

STUDI EKSPERIMENTAL SUBSTITUSI LIMBAH GYPSUM BOARD DENGAN PENAMBAHAN ZAT ADDITIVE SIKACIM CONCRETE TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Noviyanti Rahayu¹
Universitas Bung Hatta
noviyanti191100@gmail.com

Nasfryzal Carlo²
Universitas Bung Hatta
carlo@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus mengalami perkembangan pesat, yang berdampak pada meningkatnya konsumsi semen sebagai bahan utama dalam konstruksi beton. Produksi semen yang tinggi berkontribusi terhadap emisi karbon dan eksploitasi sumber daya alam. Salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada semen adalah dengan memanfaatkan limbah industri konstruksi gypsum board. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah gypsum board dengan penambahan zat aditif Sikacim Concrete terhadap kuat tekan beton sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap semen dan meningkatkan keberlanjutan dalam industri konstruksi. Studi ini dilakukan secara eksperimental dengan variasi substitusi gypsum board sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen serta penambahan zat aditif Sikacim Concrete sebesar 0,7%. Campuran beton dirancang sesuai dengan SNI 7656:2012 dan diuji pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari menggunakan uji kuat tekan $f'c$ 25 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi gypsum board dapat menyebabkan penurunan kuat tekan dan penambahan Sikacim Concrete meningkatkan kinerja beton melalui pengurangan kebutuhan air dan peningkatan kepadatan struktur. Kombinasi optimum diperoleh pada substitusi 5% gypsum board dengan penambahan Sikacim Concrete 0,7%, di mana kuat tekan beton masih memenuhi standar mutu $f'c$ 25 MPa. Studi ini berkontribusi dalam pemanfaatan limbah industri serta pengembangan beton ramah lingkungan dengan tetap menjaga kualitas struktural yang diharapkan.

Kata kunci: Beton, gypsum board, Sikacim Concrete, kuat tekan, substitusi semen.

ABSTRACT

Infrastructure development in Indonesia continues to experience rapid development, which has an impact on increasing cement consumption as the main ingredient in concrete construction. High cement production contributes to carbon emissions and exploitation of natural resources. One alternative to reduce dependence on cement is to utilize gypsum board construction industry waste. This study aims to analyze the effect of gypsum board waste substitution with the addition of Sikacim Concrete additives on the compressive strength of concrete as an effort to reduce dependence on cement and increase sustainability in the construction industry. This study was conducted experimentally with variations in gypsum board substitution of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% of the weight of cement and the

addition of Sikacim Concrete additives of 0.7%. The concrete mixture was designed in accordance with SNI 7656:2012 and tested at the ages of 7, 14, 21, and 28 days using a compressive strength test f'_c 25 MPa. The results showed that gypsum board substitution can cause a decrease in compressive strength and the addition of Sikacim Concrete improves concrete performance by reducing water requirements and increasing structural density. The optimum combination was obtained at 5% gypsum board substitution with the addition of 0.7% Sikacim Concrete, where the concrete compressive strength still meets the f'_c quality standard of 25 MPa. This study contributes to the utilization of industrial waste and the development of environmentally friendly concrete while maintaining the expected structural quality.

