



Evaluasi Eksperimental Performa Beton Normal dengan Penambahan Retarder dan *High-Range Water Reducer* pada Kondisi Penundaan Pematatan

Indriyani Puluhulawa^{1*}, Ananda Nitania¹, Alamsyah²

¹Prodi DIII Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, Indonesia.

²Prodi DIV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, Indonesia.

^{*}Email corresponding author indriyani_p@polbeng.ac.id

Received: 13 Juni 2025 Revised: 2 Agustus 2026 Accepted: 5 Agustus 2026

Abstract

Delays in concrete compaction frequently occur in construction due to transportation, equipment, or site constraints, potentially reducing concrete performance. This study evaluates the effect of a retarder (Sika Plastocrete RT6 Plus) and a high-range water-reducing admixture (HRWR, Grolen HP-19R) on the workability, setting time, and compressive strength of normal concrete subjected to compaction delays of up to 120 min. Four concrete mixtures were investigated: control concrete, concrete with 0.3% retarder, concrete with 0.4% HRWR, and concrete containing a combination of both admixtures. The combined admixture significantly prolonged the initial and final setting times while maintaining workability during delayed compaction. The mixture containing 0.3% retarder and 0.4% HRWR retained a slump above 285 mm and achieved a compressive strength of approximately 32 MPa after 60 min of delay. Although slump remained relatively high after longer delays, compressive strength gradually decreased, indicating that prolonged delay adversely affected hydration efficiency. These findings demonstrate that the optimized combination of retarder and HRWR improves concrete performance under delayed compaction and provides practical guidance for concrete mix design in construction projects requiring extended workability.

Keywords: Normal concrete, delayed compaction, retarder, high-range water-reducing admixture, compressive strength

Abstrak

Penundaan pematatan beton sering terjadi dalam praktik konstruksi akibat kendala transportasi, keterbatasan peralatan, maupun kondisi lapangan, yang berpotensi menurunkan performa beton. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penggunaan retarder Sika Plastocrete RT6 Plus dan high-range water-reducing admixture (HRWR) Grolen HP-19R terhadap nilai slump, waktu ikat, dan kuat tekan beton normal pada kondisi penundaan pematatan hingga 120 menit. Pengujian dilakukan pada empat variasi campuran, yaitu beton normal, beton dengan retarder 0,3%, beton dengan HRWR 0,4%, dan beton dengan kombinasi kedua bahan tambah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi retarder dan HRWR secara signifikan memperpanjang waktu ikat awal dan akhir serta mampu mempertahankan kelecakan beton selama penundaan pematatan. Campuran dengan 0,3% retarder dan 0,4% HRWR mempertahankan nilai slump di atas 285 mm dan kuat tekan sekitar 32 MPa setelah penundaan 60 menit. Meskipun nilai slump masih relatif tinggi pada penundaan yang lebih lama, kuat tekan mengalami penurunan secara bertahap, yang mengindikasikan berkurangnya efektivitas proses hidrasi. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi retarder dan HRWR yang optimum dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap penundaan pematatan serta memberikan acuan dalam perancangan campuran beton untuk kondisi konstruksi yang memerlukan waktu kerja lebih panjang.

Kata kunci: Beton normal, penundaan pematatan, retarder, high-range water reducer, kuat tekan

Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, durabilitas yang baik, kemudahan dalam pembentukan, serta efisiensi biaya. Material ini diaplikasikan secara luas pada berbagai jenis infrastruktur, seperti gedung, jembatan, jalan raya, dan bangunan industri. Keberhasilan aplikasi beton tidak hanya ditentukan oleh sifat mekaniknya setelah mengeras, tetapi juga oleh karakteristik beton segar selama proses pengecoran. Dua parameter yang menentukan adalah kelecakan (*workability*) dan waktu pengikatan (*setting time*), karena keduanya memengaruhi proses penempatan, pemadatan, dan penyelesaian permukaan beton.

Pada kondisi lapangan, seperti pengecoran volume besar, temperatur lingkungan yang tinggi, maupun keterlambatan transportasi beton, penurunan kelecakan dan percepatan proses hidrasi dapat mengurangi waktu kerja beton sehingga berpotensi menurunkan kualitas struktur apabila tidak dikendalikan dengan baik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penggunaan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) telah menjadi salah satu pendekatan utama dalam teknologi beton modern.

Diantara berbagai jenis admixture, retarder dan *high-range water-reducing admixture* (HRWR) merupakan dua bahan tambah yang paling banyak digunakan karena memiliki fungsi yang saling melengkapi. Retarder, seperti sika plastocrete RT6 Plus (SP), bekerja dengan memperlambat reaksi hidrasi semen sehingga memperpanjang waktu ikat awal dan akhir serta memberikan waktu kerja yang lebih panjang. Sebaliknya, HRWR, seperti Grolen HP-19R (GR), meningkatkan kelecakan beton melalui pengurangan kebutuhan air pencampur tanpa menurunkan mutu beton, sehingga memungkinkan diperolehnya rasio air-semen yang lebih rendah dan kuat tekan yang lebih tinggi.

Meskipun demikian, penggunaan kedua *admixture* secara bersamaan dapat menghasilkan interaksi yang kompleks terhadap perilaku hidrasi semen sehingga memerlukan pengendalian dosis yang tepat. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa HRWR berbasis polycarboxylate ether meningkatkan dispersi partikel semen melalui mekanisme gaya tolak elektrostatis dan *steric hindrance*, sehingga meningkatkan *workability* tanpa menambah kadar air. Di sisi lain, retarder juga memperpanjang waktu kerja beton dengan mengendalikan kinetika hidrasi semen, sehingga efektivitas kombinasi kedua bahan tambah sangat bergantung pada dosis dan kompatibilitasnya

dengan sistem semen yang digunakan (Islam *et al.*, 2026; Wang *et al.*, 2024).

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa pengendalian kelecakan dan waktu pengikatan merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas beton selama proses pengecoran, khususnya ketika terjadi keterlambatan pemadatan. Ahmed & Afify, (2021) Elrazek & Shafy Gamal, (2020) serta Jiale, (2021) melaporkan bahwa penggunaan admixture mampu mempertahankan *workability* beton dalam kondisi pelaksanaan tertentu, meskipun efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh jenis bahan tambah, dosis, serta kondisi lingkungan. Lokesh *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa penggunaan HRWR berbasis naphthalene sulfonate mampu meningkatkan nilai slump melalui pengurangan kadar air hingga 25–40% serta meningkatkan kuat tekan beton akibat penurunan rasio air-semen.

Dari sisi mekanisme hidrasi, Von Daake & Stephan, (2017) menjelaskan bahwa waktu penambahan retarder memengaruhi adsorpsi molekul aktif pada permukaan semen sehingga memperpanjang waktu pengikatan. Costa *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa efektivitas retarder dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi bahan aktif sehingga perilaku beton menjadi semakin kompleks pada kondisi lapangan bersuhu tinggi. Hasil tersebut diperkuat oleh Islam *et al.*, (2026) yang menunjukkan penggunaan HRWR pada dosis optimum tidak hanya meningkatkan *workability*, tetapi juga memperbaiki distribusi partikel semen sehingga menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi.

