

PENGUNAAN BAHAN LOKAL UNTUK PEMBUATAN BETON MUTU TINGGI: STUDI EKSPERIMENTAL KUAT TEKAN

Fadhilah Hilmi Ramdhani¹, Taufiq Rachman²

Mahasiswa Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang²

Email: fadhilah22112002@gmail.com¹, taufiq.rochman@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Beton merupakan material struktural yang paling umum digunakan dalam dunia konstruksi karena kemampuannya menahan beban tekan tinggi, kemudahan dalam pencetakan, serta fleksibilitas dalam pengaturan komposisi campuran. Salah satu pendekatan penting dalam meningkatkan kinerja beton adalah dengan merancang campuran secara optimal berdasarkan sumber daya lokal dan bahan tambahan yang tersedia secara komersial. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa kuat tekan dari beton dengan empat rancangan campuran yang dikembangkan untuk mencapai target kekuatan tekan sebesar 65 MPa, 70 MPa, 75 MPa, dan 80 MPa. Setiap campuran menggunakan fly ash sebesar 13,6% dari berat semen, superplasticizer tipe Sikament dengan variasi 1% hingga 2%, serta silica fume sebesar 6%, 7%, 8%, dan 9% berturut-turut sesuai peningkatan target kuat tekan. Seluruh campuran dirancang dengan target slump 100 mm untuk memastikan kemudahan pengerjaan. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Lumajang, Jawa Timur, sementara fly ash diperoleh dari PLTU Paiton, serta bahan tambahan lainnya menggunakan produk yang tersedia secara lokal. Hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan peningkatan kekuatan yang signifikan sesuai target, dengan nilai aktual masing-masing 76 MPa, 80 MPa, 82 MPa, dan 84 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan bahan lokal dan pengaturan komposisi campuran yang tepat, beton dengan performa tinggi dapat dicapai secara efisien dan berkelanjutan tanpa perlu mengandalkan material impor. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan teknologi beton berbasis sumber daya lokal di Indonesia.

Kata kunci : beton; desain campuran; kuat tekan

ABSTRACT

Concrete is the most commonly used structural material in the construction industry due to its high compressive strength, ease of casting, and flexibility in adjusting mix compositions. One of the key approaches to improving concrete performance is optimizing the mix design based on locally available resources and commercially accessible additives. This study aims to evaluate the compressive strength performance of concrete using four different mix designs developed to meet target strengths of 65 MPa, 70 MPa, 75 MPa, and 80 MPa. Each mix incorporates fly ash at 13.6% of the cement weight, Sikament-type superplasticizer ranging from 1% to 2%, and silica fume at 6%, 7%, 8%, and 9%, respectively, corresponding to the increasing target strength. All mixtures were designed with a target slump of 100 mm to ensure workability. Coarse and fine aggregates were sourced from Lumajang, East Java, fly ash was obtained from the Paiton power plant, and the chemical additives were commercially available products in the local market. Compressive strength tests at 28 days showed consistent increases corresponding to the mix designs, with actual results of 76 MPa, 80 MPa, 82 MPa, and 84 MPa, respectively. These findings demonstrate that high-performance concrete can be effectively achieved using local materials through carefully controlled proportions, without relying on imported components. The study offers significant insights for promoting sustainable and cost-efficient construction practices in Indonesia by leveraging regionally available resources.

Keywords : concrete; mix design; compressive strength

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap material bangunan yang kuat, tahan lama, dan mudah diproduksi menjadikan beton sebagai pilihan utama dalam industri konstruksi. Beton digunakan secara luas dalam berbagai proyek, mulai dari bangunan bertingkat hingga infrastruktur skala besar, karena kemampuannya menahan gaya tekan serta fleksibilitas dalam proses pembuatannya. Namun, meningkatnya tuntutan terhadap kinerja struktur, baik dari segi kekuatan maupun efisiensi, mendorong pengembangan campuran beton dengan karakteristik khusus melalui inovasi material dan desain campuran.

