

Pengaruh Serbuk Batu Kapur di Daerah Semanding Tuban sebagai Variasi Bahan Substitusi Semen terhadap Nilai Slump

Aksaradia SangTirani^{1*}, Nurul Rochmah²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, aksara1302@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, nurul-rochmah@untag-sby.ac.id

Abstract

The massive use of concrete in the construction industry presents significant environmental challenges, particularly due to the high consumption of cement. Cement is a material that contributes substantially to global carbon dioxide (CO₂) emissions. According to data from the Chatham House Research Institute, global cement production in 2016 generated approximately 2.2 billion tons of CO₂, equivalent to 8% of total global carbon emissions. This condition indicates the need for efforts to increase efficiency in cement use through innovations in concrete mixtures, including the utilization of substitute materials such as limestone powder. This study aims to evaluate the slump values of concrete with various limestone powder substitution percentages using the Design of Experiment (DoE) method for mix design and the SNI 1972:2008 "Concrete Slump Test Method" as the testing standard. The analysis technique was carried out by measuring the height of fresh concrete before and after being placed into the Abram cone to obtain the slump value as an indicator of workability. The results show that the slump values for the 0%, 5%, 10%, 12.5%, 15%, and 35% variations were 18 cm, 16 cm, 15.75 cm, 11.5 cm, 12.5 cm, and 12 cm, respectively. The highest slump was obtained at the 0% variation, while the most optimal slump was found at the 12.5% variation with a value of 11.5 cm, as it lies within the ideal range—not too fluid, which risks segregation, and not too stiff, which complicates compaction. This study demonstrates that the addition of limestone powder at certain levels can significantly influence concrete workability.

Keywords: Concrete, Limestone, Cement, Slump, Workability

Abstrak

Penggunaan beton secara masif dalam industri konstruksi menimbulkan permasalahan lingkungan yang signifikan, terutama akibat tingginya konsumsi semen. Semen merupakan material dengan kontribusi besar terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) global. Berdasarkan data Lembaga Penelitian Chatham House, produksi semen dunia pada tahun 2016 menghasilkan sekitar 2,2 miliar ton CO₂ atau setara dengan 8% dari total emisi karbon dioksida global. Kondisi ini menunjukkan perlunya upaya efisiensi penggunaan material semen melalui inovasi campuran beton, termasuk pemanfaatan bahan substitusi seperti serbuk batu kapur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai slump beton dengan variasi substitusi serbuk batu kapur menggunakan metode Design of Experiment (DoE) untuk perancangan campuran dan metode SNI 1972:2008 "Cara Uji Slump Beton" sebagai acuan pengujian. Teknik analisis dilakukan dengan mengukur tinggi beton segar sebelum dan sesudah dimasukkan ke kerucut Abram untuk memperoleh nilai slump sebagai indikator kemudahan pengerjaan (workability). Hasil penelitian menunjukkan nilai slump berturut-turut untuk variasi 0%, 5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 35% adalah 18 cm, 16 cm, 15,75 cm, 11,5 cm, 12,5 cm, dan 12 cm. Nilai slump tertinggi diperoleh pada variasi 0%, sedangkan nilai yang dianggap paling optimal terdapat pada variasi 12,5% dengan slump 11,5 cm karena berada dalam rentang ideal, tidak terlalu encer sehingga berisiko segregasi, dan tidak terlalu kental sehingga menyulitkan pematangan. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk batu kapur pada kadar tertentu dapat mempengaruhi workability beton secara signifikan.

Kata Kunci : Beton, Batu Kapur, Semen, Slump, Workability



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber daya alam (SDA) yang melimpah memberikan dukungan bagi pembangunan dan pengembangan infrastruktur masa depan, sesuai dengan tren pembangunan di Indonesia. Beton merupakan salah satu bahan material yang memiliki fungsi, kegunaan, maupun peran yang luas dalam pengerjaan bangunan konstruksi. (Suryani et al., 2024)

Indonesia adalah salah satu negara yang kaya sumber daya alam, salah satu kekayaan yang berlimpah yaitu pada bidang pertambangan batu kapur. Cadangan batu kapur di Indonesia tersebar di pegunungan kapur di Jawa, Madura, Sumatera, dan Papua. Di Jawa Timur, tepatnya di Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban, daerah ini dikenal sebagai salah satu penghasil batu kapur dengan potensi lahan seluas 5.480,479 hektar. Berdasarkan pengamatan di lapangan, masyarakat sekitar banyak memanfaatkan batu kapur sebagai bahan bangunan, khususnya untuk pondasi. (Ramdhani, 2018; Wahyudi et al., 2024)

Penggunaan beton secara luas menimbulkan dampak yang signifikan, terutama terkait pemakaian semen. Salah satu sumber utama emisi karbon dioksida (CO₂) di seluruh dunia adalah semen. Menurut laporan Chatham House, produksi semen global pada tahun 2016 menghasilkan sekitar 2,2 miliar ton CO₂, yang setara dengan sekitar 8% dari total emisi karbon dioksida global. (Huynh, 2018).