Penelitian mengenai penggunaan kombinasi retarder dan HRWR telah mulai berkembang. Puluhulawa & Idham, (2025) melaporkan bahwa kombinasi SP dan GR mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kuat tekan beton ketika pemadatan ditunda hingga 90 menit. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi kedua admixture berpotensi meningkatkan toleransi beton terhadap keterlambatan pemadatan tanpa menurunkan performa mekanik. Wibowo *et al.*, (2023) menemukan bahwa peningkatan dosis retarder memperlambat waktu pengikatan, meskipun efektivitasnya belum memenuhi persyaratan ASTM C494. Sasongko & Iqbal, (2017) melaporkan peningkatan kuat tekan melalui penggunaan admixture tipe D dan fly ash, tetapi penelitian tersebut tidak mengevaluasi perubahan waktu ikat maupun pengaruh penundaan pemadatan terhadap sifat beton. Selain itu, Bolhari *et al.*, (2024) dan Ouattara *et al.*, (2018) menegaskan bahwa efektivitas admixture dipengaruhi oleh dosis, kompatibilitas dengan semen, dan interaksi antar bahan tambah. Temuan tersebut diperkuat oleh Duan *et al.*, (2026), yang menunjukkan bahwa

penggunaan retarder yang tidak optimum dapat memperlambat perkembangan kekuatan awal akibat penurunan laju hidrasi meskipun mampu memperpanjang waktu kerja material berbasis semen.

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan teknologi beton, masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dikaji lebih lanjut. Sebagian besar penelitian mengevaluasi retarder atau HRWR secara terpisah, sedangkan penelitian mengenai kombinasi kedua admixture pada beton normal masih relatif terbatas. Penelitian terdahulu juga umumnya berfokus pada satu parameter performa, seperti slump, waktu ikat, atau kuat tekan, tanpa menganalisis hubungan di antara ketiga parameter tersebut. Kajian mengenai perilaku beton normal yang mengalami penundaan pemadatan hingga 120 menit dengan kombinasi retarder dan HRWR komersial masih sangat terbatas sehingga belum tersedia rekomendasi teknis mengenai dosis optimum maupun batas waktu pemadatan yang aman untuk mempertahankan kualitas beton selama pelaksanaan konstruksi. Selain itu, penelitian yang mengaitkan perubahan nilai slump, waktu pengikatan, dan kuat tekan secara simultan sebagai respons terhadap penundaan pemadatan masih sangat terbatas.

Berdasarkan *research gap* tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan eksperimental yang mengintegrasikan penggunaan retarder Sika Plastocrete RT6 Plus dan HRWR Grolen HP-19R pada beton normal dengan empat kondisi penundaan pemadatan, yaitu 0, 60, 90, dan 120 menit. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini tidak hanya mengevaluasi pengaruh kedua *Admixture* terhadap retensi kelecakan, waktu pengikatan, dan kuat tekan secara individual, tetapi juga menganalisis hubungan antarp parameter tersebut untuk memperoleh kombinasi dosis dan rentang waktu pemadatan yang mampu mempertahankan performa beton secara optimal. Pendekatan integratif ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang lebih komprehensif dalam perancangan campuran beton untuk kondisi pelaksanaan konstruksi yang memerlukan waktu kerja lebih panjang.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi retarder dan HRWR terhadap retensi kelecakan, waktu pengikatan, dan kuat tekan beton normal pada berbagai kondisi penundaan pemadatan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai kombinasi admixture dan batas waktu pemadatan yang masih mampu mempertahankan kualitas beton segar maupun

beton yang telah mengeras, sehingga dapat mendukung pengembangan desain campuran beton yang lebih adaptif terhadap kondisi konstruksi di lapangan.

Metode Penelitian

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan meliputi semen Portland tipe I (OPC), pasir alami lokal sebagai agregat halus, dan kerikil hasil pemecahan dengan ukuran maksimum 20 mm sebagai agregat kasar. Bahan tambah kimia yang digunakan terdiri dari: (1) Retarder: Sika Plastocret e RT6 Plus, yaitu bahan tambahan komersial yang berfungsi mengontrol waktu pengikatan beton dan (2) *High-Range Water-Reducing Admixture* (HRWR): Grolen HP-19R, yaitu *superplasticizer* yang diklasifikasikan sebagai Tipe F berdasarkan standar ASTM C494.

Penentuan dosis bahan tambah

Untuk memperoleh kombinasi bahan tambah yang optimum, penelitian dilaksanakan dalam dua tahap. Tahap pertama merupakan pengujian pendahuluan yang bertujuan menentukan dosis optimum retarder Sika Plastocrete RT6 Plus (SP). Variasi dosis retarder yang digunakan adalah 0,2%; 0,3%; 0,4%; 0,5%; dan 0,6% terhadap berat semen. Setiap variasi diuji menggunakan metode tahanan penetrasi sesuai dengan SNI 03-6827-2002 untuk menentukan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dosis retarder sebesar 0,3% dipilih sebagai dosis optimum karena memberikan keseimbangan yang terbaik antara perpanjangan waktu ikat dan kemudahan pengerjaan beton. Selanjutnya, dosis HRWR Grolen HP-19R (GR) sebesar 0,4% terhadap berat semen ditetapkan berdasarkan rekomendasi pabrikan dan Puluhulawa & Idham, (2025) sehingga digunakan sebagai dosis tetap pada seluruh pengujian utama.

Prosedur pengujian

Rangkaian pengujian dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis uji utama untuk mengevaluasi perilaku beton dalam skenario penundaan pemadatan. Waktu ikat awal dan akhir ditentukan menggunakan metode tahanan penetrasi sesuai dengan SNI 03-6827-2002. Kelecakan beton dievaluasi melalui uji *slump* berdasarkan SNI 9024-2021, yang dilakukan pada interval penundaan waktu 0, 60, 90, dan 120 menit guna mensimulasikan kondisi lapangan yang melebihi batas waktu standar. Berdasarkan SNI 03-2495-1991, batas maksimum penundaan pemadatan beton dalam kondisi normal adalah 60 menit. Oleh

karena itu, pengujian pada interval di atas 60 menit dilakukan untuk menilai potensi degradasi performa akibat penundaan yang berkepanjangan. Kuat tekan beton diukur pada umur 28 hari menggunakan standar ASTM C39/C39M, dengan tiga silinder beton diuji untuk setiap variasi campuran guna memperoleh nilai rata-rata kuat tekan sebagai representasi performa mekanik beton terhadap pengaruh kombinasi *Admixture* dan penundaan pemadatan.

Analisis data

Hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi bahan tambah terhadap waktu ikat awal dan akhir, serta untuk mengamati pengaruh penundaan pemadatan terhadap perkembangan kuat tekan beton. Perhatian khusus diberikan untuk mengidentifikasi batas waktu penundaan optimal yang masih memungkinkan proses pemadatan dilakukan tanpa menurunkan kecacakan maupun performa mekanik beton secara signifikan. Semua data eksperimen diolah menggunakan statistik deskriptif, dan disajikan dalam bentuk grafik perbandingan guna menampilkan tren serta perbedaan antar variasi campuran dan interval waktu pemadatan.

