

Pengaruh Pemanfaatan Semen Grouting StrongGrout G70 Sebagai Filler terhadap Karakteristik dan Durabilitas Campuran AC-WC

Rezki Muhammad Suharto Hartawan Nurdin^{1*}, Hanafi Ashad², Andi Alifuddin³

Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana, Universitas Muslim Indonesia, 90231, Makassar, Indonesia¹
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, 90231, Makassar, Indonesia^{2,3}

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

AC-WC; durabilitas; filler;
Marshall; StrongGrout G70

***Correspondence email:**

suhartohartawan@gmail.com,
hanafi.ashad@umi.ac.id,
andi.alifuddin@umi.ac.id

Submitted: 15 Februari 2026

Revised: 25 Februari 2026

Accepted: 19 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Transportasi memegang peran penting dalam menunjang mobilitas yang sangat bergantung pada kualitas perkerasan jalan. Kerusakan dini pada lapisan permukaan aspal sering terjadi akibat peningkatan volume lalu lintas, beban berlebih, dan rendahnya ketahanan terhadap air. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan semen grouting StrongGrout G70 sebagai filler terhadap karakteristik Marshall dan durabilitas campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC), serta menentukan kadar optimum filler. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan variasi kadar StrongGrout G70 sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% terhadap berat total agregat. Karakteristik campuran diuji dengan metode Marshall, sedangkan durabilitas dievaluasi melalui Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK), sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Hasil pengujian menunjukkan stabilitas meningkat dari 1351,94 kg (0%) menjadi 1615,55 kg (2%), flow menurun dari 3,10 mm menjadi 2,50 mm, VIM turun dari 4,28% menjadi 3,21%, VFA meningkat dari 73,84% menjadi 79,10%, VMA turun dari 16,20% menjadi 15,26%, dan Marshall Quotient meningkat dari 439,26 kg/mm menjadi 648,64 kg/mm. Pada durabilitas, IKS variasi 2% mencapai 96,70% (24 jam), 94,35% (36 jam), 91,54% (48 jam), 88,94% (60 jam), dan 83,54% (72 jam), lebih tinggi dibanding 0% yang hanya 76,95% pada 72 jam. Nilai IDP 2% berkisar 0,14%–0,23% dan IDK Sa menurun dari 98,92% menjadi 92,43% dengan kehilangan kekuatan 1,08%–7,57%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan StrongGrout G70 sebesar 2% memberikan kinerja terbaik terhadap stabilitas dan durabilitas campuran AC-WC.

ABSTRACT

Keywords:

AC-WC; durability; filler;
Marshall; StrongGrout G70

Transportation plays an important role in supporting mobility which is highly dependent on the quality of road pavement. Premature damage to the asphalt surface layer often occurs due to increased traffic volume, excessive loads, and low water resistance. This study aims to analyze the effect of using StrongGrout G70 grouting cement as a filler on the Marshall characteristics and durability of the Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) mixture, as well as determining the optimum filler content. The research method uses an experimental approach with variations in StrongGrout G70 content of 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% of the total aggregate weight. The mixture characteristics were tested using the Marshall method, while durability was evaluated through the Residual Strength Index (RSI), First Durability Index (FDI), and Second Durability Index (IDK), according to the 2025 General Bina Marga Specifications. The test results showed that stability increased from 1351.94 kg (0%) to 1615.55 kg (2%), flow decreased from 3.10 mm to 2.50 mm, VIM decreased from 4.28% to 3.21%, VFA increased from 73.84% to 79.10%, VMA decreased from 16.20% to 15.26%, and Marshall Quotient increased from 439.26 kg/mm to 648.64 kg/mm. In durability, the IKS variation of 2% reached 96.70% (24 hours), 94.35% (36 hours), 91.54% (48 hours), 88.94% (60 hours), and 83.54% (72 hours), higher than 0% which was only 76.95% at 72 hours. The IDP value of 2% ranged from 0.14%–0.23% and the IDK Sa decreased from 98.92% to 92.43% with a strength loss of 1.08%–7.57%. The results showed that the use of StrongGrout G70 at 2% provided the best performance on the stability and durability of the AC-WC mixture.

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan kegiatan pemindahan penumpang dan/atau barang dari satu tempat ke tempat lain, yang secara fisik melibatkan pergerakan dan perpindahan (Gusty et al., 2023). Kelancaran transportasi sangat bergantung pada kualitas perkerasan jalan, karena perkerasan berfungsi menahan dan menyalurkan beban lalu lintas yang melintas di atasnya. Secara struktural, perkerasan harus mampu menerima dan menyebarkan beban tanpa menimbulkan kerusakan pada konstruksi jalan.

Namun, di Indonesia, banyak perkerasan jalan mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana (Alifuddin & Arifin, 2020). Salah satu penyebab utamanya adalah rendahnya daya tahan lapisan permukaan terhadap peningkatan beban lalu lintas (Alifuddin, 2020). Kerusakan ini semakin diperparah oleh meningkatnya volume lalu lintas setiap tahun serta tingginya jumlah kendaraan yang beroperasi dengan muatan berlebih (Said et al., 2021). Kondisi tersebut menuntut

pembangunan jalan yang berkualitas, sehingga diperlukan peningkatan performa material perkerasan, khususnya pada campuran aspal beton.

Pada campuran *Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC)*, filler memiliki peran penting karena berfungsi mengisi celah antar agregat dan meningkatkan kestabilan campuran (Ma’ulva et al., 2025). Kerusakan awal perkerasan biasanya ditandai dengan munculnya retakan pada lapisan permukaan aspal, yang menurunkan keawetan lapisan permukaan dan mempercepat degradasi campuran secara keseluruhan. Seiring bertambahnya umur perkerasan, kemampuan strukturalnya menurun, sehingga kinerja layanan jalan juga semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu faktor utama penurunan kinerja jalan adalah rendahnya ketahanan lapisan perkerasan terhadap beban lalu lintas yang semakin berat. Oleh karena itu, material penyusun perkerasan aspal harus memiliki sifat kuat, stabil, dan tahan terhadap beban berulang.

Di Indonesia, kerusakan jalan umumnya disebabkan oleh pembebanan berlebih (*overload*), tingginya *Physical Damage Factor (P.D.F.)*, banyaknya arus kendaraan akibat pertumbuhan kendaraan komersial, serta kurang optimalnya sistem drainase (Rosyad et al., 2024). Pemilihan material seperti aspal, agregat, dan filler sangat menentukan kualitas campuran aspal. Meskipun proporsinya relatif kecil, filler berperan signifikan dalam memperkuat ikatan antara aspal dan agregat, mengurangi porositas, meningkatkan fleksibilitas, stabilitas, serta durabilitas campuran.

Salah satu material filler yang berpotensi meningkatkan kinerja dan durabilitas perkerasan adalah semen grouting, yang memiliki karakteristik fisik dan mekanik baik. Penelitian Im et al. (2023) dan Naufal et al. (2023) menunjukkan bahwa penambahan semen grouting dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah, sehingga material ini berpotensi digunakan sebagai filler dalam campuran aspal (Im et al., 2023; Naufal & Firdaus, 2023). Salah satu jenisnya adalah StrongGrout G70, yang memiliki kekuatan tinggi, daya ikat kuat, dan ketahanan terhadap penetrasi air. Dengan sifat tersebut, StrongGrout G70 diharapkan mampu meningkatkan stabilitas, kepadatan, dan durabilitas campuran AC-WC, terutama dalam menahan beban lalu lintas berulang.

Durabilitas campuran beraspal sangat penting karena menentukan ketahanan terhadap pengaruh lingkungan, seperti air, uap, dan perubahan suhu. Semakin tinggi durabilitas campuran, semakin baik kualitas dan kinerjanya. Oleh karena itu, pengujian untuk mengetahui tingkat keawetan atau ketahanan campuran aspal menjadi sangat diperlukan (Heriyana et al., 2024).