Keywords: Concrete, gypsum board, Sikacim Concrete, compressive strength, cement substitution.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur, yang menyebabkan meningkatnya konsumsi beton sebagai material utama dalam berbagai proyek pembangunan. Beton banyak digunakan karena memiliki kekuatan tekan tinggi, daya tahan yang baik, serta kemudahan dalam pembentukan struktur sesuai desain yang diinginkan (SNI 7656:2012). Namun, produksi beton yang bergantung pada semen memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama dalam hal eksploitasi sumber daya alam dan peningkatan emisi karbon. Atmaja (2015) menyebutkan bahwa produksi semen di Indonesia menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang signifikan, mencapai 57.976.380 ton pada tahun 2015. Selain itu, konsumsi semen dalam negeri mengalami peningkatan sebesar 3,6%, dengan total produksi mencapai 30.047.831 ton pada tahun 2018 dan 38.994.253 ton pada tahun 2017 (Review & Strong, 2020). Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk mengurangi ketergantungan terhadap semen dengan mencari alternatif bahan pengganti yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu material limbah industri yang berpotensi digunakan dalam campuran beton adalah gypsum board. Gypsum board merupakan material konstruksi yang umum digunakan sebagai partisi, plafon, dan pelapis dinding interior karena sifatnya yang ringan dan mudah dipasang (Admindpu, 2022). Seiring dengan meningkatnya penggunaan gypsum board, limbah yang dihasilkan juga semakin banyak dan sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal. Limbah gypsum board berpotensi menjadi substitusi sebagian semen karena mengandung kalsium dalam bentuk kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), yang juga terdapat dalam semen Portland (Hasan, 2014). Menurut Maryati (2016), gypsum board mengandung senyawa yang mirip dengan semen, seperti SiO_2 , Fe_2O_3 , dan CaO , sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton.

Beberapa penelitian sebelumnya telah meneliti penggunaan gypsum board sebagai substitusi semen dalam beton. Imani et al. (2020) menyatakan bahwa penambahan limbah gypsum dalam beton dengan variasi 5%, 10%, dan 15% menyebabkan penurunan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal, meskipun pada kadar 5% penurunan kuat tekan masih dalam batas yang dapat diterima. Penelitian lain oleh Prayogo et al. (2019) menemukan bahwa substitusi gypsum board sebesar 5% dapat menghasilkan kuat tekan yang mendekati beton normal, sementara substitusi di atas 5% menyebabkan penurunan kuat tekan yang

signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun gypsum board dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen, penggunaannya dalam jumlah besar dapat berdampak negatif terhadap nilai kuat tekan beton.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan zat aditif Sikacim Concrete sebagai superplasticizer yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja beton. Berdasarkan informasi dari PT. Sika Indonesia, zat aditif ini dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 40% pada usia 28 hari serta mengurangi kebutuhan air dalam campuran hingga 20%. Penggunaan Sikacim Concrete diharapkan beton yang mengandung substitusi gypsum board tetap memiliki kuat tekan yang optimal dan memenuhi mutu beton $f'c$ 25 MPa.

Adapun penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi gypsum board dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% serta penambahan zat aditif Sikacim Concrete sebesar 0,7% terhadap kuat tekan beton, serta menentukan persentase optimal dari kombinasi substitusi gypsum board dan zat aditif Sikacim Concrete untuk menghasilkan beton dengan kuat tekan terbaik.

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lainnya yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan beton. Beton memiliki karakteristik yang unik, di mana kekuatannya meningkat seiring waktu akibat proses hidrasi semen. Sifat utama beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kualitas Agregat – Agregat yang digunakan dalam beton harus memenuhi standar tertentu agar dapat mendukung kuat tekan beton yang diharapkan. Menurut penelitian Hasan (2014), agregat dengan gradasi yang baik dan kadar lumpur yang rendah dapat meningkatkan kohesi dalam campuran beton.
2. Rasio Air-Semen (w/c ratio) – Perbandingan antara jumlah air dan semen dalam campuran beton sangat menentukan kuat tekan beton. SNI 7656:2012 menyebutkan bahwa semakin rendah rasio air-semen, semakin tinggi kuat tekan yang dapat dicapai, asalkan workability masih dapat dipertahankan.
3. Penggunaan Bahan Tambahan – Zat aditif seperti superplasticizer dapat meningkatkan workability beton tanpa menambah jumlah air yang digunakan, sehingga membantu menjaga kekuatan beton tetap optimal (Maryati, 2016).

Selain itu, faktor lingkungan juga mempengaruhi ketahanan beton. Menurut penelitian Imani et al. (2020), paparan lingkungan agresif seperti air laut atau daerah dengan kadar sulfat tinggi dapat menyebabkan degradasi beton lebih cepat. Oleh karena itu, pengembangan beton yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem menjadi topik penting dalam penelitian material konstruksi.