Melalui permasalahan tersebut, tentu saja perlu penanggulangan terkait bahan pengganti semen. Batu kapur diketahui memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3), namun pada beberapa tempat memiliki sifat yang berbeda. Kandungan lain yang disebutkan pada batu kapur yaitu, kandungan silika, aluminium, dan magnesia. Kandungan CaCO_3 merupakan unsur yang dianggap seragam dengan semen. (Fikri & Syahputra, 2024; Permatasari & Kurniawan, 2022).

Mineral organik yang menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3) memiliki keragaman sifat fisik, termasuk morfologi, fase, ukuran partikel, dan distribusi ukuran, yang disesuaikan dengan kebutuhan aplikasinya. Pada lokasi yang akan ditinjau perkiraan kadar CaCO_3 kualitas paling tinggi kisaran 5,83% - 6,81% sedangkan kadar paling rendahnya sekitar 3,89%. (Ramdhani, 2018; Tasari et al., 2020). Semen yang terkalsinasi dengan batu kapur dianggap mampu menurunkan penggunaan CO_2 sebagai bahan tambahan dari semen itu sendiri. Kandungan ini juga mampu meningkatkan daya ketahanan dan kekuatan pada beton yang dihasilkan. Kandungan ini juga dianggap berpotensi untuk menggantikan hingga 50% dari kandungan semen dalam beton tanpa mengurangi kekuatan maupun daya tahan material. (Barbhuiya et al., 2023).

Semen portland komposit adalah jenis bahan pengikat hidrolik yang dibuat dengan mencampurkan semen portland dengan komponen anorganik tertentu dalam bentuk bubuk, menurut SNI 7656:2012. Terak tanur tinggi, pozzolan, dan batu kapur adalah contoh bahan anorganik yang sering digunakan. Selain itu, menurut standar tersebut, jumlah total bahan anorganik yang digunakan sebagai substitusi tidak boleh kurang dari 6% maupun lebih dari 35% dari massa semen portland komposit.

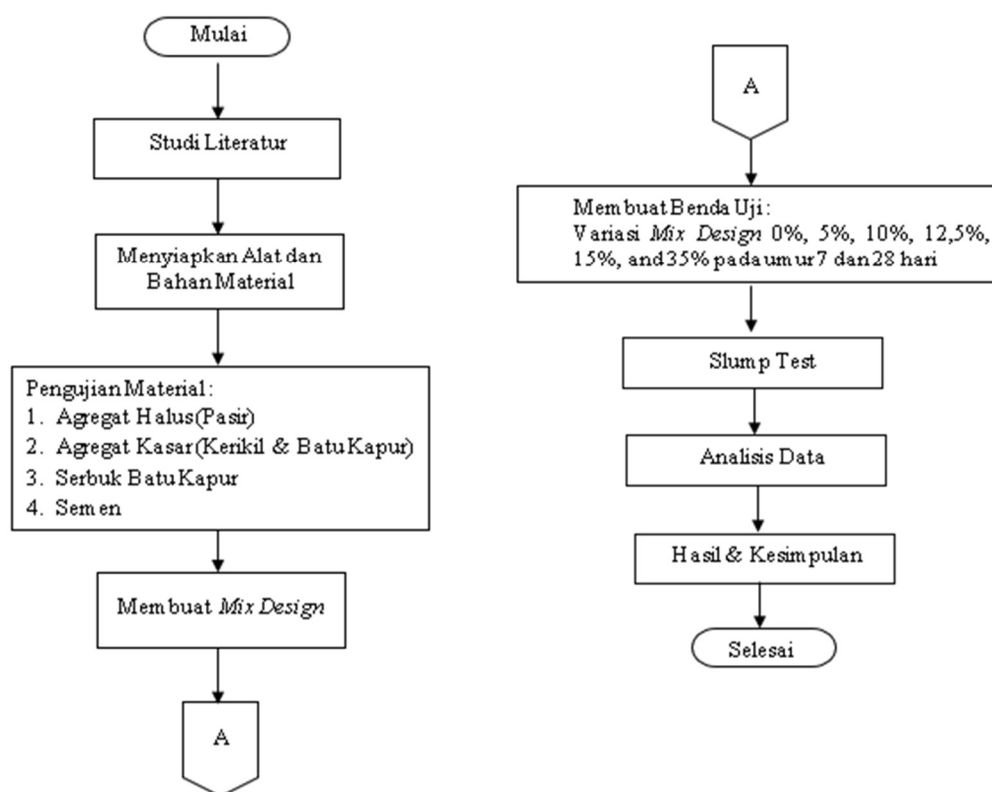
Uji slump merupakan salah satu metode paling umum yang digunakan untuk menilai konsistensi dan tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kerucut Abrams untuk mengetahui sejauh mana beton mampu mempertahankan bentuknya setelah cetakan diangkat. Nilai slump memberikan gambaran awal mengenai kualitas campuran beton dalam hal proporsi air, agregat, dan semen, sehingga penting dalam proses kontrol kualitas sebelum beton digunakan dalam pekerjaan konstruksi.

