

Analisis Kuat Tekan dan Workability Beton dengan Penambahan Silica Fume dan Variasi Tras Lompotoo Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus (*Analysis of Compressive Strength and Workability of Concrete with The Addition of Silica Fume and Variations of Tras Lompotoo as Partial Substitution of Fine Aggregate*)

Rayhan Putri Maiyo¹, Kasmat Saleh Nur², Komang Arya Utama³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo

krymaiyo09@gmail.com¹, kasmatnur@ung.ac.id², komangaryuautama@gmail.com³

Article Info	Abstract
Article history: Received: 29 Januari 2026 Revised: 27 Maret 2026 Accepted: 30 Maret 2026 Keywords: Silica Fume Lompotoo Trass Fine aggregate Compressive strength Workability Kata Kunci: Silica Fume Tras Lompotoo Agregat Halus Kuat Tekan Workability	The use of pozzolanic materials, such as silica fume and Lompotoo trass, aims to enhance concrete performance while reducing the use of sand as a fine aggregate. Lompotoo trass is a material with a high fineness, making it suitable for partial substitution for fine aggregate. This study aims to analyze the effect of adding silica fume and varying the percentage of Lompotoo trass as a partial substitution for fine aggregate on the compressive strength and workability of concrete. The testing was conducted by producing four mix variations: normal concrete and concrete with partial substitution of Lompotoo trass for fine aggregate at 25%, 50%, and 75%. Each variation of Lompotoo trass substitution was combined with the addition of 10% silica fume. In general, changes in concrete characteristics were observed across all mix variations. The slump value showed a decreasing trend as the percentage of Lompotoo trass substitution increased. On the other hand, the compressive strength of normal concrete of $f'c$ 30.34 MPa increased to $f'c$ 32.16 MPa at 25% trass substitution, $f'c$ 32.97 MPa at 50% substitution, and reached $f'c$ 36.65 MPa at 75% substitution. These results indicate that the use of Lompotoo trass combined with silica fume enhances the compressive strength of concrete, although it is accompanied by a reduction in workability. Abstrak Pemanfaatan bahan pozzolan seperti silica fume dan tras Lompotoo merupakan upaya untuk meningkatkan kinerja beton sekaligus mengurangi penggunaan pasir sebagai agregat halus. Tras Lompotoo merupakan material yang memiliki tingkat kehalusan sehingga memenuhi syarat untuk digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan silica fume serta variasi tras Lompotoo sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan dan workability beton. Pengujian dilakukan melalui pembuatan empat variasi campuran, yaitu beton normal serta beton dengan substitusi parsial tras Lompotoo terhadap agregat halus sebesar 25%, 50%, dan 75%. Setiap variasi substitusi tras Lompotoo dikombinasikan dengan penambahan silica fume sebesar 10. Secara umum, terjadi perubahan karakteristik beton pada setiap variasi campuran yang digunakan. Nilai slump menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya kadar substitusi tras Lompotoo. Di sisi lain, kuat tekan beton normal sebesar $f'c$ 30,34 MPa meningkat menjadi $f'c$ 32,16 MPa pada substitusi tras 25%, $f'c$ 32,97 MPa pada substitusi 50%,

dan mencapai f'_c 36,65 MPa pada substitusi 75%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan tras Lompotoo yang dikombinasikan dengan silica fume memberikan peningkatan kuat tekan beton meskipun disertai penurunan *workability*.

Corresponding Author:

Rayhan Putri Maiyo
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo
krymaiyo09@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan teknik sipil karena memiliki kuat tekan yang tinggi, durabilitas yang baik, serta kemudahan dalam proses pembentukan sesuai kebutuhan konstruksi (Hamdi et al., 2022; Putra, 2021; Septiani et al., 2024). Beton tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu semen sebagai bahan pengikat, agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi, air sebagai media reaksi hidrasi, serta bahan tambah apabila diperlukan untuk meningkatkan kinerja beton (Bumolo & Rusnadin, 2018; Naim et al., 2018). Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh komposisi dan karakteristik material penyusunnya, sehingga pemilihan material yang tepat menjadi faktor penting dalam menghasilkan beton dengan mutu yang optimal, baik dari segi kuat tekan maupun *workability* (Mohamad et al., 2020; Sabrina et al., 2017).

Seiring dengan meningkatnya aktivitas pembangunan infrastruktur, kebutuhan terhadap material penyusun beton, khususnya agregat halus, terus mengalami peningkatan yang signifikan. Kondisi ini menimbulkan berbagai permasalahan, seperti keterbatasan ketersediaan sumber daya alam, eksploitasi material yang berlebihan, serta peningkatan biaya konstruksi (Saputra et al., 2025). Selain itu, pengambilan agregat halus secara terus-menerus dari sumber alam, seperti sungai, berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan dan gangguan terhadap keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mencari material alternatif yang tidak hanya ekonomis, tetapi juga berkelanjutan dan tetap mampu mempertahankan kualitas beton.

