

cek plagiat indri.pdf

by - -

Submission date: 13-Jun-2025 02:20PM (UTC+0530)

Submission ID: 2698234202

File name: cek_plagiat_indri.pdf (726.37K)

Word count: 5698

Character count: 34954

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

Indriyani Puluhulawa¹, Ananda Nitania¹, *Alamsyah²

Received: Revised: Accepted:

Abstract

Delays in concrete compaction are frequently encountered in construction practice due to logistical constraints, equipment limitations, or environmental conditions. This study investigates the combined 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 delayed compaction up to 120 minutes. Four mix variations were tested, including individual and combined use of the two admixtures, and evaluated through slump tests, setting time measurements, and compressive strength tests at ages 28 days.

The results demonstrated that the combined admixture significantly extended the initial and final setting times and effectively retained slump values within a workable range, even after 120 minutes of delay. The mixture containing 0.3% Sika and 0.4% Grolen maintained slump above 285 mm and compressive strength above 31 MPa at 60 minutes of delay, indicating a high tolerance window for on-site handling. A moderate-to-strong correlation was observed between slump loss and compressive strength reduction, particularly in the first 60 minutes of delay. Beyond 90 minutes, however, the strength performance declined despite acceptable slump levels, suggesting that extended delays may lead to over-retardation and ineffective hydration kinetics.

This study confirms that the optimized combination of retarder and HRWR can enhance the operational robustness of normal concrete under delayed compaction scenarios. The findings offer practical insights for mix design in real-world construction projects where extended workability and strength retention are critical.

Keywords: Normal concrete, Delayed compaction, Retarder, High-range water-reducing admixture, Compressive strength

Abstrak

Penundaan pematatan beton merupakan kondisi yang sering terjadi dalam praktik konstruksi akibat kendala logistik, keterbatasan peralatan, atau kondisi lingkungan. Penelitian ini mengkaji pengaruh kombinasi bahan tambah kimia berupa retarder (Sika Plastocrete RT6 Plus) dan high-range water-reducing admixture (HRWR – Grolen HP-19R) terhadap kelecakan, waktu ikat, dan kuat tekan beton normal yang mengalami penundaan pematatan hingga 120 menit. Empat variasi campuran diuji, mencakup penggunaan retarder dan HRWR secara tunggal maupun kombinasi, melalui pengujian slump, pengukuran waktu ikat, dan uji kuat tekan pada umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua admixture secara signifikan memperpanjang waktu ikat awal dan akhir, serta mampu mempertahankan nilai slump dalam rentang kelecakan yang masih dapat dikerjakan, bahkan setelah 120 menit penundaan. Campuran dengan 0,3% Sika dan 0,4% Grolen mampu mempertahankan nilai slump di atas 285 mm dan kuat tekan di atas 31 MPa pada penundaan 60 menit, menunjukkan toleransi kerja yang tinggi di lapangan. Korelasi sedang hingga kuat teridentifikasi antara penurunan slump dan penurunan kuat tekan, khususnya dalam 60 menit pertama penundaan. Namun setelah 90 menit, performa kekuatan mulai menurun meskipun slump masih berada pada level yang dapat dikerjakan, mengindikasikan bahwa penundaan yang terlalu lama dapat menyebabkan over-retardation dan gangguan pada kinetika hidrasi.

Penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi retarder dan HRWR yang dioptimalkan dapat meningkatkan ketahanan operasional beton normal terhadap penundaan pematatan. Temuan ini memberikan wawasan praktis bagi perencanaan campuran beton pada proyek konstruksi di lapangan yang membutuhkan kelecakan tahan lama dan kekuatan tekan yang tetap terjaga.

Kata kunci: Beton Normal, Penundaan Pemadatan, Retarder, High-Range Water Reducer, Kuat Tekan

2 Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena memiliki kekuatan tekan tinggi, daya tahan yang baik, fleksibilitas dalam pembentukan, dan efisiensi biaya secara keseluruhan. Beton menjadi pilihan utama untuk elemen struktural pada berbagai proyek infrastruktur, mulai dari perumahan, gedung bertingkat, jembatan, hingga jalan raya. Namun, keberhasilan aplikasi beton di lapangan tidak hanya ditentukan oleh kekuatan akhirnya, tetapi juga oleh kualitas dan kestabilan sifat beton dalam kondisi segar. Dua parameter penting yang harus dikendalikan dengan baik selama pelaksanaan konstruksi adalah waktu pengikatan dan kelecakan (*workability*) beton segar.

