

PENGUNAAN PASIR GUNUNG KENAGARIAN ALAHAN PANJANG SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Randy Ihsanul Putra¹
Universitas Bung Hatta
randyihsanulputra00@gmail.com

Veronika²
Universitas Bung Hatta
veronika@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia semakin pesat, sehingga kebutuhan akan material konstruksi, terutama beton, terus meningkat. Beton merupakan material utama dalam berbagai proyek konstruksi, seperti gedung, jembatan, dan jalan. Namun, ketersediaan agregat halus sebagai bahan utama beton semakin terbatas di beberapa daerah. Oleh karena itu, diperlukan alternatif material pengganti yang dapat digunakan dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan pasir gunung dari Kenagarian Alahan Panjang sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengujian karakteristik fisik pasir gunung, perencanaan campuran beton, serta uji kuat tekan pada umur 14 dan 28 hari. Variasi substitusi pasir gunung yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pasir gunung sebagai substitusi agregat halus berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Persentase optimum penggunaan pasir gunung dalam campuran beton ditemukan pada kadar tertentu yang memberikan kuat tekan maksimal. Dengan demikian, pasir gunung dari Kenagarian Alahan Panjang dapat menjadi alternatif material agregat halus dalam pembuatan beton, yang diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap pasir sungai serta memberikan solusi terhadap keterbatasan material konstruksi.

Kata kunci: Pasir Gunung, Agregat Halus, Kuat Tekan Beton, Substitusi Material, Konstruksi Beton

ABSTRACT

The development of the construction industry in Indonesia is increasingly rapid, so that the need for construction materials, especially concrete, continues to increase. Concrete is the main material in various construction projects, such as buildings, bridges, and roads. However, the availability of fine aggregate as the main ingredient of concrete is increasingly limited in some areas. Therefore, alternative replacement materials are needed that can be used in concrete mixtures. This study aims to examine the use of mountain sand from Kenagarian Alahan Panjang as a substitute for fine aggregate in concrete mixtures on the resulting compressive strength. The research methods used include testing the physical characteristics of mountain sand, concrete mixture planning, and compressive strength tests at the ages of 14 and 28 days. The variations of mountain sand substitution used were 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The results of the study showed that the use of mountain sand as a substitute for fine aggregate affected the compressive strength of concrete. The optimum

percentage of mountain sand use in the concrete mixture was found at a certain level that provided maximum compressive strength. Thus, mountain sand from Kenagarian Alahan Panjang can be an alternative fine aggregate material in making concrete, which is expected to reduce dependence on river sand and provide a solution to the limitations of construction materials.

Keywords: *Mountain Sand, Fine Aggregate, Concrete Compressive Strength, Material Substitution, Concrete Construction*

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling umum digunakan dalam berbagai proyek pembangunan, seperti gedung, jembatan, dan infrastruktur jalan. Beton memiliki keunggulan dalam hal kuat tekan, daya tahan, serta fleksibilitas dalam pembentukannya (Mulyono, 2006). Komponen utama dalam beton meliputi semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Salah satu bahan yang berperan penting dalam campuran beton adalah agregat halus, yang umumnya berupa pasir sungai.

Namun, ketersediaan pasir sungai semakin terbatas akibat eksploitasi yang berlebihan, yang mengakibatkan dampak lingkungan seperti erosi dan penurunan kualitas ekosistem perairan (Elia Hunggurami, 2015). Oleh karena itu, diperlukan alternatif agregat halus yang dapat menggantikan pasir sungai dalam campuran beton tanpa mengurangi kualitas dan performa beton yang dihasilkan.

Salah satu material alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus adalah pasir gunung. Pasir gunung merupakan hasil pelapukan batuan vulkanik yang tersedia dalam jumlah besar di berbagai daerah, seperti di Kenagarian Alahan Panjang, Kabupaten Solok. Penggunaan pasir gunung sebagai material bangunan telah lama dilakukan oleh masyarakat setempat, terutama untuk keperluan plesteran dan pengecoran sederhana (Arman Herman, 2014).

