

Pengaruh penggunaan *superplasticizer admixtures* terhadap susut beton usia muda

Mohammad Junaedy Rahman^{1,*}, Ahmad Rifqi Asrib¹, Irma Aswani Ahmad¹, Aulia Meylinda Al Farkah¹

¹Program Studi Teknik Sipil Bangunan Gedung, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

*Corresponding authors: moh.junaedy.rahman@unm.ac.id

Submitted: 4 May 2026, Revised: 28 June 2026, Accepted: 29 June 2026

ABSTRACT: Early-age concrete shrinkage, caused by the loss of water and the hydration reaction process, can lead to micro-cracks that propagate into sources of weakness, thereby reducing the concrete's serviceability and durability. The long-term effects of this issue can be mitigated through the interlocking effect of aggregate grading and/or the addition of non-shrinkage admixtures. Type F admixtures classified as high-range water reducers (HRWR) or superplasticizers can increase workability, reduce volumetric deformation without compromising the concrete's mechanical properties. This study specifically aims to determine the influence of superplasticizer on reducing shrinkage and enhancing the compressive strength performance of concrete. The early-age shrinkage study was conducted by measuring vertical strain changes in fresh concrete cylinder specimens cast in molds with leveled surfaces containing both fine and coarse aggregates, a composition that yields different shrinkage behavior compared to tests typically performed on mortar. Simulations involving the addition of superplasticizers at dosages of 0.35%, 0.55%, and 0.75% by weight of cement showed positive effects on slump and density; furthermore, these dosages resulted in progressively lower shrinkage values by the end of the 330-minute measurement period. A comparison of concrete shrinkage measurements on test specimens without superplasticizer admixtures revealed shrinkage values of 58.16%, 71.11%, and 85.37% for the respective dosage categories of 0.75%, 0.55%, and 0.35%. These results demonstrate that early-age concrete shrinkage can be significantly reduced through the addition of superplasticizers. Additionally, the use of these superplasticizer dosages indicated an increase in compressive strength beyond the design grade at 28 days. Regression analysis using a power-law equation yielded a coefficient of determination (R^2) of 99.79%, strongly indicating that early-age shrinkage influences the concrete's compressive strength.

KEYWORDS: concrete compressive strength; density; early-age shrinkage; slump; superplasticizer admixtures.

ABSTRAK: Problem susut pada beton di usia muda akibat hilangnya air dan proses reaksi hidrasi dapat menyebabkan retak mikro yang dapat terpropagasi menjadi sumber kelemahan dan menurunkan kekuatan layan dan daya tahan beton. Efek jangka panjang dari masalah ini dapat diminimalisir melalui sistem interlocking dari gradasi agregat dan/atau dengan penambahan non-shrinkage admixture. Admixture tipe F dengan sifat high-range water reducers (HRWR) adalah admixture superplasticizer yang dapat meningkatkan workabilitas, mengurangi deformasi volumetrik tanpa mengganggu sifat mekanis beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lebih spesifik pengaruh superplasticizer dalam mereduksi susut dan meningkatkan performa kekuatan tekan beton. Penelitian susut di usia dini ini dilaksanakan melalui pengukuran perubahan regangan secara vertikal campuran beton silinder standar yang masih segar di dalam cetakan dengan permukaan yang sudah diratakan. Komposisi agregat halus dan kasar di dalam benda uji beton akan memberikan perilaku susut yang berbeda dari pengujian yang selama ini dilakukan menggunakan mortar. Hasil simulasi penambahan superplasticizer pada campuran sebesar 0.35%, 0.55% dan 0.75% dari berat semen, selain memberikan dampak positif terhadap slump dan density beton, juga menghasilkan nilai susut beton yang semakin rendah di akhir pengukuran yang berlangsung selama 330 menit. Hasil perbandingan pengukuran susut beton pada benda uji yang tanpa menggunakan admixture superplasticizer diperoleh hasil 58.16%, 71.11% dan 85.37% susut terjadi pada masing-masing dosis benda uji 0.75%, 0.55% dan 0.35% secara berurutan. Ini menunjukkan susut beton di usia dini dapat direduksi secara signifikan dengan penambahan admixture superplasticizer. Penggunaan dosis 0.35%, 0.55% dan 0.75% superplasticizer memberikan indikasi peningkatan kekuatan tekan beton yang melebihi mutu rencana di 28 hari. Hasil regresi dengan korelasi persamaan berpangkat memberikan koefisien determinasi R^2 sebesar 99.79% yang kuat bahwa susut di umur muda memberikan pengaruh terhadap kekuatan tekan beton.

KATA KUNCI: kuat tekan beton; kerapatan; susut usia dini; slump; admixture superplasticizer.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan komposit yang terdiri dari agregat sebagai pengisi yang tertanam dalam matriks yang keras (reaksi hidrolis semen Portland atau bahan pengikat lainnya) yang mengisi ruang diantara agregat dan mengikatnya satu sama lain (Li et al., 2022). Material konstruksi ini banyak digunakan karena kekuatannya yang dapat diatur, dapat menyesuaikan bentuk dan daya tahannya yang tinggi sebagai batu tiruan. Salah satu masalah utama pada beton adalah terjadinya susut (*shrinkage*) seiring dengan proses pengerasannya. Terjadinya *shrinkage* yang besar pada tahap awal pengerasan beton (*early-age shrinkage*) dapat menimbulkan retak mikro akibat tegangan-tegangan tarik internal.

Susut beton merupakan perubahan volume yang terjadi akibat hilangnya kelembaban dari pasta semen selama proses hidrasi dan pengeringan. Susut ini dapat menyebabkan retak mikro, terutama pada beton usia muda yang masih memiliki kekuatan rendah (Klausen & Kanstad, 2021). Pada fase awal hidrasi, kerentanan beton terhadap retak sangat tinggi akibat adanya penyusutan plastis dan pengeringan yang cepat, terutama ketika kekakuan struktural mulai terbentuk dan kuat tarik beton belum berkembang secara optimal (Safiuddin et al., 2018). Retak mikro yang terjadi pada usia muda ini menciptakan jalur diskontinuitas di dalam matriks semen, yang secara signifikan menurunkan kapasitas layan struktur dan mempercepat penetrasi agen agresif dari lingkungan (Ma et al., 2022). Penyusutan volumetrik yang terjadi secara agresif pada 72 jam pertama ini sering kali melampaui kapasitas kuat tarik beton usia muda, sehingga menginisiasi terbentuknya retak mikro internal (Zhang et al., 2022). Penyusutan *autogenous* (juga dikenal sebagai penyusutan kimiawi) disebabkan oleh hilangnya air akibat hidrasi semen (Rishi & Romero, 2019).

