



Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 2 No 1 June 2026, Hal. 249-259
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)
Open Access: <https://scriptainteletektual.com/scripta-technica>

Analisis Kuat Tekan, Kuat Belah, dan Kuat Lentur Beton Menggunakan Limestone dan Bestmittel Sebagai Bahan Tambah

Juanito Eka Setiawan^{1*}, Ricky Muhammad², Antonius³

¹⁻³ Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

email: juanitoekasetiawan@gmail.com¹

Article Info :

Received:
25-04-2026
Revised:
10-05-2026
Accepted:
20-05-2026

Abstract

This study aims to analyze the effect of adding limestone and bestmittel on the compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength of concrete as an effort to improve the mechanical properties of concrete. The study employed a laboratory experimental method using test specimens in the form of concrete cylinders and beams consisting of normal concrete, variations with 10% limestone and 0.25% bestmittel, and 10% limestone and 0.5% bestmittel. Testing was conducted at 7 and 28 days of age through compressive strength, split tensile strength, and flexural strength tests. The results showed that the addition of limestone and bestmittel was able to improve concrete performance in certain mixtures. The highest compressive strength value was obtained in the 10% limestone and 0.25% bestmittel mixture, at 25.370 MPa at 28 days of age. Split tensile strength and flexural strength tests showed optimal results in the 10% limestone and 0.5% Bestmittel mixture, with split tensile strength of 2.205 MPa and flexural strength of 2.951 MPa. The addition of limestone and Bestmittel was proven to increase mixture density, improve workability, and enhance the mechanical quality of the concrete.

Keywords: Concrete, Limestone, Bestmittel, Compressive Strength, Flexural Strength.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan limestone dan bestmittel terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton sebagai upaya meningkatkan karakteristik mekanis beton. Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan benda uji berupa silinder dan balok beton yang terdiri atas beton normal, variasi limestone 10% dan bestmittel 0,25%, serta limestone 10% dan bestmittel 0,5%. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari melalui pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limestone dan bestmittel mampu meningkatkan performa beton pada variasi tertentu. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi limestone 10% dan bestmittel 0,25% sebesar 25,370 MPa pada umur 28 hari. Pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur menunjukkan hasil optimal pada variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2,205 MPa dan kuat lentur sebesar 2,951 MPa. Penambahan limestone dan bestmittel terbukti mampu meningkatkan kepadatan campuran, memperbaiki workability, dan meningkatkan kualitas mekanis beton.

Kata kunci: Beton, Limestone, Bestmittel, Kuat Tekan, Kuat Lentur.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang memiliki peranan sangat penting dalam perkembangan pembangunan infrastruktur modern karena hampir seluruh pekerjaan struktur memanfaatkan beton sebagai elemen utama pembentuk konstruksi bangunan. Karakteristik beton yang tersusun dari campuran agregat halus, agregat kasar, semen, dan air menjadikan material ini mampu dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi dengan tingkat kekuatan yang berbeda-beda berdasarkan komposisi penyusunnya. Indonesia, Standar Nasional, and Badan Standardisasi Nasional (2000) menjelaskan bahwa perencanaan campuran beton normal harus mempertimbangkan proporsi material secara tepat agar mutu beton yang dihasilkan sesuai dengan kekuatan rencana. Kebutuhan beton yang terus meningkat setiap tahun menyebabkan penggunaan material alam seperti pasir dan batu pecah semakin tinggi sehingga mendorong berbagai penelitian mengenai pemanfaatan material alternatif yang mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kualitas beton. Perkembangan teknologi konstruksi akhirnya tidak hanya berfokus pada pencapaian mutu beton semata, tetapi juga mengarah pada efisiensi

material, pengurangan biaya produksi, serta pemanfaatan bahan tambahan yang mudah diperoleh di lingkungan sekitar.

Penggunaan material berbasis batu kapur mulai banyak dikembangkan sebagai bahan campuran beton karena kandungan kalsium karbonat di dalamnya dinilai mampu memberikan kontribusi terhadap kepadatan dan karakteristik pasta semen. Kandi, Ramang, dan Cornelis (2012) menyatakan bahwa pemanfaatan kapur alam pada campuran beton menunjukkan adanya perubahan sifat mekanik beton tergantung pada proporsi campuran yang digunakan. Mushthofa dan Yanwar (2021) juga mengemukakan bahwa tanah urug limestone memiliki potensi sebagai material substitusi dalam campuran beton karena sifat mineralnya mampu meningkatkan kerapatan struktur beton. Pemanfaatan limestone tidak hanya diarahkan sebagai material tambahan, melainkan juga sebagai upaya mengurangi penggunaan semen yang selama ini menjadi komponen dengan biaya produksi cukup tinggi. Penggunaan limestone pada campuran beton akhirnya menjadi alternatif yang menarik untuk dikaji lebih jauh karena mampu menghadirkan kombinasi antara efisiensi material dan peningkatan performa beton pada kondisi tertentu.

Karakteristik beton yang sangat dipengaruhi oleh kualitas pasta semen menyebabkan penambahan bahan aditif kimia menjadi salah satu pendekatan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi modern. Bestmittel dikenal sebagai bahan tambah kimia yang mampu mempercepat proses pengerasan beton sekaligus meningkatkan workability campuran sehingga proses pengecoran menjadi lebih efektif. Prayitno, Sugiyarto, dan Murti (2016) menjelaskan bahwa penggunaan bestmittel pada campuran beton dapat memberikan pengaruh terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, serta modulus elastisitas beton. Prayitno, Supardi, dan Hamonangan (2015) juga menemukan bahwa penambahan bestmittel pada beton mutu tinggi memberikan peningkatan pada kuat tekan maupun kuat lentur balok beton. Penggunaan bahan tambah kimia seperti bestmittel akhirnya menjadi salah satu solusi yang banyak diterapkan pada pekerjaan konstruksi dengan kebutuhan percepatan waktu pengerjaan tanpa mengurangi kualitas struktur beton yang dihasilkan.