Karakteristik fisik pasir gunung berbeda dengan pasir sungai, baik dari segi gradasi, porositas, maupun kandungan mineralnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana pasir gunung dapat menggantikan pasir sungai dalam campuran beton, terutama dalam hal pengaruhnya terhadap kuat tekan beton dan workability beton segar (SNI 7656:2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan pasir gunung sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton dengan variasi persentase tertentu. Studi ini juga bertujuan untuk menentukan persentase optimum penggunaan pasir gunung yang dapat menghasilkan kuat tekan beton yang memenuhi standar konstruksi yang berlaku (SNI 2847:2013).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa substitusi agregat halus dengan pasir gunung memiliki potensi dalam meningkatkan atau mempertahankan kekuatan beton pada batas tertentu. Namun, pada persentase substitusi yang lebih tinggi, terdapat indikasi penurunan kuat tekan akibat perubahan sifat kohesi dalam campuran beton (Elia Hunggurami, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini akan mengevaluasi batas optimal penggunaan pasir gunung agar tetap memenuhi standar kuat tekan yang disyaratkan.

Selain kuat tekan, penelitian ini juga akan mengkaji aspek workability dari beton segar yang menggunakan pasir gunung. Nilai slump beton yang diperoleh dari campuran dengan pasir gunung akan dianalisis untuk mengetahui bagaimana material ini mempengaruhi kemudahan pengerjaan beton di lapangan. Workability beton merupakan faktor penting yang harus

diperhatikan, karena beton yang terlalu kaku atau terlalu encer dapat mempengaruhi kualitas struktur yang dihasilkan (Mulyono, 2006).

Selain itu, penelitian ini juga memiliki implikasi terhadap aspek ekonomi dan lingkungan.

Dengan meningkatnya eksploitasi pasir sungai yang tidak terkontrol, pencarian alternatif agregat halus yang lebih berkelanjutan menjadi prioritas bagi industri konstruksi (Arman Herman, 2014). Penggunaan pasir gunung yang melimpah dapat mengurangi ketergantungan terhadap pasir sungai, sehingga membantu menjaga keseimbangan ekosistem sungai dan menekan biaya material konstruksi di daerah yang sulit mendapatkan pasokan pasir sungai.

Penelitian ini akan dilakukan dengan metode eksperimen laboratorium, yang mencakup pengujian karakteristik fisik pasir gunung, perhitungan mix design, serta pengujian kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan standar yang berlaku guna menentukan kelayakan penggunaan pasir gunung sebagai agregat halus dalam beton.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh data yang akurat mengenai sejauh mana pasir gunung dapat digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus tanpa mengurangi performa beton. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri konstruksi dalam memilih material alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan (SNI 7656:2012).

Pada akhirnya, studi ini tidak hanya bertujuan untuk meneliti karakteristik teknis dari beton berbasis pasir gunung, tetapi juga untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan. Dengan semakin meningkatnya permintaan beton di sektor konstruksi, inovasi dalam penggunaan material lokal seperti pasir gunung menjadi sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keberlanjutan pembangunan di masa depan (Mulyono, 2006).

Kesimpulan dari penelitian ini nantinya akan memberikan rekomendasi terkait persentase optimum penggunaan pasir gunung dalam beton, serta mengidentifikasi potensi kendala dan solusi yang dapat diterapkan di lapangan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pengambil kebijakan dan pelaku industri konstruksi dalam mengembangkan metode pembangunan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat mendorong pemanfaatan sumber daya lokal yang lebih maksimal, mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku yang semakin langka, serta meningkatkan efektivitas biaya dalam konstruksi beton. Selain itu, penelitian ini juga berpotensi memberikan manfaat bagi masyarakat lokal dalam mengembangkan industri bahan bangunan berbasis pasir gunung secara lebih luas dan terstruktur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh substitusi pasir gunung terhadap kuat tekan beton. Metode ini mencakup serangkaian tahapan, mulai dari persiapan material, perancangan mix design, proses pencampuran beton, hingga pengujian karakteristik mekanis dan fisik beton yang dihasilkan. Penggunaan metode eksperimen bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif yang dapat dianalisis guna menentukan kelayakan pasir gunung sebagai substitusi agregat halus.