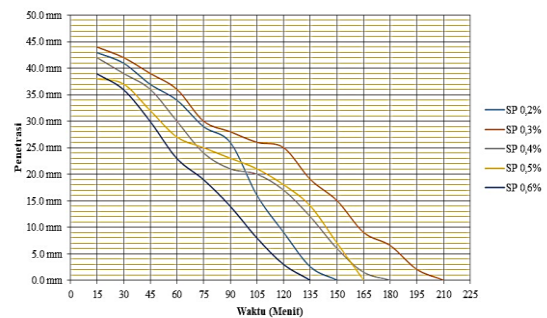
Hasil dan Pembahasan

Penentuan dosis optimum retarder

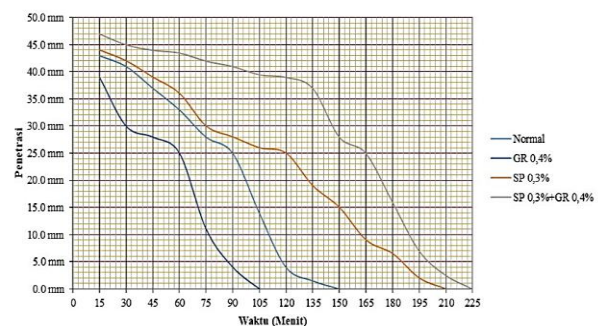
Pengujian pendahuluan dilakukan untuk menentukan dosis optimum retarder Sika Plastocrete RT6 Plus (SP) yang akan digunakan pada pengujian utama. Penentuan dosis dilakukan melalui pengujian waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen menggunakan metode tahanan penetrasi sesuai SNI 03-6827-2002 dengan variasi dosis SP sebesar 0,2%; 0,3%; 0,4%; 0,5%; dan 0,6% terhadap berat semen. Hasil pengujian waktu ikat awal dan waktu ikat akhir masing-masing ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara waktu dan nilai penetrasi pada berbagai dosis Sika Plastocrete RT6 Plus (SP). Berdasarkan SNI 03-6827-2002, waktu ikat awal ditentukan pada saat nilai penetrasi mencapai 25 mm, sedangkan waktu ikat akhir ditetapkan ketika penetrasi mencapai 0 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dosis SP 0,3% menghasilkan waktu ikat awal sekitar 120 menit dan waktu ikat akhir sekitar 210 menit, lebih lama dibandingkan variasi dosis lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan retarder mampu memperlambat laju hidrasi awal semen sehingga memperpanjang waktu kerja campuran beton. Mekanisme tersebut terjadi melalui adsorpsi senyawa aktif retarder pada permukaan partikel

semen, terutama fase C_3S , yang menghambat pembentukan produk hidrasi pada tahap awal (Costa *et al.*, 2023; von Daake & Stephan, 2017).



Gambar 1. Grafik setting time semen dan sika plastocrete



Gambar 2. Grafik setting time aditif yang optimal

Menariknya, peningkatan dosis retarder menjadi 0,4–0,6% tidak menghasilkan penambahan waktu ikat yang lebih panjang, bahkan cenderung mempercepat tercapainya waktu ikat dibandingkan dosis 0,3%. Fenomena ini mengindikasikan bahwa efektivitas retarder tidak selalu meningkat secara linier terhadap penambahan dosis, tetapi dipengaruhi oleh kompatibilitas antara jenis semen, komposisi kimia retarder, serta kondisi campuran beton (Bolhari *et al.*, 2024; Ouattara *et al.*, 2018). Berdasarkan hasil tersebut, dosis 0,3% dipilih sebagai dosis optimum karena memberikan keseimbangan terbaik antara perpanjangan waktu kerja beton dan waktu pengerasan yang masih sesuai untuk kebutuhan pelaksanaan konstruksi.

Perilaku waktu pengikatan beton dengan campuran retarder dan HRWR.

Setelah diperoleh dosis optimum retarder sebesar 0,3% pada pengujian pendahuluan, pengujian utama dilakukan menggunakan empat variasi campuran, yaitu beton normal (BN), beton dengan GR 0,4%, beton dengan SP 0,3%, dan beton dengan kombinasi SP 0,3% + GR 0,4%. Hasil pengujian waktu ikat disajikan pada Gambar 2 dan dirangkum pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, beton normal memiliki waktu ikat awal selama 90 menit dan waktu ikat akhir 150 menit. Penambahan GR 0,4% mempercepat proses pengikatan dengan waktu ikat awal menjadi 60 menit dan waktu ikat akhir 105 menit. Sebaliknya, penggunaan SP 0,3% memperpanjang waktu ikat awal menjadi 120 menit dan waktu ikat akhir menjadi 210 menit.

Tabel 1. Hasil pengujian waktu ikat

Sampel	Waktu ikat	
	awal	akhir
Beton normal	90	150
GR 0,4%	60	105
SP 0,3%	120	210
SP 0,3% + GR 0,4%	165	225

Kombinasi SP 0,3% + GR 0,4% menghasilkan waktu ikat paling panjang, yaitu 165 menit untuk waktu ikat awal dan 225 menit untuk waktu ikat akhir. Pola tersebut menunjukkan bahwa retarder memberikan pengaruh dominan terhadap proses pengikatan beton, sedangkan HRWR cenderung mempercepat proses hidrasi awal ketika digunakan secara tunggal. Hasil ini sejalan dengan Wang *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa penggunaan super retarder secara signifikan memperpanjang waktu ikat dan mempertahankan *workability* tanpa mengubah jenis produk hidrasi semen, melainkan hanya memperlambat laju pembentukannya. Oleh karena itu, peningkatan waktu kerja beton menunjukkan bahwa retardasi berlangsung secara efektif tanpa mengganggu mekanisme hidrasi secara fundamental.

Percepatan waktu ikat pada campuran GR 0,4% menunjukkan bahwa penggunaan HRWR tidak selalu menyebabkan keterlambatan pengikatan. Dispersi partikel semen yang lebih baik akibat kerja HRWR meningkatkan luas permukaan partikel yang bereaksi dengan air sehingga proses hidrasi awal berlangsung lebih cepat, meskipun kebutuhan air pencampur berkurang. Fenomena ini dilaporkan juga oleh Lokesh *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa HRWR berbasis naphthalene sulfonate mampu meningkatkan kelecakan dan mempercepat perkembangan awal produk hidrasi melalui penyebaran partikel semen yang lebih merata.

Sebaliknya, penggunaan SP 0,3% secara signifikan memperpanjang waktu ikat awal sebesar 30 menit dan waktu ikat akhir sebesar 60 menit dibandingkan beton normal. Perpanjangan waktu ikat tersebut menunjukkan bahwa retarder bekerja secara efektif dalam memperlambat reaksi hidrasi semen sehingga memberikan waktu kerja beton yang lebih panjang. Mekanisme tersebut terjadi karena molekul aktif retarder teradsorpsi pada permukaan

partikel semen, terutama fase C_3S , sehingga menghambat pembentukan produk hidrasi awal seperti calcium silicate hydrate ($C-S-H$) dan ettringite. Akibatnya, laju hidrasi menurun dan proses pengikatan berlangsung lebih lambat. Hasil ini juga sejalan dengan Ahmed & Afify, (2021) yang melaporkan bahwa penggunaan retarder mampu memperpanjang waktu ikat secara signifikan tanpa menurunkan kekuatan akhir beton.