Penelitian mengenai pemanfaatan batu kapur sebagai bahan tambah beton telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan hasil yang menunjukkan adanya pengaruh terhadap kekuatan beton. Permatasari dan Kurniawan (2022) menemukan bahwa penambahan batu kapur pada beton mutu K-250 menghasilkan variasi nilai kuat tekan pada umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari, di mana campuran dengan kadar tertentu mampu memberikan peningkatan kekuatan dibanding beton normal. Penelitian tersebut memperlihatkan bahwa penggunaan limestone sebanyak 10% dari berat semen menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 225,48 kg/cm² pada umur 28 hari. Muhammad et al. (2019) juga mengungkapkan bahwa material berbasis batu kapur mampu memberikan kontribusi terhadap peningkatan karakteristik campuran konstruksi melalui perbaikan kepadatan material pengisi. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa batu kapur memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai material tambahan yang dapat memengaruhi performa mekanis beton.

Kajian mengenai penggunaan bestmittel pada campuran beton juga menunjukkan hasil yang cukup signifikan terhadap peningkatan kekuatan beton. Yusro et al. (2024) menyatakan bahwa penambahan bestmittel memberikan pengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton karena bahan tambah tersebut mampu mempercepat reaksi hidrasi semen pada usia awal beton. Sakur dan Muhammadiyah (2025) menemukan bahwa penggunaan zat additive bestmittel mampu meningkatkan nilai kuat tekan beton hingga mencapai peningkatan total sebesar 6,42 MPa pada variasi tertentu. Penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa penambahan bestmittel mampu memperbaiki nilai kuat tarik belah beton setelah sebelumnya mengalami penurunan akibat penggunaan material lain dalam campuran. Kinerja bestmittel yang mampu mempercepat pengerasan beton menjadikan bahan tambah ini banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi yang membutuhkan pencapaian mutu beton dalam waktu relatif singkat.

Kebutuhan terhadap beton berkualitas tinggi tidak hanya diukur berdasarkan kuat tekan semata, melainkan juga harus memperhatikan kuat tarik belah dan kuat lentur sebagai indikator kemampuan beton dalam menerima berbagai jenis pembebanan struktur. Beton pada dasarnya memiliki kelemahan terhadap gaya tarik sehingga pengujian kuat tarik belah menjadi sangat penting untuk mengetahui ketahanan beton terhadap potensi retak. Pengujian kuat lentur juga memiliki peranan penting karena elemen balok beton pada struktur bangunan akan menerima beban lentur selama masa pelayanan konstruksi berlangsung. Kamarullah, Hamkah, dan Istia (2025) menjelaskan bahwa penggunaan admixture pada campuran beton mampu memengaruhi karakteristik mekanis beton secara menyeluruh

tergantung pada jenis dan kadar bahan tambah yang digunakan. Pengujian terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur akhirnya menjadi parameter utama untuk menilai efektivitas penggunaan limestone dan bestmittel dalam campuran beton mutu K-300.

Pengembangan penelitian mengenai beton dengan bahan tambah limestone dan bestmittel masih memiliki ruang kajian yang cukup luas karena sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada salah satu parameter kekuatan beton. Penelitian terdahulu lebih banyak membahas kuat tekan beton tanpa menghubungkannya secara menyeluruh terhadap kuat tarik belah dan kuat lentur pada variasi campuran tertentu. Kombinasi penggunaan limestone sebagai pengganti sebagian semen dan bestmittel sebagai zat additive belum banyak dikaji secara bersamaan pada beton mutu K-300 dengan pengujian umur 7 hari dan 28 hari. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa masih diperlukan penelitian yang mampu memberikan gambaran lebih lengkap mengenai pengaruh kombinasi kedua material tersebut terhadap sifat mekanis beton. Kajian yang lebih mendalam mengenai penggunaan limestone dan bestmittel diharapkan mampu memberikan informasi teknis yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi pengembangan material beton pada pekerjaan konstruksi masa mendatang.

Penelitian ini difokuskan pada analisis kuat tekan, kuat belah, dan kuat lentur beton menggunakan limestone dan bestmittel sebagai bahan tambah dengan variasi campuran tertentu pada beton mutu K-300. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limestone sebagai pengganti sebagian semen serta bestmittel sebagai zat additive terhadap perubahan karakteristik mekanis beton dibandingkan dengan beton normal. Benda uji yang digunakan berupa silinder dan balok beton dengan pengujian dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari agar diperoleh gambaran perkembangan kekuatan beton pada usia awal maupun usia rencana. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai efektivitas penggunaan limestone dan bestmittel terhadap peningkatan performa beton sekaligus menjadi alternatif inovasi material konstruksi yang lebih efisien. Pemanfaatan material tambahan tersebut juga diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan teknologi beton yang lebih ekonomis, praktis, dan tetap memenuhi kebutuhan kekuatan struktur konstruksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan metode penelitian eksperimental untuk menganalisis pengaruh penggunaan limestone dan bestmittel terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, serta kuat lentur beton mutu K-300. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, persiapan alat dan bahan, perencanaan campuran beton (mix design), hingga pembuatan benda uji sesuai standar perencanaan beton normal. Material yang digunakan terdiri atas semen Portland tipe I, agregat halus berupa pasir alam dari daerah Muntilan, agregat kasar batu pecah ukuran maksimum 20 mm, air laboratorium, limestone berupa kapur tohor murni, dan zat additive bestmittel yang diperoleh melalui toko daring. Peralatan penelitian meliputi concrete mixer, cetakan silinder dan balok, mesin uji tekan, alat uji slump, vibrator, timbangan, serta berbagai alat pendukung lainnya yang digunakan untuk memastikan proses pembuatan beton berjalan sesuai prosedur. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm × 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah, serta balok berukuran 60 cm × 15 cm × 15 cm untuk pengujian kuat lentur dengan total keseluruhan benda uji sebanyak 39 sampel.