Retak yang telah terbentuk memberikan peluang kelembaban air dan bahan kimia reaktif terintrusi masuk ke dalam beton yang mengancam korosi pada tulangan dan degradasi beton secara cepat (Hamdi et al., 2022). Saat beban layan bekerja, retak mikro terpropagasi menjadi retak yang lebih lebar yang dapat mempengaruhi melemahnya kekuatan serta umur layan struktur (Kheir et al., 2021). Keberadaan retak mikro akibat susut plastis dan susut *autogenous* di usia dini menjadi jalur cepat bagi penetrasi ion agresif yang mempercepat korosi tulangan, mereduksi umur layan struktur secara drastis, serta meningkatkan biaya pemeliharaan dini secara signifikan (Wang et al., 2024). Jika susut mikro ini tidak dimitigasi melalui kontrol material yang tepat, akumulasi tegangan sisa akibat kekangan (*restraint stress*) pada fase ini akan berkembang menjadi retak makro yang melemahkan integritas struktural secara keseluruhan dan berujung pada kegagalan struktural prematur (Wang et al., 2022).

Admixture sering diterminologikan sebagai *liquid chemical additives* merupakan bahan kimia cair yang ditambahkan sebelum atau selama pencampuran beton untuk modifikasi satu atau lebih sifat beton dalam keadaan segar atau mengeras. Standar ASTM C494/C494M (2020) menyebutkan bahwa *admixture* kimiawi dibagi dalam beberapa tipe yang masing-masing memiliki keunggulan untuk setiap keperluan penggunaannya dalam mencapai tujuan tertentu yang sulit diperoleh hanya dengan mengubah proporsi campuran dasar (Rangan, 2025). Penggunaan *admixture* tipe F: *high range water reducer (HRWR)* atau *superplasticizer* dengan dosis yang optimal dapat meningkatkan performa mekanis beton dengan mengurangi penggunaan air, meningkatkan plastisitas, *workability* dan mempercepat pengerasan (Consol Indonesia, 2025). Kinerja *superplasticizer* untuk dapat meningkatkan *workability* tetapi mengurangi penggunaan air sampai 30% serta meningkatkan kekuatan tekan juga telah dijelaskan sebelumnya oleh Murdock & Brook, (1979). *Admixture* tipe F atau *superplasticizer* dapat mengurangi susut akibat kehilangan air pada beton usia muda telah dibuktikan pada penelitian dari Zhan & He, (2019) dan Rangan, (2025).

Dosis *admixture superplasticizer* yang ditambahkan ke dalam beton relatif kecil dibanding komposisi bahan beton yang lain yaitu sekitar 0.3% - 0.8% dari berat semen untuk *soft plastic concrete* sesuai dengan anjuran penggunaan produk *admixture* Consol Indonesia, (2025) dan Gandage, (2018). Penambahan *admixture superplasticizer* berperan dalam mengurangi susut beton dengan cara menghasilkan ekspansi terkendali selama proses hidrasi awal (Dodson, 2013). Penelitian yang dilakukan Revilla-Cuesta et al (2021) menunjukkan bahwa kombinasi *shrinkage-reducing admixtures (SRA)* dan *expansive admixtures (EA)* dapat menurunkan *autogenous shrinkage* hingga 45%. Selain itu, kuat tekan beton tidak mengalami penurunan, bahkan cenderung stabil pada usia 28 hari dan seterusnya. Penelitian ini juga mengamati bahwa beton dengan *admixture* menunjukkan retakan yang lebih sedikit. Hal ini memperkuat bahwa *admixture superplasticizer* dapat meningkatkan performa jangka panjang beton, menjaga kestabilan dimensi, dan mengurangi biaya pemeliharaan struktur akibat retakan (Tang et al., 2023).

Meskipun penggunaan *superplasticizer* mampu mengoptimalkan kuat tekan melalui reduksi air yang agresif, namun fenomena ini memicu konsekuensi kritis berupa peningkatan drastis susut plastis dan susut autogen secara simultan akibat mekanisme desikasi mandiri (Kheir et al., 2021). Penelitian ini adalah upaya untuk mengevaluasi pengaruh beberapa dosis bahan tambah *superplasticizer* terhadap susut beton di usia dini dengan mutu rencana f'_c 30 MPa secara eksperimental di laboratorium melalui pengukuran *dial*

gauge perubahan volume vertikal benda uji silinder standar (dia.15 cm x tinggi 30 cm). Dosis *superplasticizer* diuji dengan dosis 0.35%, 0.55%, dan 0.75% dari berat semen ditambah campuran beton normal (0%) sebagai pembanding. Melalui simulasi variasi *admixture* tersebut, juga dapat teridentifikasi nilai *slump* sebagai indikator *workability*, berat isi beton basah (*density*) yang memberikan gambaran tingkat kerapatan campuran dan kekuatan tekan rata-rata beton silinder standar pada umur 7, 14 dan 28 hari. Hasil ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuat pengaruh dosis *superplasticizer* dalam memitigasi penyusutan beton yang secara simultan memperbaiki performa *density* campuran di umur muda dan kekuatan beton setelah mengeras di umur tertentu.

Penelitian-penelitian sebelumnya tentang susut beton mengacu pada metode standar ASTM 157, (2009) yaitu menggunakan prisma beton mortar standar 3 x 3 x 10 in³ seperti yang dilakukan oleh Rishi & Romero, (2019) dan Lu et al., (2020). Perbedaan mendasar dari penelitian susut sebelumnya pada penelitian ini adalah penggunaan benda uji beton silinder standar, dengan melibatkan agregat halus dan kasar di dalam beton yang terkomposisi optimal. Kontribusi agregat kasar dalam penelitian yang sebelumnya disimpulkan oleh Amir et al., (2023) menyatakan bahwa gradasi agregat kasar yang padat dapat menciptakan sistem *interlocking*. Interaksi ini membentuk mekanisme *bridging* pada agregat kasar yang berperan menjembatani distribusi tegangan-tegangan internal ke seluruh volume beton dalam merespon regangan susut plastis dan autogenus di usia dini (Murdock & Brook, 1979).