Indonesia memiliki dua musim, yaitu musim panas dan musim hujan, yang menyebabkan kondisi permukaan jalan berbeda setiap musim. Pada musim panas, jalan cenderung kering akibat panas, sedangkan pada musim hujan, jalan bisa tergenang air sehingga menjadi basah. Siklus kering-basah akibat pergantian musim berdampak pada perkerasan jalan (Indriani et al., 2023). Aspal sebagai bahan pengikat material pada konstruksi jalan memegang peran penting, tetapi tidak mampu sepenuhnya menahan kerusakan akibat perubahan suhu ekstrem maupun lalu lintas yang tinggi dan tidak terkendali (Amirudin et al., 2023; Ramadhan et al., 2023).

Untuk menilai pengaruh penggunaan Semen Grouting StrongGrout G70 sebagai filler, dilakukan pengujian Marshall untuk memperoleh parameter stabilitas dan flow, serta pengujian durabilitas melalui Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilaksanakan dengan judul “Kajian Pengaruh Pemanfaatan Semen Grouting StrongGrout G70 sebagai Filler terhadap Karakteristik dan Durabilitas Campuran AC-WC.” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan Semen Grouting StrongGrout G70 sebagai filler terhadap karakteristik campuran AC-WC, menentukan persentase penggunaan filler yang menghasilkan karakteristik campuran AC-WC terbaik, serta mengevaluasi pengaruh filler terhadap durabilitas campuran AC-WC.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan semen grouting StrongGrout G70 sebagai substitusi filler terhadap karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*, serta menentukan persentase optimum yang menghasilkan kinerja terbaik. Pengujian utama meliputi Marshall Test untuk memperoleh parameter stabilitas, flow, *Marshall Quotient (MQ)*, VMA, VFA, VIM, dan density. Selain itu, dilakukan uji durabilitas melalui perendaman untuk mengevaluasi ketahanan campuran terhadap pengaruh air. Seluruh prosedur pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum 2025 Direktorat Jenderal Bina Marga (Spesifikasi Umum, 2025).

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2025 hingga Februari 2026. Seluruh rangkaian kegiatan dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar.

Bahan Dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan terdiri atas aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina, agregat alam hasil *stone crusher* dari Bili-Bili, Kabupaten Gowa (agregat kasar, agregat halus, dan abu batu), serta semen grouting StrongGrout G70 sebagai bahan substitusi filler dalam campuran.

Peralatan yang digunakan meliputi alat uji karakteristik aspal (penetrasi, viskositas, titik lembek, titik nyala dan bakar, berat jenis, dan daktilitas), alat uji agregat (analisa saringan, berat isi, berat jenis dan penyerapan, soundness test, serta kelekatan agregat terhadap aspal), seperangkat alat *Marshall Test* dan *Marshall Compactor*, serta *water bath* untuk pengujian durabilitas.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, dengan material berupa agregat kasar, agregat halus, filler abu batu, dan semen Grouting StrongGrout G70 sebagai substitusi filler yang lolos saringan No. 200 untuk campuran AC-WC. Tahap awal meliputi pengujian karakteristik bahan. Aspal penetrasi 60/70 diuji sesuai standar SNI (penetrasi, titik lembek, titik nyala dan bakar, daktilitas, berat jenis, dan viskositas), sedangkan agregat diuji melalui analisa saringan, berat isi, berat jenis dan penyerapan, soundness test, serta kelekatan terhadap aspal. Perencanaan campuran menggunakan metode trial and error untuk memperoleh gradasi sesuai spesifikasi, dilanjutkan penentuan Kadar Aspal Rencana (KAR) dan pembuatan 15 benda uji Marshall (KAR $\pm 1\%$). Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dari analisis kurva polinomial hubungan kadar aspal dan stabilitas Marshall.

Setelah KAO ditetapkan, dibuat benda uji dengan variasi semen StrongGrout G70 sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% (15 sampel). Variasi dengan peningkatan stabilitas signifikan selanjutnya diuji durabilitas melalui perendaman 24, 36, 48, 60 dan 72 jam pada suhu terkontrol pada suhu 60°C (45 sampel). Total benda uji dalam penelitian ini berjumlah 75 sampel.

Pengujian meliputi Marshall Test untuk memperoleh parameter Stabilitas, Flow, *Marshall Quotient* (MQ), VMA, VFA, VIM, dan *Density*, serta pengujian durabilitas menggunakan Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dianalisis untuk mengevaluasi ketahanan campuran terhadap pengaruh perendaman air (Craus et al., 1981). Data diolah untuk mengidentifikasi pola hubungan antarvariabel dan memprediksi perilaku variabel terikat berdasarkan perubahan variabel bebas (Rahman, 2016; Sudjana, 2005). Melalui pendekatan ini, kinerja campuran dapat dievaluasi secara kuantitatif sehingga kecenderungan pengaruh kadar Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap parameter Marshall dan durabilitas dapat dianalisis secara lebih sistematis.

HASIL

Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test dengan Bahan Tambah Semen Grouting StrongGrout G70

Tabel 1 menyajikan rekapitulasi hasil analisis dan pengujian Marshall Test pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan penambahan semen grouting StrongGrout G70 sebagai bahan filler. Sebelum dilakukan pembahasan lebih lanjut, terlebih dahulu dihitung parameter-parameter karakteristik campuran yang meliputi nilai *Density*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), Stabilitas, Flow, serta *Marshall Quotient* (MQ) berdasarkan metode Marshall.

Pengujian dilakukan terhadap lima variasi kadar bahan tambah, yaitu 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat filler dalam campuran, dengan pemadatan masing-masing 2×75 tumbukan sesuai prosedur standar Marshall untuk lalu lintas berat. Hasil pengujian selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi yang berlaku untuk menilai kesesuaian dan menentukan kecenderungan pengaruh penambahan semen grouting StrongGrout G70 terhadap kinerja campuran aspal.

Tabel 1 Rekapitulasi Pengujian Marshall Test dengan Bahan Tambah Semen Grouting StrongGrout G70

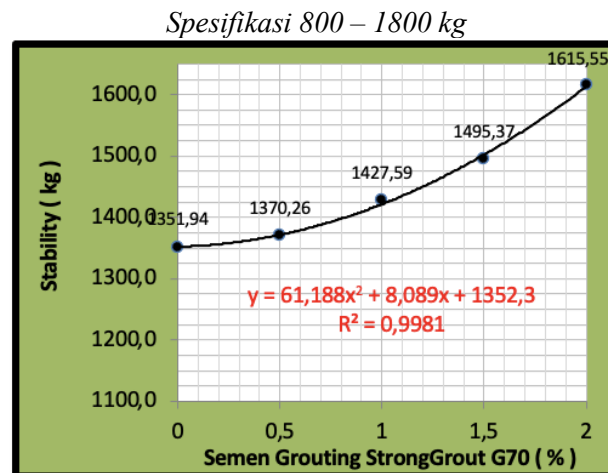
Sifat-Sifat Campuran	Hasil Uji Karakteristik Berdasarkan					Spesifikasi
	% Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap Berat Total Agregat					
	0,0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	
Density (gr/cm ³)	2,30	2,30	2,30	2,31	2,32	≥ 2,2 gr/cm ³
VIM (%)	4,28	4,18	4,03	3,71	3,21	3 – 5 %
VMA (%)	16,20	16,11	15,98	15,70	15,26	≥ 15%
VFA (%)	73,84	74,11	74,91	76,60	79,10	≥ 65%
Stabilitas (kg)	1351,94	1370,26	1427,59	1495,37	1615,55	800-1800 kg
Flow (mm)	3,10	3,03	2,83	2,67	2,50	2-4 mm
MO (kg/mm)	439,26	452,53	505,43	567,24	648,64	Min 250

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap Stabilitas

Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan lapis perkerasan dalam menahan beban lalu lintas tanpa menimbulkan deformasi permanen, seperti gelombang, alur roda (*rutting*), maupun bleeding. Nilai stabilitas

ditentukan oleh kombinasi sifat aspal dan agregat, yang meliputi nilai penetrasi dan kadar aspal, besarnya gesekan internal, serta kemampuan agregat untuk saling mengunci (*interlocking*). Selain itu, karakteristik bentuk butir, tekstur permukaan, dan gradasi agregat memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas campuran perkerasan.