Perencanaan campuran beton dilakukan menggunakan pedoman SNI 7394:2008 dengan mutu rencana beton normal sebesar 25 MPa dan faktor air semen sebesar 0,49. Komposisi campuran beton normal per meter kubik terdiri atas semen sebanyak 418,36 kg, pasir 698,256 kg, kerikil 1047,384 kg, dan air 205 liter dengan perbandingan campuran 1 : 1,67 : 2,50 : 0,49. Variasi penelitian terdiri atas beton normal tanpa bahan tambah, beton dengan substitusi limestone sebesar 10% dari berat semen dan penambahan bestmittel 0,25%, serta beton dengan limestone 10% dan bestmittel 0,5%. Proses pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampurkan seluruh material menggunakan concrete mixer hingga homogen, dilanjutkan pengujian slump, pencetakan, pemadatan menggunakan vibrator, serta perawatan beton melalui perendaman hingga umur pengujian. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur antara beton normal dengan beton yang menggunakan bahan tambah limestone dan bestmittel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Limestone dan Bestmittel terhadap Kuat Tekan Beton

Penggunaan limestone dan bestmittel pada campuran beton dalam penelitian ini menunjukkan adanya perubahan karakteristik mekanik beton, khususnya terhadap nilai kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari. Beton normal tanpa bahan tambah memperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 12,895 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 22,959 MPa pada umur 28 hari. Campuran beton dengan limestone 10% dan bestmittel 0,25% menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 15,246 MPa pada umur 7 hari dan 25,370 MPa pada umur 28 hari, sedangkan variasi bestmittel 0,5% memperoleh nilai 14,257 MPa pada umur 7 hari dan 24,032 MPa pada umur 28 hari. Data tersebut memperlihatkan bahwa penambahan limestone dan bestmittel mampu memperbaiki performa kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Fenomena peningkatan kekuatan beton akibat penggunaan bahan tambah sejenis juga pernah dijelaskan oleh Prayitno, Sugiyarto, dan Murti (2016) yang menyatakan bahwa bestmittel dapat meningkatkan kepadatan pasta semen sehingga ikatan antar material menjadi lebih baik.

Nilai kuat tekan yang meningkat pada variasi bestmittel 0,25% memperlihatkan bahwa persentase tersebut menjadi titik optimum dalam proses hidrasi semen dan pengisian rongga beton. Limestone yang digunakan sebagai bahan tambah memberikan kontribusi terhadap pengisian pori mikro pada beton sehingga struktur internal beton menjadi lebih rapat dan homogen. Musthofa dan Yanwar (2021) menjelaskan bahwa material limestone memiliki karakteristik butiran halus yang mampu memperbaiki gradasi agregat dan mengurangi rongga udara di dalam beton. Struktur beton yang lebih padat menyebabkan kemampuan beton dalam menahan gaya tekan menjadi lebih besar. Kondisi tersebut terlihat jelas pada peningkatan kuat tekan umur 28 hari yang mengalami kenaikan cukup signifikan dibandingkan beton normal.

Hasil pengujian agregat pada penelitian ini juga memperlihatkan kualitas material penyusun beton yang cukup baik untuk mendukung peningkatan kuat tekan beton. Agregat kasar memiliki kadar lumpur rata-rata sebesar 0,04% sehingga masih berada jauh di bawah batas maksimum menurut ketentuan SK SNI S-04-1989-F. Agregat halus memperoleh kadar lumpur sebesar 5% yang masih berada pada ambang batas maksimum standar yang diizinkan. Nilai modulus halus butir agregat kasar sebesar 5,18 dan agregat halus sebesar 2,59 menunjukkan bahwa gradasi agregat berada pada rentang yang memenuhi ketentuan campuran beton normal sebagaimana dijelaskan dalam Standar Nasional Indonesia dan Badan Standardisasi Nasional (2000). Kesesuaian karakteristik agregat tersebut menjadi salah satu faktor yang mendukung tercapainya peningkatan kuat tekan beton pada seluruh variasi campuran.

Kondisi workability beton juga turut mempengaruhi kualitas kuat tekan beton yang dihasilkan pada penelitian ini. Nilai slump rata-rata sebesar 100 mm menunjukkan bahwa campuran beton masih memiliki tingkat kelecakan yang baik untuk proses pengecoran dan pemadatan. Beton yang memiliki workability baik akan mempermudah distribusi material di dalam cetakan sehingga rongga udara dapat diminimalkan selama proses pengecoran berlangsung. Kamarullah, Hamkah, dan Istia (2025) menjelaskan bahwa konsistensi campuran beton yang stabil sangat menentukan keberhasilan proses hidrasi dan kepadatan beton setelah mengeras. Keadaan tersebut menjadikan beton mampu mencapai kekuatan optimum pada masa curing hingga umur 28 hari. Tabel berikut memperlihatkan perbandingan hasil kuat tekan beton pada masing-masing variasi campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Normal dan Beton Variasi Limestone–Bestmittel pada Umur 7 dan 28 Hari

Variasi Beton	Umur 7 Hari (MPa)	Umur 28 Hari (MPa)
Beton Normal	12,895	22,959
Limestone 10% + Bestmittel 0,25%	15,246	25,370
Limestone 10% + Bestmittel 0,5%	14,257	24,032

Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa variasi limestone 10% dan bestmittel 0,25% menghasilkan kuat tekan tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Persentase kenaikan kuat tekan

terhadap beton normal mencapai 18,2% pada umur 7 hari dan 10,5% pada umur 28 hari. Variasi bestmittel 0,5% tetap mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan beton normal, namun kenaikannya lebih rendah dibandingkan variasi 0,25%. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa penambahan bestmittel dalam jumlah terlalu besar tidak selalu memberikan peningkatan kekuatan yang lebih tinggi. Tandilino, Hutabarat, dan Simanjuntak (2024) juga menjelaskan bahwa penggunaan bahan additive memiliki batas optimum tertentu sebelum akhirnya menurunkan efektivitas ikatan pasta semen.