Kombinasi dari SP 0,3% + GR 0,4% menghasilkan waktu ikat paling panjang, yaitu 165 menit untuk waktu ikat awal dan 225 menit untuk waktu ikat akhir. Dibandingkan beton normal, kombinasi tersebut memperpanjang waktu ikat awal dan waktu ikat akhir masing-masing sebesar 75 menit. Hasil ini menunjukkan adanya efek sinergis antara retarder dan HRWR, di mana kemampuan retarder dalam memperlambat hidrasi lebih dominan dibandingkan dengan efek dispersi semen yang dihasilkan oleh HRWR. Dengan demikian, penggunaan kedua bahan tambah secara bersamaan mampu memperpanjang waktu kerja beton tanpa menghilangkan manfaat peningkatan kelecakan yang diberikan oleh HRWR.

Temuan tersebut konsisten dengan penelitian Puluhulawa dan Idham (2025) yang melaporkan bahwa kombinasi Sika Plastocrete RT6 Plus dan Grolen HP-19R mampu mempertahankan performa beton pada kondisi penundaan pemadatan serta menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton tanpa kombinasi *Admixture*. Hasil penelitian ini memperkuat hasil tersebut dengan menunjukkan bahwa peningkatan toleransi terhadap penundaan pemadatan diawali oleh perpanjangan waktu ikat yang dihasilkan melalui kombinasi kedua bahan tambah. Dengan kata lain, kombinasi retarder dan HRWR tidak hanya memengaruhi sifat beton segar, tetapi juga memberikan kondisi yang lebih menguntungkan bagi proses pemadatan pada waktu pengecoran yang lebih panjang.

Secara teoritis, hasil penelitian ini juga didukung Jiale (2021) yang menjelaskan bahwa peningkatan dosis retarder memperlambat kinetika hidrasi fase C_3S dan C_3A , sehingga pembentukan produk hidrasi berlangsung lebih lambat tetapi tetap stabil. Namun demikian, penggunaan retarder dengan dosis yang terlalu tinggi atau waktu pengikatan yang terlalu panjang berpotensi menyebabkan over-retardation, yaitu kondisi ketika proses hidrasi tertunda secara berlebihan sehingga perkembangan kekuatan awal menjadi lambat (Jumah & Meshari, 2023). Meskipun kombinasi SP 0,3% + GR 0,4% dapat menghasilkan waktu ikat paling panjang, nilai tersebut masih berada pada rentang yang dapat diterima untuk aplikasi beton yang memerlukan

waktu kerja lebih lama, seperti pengecoran volume besar atau lokasi dengan waktu transportasi yang panjang.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan SP 0,3% efektif memperpanjang waktu pengikatan beton, sedangkan kombinasi SP 0,3% + GR 0,4% memberikan waktu kerja paling panjang melalui efek sinergis kedua bahan tambah. Karakteristik ini menjadi dasar bagi pengujian selanjutnya mengenai retensi kelecakan dan perkembangan kuat tekan pada berbagai kondisi penundaan pematatan, sehingga hubungan antara waktu pengikatan, nilai *slump*, dan kuat tekan dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

Interpretasi mekanisme penundaan waktu ikat

Perpanjangan waktu ikat terutama disebabkan oleh perlambatan hidrasi senyawa *trikalsium silikat* (C_3S) yang dipicu oleh senyawa berbasis kalsium lignosulfonat dalam SP. Bahan tambah ini bekerja dengan cara teradsorpsi pada permukaan partikel semen, membentuk lapisan penghalang yang memperlambat difusi ion dan menunda proses hidrasi pada tahap awal. Mekanisme ini sejalan dengan hasil penelitian (Orumu & Nelson, 2018) yang menunjukkan bahwa penambahan molasses sebagai retarder alami menghasilkan efek serupa melalui pembentukan lapisan organik pada permukaan partikel semen yang menghambat pelepasan ion kalsium, sehingga memperlambat reaksi hidrasi C_3S dan memperpanjang waktu ikat beton. Temuan ini didukung oleh studi (Lee *et al.*, 2020) yang menunjukkan bahwa pada campuran semen Portland dan CSA + retarder, waktu setting awal/final diperpanjang secara signifikan dan kuat tekan awal lebih lambat berkembang bila dibandingkan dengan kontrol, terutama dalam kondisi pendinginan rendah.

Penambahan HRWR dapat berperan dalam mendispersikan partikel semen melalui mekanisme tolak-menolak elektrostatis, sehingga meningkatkan kelecakan beton. Namun, secara tidak langsung, kondisi ini juga berkontribusi terhadap keterlambatan waktu ikat apabila digunakan bersamaan dengan retarder. Kombinasi aksi dari kedua *admixture* ini tidak hanya memperpanjang waktu kerja beton, tetapi juga memodifikasi perkembangan struktur mikro internal selama fase awal ikatan beton. Temuan ini sejalan dengan laporan (Anon *et al.*, 2020) yang menunjukkan bahwa SP dapat menunda waktu ikat lebih dari 50% pada kondisi iklim tropis. Selain itu, (Bolhari *et al.*, 2024) juga mengungkapkan bahwa bahan tambah kimia yang mengandung lignosulfonat atau fosfat dapat secara signifikan memperlambat waktu ikat ketika dikombinasikan dengan *superplasticizer*.

Secara praktis, perpanjangan waktu ikat memberikan keuntungan seperti memperpanjang durasi transportasi beton segar, memberikan fleksibilitas dalam pengecoran bertahap, serta mengurangi risiko *cold joint* pada pengecoran massal. Namun demikian, penundaan yang terlalu lama (dalam penelitian ini melebihi 225 menit) dapat menyebabkan peningkatan *bleeding*, *segregasi*, serta keterlambatan proses *finishing*. Jika proses curing tidak dilakukan secara optimal, risiko retak permukaan juga meningkat. Dengan demikian, batas waktu ideal untuk penempatan dan pematatan beton dalam kondisi ini berada pada rentang hingga 285 menit, setelah itu campuran mulai menunjukkan gejala ketidakstabilan, terutama apabila suhu lingkungan melebihi 30°C atau terjadi peningkatan penguapan akibat angin.

Penelitian Wibowo *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa penggunaan 0,3–0,5% retarder berbentuk serbuk (retardex) tidak memenuhi persyaratan ASTM C494 terkait waktu ikat, sedangkan Sika RT6 Plus terbukti mampu melebihi ambang batas minimum waktu tunda yang dipersyaratkan. Penelitian oleh Puluhulawa & Idham, (2025) yang menggunakan kombinasi Sika + Grolen pada beton mutu tinggi juga menunjukkan keterlambatan waktu ikat yang dapat diterima hingga penundaan pematatan selama 90 menit. Namun, studi ini fokus pada beton normal, dan menunjukkan bahwa meskipun dengan target kekuatan yang sedang, kombinasi tersebut tetap efektif dalam mengendalikan waktu ikat dan menjaga stabilitas campuran.

Kelecakan beton berdasarkan uji *slump*

Hasil pengujian nilai *slump* pada berbagai variasi penundaan waktu pematatan dapat dilihat pada Tabel 2. Beton normal memiliki nilai *slump* awal sebesar 75 mm, namun mengalami penurunan drastis menjadi 10 mm pada menit ke-60, dan selanjutnya tidak dapat diukur pada menit ke-90 dan ke-120 akibat kehilangan total kelecakan. Sebaliknya, beton dengan penambahan SP 0,3% menunjukkan nilai *slump* awal sebesar 160 mm, dengan penurunan bertahap menjadi 70 mm pada menit ke-60, 25 mm pada menit ke-90, dan 20 mm pada menit ke-120.