Selain berfungsi sebagai indikator *workability*, uji slump juga membantu mendeteksi adanya variasi dalam campuran beton yang dapat memengaruhi kinerja struktural pada tahap akhir. Beton dengan nilai slump yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menimbulkan masalah seperti segregasi, sulit dipadatkan, atau kekuatan yang tidak sesuai dengan perencanaan. Oleh karena itu, uji slump menjadi langkah penting dalam memastikan bahwa beton yang digunakan memenuhi spesifikasi teknis dan dapat memberikan hasil yang optimal dalam pelaksanaan pembangunan.

Melalui penelitian ini, peneliti berupaya mengembangkan inovasi terkait penelitian beton dengan substitusi serbuk batu kapur pada semen di lokasi Desa Bektiharjo, Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban, dengan menggunakan substitusi agregat kasar sebesar 50% dengan tambahan serbuk batu kapur sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 35% yang dirancang menggunakan metode *Department of Environment* (DoE) yang tercantum dalam SNI 03-2834-2000. Hasil akhir dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh nilai slump pada *workability* beton dengan pemanfaatan potensi bahan lokal batu kapur pada daerah yang akan digunakan oleh peneliti.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan serbuk batu kapur terhadap kelecakan adonan beton. Beton yang akan dirancang diperhitungkan menggunakan metode *Department of Environment* (DoE) yang mengacu pada SNI 03-2834-2000. Beton yang direncanakan yaitu beton dengan mutu rencana 25 MPa sebagai syarat minimum beton struktur. Bahan yang digunakan meliputi semen *Portland Composite Cement* (PCC), agregat halus yaitu berupa pasir lumajang, agregat kasar berupa batu pecah dan batu kapur sebanyak perbandingan 1:1, serta air bersih yang diambil sesuai untuk standart mutu beton. Pada semen terdapat substitusi bahan berupa serbuk batu kapur sehingga terdapat pengurangan penggunaan semen.



Gambar 1. Diagram Alir

Tahapan penelitian yaitu menyiapkan material, melakukan pembersihan serta pengayakan agregat agar campuran beton menjadi lebih homogen, penentuan kadar air maupun gradasi, kemudian perlu menyampurkan bahan sesuai proporsi hasil perhitungan dengan metode DoE hingga diperoleh adukan beton homogen. Hasil dari pengujian bahan tersebut didapatkan :

1. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa agregat halus termasuk dalam gradasi zona 1 dan nilai modulus kehalusannya telah sesuai dengan standar, yaitu berada dalam kisaran 1,5%–3,8%. Sementara itu, agregat kasar memiliki ukuran maksimum 20 mm dan nilai modulus kehalusannya memenuhi standar yaitu berada dalam kisaran 6,0%–7,1%. Standar acuan untuk modulus kehalusan baik agregat halus maupun kasar merujuk pada SNI 03- 2461-1991 Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis baik pasir batu pecah maupun batu kapur telah memenuhi standar yaitu minimum 2,5% yang sesuai dengan SNI 03-1979-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus dan SNI 03- 1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baik pasir, kerikil, dan batu kapur telah memenuhi standar penyerapan air maksimum 3% yang sesuai dengan SNI 03-1979-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus dan SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
4. Hasil uji keausan kerikil batu pecah telah memenuhi ketentuan SNI 03- 2417-1991 Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles, yaitu tidak melebihi 40%. Namun keausan kerikil batu kapur tidak memenuhi ketentuan, karena melebihi 40% karena jenis batu kapur lebih mudah rapuh dan berongga.

Kemudian, melalui hasil pengujian bahan tersebut, peneliti mengolah data menggunakan metode DoE untuk mendapatkan proporsi mix design untuk setiap beton variasi serbuk batu kapur.