Karakteristik limestone sebagai material yang kaya kandungan kalsium karbonat memiliki pengaruh penting terhadap proses pembentukan struktur beton yang lebih padat. Material tersebut membantu mempercepat pembentukan kalsium silikat hidrat yang menjadi unsur utama dalam pembentukan kekuatan beton. Permatasari dan Kurniawan (2022) menjelaskan bahwa batu kapur dapat meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton melalui efek filler yang mengurangi rongga kapiler. Pengurangan rongga tersebut menghasilkan beton dengan porositas lebih kecil sehingga kemampuan menahan beban tekan meningkat. Kondisi serupa juga ditemukan pada penelitian Jepriani, Alwi, dan Sari (2021) yang menunjukkan bahwa kapur gamping mampu meningkatkan kekuatan beton pada kadar tertentu.

Peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari memperlihatkan bahwa proses curing berlangsung dengan cukup baik selama masa perawatan benda uji. Beton yang direndam dan dijaga kelembabannya akan mengalami proses hidrasi yang lebih sempurna dibandingkan beton tanpa perawatan memadai. Ervianto, Saleh, dan Prayuda (2016) menjelaskan bahwa proses hidrasi semen sangat menentukan perkembangan kekuatan beton terutama pada umur menengah hingga akhir. Struktur beton akan terus mengalami pemadatan selama masih tersedia air untuk mendukung reaksi kimia semen. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini yang memperlihatkan adanya kenaikan kuat tekan cukup signifikan dari umur 7 hari menuju umur 28 hari pada seluruh variasi campuran.

Variasi bestmittel 0,5% menunjukkan peningkatan kuat tekan yang tidak setinggi variasi 0,25% meskipun tetap lebih tinggi dibandingkan beton normal. Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan additive dalam jumlah berlebih dapat mempengaruhi keseimbangan campuran beton dan menyebabkan proses ikatan material menjadi kurang optimal. Sakur dan Muhammadiyah (2025) menjelaskan bahwa penggunaan bestmittel yang terlalu tinggi dapat menyebabkan campuran menjadi terlalu plastis sehingga distribusi air dan semen tidak bekerja secara maksimal. Distribusi material yang kurang seimbang dapat menimbulkan rongga mikro pada beton setelah proses pengerasan berlangsung. Dampak tersebut menyebabkan kuat tekan beton tidak berkembang secara optimal meskipun menggunakan bahan tambah.

Kepadatan beton yang dihasilkan pada variasi limestone dan bestmittel juga dipengaruhi oleh karakteristik agregat halus yang digunakan pada penelitian ini. Nilai kadar air agregat halus sebesar 6,1% menunjukkan bahwa agregat halus memiliki kandungan air cukup tinggi sehingga memerlukan perhatian khusus dalam pengendalian faktor air semen. Amalia dan Riyadi (2019) menjelaskan bahwa kadar air agregat yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi rasio air semen dan menurunkan kualitas ikatan pasta semen terhadap agregat. Pengendalian kadar air menjadi faktor penting agar workability tetap baik tanpa menyebabkan penurunan kekuatan beton. Kondisi tersebut menjelaskan mengapa variasi campuran tertentu mampu memberikan peningkatan kuat tekan yang lebih stabil dibandingkan variasi lainnya.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya kecenderungan yang sejalan terkait pengaruh bahan tambah limestone dan bestmittel terhadap peningkatan kuat tekan beton. Bunga, Phengkarsa, dan Sandy (2021) menyatakan bahwa penggunaan batu gamping sebagai bahan tambahan mampu meningkatkan mutu beton melalui peningkatan kepadatan struktur internal. Yusro dkk. (2024) juga menjelaskan bahwa penggunaan bestmittel memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan beton apabila digunakan pada kadar optimum. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa kombinasi limestone 10% dan bestmittel 0,25% menjadi variasi paling efektif dalam meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan variasi lainnya. Nilai kuat tekan yang lebih tinggi pada variasi tersebut memperlihatkan bahwa kombinasi kedua bahan tambah mampu menghasilkan struktur beton yang lebih padat, homogen, dan memiliki daya tahan tekan lebih baik dibandingkan beton normal.

Analisis Kuat Belah Beton Menggunakan Limestone dan Bestmittel Sebagai Bahan Tambah

Pengujian kuat belah beton pada penelitian ini memperlihatkan adanya perubahan karakteristik mekanis beton setelah penambahan limestone dan bestmittel ke dalam campuran beton normal. Nilai kuat tarik belah beton normal pada umur 28 hari tercatat sebesar 1,809 MPa, sedangkan variasi limestone 10% dengan bestmittel 0,25% mengalami penurunan menjadi 1,062 MPa. Variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% justru menunjukkan peningkatan hingga mencapai 2,205 MPa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah tidak selalu menghasilkan peningkatan kekuatan apabila proporsi campuran belum mencapai kondisi optimum. Penjelasan mengenai perubahan sifat tarik beton tersebut sejalan dengan penelitian Yusro dkk. (2024) yang menyatakan bahwa zat additive bestmittel dapat meningkatkan ikatan antarpartikel beton apabila digunakan dalam kadar yang tepat.

