

Analisis Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Substitusi Limbah Kulit Kopi Robusta

Novi Andriani¹, Samsul Abdul Rahman Sidik Hasibuan²

^{1,2}Department of Civil Engineering, Universitas Medan Area
Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate / Jalan Gedung PBSI, Medan 20223

²E-mail: samsulrahman@staff.uma.ac.id

Abstract — This study analyzes the effect of substitution of robusta coffee husk waste (BKCR) on the compressive strength and splitting tensile strength of concrete. The variations of BKCR used were 5%, 7%, and 9% of the weight of cement, with normal concrete K-225 as a control. Testing was carried out at the ages of 14 and 28 days. The results showed that increasing the BKCR content tended to decrease the compressive strength and splitting tensile strength of concrete. At the age of 28 days, normal concrete had a compressive strength of 19.27 MPa and a splitting tensile strength of 2.26 MPa, while concrete with 9% BKCR experienced a decrease in compressive strength of up to 8.99 MPa and a splitting tensile strength of 0.88 MPa. Although there was a decrease in strength, the use of BKCR has the potential as an additive in environmentally friendly concrete with controlled use.

Keywords: concrete; coffee husk; compressive strength; splitting tensile strength; environmentally friendly materials.

Abstrak — Penelitian ini menganalisis pengaruh substitusi limbah kulit kopi robusta (BKCR) terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Variasi BKCR yang digunakan adalah 5%, 7%, dan 9% terhadap berat semen, dengan beton normal K-225 sebagai kontrol. Pengujian dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kadar BKCR cenderung menurunkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Pada umur 28 hari, beton normal memiliki kuat tekan 19,27 MPa dan kuat tarik belah 2,26 MPa, sedangkan beton dengan BKCR 9% mengalami penurunan kuat tekan hingga 8,99 MPa dan kuat tarik belah 0,88 MPa. Meskipun terjadi penurunan kekuatan, pemanfaatan BKCR berpotensi sebagai bahan tambah dalam ramah lingkungan dengan pemakaian yang terkontrol.

Kata-kata kunci: beton; kulit kopi; kuat tekan; kuat tarik belah; material ramah lingkungan.

I. PENDAHULUAN

Beton adalah material konstruksi yang sangat banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi serta durabilitas yang baik (Neville, 2011; Hamdi et al., 2022). Namun, proses produksi semen sebagai bahan utama beton memberikan kontribusi yang signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂), yang berpengaruh pada perubahan iklim (Hasibuan et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi, salah satunya dengan memanfaatkan bahan limbah sebagai bahan tambah dalam campuran beton (Nasution et al., 2024; Aprilia et al., 2024), seperti limbah kulit kopi robusta (BKCR). Kulit kopi merupakan limbah pertanian yang melimpah, terutama di negara-negara penghasil kopi seperti Indonesia (Navaselsau et al., 2020; Fitri, 2017; Harsono et al., 2014). Dengan demikian, pemanfaatan BKCR sebagai bahan substitusi parsial dalam beton dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk mengurangi limbah organik dan mengurangi emisi karbon dari industri konstruksi. Sifat mekanik beton, seperti kuat tekan dan kuat tarik

belah, sangat penting untuk menentukan kelayakan beton dalam aplikasi struktural (Mindess et al., 1981; Dwinta et al., 2024; Amin, 2025). Kuat tekan beton merujuk pada kemampuan beton menahan beban aksial sebelum mengalami kegagalan, sementara kuat tarik belah mengacu pada kemampuan beton menahan gaya tarik yang terjadi secara tidak langsung (ACI Committee 318, 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan bahan organik dalam beton dapat mempengaruhi sifat mekaniknya, tergantung pada jenis dan proporsi bahan yang digunakan (Ganesan et al., 2008). BKCR mengandung senyawa organik dan serat alami yang berpotensi mempengaruhi sifat mekanik beton, baik dalam meningkatkan atau menurunkan kekuatan beton (Pratama et al., 2021). Berbagai penelitian telah dilakukan terkait pemanfaatan limbah pertanian dalam beton. Ganesan et al. (2008) meneliti penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tambah dalam beton dan menemukan bahwa penggunaannya dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 10%. Pratama et al. (2021) meneliti efek serat alam dalam beton dan menemukan bahwa serat dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap retak