Beton dengan tambahan GR 0,4% memiliki nilai *slump* awal yang lebih tinggi, yaitu 500 mm, dengan penurunan menjadi 330 mm, 285 mm, dan 245 mm masing-masing pada menit ke 60, 90, dan 120. Kombinasi Sika 0,3% dan Grolen 0,4% menghasilkan nilai *slump* tertinggi, yakni 575 mm di awal, yang kemudian turun menjadi 455 mm, 325 mm, dan 285 mm pada waktu tunda yang sama. Penurunan *slump flow* merupakan indikator penting dalam mengevaluasi retensi *workability* beton

selama proses transportasi dan penundaan pemadatan (Islam *et al.*, 2026; Wang *et al.*, 2024).

Tabel 2. Hasil nilai slump

Waktu tunda (menit)	Sampel (mm)			
	1	2	3	4
0	75	160	575	500
60	10	70	455	330
90	-	25	325	285
120	-	20	285	245

Keterangan

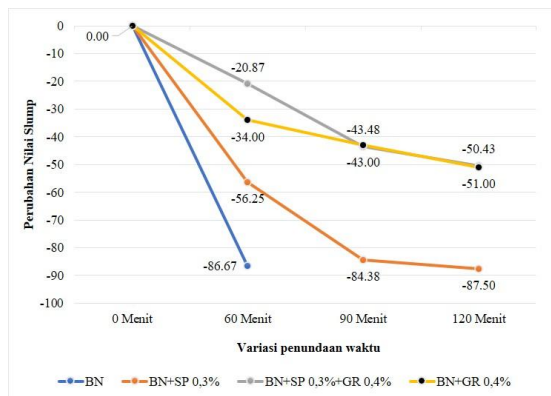
1: BN

2: BN+SP 0,3%

3 : BN+SP 0,3%+ GR 0,4%

4 : BN+GR 0,4%

Visualisasi dari perubahan nilai slump terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat tren penurunan slump flow yang signifikan seiring bertambahnya waktu penundaan pada semua perlakuan aditif, baik SP (retarder), GR (*high range water reducer*), maupun kombinasi keduanya. Grafik menunjukkan bahwa beton normal mengalami penurunan slump sebesar 86,67% hanya dalam 60 menit, dan kehilangan total kelecakan setelahnya.



Gambar 3. Grafik penurunan nilai slump pada semua variasi sampel

Beton dengan Sika 0,3% memperlambat penurunan, namun tetap menurun drastis menjadi 20 mm (–87,5%) pada menit ke-120. Beton dengan GR 0,4% menunjukkan kinerja jauh lebih baik, mempertahankan 245 mm atau kehilangan sekitar 51% dari nilai awal setelah 120 menit. Fenomena ini menunjukkan bahwa HRWR meningkatkan dispersi partikel semen sehingga *workability* dapat dipertahankan lebih lama (Islam *et al.*, 2026).

Campuran dengan kombinasi Sika dan Grolen memiliki performa terbaik, dengan penurunan hanya sebesar 50,43% pada waktu tunda 120 menit, dan masih dalam batas *workability* yang dapat diterima. Hasil ini menunjukkan adanya efek

sinergis antara retarder dan HRWR dalam mempertahankan *workability* selama periode penundaan pemadatan (Wang *et al.*, 2024).

Studi Lokesh *et al.* (2023) mengonfirmasi bahwa HRWR dapat meningkatkan nilai slump melalui pengurangan kadar air, sedangkan Islam *et al.* (2026) menjelaskan bahwa peningkatan tersebut terjadi akibat mekanisme dispersi partikel semen melalui gaya tolak elektrostatis dan *steric hindrance*, sehingga campuran menjadi lebih homogen dan mudah dikerjakan. Dey *et al.* (2021) menegaskan bahwa kombinasi *superplasticizer-mineral admixture* meningkatkan homogenitas dan *passing ability*. Elrazek & Shafy Gamal (2020) menambahkan bukti eksperimental bahwa kombinasi *superplasticizer retarding* (Sikament R2008) dengan HRWR *non-retarding* (Sikament NN) mampu mempertahankan slump 15 cm setelah 6 jam retardasi tanpa kehilangan kekuatan. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme sinergis antara HRWR dan retarder dapat menjaga *workability window* yang lebih panjang dibanding penggunaan tunggal. Namun setelah 120 menit, viskositas meningkat dan kehilangan air bebas mempercepat penurunan slump, mengindikasikan adanya batas optimum dosis serta waktu tunda (Wang *et al.*, 2024; Duan *et al.*, 2026).

Grafik pada Gambar 3 memperkuat peran HRWR dalam mempertahankan kelecakan beton. Campuran dengan Grolen secara signifikan menurunkan kehilangan slump dibandingkan dengan hanya menggunakan retarder. Temuan ini konsisten dengan penelitian Puluhulawa *et al.*, (2024) yang menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* meskipun kadar air campuran dikurangi. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun retarder memperlambat pengikatan semen, interaksi dengan HRWR dalam kombinasi ini menyebabkan penurunan *workability* yang lebih efektif dalam jangka waktu panjang.

Penggunaan kombinasi keduanya terbukti paling efektif dalam memperpanjang durasi pengerjaan beton (*workability window*) hingga dua jam. Hasil tersebut juga sejalan dengan Islam *et al.*, (2026) yang melaporkan bahwa HRWR pada dosis optimum mampu mempertahankan *workability* sekaligus meningkatkan homogenitas campuran. Hasil ini sejalan juga dengan temuan Dewi *et al.*, (2022) yang menunjukkan peningkatan *workability* pada mortar dengan penambahan *superplasticizer*, serta sesuai dengan temuan Puluhulawa & Idham, (2025) yang mengamati efektivitas kombinasi retarder dan HRWR dalam mempertahankan nilai slump pada kondisi tunda pemadatan. Wang *et al.*, (2024) juga menunjukkan bahwa kemampuan retarder mempertahankan kelecakan selama periode

kerja berkaitan dengan perlambatan hidrasi awal sehingga kehilangan *slump* berlangsung lebih lambat dibandingkan beton tanpa retarder.

Implikasi praktis dari data ini adalah bahwa pada proyek konstruksi yang memerlukan waktu pengecoran panjang, jarak pengangkutan jauh, atau kondisi suhu tinggi, kombinasi SP dan GR memungkinkan pengerjaan beton yang lebih fleksibel tanpa kehilangan kecacakan secara drastis dalam 120 menit pertama. Hal ini penting untuk menghindari cold joint, segregasi, atau pemadatan yang buruk akibat kehilangan *slump* yang cepat.

Korelasi antara nilai *slump* dan *setting time*

Korelasi antara nilai *slump* dan waktu ikat (*setting time*) merupakan aspek penting dalam memahami perilaku beton segar, khususnya ketika menggunakan kombinasi *admixture* kimia seperti retarder dan *high range water reducing Admixture* (HRWR). Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini, terlihat adanya hubungan yang searah antara nilai *slump* awal dan waktu ikat awal maupun akhir, semakin besar nilai *slump* awal, semakin lama waktu ikat yang terjadi.