Karakteristik kuat tarik belah beton memiliki hubungan erat dengan kualitas lekatan antara pasta semen dan agregat yang membentuk struktur internal beton. Beton dengan rongga internal lebih sedikit akan memiliki kemampuan distribusi tegangan tarik yang lebih baik sehingga retak awal dapat diminimalkan. Penambahan limestone pada campuran beton mampu memperbaiki gradasi partikel halus sehingga rongga antar agregat menjadi lebih rapat. Bestmittel pada kadar tertentu membantu meningkatkan workability sehingga pemadatan beton berlangsung lebih maksimal. Pendapat tersebut memiliki kesesuaian dengan hasil penelitian Prayitno, Sugiyarto, dan Murti (2016) yang menjelaskan bahwa penggunaan bahan tambah dapat meningkatkan homogenitas campuran beton serta memperkuat ikatan antar agregat.

Hasil pengujian kuat tarik belah menunjukkan bahwa variasi bestmittel 0,5% memberikan performa paling baik dibandingkan variasi lainnya. Beton dengan campuran tersebut mampu mencapai kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,205 MPa, sedangkan beton normal hanya mencapai 1,809 MPa. Peningkatan tersebut memperlihatkan bahwa bestmittel berpengaruh terhadap kemampuan beton menahan tegangan tarik tidak langsung. Struktur beton yang lebih padat menghasilkan penyebaran tegangan yang lebih merata ketika benda uji menerima beban tekan horizontal. Penelitian Sakur dan Muhammadiyah (2025) juga memperlihatkan bahwa penggunaan bestmittel mampu meningkatkan kekuatan tarik belah beton karena terbentuknya struktur pasta semen yang lebih solid dan stabil. Tabel berikut memperlihatkan hasil rata-rata pengujian kuat tarik belah beton pada seluruh variasi campuran yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Beton pada Variasi Campuran Limestone dan Bestmittel Umur 28 Hari

Variasi Beton	Kuat Belah Rata-rata (MPa)	Persentase Perubahan
Beton Normal	1,809	-
Limestone 10% + Bestmittel 0,25%	1,062	-41,2%
Limestone 10% + Bestmittel 0,5%	2,205	+21,9%

Data pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% menghasilkan peningkatan kuat tarik belah paling tinggi dibandingkan beton normal. Nilai peningkatan sebesar 21,9% menunjukkan bahwa kombinasi kedua bahan tersebut mampu memperbaiki kualitas ikatan antar material penyusun beton. Variasi 0,25% justru mengalami penurunan cukup signifikan akibat kondisi material yang kurang optimal selama proses pencampuran. Penurunan tersebut berkaitan dengan kadar kelembaban agregat halus yang cukup tinggi serta kandungan lumpur agregat yang berada pada batas maksimum standar. Penjelasan tersebut sesuai dengan penelitian Amalia dan Riyadi (2019) yang menyatakan bahwa kualitas agregat sangat menentukan kemampuan beton dalam menahan retak tarik.

Perbedaan hasil antara variasi 0,25% dan 0,5% menunjukkan bahwa kadar additive memiliki pengaruh besar terhadap pembentukan struktur mikro beton. Kadar bestmittel yang terlalu rendah belum mampu meningkatkan daya ikat antar partikel semen secara optimal. Kondisi tersebut menyebabkan distribusi tegangan dalam beton masih belum merata sehingga retak tarik lebih cepat terjadi ketika pengujian dilakukan. Variasi 0,5% menghasilkan pasta semen yang lebih homogen sehingga gaya tarik

dapat tersebar secara lebih stabil pada seluruh penampang beton. Hasil tersebut memiliki kesesuaian dengan penelitian Tandilino, Hutabarat, dan Simanjuntak (2024) yang menjelaskan bahwa penambahan bestmittel pada kadar tertentu mampu meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton.

Kondisi agregat halus dalam penelitian ini juga memberikan pengaruh besar terhadap hasil kuat tarik belah beton. Kadar lumpur agregat halus tercatat sebesar 5%, sedangkan kadar air agregat halus mencapai 6,1%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat berada pada kondisi cukup basah sehingga berpotensi mengurangi daya rekat antara semen dan agregat apabila tidak dikontrol secara tepat. Variasi 0,25% diduga belum memiliki kemampuan cukup untuk menstabilkan kondisi campuran beton akibat pengaruh kelembaban agregat tersebut. Penelitian Muis (2025) menjelaskan bahwa kadar air agregat yang tinggi dapat meningkatkan porositas beton sehingga kekuatan tarik menjadi menurun.

Karakteristik limestone sebagai bahan pengisi halus turut mempengaruhi performa kuat tarik belah beton. Partikel batu kapur yang halus dapat mengisi rongga-rongga kecil di antara agregat sehingga struktur beton menjadi lebih padat. Kepadatan tersebut membantu mengurangi terbentuknya microcrack pada saat beton menerima pembebanan tarik. Kondisi tersebut terlihat jelas pada variasi bestmittel 0,5% yang menghasilkan peningkatan kuat tarik paling tinggi dibandingkan campuran lainnya. Penelitian Suku, Nisanson, dan Moi (2024) juga menunjukkan bahwa bubuk gamping mampu memperbaiki sifat mekanis beton melalui peningkatan densitas campuran.

Pengaruh proses curing selama 28 hari memberikan kontribusi penting terhadap peningkatan kekuatan tarik beton. Proses perawatan menjaga kelembaban beton tetap stabil sehingga reaksi hidrasi semen berlangsung lebih sempurna. Beton yang mengalami hidrasi optimal akan memiliki ikatan kristal yang lebih kuat dan mampu menahan retak tarik secara lebih efektif. Kondisi tersebut terlihat pada variasi bestmittel 0,5% yang menunjukkan peningkatan kuat tarik belah cukup signifikan dibandingkan beton normal. Penjelasan serupa disampaikan oleh Indonesia, Standar Nasional, dan Badan Standardisasi Nasional (2000) yang menyebutkan bahwa proses curing sangat mempengaruhi perkembangan kekuatan beton.