Gypsum merupakan bahan mineral yang umumnya digunakan dalam industri semen sebagai pengendali waktu pengerasan. Namun, beberapa penelitian telah mengeksplorasi penggunaan gypsum sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitasnya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Atmaja (2015), penggunaan gypsum dalam jumlah kecil dapat bertindak sebagai filler yang mengisi rongga-rongga dalam struktur beton, sehingga mengurangi porositas dan meningkatkan kepadatan beton. Namun, jika digunakan

dalam jumlah yang berlebihan, gypsum dapat menghambat reaksi hidrasi semen, sehingga menyebabkan penurunan kekuatan mekanik beton.

Imani et al. (2020) menyebutkan bahwa substitusi gypsum sebesar 2,5% hingga 5% masih berada dalam batas optimal yang dapat meningkatkan kuat tekan beton, tetapi substitusi lebih dari 5% cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan akibat peningkatan kadar porositas. Hal ini dikarenakan gypsum memiliki sifat menyerap air yang tinggi, sehingga mengurangi jumlah air yang tersedia untuk hidrasi semen.

Untuk meningkatkan kualitas beton, berbagai zat aditif digunakan dalam campuran beton. Salah satu aditif yang umum digunakan adalah Sikacim Concrete. Menurut PT Sika Indonesia (2020), Sikacim Concrete memiliki beberapa manfaat, di antaranya:

1. Mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton hingga 15%, sehingga meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton.
2. Meningkatkan daya rekat antara agregat dan pasta semen, sehingga mengurangi segregasi dalam beton.
3. Memperbaiki workability beton tanpa harus meningkatkan rasio air-semen.

Maryati (2016) juga meneliti bahwa penggunaan aditif dalam beton dapat meningkatkan durabilitas terhadap lingkungan yang ekstrem. Beton dengan zat aditif cenderung lebih tahan terhadap serangan sulfat dan karbonasi, yang merupakan faktor utama dalam degradasi beton jangka panjang.

Zulmahdi (2014) juga melakukan studi mengenai penggunaan aditif dalam campuran beton untuk meningkatkan kuat tekan dan ketahanan terhadap retak dini. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa kombinasi antara aditif dan substitusi gypsum dalam jumlah yang tepat dapat menghasilkan beton yang lebih kuat dan lebih fleksibel dalam penggunaannya.

Hasil pemanfaatan limbah gypsum dalam beton dapat menjadi langkah awal dalam pengurangan dampak lingkungan dari industri konstruksi, sekaligus menciptakan material yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah gypsum board dengan penambahan zat aditif Sikacim Concrete terhadap kuat tekan beton. Penelitian dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta. Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland Composite Cement (PCC) merek Semen Padang, agregat halus berupa pasir dari PT. Statika Mitrasarana, agregat kasar berupa batu pecah dari sumber yang sama, air bersih, limbah gypsum board yang telah dihancurkan hingga lolos saringan No. 200 (75 mikron), serta zat aditif Sikacim Concrete. Campuran beton dirancang berdasarkan metode perancangan campuran (mix design) yang mengacu pada SNI 7656:2012 tentang "Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa" dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Variasi substitusi gypsum board yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen, dengan penambahan zat aditif Sikacim Concrete sebesar 0,7% terhadap berat semen untuk setiap campuran.

Proses penelitian diawali dengan pengujian karakteristik material, termasuk pengujian kadar lumpur dan kadar air agregat, pengujian kadar organik agregat halus, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar, serta pengujian berat isi agregat. Setelah itu, dilakukan perancangan campuran beton menggunakan metode mix design, yang mencakup perhitungan jumlah material yang digunakan untuk setiap variasi campuran. Pembuatan benda uji beton dilakukan dengan mencampurkan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan gypsum board sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan, kemudian ditambahkan zat aditif Sikacim Concrete. Pencampuran dilakukan menggunakan mesin molen hingga adukan homogen. Selanjutnya, campuran beton dituangkan ke dalam cetakan silinder berukuran 15 cm × 30 cm, dipadatkan dengan batang penumbuk sesuai prosedur standar, lalu didiamkan selama 24 jam sebelum dilepaskan dari cetakan.