tetapi berpotensi menurunkan kuat tekan jika digunakan dalam kadar yang berlebihan. Namun, studi tentang pemanfaatan BKKR dalam beton masih terbatas, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi BKKR terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Variasi kadar BKKR yang digunakan adalah 5%, 7%, dan 9% terhadap berat semen, dengan beton normal K-225 sebagai kontrol. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan wawasan mengenai potensi pemanfaatan limbah kulit kopi robusta dalam beton serta kontribusinya terhadap pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini penting dilakukan karena dapat memberikan solusi terhadap dua permasalahan utama yaitu pengurangan limbah kulit kopi yang dapat mencemari lingkungan dan penciptaan beton yang lebih berkelanjutan. Dengan memahami pengaruh BKKR terhadap sifat mekanik beton, penelitian ini berkontribusi dalam upaya pengembangan inovasi material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam bidang material berbasis limbah organik.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk mengetahui pengaruh penambahan kulit kopi robusta (BKKR) sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat-sifat teknis beton. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Komponen bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari semen Portland Tipe I merk Semen Padang, agregat halus dan agregat kasar yang berasal dari daerah PT. Sumber Rezeki Alam, serta air yang diperoleh dari Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Kulit kopi robusta yang digunakan sebagai bahan pengganti semen diperoleh dari Desa Siboruon, Kecamatan Balige, Kabupaten Toba Samosir, Provinsi Sumatera Utara. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi saringan, timbangan digital, gelas ukur 1000 ml, oven, cetakan beton silinder 15 x 30 cm,

mesin uji beton, concrete mixer, kerucut Abrams, besi pengaduk, ember, sendok semen, dan alat pendukung lainnya. Tahapan penelitian yang dilakukan antara lain mencakup analisa saringan agregat kasar berdasarkan ASTM C33-2016 dan SII 0052, pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar (SK SNI S-04-1989-F), serta pemeriksaan kadar air agregat kasar (ASTM C70). Selain itu, dilakukan analisa saringan agregat halus (ASTM C33-03 dan SK SNI S-04-1989-F), pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (ASTM C117-03), serta pemeriksaan kadar air agregat halus (ASTM C566-04). Untuk bahan baku kulit kopi robusta, dilakukan pemeriksaan gradasinya dengan metode analisa saringan. Campuran beton dirancang berdasarkan SNI 7656:2012 (SNI 7656, 2012). Setelah itu, dilakukan pengujian slump untuk memastikan kadar kelecakan beton sesuai standar dan beton yang telah dicetak dilakukan perawatan (curing) selama 14 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 14 hari, dan pengujian kuat tarik belah juga dilakukan pada umur yang sama. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh data yang valid mengenai pengaruh substitusi kulit kopi robusta terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan dan kuat tarik belah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan berbagai pengujian terhadap bahan dan beton untuk mengetahui pengaruh penambahan kulit kopi robusta terhadap sifat-sifat mekanik beton. Hasil perhitungan dan pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, yang memberikan informasi yang lebih jelas tentang kualitas bahan dan performa beton.

Hasil Perhitungan Analisis Saringan Agregat Kasar

Hasil analisis saringan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan distribusi partikel agregat pada berbagai ukuran saringan, yang penting untuk memastikan komposisi campuran beton yang sesuai. Tabel 1 menunjukkan persentase masing-masing ukuran agregat kasar setelah dilakukan pengujian.

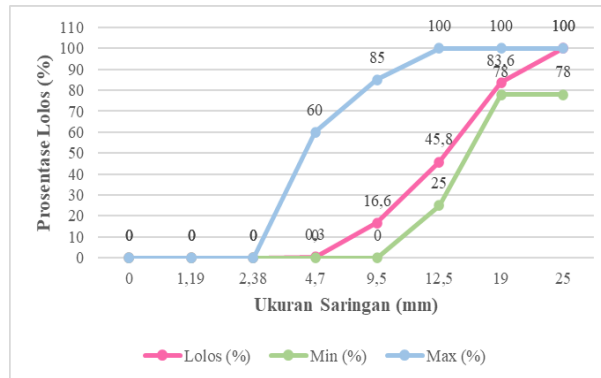
Tabel 1. Hasil analisis saringan agregat kasar