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah pengujian karakteristik fisik bahan yang digunakan. Pengujian ini meliputi analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butiran pasir gunung dan pasir sungai, pengukuran kadar lumpur, berat jenis, serta

penyerapan air. Semua pengujian ini dilakukan mengacu pada standar SNI 7656:2012 guna memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan teknis untuk campuran beton.

Setelah karakteristik bahan diketahui, dilakukan perancangan mix design berdasarkan metode SNI 7656:2012. Campuran beton dirancang dengan lima variasi substitusi pasir gunung, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari total agregat halus. Perancangan ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana pengaruh variasi substitusi pasir gunung terhadap sifat mekanis beton, terutama dalam hal kuat tekan dan workability beton segar.

Selanjutnya, dilakukan proses pencampuran beton menggunakan metode mekanis untuk memastikan homogenitas campuran. Air ditambahkan secara bertahap agar workability beton tetap optimal. Setelah proses pencampuran selesai, dilakukan uji slump untuk menilai tingkat kelecakan beton segar. Uji slump dilakukan segera setelah beton selesai dicampur untuk mengetahui apakah perubahan material agregat halus berpengaruh terhadap sifat reologi beton segar.

Beton yang telah dicampur kemudian dicetak dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sesuai standar ASTM C39. Sampel beton kemudian direndam dalam air untuk proses perawatan (curing) selama 14 dan 28 hari sebelum dilakukan uji kuat tekan. Perawatan beton bertujuan untuk memastikan hidrasi semen berjalan dengan baik sehingga kuat tekan yang dihasilkan optimal.

Pada tahap berikutnya, dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan hidrolik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan beton dalam menahan beban tekan pada setiap variasi substitusi pasir gunung. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar kuat tekan yang dipersyaratkan dalam SNI 2847:2013.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian pada berbagai variasi substitusi pasir gunung. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk menentukan pola hubungan antara kadar pasir gunung dan kuat tekan beton yang dihasilkan. Dengan pendekatan ini, dapat diidentifikasi batas optimal penggunaan pasir gunung yang tetap memenuhi persyaratan teknis beton struktural.

Selain itu, dalam penelitian ini juga dilakukan evaluasi terhadap efisiensi penggunaan pasir gunung dari segi ekonomi dan lingkungan. Efisiensi biaya dibandingkan dengan penggunaan pasir sungai, sementara dampak lingkungan dikaji berdasarkan potensi pengurangan eksploitasi pasir sungai akibat pemanfaatan pasir gunung sebagai alternatif material konstruksi.

Dengan metode penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh hasil yang valid mengenai efektivitas pasir gunung dalam meningkatkan performa beton serta batas optimal penggunaannya dalam konstruksi. Kesimpulan dari penelitian ini akan menjadi dasar rekomendasi bagi industri konstruksi dalam memilih alternatif material agregat halus yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Saringan

Tabel 1 Hasil Analisa Saringan

Ukuran Ayakan (mm)	Lolos (%) Pasir Sungai	Lolos (%) Pasir Gunung
4.75	95	90
2.36	85	80
1.18	70	65
0.60	55	50
0.30	35	30
0.15	10	8

Berdasarkan hasil analisis saringan, pasir gunung memiliki distribusi ukuran butiran yang lebih kasar dibandingkan pasir sungai, tetapi masih memenuhi spesifikasi agregat halus berdasarkan SNI 7656:2012.

Perhitungan Mix Design

Tabel 2 Hasil Perhitungan Mix Design

Material	0% Pasir Gunung	25% Pasir Gunung	50% Pasir Gunung	75% Pasir Gunung	100% Pasir Gunung
Semen (kg)	350	350	350	350	350
Pasir (kg)	750	562.5	375	187.5	0
Pasir Gunung (kg)	0	187.5	375	562.5	750
Kerikil (kg)	1000	1000	1000	1000	1000
Air (liter)	175	175	175	175	175