Dalam kondisi lapangan tertentu seperti lingkungan beriklim panas atau pengecoran dalam volume besar beton dapat mengalami proses pengikatan yang terlalu cepat, yang dapat menghambat proses penempatan, pemadatan, dan penyelesaian permukaan, serta pada akhirnya menurunkan integritas struktural. Sebaliknya, waktu pengikatan yang terlalu lama dapat memperlambat jadwal konstruksi dan meningkatkan biaya pelaksanaan. Untuk mengatasi tantangan ini, penggunaan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) telah menjadi pendekatan standar dan efektif dalam desain campuran beton modern. Diantara jenis admixture yang paling umum digunakan adalah *retarder* dan *high-range water-reducing admixture* (HRWR), yang diformulasikan untuk meningkatkan performa beton segar dalam kondisi lapangan yang menantang.

Retarder seperti Sika Plastocrete RT6 Plus (SP) bekerja dengan memperlambat proses hidrasi semen, sehingga memperpanjang waktu ikat awal dan akhir. Produk ini banyak diaplikasikan di lapangan karena kemampuannya menyediakan waktu kerja tambahan, terutama dalam kondisi suhu tinggi. Di sisi lain, HRWR seperti Grolen HP-19R (GR) dirancang untuk mengurangi kebutuhan air tanpa mengorbankan kelecakan, menghasilkan rasio air-semen (*w/c*) yang lebih rendah dan kekuatan tekan yang lebih tinggi. Namun, saat digunakan dalam dosis tinggi atau dikombinasikan dengan *retarder*, HRWR juga dapat memengaruhi perilaku waktu ikat secara kompleks dan kadang kontra-produktif.

Salah satu permasalahan utama yang masih ada adalah kurangnya data eksperimental terkait efek kombinasi antara *retarder* dan HRWR komersial terhadap waktu ikat dan kuat tekan beton normal, khususnya dalam kondisi penundaan pemadatan.

Dosis yang tidak tepat dapat menyebabkan keterlambatan waktu ikat yang berlebihan, segregasi, atau penurunan kekuatan awal. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang sistematis untuk mengevaluasi interaksi dosis kedua jenis admixture tersebut serta dampaknya terhadap performa beton, baik pada umur awal maupun jangka panjang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi SP dan GR terhadap perilaku waktu ikat dan sifat mekanik beton normal yang mengalami penundaan pemadatan. Fokus utama penelitian ini adalah untuk menentukan batas waktu pemadatan yang masih dapat diterima—dalam rentang 0 hingga 120 menit—tanpa mengurangi kelecakan, waktu ikat, maupun kekuatan tekan secara signifikan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi dosis optimal yang mampu menjaga kestabilan beton segar sekaligus mempertahankan performansi mekanik dalam kondisi lapangan. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi perancangan campuran beton yang lebih adaptif terhadap kondisi proyek konstruksi nyata, terutama yang memerlukan waktu pengerjaan yang lebih panjang.

Berbagai studi sebelumnya telah menunjukkan manfaat penggunaan *retarder* dan HRWR secara individual terhadap sifat beton segar maupun beton yang telah mengeras. Misalnya, (Puluhulawa & Idham, 2025) melaporkan bahwa kombinasi SP dan GR meningkatkan kelecakan dan kekuatan beton mutu tinggi meskipun pemadatan ditunda hingga 90 menit. Namun, studi tersebut lebih menekankan pada aspek penundaan pemadatan dan belum secara sistematis mengevaluasi variasi dosis atau perilaku beton normal pada umur pengerasan jangka panjang.