Ukuran Saringan (mm)	Berat Agregat (gr)	Persentase Agregat Tertinggal (%)	Komulatif Agregat Tertinggal (%)	Present Finner (%)	ASTM C33	
					Min (%)	Max (%)

25	0	0	0	100	78	100
19	164	16,40	16,40	83,60	78	100
12,5	378	37,80	54,20	45,80	25	100
9,5	292	29,20	83,40	16,60	0	85
4,7	163	16,30	99,70	0,30	0	60
2,38	3	0,30	100	0	0	0
1,19	0	0	100	0	0	0
PAN	0	0	100	0	0	0
Σ	1000	100	553,70	246,30	-	-

Gambar 1 menggambarkan distribusi ukuran agregat kasar berdasarkan hasil analisis saringan yang dilakukan. Gambar ini menunjukkan bahwa

agregat kasar memiliki distribusi ukuran yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.



Gambar 1. Distribusi ukuran agregat kasar

Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur pada agregat

kasar. Hasil pengujian kadar lumpur untuk berbagai sampel ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar

Percobaan	Berat Cawan (W_2)	Berat Cawan + Agregat Sebelum di Oven (W_1)	Berat Cawan + Agregat Setelah di Oven (W_4)	Berat Agregat Sebelum di Oven (W_3)	Berat Agregat Setelah di Oven (W_5)	Kadar Lumpur (%)	Kadar Lumpur rata-rata (%)	Syarat SK SNI S-04-1989-F
1	45,2	545,2	541	500	495,8	0,84	0,72	OK
2	45	545	542	500	497	0,6		

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar Pemeriksaan kadar air dilakukan untuk memastikan kelembaban agregat kasar. Berikut

adalah hasil pemeriksaan kadar air untuk agregat kasar pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan kadar air agregat kasar

Percobaan	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Agregat Sebelum di Oven (gr)	Berat Cawan + Agregat Setelah di Oven (gr)	Berat agregat sebelum di oven (W_1)	Berat agregat setelah di oven (W_2)	Kadar Air (%)	Kadar Air rata-rata (%)	Syarat ASTM C70
1	43,8	543,8	538	500	494,2	1,17	1,19	OK
2	44	544	538	500	494	1,21		

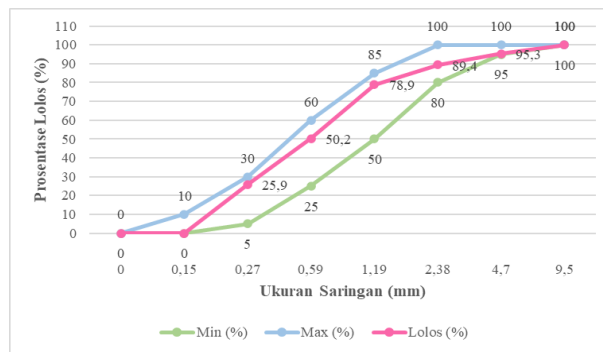
Hasil Perhitungan Analisis Saringan Agregat Halus

Agregat halus juga diuji untuk mengetahui distribusi ukuran butirnya. Hasil analisis saringan agregat halus ditampilkan dalam Tabel 4. Gambar

2 menunjukkan distribusi ukuran agregat halus berdasarkan hasil analisis saringan. Gambar ini memberikan gambaran yang jelas tentang ukuran butir dan proporsi agregat halus yang digunakan dalam campuran beton.

Tabel 4. Hasil analisis saringan agregat halus

Ukuran Saringan (mm)	Berat Agregat (gr)	Persentase Agregat Tertinggal (%)	Kumulatif Agregat Tertinggal (%)	Present Finner (%)	ASTM C33	
					Min (%)	Max (%)
9,5	0	0	0	100	100	100
4,7	47	4,7	4,70	95,30	95	100
2,38	59	5,9	10,60	89,40	80	100
1,19	105	10,5	21,10	78,90	50	85
0,59	287	28,7	49,80	50,20	25	60
0,27	243	24,3	74,10	25,90	5	30
0,15	259	25,9	100,00	0	0	10
PAN	0	0	100	0	0	0
Σ	1000	100	360,3	439,7	-	-