Salah satu material alternatif yang berpotensi dimanfaatkan adalah tras, yaitu material pozzolan alami yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi dalam campuran beton (Saliko et al., 2025; Waani et al., 2017). Tras Lompotoo merupakan material lokal yang terdapat di Desa Lompotoo, Kabupaten Bone Bolango, yang memiliki ukuran butiran relatif halus dan tekstur menyerupai agregat halus. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tras Lompotoo berpotensi digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus dalam campuran beton. Selain itu, ketersediaannya yang melimpah menjadikan material ini memiliki nilai ekonomis tinggi serta peluang pemanfaatan yang besar dalam mendukung penggunaan sumber daya lokal secara optimal.

Namun demikian, penggunaan material substitusi agregat halus seperti tras dapat mempengaruhi sifat mekanik dan *workability* beton apabila tidak dirancang dengan komposisi yang tepat. Penurunan kuat tekan dan perubahan tingkat kelecakan beton menjadi tantangan utama dalam pemanfaatan material ini. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menjaga dan meningkatkan mutu beton melalui penggunaan bahan tambah yang sesuai. Salah satu bahan tambah mineral yang banyak digunakan dalam teknologi beton adalah silica fume, yang memiliki ukuran partikel sangat halus serta kandungan silika reaktif yang tinggi. Silica fume berperan dalam meningkatkan kerapatan mikrostruktur beton, mengurangi porositas, serta meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kesenjangan penelitian, khususnya dalam kajian pemanfaatan tras Lompotoo sebagai substitusi agregat halus yang dikombinasikan dengan penggunaan silica fume dalam campuran beton. Penelitian sebelumnya cenderung mengkaji penggunaan material pozzolan atau bahan tambah secara terpisah, sehingga kajian mengenai kombinasi keduanya, terutama pada material lokal seperti tras Lompotoo, masih terbatas. Hal ini menunjukkan adanya peluang untuk mengembangkan inovasi dalam teknologi beton melalui pemanfaatan material lokal yang dikombinasikan dengan bahan tambah modern untuk meningkatkan kinerja beton.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan tras Lompotoo sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan beton, mengkaji peran silica fume dalam meningkatkan mutu beton, serta mengevaluasi pengaruh kombinasi kedua material tersebut terhadap

workability beton. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan komposisi campuran yang optimal sehingga dapat menghasilkan beton yang efisien, ekonomis, dan tetap memenuhi standar mutu yang berlaku. Dengan demikian, penelitian ini memiliki urgensi dalam mendukung pemanfaatan material lokal, mengurangi ketergantungan terhadap agregat alam, serta memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi beton yang lebih berkelanjutan, inovatif, dan ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian, mulai dari persiapan material, pengujian karakteristik agregat, hingga pembuatan dan pengujian benda uji beton, dilakukan secara terkontrol di laboratorium guna memastikan konsistensi dan akurasi hasil penelitian.

2.2 Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan utama penyusun beton. Semen yang digunakan adalah Portland Composite Cement (PCC) dengan merek dagang Conch®. Agregat halus berupa pasir yang bersumber dari Sungai Bone, Kecamatan Suwawa, sedangkan agregat kasar berupa kerikil diperoleh dari Stone Crusher PT. Cahaya Mandiri Persada. Selain itu, digunakan silica fume jenis SikaFume® MS 610 sebagai bahan tambah dengan komposisi tetap sebesar 10% dari berat semen untuk meningkatkan mutu beton. Tras Lompotoo digunakan sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan variasi sebesar 25%, 50%, dan 75%.

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dilakukan secara sistematis, meliputi tahap persiapan, pengujian karakteristik material, pembuatan benda uji beton, serta perawatan (curing) benda uji. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan bahwa proses penelitian berjalan secara terstruktur dan menghasilkan data yang valid.

2.3.1 Tahap Persiapan

Pada tahap awal dilakukan studi literatur melalui berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku referensi, dan sumber relevan lainnya untuk memperkuat landasan teori penelitian. Selain itu, dilakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan selama penelitian, termasuk penentuan variasi campuran beton yang akan diuji.

2.3.2 Pengujian Karakteristik Material

Sebelum digunakan dalam campuran beton, seluruh material terlebih dahulu diuji untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekaniknya. Pengujian dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus, dan tras Lompotoo. Jenis pengujian yang dilakukan meliputi analisis gradasi, berat jenis, kadar air, serta sifat lain yang relevan sesuai dengan standar pengujian material konstruksi. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh material memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton.

2.3.3 Pembuatan Benda Uji Beton

Setelah karakteristik material diketahui, dilakukan proses pencampuran beton sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, silica fume ditambahkan sebesar 10% dari berat semen, sedangkan tras Lompotoo digunakan sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 25%, 50%, dan 75%. Campuran beton kemudian dicetak menjadi benda uji berbentuk silinder sesuai dengan standar yang berlaku. Proses pencetakan dilakukan dengan memperhatikan teknik pemadatan yang optimal untuk menghindari terbentuknya rongga udara di dalam beton.

