buruk pada beton. Hasil rata-rata untuk beton normal adalah $F_c = 30,07$ MPa, sedangkan untuk beton tahan air integral (Damdex) $F_c = 29,07$ MPa (0,5%), 29,77 MPa (1%) dan 24,70 (1,5%), serta penggantian beton dengan fly ash juga memberikan pengaruh negatif, fly ash pengganti beton $F_c = 26,96$ MPa (10%), 24,32 MPa (15%). Beton yang ditambah dengan integral waterproofing (Damdex) + fly ash juga memberikan pengaruh negatif terhadap beton. Hasil rata-rata kedap air integral (Damdex) + fly ash $F_c = 27,21$ MPa (0,5% + 10%), 27,95 MPa (1% + 10%), 22,83 MPa (1,5% + 10%) dan $F_c = 27,88$ MPa (0,5% + 15%), 20,23 MPa (1% + 15%), 25,28 MPa (1,5% + 15%).

7. Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton dari Berbagai Merek Semen (Fitrawansyah et al., 2020)

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis efek variasi aditif (Damdex) terhadap kuat tekan beton dengan membandingkan merek-merek semen (Semen Tonasa, Bosowa, dan Tiga Roda). Metodologi penelitian ini menggunakan metode eksperimen atau pengujian bahan di laboratorium. Kuat tekan beton akan diukur pada usia 28 hari, setelah pemberian aditif (0%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3%) dengan variasi merek semen yang berbeda, namun komposisi Agregat dan Air tetap sama dari setiap perlakuan. Sampel dari setiap perlakuan sebanyak 3 sampel diuji.

Table II. 6 Perbandingan Persentase Kuat Tekan Beton terhadap penambahan Damdex pada Berbagai Merek Semen

Merek Semen	Beton Normal	Kadar Admixture (Damdex)				
		1%	1.5%	2%	2,5%	3%
Semen Tonasa	0	14.8	17.03	23.52	15.83	8.1
Semen Bosowa	0	2.43	3.16	4.57	10.15	4.98
Semen Tiga Roda	0	1.69	3.31	8.51	10.13	18.6



Gambar II. 9 Perbandingan Persentase Kuat Tekan Beton

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semen Tonasa mengalami peningkatan kuat tekan beton tertinggi dengan level aditif (Damdex) 2%, yang menghasilkan kuat tekan sebesar $385,24 \text{ kg/cm}^2$ atau peningkatan sebesar 23,52% dari kuat tekan beton normal sebesar $311,89 \text{ kg/cm}^2$. Merek Bosowa mengalami peningkatan kuat tekan beton tertinggi dengan level aditif (Damdex) 2,5%, yang menghasilkan kuat tekan sebesar $338,00 \text{ kg/cm}^2$ atau peningkatan sebesar 10,15% dari kuat tekan beton normal sebesar $306,86 \text{ kg/cm}^2$. Kekuatan tekan merek Tiga Roda juga mengalami peningkatan dengan level aditif tertinggi yaitu 3%, yang menghasilkan kuat tekan sebesar $354,35 \text{ kg/cm}^2$ atau peningkatan sebesar 18,60% dari kuat tekan beton normal sebesar $298,77 \text{ kg/cm}^2$.

8. Pengaruh Penambahan Genteng Press Jatiwangi dan Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton (Putranto & Syaiful, 2019)

Penelitian mengenai kuat tekan beton dengan menggunakan agregat pecahan genteng press jatiwangi dan bahan tambah Damdex pada campuran beton dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing bahan terhadap kuat tekan beton. Pada penelitian ini yang dicari nilai kuat tekan beton dengan mutu beton yang direncanakan K- 250. Masing – masing campuran benda uji beton dicampur dengan bahan tambah genteng press jatiwangi sebesar 20%, 30%, 40%, dan 50% dan menggunakan bahan additive Damdex sebesar 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%.