Data menunjukkan bahwa beton normal memiliki *slump* awal sebesar 75 mm dan waktu ikat awal 120 menit. Penambahan SP 0,3% meningkatkan *slump* menjadi 160 mm, dengan waktu ikat awal menjadi 240 menit. Peningkatan lebih signifikan ketika dikombinasikan dengan GR 0,4%. Kombinasi ini menghasilkan nilai *slump* tertinggi yaitu 575 mm, serta waktu ikat awal terpanjang yaitu 285 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua bahan tambah tersebut memperpanjang fase plastisitas beton secara simultan baik dari segi kecacakan maupun waktu pengerasan awal.

Korelasi tersebut terjadi karena adanya mekanisme kimiawi saling melengkapi antara kedua jenis *admixture*. SP sebagai retarder, yang bekerja memperlambat hidrasi awal senyawa C_3S dalam semen, sehingga dapat memperpanjang waktu pembentukan ikatan awal. Sementara itu, GR sebagai HRWR, meningkatkan dispersi partikel semen dan mengurangi viskositas campuran dengan efek elektrostatis, menghasilkan peningkatan *workability* tanpa penambahan air. Kombinasi ini menghasilkan beton yang tetap mudah dikerjakan (*workable*) dalam waktu yang lebih lama, seiring dengan meningkatnya waktu ikat.

Grafik nilai *slump* (Gambar 3) juga menunjukkan bahwa penurunan *slump* seiring waktu lebih lambat pada campuran yang memiliki waktu ikat lebih panjang. Misalnya, beton dengan kombinasi Sika dan Grolen menunjukkan penurunan *slump* hanya

sebesar 50,43% dalam 120 menit, dengan waktu ikat akhir 375 menit. Sebaliknya, beton normal kehilangan seluruh kecacakannya dalam waktu kurang dari 90 menit, dengan waktu ikat akhir hanya 180 menit. Ini mengindikasikan bahwa *setting time* yang lebih lama berkorelasi dengan ketahanan *slump* yang lebih baik terhadap waktu tunda pemadatan.

Penemuan ini memperkuat studi sebelumnya, seperti yang dikemukakan oleh Bolhari *et al.*, (2024), yang menyatakan bahwa kombinasi aditif berbasis lignosulfonat dan polikarboksilat dapat memperpanjang baik waktu ikat maupun nilai *slump* secara simultan. Demikian pula, hasil ini konsisten dengan temuan Dewi *et al.*, (2022) mengenai peningkatan *slump* dan retardasi hidrasi dengan penggunaan *superplasticizer* pada mortar.

Pengaruh kombinasi retarder dan HRWR terhadap kuat tekan beton normal

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari untuk berbagai variasi penundaan waktu pemadatan ditampilkan pada Tabel 3 dan divisualisasikan dalam Gambar 4. Berdasarkan data, dapat dilihat bahwa penambahan *admixture*, baik secara tunggal maupun kombinasi, memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan beton dibandingkan beton normal.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata

Waktu tunda (menit)	Sampel (Mpa)			
	1	2	3	4
0	25,39	33,24	28,75	23,46
60	20,14	27,22	31,99	27,76
90	-	26,65	25,04	25,28
120	-	25,94	21,51	22,05

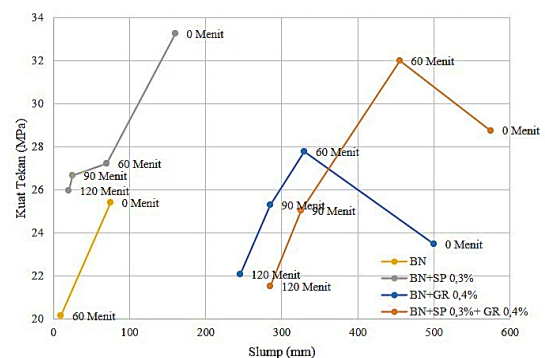
Keterangan

1: BN

2: BN+SP 0,3%

3 : BN+SP 0,3%+ GR 0,4%

4 : BN+GR 0,4%



Gambar 4. Hubungan antara nilai *slump* dan kuat tekan rata-rata

Pada waktu pemadatan 0 menit, beton normal memiliki kuat tekan sebesar 25,39 MPa, sesuai dengan target mutu beton normal. Namun, saat pemadatan ditunda hingga 60 menit, nilai kuat tekan menurun tajam menjadi 20,14 MPa, atau turun sekitar 20,6%. Hal ini menunjukkan bahwa beton tanpa tambahan retarder atau HRWR sangat rentan terhadap keterlambatan pemadatan, akibat meningkatnya viskositas, kehilangan *workability*, dan terbentuknya struktur awal yang menghambat pemadatan efektif.

Penambahan SP sebesar 0,3% dapat menghasilkan peningkatan kuat tekan tertinggi, yakni 33,24 MPa pada 0 menit, meningkat sebesar 30,92% dibanding beton normal. Bahkan pada penundaan 60, 90, dan 120 menit, beton dengan sika tetap mampu mempertahankan kuat tekan di atas 25 MPa, yang berarti masih memenuhi standar mutu beton normal. Peningkatan ini terjadi karena retarder memperlambat hidrasi awal, memungkinkan waktu pemadatan yang lebih panjang dan mengurangi risiko retak mikro akibat pengerasan prematur. Nilai kuat tekan menurun secara bertahap namun stabil seiring waktu (dari 33,24 → 25,94 MPa pada 120 menit), menunjukkan bahwa SP efektif menjaga stabilitas kekuatan beton selama waktu tunda yang moderat.

Kombinasi SP 0,3% + GR 0,4% dapat memberikan performa sangat baik pada waktu tunda 60 menit, menghasilkan kuat tekan tertinggi kedua sebesar 31,99 MPa, bahkan melebihi kuat tekan pada waktu 0 menit (28,75 MPa). Hal ini menunjukkan adanya efek sinergis antara retarder dan HRWR yang mampu mempertahankan nilai *slump*, dan memungkinkan pemadatan lebih optimal setelah waktu tunda. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Haniza *et al.*, (2021) yang menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* tipe F, yaitu Viscocrete-1003, secara signifikan meningkatkan kuat tekan beton hingga lebih dari 25% dibanding beton normal, disertai peningkatan *workability* dan percepatan pengerasan akibat perbaikan dispersi partikel semen. Efek peningkatan kekuatan tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi dosis *superplasticizer* dapat memperbaiki performa beton bahkan pada kondisi agregat daur ulang atau campuran dengan retardasi.

Ahmed & Afify, (2021) melaporkan fenomena serupa pada beton yang tetap mempertahankan kekuatan setelah 5 jam retardasi. Elrazek & Shafy Gamal (2020) bahkan memperoleh kuat tekan 755 kg/cm² dengan retarder + HRWR selama 6 jam penundaan, mengindikasikan bahwa penundaan terkontrol dapat menghasilkan mikrostruktur lebih padat. Namun, pada penundaan 90 hingga 120 menit, kuat tekan menurun drastis menjadi 21,51

MPa, menandakan bahwa kombinasi ini memiliki batas waktu efektif pemadatan sekitar 60–75 menit. Penurunan signifikan setelah waktu tersebut dapat disebabkan oleh *over-retardation* atau peningkatan porositas akibat kehilangan *slump* yang tidak dikompensasi dengan pemadatan yang baik. Hal ini sejalan dengan penelitian Jumah & Meshari (2023), Dimana kekuatan turun 8–10 % karena *over-retardation* dan segregasi efek yang disebabkan oleh konsekuensi langsung dari kelebihan retarder.