2.3.4 Perawatan (Curing) Benda Uji

Setelah proses pencetakan, benda uji beton dirawat dengan metode curing untuk menjaga kelembaban dan memastikan proses hidrasi semen berlangsung dengan baik. Proses curing dilakukan selama periode tertentu sesuai dengan standar pengujian beton, sehingga dapat diperoleh hasil pengujian yang representatif terhadap kondisi beton yang sebenarnya.

2.4 Teknik Analisis Data

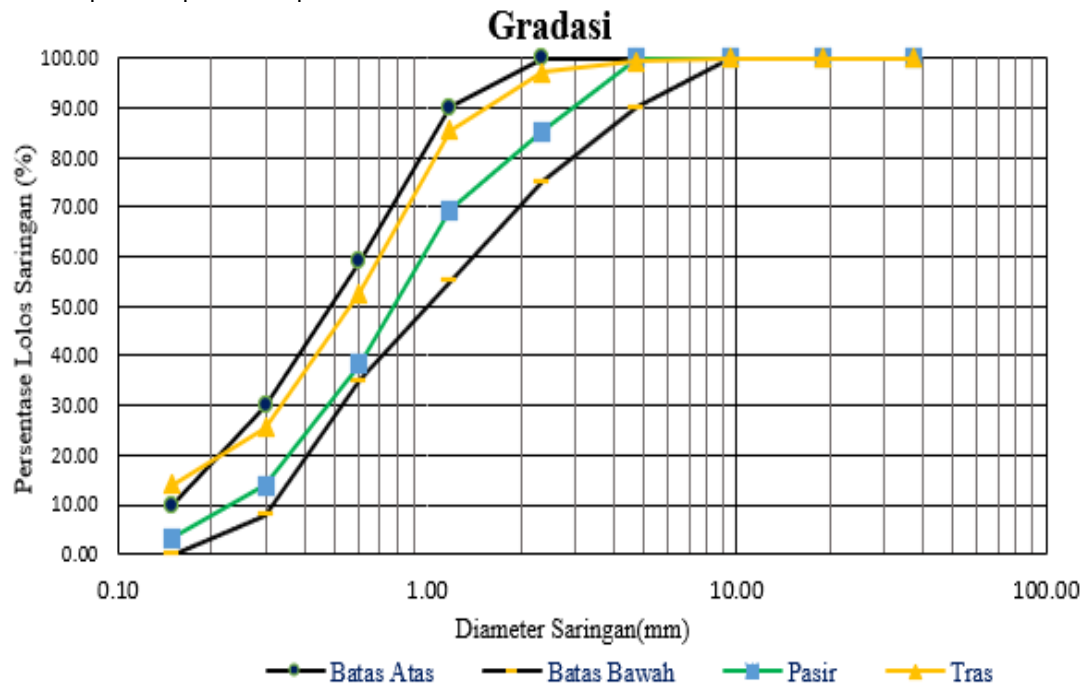
Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui pengaruh penggunaan silica fume dan variasi substitusi tras Lompotoo terhadap karakteristik beton, khususnya kuat tekan dan workability. Hasil analisis kemudian dibandingkan antar variasi campuran untuk menentukan komposisi yang memberikan kinerja beton terbaik, baik dari segi kekuatan maupun kelecakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gradasi

Gradasi agregat merupakan parameter penting dalam perancangan campuran beton karena berpengaruh terhadap kebutuhan pasta semen, kualitas, kekuatan, dan *workability* beton (Trisula, 2026). Semakin tinggi kandungan butiran halus, semakin besar luas permukaan agregat yang harus dilapisi pasta

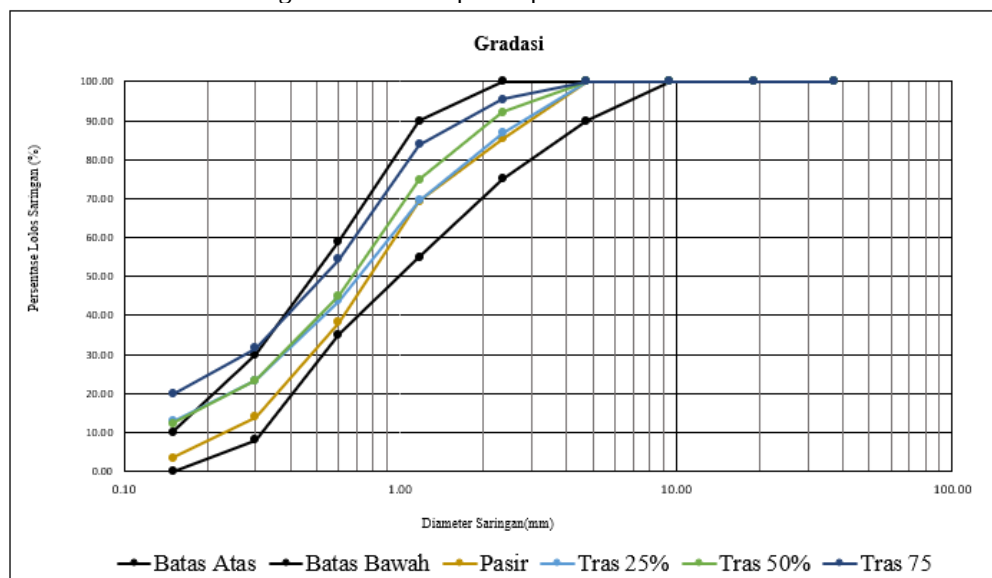
semen sehingga kebutuhan pasta menjadi lebih tinggi. Agregat dengan gradasi yang baik akan menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat, mengurangi rongga di antara butiran, serta memungkinkan penggunaan pasta semen yang lebih efisien (Jauhari & Doda, 2019; Umar & Trimurtiningrum, 2023). Hasil gradasi pasir dan tras Lompotoo dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Gradasi Pasir dan Tras Lompotoo

