

INOVASI BETON HIJAU DENGAN KOMBINASI SERAT SABUT KELAPA DAN LIMBAH KACA SEBAGAI SUBTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Oleh :

Wahyu Arie Wicaksana

Dosen Pembimbing :

Ir. Budwi Harsono Amd., ST., MT.

Progam Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Juni, 2026



Pendahuluan

Proyek konstruksi di Indonesia menghadapi tantangan lingkungan akibat eksploitasi sumber daya alam dan akumulasi limbah yang tidak terkelola dengan baik. Limbah kaca mencapai sekitar 12,7% dari total timbulan sampah nasional 65 juta ton per tahun, namun hanya 7% yang didaur ulang. Sementara itu, beton sebagai material utama konstruksi memiliki kelemahan pada sifat getas (brittle) dengan kuat tarik hanya 10-15% dari kuat tekannya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan inovasi material konstruksi ramah lingkungan yang memanfaatkan limbah sekaligus meningkatkan performa mekanis beton. Serat sabut kelapa dapat berfungsi sebagai micro-reinforcement yang menahan rambatan retak, sedangkan limbah kaca dapat berfungsi sebagai filler pengisi pori dan material pozzolan. Kombinasi kedua material limbah ini diharapkan menciptakan efek sinergis terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini menguji dua komposisi campuran: LSK1 (20% limbah kaca + 0,125% serat sabut kelapa) dan LSK2 (40% limbah kaca + 0,50% serat sabut kelapa) pada beton mutu K-225. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan beton hijau berbasis limbah lokal di Indonesia.

Gap Penelitian

Gap penelitian muncul karena penelitian-penelitian sebelumnya hanya menguji serat sabut kelapa atau limbah kaca secara terpisah, tanpa mengkombinasikan keduanya dalam satu sistem campuran beton. Penelitian Sahrudin & Nadia (2017) hanya fokus pada serat sabut kelapa, sementara penelitian Olii dkk. (2021) dan Permatasari (2023) hanya fokus pada limbah kaca. Penelitian-penelitian tersebut belum mengkaji efek sinergis antara serat sabut kelapa sebagai micro-reinforcement dan limbah kaca sebagai filler/pozzolan dalam satu campuran. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menguji kuat tekan pada umur 28 hari tanpa meninjau perkembangan kekuatan pada umur 7 dan 14 hari. Oleh karena itu, penelitian proposal skripsi ini mengisi gap tersebut dengan menerapkan kombinasi serat sabut kelapa (0,125% dan 0,50%) dan limbah kaca (20% dan 40%) secara bersamaan, serta mengamati perkembangan kuat tekan pada tiga umur pengujian (7, 14, 28 hari). Pendekatan ini memberikan kontribusi baru dalam pengembangan beton hijau berbasis multi-function waste synergy.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh campuran limbah sabut – kaca LSK1 (20% limbah kaca + 0,125% serat sabut kelapa) terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari?
2. Bagaimana pengaruh campuran limbah sabut – kaca LSK2 (40% limbah kaca + 0,50% serat sabut kelapa) terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari?
3. Bagaimana perbandingan pengaruh antara campuran LSK1 dan LSK2 terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari?
4. Berapakah komposisi optimal antara LSK1 dan LSK2 yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari?

Tujuan dan Batasan Masalah

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh LSK1 terhadap kuat beton pada umur 7,24,dan 28 hari.
2. Menganalisis pengaruh LSK2 terhadap kuat beton pada umur 7,24,dan 28 hari.
3. Membandingkan pengaruh LSK1 dan LSK2 terhadap kuat tekan beton.
4. Menentukan komposisi optimal (LSK1 dan LSK2) yang menghasilkan kuat tekan maksimum umur 28 hari.

Batasan Masalah

1. Penelitian difokuskan pada beton dengan substitusi parsial agregat halus menggunakan limbah kaca dan penambahan serat sabut kelapa.
2. Variasi campuran : BN (beton normal), LSK1 (20%kaca + 0,125% serat), LSK2 (40% kaca + 0,50% serat).
3. Pengujian hanya pada kuat tekan beton umur 7, 14, dan 28 hari.
4. Benda uji silinder (d=10,5 cm, t=21 cm) sesuai SNI 1974:2011.
5. Tidak menguji kuat Tarik, lentur, durabilitas, analisis ekonomi.

Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan studi kasus di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton ukuran $d=10,5\text{ cm}$ $t=21\text{ cm}$ sebanyak 27 buah, dengan rincian 3 variasi campuran (Beton normal, LSK1, LSK2) $\times$ 3 umur pengujian (7, 14, 28 hari) $\times$ 3 ulangan.

Tahap pengujian

1. Persiapan material.
2. Pengujian karakteristik material.
3. Persiapan limbah kaca dan serat sabut kelapa.
4. Perencanaan mix design.
5. Pembuatan benda uji.
6. Pengujian slump beton segar
7. Perawatan benda uji dengan perendaman
8. Pengujian kuat tekan beton pada umur 7,14,28 hari
9. Pengolahan dan Analisa hasil pengujian.

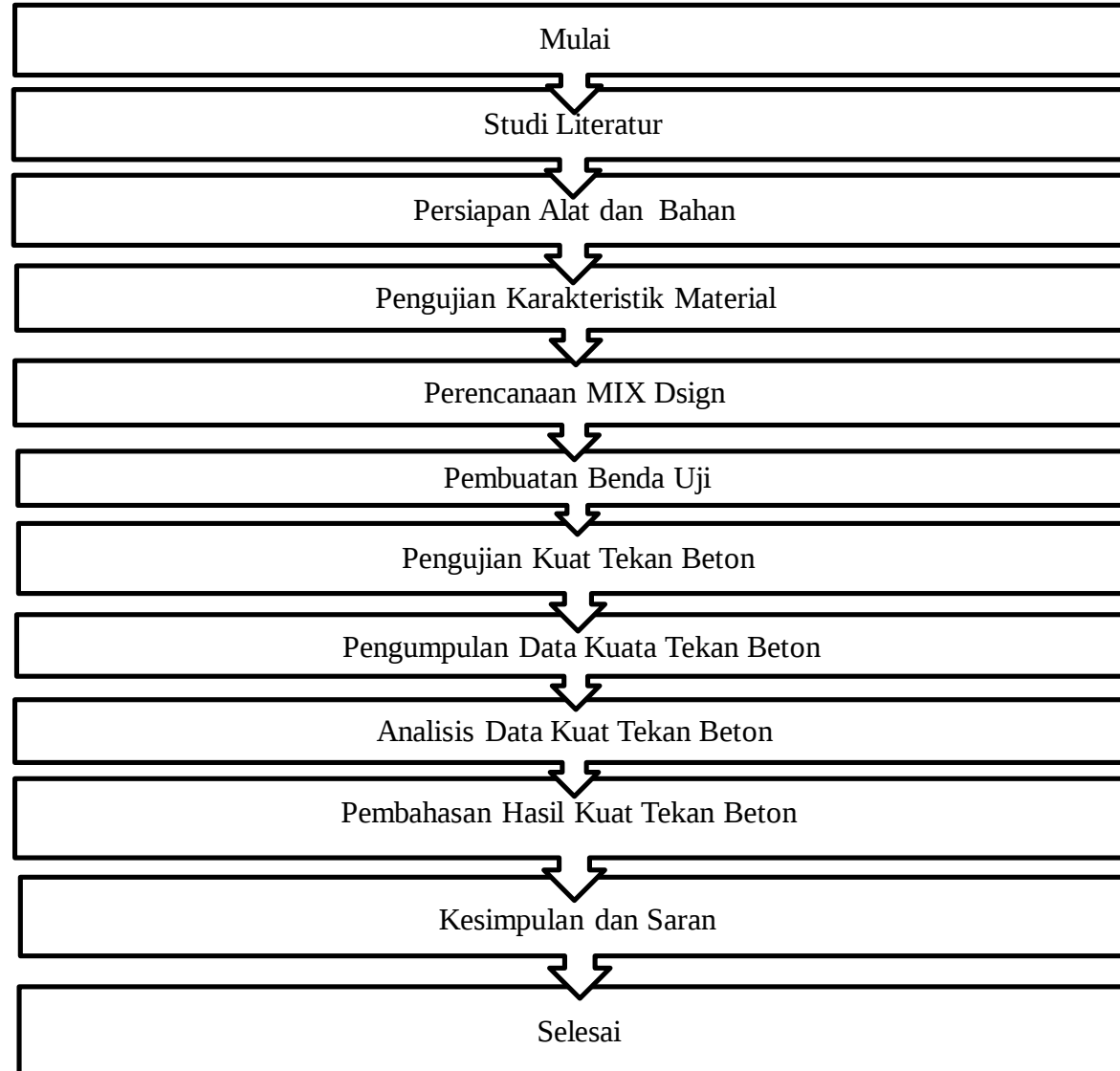
Metode Penelitian

Analisa Data

Data yang diperoleh merupakan data hasil pengujian laboratorium. Nilai kuat tekan setiap benda uji dihitung dan kemudian dibandingkan berdasarkan:

- Variasi campuran Beton normal, limbah kaca dan serat sabut kelapa variasi 1, limbah kaca dan serat sabut kelapa variasi 2
- Umur beton 7,14,28 hari
- Pencapaian terhadap mutu rencana K-225
- Perbandingan kinerja limbah kaca dan serat sabut kelapa variasi 1 dan limbah kaca dan serat sabut kelapa variasi 2