Kecenderungan peningkatan kuat tarik belah pada variasi 0,5% memperlihatkan bahwa bestmittel bekerja efektif dalam memperbaiki workability dan kualitas pemadatan beton. Beton yang lebih mudah dikerjakan akan mengalami pemadatan lebih merata sehingga rongga udara di dalam beton dapat diminimalkan. Struktur beton yang lebih padat akan meningkatkan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Nilai slump rata-rata sebesar 100 mm pada penelitian ini menunjukkan bahwa campuran beton masih berada pada tingkat kelecakan yang cukup baik untuk proses pencetakan benda uji. Penelitian Kamarullah, Hamkah, dan Istia (2025) menyatakan bahwa workability yang baik sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir beton dan performa kekuatan mekanisnya.

Hasil keseluruhan pengujian kuat tarik belah menunjukkan bahwa penggunaan limestone 10% dan bestmittel 0,5% memberikan performa terbaik dibandingkan variasi lainnya. Beton pada variasi tersebut memiliki struktur internal lebih padat dan ikatan antar material yang lebih kuat sehingga kemampuan menahan retak meningkat cukup signifikan. Variasi 0,25% belum mampu menghasilkan peningkatan akibat pengaruh kondisi agregat yang masih mengandung kadar air dan lumpur cukup tinggi. Karakteristik beton yang terbentuk memperlihatkan bahwa keseimbangan antara bahan tambah dan kondisi agregat menjadi faktor utama dalam peningkatan kuat tarik belah beton. Hasil penelitian ini memperkuat penelitian Jepriani, Alwi, dan Sari (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan bahan tambah berbasis batu kapur dan additive dapat meningkatkan sifat mekanis beton apabila komposisi campuran berada pada kondisi optimum.

Analisis Kuat Lentur Beton Menggunakan Limestone dan Bestmittel Sebagai Bahan Tambah

Pengujian kuat lentur beton pada penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan limestone dan bestmittel memberikan pengaruh cukup signifikan terhadap kemampuan beton dalam menahan tegangan lentur. Beton normal pada umur 7 hari memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 2,138 MPa dan meningkat menjadi 2,219 MPa pada umur 28 hari. Variasi campuran limestone 10% dengan bestmittel 0,25% menghasilkan kuat lentur sebesar 2,359 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 2,385 MPa pada umur 28 hari. Variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% memberikan hasil paling tinggi dengan kuat lentur rata-rata sebesar 2,416 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 2,951 MPa pada umur 28 hari. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa penggunaan bestmittel dalam kadar tertentu mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap pembebanan lentur secara lebih optimal sebagaimana dijelaskan Prayitno, Supardi, dan Hamonangan (2015).

Karakteristik kuat lentur beton berkaitan erat dengan kemampuan beton menahan tegangan tarik pada bagian bawah penampang balok ketika menerima beban. Beton dengan struktur internal yang lebih padat akan memiliki kemampuan lebih baik dalam mendistribusikan tegangan sehingga retak awal dapat ditekan. Penggunaan limestone sebagai bahan tambah membantu mengisi rongga-rongga kecil di antara partikel agregat sehingga struktur beton menjadi lebih rapat. Bestmittel berperan meningkatkan workability campuran beton sehingga proses pemadatan berlangsung lebih baik dan mengurangi kemungkinan terbentuknya rongga udara. Penelitian Santoso dan Widodo (2010) menjelaskan bahwa kualitas ikatan internal beton sangat mempengaruhi ketahanan beton terhadap pembebanan lentur.

Perkembangan kuat lentur beton dari umur 7 hari menuju 28 hari menunjukkan adanya proses hidrasi semen yang berlangsung secara berkelanjutan selama masa curing. Beton normal mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 3,8% dari umur 7 hari menuju 28 hari. Variasi limestone 10% dan bestmittel 0,25% mengalami peningkatan sebesar 1,1%, sedangkan variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% mengalami peningkatan sangat tinggi mencapai 22,1%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa variasi 0,5% memberikan reaksi yang lebih efektif dalam meningkatkan kualitas pasta semen dan kekompakan beton. Penelitian Ervianto, Saleh, dan Prayuda (2016) menyebutkan bahwa bahan additive mampu mempercepat proses pembentukan struktur beton yang lebih padat sehingga perkembangan kekuatan mekanis menjadi lebih baik. Data hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel berikut yang memperlihatkan nilai rata-rata kuat lentur setiap variasi campuran pada umur 7 dan 28 hari.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Kuat Lentur Beton Normal dan Beton Variasi Limestone–Bestmittel pada Umur 7 dan 28 Hari

Variasi Beton	Umur 7 Hari (MPa)	Umur 28 Hari (MPa)	Persentase Kenaikan
Beton Normal	2,138	2,219	3,8%
Limestone 10% + Bestmittel 0,25%	2,359	2,385	1,1%
Limestone 10% + Bestmittel 0,5%	2,416	2,951	22,1%

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% memiliki perkembangan kuat lentur paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Nilai kuat lentur sebesar 2,951 MPa pada umur 28 hari memperlihatkan bahwa campuran tersebut menghasilkan struktur beton yang lebih stabil ketika menerima beban lentur. Variasi 0,25% masih mengalami peningkatan kuat lentur, tetapi nilainya relatif kecil dibandingkan variasi 0,5%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kadar bestmittel yang lebih tinggi memberikan pengaruh lebih besar terhadap kemampuan beton dalam mengurangi retak lentur. Penjelasan serupa disampaikan oleh Yusro dkk. (2024) yang menyebutkan bahwa penambahan bestmittel mampu meningkatkan kekuatan mekanis beton apabila digunakan pada kadar optimum.