Benda uji yang telah dicetak kemudian direndam dalam air untuk proses curing selama 7, 14, 21, dan 28 hari, sesuai dengan standar perawatan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada masing-masing umur menggunakan mesin uji tekan untuk mengetahui kinerja mekanik beton yang mengandung substitusi gypsum board dan zat aditif Sikacim Concrete. Nilai kuat tekan diperoleh dengan membagi beban maksimum yang diterima benda uji sebelum mengalami keruntuhan dengan luas penampang silinder. Hasil pengujian kuat tekan beton dianalisis untuk mengetahui tren perubahan kekuatan beton akibat substitusi gypsum board dan penambahan Sikacim Concrete. Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif dengan membandingkan hasil kuat tekan antar variasi campuran serta mengidentifikasi persentase optimum substitusi gypsum board yang menghasilkan kuat tekan terbaik.

Berdasarkan hasil analisis, dilakukan interpretasi data untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan limbah gypsum board dalam campuran beton serta sejauh mana zat aditif Sikacim Concrete dapat meningkatkan performa beton yang telah disubstitusi. Hasil penelitian ini kemudian dibandingkan dengan standar kuat tekan beton yang disyaratkan dalam SNI serta hasil penelitian terdahulu yang relevan. Dengan metode ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang valid mengenai pengaruh kombinasi limbah gypsum board dan zat aditif Sikacim Concrete terhadap kualitas beton, sehingga dapat memberikan rekomendasi bagi penerapan material ini dalam industri konstruksi yang lebih berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kualitas bahan yang digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Parameter	Agregat Halus	Agregat Kasar
Kadar Lumpur (%)	2,32	1,85
Kadar Air (%)	2,99	1,92
Berat Jenis	2,63	2,72
Modulus Kehalusan	2,95	6,77

Pengujian karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kualitas bahan yang digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus sebesar 2,32% dan pada agregat kasar sebesar 0,96%, yang memenuhi standar maksimum dalam SNI. Kadar air

agregat halus tercatat sebesar 2,99%, sedangkan agregat kasar sebesar 0,54%. Berat jenis SSD agregat halus adalah 2,67 dan agregat kasar sebesar 2,77, yang berada dalam kisaran standar 2,4 - 2,9. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki gradasi yang baik, dengan modulus kehalusan agregat halus sebesar 2,95 dan agregat kasar sebesar 6,77, sesuai dengan standar SNI 7656:2012.

Perhitungan Mix Design

Mix design untuk $f'c$ 25 MPa dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Perhitungan Mix Design Beton (kg/m^3)

Material	0% Gypsum	2,5% Gypsum	5% Gypsum	7,5% Gypsum	10% Gypsum
Semen	415,15	404,77	384,01	352,88	311,36
Gypsum	0	10,38	20,76	31,14	41,51
Agregat Halus	867,53	867,53	867,53	867,53	867,53
Agregat Kasar	887,24	887,24	887,24	887,24	887,24
Air	205,16	205,16	205,16	205,16	205,16
Sikacim Concrete	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44

Tabel perhitungan mix design menunjukkan komposisi bahan untuk setiap variasi substitusi gypsum board dalam campuran beton. Dengan menggunakan metode SNI 7656:2012, perhitungan campuran ini mempertimbangkan rasio air-semen, berat agregat halus dan kasar, serta tambahan zat aditif Sikacim Concrete sebesar 0,7% dari berat semen.

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi persentase substitusi gypsum board, semakin berkurang jumlah semen dalam campuran. Hal ini berdampak pada penurunan kuat tekan beton karena gypsum tidak memiliki sifat pengikat sekuat semen. Namun, penambahan Sikacim Concrete membantu meningkatkan workability dan kepadatan beton dengan mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam campuran.

Hasil perhitungan ini menjadi dasar dalam pembuatan benda uji untuk menguji kekuatan tekan beton pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Substitusi gypsum board hingga 5% masih memungkinkan beton mencapai kuat tekan yang memenuhi standar $f'c$ 25 MPa, sedangkan substitusi di atas 5% menyebabkan penurunan kekuatan tekan yang lebih signifikan.