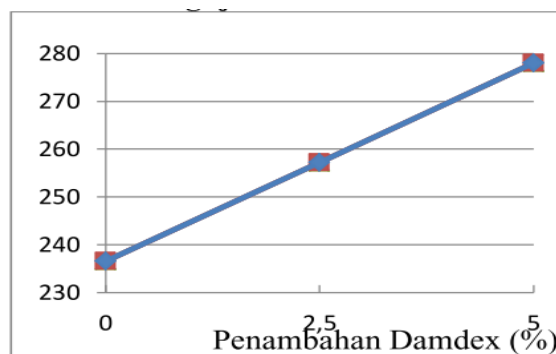
Table II. 7 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

No.	Kode Sampel	Umur Rencana	Kuat tekan (kg/cm ²)	
			Sampel	Rata - rata
1.	A4 – B3	7 hari	313,85	364,41
			320,82	
			432,41	
			390,56	
2.	A5 – B4	7 hari	327,79	359,18
			313,85	
			355,69	
			439,38	
3.	A5 – B4	14 hari	327,79	369,64
			376,62	
			401,03	
			373,13	

Dari pengujian yang telah dilakukan, substitusi agregat kasar berupa pecahan genteng Jatiwangi sebanyak 40% dan additive Damdex sebanyak 2% (sampel A4 – B3) meningkatkan kuat tekan beton sebesar 92,4% dari beton normal, dan substitusi agregat kasar berupa pecahan genteng Jatiwangi sebanyak 50% dan additive Damdex sebanyak 2,5% (sampel A5 – B4) meningkatkan kuat tekan beton sebesar 87,18% dari beton normal.

9. **Penggunaan Bahan Tambah Damdex (Waterproofing) pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton (Nurmaidah, 2016)**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan beton normal dengan kuat tekan beton dengan campuran Damdex. Damdex ditambahkan pada rasio 2,5% dan 5% untuk berat kering semen. Setiap variasi dibuat dua puluh benda uji berbentuk kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan rencana kuat tekan adalah K-225 dan pengujian dilakukan pada umur 28 hari.



Gambar II. 10 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Damdex

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan penambahan Damdex 2,5% adalah 257,19 kg/cm² dengan peningkatan sebesar 8,17% dari kuat beton normal sebesar 236,57 kg/cm². Sementara kuat tekan beton dengan penambahan Damdex 5% adalah 278,04 kg/cm² dengan peningkatan 16,12% kuat tekan beton normal sebesar 236,57 kg/cm².

Table II. 8 Rekapitulasi Penelitian-Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode dan Parameter Uji	Hasil Utama	Perbedaan Penelitian dengan Penulis
1	Mechanical Characteristics of Concrete with The Addition of Integral Waterproof Using Local Aggregate East Kalimantan (Mardewi Jamal, et. al., 2022)	Mengetahui pengaruh penambahan integral waterproofing terhadap kuat tekan dan tarik beton serta menentukan tingkat penambahan optimal.	Benda uji berbentuk silinder 15x30 cm. Kadar Damdex 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Jenis agregat halus, yaitu agregat halus Sambera dan Mahakam. Pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari.	Nilai kuat tekan tertinggi pada penambahan 2% Damdex yaitu 34,73 MPa	Kadar Damdex yang digunakan 1%, 2%, dan 3% menggunakan agregat dari Cimalaka Sumedang. Pengujian kuat tekan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.
2	Pengaruh Agregat Halus Pasir Hitam dan Coklat dengan Zat Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton dan Modulus (Julius Tunabenani, et. al., 2022)	Mengamati pengaruh agregat dan Damdex terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton.	Benda uji berbentuk silinder 15x30 cm. Variasi pasir, yaitu pasir hitam dan coklat. Kadar Damdex sebesar 0,4%, komposisi 1:2:3. Pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari.	Kenaikan kuat tekan tertinggi 12,1% pada komposisi L5 sebesar 11,2 MPa	Kadar Damder yang digunakan 1%, 2%, dan 3% dengan komposisi campuran beton dari perhitungan Mix Design (SNI 7656-2012). Umur uji adalah 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