Urgensi secara umum penggunaan *superplasticizer* selain memberikan mitigasi penyusutan dini, juga memegang peranan penting dalam merekayasa aspek tekno ekonomi infrastruktur melalui perpanjangan umur layan (*service life*) dan reduksi biaya pemeliharaan jangka panjang. Meskipun investasi awal (*initial cost*) untuk material ini relatif lebih tinggi, reduksi air campuran pada struktur beton dengan *superplasticizer* mampu memblokir retak mikro dan meminimalisir pori sehingga beton memiliki ketahanan superior terhadap degradasi lingkungan, memperpanjang siklus hidup operasional struktur hingga puluhan tahun dan sekaligus meminimalkan frekuensi dan biaya inspeksi serta perbaikan struktural yang mahal selama masa layannya.

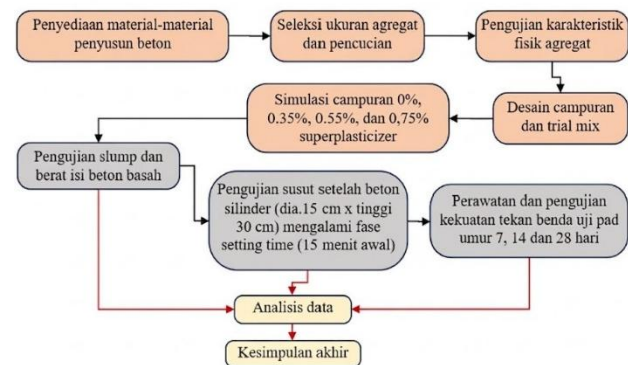
2. METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Makassar. Aktifitas di luar laboratorium hanya dalam rangka observasi sumber material pasir alami dan batu pecah di quarry Bili-Bili (daerah aliran Sungai Jeneberang), Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Tipe semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC) sedangkan bahan

admixture-nya menggunakan tipe F atau *HRWR* jenis *superplasticizer*.

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen laboratorium. Data-data awal bersifat sekunder adalah informasi produk dan spesifikasi bahan *superplasticizer admixtures* (type F, *HRWR-admixtures*) serta data observasi lokasi sumber pengambilan material agregat serta penentuan tipe semen yang digunakan.



Gambar 1. Alur pelaksanaan penelitian

Pengumpulan data-data primer pada penelitian ini dibagi dalam tiga tahapan yaitu: 1) Penyediaan dan pemeriksaan karakteristik agregat untuk membuat suatu rancangan campuran beton, 2) Melaksanakan pengujian dengan mengumpulkan data hasil pengukuran *slump*, pengujian susut volume beton silinder standar (dia.15 cm x tinggi 30 cm) dalam arah vertikal dan menguji kekuatan tekan beton dan 3) Mengolah dan mengkomparasikan data-data, pengujian yang telah diperoleh untuk menarik kesimpulan akhir. Alur pelaksanaan penelitian diilustrasikan pada Gambar 1, dimana ketiga kumpulan blok warna menggambarkan pengelompokan tahapan yang telah dijelaskan.

2.2. Pengujian Karakteristik Agregat

Material agregat halus dan kasar yang digunakan pada penelitian ini masing-masing adalah pasir alami dan batu pecah dari lokasi sumber yang sama. Pengujian karakteristik fisik kedua jenis agregat tersebut diawali dengan seleksi ukuran maksimum melalui ayakan dan pemisahan sampel secara perempatan sebagaimana disarankan oleh Murdock & Brook, (1979). Pasir alami diambil hanya yang lolos saringan No. 4 (4.75 mm) dan kerikil batu pecah hanya menggunakan ukuran 1-2 cm.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik agregat

Item pengujian	Unit	Agregat	
		Pasir alami	Bt. Pecah 1-2 cm
Kadar Air	%	3.20	2.65
Kadar Organik	%	1 (Kuning)	-
Kadar lumpur	%	1.2	0.38
Apparent Specific Gravity		2.76	2.58
Bulk Specific Gravity on Dry	-	2.48	2.45
Bulk Specific Gravity on SSD*		2.72	2.50
Penyerapan	%	4.22	2.11
Modulus kehalusan	-	Fr = 2.18	Fr = 7.80
Zona gradasi / size max. agregat	-	Zona 3	Max 20 mm
Berat Volume	kg/l	1.510	1.438
Abrasi	%	-	15.80

*SSD : Saturated Surface Dry

Dengan mengacu pada prosedur standar pengujian agregat di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) di laboratorium, maka diperoleh data hasil karakteristik fisik kedua agregat yang diperlihatkan pada Tabel 1. Meskipun pada tabel terlihat kadar lumpur kedua agregat masih tergolong sangat rendah namun keduanya tetap dicuci dan menyesuaikan kembali kadar air untuk kebutuhan desain campuran sebelum digunakan. Karakteristik gradasi butiran agregat pasir alami kelihatan pada tabel tersebut berada pada zona 3 dengan nilai modulus kehalusan yang menunjukkan kategori pasir yang agak halus.

2.3. Komposisi Campuran

Desain komposisi campuran pada penelitian ini dibuat dengan mengacu pada ACI 211.1-91 untuk mutu beton f'_c 30 MPa. Komponen penyusun campuran beton meliputi air, semen portland (tipe PCC), pasir alami dengan gradasi pasir zona 3, agregat kasar batu pecah 1-2 dengan ukuran maksimum 20 mm, dan *superplasticizer admixtures* yang terbuat dari *polycarboxylic ether* (PCE).

Melalui prinsip volume absolut menggunakan data karakteristik agregat maka diperoleh komposisi campuran per 1 m³ setelah dikoreksi terhadap kadar air dan daya serap agregat seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2 untuk keadaan normal (0% *superplasticizer*). Faktor air semen yang diperoleh pada campuran tersebut adalah sebesar 0.45.