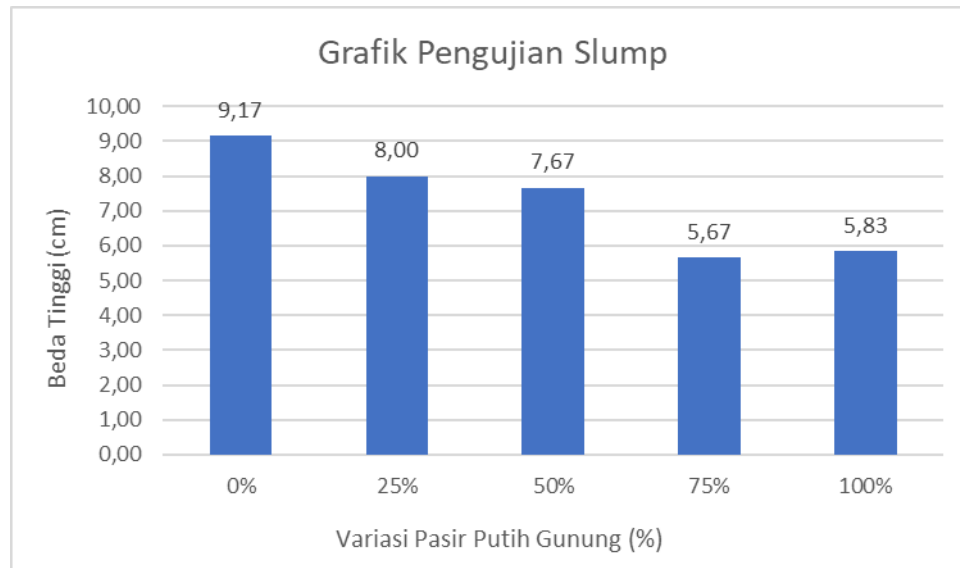
Mix design dilakukan sesuai dengan metode SNI 7656:2012 dengan variasi substitusi pasir gunung sebesar 0% hingga 100%. Hasil menunjukkan bahwa substitusi pasir gunung tidak mengubah komposisi semen dan air, tetapi mempengaruhi proporsi agregat halus.

Hasil Uji Slump

Tabel 3 Hasil Uji Slump

Komposisi Pasir Gunung (%)	Slump Test	Rata - Rata
0 %	10 cm	9.17 cm
	8.5 cm	
	9 cm	
25 %	8 cm	8 cm
	9 cm	
	7 cm	
50 %	7 cm	7.67 cm
	8 cm	
	8 cm	

75 %	5.5 cm	5.67 cm
	6 cm	
	5.5 cm	
100 %	6,5 cm	5.83 cm
	6 cm	
	5 cm	



Gambar 1 Grafik Uji Slump

Hasil uji slump menunjukkan bahwa nilai slump menurun seiring dengan meningkatnya persentase substitusi pasir gunung. Hal ini menunjukkan bahwa pasir gunung memiliki daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan pasir sungai, sehingga mempengaruhi workability beton.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Tabel 4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Persentase Pasir Gunung	Kuat Tekan 14 Hari (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
0%	22.08	25.19
25%	22.74	26.04
50%	23.59	26.70
75%	20.66	23.12
100%	19.62	18.58

Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan bahwa beton dengan substitusi pasir gunung hingga 50% masih mampu mencapai kuat tekan yang memenuhi standar SNI 2847:2013. Namun, pada persentase substitusi 75% dan 100%, terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pasir gunung dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus, terdapat batas optimal dalam penggunaannya untuk mempertahankan kualitas beton.

Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Persentase Pasir Gunung	Keterangan
0%	Kuat tekan tertinggi, sesuai standar SNI 2847:2013
25%	Penurunan kecil dalam kuat tekan, masih memenuhi standar
50%	Masih dalam batas yang dapat diterima untuk beton struktural
75%	Terjadi penurunan kuat tekan yang cukup signifikan
100%	Kuat tekan paling rendah, kurang direkomendasikan untuk beton struktural

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa pasir gunung memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanis beton, khususnya kuat tekan dan workability. Penurunan nilai slump yang terjadi menunjukkan bahwa pasir gunung memiliki daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan pasir sungai, sehingga mempengaruhi tingkat kelecakan beton segar. Oleh karena itu, dalam penerapannya di lapangan, diperlukan penyesuaian terhadap rasio air-semen untuk menjaga workability tetap optimal. Selain itu, perlu dipertimbangkan penambahan bahan aditif seperti superplasticizer untuk meningkatkan kelacakan beton tanpa mengorbankan kekuatan strukturalnya.