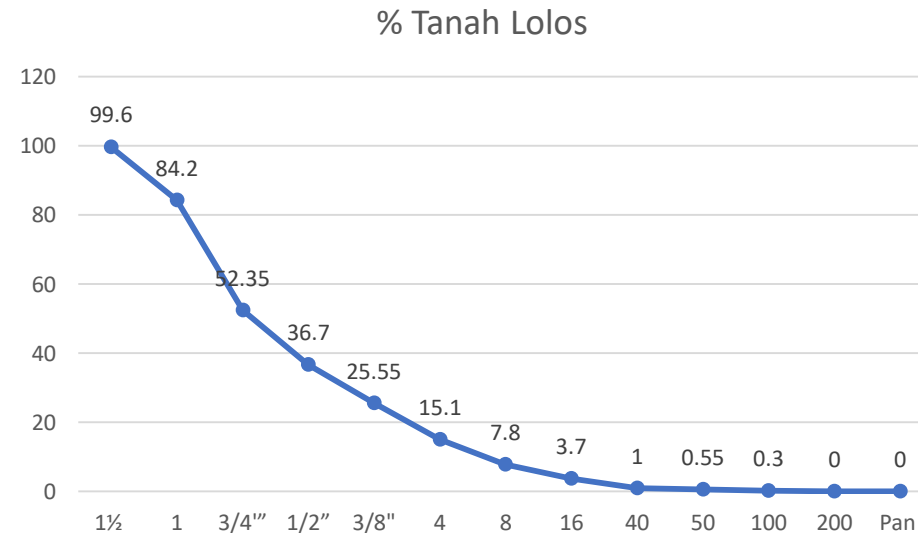
Kerangka Konseptual



Kelayakan Material

Kelayakan Material Agregat Kasar

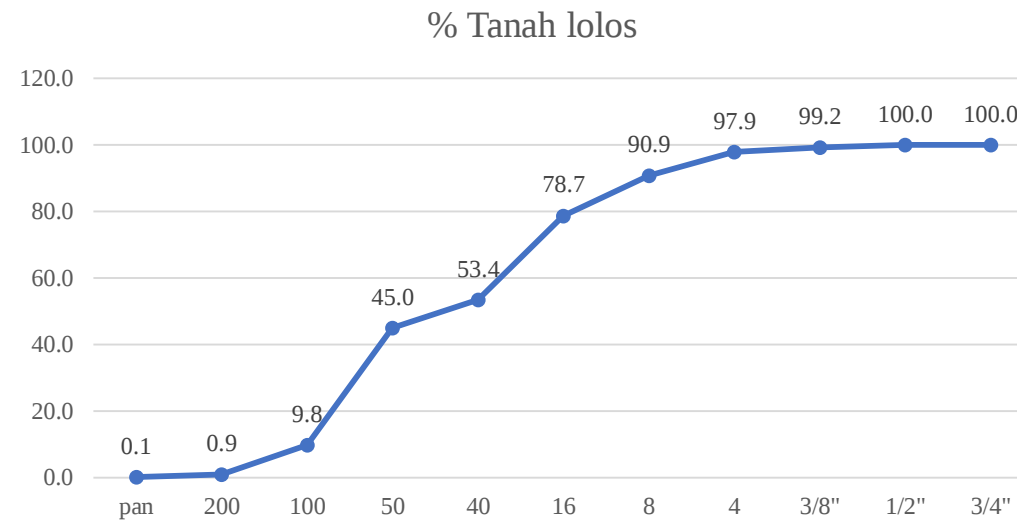
- Ukuran Maksimum: 37,5 mm
- Distribusi: gradasi normal 37,5 mm, sesuai SNI
- Kondisi: Bersih, memenuhi sarat untuk campuran beton



Kelayakan Material

Agregat Halus (Pasir Lumajang)

- Zona gradasi: Zona 2 (agak kasar)
- Kadar lumpur: 0% (SNI maksimal 5%)
- Kesimpulan: sangat bersih, gradasi baik, memberikan workability yang baik pada adukan



Kelayakan Material

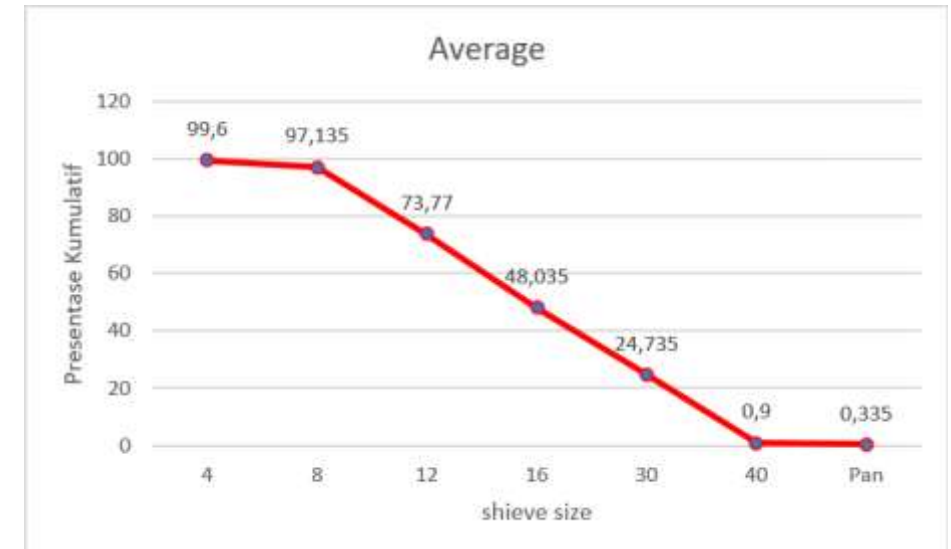
Hasil Kelayakan Limbah Kaca

Hasil Analisa saringan

- Zona gradasi: zona 2 (agak kasar).
- Modulus kehalusan butir (MKB): 3,56 (SNI: 1,50 - 3,80).

Kadar Lumpur

- Sangat rendah ($<1\%$), jauh di bawah batas maksimum 5%.
- Material kaca bersih dan steril, layak digunakan, Olii dkk. (2021)



Kelayakan Material

Kelayakan Serat Sabut Kelapa

Karakter Fisik:

- Panjang Serat: 50 mm.
- Kuat Tarik: 117,2 - 200 MPa (Sahrudin & Nadia, 2017).
- Berat Jenis: 1,12 - 1,15.
- Kadar Air: 12,36% (Metode Oven 105°C, 3 jam).

Analisis:

- Kadar air dalam rentang normal (10,05% - 12,89%).
- Karakteristik mekanis yang memadai untuk berfungsi sebagai micro-reinforcement.
- Sifat ringan dan kemampuan menghambat retak menjadi tambah.