Tabel 2. Komposisi material per 1 m³

Jenis Bahan	Variasi <i>Superplasticizer</i>			
	0%	0.35%	0.55%	0.75%
Air (kg)	194.25	192.816	191.995	191.174
Semen (kg)	431.00	462.00	462.00	462.00
Agregat Halus (kg)	578.84	546.97	546.65	546.33
Agregat Kasar (kg)	1,029.41	1028.36	1,027.75	1,027.15
<i>Superplasticizer</i> (liter)	-	1.508	2.370	3.232

Penambahan *superplasticizer* dilakukan pada komposisi campuran normal sebesar 0.35%, 0.55% dan 0.75% dari berat semen, mengikuti anjuran penggunaan *admixture* dari produknya yaitu sekitar 0.3

sampai 0.8% dari berat kebutuhan semen. Beberapa penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan Faqihuddin et al., (2021) menggunakan variasi *admixture* 0%, 0.3%, 0.5% dan 0.7% hasilnya adalah berpengaruh pada nilai *slump*, volume beton hingga kuat tekan beton yang meningkat. Untuk *specific density* sebesar 1.05 ± 0.02 kg/Liter (Consol Indonesia, 2025) dari produk yang berbentuk *liquid* maka air pencampur dikoreksi dengan mengurangi volumenya sebesar volume penambahan *superplasticizer*. Metode penambahan *superplasticizer* diadopsi seperti yang dijelaskan dalam Özen et al (2020) dan Burhan et al., (2020) yang menambahkan *admixture* cair dengan porsi tertentu dari berat semen kemudian mengurangi porsi air campuran. Pendekatan ini bertujuan untuk mempertahankan total volume campuran beton agar tetap konsisten, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan pada rasio campuran dasar. Dengan demikian, setiap perubahan sifat beton yang terjadi dapat dikaitkan secara langsung dengan pengaruh *admixture*, bukan akibat perbedaan volume atau proporsi material lainnya (Tang et al., 2021). Konsentrasi tertentu *admixture* tipe *shrinkage reducing admixtures* dapat meningkatkan kekuatan beton karena memberikan stabilitas struktural yang lebih baik selama proses pengerasan (Faqihuddin et al., 2021).

2.4. Trial Mix Uji Nilai Slump, Density Beton Segar dan Pembuatan Benda Uji

Pengujian *slump* dilakukan untuk melihat konsistensi, kekentalan dan *workability* beton segar sebelum dilakukan pengecoran yang lebih banyak. Pengujian diawali dengan melakukan trial mix campuran guna mengoreksi kembali ketepatan komposisi terhadap kebutuhan volume benda uji dan untuk mengoreksi kembali pengurangan kebutuhan air yang dapat menghasilkan *slump* nol. Pengurangan air yang diperoleh untuk mencapai *slump* nol ini sangat penting untuk membuktikan lebih awal kinerja *superplasticizer* dalam perbaikan *workability* campuran dari kondisi kaku menjadi plastis. Gambar 2 menunjukkan proses uji *slump* beton dari keadaan kaku menjadi plastis setelah penambahan *superplasticizer*. Tercatat pada pengujian awal beton tanpa *superplasticizer*, air dikurangi sebesar 18% dari rencana menghasilkan *slump* sebesar 1.0 cm (dianggap nilai *slump* nol).

Prosedur pencampuran mengikuti metode yang diuraikan dalam penelitian Zhan & He, (2019) sebelumnya. Awalnya, bahan kering seperti semen, agregat halus, dan agregat kasar dicampur hingga terdistribusi merata di dalam *drum mixer*. Setelah itu, air ditambahkan sedikit demi sedikit sambil terus diaduk agar seluruh campuran mulai membentuk campuran yang homogen. *Superplasticizer* kemudian dimasukkan bersamaan dengan sisa air pencampur atau terlarut di dalamnya, sehingga dapat tercampur secara merata dalam adukan (Statkauskas et al., 2022). Proses pengadukan dilanjutkan hingga campuran mencapai

homogenitas penuh, ditandai dengan tekstur yang seragam dan tidak terdapat gumpalan bahan. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa efek dari *superplasticizer* dapat berfungsi optimal dalam meningkatkan karakteristik beton yang diinginkan (He et al., 2020).



Gambar 2. Pengukuran konsistensi pada campuran segar tanpa *superplasticizer* dan dengan penambahan *superplasticizer*

Tabel 3. Hasil pengujian *slump*

Uraian	Nilai <i>slump</i> (mm)
Beton tanpa <i>superplasticizer</i>	0
Beton <i>superplasticizer</i> 0.35%	40
Beton <i>superplasticizer</i> 0.55%	60
Beton <i>superplasticizer</i> 0.75%	100

Tabel 4. Hasil pengujian *densiy* beton

No	Persentase <i>superplasticizer</i>	Berat volume beton basah (kg/m ³)
1	0%	2,240
2	0.35%	2,244
3	0.55%	2,247
4	0.75%	2,258

Hasil pengujian *slump* untuk masing-masing dosis *superplasticizer* yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil tersebut adalah nilai rata-rata dari tiga kali pengukuran. Pata tabel menunjukkan bahwa peningkatan dosis *superplasticizer* memberikan dampak peningkatan terhadap *workability*, meskipun pada nilai 0.35% dan 0.55% masih tergolong dalam nilai *slump* dengan *workability* rendah.

Hasil pengujian berat volume beton segar dari uji faktor kepadatan menunjukkan kondisi terjadinya peningkatan *density* beton dengan bertambahnya dosis *superplasticizer* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. *Density* yang semakin rendah seiring dengan nilai

slump yang rendah adalah bukti dari pengaruh *workability* beton yang menurun.

Adapun rancangan untuk pembuatan benda uji dalam pengujian susut dan kekuatan tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rincian jumlah benda uji

No.	Dosis <i>admixture</i>	Jumlah benda uji (hari/buah)			Jumlah (buah)
		7	14	28	
1	0 %	3	3	3	36
2	0.35 %	3	3	3	
3	0.55 %	3	3	3	
4	0.75 %	3	3	3	

2.5. Pengujian Susut Beton

Pengujian susut pada penelitian ini secara sederhana dilakukan dengan mengukur perubahan panjang secara vertikal beton silinder standar (dia.15 cm x tinggi 30 cm) yang diposisikan berdiri vertikal. Pengukuran susut beton di umur muda ini dilaksanakan saat benda uji beton segar masih di dalam cetakan dengan permukaan yang sudah diratakan dengan kaca seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Tahapan pengukuran indikator penurunan permukaan beton dari *dial gauge* dimulai dari 0-15 menit pertama kemudian berlanjut 15 menit berikutnya dan dilanjutkan dengan interval yang lebih lama setelah hasil pengukuran mulai konstan terhadap pembacaan sebelumnya. Pembacaan dial dihentikan setelah beberapa kali pembacaan diperoleh nilai konstan atau tidak ada lagi perubahan regangan. Selama pembacaan dilakukan, benda uji ditempatkan pada ruangan tertentu yang tidak dipengaruhi olrh getaran-getaran kecil dan gangguan lainnya.



Gambar 3. Set up benda uji pada alat

Perhitungan besaran regangan susut vertikal beton dihitung melalui Persamaan 1, dimana ϵ adalah regangan susut (dalam *microstrain*), ΔL adalah perubahan panjang benda uji pada saat waktu (t), dan

L_0 adalah tinggi mula-mula beton segar di dalam silinder standar (mm). Hasil perhitungan nilai *strain* elongasi susut dinyatakan dalam satuan mm/mm atau disebutkan sebagai *microstrain* ($\mu\epsilon$) dengan mengalikan *strain elongation* dengan 10^6 .