Salah satu tantangan dalam menghasilkan beton berkekuatan tinggi di Indonesia adalah keterbatasan akses terhadap material berkualitas yang umumnya bergantung pada impor, seperti bahan tambah khusus atau agregat bergradasi tertentu. Padahal, di banyak daerah terdapat sumber daya lokal yang belum dimanfaatkan secara optimal, seperti pasir dan kerikil dari tambang regional serta bahan sisa industri seperti fly ash dari pembangkit listrik tenaga uap. Selain itu, berbagai produk bahan tambah seperti silica fume dan superplasticizer juga tersedia di pasar lokal, namun belum banyak digunakan secara sistematis dalam desain beton untuk mencapai performa maksimal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi kombinasi bahan lokal dan bahan tambah komersial dalam merancang campuran beton yang mampu mencapai target kuat tekan tinggi. Empat variasi campuran dikembangkan dengan target kekuatan bertingkat, mulai dari 65 MPa hingga 80 MPa, menggunakan material yang mudah dijangkau secara regional. Tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan komposisi campuran yang tidak hanya mampu mencapai performa mekanik yang diinginkan, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi biaya dan keberlanjutan melalui pemanfaatan bahan lokal.

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada pencapaian kuat tekan tinggi, tetapi juga mengedepankan prinsip keberlanjutan dan efisiensi dalam penggunaan material. Dengan memanfaatkan bahan-bahan yang tersedia secara lokal, studi ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi campuran beton yang tidak tergantung pada bahan impor namun tetap memiliki performa tinggi. Pendekatan eksperimental digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara variasi komposisi bahan tambah dengan hasil kuat tekan dan workability beton segar, sehingga dapat diperoleh rekomendasi desain campuran beton yang optimal dan aplikatif di lapangan.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di laboratorium dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi desain campuran terhadap kuat tekan beton menggunakan bahan lokal dan bahan tambah yang tersedia secara komersial.

Material Beton

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Semen: Menggunakan semen tipe *Portland Composite Cement* (PCC) yang umum digunakan dalam konstruksi di Indonesia. PCC merupakan campuran semen Portland dengan bahan anorganik pozzolan atau *filler* seperti batu kapur, yang mampu meningkatkan workability serta menghasilkan panas hidrasi lebih rendah dibandingkan OPC (*Ordinary Portland Cement*). Hal ini menjadikan PCC cocok untuk aplikasi beton massa dan beton mutu tinggi.

2. Agregat kasar dan halus: Berasal dari daerah Lumajang, Jawa Timur. Agregat kasar berupa kerikil bergradasi baik, dan agregat halus berupa pasir lokal. Pemilihan agregat lokal ini bertujuan untuk menunjukkan potensi sumber daya regional dalam menunjang produksi beton bermutu tinggi. Agregat yang digunakan telah memenuhi persyaratan standar SNI dari segi gradasi dan kebersihan, untuk memastikan kekuatan ikatan yang optimal dengan pasta semen.

3. Fly ash: Digunakan sebesar 13,6% dari berat semen, berasal dari limbah pembakaran batubara PLTU Paiton. Fly ash tipe F ini mengandung senyawa silika dan alumina reaktif yang berfungsi sebagai bahan pozzolan, memperbaiki struktur mikro beton, serta meningkatkan kekuatan jangka panjang dan ketahanan terhadap serangan kimia.



Gambar 1. Fly Ash

4. Silica fume: Merupakan bahan tambah pozzolan dengan kadar bervariasi antara 6% hingga 9% dari berat semen. Silica fume memiliki ukuran partikel sangat halus dan reaktivitas tinggi, sehingga mampu mengisi rongga mikro pada beton dan menghasilkan struktur yang lebih rapat dan kedap air. Penambahan silica fume juga meningkatkan durabilitas dan kekuatan tekan beton secara signifikan..



Gambar 2. Silica Fume

5. Superplasticizer: Menggunakan produk Sikament merek Sika, ditambahkan dalam jumlah antara 1% hingga 2% dari berat semen. Superplasticizer bertipe high range water reducer ini digunakan untuk meningkatkan kelecakan campuran beton tanpa menambah air, sehingga rasio air-semen tetap rendah demi memperoleh kekuatan tinggi. Penggunaannya sangat krusial dalam desain beton mutu tinggi untuk menjaga fluiditas campuran dan memudahkan proses pengecoran.