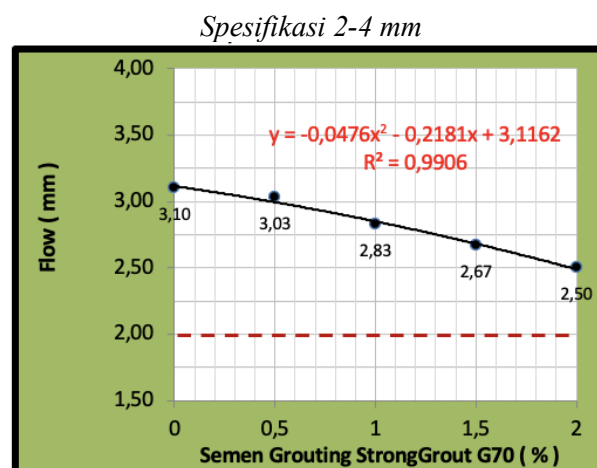


Gambar 1. Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap Stabilitas
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan analisis Gambar 1, campuran aspal dengan variasi Semen Grouting StrongGrout G70 sebesar 0% hingga 2% masih memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Peningkatan persentase Semen Grouting Strong Grout G70 menyebabkan nilai stabilitas pada kadar aspal optimum cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh peran semen grouting sebagai filler yang mengisi rongga antaragregat sehingga menurunkan kadar rongga dan meningkatkan kepadatan campuran. Namun, kepadatan yang berlebihan dapat meningkatkan kekakuan campuran, sehingga nilai stabilitas yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan keretakan akibat berkurangnya fleksibilitas campuran.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap Flow

Kelelehan (*flow*) adalah Deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Besar nilai flow dinyatakan dalam mm. Nilai flow dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.



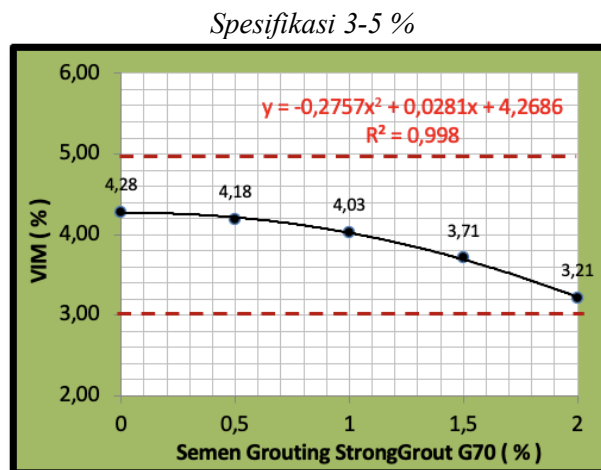
Gambar 2. Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap Flow
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil analisis Gambar 2, nilai flow pada campuran aspal dengan variasi penambahan Semen Grouting StrongGrout G70 sebesar 0% hingga 2% masih berada dalam batas persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2025. Terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai flow seiring dengan meningkatnya persentase Semen Grouting StrongGrout G70 yang digunakan. Penurunan nilai flow ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku akibat peningkatan kepadatan dan ikatan antarpartikel, sehingga kemampuan campuran untuk mengalami deformasi plastis semakin

berkurang. Nilai flow yang lebih rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kelelahan dan keruntuhan akibat beban lalu lintas berulang.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap VIM

VIM menunjukkan persentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran.

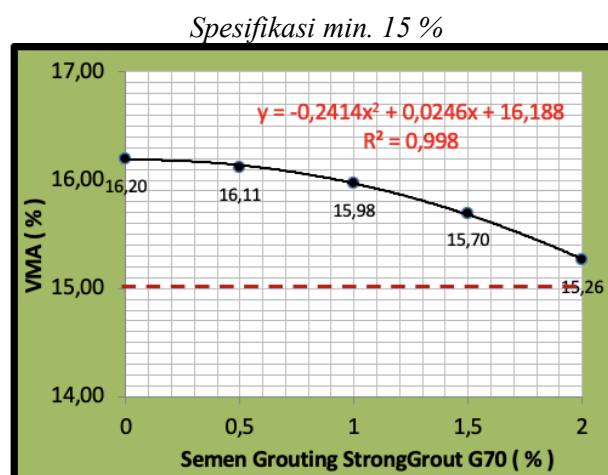


Gambar 3. Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap VIM
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil analisis Gambar 3, nilai *Void in Mix (VIM)* pada campuran aspal dengan variasi Semen Grouting StrongGrout G70 menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan persentase penambahan dari 0% hingga 2%. Penurunan nilai VIM ini menunjukkan berkurangnya volume rongga udara dalam campuran, yang disebabkan oleh peran Semen Grouting StrongGrout G70 sebagai filler yang mengisi rongga antaragregat. Semakin besar kadar Semen Grouting StrongGrout G70 yang digunakan, semakin kecil persentase rongga udara yang tersisa dalam campuran, sehingga struktur campuran menjadi lebih padat.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap VMA

Void in Mineral Aggregate (VMA) atau rongga diantara agregat adalah volume rongga udara diantara butir-butir agregat dalam campuran beraspal dalam kondisi padat. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka bisa memperlihatkan masalah stabilitas.



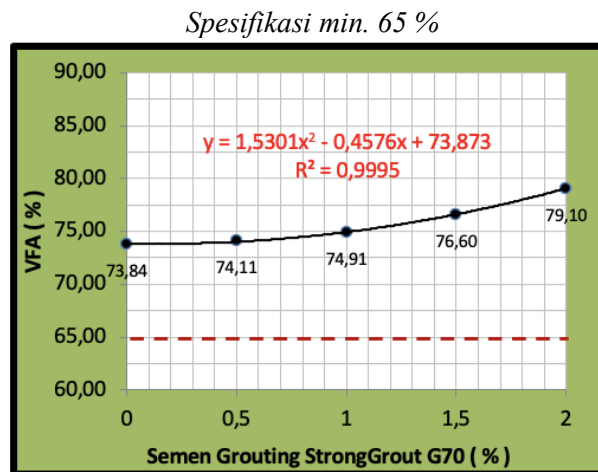
Gambar 4 Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap VMA
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil analisis Grafik 4, seluruh variasi penambahan Semen Grouting Strong Grout G70 pada campuran memenuhi persyaratan nilai *Void in Mineral Aggregate (VMA)* sesuai Spesifikasi Bina Marga, yaitu

minimum 15%. Seiring meningkatnya kadar Semen Grouting Strong Grout G70 dari 0% hingga 2%, nilai VMA mengalami penurunan bertahap, namun tetap berada di atas batas minimum. Hal ini menunjukkan campuran menjadi lebih rapat, tetapi masih memiliki ruang yang cukup untuk menampung aspal dengan baik.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap VFA

Void Filled With Asphalt (VFA) adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA). Mengecilnya nilai VMA pada kadar aspal yang tetap, berakibat memperbesar persentase rongga terisi aspal.