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1)$$

Penentuan susut plastis di akhir pembaca terjadi sebelum beton mengeras akibat air permukaan menguap lebih cepat daripada air yang naik ke permukaan (Sayahi et al., 2020). Susut plastis dapat dihitung menggunakan Persamaan 3, dimana A adalah nilai susut ($\mu\epsilon$) dan B adalah koefisien empiris yang masing-masing diperoleh melalui uji metode Regresi *Non-Linear* (*Curve Fitting*) dan t adalah waktu.

$$\epsilon_{pl}(t) = A \times (1 - e^{-Bt}) \quad (2)$$

Susut *autogenous* terjadi karena konsumsi air internal saat hidrasi semen, tanpa penguapan keluar (Lu et al., 2023). Susut *autogenous* dapat dihitung menggunakan menggunakan Persamaan 3, dimana $\epsilon_{au,\infty}$ adalah nilai susut ($\mu\epsilon$), α dan β adalah parameter empiris yang diperoleh seperti pada Persamaan 2, dan t adalah waktu.

$$\epsilon_{au}(t) = \epsilon_{au,\infty} \times (1 - e^{-\alpha\beta t}) \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Susut Beton di Awal Pengikatan

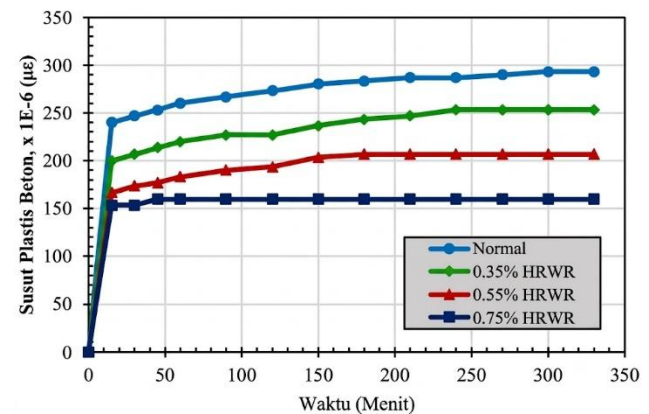
Hasil pengujian susut beton dengan penambahan *superplasticizer* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran susut beton

Waktu (menit)	Penurunan susut			
	Normal ($\mu\epsilon$)	0.35% ($\mu\epsilon$)	0.55% ($\mu\epsilon$)	0.75% ($\mu\epsilon$)
0	0	0	0	0
15	240.00	200.00	166.67	153.33
30	246.67	206.67	173.33	153.33
45	253.33	213.33	176.67	160.00
60	260.00	220.00	183.33	160.00
90	266.67	226.67	190.00	160.00
120	273.33	226.67	193.33	160.00
150	280.00	236.67	203.33	160.00
180	283.33	243.33	206.67	160.00
210	286.67	246.67	206.67	160.00
240	286.67	253.33	206.67	160.00
270	290.00	253.33	206.67	160.00
300	293.33	253.33	206.67	160.00
330	293.33	253.33	206.67	160.00

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 6, secara keseluruhan data menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap susut beton terutama pada fase awal beton (330 menit atau 5.5 jam pertama). Waktu ini merupakan priode kritis bagi proses penyusutan beton. Semakin besar dosis *superplasticizer* yang ditambahkan maka semakin rendah tingkat penyusutan

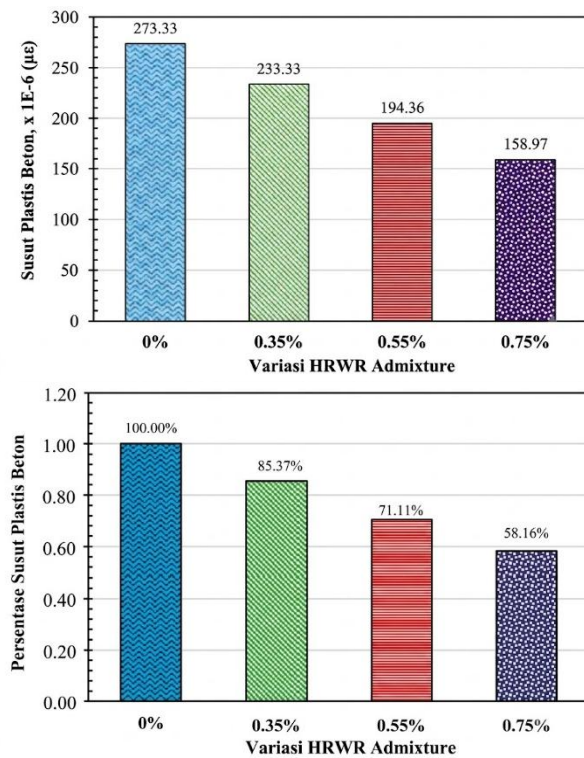
dan semakin cepat beton mencapai kondisi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa bahan campuran berperan efektif dalam mengendalikan deformasi awal beton, sehingga berperan mengurangi risiko retak pada beton.



Gambar 4. Grafik hubungan *early-age shrinkage* dan waktu untuk semua variasi *superplasticizer*

Dari grafik tersebut dapat terlihat jelas bahwa penyusutan beton yang teridentifikasi ini adalah susut plastis yang terjadi di kisaran 60 menit pertama atau di kisaran waktu saat proses setting akhir pasta semen sudah berakhir. Saat setelah melewati 60 menit lanjut dengan terjadinya susut autogenous atau susut kimiawi dari proses hidrasi semen lebih lanjut. Dengan menggunakan dosis *superplasticizer* sebesar 0.75% terlihat tidak lagi terjadi perubahan susut atau susut autogenous terbukti dapat diatasi.