Gambar 3. Superplasticizer

Dalam pembuatan mix design untuk mencapai beton yang diinginkan, maka perlu memperhatikan dengan teliti pada setiap langkah-langkah pencampuran khususnya mix design dengan bahan tambah *fly ash*, *silica fume*, dan *superplasticizer*

Metode Taguchi

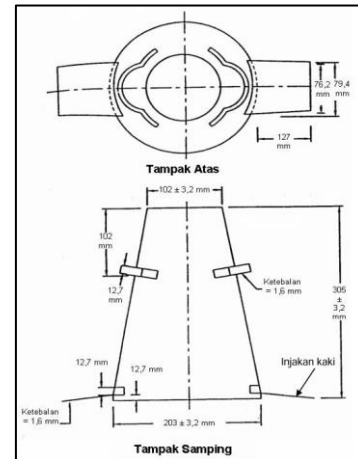
Dalam pembuatan benda uji penulis menggunakan metode Taguchi untuk efisiensi penggunaan bahan. pendekatan statistik yang digunakan untuk merancang eksperimen dengan jumlah percobaan minimal namun tetap mampu mengidentifikasi pengaruh faktor-faktor yang memengaruhi suatu sistem secara efektif. Metode ini awalnya dikembangkan oleh Genichi Taguchi untuk meningkatkan kualitas produk dan proses dengan meminimalkan variasi dan sensitivitas terhadap gangguan

Pengujian Slump

Pengujian slump bertujuan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar menggunakan alat kerucut slump sesuai SNI 1972:2008. Beton segar

dimasukkan ke dalam kerucut dalam tiga lapisan, masing-masing dipadatkan sebanyak 25 kali. Setelah penuh, kerucut diangkat secara vertikal dan penurunan tinggi beton diukur dari posisi semula.

Nilai slump menunjukkan seberapa mudah beton dicetak dan dikerjakan. Slump terlalu rendah menandakan beton kaku, sedangkan nilai terlalu tinggi berisiko menyebabkan segregasi. Dalam penelitian ini, target slump adalah 100 mm.



Gambar 4. Cetakan Uji Slump (Kerucut Abram)

Sumber : [6]

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menyiapkan benda uji berbentuk, kemudian diberi beban tekan hingga hancur. Prosedur pengujian mengacu pada standar yang berlaku, seperti SNI 1974:2011 untuk benda uji silinder. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan apakah beton memenuhi spesifikasi desain yang ditetapkan



Gambar 5. Uji Kuat Tekan Beton

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

P = gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N)

A = luas penampang benda uji, dinyatakan dalam (mm²)

Slump diuji menggunakan metode SNI 1972:2008 untuk memverifikasi *workability*. Cetakan silinder 15×30 cm digunakan untuk benda uji kuat tekan.

Desain Campuran Beton

Penelitian ini menggunakan empat variasi campuran beton yang dirancang secara eksperimental dengan

perbedaan pada komposisi bahan tambah, khususnya kadar silica fume dan superplasticizer. Rincian komposisi masing-masing campuran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Komposisi Desain Campuran Beton

f_c'	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Superplasticizer (kg/m ³)
65	176	435	586	1042	59	26	5,10
70	177	454	574	1034	62	31	6,12
75	177	475	562	1025	65	36	7,22
80	177	496	549	1015	67	42	8,41