(Wibowo et al., 2023) meneliti penggunaan Retardex sebagai *retarder* dan menemukan bahwa meskipun variasi dosis dapat memperlambat waktu ikat, tidak ada dosis yang memenuhi standar ASTM C494 untuk efektivitas *retarder*. Penelitian tersebut juga terbatas pada pasta semen dan tidak mengkaji HRWR atau kuat tekan beton. (Sasongko & Iqbal, 2017) mengkaji penggunaan *fly ash* dan admixture tipe D pada beton mutu tinggi dan melaporkan peningkatan kekuatan yang signifikan, namun tidak mengevaluasi waktu ikat atau hubungannya dengan penundaan pemadatan secara eksplisit.

Berdasarkan kajian tersebut, masih terdapat celah penelitian terkait penggunaan kombinasi *retarder* dan HRWR (misalnya SP dan GR) pada beton normal dengan skenario penundaan pemadatan, serta analisis kuantitatif pada umur pengujian

seperti 28 hari. Selain itu, belum ada studi yang secara eksplisit menentukan rentang dosis optimal untuk mencapai keseimbangan terbaik antara kelecakan, waktu ikat, dan kekuatan tekan beton. Penelitian ini menjawab celah tersebut melalui pendekatan eksperimental sistematis terhadap interaksi retarder dan HRWR pada beton normal, dengan tujuan menghasilkan rekomendasi teknis berbasis data untuk desain campuran beton modern. Kebaruan dari studi ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan dua jenis bahan tambah yang menargetkan aspek beton segar yang saling terkait yakni pengendalian waktu ikat dan peningkatan kelecakan dalam satu kerangka pengujian yang komprehensif. Temuan ini diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi beton yang lebih tangguh dan adaptif, terutama untuk proyek konstruksi yang menuntut kecepatan pelaksanaan dan fleksibilitas logistik.

Tinjauan Pustaka

Kelecakan dan perilaku waktu pengikatan beton segar merupakan dua aspek krusial yang sangat memengaruhi keberhasilan pengecoran beton di tempat (*cast-in-place*), terutama dalam kondisi keterlambatan penempatan atau waktu penanganan yang diperpanjang. Pada beton normal, kontrol yang tidak memadai terhadap waktu ikat awal dan akhir dapat menyebabkan pengerasan prematur atau segregasi, yang pada akhirnya menurunkan integritas struktural (Wibowo et al., 2023). Dalam konteks tersebut, bahan tambah kimia seperti retarder dan high-range water-reducing admixture (HRWR) telah menjadi alat penting untuk memodifikasi sifat beton segar.

Retarder, seperti SP[®], bekerja dengan memperlambat kinetika hidrasi senyawa trikalsium silikat (C₃S), sehingga memperpanjang fase plastisitas beton. (Anon et al., 2020) menunjukkan bahwa penggunaan SP dalam kombinasi dengan bahan aditif karbonasi dapat meningkatkan waktu ikat hingga 54,6% dan memperbaiki kuat tekan tanpa perlu penambahan semen. Temuan ini mengonfirmasi bahwa *retarder* dengan dosis yang tepat dapat menunda waktu ikat tanpa mengorbankan performa jangka panjang beton. Sementara itu, HRWR yang diklasifikasikan sebagai *superplasticizer* tipe F berfungsi meningkatkan kelecakan dan memungkinkan pengurangan kadar air secara signifikan dalam campuran. (Dewi et al., 2022) melaporkan bahwa penggunaan HRWR sebesar 2% tanpa pengurangan air mampu menghasilkan kuat tekan optimal sebesar 38,14 MPa dengan kelecakan (*flow*) yang baik. Hal ini memperkuat efektivitas *superplasticizer* dalam meningkatkan performa campuran beton, bahkan pada rasio air-semen yang rendah.

Efek sinergis dari kombinasi retarder dan HRWR telah diteliti oleh (Puluhulawa & Idham, 2025), yang menemukan bahwa campuran beton dengan Sika RT6 Plus dan GR dapat mempertahankan, bahkan meningkatkan kuat tekan beton meskipun pemadatan ditunda hingga 90 menit. Namun, studi tersebut belum mengevaluasi variasi dosis secara sistematis maupun mendefinisikan batas waktu aman penundaan secara kuantitatif. Penelitian oleh (Ouattara et al., 2018) dan (Bolhari et al., 2024) juga menekankan bahwa meskipun bahan tambah dapat memengaruhi perilaku setting dan kekuatan secara signifikan, efektivitasnya sangat bergantung pada dosis dan kompatibilitas dengan karakter kimia semen yang digunakan.