Hasil perhitungan melalui Regresi *Non-Linear* (*Curve Fitting*) dapat diperoleh nilai A dan B maupun nilai α dan β pada masing-masing Persamaan 2 dan Persamaan 3. Berdasarkan hasil *Curve Fitting* yang dihitung pada masing-masing dosis *superplasticizer* dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai susut akhir berdasarkan model regresi tersebut menghasilkan nilai susut plastis dan autogenous tertinggi pada campuran yang tidak menggunakan *superplasticizer* dan semakin mengecil seiring dengan penambahan dosis hingga 0.75%. Susut terbesar mencapai 273.33 $\mu\epsilon$ dalam 330 menit pada campuran tanpa *superplasticizer*. Perbandingan susut pada dosis *superplasticizer* 0.75% hanya di kisaran 58.16% dibanding pada campuran beton yang tanpa *superplasticizer*. Ini menunjukkan bahwa susut pada umur awal akibat penguapan air dari permukaan beton serta berkurangnya air pori karena gaya tarik antar partikel dapat dimitigasi secara optimal pada dosis 0.75% dan sejalan dengan apa yang diungkapkan oleh Yu et al., (2025) mengenai pentingnya dosis *superplasticizer* dalam upaya menghasilkan beton yang lebih stabil dan tahan lama.



Gambar 5. Diagram tingkatan susut beton dan persentase perbandingan terhadap beton tanpa *superplasticizer* dan dengan dosis tertentu pada umur muda

3.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dengan variasi penambahan *superplasticizer* (*HRWR admixtures*) dilakukan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap peningkatan kekuatan beton, yang hasilnya disajikan pada Tabel 7, 8, 9 dan 10. Pada tabel tersebut teridentifikasi berat benda uji silinder standar dalam keadaan lembab dan kekuatan tekan rata-rata yang diwakili oleh masing-masing tiga benda uji di tiap umur pengetesan. Hasil pengetesan pada umur 28 hari dari keempat variasi dosis menunjukkan kekuatan tekan rata-rata yang mendekati sama dengan mutu rencana f_c '30 MPa.

Hasil perhitungan nilai rata-rata yang dituangkan dalam bentuk grafik hubungan umur 7, 14 dan 28 hari dengan kuat tekan beton dari semua variasi dosis *superplasticizer* dapat dilihat pada Gambar 6. Pada grafik menunjukkan bahwa semua simulasi campuran beton mengalami peningkatan yang konsisten seiring bertambahnya umur beton.

Walaupun kekuatan tekan rata-rata beton dengan non-*superplasticizer* mampu mencapai hasil yang sesuai rencana di umur 28 hari, namun tetap memiliki kekuatan tekan yang relatif rendah dibanding tiga jenis beton lainnya yang menggunakan *superplasticizer*. Hasil dari tabel maupun grafik menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kekuatan di semua umur dengan penambahan *superplasticizer*. Bahkan peningkatan kekuatan yang signifikan terjadi di umur

muda sehingga kenaikan kekuatan di umur yang lebih tua cenderung tidak drastis lagi. Hasil ini tergambar pada Tabel 11 dimana terlihat capaian kekuatan tekan 7 dan 14 hari dalam perbandingannya terhadap umur 28 hari semakin meningkat seiring dengan bertambahnya dosis *superplasticizer*. Pada beton dengan 0.75% *superplasticizer* sudah melebihi 85% kekuatan pada umur 7 hari.

Tabel 7. Hasil kuat tekan beton normal

Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Umur (Hari)	Beban Tekan (kN)	Kuat Tekan Langsung (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
12.765	2,408	7	400	22.635	21.13
12.760	2,407	7	390	22.069	
12.763	2,408	7	330	18.674	
12.740	2,403	14	420	23.767	24.14
12.900	2,434	14	450	25.465	
12.820	2,418	14	410	23.201	
12.875	2,429	28	520	29.426	30.18
12.980	2,449	28	530	29.992	
12.928	2,439	28	550	31.124	

Tabel 8. Hasil kuat tekan beton *superplasticizer* 0.35%

Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Umur (Hari)	Beban Tekan (kN)	Kuat Tekan Langsung (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
12.965	2,446	7	430	24.333	23.77
12.915	2,436	7	420	23.767	
12.940	2,441	7	410	23.201	
12.735	2,402	14	520	29.426	27.54
12.540	2,366	14	460	26.031	
12.638	2,384	14	480	27.162	
12.935	2,440	28	560	31.690	31.12
12.930	2,439	28	570	32.255	
12.933	2,440	28	520	29.426	

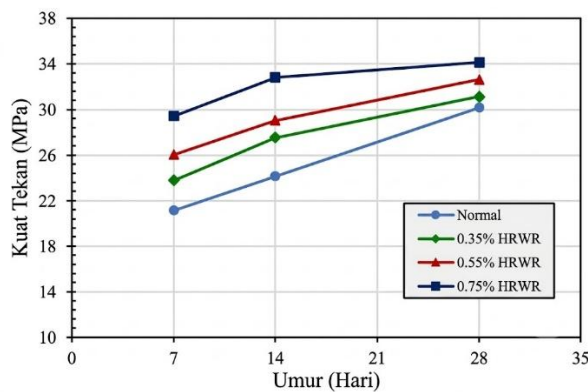
Tabel 9. Hasil kuat tekan beton *superplasticizer* 0.55%

Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Umur (Hari)	Beban Tekan (kN)	Kuat Tekan Langsung (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
12.570	2,371	7	440	24.899	26.03
12.420	2,343	7	460	26.031	
12.495	2,357	7	480	27.162	
12.805	2,416	14	500	28.294	29.05
12.780	2,411	14	550	31.124	
12.793	2,413	14	490	27.728	
12.865	2,427	28	540	30.558	32.63
12.650	2,386	28	600	33.953	
12.758	2,407	28	590	33.387	

Tabel 10. Hasil kuat tekan beton *superplasticizer* variasi 0.75%

Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Umur (Hari)	Beban Tekan (kN)	Kuat Tekan Langsung (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
12.620	2,381	7	550	31.124	29.43
12.170	2,296	7	520	29.426	
12.395	2,338	7	490	27.728	
12.955	2,444	14	630	35.651	32.82
12.930	2,439	14	590	33.387	
12.943	2,442	14	520	29.426	
12.695	2,395	28	620	35.085	34.14
12.865	2,427	28	600	33.953	
12.780	2,411	28	590	33.387	

Pada Tabel 10 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan dosis sebesar 0.75% menghasilkan kuat tekan beton tertinggi pada setiap umur pengujian dibandingkan variasi lainnya. Peningkatan ini terlihat dari nilai kuat tekan rata-rata yang mencapai 29.43 MPa (7 hari), 32.82 MPa (14 hari), dan 34.14 MPa (28 hari), serta didukung oleh peningkatan beban maksimum yang signifikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan *superplasticizer* dalam kadar 0.75% memberikan kontribusi optimal terhadap peningkatan kekuatan beton, meskipun perlu diperhatikan variasi hasil pada umur tertentu yang menunjukkan adanya potensi ketidakhomogenan campuran, jika penggunaan air tidak diatur seoptimal mungkin.