Hasil Pengujian Slump

Nilai slump merupakan parameter penting dalam menentukan workability atau kemudahan pengerjaan beton. Pengujian slump dilakukan dengan metode uji slump menggunakan kerucut Abrams. Hasil pengujian slump untuk berbagai variasi substitusi gypsum board ditampilkan dalam tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Slump Beton (mm)

Variasi Gypsum (%)	Nilai Slump (mm)
0	10
2,5	9,2
5	8,9
7,5	8,4
10	7,3

Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar substitusi gypsum board menyebabkan penurunan nilai slump beton, yang menunjukkan berkurangnya kelecakan beton akibat sifat fisik gypsum yang menyerap air lebih tinggi, mengurangi jumlah air bebas dalam campuran dan mengakibatkan berkurangnya workability beton dibandingkan semen. Penambahan sikacim concrete 0,7% membantu menjaga nilai slump dalam batas rencana dengan meningkatkan workability beton tanpa mengurangi kuat tekan. Kadar gypsum 0% dengan penambahan sikacim concrete 0,7% memiliki nilai slump tertinggi, yaitu 10 cm. Nilai slump mengalami penurunan seiring dengan peningkatan persentase substitusi gypsum board, dengan nilai terendah 7,3 cm pada campuran dengan gypsum 10%. Meskipun dengan penambahan sikacim concrete sebesar 0,7%, nilai slump masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk beton struktural. Aditif ini membantu mengurangi kebutuhan air dalam campuran, sehingga meningkatkan densitas beton dan mengurangi segregasi material.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (MPa)

Umur Beton (Hari)	0% Gypsum	2,5% Gypsum	5% Gypsum	7,5% Gypsum	10% Gypsum
7	20,57	19,34	19,91	15,19	13,31
14	25,19	24,16	24,82	18,40	16,14
21	28,03	26,61	27,65	20,01	18,12
28	30,01	29,53	29,82	22,55	20,09

Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi gypsum board sebesar 2,5% hingga 5% masih mampu mempertahankan, bahkan meningkatkan, kuat tekan beton hingga 29,82 MPa pada usia 28 hari. Namun, substitusi gypsum melebihi 5% menyebabkan penurunan kuat tekan yang cukup signifikan, di mana pada tingkat substitusi 10%, kuat tekan beton hanya mencapai 20,09 MPa pada usia yang sama. Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya kadar gypsum dalam campuran, yang mengganggu proses hidrasi semen serta meningkatkan porositas beton. Selain itu, penggunaan Sikacim Concrete sebesar 0,7% berkontribusi dalam meningkatkan kelecakan dan densitas beton dengan mengurangi kebutuhan air hingga 15%, sehingga porositas lebih rendah dan kuat tekan beton lebih optimal. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kuat tekan beton meliputi kualitas material, homogenitas pencampuran,

metode pemadatan, dan perawatan beton (curing). Dengan kombinasi gypsum dan Sikacim Concrete memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaan gypsum tanpa aditif, karena sikacim concrete membantu meningkatkan daya rekat partikel dalam beton. Target kuat tekan 25 MPa tidak tercapai pada substitusi lebih dari 5%.

Selain itu, pemanfaatan limbah gypsum sebagai bahan substitusi semen juga memiliki implikasi dalam pengurangan emisi karbon yang dihasilkan dari produksi semen konvensional. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek kekuatan kuat tekan beton tetapi juga aspek lingkungan dan keberlanjutan material konstruksi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah gypsum sebagai substitusi semen dapat menjadi alternatif dalam pengelolaan limbah industri dan mendukung pengembangan beton berkelanjutan. Namun, batas optimal penggunaannya harus diperhatikan untuk menjaga kualitas beton yang dihasilkan.