Penggunaan GR secara tunggal menunjukkan kinerja cukup stabil terhadap penundaan waktu, dengan nilai kuat tekan pada 0 menit sebesar 23,46 MPa, dan meningkat menjadi 27,76 MPa pada 60 menit. Fenomena ini bisa disebabkan oleh peningkatan densitas campuran akibat pencapaian pemadatan optimal pada *workability* tinggi. Namun, nilai tersebut kembali menurun menjadi 25,28 MPa dan 22,05 MPa pada menit ke-90 dan 120, mengindikasikan bahwa tanpa retarder, pengaruh HRWR tidak cukup untuk menjaga kekuatan bila waktu tunda terlalu lama.

Secara umum, data menunjukkan bahwa Beton tanpa *Admixture* hanya layak digunakan bila pemadatan dilakukan <60 menit. Penambahan SP 0,3% memberikan kestabilan kuat tekan terbaik bahkan hingga 120 menit. Kombinasi SP + GR memberikan performa optimum pada penundaan 60 menit, tetapi perlu diwaspadai setelah 90 menit. HRWR saja memberikan peningkatan kuat tekan terbatas, dan tidak cukup untuk melindungi beton terhadap kerusakan struktural akibat penundaan yang terlalu lama.

Temuan ini memperkuat hasil studi Puluhulawa & Idham (2025) yang juga melaporkan peningkatan kekuatan tekan beton akibat kombinasi retarder dan HRWR dengan penundaan pemadatan hingga 90 menit. Selain itu, Bolhari *et al.*, (2024) menegaskan bahwa penggunaan kombinasi aditif harus memperhatikan titik jenuh retarder untuk menghindari efek negatif pada kekuatan struktural.

Hubungan antara kuat tekan beton dan nilai *slump* terhadap penundaan waktu pemadatan

Pemadatan yang tertunda pada beton segar merupakan tantangan yang sering terjadi dalam praktik konstruksi, baik karena kendala alat, cuaca, maupun jarak transportasi. Oleh karena itu, memahami hubungan antara nilai *slump* dan kuat tekan dalam konteks keterlambatan pemadatan menjadi krusial untuk menjaga mutu struktural beton. Gambar 4 memperlihatkan grafik korelasi antara nilai *slump* dan kuat tekan dari berbagai variasi campuran beton dengan waktu pemadatan yang berbeda. Dari grafik terlihat bahwa semakin

besar nilai *slump* awal dan semakin lambat penurunannya terhadap waktu, maka semakin baik beton dalam mempertahankan kekuatan tekan meskipun terjadi penundaan pematatan.

Beton tanpa *admixture* mengalami penurunan drastis pada kedua parameter: *slump* turun dari 75 mm menjadi 10 mm dalam 60 menit (-86,67%), dan kuat tekan turun dari 25,39 MPa menjadi 20,14 MPa (-20,6%). Tidak adanya retarder atau HRWR menyebabkan hidrasi dimulai lebih cepat, sehingga kehilangan *workability* dan pematatan yang tidak optimal menjadi faktor utama penurunan kekuatan. Penambahan SP 0,3% meningkatkan nilai *slump* awal menjadi 160 mm, dengan penurunan bertahap hingga 20 mm pada menit ke-120. Kuat tekan pun tetap tinggi, yaitu dari 33,24 MPa (0 menit) menjadi 25,94 MPa (120 menit). Meskipun *slump* turun 87,5%, kuat tekan hanya turun 21,9%, menunjukkan retarder membantu menjaga struktur internal beton walaupun *workability* mulai menurun.

Penggunaan GR 0,4% memberikan nilai *slump* tinggi (500 mm) dan mempertahankan nilai *slump* sebesar 245 mm pada 120 menit (-51%). Namun, penurunan kuat tekan tetap signifikan, yaitu dari 23,46 MPa menjadi 22,05 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *slump* yang tinggi tidak selalu menjamin kuat tekan tetap optimal jika tidak disertai dengan pengendalian hidrasi seperti oleh retarder.

Pada kombinasi SP 0,3% + GR 0,4% menunjukkan kinerja terbaik dalam menjaga *slump* (575 mm → 285 mm, hanya turun 50,43%), dan kuat tekan tetap tinggi pada 60 menit (31,99 MPa). Namun, pada penundaan 90–120 menit, penurunan kuat tekan menjadi 21,51 MPa terjadi meskipun *slump* masih tergolong tinggi. Ini menunjukkan bahwa terdapat batas waktu efektif di mana nilai *slump* tidak lagi mencerminkan kualitas internal beton secara penuh, karena terjadi over-retardation yang menghambat proses ikatan semen secara optimal.

Secara umum, tren dari seluruh variasi campuran menunjukkan bahwa penurunan *slump* memiliki korelasi moderat hingga kuat terhadap penurunan kuat tekan, khususnya bila penurunan *slump* melebihi 60%. *Admixture* dapat mengurangi sensitivitas kuat tekan terhadap kehilangan *slump*, terutama bila digunakan secara optimal dan dikombinasikan. Korelasi antara *slump* dan kuat tekan paling konsisten terjadi pada 0–60 menit pertama, sedangkan pada 90–120 menit, hubungan tersebut mulai bervariasi tergantung pada komposisi campuran dan mekanisme hidrasi yang bekerja. Kuat tekan beton pada kondisi penundaan pematatan menunjukkan variasi yang bergantung

pada lamanya waktu tunda dan jenis kombinasi *Admixture* yang digunakan. Kombinasi retarder–HRWR pada beton normal tetap menghasilkan peningkatan kuat tekan hingga waktu tunda 60 menit, namun menurun setelah 90 menit. Fenomena ini konsisten dengan studi Guindani *et al.*, (2024) yang menunjukkan bahwa interaksi antara retarder dan material halus dapat memperpanjang fase plastisitas campuran, tetapi juga meningkatkan risiko stagnasi hidrasi pada waktu tunda yang panjang.

Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian oleh Dewi *et al.*, (2022) yang menunjukkan bahwa *slump* tinggi akibat *superplasticizer* perlu diseimbangkan dengan kontrol hidrasi. Puluhulawa & Idham (2025) juga menyimpulkan bahwa kombinasi SP dan GR menjaga kekuatan beton dengan *slump* yang tetap stabil hingga 90 menit, namun efektivitasnya menurun setelah itu. Penelitian ini memperkuat dan memperluas wawasan tersebut dalam konteks beton normal dan variasi waktu tunda pematatan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi retarder dan HRWR terbukti efektif memperpanjang waktu ikat beton. Beton dengan campuran SP 0,3% dan GR 0,4% menunjukkan waktu ikat awal dan akhir yang jauh lebih lama dibandingkan beton normal, memungkinkan waktu pengerjaan hingga lebih dari 90 menit tanpa kehilangan kecacakan secara drastis. Kombinasi *admixture* juga mampu mempertahankan *workability* dalam jangka waktu yang lebih panjang. Campuran terbaik menunjukkan penurunan *slump* hanya sebesar ~50% setelah 120 menit, jauh lebih baik dibanding beton normal yang kehilangan seluruh kecacakannya dalam waktu kurang dari 90 menit.