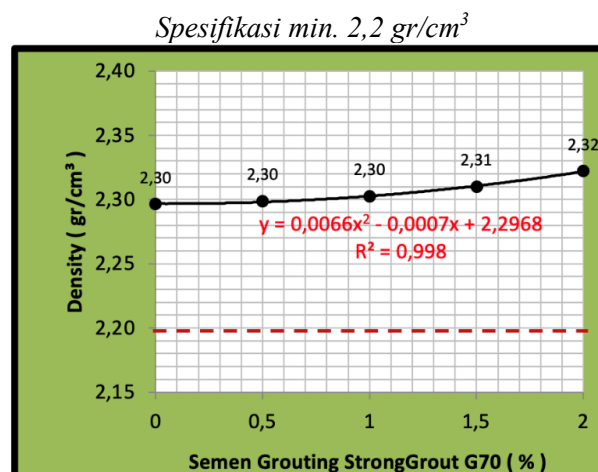


Gambar 5 Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap VFA
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil analisis Gambar 5 campuran aspal dengan variasi penambahan Semen Grouting StrongGrout G70 sebesar 0% hingga 2% masih memenuhi persyaratan spesifikasi yang ditetapkan. Terlihat bahwa peningkatan persentase Semen Grouting StrongGrout G70 dalam campuran diikuti oleh kenaikan nilai Void Filled with Asphalt (VFA). Peningkatan nilai VFA ini menunjukkan bahwa persentase volume rongga dalam campuran yang terisi aspal semakin besar seiring bertambahnya kadar Semen Grouting StrongGrout G70. Kondisi tersebut berbanding terbalik dengan nilai *Void in Mix* (VIM), di mana meningkatnya nilai VFA menunjukkan semakin kecilnya rongga udara yang tersisa, sehingga lebih banyak rongga yang terisi oleh aspal dan campuran menjadi lebih padat.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap Density

Density adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kerapatan campuran setelah dilakukan proses pemadatan. Semakin tinggi nilai density suatu campuran maka kerapatannya akan semakin baik. Nilai density dipengaruhi oleh gradasi agregat, kualitas agregat, kadar aspal, bahan additive dan proses pemadatan. Faktor – faktor yang mempengaruhi density adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar filler, dan kadar aspal.

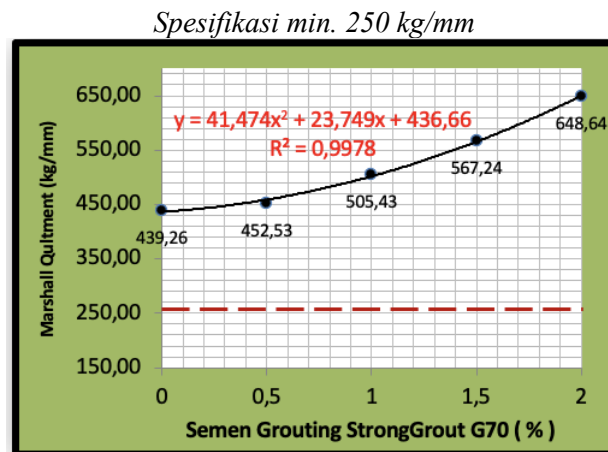


Gambar 6 Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap *Density*
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil analisis Gambar 5, nilai *density* campuran aspal mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar Semen Grouting StrongGrout G70 yang digunakan. Seluruh variasi campuran telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga, yaitu nilai *density* minimum sebesar 2,2 gr/cm³. Peningkatan nilai *density* ini menunjukkan bahwa penambahan Semen Grouting StrongGrout G70 berperan sebagai filler aktif yang mampu mengisi rongga antaragregat, sehingga volume rongga udara dalam campuran berkurang dan struktur perkerasan menjadi lebih rapat.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 Terhadap Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap *MQ*
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil analisis Gambar 6, nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada campuran aspal dengan variasi penambahan Semen Grouting StrongGrout G70 sebesar 0% hingga 2% menunjukkan kecenderungan meningkat. Peningkatan nilai MQ ini terjadi sebagai akibat meningkatnya nilai stabilitas seiring bertambahnya kadar Semen Grouting StrongGrout G70, disertai dengan menurunnya nilai flow. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku dan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap deformasi, sehingga kemampuan campuran dalam menahan beban lalu lintas meningkat

Analisis dan Hasil Pengujian Durabilitas dengan Metode Rendaman terhadap Semen Grouting StrongGrout G70

Durabilitas adalah kemampuan campuran beraspal mempertahankan kinerja akibat pengaruh suhu dan air dalam periode tertentu. Air menjadi faktor utama penurunan durabilitas karena dapat melemahkan ikatan aspal–agregat, sehingga campuran yang sering terendam cenderung mengalami degradasi. Meskipun kadar aspal tinggi dapat meningkatkan durabilitas, paparan air jangka panjang tetap berpotensi menurunkan kinerja perkerasan. Oleh sebab itu, dilakukan pengujian Marshall dengan metode rendaman pada suhu 60°C untuk mengevaluasi perubahan stabilitas. Parameter yang digunakan meliputi Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama, dan Indeks Durabilitas Kedua.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Pengujian dilakukan melalui perendaman benda uji selama 24, 36, 48, 60, dan 72 jam pada suhu 60°C, kemudian diuji stabilitas Marshall-nya. Nilai IKS diperoleh dari perbandingan stabilitas sebelum dan sesudah perendaman dalam bentuk persentase. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025, stabilitas Marshall sisa yang dipersyaratkan adalah minimum 90% (Spesifikasi Umum, 2025). Nilai IKS tersebut selanjutnya digunakan sebagai indikator durabilitas campuran aspal terhadap pengaruh air.

Tabel 2 Rekapitulasi Nilai Indeks Kekuatan Sisa dengan Bahan Tambah 0 % Semen Grouting StrongGrout G70

Sampel	Suhu Rendaman	Stabilitas Awal (So) kg	Lama Perendaman 0 %									
			24 Jam		36 Jam		48 Jam		60 Jam		72 Jam	
			Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)
1	60 °C	1336,96	1211,66	90,63	1182,11	88,42	1167,33	87,31	1106,45	82,29	1063,90	79,58
2		1344,65	1226,44	91,21	1191,56	88,62	1137,78	84,62	1063,90	79,12	1021,34	75,96
3		1374,20	1219,05	88,71	1211,66	88,17	1152,55	83,87	1085,17	78,97	1035,53	75,35
	Rata-Rata	1351,94	1219,05	90,17	1195,11	88,40	1152,55	85,25	1085,17	80,27	1040,25	76,95

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 3 Rekapitulasi Nilai Indeks Kekuatan Sisa dengan Bahan Tambah 1 % Semen Grouting StrongGrout G70

Sampel	Suhu Rendaman	Stabilitas Awal (So) kg	Lama Perendaman 1 %									
			24 Jam		36 Jam		48 Jam		60 Jam		72 Jam	
			Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)
1	60 °C	1388,98	1329,87	95,74	1270,77	91,49	1226,44	88,30	1211,66	87,23	1120,64	80,68
2		1475,27	1359,42	92,15	1315,09	89,14	1285,54	87,14	1241,21	84,13	1196,88	81,13
3		1418,53	1344,65	94,79	1285,54	90,63	1255,99	88,54	1226,44	86,46	1134,82	80,00
	Rata-Rata	1427,59	1344,65	94,19	1290,47	90,39	1255,99	87,98	1226,44	85,91	1150,78	80,61