Hasil Mix Design

Hasil Mix Design

Perencanaan campuran (SNI 03-2834-2000)

- Mutu rencana: K-225 ($F'_c = 18,68 \text{ Mpa}$)
- Faktor Air Semen (FAS): 0.56
- Ukuran agregat maksimum: 40 mm.
- Kadar air bebas: 205 kg/m^3 .
- Slump Rencana: 60-180 mm.

Bahan	Beton Normal	LSK 1 (kg)	LSK 2 (kg)
Semen	366	366	366
Air	205	205	205
Agregat kasar	1060	1060	1060
Agregat Halus	722	577,6	433,2
Limbah Kaca	0	144,4	288,8
Serat Sabut Kelapa	0	0,087	0,350
Total	2353	2353	2353

Hasil Uji Slump

Hasil Uji Slump

Penurunan slump pada LSK! Dan LSK 2 disebabkan oleh penyerapan air oleh serat sabut kelapa dan permukaan limbah kaca yang licin. Namun, seluruh nilai masih dalam rentang yang disyaratkan (60-180 mm), menunjukkan adukan masih mudah dikerjakan.



Variasi Beton	Nilai Slump (cm)
Beton Normal	9,0
LSK1 (20% kaca + 0,125% Serat sabut kelapa)	7,9
LSK 2 (40%kaca + 0,50% Serat Sabut kelapa)	7,5

Hasil Kuat Tekan

PERKEMBANGAN KUAT TEKAN BETON NORMAL

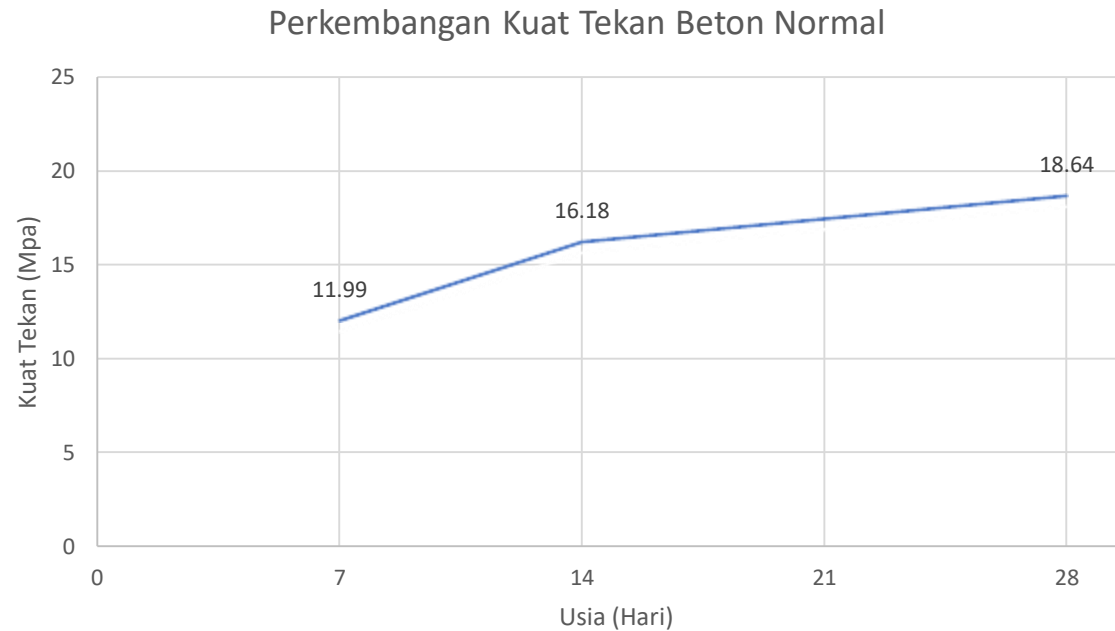
- Tren: Peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton.
- 7 Hari: 11,99 MPa.
- 14 Hari: 16,18 MPa (Naik 34,9% dari 7 hari).
- 28 Hari: 18,64 MPa (Naik 9,9% dari 14 hari).
- Target K-225 (18,68 MPa): TERCAPAI (99,79%).