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

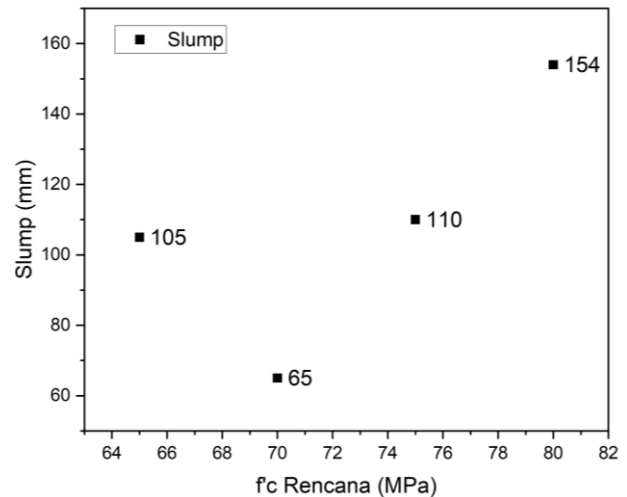
Uji Slump

Uji slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) dari masing-masing campuran segar. Target slump yang direncanakan adalah sebesar 100 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai slump bervariasi antar campuran: 105 mm pada f_c' 65 MPa, 65 mm pada f_c' 70 MPa, 110 mm pada f_c' 75 MPa, dan 154 mm pada f_c' 80 MPa.

Tabel 2. f_c' Rencana dan Hasil Kuat Tekan Beton

f_c' Rencana (MPa)	Slump (mm)
65	105
70	65
75	110
80	154

Perbedaan nilai slump menunjukkan bahwa pengaruh superplasticizer belum sepenuhnya konsisten terhadap *workability*. Campuran kedua (f_c' 70 MPa) menunjukkan nilai slump yang jauh di bawah target, meskipun kadar superplasticizer sudah ditingkatkan. Hal ini dapat disebabkan oleh rasio air-semen yang masih relatif rendah atau pengadukan yang kurang homogen. Sebaliknya, campuran keempat (f_c' 80 MPa) menunjukkan nilai slump tertinggi, yaitu 154 mm, yang mengindikasikan kelebihan fluiditas yang bisa berisiko terhadap segregasi atau bleeding jika tidak ditangani dengan tepat.



Gambar 6. Grafik f_c' Rencana dengan Hasil Slump

Uji Kuat Tekan

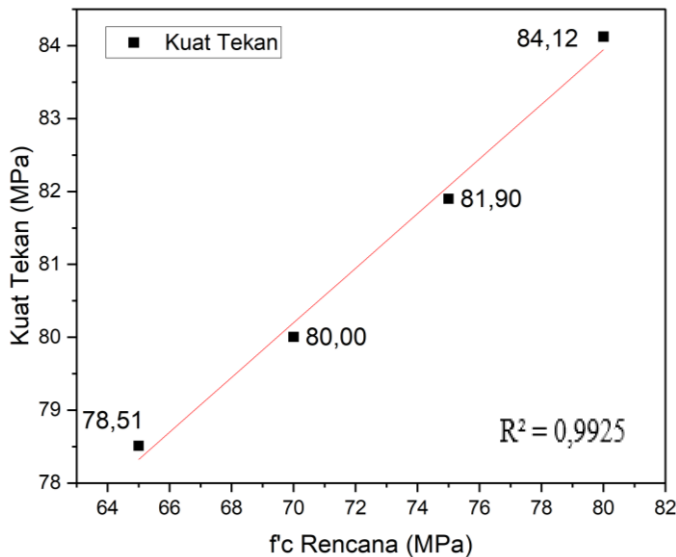
Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari terhadap empat variasi campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh campuran mampu melampaui target kekuatan yang telah dirancang. Nilai kuat tekan aktual untuk masing-masing campuran adalah sebagai berikut: 79 MPa untuk campuran pertama (f_c' 65 MPa), 80 MPa untuk campuran kedua (f_c' 70 MPa), 82 MPa untuk campuran ketiga (f_c' 75 MPa), dan 84 MPa untuk campuran keempat (f_c' 80 MPa).

Tabel 2. f_c' Rencana dan Hasil Kuat Tekan Beton

f_c' Rencana (MPa)	Kuat Tekan Beton (MPa)
65	78,51
70	80,00
75	81,90
80	84,12

Peningkatan nilai kuat tekan sejalan dengan bertambahnya jumlah semen, silica fume, serta superplasticizer pada masing-masing campuran. Silica fume yang bersifat sangat halus dan reaktif memperkuat ikatan antar partikel semen dan agregat, sementara superplasticizer meningkatkan kepadatan campuran tanpa menambah jumlah air. Hal ini menghasilkan beton yang lebih rapat dan kuat.

Selain itu, penggunaan fly ash dalam jumlah tetap sebesar 13,6% juga membantu memperbaiki kemudahan kerja serta reaktivitas jangka panjang.