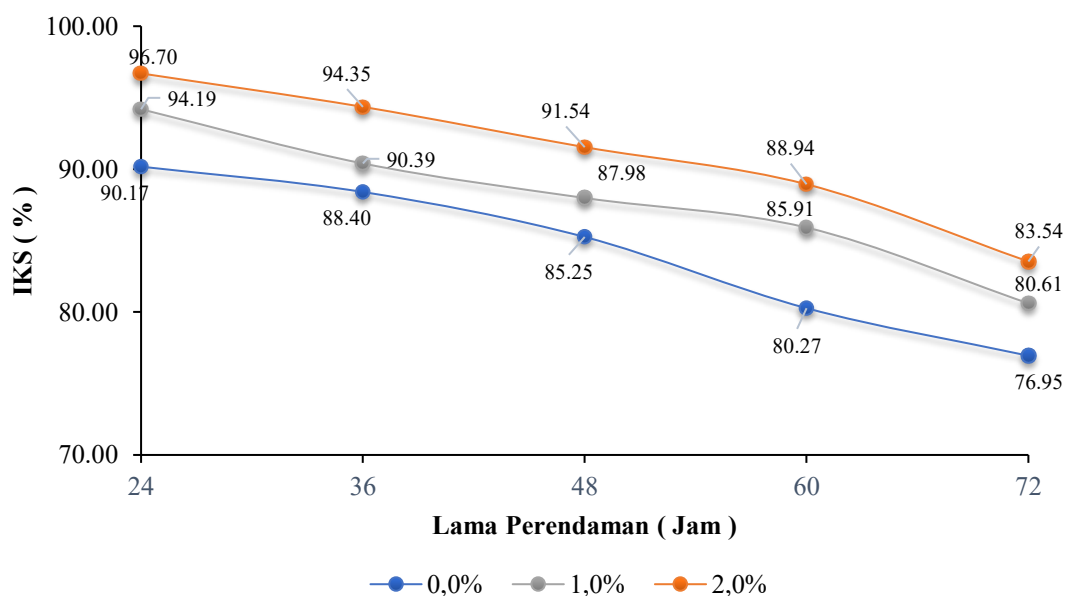
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 4 Rekapitulasi Nilai Indeks Kekuatan Sisa dengan Bahan Tambah 2 % Semen Grouting StrongGrout G70

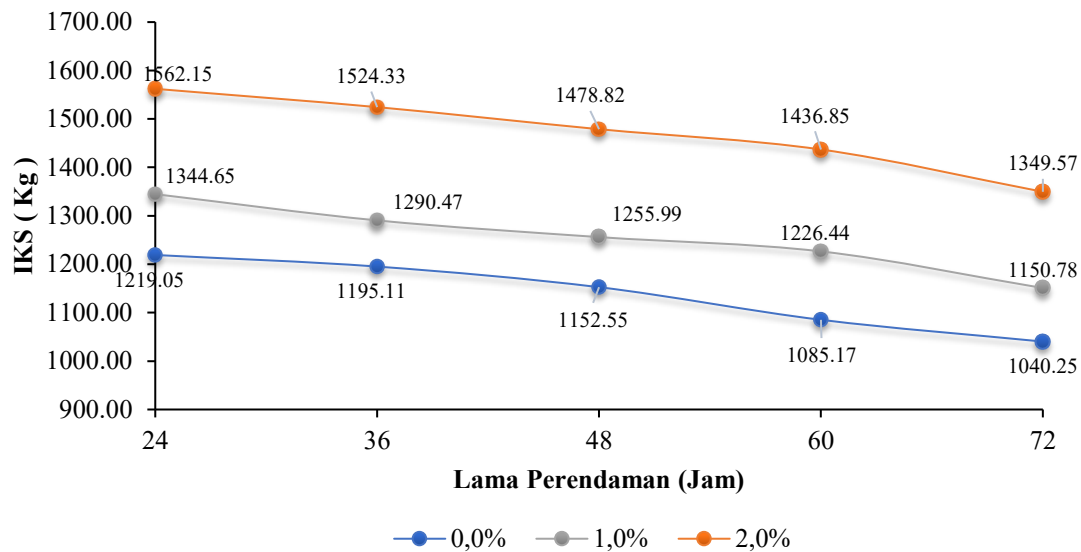
Sampel	Suhu Rendaman	Stabilitas Awal (So) kg	Lama Perendaman 2 %									
			24 Jam		36 Jam		48 Jam		60 Jam		72 Jam	
			Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)
1	60 °C	1581,07	1552,11	98,17	1521,37	96,22	1475,27	93,31	1429,17	90,39	1329,87	84,11
2		1610,62	1551,52	96,33	1507,19	93,58	1462,86	90,83	1444,53	89,69	1374,20	85,32
3		1654,95	1582,84	95,64	1544,42	93,32	1498,32	90,54	1436,85	86,82	1344,65	81,25
	Rata-Rata	1615,55	1562,15	96,70	1524,33	94,35	1478,82	91,54	1436,85	88,94	1349,57	83,54

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) ditentukan berdasarkan perbandingan nilai stabilitas campuran setelah perendaman pada durasi 24 jam, 36 jam, 48 jam, 60 jam, dan 72 jam. Tren penurunan nilai IKS pada masing-masing variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9 berikut.



Gambar 8 Grafik Hubungan Nilai IKS (%) Dengan Lama Rendaman
Sumber: Hasil Analisis, 2026



Gambar 9 Grafik Hubungan Nilai IKS (Kg) Dengan Lama Rendaman
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan analisis Gambar 8 dan Gambar 9, nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) seluruh variasi campuran menurun seiring bertambahnya waktu perendaman dari 24 hingga 72 jam. Pada campuran normal (0%), IKS sebesar 90,17% (24 jam) dan turun bertahap menjadi 76,95% (72 jam). Campuran ini hanya memenuhi syarat minimum IKS $\geq 90\%$ sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 pada 24 jam, dan berada di bawah standar setelahnya. Pada variasi 1% Semen Grouting StrongGrout G70, nilai IKS 94,19% (24 jam) dan menurun menjadi 80,61% (72 jam). Campuran masih memenuhi spesifikasi hingga 36 jam, namun tidak lagi setelah 48 jam. Sementara itu, variasi 2% menunjukkan kinerja terbaik dengan IKS 96,70% (24 jam) dan 83,54% (72 jam). Campuran ini mampu mempertahankan IKS $\geq 90\%$ hingga 48 jam, dan baru turun di bawah spesifikasi pada 60 jam. Secara umum, peningkatan kadar Semen Grouting StrongGrout G70 terbukti memperlambat penurunan IKS akibat penetrasi air yang melemahkan ikatan aspal-agregat. Variasi 2% memberikan durabilitas paling optimal dibandingkan variasi lainnya.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama didefinisikan sebagai kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Indeks Durabilitas Pertama yang disimbolkan dalam satuan r (%) ialah penurunan stabilitas pada campuran seiring dilakukannya perendaman diakibatkan terjadinya penurunan kekuatan antara aspal dan agregat, r positif menandakan adanya penurunan stabilitas (kehilangan kekuatan), jika yang diperoleh nilai “ r ” negatif menandakan adanya peningkatan stabilitas (perolehan kekuatan).

Tabel 5 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Pertama dengan Bahan Tambah 0 % Semen Grouting StrongGrout G70

StrongGrout G70											
Suhu Rendaman	Stabilitas Awal (So) kg	Lama Perendaman 0% StrongGrout G70									
		24 Jam		36 Jam		48 Jam		60 Jam		72 Jam	
		r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)
60 C	1351.94	0.42	5.58	0.33	4.38	0.31	4.17	0.33	4.46	0.32	4.34

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Pertama dengan Bahan Tambah 1 % Semen Grouting StrongGrout G70