Tabel 1. Proporsi Mix Design

Presentase Campuran Serbuk Batu Kapur	Agregat			Air (kg)	Semen (kg)	Serbuk Batu Kapur (kg)
	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Batu Kapur (kg)			
Kontrol	15,16	21,89	0	3,43	7,85	0
0%	15,56	11,23	11,47	3,425	7,09	0,000
5%	15,45	11,16	11,40	3,428	6,98	0,367
10%	15,34	11,07	11,31	3,431	6,86	0,762
12,5%	15,28	11,03	11,27	3,433	6,79	0,971
15%	15,21	10,99	11,22	3,434	6,73	1,188
35%	14,61	10,55	10,78	3,450	6,10	3,285

Pembuatan beton direncanakan sebanyak 54 benda uji dengan variasi benda uji 0%, 5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 35%.

Tabel 2. Jumlah Benda Uji

Benda Uji	Serbuk Batu Kapur (%)	Jumlah Sampel	
		7 days	28 days
A	0%	3	3
B	5%	3	3
C	10%	3	3
D	12,5%	3	3
E	15%	3	3
F	35%	3	3
Total Test Specimen		18	18
		36	

Setelah direncanakan, peneliti melakukan pengecoran dengan menggunakan molen, kemudian beton yang sudah siap, dituang ke dalam wadah. Beton segar kemudian diuji menggunakan kerucut abrams kemudian setiap pengisian beton dirojak menggunakan perojok. Hal ini dilakukan sesuai dengan SNI 1972:2008 tentang Cara Uji Slump Beton. Hal tersebut untuk menentukan tingkat kelecakan beton segar. Setelah itu, nilai slump yang diperoleh digunakan untuk membandingkan pengaruh substitusi serbuk batu kapur terhadap kemudahan pengerjaan (*workability*) beton pada mutu rencana 25 MPa.

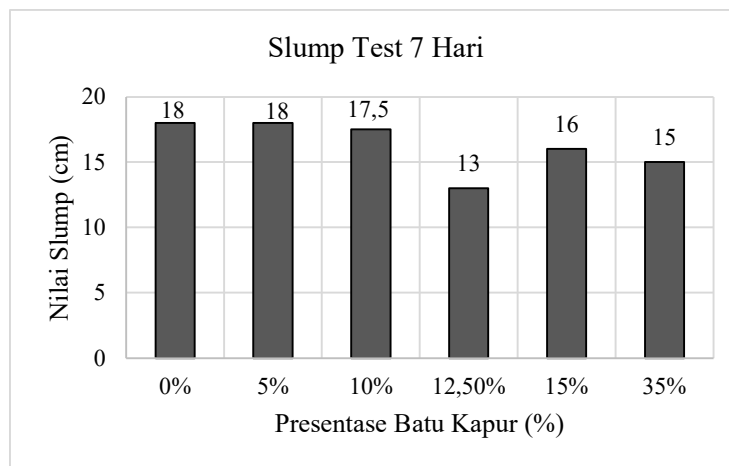
Perbandingan nilai slump antar variasi yaitu dengan cara mencatat nilai slump setiap pengecoran sesuai dengan variasi dengan mencatat hasil tinggi awal dan tinggi akhir setelah beton dijatuhkan dari kerucut abrams lalu diambil 3 pengukuran lalu diambil rata-rata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, pengujian slump dilakukan terhadap 6 variasi presentase beton normal dengan substitusi serbuk batu kapur. Pengujian dilaksanakan setelah proses *mixing* dengan molen selesai dengan menggunakan alat kerucut abrams, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-2834-2000. Hasil dari pengujian ini digunakan sebagai data utama untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh penggunaan serbuk batu kapur untuk substitusi semen terhadap nilai slump. Pengujian ini dilakukan terhadap setiap 3 sampel beton untuk memperoleh data nilai slump yang menggambarkan tingkat kelecakan adukan beton segar. Setiap sampel diuji segera setelah proses pencampuran selesai agar hasil yang diperoleh akurat dan mewakili kondisi sebenarnya di lapangan. Melalui SNI 1972:2008 tentang uji slump, peneliti merencanakan batas slump untuk elemen structural kolom, balok, dan dinding struktural dengan rentang 75-150 mm.