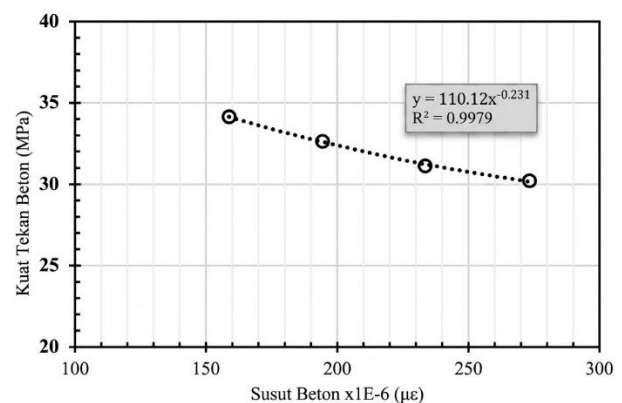
Gambar 6. Hubungan umur dengan kuat tekan

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa bahwa kuat tekan beton meningkat seiring umur, dengan beton yang mengandung *superplasticizer* menunjukkan hasil lebih tinggi dibanding beton normal (Xi et al., 2023). Beton dengan 0.75% *superplasticizer* mencapai kuat tekan tertinggi sekitar 34 MPa pada umur 28 hari, sementara beton normal hanya sekitar 30 MPa. Ini membuktikan bahwa penambahan *superplasticizer*, terutama pada dosis

0.75%, efektif meningkatkan kekuatan beton (Nguyen et al., 2021).

Hasil pengujian sederhana mengenai regangan susut beton di umur muda ini telah memberikan gambaran yang korelatif pada pengaruhnya terhadap kekuatan tekan beton. Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7 adalah hubungan antara nilai susut akhir selama 5.5 jam dengan kekuatan tekan beton. Tingginya kekuatan tekan pada dosis 0.75% *superplasticizer* adalah cerminan dari kondisi campuran yang kompak dan homogen seperti yang ditunjukkan sebelumnya pada Tabel 3 dan Tabel 4. *Density* campuran yang tinggi memberikan mitigasi susut yang baik di umur muda. Semakin rendahnya akumulasi susut plastis dan susut *autogenous* yang bekerja berurutan saat pengikatan beton memberikan pengaruh yang baik terhadap kekuatan tekan beton di umur yang lebih tinggi. Hasil regresi melalui persamaan korelasi berpangkat antara susut beton dan kekuatan tekannya pada umur 28 hari pada Gambar 7 memberikan hubungan yang kuat dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 99.79% sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$f_{ci} = 110.12\varepsilon^{-0.231} \quad (4)$$



Gambar 7. Korelasi susut dengan kuat tekan beton

Tabel 11. Persentase capaian kekuatam tekan di tiap umur beton

Umur	Kuat tekan (MPa) dan persentase capaian (%)							
	Tanpa HRWR		0.35% HRWR		0.55% HRWR		0.75% HRWR	
	K.Tekan	% Capaian	K.Tekan	% Capaian	K.Tekan	% Capaian	K.Tekan	% Capaian
7	21.13	70.0%	23.77	76.4%	26.03	79.8%	26.03	86.2%
14	24.14	80.0%	27.54	88.5%	29.05	89.0%	29.05	96.1%
28	30.18	100.0%	31.12	100.0%	32.63	100.0%	32.63	100.0%

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memberikan beberapa kesimpulan penting terkait penggunaan *admixture* tipe F atau *superplasticizer* sebagai berikut:

1. Pada simulasi campuran dengan komposisi volume air pencampur yang dipertahankan konstan pada penambahan 0.35%, 0.55% dan

0.75% *superplasticizer* menghasilkan performa *workability* dengan nilai *slump* yang meningkat.

2. Semakin rendahnya *density* dan homogenitas campuran beton segar pada kondisi dosis kurang sampai tanpa *superplasticizer* adalah pengaruh ketidak-cukupan air untuk membantu bahan *superplasticizer* dalam mendispersi agregat di dalam beton segar.