Lebih lanjut, studi oleh (Fatema et al., 2021, 2022) dan (Ofuyatan et al., 2021) menegaskan bahwa kombinasi admixture harus dikalibrasi dengan cermat, terutama dalam skenario penundaan pemadatan yang lebih panjang. Temuan-temuan tersebut menyoroti adanya celah pengetahuan yang belum terisi, khususnya mengenai batas operasional aman penggunaan kombinasi admixture saat terjadi keterlambatan pemadatan hingga 120 menit di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menyelidiki secara sistematis pengaruh kombinasi retarder dan HRWR terhadap waktu ikat, retensi kelecakan, dan kuat tekan beton normal yang mengalami penundaan pemadatan. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu merumuskan batas dosis serta jendela waktu yang masih memungkinkan beton mempertahankan sifat mekanis dan kemudahan pelaksanaan di lapangan, sehingga mendukung pengembangan campuran beton yang lebih tangguh dan aplikatif untuk skenario konstruksi nyata.

Metode

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini 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 Plastocrete RT6 Plus, yaitu bahan tambahan komersial yang berfungsi mengontrol waktu pengikatan beton.
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 menentukan dosis yang sesuai dari bahan tambah tipe retarder, dilakukan uji pendahuluan terhadap waktu ikat menggunakan berbagai

konsentrasi SP. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengidentifikasi dosis yang efektif dalam memperlambat waktu ikat awal dan akhir beton tanpa melebihi batas waktu pengerjaan yang wajar di lapangan atau menyebabkan penurunan kekuatan pada umur awal. Berdasarkan rekomendasi dari pabrikan serta hasil uji coba dalam rentang dosis yang disarankan, yaitu 0,2% hingga 0,6% dari berat semen, maka dipilih dosis 0,3% sebagai konsentrasi optimal untuk pengujian lanjutan. Dosis ini dinilai mampu memberikan penundaan waktu ikat yang memadai sambil tetap menjaga kompatibilitas dengan campuran beton dan kemudahan pengerjaan di lapangan.

Sebaliknya, dosis untuk bahan tambah tipe *high-range water-reducing admixture* (HRWR – Grolen HP-19R) ditetapkan secara tetap sebesar 0,4% dari berat semen sepanjang penelitian. Dosis ini dipilih berdasarkan kajian literatur sebelumnya dan praktik umum di industri, di mana konsentrasi 0,4% dianggap efektif dalam meningkatkan kelecakan beton dan menurunkan kebutuhan air tanpa menimbulkan efek samping yang merugikan seperti retardasi berlebihan atau segregasi.

Dengan menetapkan parameter dosis secara terkontrol, penelitian ini dapat mengamati pengaruh kombinasi *admixture* terhadap performa beton dalam kondisi penundaan pemadatan secara konsisten dan jelas.

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. Selanjutnya, 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 kelecakan 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.