Hasil gradasi menunjukkan bahwa baik pasir maupun tras yang digunakan termasuk dalam kategori Zona 2 sesuai standar pembagian gradasi agregat halus. Data gradasi pasir memperlihatkan seluruh persentase lolos saringan berada di dalam rentang batas atas dan batas bawah untuk Zona 2, sehingga karakteristik butirannya dapat dikatakan sesuai standar.

Pada material tras, sebagian besar data gradasi juga masih berada dalam batas yang dipersyaratkan. Namun, terdapat satu pengecualian pada saringan No. 100, di mana persentase lolos Tras Lompotoo mencapai sekitar 14%, sedikit melebihi batas atas Zona 2 yang hanya 10%. Kondisi ini menunjukkan bahwa tras memiliki fraksi butiran halus lebih banyak dibandingkan pasir. Grafik gradasi juga memperlihatkan kurva tras lebih dekat ke batas atas zona, sehingga dapat disimpulkan bahwa tras bertekstur lebih halus dan cenderung memiliki kadar partikel halus yang lebih tinggi. Sebelum dilakukan proses pencampuran beton, agregat halus yang digunakan telah divariasikan melalui substitusi Tras Lompotoo sebesar 25%, 50%, dan 75%. Variasi ini dilakukan karena setiap persentase penambahan Tras Lompotoo berpotensi mengubah karakteristik fisik material. Hasil gradasi ini ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Tras dengan Nilai *Slump Flow*
Sumber: Data Penelitian

Hasil pengujian gradasi terhadap tiga variasi campuran agregat halus dengan substitusi tras Lompotoo sebesar 25%, 50%, dan 75% menunjukkan adanya perubahan yang signifikan pada distribusi ukuran butir. Hal ini terlihat dari nilai persentase lolos pada saringan No. 100 yang pada ketiga variasi berada di atas batas atas klasifikasi Zona 2, yaitu sebesar 10%. Campuran dengan substitusi tras 25% menunjukkan nilai persentase lolos sebesar 12,75%, sedangkan pada variasi 50% sebesar 12,17%, dan pada variasi 75% meningkat secara signifikan hingga mencapai 19,89%. Ketiga nilai tersebut melampaui batas maksimum yang dipersyaratkan, sehingga menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah partikel halus dalam campuran.

Peningkatan nilai persentase lolos pada saringan halus ini mengindikasikan bahwa penambahan tras Lompotoo memberikan kontribusi terhadap meningkatnya fraksi partikel berukuran sangat kecil dalam agregat halus. Secara umum, data ini menunjukkan bahwa material tras memiliki tingkat kehalusan yang lebih tinggi dibandingkan pasir alami. Semakin besar persentase substitusi tras dalam campuran, maka semakin tinggi pula proporsi partikel halus yang terbentuk, sehingga mengubah karakteristik gradasi agregat secara keseluruhan.

Perubahan distribusi ukuran butir ini memiliki implikasi penting terhadap sifat beton, terutama dalam hal workability dan kebutuhan air campuran. Oleh karena itu, diperlukan analisis lanjutan untuk mengukur tingkat kehalusan agregat secara kuantitatif. Salah satu parameter yang digunakan adalah Modulus Halus Butir (MHB), yang dapat menggambarkan tingkat kehalusan atau kekasaran agregat berdasarkan distribusi ukuran butirnya.

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Berat Tertahan Kumulatif}}{100}$$

Berdasarkan hasil pengujian gradasi, nilai MHB dihitung untuk setiap variasi campuran agregat halus. Perhitungan ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai perubahan karakteristik material akibat penambahan tras Lompotoo. Rekapitulasi hasil perhitungan Modulus Halus Butir (MHB) untuk pasir alami dan variasi campuran tras Lompotoo disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Modulus Halus butir Variasi Campuran

No.	Variasi Campuran	MHB
1	Pasir	2.90
2	Tras 25% + Pasir 75%	2.64
3	Tras 50% + Pasir 50%	2.53
4	Tras 75% + Pasir 25%	2.15