Gambar 2. Distribusi ukuran agregat halus

Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus Kadar lumpur pada agregat halus diperiksa untuk mengetahui apakah ada kandungan material yang

tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi kualitas beton. Hasil pengujian kadar lumpur untuk berbagai sampel ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus

Percobaan	Volume Pasir + Lumpur (ml)	Volume Pasir (V ₁)	Volume Lumpur (V ₂)	Kadar Lumpur (%)	Kadar Lumpur Rata-Rata (%)	Syarat ASTM C117-03
1	500	470	30	6,00	4,00	OK
2	500	490	10	2,00		

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Berikut adalah hasil pemeriksaan kadar air untuk agregat halus pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus

Percobaan	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Agregat Sebelum di Oven (gr)	Berat Cawan + Agregat Setelah di Oven (gr)	Agregat Sebelum di Oven (gr)	Agregat Setelah di Oven (gr)	Kadar Air (%)	Kadar Air Rata-Rata (%)	Syarat ASTM C566-04
1	44,2	544,2	525,20	500,00	481,00	3,95	3,63	OK
2	35	535	519,00	500,00	484,00	3,31		

Hasil Pemeriksaan Gradasi Kulit Kopi Robusta Kulit kopi robusta digunakan sebagai bahan substitusi semen dalam campuran beton. Hasil

pemeriksaan gradasi kulit kopi robusta ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pemeriksaan gradasi kulit Kopi Robusta

Ukuran Saringan (mm)	Berat sampel (gr)	Persentase (%)
9,5	200	40
4,7	150	30
2,38	120	24

Ukuran Saringan (mm)	Berat sampel (gr)	Persentase (%)
1,19	80	16
0,59	40	8
Σ	1000	100

Hasil Perancangan Campuran Beton berdasarkan SNI 7656:2012 Perancangan campuran beton dilakukan berdasarkan standar SNI 7656:2012 untuk

mencapai mutu beton K-225. Hasil rancangan campuran beton disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perancangan Campuran Beton

Material	Berat (kg/m ³)
Semen	320
Agregat Halus	700
Agregat Kasar	1050
Air	185
Kulit Kopi Robusta	Variatif

Hasil Pengujian Slump Pengujian slump dilakukan untuk mengevaluasi workability campuran beton. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa nilai slump berada dalam rentang yang sesuai dengan standar, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian Slump beton

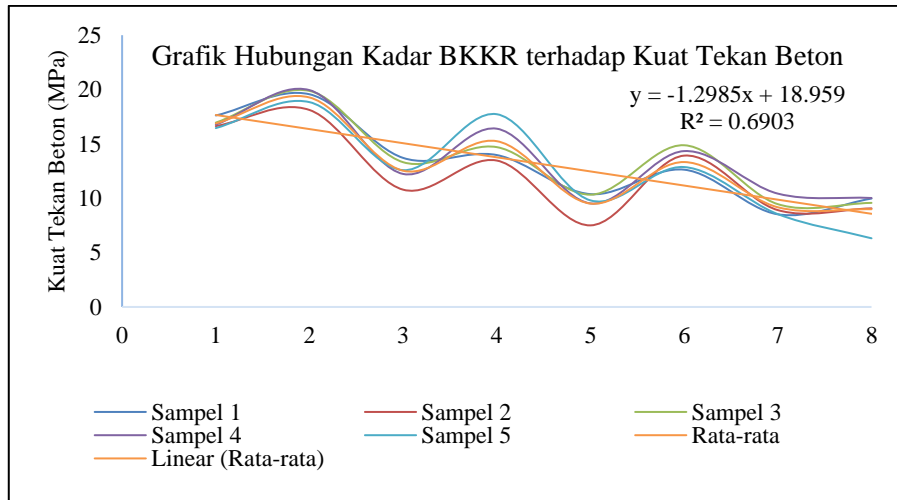
Sampel	Slump (cm)
BN K-225	10
BKKR 5%	9
BKKR 7%	8
BKKR 9%	7

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton dengan substitusi BKKR (Bubuk Kulit Kopi Robusta). Hasil

pengujian kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 10, sedangkan grafik hubungan antara kadar BKKR dan kuat tekan ditampilkan dalam Gambar 4.