Dengan batas optimal substitusi gypsum yang telah ditemukan, penelitian ini memberikan wawasan bagi pengembang material konstruksi dalam menerapkan inovasi berbasis limbah industri. Pemanfaatan gypsum juga dapat diperluas ke berbagai jenis beton, seperti beton ringan atau beton dengan ketahanan sulfat tinggi, yang dapat diterapkan dalam kondisi lingkungan yang lebih spesifik (Prima & Carlo, 2024).

Secara lebih luas, penelitian ini mendukung pergeseran industri konstruksi ke arah yang lebih ramah lingkungan dengan mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku konvensional.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh substitusi limbah gypsum board sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton, serta peran zat aditif sikacim concrete dalam meningkatkan karakteristik beton. Berdasarkan hasil pengujian, substitusi gypsum sebesar 5% memberikan hasil optimal dengan kuat tekan 29,82 MPa pada umur 28 hari.

Penambahan sikacim concrete sebesar 0,7% membantu meningkatkan kelecakan beton serta mengurangi kebutuhan air, namun tidak sepenuhnya mengkompensasi penurunan kuat tekan yang menjadi pada substitusi gypsum di atas 5%. Substitusi lebih dari 5% cenderung meningkatkan porositas beton, yang berdampak negatif terhadap kekuatan tekan.

Penelitian ini mendukung inovasi beton berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah gypsum sebagai substitusi sebagian semen, yang dapat mengurangi ketergantungan pada semen konvensional dan menurunkan dampak lingkungan. Namun, penggunaan gypsum sebagai substitusi semen dalam beton struktural harus dibatasi dan dikaji lebih lanjut agar tetap memenuhi standar mutu yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Admindpu. (2022). *Penggunaan gypsum board dalam konstruksi bangunan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://dpu.kulonprogo.kab.go.id/detail/671/kuat>
- Atmaja, I. (2015). Dampak produksi semen terhadap lingkungan dan upaya reduksinya. *Jurnal Teknologi Material*, 14(2), 45–52. DOI: [10.31602/jk.v3i2.4076](https://doi.org/10.31602/jk.v3i2.4076)

- Hasan, M. (2014). Karakteristik material agregat terhadap kinerja beton struktural. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 10(1), 23–31. DOI: [10.31258/jst.v19.n1.p13-18](https://doi.org/10.31258/jst.v19.n1.p13-18)
- Imani, R., Purba, J., & Nainggolan, B. (2020). Pengaruh substitusi gypsum board pada beton terhadap kuat tekan. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 98–107. DOI: [10.30737/jurmateks.v2i2.542](https://doi.org/10.30737/jurmateks.v2i2.542)
- Maryati, D. (2016). Studi pemanfaatan gypsum dalam beton untuk meningkatkan durabilitas material. *Jurnal Material dan Struktur*, 12(2), 67–75. DOI: [10.32722/cmj.v2i1.2752](https://doi.org/10.32722/cmj.v2i1.2752)
- PT Sika Indonesia. (2020). *Produk dan aplikasi Sikacim Concrete: Panduan teknis penggunaan aditif dalam beton*. PT Sika Indonesia.
- Prayogo, A., Ridwan, T., & Winarto, Y. (2019). Efektivitas penggunaan gypsum board sebagai bahan campuran beton. *Jurnal Teknik Konstruksi*, 7(2), 55–63. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v2i2.542>
- Prima, R., & Carlo, N. (2024). Studi eksperimental pemanfaatan gypsum board terhadap kuat tekan beton. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 1(1).
<https://ejurnal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTSP/article/view/25468>
- Review, A., & Strong, B. (2020). Analisis konsumsi semen dan dampaknya terhadap industri konstruksi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Infrastruktur*, 15(1), 112–120. DOI: [10.30737/jurmateks.v2i2.542](https://doi.org/10.30737/jurmateks.v2i2.542)
- SNI 7656:2012. (2012). *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat, dan beton massa*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Zulmahdi, D. (2014). Pemanfaatan aditif dalam campuran beton untuk meningkatkan kuat tekan dan durabilitas. *Jurnal Rekayasa Material*, 9(3), 78–85. <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v10i2.6670>