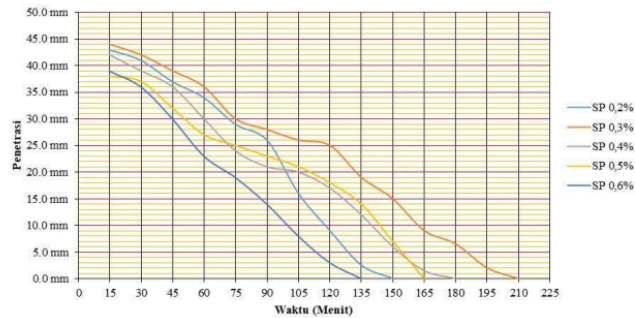
Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi waktu penundaan yang disebabkan oleh penggunaan dua jenis aditif kimia, yaitu Sika Plastocrete RT 6 Plus (SP) sebagai retarder dan Grolen HP 19 R (GR) sebagai *high range water reducing admixture* (HRWR), terhadap sifat-sifat beton normal. Dalam industri konstruksi modern, penggunaan aditif kimia pada beton telah menjadi praktik umum untuk mengoptimalkan performa beton, baik dari segi *workability*, waktu pengerasan, maupun kekuatan tekan. Retarder berfungsi memperpanjang waktu pengikatan semen sehingga memungkinkan waktu pengerjaan yang lebih lama, sedangkan HRWR meningkatkan *workability* beton dengan mengurangi kebutuhan air tanpa mengorbankan kekuatan. Kombinasi kedua aditif ini diharapkan dapat memberikan manfaat sinergis, namun juga menimbulkan tantangan terkait pengaruh waktu penundaan terhadap karakteristik beton. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mengevaluasi secara kuantitatif dan kualitatif bagaimana variasi waktu penundaan (0, 60, 90, dan 120 menit) mempengaruhi penurunan *slump flow*, perubahan kekuatan tekan, serta mekanisme kerja masing-masing aditif dan kombinasi keduanya pada beton normal. Selain itu, analisis ini juga bertujuan untuk mengkaji korelasi antara waktu ikat semen dengan performa beton serta memberikan rekomendasi penggunaan variasi waktu penundaan dan dosis aditif yang optimal berdasarkan data eksperimen. Pemahaman mendalam terhadap efek aditif ini sangat penting untuk memastikan bahwa beton yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar teknis, tetapi juga efisien dan ekonomis dalam aplikasi lapangan. Dalam konteks aplikasi praktis, retarder seperti Sika Plastocrete RT 6 Plus sangat berguna dalam proyek-proyek dengan waktu pengerjaan yang panjang atau kondisi cuaca panas yang mempercepat pengerasan beton. Sementara itu, HRWRA seperti Grolen HP 19 R memungkinkan pengurangan kadar air yang signifikan tanpa mengurangi *workability*, sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton. Penelitian ini memberikan kontribusi penting

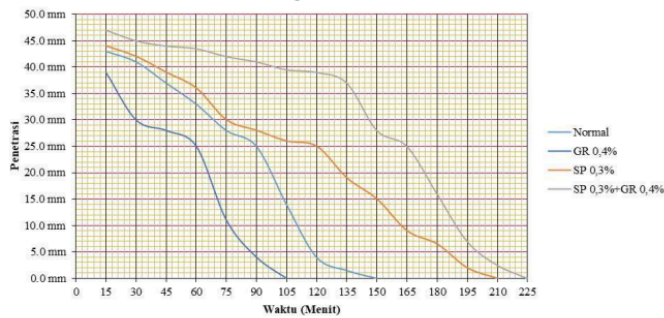
dalam mengoptimalkan penggunaan kedua aditif tersebut secara bersamaan, dengan mempertimbangkan efek waktu penundaan yang terjadi. Dengan demikian, hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para insinyur dan praktisi konstruksi dalam merancang campuran beton yang lebih adaptif dan berkinerja tinggi sesuai kebutuhan proyek. Penelitian ini juga menambah literatur ilmiah terkait interaksi aditif kimia pada beton normal, khususnya dalam konteks variasi waktu penundaan yang sering terjadi di lapangan.

Perilaku Waktu Pengadukan Beton dengan Campuran Retarder dan HRWR

Untuk menentukan dosis penggunaan retarder yang tepat maka dilakukan pengujian waktu ikat semen dengan variasi tambahan S_2 . Pada Gambar 1 menampilkan hasil pengujian waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen dengan variasi dosis SP 0,2% sampai dengan 0,6%. Gambar 2 menunjukan ringkasan hasil pengujian ikat awal dan waktu ikat akhir semen dengan GR pada dosis 0,4%, SP dosis 0,3% dan kombinasi GR pada dosis 0,4%+ SP dosis 0,3%.



Gambar 1. Grafik Setting Time semen dan Sika Plastocrete



Gambar 2. Grafik Setting Time aditif yang Optimal

Penggunaan SP 0,3% menunjukkan keseimbangan yang optimal antara waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Dengan waktu ikat awal yang tidak terlalu cepat dan waktu ikat akhir yang cukup panjang, proporsi ini memberikan fleksibilitas dan kontrol yang lebih baik dalam aplikasi beton. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan SP 0,3% adalah yang paling optimal untuk mencapai kinerja terbaik dalam pengikatan beton.