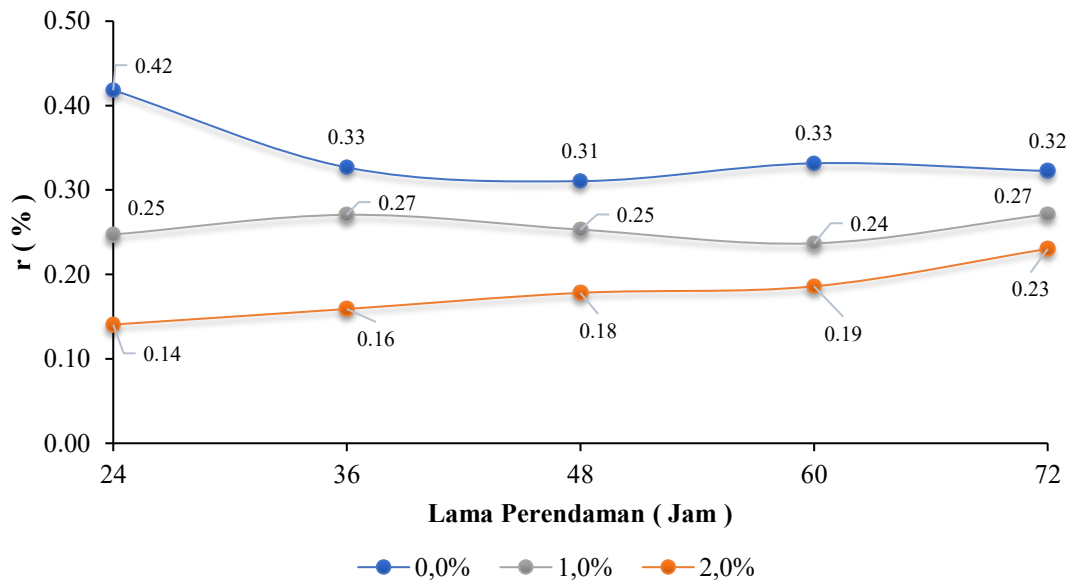
Suhu Rendaman	Stabilitas Awal (So) kg	Lama Perendaman 1% StrongGrout G70									
		24 Jam		36 Jam		48 Jam		60 Jam		72 Jam	
		r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)
60 C	1388,98	0,25	3,50	0,27	3,84	0,25	3,60	0,24	3,37	0,27	3,86

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 7 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Pertama dengan Bahan Tambah 2 % Semen Grouting StrongGrout G70

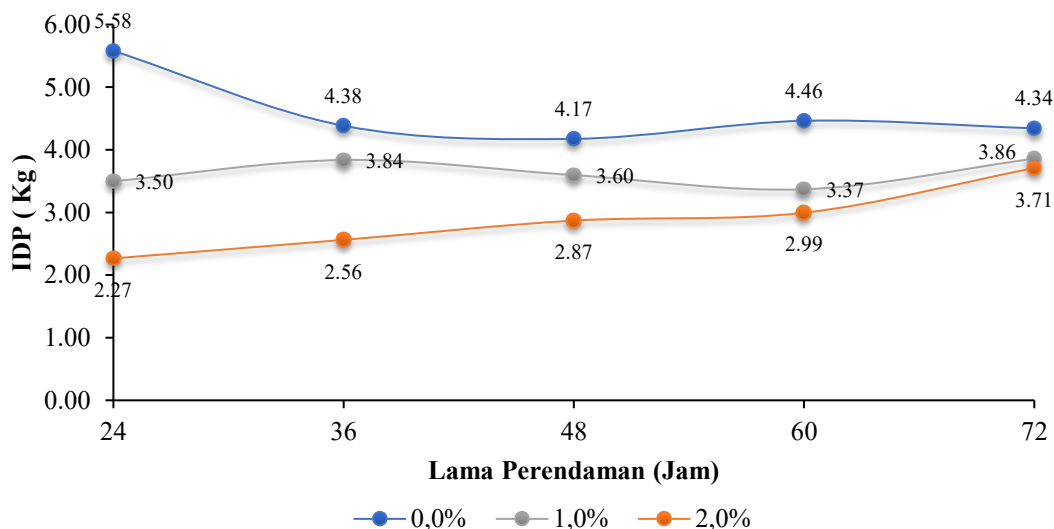
Suhu Rendaman	Stabilitas Awal (So) kg	Lama Perendaman 2% StrongGrout G70									
		24 Jam		36 Jam		48 Jam		60 Jam		72 Jam	
		r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)
60 C	1615,55	0,14	2,27	0,16	2,56	0,18	2,87	0,19	2,99	0,23	3,71

Sumber: Hasil Analisis, 2026



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 10 Grafik Hubungan Nilai IDP (%) Dengan Lama Rendaman



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 11 Grafik Hubungan Nilai IDP (Kg) Dengan Lama Rendaman

Berdasarkan analisis Gambar 10 dan Gambar 11, hubungan antara Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan lama perendaman menunjukkan bahwa kehilangan kekuatan meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman pada seluruh variasi campuran. Semakin besar nilai IDP, semakin tinggi tingkat kehilangan stabilitas akibat pengaruh air. Pada campuran normal (0%) dengan stabilitas awal 1351,94 kg, nilai IDP berkisar antara 0,31–0,42% selama 24–72 jam, dengan kehilangan stabilitas 4,17–5,58 kg. Nilai ini merupakan yang tertinggi, sehingga menunjukkan campuran tanpa bahan tambah lebih rentan terhadap perendaman. Pada variasi 1% Semen Grouting StrongGrout G70, stabilitas

awal meningkat menjadi 1388,98 kg dengan IDP 0,24–0,27% dan kehilangan stabilitas 3,37–3,86 kg. Hasil ini menunjukkan penurunan tingkat kehilangan kekuatan dibanding campuran normal. Variasi 2% memiliki stabilitas awal tertinggi sebesar 1615,55 kg dan IDP terendah, yaitu 0,14–0,23%, dengan kehilangan stabilitas 2,27–3,71 kg. Secara keseluruhan, peningkatan kadar Semen Grouting StrongGrout G70 efektif menurunkan nilai IDP dan kehilangan stabilitas, dengan variasi 2% menunjukkan durabilitas terbaik hingga 72 jam perendaman.

Pengaruh Semen Grouting StrongGrout G70 terhadap Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks durabilitas kedua merupakan parameter yang menyatakan rata-rata luasan kehilangan kekuatan antara kurva keawetan dan garis $So = 100\%$. Indeks ini menggambarkan besarnya kehilangan kekuatan dalam satu hari perendaman. Nilai “a” positif menunjukkan terjadinya penurunan kekuatan, sedangkan nilai “a” negatif menandakan adanya peningkatan kekuatan. Karena nilai $a < 100$, parameter ini dapat dinyatakan sebagai persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (Sa).

Adapun Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Kedua dapat dilihat pada tabel 8,9, dan 10 berikut :

Tabel 8 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Kedua Pada 0 % Semen Grouting StrongGrout G70

Waktu Rendaman	a (%)	Sa (%)	A(kg)	SA (Kg)
24	4,14	95,86	55,95	1295,98
36	5,08	94,92	68,67	1283,27
48	6,66	93,34	90,03	1261,91
60	9,13	90,87	123,46	1228,48
72	10,80	89,20	145,98	1205,96

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 9 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Kedua Pada 1 % Semen Grouting StrongGrout G70

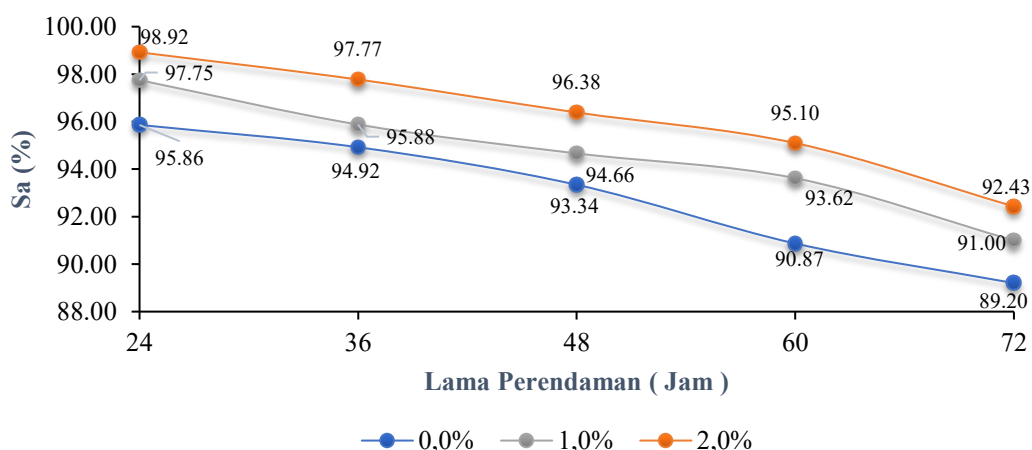
Waktu Rendaman	a (%)	Sa (%)	A(kg)	SA (Kg)
24	2,25	97,75	31,32	1357,66
36	4,12	95,88	57,27	1331,70
48	5,34	94,66	74,14	1314,83
60	6,38	93,62	88,64	1300,34
72	9,00	91,00	125,06	1263,92