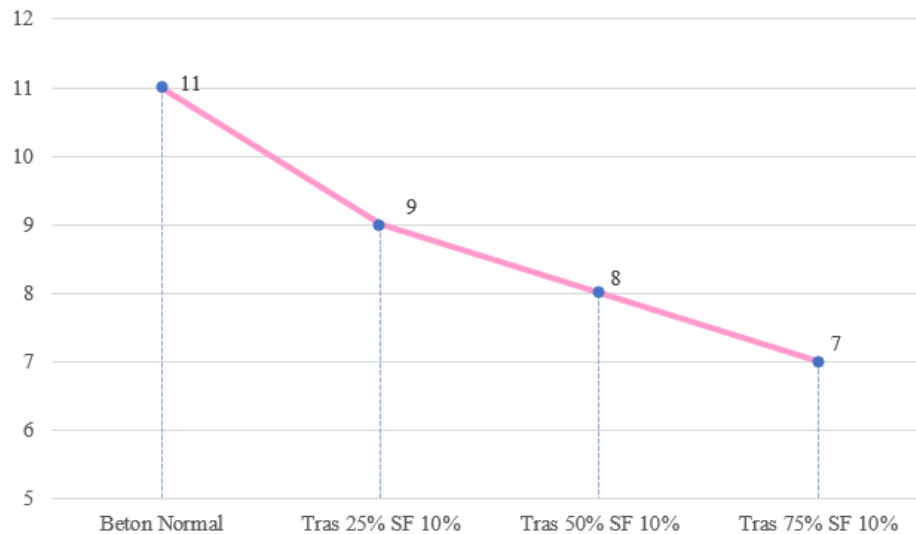
Berdasarkan Tabel 1, nilai Modulus Halus Butir (MHB) menunjukkan tren penurunan seiring dengan meningkatnya persentase substitusi tras Lompotoo dalam campuran agregat halus. Nilai MHB pasir murni sebesar 2,90 menunjukkan bahwa agregat memiliki tingkat kekasaran yang relatif tinggi. Namun, setelah dilakukan substitusi dengan tras sebesar 25%, nilai MHB menurun menjadi 2,64, kemudian menjadi 2,53 pada substitusi 50%, dan mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga mencapai 2,15 pada substitusi 75%. Penurunan ini menunjukkan bahwa campuran agregat menjadi semakin halus dengan meningkatnya kadar tras Lompotoo.

Secara konseptual, Modulus Halus Butir (MHB) merupakan indikator kuantitatif yang menggambarkan distribusi ukuran partikel agregat, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan dominasi partikel berukuran lebih besar (kasar), sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan dominasi partikel halus. Dengan demikian, penurunan nilai MHB pada setiap variasi campuran menunjukkan bahwa tras Lompotoo memiliki karakteristik butiran yang lebih halus dibandingkan pasir alami, sehingga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan fraksi halus dalam campuran.

Perubahan nilai MHB ini memiliki implikasi penting terhadap sifat beton yang dihasilkan. Agregat dengan MHB yang lebih rendah cenderung meningkatkan luas permukaan spesifik partikel dalam campuran, sehingga membutuhkan jumlah air yang lebih besar untuk mencapai tingkat workability yang sama. Hal ini menjelaskan kecenderungan penurunan workability pada campuran dengan kadar tras yang lebih tinggi. Di sisi lain, peningkatan jumlah partikel halus dapat berperan dalam mengisi rongga antar partikel agregat (filler effect), sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih rapat dan berpotensi meningkatkan kuat tekan beton.

Dengan demikian, hasil analisis MHB menunjukkan bahwa substitusi tras Lompotoo tidak hanya mengubah karakteristik gradasi agregat, tetapi juga mempengaruhi keseimbangan antara workability dan kekuatan beton. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan komposisi campuran yang tepat agar dapat memanfaatkan keunggulan material halus tanpa mengorbankan kemudahan pengerjaan beton.

3.2 Slump Test



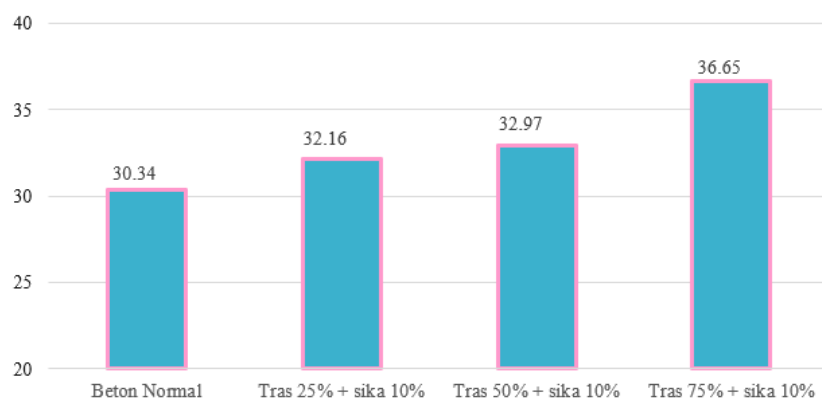
Gambar 3. Slump Test

Pada beton normal, nilai slump yang diperoleh merupakan yang tertinggi dibandingkan variasi lainnya (Faqihuddin et al., 2021). Hal ini disebabkan oleh penggunaan agregat halus berupa pasir alami dengan ukuran butiran relatif lebih kasar dan permukaan lebih licin. Penurunan nilai slump terjadi pada campuran yang mengandung tras Lompotoo 25%, 50%, 75% dengan silica fume 10%. Secara spesifik, dibandingkan dengan beton normal, substitusi parsial 25% tras Lompotoo dengan silica fume 10% menurunkan slump sekitar 2 cm, dan setelahnya turun 1 cm. Berkaitan dengan meningkatnya jumlah partikel halus serta reaksi awal yang terjadi di dalam campuran beton. Kedua material ini memiliki ukuran jauh lebih halus dibandingkan semen dan pasir. Luas permukaan partikel yang lebih besar menyebabkan kebutuhan air meningkat untuk melapisi seluruh butirannya, sehingga air bebas di dalam campuran menjadi berkurang, yang menyebabkan semakin banyak substitusi tras Lompotoo semakin rendah nilai slump.