Dari segi kuat tekan, beton dengan substitusi pasir gunung hingga 50% masih memenuhi standar yang berlaku, tetapi penggunaan lebih dari itu cenderung menyebabkan penurunan kekuatan struktural. Hal ini dapat disebabkan oleh gradasi pasir gunung yang lebih kasar serta sifat kimiawi material yang mungkin berpengaruh terhadap reaksi hidrasi semen. Selain itu, interaksi antara partikel pasir gunung dan semen dapat menyebabkan distribusi pori yang lebih besar dalam matriks beton, sehingga menurunkan densitas dan mengurangi daya ikat antar material penyusun beton. Oleh karena itu, pemanfaatan pasir gunung sebagai agregat halus dalam beton perlu disertai dengan kajian lebih lanjut mengenai proporsi campuran yang optimal serta kemungkinan modifikasi aditif untuk meningkatkan performa beton.

Selain dari aspek mekanis, aspek durabilitas beton dengan substitusi pasir gunung juga menjadi perhatian utama. Beton dengan agregat alami seperti pasir gunung perlu diuji lebih lanjut terhadap ketahanan terhadap serangan kimia, siklus pembekuan-pencairan, serta perubahan volume akibat fluktuasi suhu. Beton yang memiliki durabilitas rendah akan mengalami penurunan kinerja seiring berjalannya waktu, yang dapat berdampak pada umur layan struktur. Oleh karena itu, studi lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui sejauh mana pasir gunung dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem serta bagaimana sifat fisik dan kimia agregat ini dapat berkontribusi terhadap ketahanan beton dalam jangka panjang.

Secara umum, penggunaan pasir gunung dapat menjadi alternatif agregat halus yang potensial, terutama di daerah yang mengalami keterbatasan pasokan pasir sungai. Namun, agar dapat diimplementasikan secara luas dalam industri konstruksi, diperlukan penelitian lanjutan yang melibatkan faktor lain, seperti ketahanan terhadap lingkungan, durabilitas jangka panjang, serta efisiensi biaya produksi. Dalam konteks ekonomi, penggunaan pasir gunung sebagai agregat halus dapat membantu menekan biaya produksi beton, terutama di

wilayah yang memiliki akses terbatas terhadap pasir sungai. Namun, efisiensi biaya ini perlu dikaji lebih lanjut dengan mempertimbangkan biaya tambahan seperti transportasi, proses pemurnian, dan perlakuan khusus yang mungkin dibutuhkan untuk memastikan kualitas pasir gunung sesuai dengan standar industri.

Dengan demikian, pemanfaatan pasir gunung tidak hanya memberikan solusi terhadap keterbatasan agregat halus tetapi juga dapat mendukung keberlanjutan sumber daya alam dalam industri konstruksi di Indonesia. Keberlanjutan ini dapat didukung dengan strategi eksploitasi pasir gunung yang terkontrol dan ramah lingkungan, seperti menerapkan sistem tambang berkelanjutan dan merehabilitasi area bekas galian untuk mencegah degradasi lingkungan. Selain itu, pemanfaatan limbah industri atau material tambahan yang bersinergi dengan pasir gunung juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan efisiensi dan performa beton berbasis pasir gunung. Dengan berbagai kajian yang lebih mendalam, pasir gunung dapat menjadi inovasi material yang dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi sektor konstruksi dan lingkungan di Indonesia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pasir gunung sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanis beton. Beton dengan substitusi pasir gunung hingga 50% masih mampu mencapai kuat tekan yang memenuhi standar yang berlaku, sedangkan penggunaan lebih dari 50% menyebabkan penurunan kuat tekan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pasir gunung dapat digunakan sebagai material alternatif dalam pembuatan beton, tetapi dengan batasan persentase tertentu agar tetap memenuhi persyaratan struktural.