Tabel 10. Hasil pengujian kuat tekan beton

Benda Uji	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Rata-rata
BN K-225 (14 Hari)	17.615	16.638	16.958	16.773	16.455	16.88
BN K-225 (28 Hari)	19.565	18.12	19.875	19.949	18.841	19.27
BKKR 5% (14 Hari)	13.711	10.788	13.315	12.237	12.584	12.53
BKKR 5% (28 Hari)	13.974	13.469	14.703	16.397	17.731	15.25
BKKR 7% (14 Hari)	10.378	7.507	10.329	9.524	9.802	9.51
BKKR 7% (28 Hari)	12.629	13.921	14.877	14.339	12.869	13.33
BKKR 9% (14 Hari)	8.523	8.91	9.457	10.426	8.54	9.17
BKKR 9% (28 Hari)	9.971	9.069	9.575	10.024	6.317	8.99



Gambar 4. Grafik hubungan kadar BKKR terhadap kuat tekan beton

Dari hasil analisis regresi linier yang diperoleh melalui Excel, hubungan antara kadar BKKR dengan kuat tekan beton menunjukkan bahwa setiap peningkatan kadar BKKR sebesar 1% akan menurunkan kuat tekan beton sekitar 1.2985 MPa. Nilai $R^2 = 0.6903$ mengindikasikan bahwa terdapat hubungan yang cukup kuat antara kadar BKKR dengan penurunan kuat tekan beton. Berdasarkan hasil ini, terlihat bahwa semakin tinggi kadar BKKR yang digunakan sebagai substitusi semen, semakin rendah kuat tekan beton yang diperoleh. Oleh karena itu,

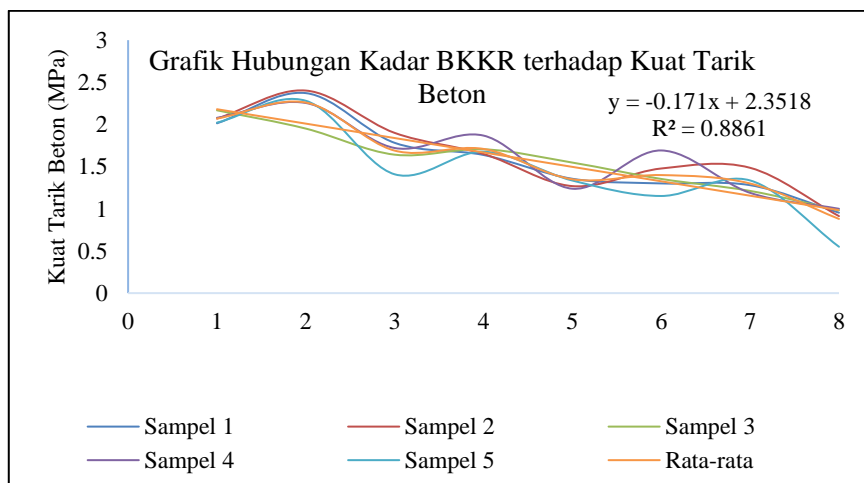
penggunaan BKKR dalam beton harus dibatasi agar tetap memenuhi standar kekuatan beton yang disyaratkan.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Selain kuat tekan, pengujian kuat tarik belah juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh BKKR terhadap sifat tarik beton. Hasil pengujian kuat tarik belah ditampilkan dalam Tabel 11, dan grafik hubungan antara kadar BKKR dan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 11. Hasil pengujian kuat tarik beton

Benda Uji	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Rata-rata
BN K-225 (14 Hari)	2.014	2.07	2.168	2.079	2.022	2.07
BN K-225 (28 Hari)	2.372	2.402	1.951	2.255	2.281	2.26
BKKR 5% (14 Hari)	1.782	1.9	1.642	1.721	1.409	1.69
BKKR 5% (28 Hari)	1.638	1.65	1.706	1.868	1.677	1.71
BKKR 7% (14 Hari)	1.356	1.269	1.548	1.238	1.335	1.35
BKKR 7% (28 Hari)	1.301	1.478	1.354	1.692	1.152	1.4
BKKR 9% (14 Hari)	1.28	1.486	1.212	1.189	1.336	1.3
BKKR 9% (28 Hari)	0.954	0.913	0.982	1	0.55	0.88