Selain itu, tras Lompotoo dan silica fume bersifat reaktif terhadap kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hasil hidrasi semen. Pada tahap awal, reaksi ini sudah mulai membentuk struktur pembentuk pasta semen, yaitu C-S-H. Terbentuknya C-S-H tambahan ini membuat pasta lebih cepat mengental karena air menjadi ikut terikat dalam proses reaksi kimia tersebut. Dengan kata lain, meskipun jumlah semen tidak bertambah, volume senyawa pengikat dalam campuran seolah meningkat, sehingga konsistensi beton menjadi lebih kaku. Kedua efek tersebut menyebabkan penurunan workability yang tercermin dari menurunnya nilai slump pada setiap penambahan kadar tras dan silica fume.

3.3 Kuat Tekan

Rata-Rata Kuat Tekan



Gambar 4. Kuat Tekan Beton

Secara fisik, penambahan material sangat halus pada campuran beton umumnya dapat menurunkan kuat tekan ketika bahan tersebut digunakan untuk menggantikan pasir. Ketika butiran sangat halus menggantikan butiran yang lebih kasar, terjadi peningkatan luas permukaan partikel yang harus dibasahi,

sehingga kebutuhan air dapat naik. Jika kebutuhan air meningkat tetapi jumlah semen tetap, biasanya pasta menjadi kurang stabil dan porositas meningkat, yang secara teori menyebabkan penurunan kuat tekan. Itulah sebabnya, dari perspektif distribusi butiran semata, penambahan tras seharusnya membuat kuat tekan menurun. Namun hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan justru mengalami peningkatan meskipun tras digunakan untuk mengganti pasir.

Hal ini terjadi karena tras tidak hanya berfungsi sebagai material pengisi, tetapi juga merupakan pozolan alami yang memiliki komposisi kimia sangat reaktif. Berdasarkan analisis kimia, tras mengandung SiO_2 sebesar 60,9% dan Al_2O_3 sebesar 31,8%. Ketika tras ditambahkan ke dalam campuran beton, senyawa silika dan alumina reaktif tersebut mulai bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dilepaskan dari hidrasi semen. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sendiri bukan produk kuat, tetapi semen PCC menghasilkan cukup banyak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ karena komposisi klinkernya seperti C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF . (PT Conch Cement Indonesia, 2020).

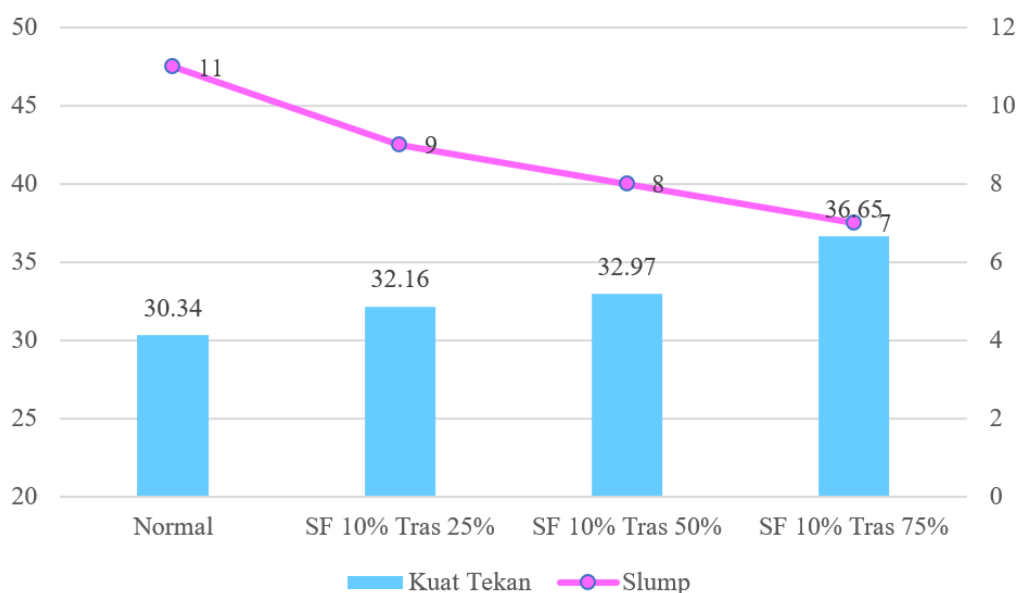
Selain tras, bahan tambahan *Silica fume* juga berperan penting dalam kenaikan kuat tekan. *Silica fume* memiliki kandungan SiO_2 sangat tinggi (>85%) dan ukuran partikel sekitar 100 kali lebih halus daripada semen. Kehalusan ekstrem dan kandungan silika reaktif menyebabkan *silica fume* memiliki dua mekanisme penguatan utama. Reaksi *pozzolanik* cepat, yang mempercepat pembentukan C–S–H sehingga pasta menjadi sangat padat bahkan pada umur awal (Noorfauzi et al., 2025).