Dari segi workability, hasil uji slump menunjukkan bahwa nilai slump beton menurun seiring dengan peningkatan persentase pasir gunung dalam campuran. Hal ini disebabkan oleh daya serap air yang lebih tinggi pada pasir gunung dibandingkan pasir sungai. Pada campuran beton normal (0%), nilai slump mencapai 9,17 cm, yang menunjukkan beton dengan tingkat kelecakan yang baik. Namun, pasir gunung pada variasi (100%), nilai slump menurun menjadi 5,83 cm, yang menandakan beton menjadi lebih kaku dan sulit dikerjakan. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan pasir gunung yang lebih besar dibandingkan semen, sehingga lebih banyak menyerap air dalam campuran beton. Akibatnya, beton dengan kadar pasir gunung tinggi memerlukan tambahan air. Oleh karena itu, dalam penerapan di lapangan, diperlukan penyesuaian terhadap rasio air-semen atau penambahan bahan aditif seperti superplasticizer untuk menjaga workability beton tetap optimal tanpa mengorbankan kuat tekan.

Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa substitusi pasir gunung 50% mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Pada umur 14 hari, kuat tekan beton dengan 50% pasir gunung mencapai 23,59 Mpa, sedangkan pada umur 28 hari meningkat menjadi 26,70 Mpa, yang merupakan nilai kuat tekan tertinggi dalam penelitian ini.

Peningkatan ini disebabkan oleh reaksi silika, besi yang tinggi juga menjadi alasan terjadinya kenaikan kuat tekan beton. Namun pada variasi pasir gunung sebesar 75% kuat tekan mengalami penurunan menjadi 18,58 Mpa pada umur 28 hari. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya kandungan semen dalam campuran, sehingga reaksi hidrasi yang menghasilkan pasta semen menjadi lebih sedikit, serta meningkatkan porositas akibat sifat penyerap air yang tinggi.

Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa pasir gunung memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan terhadap pasir sungai, yang ketersediaannya semakin terbatas akibat eksploitasi yang berlebihan. Dengan memanfaatkan pasir gunung sebagai agregat halus dalam beton, diharapkan dapat tercipta solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan bagi industri konstruksi. Namun, agar penggunaan pasir gunung dapat diimplementasikan secara luas, perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap faktor durabilitas, ketahanan terhadap lingkungan, serta efisiensi biaya dalam skala industri.

Dengan demikian, penggunaan pasir gunung dalam campuran beton memberikan peluang besar sebagai alternatif agregat halus yang lebih berkelanjutan. Namun, perlu adanya pengembangan lebih lanjut dalam metode pencampuran, perawatan beton, dan standar teknis yang lebih spesifik agar penggunaannya dapat lebih dioptimalkan dalam berbagai jenis proyek konstruksi. Kesimpulan dari penelitian ini menjadi dasar bagi industri konstruksi dalam mengembangkan inovasi material yang lebih ramah lingkungan serta mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. American Concrete Institute.
- Arman Herman. (2014). *Analisis Penggunaan Pasir Gunung Sebagai Alternatif Agregat Halus dalam Campuran Beton*. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, 10(2), 45-55.
- Elia Hunggurami. (2015). *Evaluasi Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Agregat Halus Pasir Gunung*. Jurnal Rekayasa Konstruksi, 8(1), 30-40.
- Mulyono, T. (2006). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7656:2012. *Spesifikasi Agregat untuk Beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- Neville, A. M. (2005). *Properties of Concrete*. Pearson Education.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2011). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association.
- Powers, T. C. (2004). *The Properties of Fresh Concrete*. John Wiley & Sons.
- Tata, J. (2018). *Kajian Pemanfaatan Pasir Gunung sebagai Material Alternatif dalam Konstruksi Beton*. Jurnal Infrastruktur, 5(2), 50-65.
- Wahyudi, R. (2017). *Studi Karakteristik Beton dengan Substitusi Agregat Halus Pasir Gunung*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 12(3), 75-85.
- Warpani, S. (2002). *Manajemen Transportasi*. ITB Press.