Analisis:

Proses hidrasi semen berlangsung dengan baik, terutama pada fase awal (7-14 hari). Laju peningkatan melambat pada fase lanjut sesuai dengan teori.

Hasil Kuat Tekan

Grafik perkembangan kuat tekan beton normal



Hasil Kuat Tekan

PERKEMBANGAN KUAT TEKAN LSK1 (20% Limbah Kaca + 0,125% Serat Sabut Kelapa)

- Tren: Peningkatan stabil dari umur 7 hingga 28 hari.
- 7 Hari: 13,41 MPa.
- 14 Hari: 14,96 MPa (Naik 11,6%).
- 28 Hari: 18,03 MPa (Naik 20,5% dari 14 hari).
- Target K-225 (18,68 MPa): TERCAPAI (96,52%).

Analisis:

Kinerja yang baik. Limbah kaca 20% berfungsi sebagai *filler* (pengisi pori) dan serat 0,125% efektif sebagai *micro-reinforcement* tanpa mengganggu kepadatan matriks.

Hasil Kuat Tekan

Grafik perkembangan kuat tekan beton variasi 1



Hasil Kuat Tekan

PERKEMBANGAN KUAT TEKAN LSK2 (40% Limbah Kaca + 0,50% Serat Sabut Kelapa)

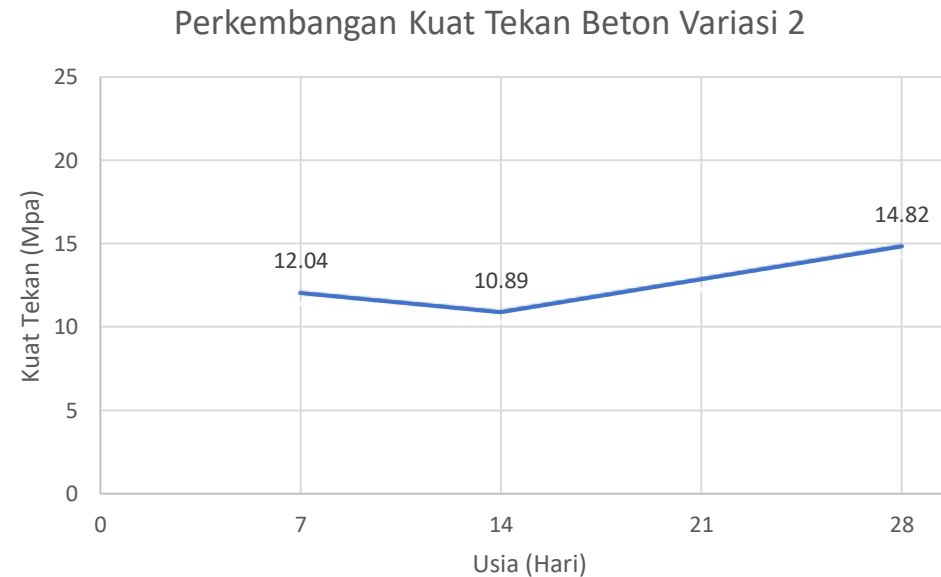
- Tren: Fluktuatif. Terjadi penurunan pada umur 14 hari.
- 7 Hari: 12,04 MPa.
- 14 Hari: 10,89 MPa (Turun 9,5%).
- 28 Hari: 14,82 MPa (Naik 36,1% dari 14 hari).
- Target K-225 (18,68 MPa): TIDAK TERCAPAI (79,34%).

Analisis:

Penurunan pada umur 14 hari mengindikasikan hambatan hidrasi semen. Kadar serat yang terlalu tinggi menyerap banyak air, dan substitusi kaca berlebihan mengurangi ikatan antar partikel.