Ketika tras menggantikan agregat halus, partikel halus *silica fume* membantu menyeimbangkan perubahan kepadatan, bahkan kombinasi tras dan *silica fume* justru membuat campuran beton lebih homogen dan lebih padat. Tras memberikan reaksi *pozzolanik* jangka menengah–panjang, sementara *silica fume* memberikan reaksi cepat dan pengisian pori yang sangat efektif. Kedua *pozzolan* ini bekerja bersama-sama untuk memanfaatkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari semen dan mengubahnya menjadi gel hidrat yang kuat

Secara keseluruhan, kenaikan kuat tekan pada variasi tras terjadi karena tras dan *silica fume* menambah jumlah senyawa pengikat C–S–H, bukan karena faktor fisik ukuran partikel. Dengan meningkatnya pembentukan gel hidrat dan semakin rapatnya mikrostruktur, kuat tekan beton meningkat meskipun tras digunakan untuk menggantikan pasir. Dengan demikian, efek kimiawi yang kuat dari tras dan *Silica Fume* lebih dominan dibandingkan efek fisik butiran halus, sehingga hasil akhir menunjukkan peningkatan kuat tekan.

3.4 Kombinasi Nilai Slump dan Kuat Tekan

Nilai slump dan kuat tekan beton disajikan secara bersamaan dalam satu diagram untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai hubungan antara karakteristik beton segar dan beton mengeras pada setiap variasi campuran. Penyajian ini tidak hanya memudahkan perbandingan antar variasi secara visual, tetapi juga memungkinkan analisis hubungan timbal balik antara workability dan kuat tekan beton. Dengan demikian, perubahan performa beton akibat variasi substitusi tras Lompotoo dan penambahan *silica fume* dapat diamati secara lebih terintegrasi. Kombinasi nilai slump dan kuat tekan tersebut disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kombinasi Nilai Slump dan Kuat Tekan

Berdasarkan Gambar 5, terlihat adanya pola hubungan yang berlawanan antara nilai slump dan kuat tekan beton pada setiap variasi campuran. Peningkatan persentase substitusi tras Lompotoo dari 25% hingga 75% menyebabkan penurunan nilai slump secara bertahap, yang menunjukkan berkurangnya tingkat

workability beton. Kondisi ini disebabkan oleh meningkatnya fraksi partikel halus dalam campuran akibat penggunaan tras, yang berimplikasi pada bertambahnya luas permukaan spesifik agregat. Akibatnya, kebutuhan air dalam campuran meningkat untuk mencapai tingkat kelecakan yang sama, sehingga tanpa penyesuaian kadar air atau penggunaan admixture tambahan, workability cenderung menurun.

Di sisi lain, peningkatan kadar tras Lompotoo justru menunjukkan tren peningkatan kuat tekan beton, dari 30,34 MPa pada beton normal hingga mencapai 36,65 MPa pada substitusi 75%. Peningkatan ini dapat dijelaskan melalui dua mekanisme utama. Pertama, efek pengisian (filler effect), di mana partikel halus tras dan silica fume mengisi rongga antar partikel agregat sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih padat dan kompak. Kedua, reaksi pozzolanik yang terjadi antara kandungan silika reaktif dalam tras dan silica fume dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen, yang membentuk senyawa tambahan berupa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan beton.

Kombinasi antara tras Lompotoo dan silica fume dalam campuran beton menunjukkan adanya trade-off relationship antara workability dan kuat tekan. Meskipun workability menurun, peningkatan kekuatan beton yang signifikan menunjukkan bahwa struktur mikro beton menjadi lebih rapat dan homogen. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran dengan kadar tras yang lebih tinggi berpotensi menghasilkan beton berkinerja tinggi, terutama dalam hal kekuatan, meskipun memerlukan penyesuaian dalam proses pengerjaan di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan tras Lompotoo sebagai substitusi agregat halus yang dikombinasikan dengan silica fume dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan mutu beton, khususnya dalam meningkatkan kuat tekan. Namun, untuk menjaga keseimbangan antara kekuatan dan kemudahan pengerjaan, diperlukan optimasi campuran, seperti penambahan superplasticizer atau penyesuaian kadar air, agar beton tetap memiliki workability yang memadai tanpa mengorbankan kekuatannya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN/REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Substitusi tras Lompotoo dalam campuran beton dengan penambahan silica fume sebesar 10% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap workability beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap peningkatan kadar tras Lompotoo menyebabkan penurunan tingkat workability. Beton dengan substitusi tras sebesar 25% mengalami penurunan *workability* sebesar 18,2%, sedangkan pada substitusi 50% penurunan mencapai 27,3%. Penurunan yang lebih besar terjadi pada substitusi 75%, yaitu sebesar 36,4%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar tras Lompotoo yang digunakan sebagai pengganti agregat halus, maka tingkat kelecakan beton cenderung menurun.