Terdapat korelasi moderat hingga kuat antara nilai *slump* dan kuat tekan, khususnya dalam 60 menit pertama penundaan. Beton dengan penurunan *slump* <60% cenderung mampu mempertahankan kekuatan tekan secara signifikan. Namun, setelah 90 menit, korelasi tersebut menjadi tidak linier akibat efek over-retardation dan penurunan efektivitas pematatan. Kombinasi SP 0,3% + GR 0,4% memberikan performa terbaik pada penundaan waktu pematatan hingga 60 menit, dengan kuat tekan yang meningkat dari 28,75 MPa menjadi 31,99 MPa, serta *slump* yang tetap berada dalam batas *workability* yang dapat dikerjakan. Namun, jika penundaan melebihi 90 menit, kekuatan tekan mulai menurun drastis meskipun *slump* masih tinggi, mengindikasikan adanya batas waktu efektif yang perlu diperhatikan. Dengan

demikian, batas waktu pemadatan yang masih aman untuk mempertahankan performa beton normal menggunakan kombinasi SP dan GR berada pada rentang 60 hingga maksimal 90 menit, tergantung pada pengendalian di lapangan. Di atas waktu tersebut, performa mekanis mulai menurun dan tidak lagi sepenuhnya tercermin dari nilai *slump* saja.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada PT. Dumai Jaya Beton (DJB) dan PT. Grolen New Building Material Indonesia yang telah mendukung penelitian ini melalui memberikan material untuk pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ahmed, T. I., & Afify, M. R. (2021). Effect of retardant admixtures type and their using method on the behavior of concrete. *Challenge Journal of Concrete Research Letters*, 12(3), 104–113. <https://doi.org/10.20528/cjcr.2021.03.004>
- Anon, T., Jammal, M., Nurdiana, J., & Ghulam, A. M. (2020). the Effect of the Combination Additive Admixtures To Increase Setting Time and Compressive Strength At the Concrete Casting in Warm Tropical Temperature. *International Journal of Civil Engineering and Technology (Ijciety)*, 11(4), 61–72. <https://doi.org/10.34218/ijciety.11.4.2020.006>
- Bolhari, B., Noori, F., Assadian, H., Raee, A., Ghabraei, S., Shamshiri, A. R., & Heboyan, A. (2024). The effect of three additives on properties of mineral trioxide aggregate cements: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *BMC Oral Health*, 24(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04103-1>
- Costa, R., Cardoso, T., Degen, M., Silvestro, L., Rodriguez, E., & Kirchheim, A. P. (2023). Influence of retarder admixtures on the hydration, rheology, and compressive strength of white Portland cements under different temperatures. *Cement*, 11(December 2022), 100057. <https://doi.org/10.1016/j.cement.2023.100057>
- Dewi, F. M., Ghulam Rifqi, M., & Hilmy, M. (2022). Pengaruh Penambahan Zat Aditif Tipe F (Superplasticizer) Dengan Variasi Pengurangan Air Terhadap Nilai Kuat Tekan Pada Mortar. *Jurnal Riset Teknik Sipil Dan Sains*, 1(1), 20–27. <https://doi.org/10.57203/jriteks.v1i1.2022.20-27>
- Dey, S., Kumar, V. V. P., Goud, K. R., & Basha, S. K. J. (2021). State of art review on self compacting concrete using mineral admixtures. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 6(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s41024-021-00110-9>
- Duan, X. Z., Liu, Z. J., Wang, S. Q., Xia, R. J., Li, W., Liu, J., ... & Dai, K. Y. (2026). Performance and Microstructural Characteristics of Ultra-Early High-Strength Cement-Based Grouting Materials Modified with Accelerating and Retarding Agents. *Infrastructures*, 11(6), 185. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/infrastructures11060185>
- Elrazek, M. A., & Shafy Gamal, Y. A. (2020, February). Producing High Workable & High Strength Concrete Mix Having 6 Hour Retardation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 762, No. 1, p. 012008). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/762/1/012008>
- Guindani, E. N., Onghero, L., Souza, M. T., Cheriaf, M., & Rocha, J. C. (2024). Assessing the interactions of retarding admixtures and fine materials in long-term flowability of cement pastes. *Case Studies in Construction Materials*, 20(January), e02896. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02896>
- Haniza, S., Hamidi, A., & Idris, M. A. (2021, April). The effect of adding viscocrete-1003 on compressive strength of concrete using electric pole waste as a partial replacement of coarse aggregate. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 737, No. 1, p. 012003). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/737/1/012003>
- Islam, M. S., Patowary, F., Islam, M. M., & Singha, B. (2026). Performance optimization of nylon fiber-reinforced concrete using high-range water reducers. *Discover Concrete and Cement*, 2(1), 20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s44416-026-00060-w>
- XuJiale. (2021, January). Study on admixture of super retarding concrete. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 621, No. 1, p. 012101). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/621/1/012101>
- Jumah, B., & Meshari, A. (2023). Retarding Admixture. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, 11(1), 43–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.7948274>
- Lee, T., Lee, J., & Choi, H. (2020). Effects of accelerators and retarders in early strength

development of concrete based on low-temperature-cured ordinary portland and calcium sulfoaluminate cement blends. *Materials*, 13(7).

<https://doi.org/10.3390/ma13071505>

Lokesh, G., Nantha Kumar, P., Aishwarya, N., Parthiban, P., & Ponshanmugakumar, A. (2023). Experimental study of the effect of water reducing admixtures on concrete. *Materials Today: Proceedings*, xxxx.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.163>

Orumu, S. , & Nelson, T. . (2018). Introduction into Mix Ratio Matrix Analysis of Concrete for the Determination of Cement Grade. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 4(11), 291–296.

<https://doi.org/10.31695/ijasre.2018.32982>

Ouattara, D., Belem, T., Mbonimpa, M., & Yahia, A. (2018). Effect of superplasticizers on the consistency and unconfined compressive strength of cemented paste backfills. *Construction and Building Materials*, 181, 59–72.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.288>

Puluhulawa, I., Alamsyah, A., Sitingjak, P. L., & Lubis, M. P. R. (2024). Pengaruh Pengurangan Air Pada Beberapa Mutu Beton yang Menggunakan Polinex HE. *Jurnal RAB Contruction Research*, 9(1), 135–145.

<https://doi.org/https://doi.org/10.36341/racic.v9i1.4065>

Puluhulawa, I., & Idham, M. (2025). Pengaruh Kombinasi Dua Aditif Terhadap Penundaan Waktu Pematatan Pada Beton. *Journal OF Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)*, 6(1), 46–51.<https://doi.org/https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.1012>

Sasongko, J., & Iqbal. (2017). Eksperimen Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Fly-Ash Dan Water Reducer and Retarder Digunakan Pada Bangunan Gedung. *Jurnal Konstruksi*, 5(1), 9–20.

von Daake, H., & Stephan, D. (2017). Adsorption kinetics of retarding admixtures on cement with time controlled addition. *Cement and Concrete Research*, 102(September), 119–126.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.006>

Wang, J., Zuo, Y., Gao, L., Liu, S., & Yang, G. (2024). Effect of Super Retarder on Recycled Water and Concrete Properties of Waste Slurry in Mixing Plant. *Applied Sciences*, 14(22), 10392.

<https://doi.org/10.3390/app142210392>

Wibowo, W., Safitri, E., & Pratiwi, A. (2023). Kajian Waktu Ikut Beton Dengan Variasi Retardex Bubuk Sebagai Retarder Beton. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 11(3), 284–290.