0,3% + GR 0,4% diperoleh waktu ikat awal pada menit ke-165 dan waktu ikat akhir pada menit ke-225. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan SP dapat memperlambat waktu pengikatan. Hasil pengujian waktu ikat menunjukkan bahwa kombinasi SP (retarder) dan GR (HRWR) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap waktu ikat awal dan akhir beton normal seperti yang terangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian waktu ikat

Sampel	Waktu Ikat	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 0,3% SP dan 0,4% GR menghasilkan waktu ikat terpanjang, dengan penundaan waktu ikat awal sebesar 75 menit dibandingkan beton kontrol. Hasil ini menunjukkan adanya efek sinergis ketika kedua bahan tambah digunakan secara bersamaan.

Interpretasi Mekanisme Penundaan Waktu Ikat

Perpanjangan waktu ikat terutama disebabkan oleh perlambatan hidrasi senyawa *trikalsium silikat* (C₃S) 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.

Sementara itu, penambahan HRWR (GR) berperan dalam mendispersikan partikel semen melalui mekanisme tolak-menolak elektrostatik, 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 pemadatan 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 dalam penelitian ini 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 pemadatan selama 90 menit. Namun, studi ini berfokus 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 pemadatan dapat dilihat pada Tabel 2. Beton normal (BN) 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.

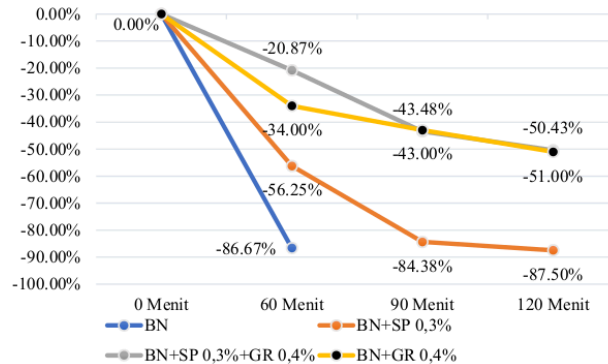
Penurunan *slump flow* merupakan indikator penting dalam menilai *workability* beton selama periode penundaan pengerjaan. Berdasarkan data dari Gambar 3 terlihat tren penurunan *slump flow* yang signifikan seiring bertambahnya waktu penundaan pada semua perlakuan aditif, baik SP (retarder), GR (*high range water reducer*), maupun kombinasi keduanya.

Tabel 2. Rekap Hasil Nilai Slump

Variasi Penundaan Waktu	Beton Normal (mm)	BN+SP 0,3% (mm)	BN+SP 0,3%+ GR 0,4% (mm)	BN+GR 0,4% (mm)
0 Menit	75	160	575	500
60 Menit	10	70	455	330
90 Menit	-	25	325	285
120 Menit	-	20	285	245

Visualisasi dari perubahan nilai *slump* terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan bahwa beton normal mengalami penurunan *slump* sebesar 86,67% hanya dalam 60 menit, dan kehilangan total kelecakan setelahnya. 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. 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.



Gambar 3. Grafik penurunan Nilai Slump pada semua variasi sampel

Grafik 3 memperkuat peran HRWR dalam mempertahankan kelecakan beton. Campuran dengan Grolen secara signifikan menurunkan kehilangan *slump* dibandingkan dengan hanya menggunakan retarder. 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. Adapun penggunaan kombinasi keduanya terbukti paling efektif dalam memperpanjang durasi pengerjaan beton (*workability window*) hingga dua jam. Hasil ini sejalan 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 pematatan.