Di sisi lain, substitusi tras Lompotoo dalam campuran beton dengan penambahan silica fume 10% juga memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya kadar tras Lompotoo. Pada substitusi 25%, kuat tekan beton meningkat sebesar 6% dengan nilai 32,16 MPa. Selanjutnya, pada substitusi 50%, peningkatan mencapai 8,7% dengan nilai 32,97 MPa. Peningkatan paling signifikan terjadi pada substitusi 75%, di mana kuat tekan beton mencapai 36,65 MPa atau meningkat sebesar 20,8%. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi tras Lompotoo dan silica fume mampu meningkatkan kinerja mekanik beton, meskipun di sisi lain berdampak pada penurunan *workability*.

4.2 Saran/Rekomendasi

Penggunaan produk SikaFume® dalam campuran beton disarankan untuk dipadukan dengan admixture tipe superplasticizer, seperti Sikament®, Sikaplast®, dan Sika® ViscoCrete®. Kombinasi ini terbukti efektif dalam menjaga workability beton meskipun terdapat penggunaan tras dan silica fume dalam jumlah tertentu. Selain itu, penggunaan superplasticizer juga berkontribusi dalam meningkatkan kuat tekan beton, terutama pada umur awal, sehingga menghasilkan kinerja beton yang lebih optimal baik dari segi kelecakan maupun kekuatan.

Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan variasi campuran yang lebih luas, misalnya dengan menambah atau mengurangi persentase silica fume serta memvariasikan tingkat substitusi tras Lompotoo. Hal ini penting dilakukan agar pengaruh kombinasi material terhadap workability dan kuat tekan beton dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Dengan demikian, dapat diperoleh komposisi campuran yang lebih optimal serta memberikan kontribusi yang lebih mendalam terhadap pengembangan teknologi beton berbasis material lokal.

REFERENSI

Bumulo, N., & Rusnadin, N. W. (2018). Analisa Agregat Halus Pasir Zona III Dengan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Dan 40 mm Untuk Uji Kuat Tekan Mutu Beton Pada Campuran Beton Normal. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1), 11-23.

- Faqihuddin, A., Hermansyah, H., & Kurniati, E. (2021). Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan Superplasticizer Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0, 3%; 0; 5% Dan 0, 7% Berdasarkan Berat Semen. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 2(1), 34-45.
- Hamdi, F., Lapien, F. E. P., Tumpu, M., Mabui, D. S. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., & Rangan, P. R. (2022). *Teknologi beton*. Tohar Media.
- Jauhari, B., & Doda, N. (2019). Pengaruh gradasi agregat terhadap nilai karakteristik aspal beton (ac-bc). *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 2(1), 27-37.
- Naim, A. J., Fuad, I. S., & Asmawi, B. (2018). Pengaruh Penambahan Serat Buah Pinang Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 6(2).
- Noorfauzi, A. R., Gaby, S. R. P., & Attamimi, T. A. (2025). Silica Fume Sebagai Bahan Pengikat Tambahan Beton: Tinjauan Sistematis Peningkatan Kinerja Dan Keberlanjutan. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, 4(1), 17-27.
- Mohamad, R. M., Rachman, A., & Mointi, R. (2020). Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen. *Radial*, 8(1), 25-33.
- Putra, E. H. (2021). *Beton Sebagai Material Konstruksi*. Gre Publishing.
- Sabrina, N. A., Wibowo, W., & Supardi, S. (2017). Kajian Pengaruh Variasi Penambahan Bahan Retarder Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Matriks Teknik Sipil*, 5(4).
- Saliko, R., Achmad, F., & Alitu, A. (2025). Analisis Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Tras dan Pengembangan Panduan Praktikum Beton. *Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(2), 1292-1300.
- Saputra, A. A. I., Sujatmiko, H., & Baihaqi, A. (2025). *Manajemen dan material konstruksi untuk pembangunan berkelanjutan*. Greenbook Publishing Indonesia.
- Septiani, V., Suryan, V., & Amalia, D. (2024). Faktor-faktor yang mempengaruhi campuran beton: Rancangan beton, kekuatan beton, dan karakteristik beton. *Journal of Engineering and Transportation*, 1(4).
- Trisula, A. R. (2026). *Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Hybrid Dengan Substitusi Sebagian Semen Berbasis Fly Ash Dan Mikrosilika Dengan Penambahan Superplasticizer* (Doctoral dissertation, Sains Dan Teknik).
- Umar, A. B., & Trimurtiningrum, R. (2023). Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik Beton. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 580-591.
- Waani, J. E., Elisabeth, L., Teknik, F., & Sam, U. (2017). Substitusi material pozolan terhadap semen pada kinerja campuran semen. *Jurnal teknik sipil*, 24(3), 237-245.