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 10 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Kedua Pada 2 % Semen Grouting StrongGrout G70

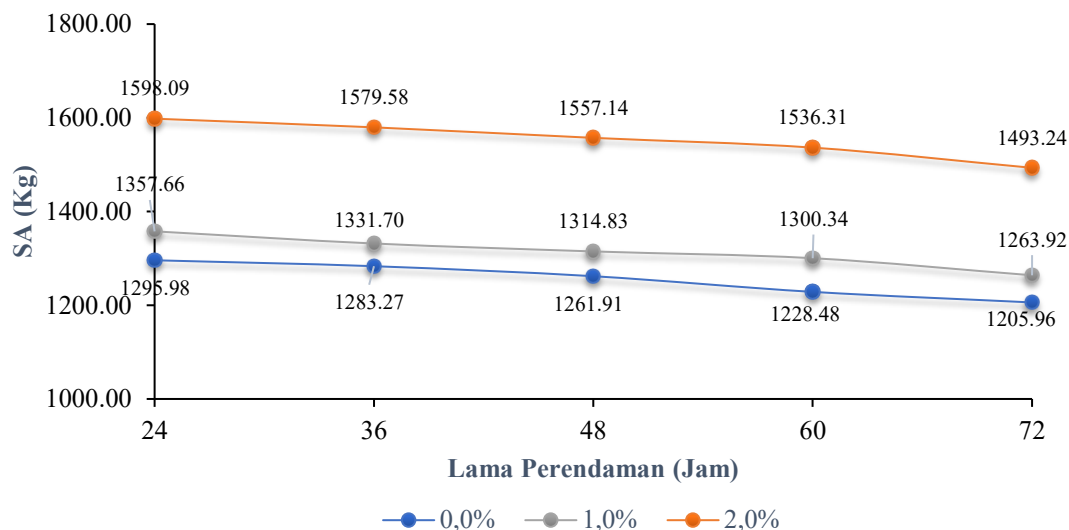
Waktu Rendaman	a (%)	Sa (%)	A(kg)	SA (Kg)
24	1,08	98,92	17,45	1598,09
36	2,23	97,77	35,97	1579,58
48	3,62	96,38	58,40	1557,14
60	4,90	95,10	79,24	1536,31
72	7,57	92,43	122,31	1493,24

Sumber: Hasil Analisis, 2026



Sumber: Hasil Analisis, 2026

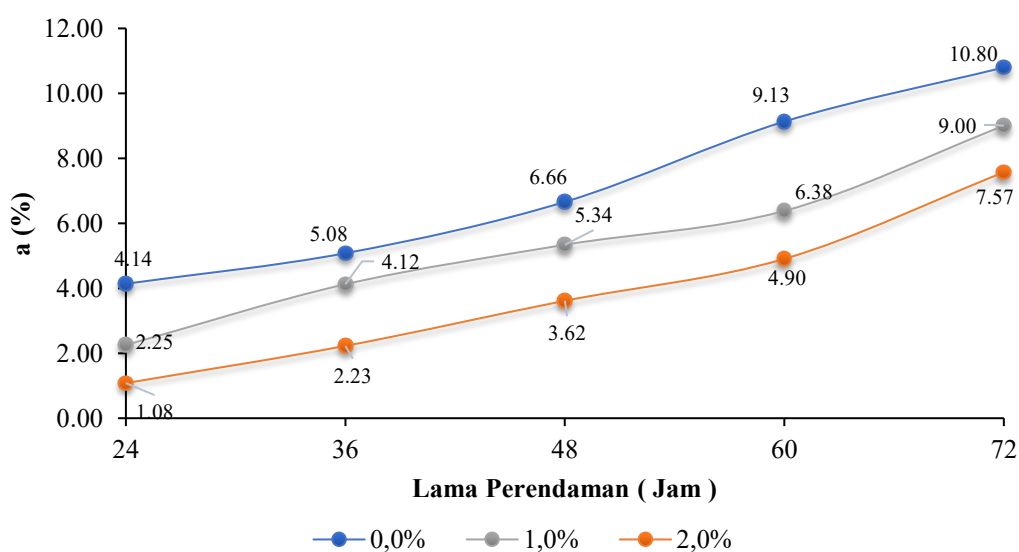
Gambar 12 Grafik Hubungan Nilai IDK (Sa) % Dengan Lama Perendaman



Sumber: Hasil Analisis, 2026

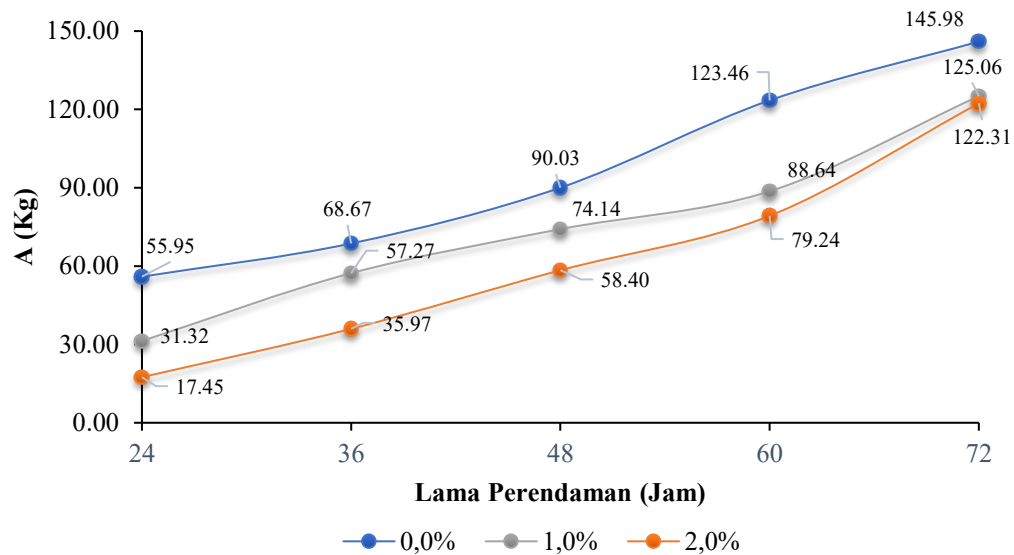
Gambar 13 Grafik Hubungan Nilai IDK (SA) kg Dengan Lama Perendaman

Berdasarkan analisis Indeks Durabilitas Kedua (IDK), kekuatan sisa satu hari dievaluasi dalam bentuk persentase (Sa %) dan nilai absolut (SA, kg) untuk menunjukkan kemampuan campuran mempertahankan stabilitas setelah perendaman. Pada campuran normal (0%), nilai Sa menurun dari 95,86% (1295,98 kg) pada 24 jam menjadi 89,20% (1205,96 kg) pada 72 jam, dengan penurunan kekuatan 90,02 kg. Turunnya Sa di bawah 90% pada 72 jam menunjukkan ketahanan campuran tanpa bahan tambah relatif terbatas terhadap pengaruh air. Pada variasi 1% Semen Grouting StrongGrout G70, nilai Sa sebesar 97,75% (1357,66 kg) pada 24 jam dan 91,00% (1263,92 kg) pada 72 jam, dengan penurunan 93,74 kg. Meskipun menurun, kekuatan sisa tetap lebih tinggi dibanding campuran normal pada setiap interval waktu, sehingga menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap perendaman. Variasi 2% memberikan hasil terbaik dengan Sa 98,92% (1598,09 kg) pada 24 jam dan 92,43% (1493,24 kg) pada 72 jam. Walaupun terjadi penurunan 104,85 kg, nilai SA pada 72 jam masih tertinggi, bahkan melampaui campuran normal pada 24 jam. Secara keseluruhan, peningkatan kadar Semen Grouting StrongGrout G70, khususnya 2%, efektif meningkatkan kekuatan sisa dan durabilitas campuran terhadap perendaman air.