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 kelecakan secara drastis dalam 120 menit pertama. Hal ini penting untuk menghindari cold joint, segregasi, atau pematatan 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 (BN) 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 ini lebih signifikan ketika dikombinasikan dengan GR 0,4%, yang 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 ini terjadi karena adanya mekanisme kimia yang saling melengkapi antara kedua jenis admixture. SP, sebagai retarder, bekerja memperlambat hidrasi awal senyawa C₃S dalam semen, sehingga memperpanjang waktu pembentukan ikatan awal. Sementara itu, GR, sebagai HRWR, meningkatkan dispersi partikel semen dan mengurangi viskositas campuran dengan efek elektrostatis, menghasilkan peningkatan *workability* (*slump*) 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 110 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 Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata 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

Variasi Penundaan Waktu	BN (MPa)	BN + SP 0,3% (MPa)	BN + SP 0,3% + GR 0,4% (MPa)	BN + GR 0,4% (MPa)
0 Menit	25,39	33,24	28,75	23,46
60 Menit	20,14	27,22	31,99	27,76
90 Menit	-	26,65	25,04	25,28
120 Menit	-	25,94	21,51	22,05

Pada waktu pemadatan 0 menit, beton normal (BN) 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% 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% 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 *slump* dan memungkinkan pemadatan lebih optimal setelah waktu tunda. 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.

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.

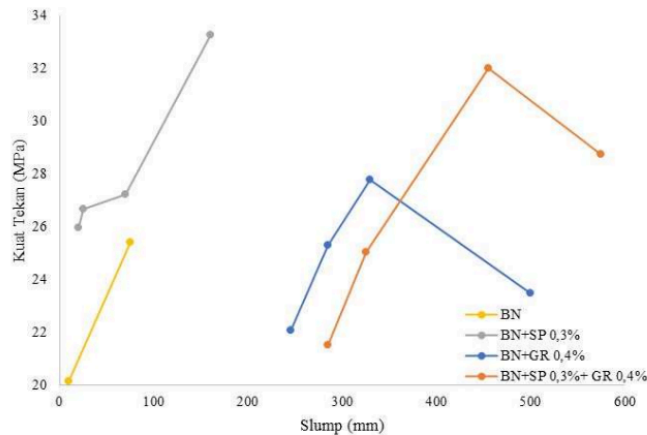
Secara umum, data menunjukkan bahwa Beton tanpa admixture hanya layak digunakan bila pemadatan dilakukan dalam < 60 menit. Penambahan SP 0,3% memberikan kestabilan kuat tekan terbaik bahkan hingga 120 menit. Kombinasi SP + GR memberikan performa optimum pada penundaan 60 menit, tetapi perlu diwaspadai 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.

Korelasi 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. Hubungan antara nilai slump dan kuat tekan rata-rata

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 pemadatan.

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 pemadatan 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.

Sementara itu, 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. Ini menunjukkan bahwa nilai *slump* yang tinggi tidak selalu menjamin kuat tekan tetap optimal jika tidak disertai dengan pengendalian hidrasi seperti oleh retarder.

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.

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

Penelitian ini secara sistematis telah mengevaluasi pengaruh kombinasi bahan tambah kimia berupa retarder (SP) dan high range water reducing admixture (GR) terhadap karakteristik beton normal yang mengalami penundaan waktu pematatan hingga 120 menit. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. 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.
2. Kombinasi admixture juga mampu mempertahankan *workability* (nilai *slump*) 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.
3. 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.
4. 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.
5. Dengan demikian, batas waktu pematatan 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.

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	2%
2	123dok.com Internet Source	1%
3	media.neliti.com Internet Source	<1%
4	www.coursehero.com Internet Source	<1%
5	text-id.123dok.com Internet Source	<1%
6	journal.ppns.ac.id Internet Source	<1%
7	Ripka Margaretha Ponggele. "UJI EFEK ANALGESIK EKSTRAK KULIT MANGGIS (GARCINIA MANGOSTANA L.) PADA MENCIT SWISS (MUSS MUSCULUS)", Jurnal e-Biomedik, 2013 Publication	<1%
8	e-journals.unmul.ac.id Internet Source	<1%
9	karya-ilmiah.um.ac.id Internet Source	<1%
10	ejournal.uigm.ac.id Internet Source	<1%

11	Internet Source	<1 %
12	estd.perpus.untad.ac.id Internet Source	<1 %
13	jahe.or.id Internet Source	<1 %
14	jptam.org Internet Source	<1 %
15	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
16	bahan-tekniksipil.blogspot.com Internet Source	<1 %
17	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On