Pengaruh limestone terhadap kuat lentur beton terlihat dari kemampuannya memperbaiki distribusi ukuran partikel dalam campuran beton. Partikel limestone yang berukuran sangat halus dapat mengisi rongga mikro pada pasta semen sehingga struktur beton menjadi lebih homogen. Beton dengan tingkat homogenitas tinggi akan memiliki ketahanan lebih baik terhadap tegangan tarik akibat pembebanan lentur. Struktur beton yang rapat juga membantu mengurangi propagasi retak ketika balok menerima gaya tekan dan tarik secara bersamaan. Penelitian Bunga, Phengkarsa, dan Sandy (2021) menjelaskan bahwa penggunaan material berbasis batu gamping mampu meningkatkan kualitas mekanis beton melalui peningkatan densitas campuran.

Kondisi agregat kasar dan agregat halus dalam penelitian ini turut mempengaruhi hasil kuat lentur beton yang diperoleh. Agregat kasar memiliki kadar lumpur rata-rata sebesar 0,04% sehingga masih memenuhi syarat penggunaan material beton berdasarkan standar SNI. Agregat halus memiliki kadar lumpur sebesar 5% yang berada tepat pada batas maksimum standar sehingga perlu pengendalian dalam proses pencampuran. Kadar air agregat halus sebesar 6,1% menunjukkan bahwa material berada dalam kondisi cukup basah dan dapat mempengaruhi rasio air semen apabila tidak diperhitungkan secara tepat.

Penelitian Amalia dan Riyadi (2019) menyatakan bahwa kualitas agregat dan kadar air material sangat menentukan keberhasilan pembentukan struktur beton yang kuat dan tahan retak.

Peranan bestmittel pada variasi 0,5% terlihat cukup dominan dalam meningkatkan kualitas workability beton segar. Nilai slump rata-rata sebesar 100 mm menunjukkan bahwa campuran beton masih berada pada tingkat kemudahan pengerjaan yang baik selama proses pencetakan benda uji. Beton dengan workability baik akan lebih mudah dipadatkan sehingga rongga udara di dalam campuran dapat diminimalkan. Kondisi tersebut menghasilkan beton dengan tingkat porositas lebih rendah dan kemampuan menahan tegangan lentur lebih tinggi. Penelitian Kamarullah, Hamkah, dan Istia (2025) menjelaskan bahwa workability yang baik akan menghasilkan distribusi agregat lebih merata dan meningkatkan performa beton setelah proses pengerasan.

Pengaruh curing selama 28 hari memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan kuat lentur beton pada seluruh variasi campuran. Proses curing menjaga kelembaban beton tetap stabil sehingga reaksi hidrasi semen berlangsung secara optimal. Struktur kristal hasil hidrasi yang terbentuk secara sempurna akan meningkatkan kekuatan ikatan antar partikel penyusun beton. Beton dengan hidrasi yang baik memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menahan retak akibat pembebanan lentur. Indonesia, Standar Nasional, dan Badan Standardisasi Nasional (2000) menjelaskan bahwa proses perawatan beton menjadi faktor penting dalam pencapaian kekuatan mekanis beton secara maksimal.

Perbedaan hasil antara variasi 0,25% dan 0,5% menunjukkan bahwa penggunaan bahan additive harus disesuaikan dengan kebutuhan campuran beton. Kadar bestmittel yang terlalu rendah belum mampu memberikan pengaruh signifikan terhadap pembentukan struktur internal beton. Variasi 0,5% menghasilkan peningkatan kuat lentur cukup tinggi karena distribusi pasta semen menjadi lebih homogen dan rongga dalam beton berkurang secara signifikan. Struktur beton yang lebih padat membantu menahan tegangan tarik pada bagian bawah balok ketika pembebanan dilakukan. Penelitian Tandilino, Hutabarat, dan Simanjuntak (2024) juga menjelaskan bahwa penggunaan bestmittel dalam proporsi tepat dapat meningkatkan kekuatan mekanis beton melalui perbaikan mikrostruktur.

Hasil keseluruhan pengujian kuat lentur memperlihatkan bahwa penambahan limestone 10% dan bestmittel 0,5% memberikan performa paling optimal dibandingkan variasi lainnya. Beton pada variasi tersebut memiliki kuat lentur tertinggi baik pada umur 7 hari maupun 28 hari sehingga menunjukkan kualitas struktur beton yang lebih baik. Penggunaan limestone membantu meningkatkan kepadatan campuran, sedangkan bestmittel memperbaiki workability dan kualitas ikatan pasta semen. Karakteristik tersebut menghasilkan beton yang lebih tahan terhadap pembebanan lentur dan memiliki perkembangan kekuatan lebih stabil selama masa curing. Hasil penelitian ini memperkuat penelitian Utama, Candra, dan Ridwan (2020) serta Desimaliana, Widyaningsih, dan Syafira (2026) yang menyatakan bahwa penggunaan bahan tambah dalam proporsi optimum mampu meningkatkan sifat mekanis beton terutama pada kuat lentur dan ketahanan retak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton menggunakan tambahan limestone 10% dan bestmittel, diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan kedua bahan tambah tersebut mampu meningkatkan karakteristik mekanis beton apabila digunakan pada variasi yang tepat. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa beton dengan variasi limestone 10% dan bestmittel 0,25% menghasilkan nilai paling optimal dibandingkan beton normal maupun variasi bestmittel 0,5%, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 15,246 MPa pada umur 7 hari dan 25,370 MPa pada umur 28 hari, sedangkan beton normal hanya mencapai 12,895 MPa pada umur 7 hari dan 22,959 MPa pada umur 28 hari. Pengujian kuat tarik belah memperlihatkan bahwa variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% memberikan hasil tertinggi sebesar 2,205 MPa pada umur 28 hari atau meningkat sebesar 21,9% dibandingkan beton normal sebesar 1,809 MPa, sedangkan variasi 0,25% mengalami penurunan akibat kondisi agregat yang cenderung basah dan bercampur lumpur sehingga mempengaruhi kualitas ikatan beton. Pengujian kuat lentur menunjukkan bahwa variasi limestone 10% dan bestmittel 0,5% juga memberikan performa paling baik dengan nilai kuat lentur sebesar 2,416 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 2,951 MPa pada umur 28 hari, lebih tinggi dibandingkan beton normal maupun variasi 0,25%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan limestone dan bestmittel dapat meningkatkan kepadatan campuran beton, memperbaiki proses hidrasi semen, mengurangi rongga dalam beton, serta meningkatkan workability sehingga beton