3	Meningkatkan Mutu Beton dan Mempercepat Pengerasan dengan Penambahan Zat Admixture Damdex pada Campuran Beton (Abdul Halim, et. al., 2022)	Mengetahui efek penambahan Damdex pada kuat tekan dan pengerasan beton.	Benda uji berbentuk silinder 15x30 cm. Variasi Damdex, yaitu 0%, 1%, 2% dan 3%, komposisi 1:2:3	Penambahan Damdex hingga 3,59% masih menghasilkan kuat tekan di atas beton normal, penambahan di atas itu menurunkan kuat tekan.	Komposisi campuran beton didapatkan dari hasil Mix Design (SNI 7656-2012). Pengujian dilakukan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.
4	Study of The Effect of The Use of Additional Additives Damdex and Bestmittel on The Compressive Strength of Concrete F'c 20 Mpa (Dina Heldita, 2021)	Membandingkan kuat tekan beton dengan penambahan Damdex dan Bestmittel	Benda uji: Campuran Kerja f'c 20 MPa, 2% Damdex, 0,2% Bestmittel, pengujian umur 14 dan 28 hari	Penambahan 2% Damdex dan 0,2% Bestmittel menghasilkan kuat tekan lebih tinggi	Variasi Damdex yang digunakan adalah 1%, 2%, dan 3%. Pengujian dilakukan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.
5	Pengaruh Penambahan Damdex pada Campuran Beton	Mengetahui pengaruh penambahan Damdex pada kuat tekan dan	Benda uji: Silinder 15x30 cm, Variasi: 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% Damdex. Pengujian	Nilai rata-rata kuat tekan tertinggi 0,20% Damdex	Variasi Damdex yang digunakan adalah 1%, 2%, dan 3%. Pengujian

	Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton (Wiling Ardiano Prakaryuda, et. al., 2021)	modulus elastisitas beton.	dilakukan pada umur beton 28 hari	(15,11 MPa), terendah 0,40% Damdex (6,25 MPa)	dilakukan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.
6	Analysis of the Pressure Strength and Drying Time of Concrete Using an Integral Waterproof Mixture and Adding Fly Ash as a Cement Replacement Material (Syafwandi et al., 2021)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kuat tekan, waktu curing awal dan permeabilitas dengan mengganti waterproofing integral dan fly ash.	Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan, waktu curing, dan permeabilitas. Kadar Damdex yang digunakan adalah 0,5%, 1% dan 1,5%.	Beton yang ditambah dengan integral kedap air (Damdex) akan berdampak buruk pada beton.	Pengujian yang dilakukan hanya uji kuat tekan beton.
7	Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton dari Berbagai Merek Semen (Dian Fitrawansyah, et. al., 2020)	Menganalisis efek aditif Damdex terhadap kuat tekan beton menggunakan berbagai merek semen.	Benda uji: Kubus 15x15x15 cm, Variasi: 1%, 1,5%, 2%, 2,5, dan 3% Damdex, 3 merek semen (Semen Tonasa, Bosowa, dan Tiga Roda).	Merek Tonasa memiliki kenaikan tertinggi (23,52% pada 2% Damdex)	Benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15x30 cm. Semen yang digunakan adalah Semen Tiga Roda. Umur uji adalah 3 hari, 7 hari, 14

			Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.		hari, dan 28 hari. Kadar Damdex adalah 1%, 2%, dan 3%.
8	Pengaruh Penambahan Genteng Press Jatiwangi dan Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton (Fajar Rizky Putranto & Syaiful, 2019)	Menganalisis efek aditif Damdex terhadap kuat tekan beton menggunakan berbagai merek semen.	Benda uji: Campuran K-250, Variasi: 20-50% genteng press, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% Damdex. Benda uji berbentuk kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Beton yang direncanakan K-250	Substitusi 40% genteng dan Damdex 2% meningkatkan kuat tekan beton 92,4% dari normal. Substitusi 50% genteng dan Damdex 2,5% meningkatkan 87,18%.	Menggunakan agregat kasar dari batu pecah. Benda uji berbentuk silinder ukuran 15×30 cm. Kadar Damdex adalah 1%, 2%, dan 3%. Mutu beton rencana (f'c) 25 MPa
9	Penggunaan Bahan Tambah Damdex (Waterproofing) pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton (Nurmaidah, 2016)	Menentukan kekuatan beton normal dengan campuran Damdex.	Benda uji berbentuk kubus 15x15x15 cm, Variasi: 2,5% dan 5% Damdex, umur pengujian 28 hari. Mutu rencana K-225.	Penambahan Damdex 2,5% meningkatkan kuat tekan 8,17%, sementara 5% meningkatkan 16,12%.	Benda uji berbentuk silinder ukuran 15×30 cm. Kadar Damdex adalah 1%, 2%, dan 3%. Mutu beton rencana (f'c) 25 MPa