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 14 Grafik Hubungan Nilai IDK (a %) Dengan Lama Perendaman



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 15 Grafik Hubungan Nilai IDK (A) kg Dengan Lama Perendaman

Parameter a (%) menunjukkan persentase kehilangan kekuatan ekuivalen satu hari, sedangkan A (kg) menyatakan kehilangan kekuatan secara absolut. Semakin besar nilai a dan A , semakin rendah tingkat durabilitas campuran. Pada campuran tanpa bahan tambah (0%), nilai a meningkat dari 4,14% menjadi 10,80% seiring bertambahnya waktu perendaman, menunjukkan degradasi kekuatan yang progresif dan kerentanan tinggi terhadap air. Pada variasi 1% Semen Grouting StrongGrout G70, nilai a dan A lebih rendah dibandingkan campuran normal pada seluruh durasi perendaman, menandakan laju degradasi kekuatan yang lebih lambat. Variasi 2% menunjukkan nilai a terendah pada seluruh waktu perendaman, yang mengindikasikan ketahanan terbaik terhadap kehilangan kekuatan akibat air. Secara umum, peningkatan kadar Semen Grouting StrongGrout G70 berbanding terbalik dengan nilai a (%), sehingga variasi 2% memberikan performa durabilitas paling optimal.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Semen Grouting StrongGrout G70 sebagai filler pada campuran AC-WC mampu meningkatkan kinerja Marshall dan durabilitas. Kenaikan kadar 0%–2% meningkatkan stabilitas dari 1351,94 kg menjadi 1615,55 kg dan Marshall Quotient dari 439,26 kg/mm menjadi 648,64 kg/mm, serta menurunkan flow dari 3,10 mm menjadi 2,50 mm, yang mengindikasikan campuran lebih kaku dan lebih tahan terhadap deformasi plastis. Parameter volumetrik juga membaik, ditunjukkan oleh penurunan VIM dan VMA serta peningkatan VFA dan density, sehingga campuran menjadi lebih padat dan lebih kedap air.

Dari sisi durabilitas, variasi 2% menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai IKS $\geq 90\%$ hingga 48 jam dan kehilangan stabilitas terendah pada parameter IDP dan IDK. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan kadar bahan tambah efektif memperbaiki ketahanan terhadap perendaman. Namun, penelitian ini masih terbatas pada skala laboratorium, variasi kadar maksimum 2%, dan durasi rendaman 72 jam, serta belum mencakup evaluasi jangka panjang dan aspek ekonomi. Secara praktis, kadar 2% memberikan performa paling optimal dengan tetap mempertimbangkan kondisi lapangan..

SIMPULAN

Penggunaan Semen Grouting StrongGrout G70 sebagai filler berpengaruh signifikan terhadap karakteristik AC-WC. Peningkatan kadar 0%–2% menaikkan stabilitas (1351,94–1615,55 kg), MQ (439,26–648,64 kg/mm), dan density (2,30–2,32 gr/cm³), serta menurunkan flow (3,10–2,50 mm), VIM (4,28%–3,21%), dan VMA (16,20%–15,26%), dengan peningkatan VFA (73,84%–79,10%). Seluruh parameter memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2025, yang menunjukkan bahwa StrongGrout G70 efektif dalam meningkatkan stabilitas, kepadatan, dan kekakuan campuran. Kadar terbaik diperoleh pada 2%, yang memberikan keseimbangan terbaik antara stabilitas dan fleksibilitas. Pada aspek durabilitas, variasi 2% mampu mempertahankan IKS $\geq 90\%$ hingga 48 jam, memiliki IDP terendah (0,14%–0,23%), serta nilai S_a tertinggi pada IDK (98,92% menjadi 92,43%) dengan kehilangan kekuatan paling kecil hingga 72 jam. Secara keseluruhan, semakin tinggi kadar StrongGrout G70, semakin baik ketahanan campuran terhadap pengaruh air, dengan variasi 2% menunjukkan performa terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifuddin, A. (2020). *Beton Campuran Aspal Serat*. Tohar Media.
- Alifuddin, A., & Arifin, W. (2020). Analisis Durabilitas Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Terhadap Penggunaan Serat Selulosa (Serat Asbes). *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(2), 84–95. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v5i2.78>
- Amirudin, Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Pengaruh Siklus Perendaman Terhadap Parameter. *Prosiding Seminar Nasional Teknol Tahun 2023 (SENATIKA 2023)*, 2(2), 1–15.
- Craus, J., Ishai, I., & Sides, A. (1981). Durability Of Bituminous Paving Mixtures As Related to Filler Type and Properties (With Discussion). *Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings*, 50. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:136851691>
- Gusty, S., Wulansari, I., Arba'in, M., Mustika, W., Kusuma, A., Abduh, N., Muslimin, E., Anton, E. E., & Iskandar, A. C. S. (2023). *Dasar-Dasar Transportasi*. Tohar Media.
- Heriyana, U., Prayitno, A., & Widagdo, D. (2024). Karakteristik Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 Ditinjau Dari Durabilitas Campuran. *Jurnal Rekayasa| Teknik Sipil STTC*, 2(02), 25–38.
- Im, A., Suganda, R., & M, J. P. (2023). Pengaruh Variasi Campuran Sika Grout 215 New Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Handasah*, 03(01), 1–7. <https://doi.org/10.14710/potensi.2024.21365>
- Indriani, A. M., Utomo, G., & Syahputra, M. R. (2023). Pengaruh siklus basah kering terhadap perilaku mekanik tanah lempung stabilisasi biosementasi dengan bakteri *Bacillus subtilis*. *Cived*, 10(2), 416–427. <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.399>
- Ma'ulva, A. A., Ridwan, A., & Damara, B. (2025). Penggunaan Semen Portland Sebagai Bahan Pengganti Abu Batu/Filler terhadap Karakteristik Aspal AC-WC. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 779–785. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i2.968>
- Naufal, M. F., & Firdaus. (2023). Pengaruh Penambahan SikagROUT 215 New Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Repository UBD*.
- Rahman, Z. (2016). Pengantar Statistika. In *Pengantar Statistika* (Issue September). <https://doi.org/10.14724/2002>
- Ramadhan, D. M., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Analisis Karakteristik Penggunaan Aspal Polimer PG 76 Terhadap Durabilitas Marshall Lapisan Asphalt Concrete-Wearing Course. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(3). <https://doi.org/10.62603/konteks.v1i3.40>
- Rosyad, F., Sakti, R. M., Irham, & Wahab, W. (2024). Analisis Pengaruh Substitusi Ban Bekas Terhadap Durabilitas Dan Flexibilitas Aspal Ac-Wc. *Rang Teknik Journal*, 7(2), 263–266. <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>
- Said, L. B., Misdawati, M., & St Maryam, H. (2021). Analisis Penurunan Umur Rencana Jalan Akibat Volume Kendaraan dan Kelebihan Muatan Pada Ruas Jalan Jend. Ahmad Yani Kota Parepare. *Jurnal Flyover*, 1(2), 38–47. <https://doi.org/10.52103/jfo.v1i2.749>
- Spesifikasi Umum. (2025). *Spesifikasi Umum 2025 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan* (2025th ed.). Kementerian Pekerjaan Umum.
- Sudjana, D. R. (2005). *Metode statistika*. Tarsito.