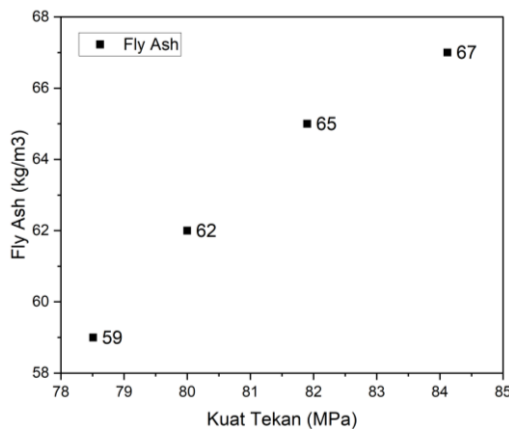
Gambar 7. Grafik f'_c Rencana dengan Hasil Kuat Tekan

Pengaruh Campuran Beton terhadap Kuat Tekan

Penggunaan bahan tambahan seperti fly ash, silica fume, dan superplasticizer memberikan kontribusi signifikan terhadap performa beton mutu tinggi yang diteliti. Setiap bahan memiliki peran khusus dalam meningkatkan kekuatan, kepadatan mikrostruktur, serta kemudahan kerja (workability) dari campuran beton.

1. Fly Ash

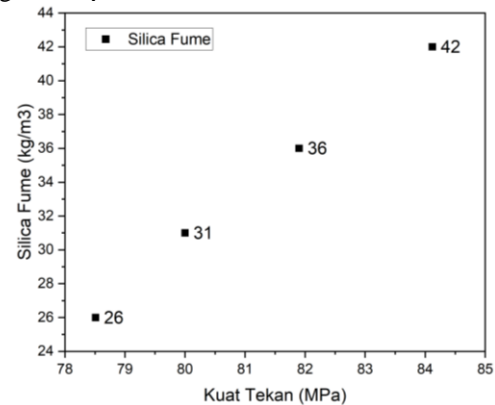
Fly ash sebanyak 13,6% dari berat semen memberikan efek pozzolanik jangka panjang yang memperbaiki kekuatan akhir beton. Fly ash bekerja dengan bereaksi terhadap kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang terbentuk selama proses hidrasi semen, membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang meningkatkan kekuatan dan kerapatan beton. Selain itu, fly ash juga membantu meningkatkan workability karena partikel halusanya bertindak sebagai pelumas antar agregat.



Gambar 7. Grafik Fly Ash dengan Hasil Kuat Tekan

2. Silica Fume

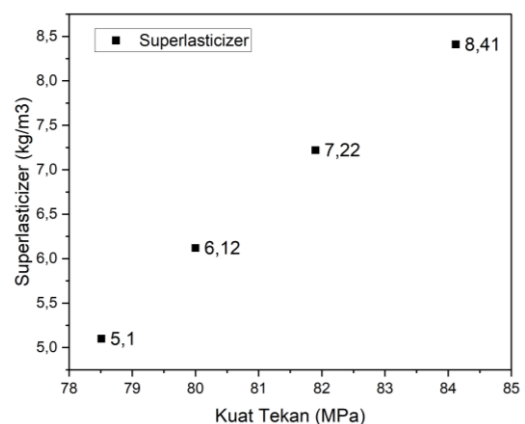
Penambahan silica fume dalam rentang 6%-9% menunjukkan kontribusi nyata terhadap peningkatan kekuatan tekan. Dengan ukuran partikel yang sangat halus (sekitar 100 kali lebih kecil dari semen), silica fume mengisi pori-pori mikro di antara partikel semen dan agregat, sehingga meningkatkan densitas campuran. Selain itu, reaktivitas kimianya yang tinggi terhadap $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mempercepat pembentukan C-S-H, yang memperkuat ikatan antar partikel dan menambah kekompakan struktur beton. Peningkatan kuat tekan dari 76 MPa menjadi 84 MPa menunjukkan bahwa silica fume sangat efektif dalam meningkatkan performa mekanik beton.