3. Pengukuran susut secara vertikal pada silinder beton yang masih di dalam cetakan dengan peralatan sederhana *dial-gauge* cukup memberikan gambaran mengenai terjadinya penyusutan beton di umur muda dengan mengakomodir potensi *bridging* agregat kasar yang mampu memblokir regangan-regangan internal di dalam beton.
4. Pengaruh agregat kasar cukup signifikan dalam mereduksi susut pada beton di umur muda dimana terlihat dari hasil pengukuran susut plastis dan susut autogenous yang terjadi pada beton di umur muda termasuk dalam kategori rendah dalam kurun waktu hanya 330 menit yaitu 273.33 $\mu\epsilon$ untuk 233.33 $\mu\epsilon$, 194.36 $\mu\epsilon$ dan 158.97 $\mu\epsilon$ dari campuran masing-masing 0%, 0.35%, 0.55% dan 0.75%.
5. Penggunaan dosis *admixture superplasticizer* yang semakin meningkat dalam batas-batas dosis yang diisyaratkan oleh produk yang berbahan dasar *polycarboxylic ether* (PCE) dapat menurunkan potensi susut plastis dan susut autogenous beton di umur muda.
6. Penggunaan *admixture superplasticizer* pada dosis 0.75% memberikan performa susut yang rendah dan kekuatan tekan yang tinggi lebih besar 13% dari mutu rencana dan kekuatan tekan beton pada umur 7 hari sudah mencapai di atas 85% berangsur-angsur meningkat sampai di umur 28 hari.
7. Hasil regresi dengan pendekatan persamaan berpangkat (*power-law*) telah memberikan korelasi yang kuat hubungan antara susut beton di umur muda dengan kekuatan tekan beton rata-rata di umur 28 hari, dimana semakin tinggi susut beton di umur muda akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tekan beton di umur 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91), 1 (2002). https://kashanu.ac.ir/Files/aci_211_1_91.pdf
- Amir, A. A., Parung, H., & Djamaluddin, R. (2023). Pengaruh Karakteristik Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 11(1), 22–29.
- ASTM 157. (2009). *ASTM Internasional, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and*. i, 1–7. file:///C:/Users/MSI/Modern/Downloads/C157.pdf
- ASTM C494/C494M. (2020). *ASTM International, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete 1* (pp. 1–15). ASTM Internasional. <https://doi.org/10.1520/C0494>
- Burhan, L., Ghafor, K., & Mohammed, A. (2020). Testing and evaluation of flowability, viscosity and long-term compressive strength of cement modified with polymeric admixture WR superplasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 12066.
- Consol Indonesia. (2025). *Admixture.pdf* (p. 12). Consol Indonesia. <https://consolindonesia.com/wp-content/uploads/2025/03/Admixture.pdf>
- Dodson, V. H. (2013). *Concrete admixtures*. Springer Science & Business Media.
- Faqihuddin, A., Hermansyah, H., & Kurniati, E. (2021). Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan Superplasticizer Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0, 3%; 0, 5% Dan 0, 7% Berdasarkan Berat Semen. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 2(1), 34–45.
- Gandage, A. (2018). *Admixtures in Concrete—A Review. Nternational Conference on Construction Real Estate Infrastructure and Projects, Pune*.
- Hamdi, F., Lapien, F. E. P., Tumpu, M., Mabui, D. S. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., & Rangan, P. R. (2022). *Teknologi beton*. Tohar Media.
- He, Z., Hu, H., Casanova, I., Liang, C., & Du, S. (2020). Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 254, 119312.
- Kheir, J., Klausen, A., Hammer, T. A., De Meyst, L., Hilloulin, B., Van Tittelboom, K., Loukili, A., & De Belie, N. (2021). Early age autogenous shrinkage cracking risk of an ultra-high performance concrete (UHPC) wall: Modelling and experimental results. *Engineering Fracture Mechanics*, 257, 108024.
- Klausen, A. E., & Kanstad, T. (2021). The effect of shrinkage reducing admixtures on drying shrinkage, autogenous deformation, and early age stress development of concrete. *Structural Concrete*, 22, E596–E606.
- Li, Z., Zhou, X., Ma, H., & Hou, D. (2022). *Advanced concrete technology*. John Wiley & Sons.
- Liu, Y., Li, H., Wang, K., Wu, H., & Cui, B. (2020). Effects of accelerator–water reducer admixture on performance of cemented paste backfill. *Construction and Building Materials*, 242, 118187.
- Lu, T., Li, Z., & Huang, H. (2020). Effect of supplementary materials on the autogenous shrinkage of cement paste. *Materials*, 13(15), 3367.
- Ma, Z., Li, Y., Cao, Z., Zhang, S., Hou, S., Liu, J., & Ruan, X. (2022). Early Age Shrinkage and Mechanical Effect of Ultra-High-Performance Concrete Composite Deck: A Case Study with In Situ Test and Numerical Simulation. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ma15103628>
- Murdock, L. J., & Brook, K. M. (1979). *Concrete materials and practice*.
- Nguyen, H., Vu, T., Vo, T. P., & Thai, H.-T. (2021). Efficient machine learning models for prediction of concrete strengths. *Construction and Building Materials*, 266, 120950.
- Özen, S., Altun, M. G., & Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Effect of the polycarboxylate based water reducing admixture structure on self-compacting concrete properties: Main chain length. *Construction and Building Materials*, 255, 119360.
- Rangan, I. P. R. (2025). *Teknologi Beton Memadat Sendiri Mutu Tinggi*. Arsy Media.
- Revilla-Cuesta, V., Evangelista, L., de Brito, J., Ortega-Lopez, V., & Manso, J. M. (2021). Effect of the maturity of recycled aggregates on the mechanical properties and autogenous and drying shrinkage of high-performance

- concrete. *Construction and Building Materials*, 299, 124001.
- Rishi, A., & Romero, P. (2019). *ASTM C-157 Standard Audit for Third-Party Shrinkage Testing Laboratories to Improve the Reliability of Results for Concrete Mixes*.
- Safiuddin, M., Kaish, A. B. M. A., Woon, C.-O., & Raman, S. N. (2018). Early-age cracking in concrete: Causes, consequences, remedial measures, and recommendations. *Applied Sciences*, 8(10), 1730.
- Sayahi, F., Emborg, M., Hedlund, H., & Cwirzen, A. (2020). Effect of admixtures on mechanism of plastic shrinkage cracking in self-consolidating concrete. *ACI Materials Journal*, 117(5), 51–59.
- Statkauskas, M., Grinys, A., & Vaičiukynienė, D. (2022). Investigation of concrete shrinkage reducing additives. *Materials*, 15(9), 3407.
- Szlachetka, O., Witkowska-Dobrev, J., Dohojda, M., & Cała, A. (2021). Influence of compressive strength and maturity conditions on shrinkage of ordinary concrete. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(6), 16878140211024434.
- Tang, C., Dong, R., Tang, Z., Long, G., Zeng, X., Xie, Y., Xie, Y., Cheng, G., Ma, G., & Wang, H. (2023). Effects of shrinkage reducing admixture and internal curing agent on shrinkage and creep of high performance concrete. *Journal of Building Engineering*, 71, 106446.
- Tang, S., Huang, D., & He, Z. (2021). A review of autogenous shrinkage models of concrete. *Journal of Building Engineering*, 44, 103412.
- Wang, C., Chen, Y., Zhou, M., & Chen, F. (2022). Control of Early-Age Cracking in Super-Long Mass Concrete Structures. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 7, p. 3809). <https://doi.org/10.3390/su14073809>
- Wang, C., Qiu, Q., Wang, X., Zhang, S., Wang, G., & Wei, P. (2024). Concrete Aggregate-Gradation Effect and Strength-Criterion Modification for Fully Graded Hydraulic Concrete. *Materials*, 17(15), 3816.
- Wang, P., Xie, M., & Liu, L. (2022). Study on Early Shrinkage and Mechanical Properties of Concrete with Various Cementitious Materials. *Buildings*, 12(10), 1543.
- Xi, Y.-F., Lee, J., Chen, B.-L., Yang, B., Yu, M.-Z., Yan, X.-Z., & Zhu, L. (2023). Impact of high-performance expansion and shrinkage-reducing agents on the mechanical properties and shrinkage compensation of high-strength concrete. *Buildings*, 13(3), 717.
- Yu, P., Li, S., Zhang, C., Zheng, X., Wang, T., Liu, X., & Pan, Y. (2025). Improvement in Early-Age Strength and Durability of Precast Concrete by Shrinkage-Reducing CSH. *Buildings*, 15(9), 1576.
- Zhan, P., & He, Z. (2019). Application of shrinkage reducing admixture in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 201, 676–690.
- Zhang, W., Lin, H., Xue, M., Wang, S., Ran, J., Su, F., & Zhu, J. (2022). Influence of shrinkage reducing admixtures on the performance of cementitious composites: A review. *Construction and Building Materials*, 325, 126579. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126579>