memiliki kekuatan mekanis yang lebih baik dan berpotensi digunakan untuk mendukung pekerjaan konstruksi yang membutuhkan mutu beton lebih optimal dan proses pengerasan yang lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, A., & Riyadi, M. (2019). Kualitas Beton SCC dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), 59-68. <https://doi.org/10.14710/mkts.v25i1.18500>.
- Bunga, D. R., Phengkarsa, F., & Sandy, D. (2021). Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Komposisi Slag dan Agregat Halus Batu Gamping. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(2), 141-148. <https://doi.org/10.52722/qjyvb467>.
- Desimaliana, E., Widyarningsih, E., & Syafira, T. H. (2026). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer. *Journal of Sustainable Construction*, 5(2), 31-38. <https://doi.org/10.26593/josc.v5i2.10264>.
- Desliono, W., Parung, H., & Tonapa, S. R. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Dan Batu Gamping Sebagai Agregat Pada Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(2), 209-216. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i2.249>.
- Ervianto, M., Saleh, F., & Prayuda, H. (2016). Kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah abut terbang (fly ash) dan zat adiktif (bestmittel). *Sinergi*, 20(3), 199-206. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.3.005>.
- Indonesia, Standar Nasional, and Badan Standardisasi Nasional. 2000. "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal."
- Jepriani, S., Alwi, S., & Sari, W. N. (2021). Kuat Tekan Beton Self Compacting Concrete (SCC) Dengan Penambahan Kapur Gamping Dan Viscocrete. *Jurnal Inersia*, 13(2), 18-25. <https://doi.org/10.46964/inersia.v13i2>.
- Kamarullah, R. A., Hamkah, H., & Istia, P. T. (2025). Rancangan Campuran Beton Admixture Menggunakan Sikagrout 215 New. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 2(7), 1211-1221. <https://doi.org/10.59837/jpnmb.v2i7.660>.
- Kandi, Y. S., Ramang, R., & Cornelis, R. (2012). Substitusi Agregat Halus Beton Menggunakan Kapur Alam Dan Menggunakan Pasir Laut Pada Campuran Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(4), 74-86. <https://doi.org/10.35508/jts.1.4.74-86>.
- Muhammad, F., Masyita, M., Arifin, W., & Alifuddin, A. (2019). Analisis Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap Campuran Aspal Beton dengan Menggunakan Abu Batu Kapur pada Filler. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 499-509.
- Muis, A. (2025). Analisis Karakteristik Agregat Halus Sungai Rajang Terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, Dan Kuat Tarik Belah Beton: Indonesia. *Media Konstruksi*, 10(1), 11-20. <https://doi.org/10.33772/jmk.v10i1.102>.
- Mushthofa, M., & Yanwar, A. P. (2021). Substitusi Agregat Beton Menggunakan Tanah Urug Limestone Dari Kecamatan Rengel Kabupaten Tuban. *Teknika*, 16(1), 1-8. <https://doi.org/10.26623/teknika.v16i1.2829>.
- Permatasari, S., & Kurniawan, S. (2022). Analisis Kuat Tekan Beton Mutu K-250 Terhadap Pengaruh Penambahan Batu Kapur Dari Desa Cantung Kecamatan Hampang Kabupaten Kotabaru. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 11(2), 87-94. <http://dx.doi.org/10.24127/tp.v11i2.2020>.
- Prayitno, S., Sugiyarto, S., & Murti, F. R. N. (2016). Pengaruh Penambahan Serat Bendrat, Abu Sekam Padi Dan Bestmittel Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Modulus Elastisitas. *Matriks Teknik Sipil*, 4(3). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v4i3.37100>.
- Prayitno, S., Supardi, S., & Hamonangan, M. O. (2015). Kajian Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Balok Beton Mutu Tinggi Berserat Bendratdenganfly Ash Dan Bahan Tambah Bestmittel. *Matriks Teknik Sipil*, 3(4). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v3i4.37234>.
- Sakur, M., & Muhammadiyah, M. J. (2025). Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Menggunakan Limbah Bongkahan Rigid Dan Zat Additive Bestmittel. *Jurnal Teknik Silitek*, 5(02), 674-684. <https://doi.org/10.51135/v06y2n28>.
- Santoso, A., & Widodo, S. (2010). Efek Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Daya Lekat Dan Kuat Lentur Pada Rehabilitasi Struktur Beton Dengan Self-Compacting Repair Mortar

- (Scrm). *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 6(2). <https://doi.org/10.21831/inersia.v6i2.10541>.
- Suku, Y. L., Nisanson, M. Y., & Moi, M. A. (2024). Pemanfaatan Bubuk Gamping Sebagai Bahan Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 29(2), 40-45. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i2.3618>.
- Tandilino, F., Hutabarat, L. E., & Simanjuntak, R. M. (2024). Bestmittel and silica fume effect on concrete compressive strength with seawater curing. *Jurnal Pensil: Pendidikan Teknik Sipil*, 13(1), 60-71. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v13i1.39103>.
- Utama, L. A., Candra, A. I., & Ridwan, A. (2020). Pengujian Kuat Tekan Pada Beton Dengan Penambahan Limbah Marmer Dan Serat Batang Pisang. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(2), 304-316. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i2.1150>.
- Yusro, A. S. N. S., Buana, I. A., Widjaja, W. S., & Ghewa, G. J. P. (2024). Pengaruh Penambahan Bestmittel Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 2(1). <https://doi.org/10.62603/konteks.v2i1.237>.