Gambar 5. Grafik hubungan kadar BKKR terhadap kuat tarik beton

Hasil analisis regresi linier menggunakan Excel menunjukkan bahwa hubungan antara kadar BKKR dan kuat tarik belah beton menunjukkan bahwa setiap peningkatan kadar BKKR sebesar 1% akan menurunkan kuat tarik belah beton sekitar 0.171 MPa. Nilai $R^2 = 0.8861$ menunjukkan bahwa hubungan antara kadar BKKR dan kuat tarik belah beton cukup kuat dibandingkan dengan kuat tekan beton. Dari hasil ini, terlihat bahwa semakin tinggi kadar BKKR, semakin rendah nilai kuat tarik belah beton yang diperoleh. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan BKKR sebagai substitusi sebagian semen perlu dikendalikan agar beton tetap memiliki sifat mekanik yang baik.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi limbah kulit kopi robusta (BKKR) sebagai bahan tambahan dalam beton memiliki dampak signifikan terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Semakin tinggi kadar BKKR yang digunakan, semakin rendah kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan. Pada umur 28 hari, beton normal mencapai kuat tekan 19,27 MPa dan kuat tarik belah 2,26 MPa, sementara beton dengan BKKR 5%, 7%, dan 9% mengalami penurunan kekuatan berturut-turut menjadi 15,25 MPa, 13,33 MPa, dan 8,99 MPa untuk kuat tekan serta 1,71 MPa, 1,40 MPa, dan 0,88 MPa untuk kuat tarik belah. Meskipun terdapat penurunan kekuatan, pemanfaatan BKKR berpotensi sebagai alternatif bahan tambah dalam beton ramah lingkungan, dengan catatan bahwa proporsi penggunaannya harus dikendalikan agar tetap memenuhi standar kekuatan beton yang disyaratkan.

REFERENCES

- ACI Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19)*. American Concrete Institute.
- Amin, M. A. R. (2025). Analisis efisiensi beton daur ulang sebagai alternatif agregat pada konstruksi berkelanjutan. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(1), 207–216.
- Aprilia, A., Rahman, Y., & Aprildahani, B. R. (2024). Karakteristik pengembangan ekonomi lokal berbasis produktivitas kopi robusta di Desa Batu Kebayan Lampung Barat. *Jurnal Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan*, 4(3), 195–204.
- Dwinta, A., Erliana, H., & Chaira, C. (2024). Pengaruh penggunaan bahan tambah sebagai substitusi semen dan agregat terhadap nilai kuat tarik belah beton mutu tinggi hybrid. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(4), 2698–2709.
- Fitri, N. (2017). *Pembuatan briket dari campuran kulit kopi (Coffea arabica) dan serbuk gergaji dengan menggunakan getah pinus (Pinus merkusii) sebagai perekat*. UIN Alauddin Makassar.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2008). Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1675–1683. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.06.011>
- Hamdi, F., Lapian, F. E. P., Tumpu, M., Mabui, D. S. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., & Rangan, P. R. (2022). *Teknologi beton*. Tohar Media.
- Harsono, S. S., Fauzi, M., Purwono, G. S., & Sumarno, D. (2014). Pengembangan teknologi pengolahan limbah kopi menjadi bioetanol dan biogas untuk mendukung percepatan kemandirian energi pada masyarakat di kawasan sentra kopi rakyat.
- Hasibuan, S. A. R. S., Prayuda, H., Zuhanda, M. K., & Anisa, Y. (2023). Enhancing concrete strength and sustainability: The role of Medan Barangan banana skin powder as a cement substitute. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 10(109), 1731.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (1981). *Concrete*. Prentice-Hall.
- Nasution, M., Siregar, N. S. S., & Irwansyah, M. (2024). Peningkatan pendapatan petani kopi dari pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai bahan kompos dan sebagai agregat campuran beton ringan. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(3), 2546–2556.
- Navaseltsau, U., Navaseltsava, D., & Shenogin, M. (2020, July). Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 896, No. 1, p. 012057). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. Pearson Education Limited.
- SNI 7656. (2021). *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. Badan Standardisasi Nasional.