Hasil Kuat Tekan

Grafik perkembangan kuat tekan beton variasi 2

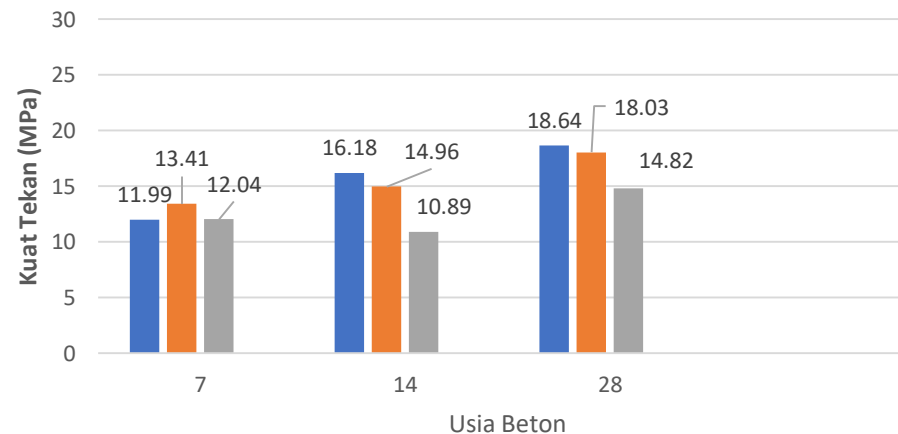


Hasil Kuat Tekan

Perbandingan Kuat Tekan Beton

Analisis

- Beton normal paling konsisten dan tertinggi
- LSK1 menunjukkan kinerja mendekati beton normal (hanya turun 3,27%)
- LSK2 menunjukkan kinerja terburuk



Hasil Kuat Tekan

Dokumentasi Uji Tekan



Pembahasan

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Faktor Penyebab Perbedaan Kinerja:

LSK1:

- Limbah Kaca (20%): Jumlah pasta semen cukup untuk melapisi partikel. Kaca berfungsi optimal sebagai *filler*.
- Serat (0,125%): Kadar rendah, tidak banyak menyerap air, distribusi merata, efektif menahan retak tanpa menimbulkan rongga.

LSK2:

- Limbah Kaca (40%): Pasta semen tidak cukup untuk melapisi seluruh partikel, terutama yang permukaannya licin, menyebabkan ikatan lemah.
- Serat (0,50%): Kadar terlalu tinggi, menyerap banyak air (hingga 125% dari berat serat), mengganggu hidrasi semen, dan berpotensi menggumpal menciptakan rongga mikro.

Kesimpulan

KESIMPULAN

1. LSK1 (20% LK + 0,125% Serat): Berpengaruh positif. Kuat tekan 18,03 MPa (96,52% target K-225) dan memenuhi syarat SNI 2847:2019. Kinerja mendekati beton normal.
2. LSK2 (40% LK + 0,50% Serat): Berpengaruh negatif. Kuat tekan 14,82 MPa (79,34% target) dan tidak memenuhi syarat SNI. Kadar serat dan kaca yang terlalu tinggi menyebabkan penurunan kinerja.
3. Komposisi Optimal: LSK1 adalah komposisi paling optimal dan stabil dalam mendukung perkembangan kuat tekan beton, yaitu dengan 20%limbah kaca dan 0,125% serat sabut kelapa sebagai bahan tambah, pada umur 28 hari diperoleh kuat tekan 18,03 Mpa, atau 96,52% dari target K-225 sebesar 18,68 Mpa, sehingga LSK1 merupakan variasi yang paling mendekati beton normal dan lebih baik dibandingkan LSK2.

Saran

SARAN UNTUK PENELITIAN LANJUTAN

- Eksplorasi Variasi: Lakukan penelitian lanjutan dengan variasi komposisi lain, misalnya 20% LK + 0,25% Serat atau 30% LK + 0,125% Serat, untuk menemukan titik optimum yang lebih presisi.
- Standarisasi Material: Kembangkan standar untuk pengolahan serat sabut kelapa (panjang, kadar air) dan limbah kaca (gradasi) agar kualitasnya konsisten.
- Pengujian Tambahan: Uji parameter mekanis lainnya (kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas) dan uji durabilitas untuk memahami kinerja jangka panjang beton ini.
- Optimasi FAS: Pertimbangkan untuk menggunakan FAS yang lebih rendah (misal, 0,50-0,55) untuk meningkatkan kuat tekan maksimum seluruh variasi.