Gambar 8. Grafik Silica Fume dengan Hasil Kuat Tekan

3. Superplasticizer

Penggunaan superplasticizer dalam kisaran 1%-2% memungkinkan tercapainya workability tinggi tanpa perlu meningkatkan kadar air. Hal ini sangat penting dalam desain beton mutu tinggi, karena rasio air-semen yang rendah harus tetap dipertahankan agar kekuatan beton maksimal. Namun, hasil uji slump menunjukkan bahwa peningkatan dosis superplasticizer tidak selalu linier terhadap peningkatan kelecakan. Salah satu campuran bahkan menunjukkan slump yang berlebih (154 mm), yang perlu diwaspadai karena dapat menyebabkan segregasi atau bleeding jika tidak dikontrol dengan tepat.



Gambar 9. Grafik Superplasticizer dengan Hasil Kuat Tekan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian eksperimental yang telah dilakukan terhadap empat variasi campuran beton

menggunakan bahan lokal dan bahan tambahan komersial, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Seluruh campuran beton yang dirancang berhasil melampaui target kuat tekan, dengan nilai aktual sebesar 79 MPa, 80 MPa, 82 MPa, dan 84 MPa pada umur 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan lokal dan bahan tambah yang digunakan mampu menghasilkan beton berkinerja tinggi.
2. Penggunaan silica fume dalam rentang 6% hingga 9% berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan. Silica fume berperan sebagai bahan pozzolan aktif yang memperkuat ikatan antar partikel semen dan meningkatkan densitas mikrostruktur beton, sehingga menghasilkan beton yang lebih padat dan tahan lama.
3. Fly ash sebesar 13,6% dari berat semen memberikan kontribusi terhadap kemudahan kerja beton serta meningkatkan kekuatan jangka panjang melalui reaksi sekunder yang berlangsung selama proses hidrasi. Selain itu, penggunaannya mendukung prinsip konstruksi berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan tambah.
4. Superplasticizer dalam jumlah 1% hingga 2% membantu mencapai workability yang diinginkan tanpa perlu menambah air, sehingga rasio air-semen tetap rendah. Namun, pengaruhnya terhadap slump tidak sepenuhnya linier. Salah satu campuran menunjukkan nilai slump yang terlalu tinggi (154 mm), yang perlu dikendalikan agar tidak menyebabkan segregasi.
5. Penggunaan agregat kasar dan halus dari Lumajang serta fly ash dari PLTU Paiton terbukti layak untuk diaplikasikan dalam campuran beton berkekuatan tinggi. Ini menunjukkan bahwa pemanfaatan material lokal dapat menjadi solusi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan impor sekaligus menekan biaya produksi.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa desain campuran beton dengan memanfaatkan sumber daya lokal dan bahan tambah komersial secara optimal dapat menghasilkan beton mutu tinggi yang aplikatif, ekonomis, dan berkelanjutan. Hasil ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan teknologi beton di Indonesia, khususnya dalam konteks penggunaan material lokal yang mudah diperoleh dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI 363.2R-11. (2011). Guide to Quality Control and Assurance of High-Strength Concrete (ACI 363.2R-11). American Concrete Institute.
- [2] SNI 1974:2011. (2011). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standardisasi Nasional. www.bsn.go.id
- [3] Al-Lami, M. S., & Al-Ahmad, M. W. (2024). The Effect of Mixtures Material Constituent on Producing Ultra High-Performance Concrete Locally. *Civil Engineering and Architecture*, 12(4), 2787–2794. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120421>
- [4] Jonbi, Hariandja, B., Imran, I., & Pane, I. (2012). Development of Mix Proportion for High-Performance Concrete Using Locally Available Ingredients Based on Compressive Strength and Durability. *Applied Mechanics and Materials*, 174–177, 1067–1071. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.174-177.1067>
- [5] RaoHunchate, S., ReddyTC, V., Chandupalle, S., & Ghorpode, V. (2007). Mix Design of High Performance Concrete Using Silica Fume and Superplasticizer Associate Professor and Head of Civil Engineering Department. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* (An ISO, 3297, 2319–8753. www.ijirset.com
- [6] SNI 1972:2008. (2011). Cara uji slump beton. Badan Standardisasi Nasional. www.bsn.go.id