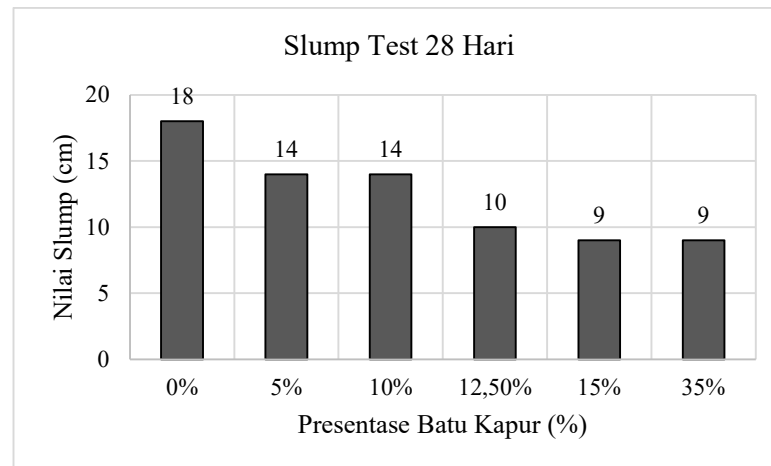
Tabel 3. Hasil Uji Slump Beton

Komposisi	Umur Beton	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Nilai Slump	Rata-Rata Nilai Slump
(%)	(Hari)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Kontrol	7	30	12	18	18
	28	30	12	18	
0% SBK	7	30	12	18	18
	28	30	12	18	
5% SBK	7	30	12	18	16
	28	30	16	14	
10% SBK	7	30	12,5	17,5	15,75
	28	30	16	14	
12,5% SBK	7	30	17	13	11,5
	28	30	20	10	
15% SBK	7	30	14	16	12,5
	28	30	21	9	
35% SBK	7	30	15	15	12
	28	30	21	9	



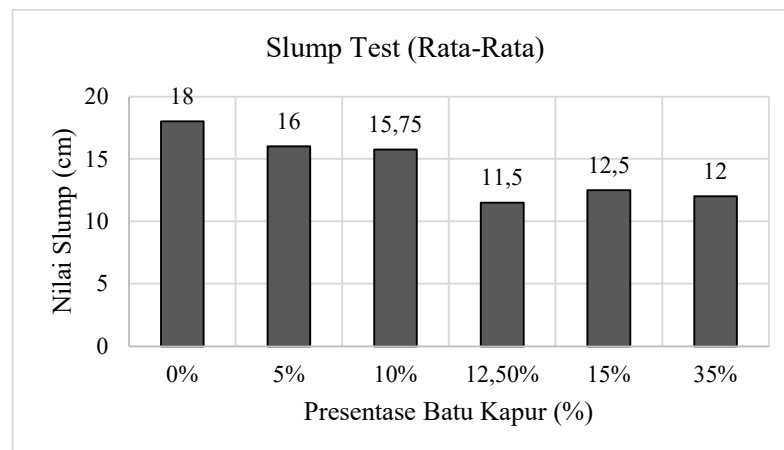
Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Slump Beton 7 Hari

Grafik yang tertera pada **Gambar 2.** dipaparkan bahwa pada umur ke-7 hari, slump beton dengan substitusi serbuk batu kapur variasi 0%, 5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 35% didapatkan hasil 18 cm, 18 cm, 17,5 cm, 13 cm, 16 cm, dan 15 cm. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi 0% dan 5% yaitu 18 cm, kemudian terjadi penurunan pada presentase 10% dengan angka 17,5 cm, lalu grafik menurun kembali pada variasi 12,5% dengan angka terendah, yaitu 13 cm. Selanjutnya terdapat kenaikan pada variasi serbuk batu kapur 15% yaitu 16 cm, namun kembali turun pada variasi 35% dengan angka 15 cm. Pada grafik slump 7 hari yang ditampilkan diambil kesimpulan bahwa slump beton dengan variasi yang semakin besar, akan semakin relatif menurun. Hal tersebut diakibatkan karena penambahan serbuk batu kapur yang mengandung kadar CaCO_3 .



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Slump Beton 28 Hari

Grafik yang tertera pada **Gambar 3.** dipaparkan bahwa pada umur ke-28 hari, slump beton dengan substitusi serbuk batu kapur variasi 0%, 5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 35% didapatkan hasil 18 cm, 14 cm, 14 cm, 10 cm, 9 cm, dan 9 cm. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi 0% yaitu 18 cm, kemudian terjadi penurunan pada presentase 5% dengan angka 14 cm. Pada grafik selanjutnya dengan variasi 12,5% didapatkan nilai 14 cm, lalu grafik menurun kembali pada variasi 12,5% dengan angka 10 cm. Selanjutnya terdapat penurunan dengan angka terendah yaitu 9 cm pada variasi 15% dan 35%. Pada grafik slump 28 hari yang ditampilkan diambil kesimpulan bahwa slump beton dengan variasi yang semakin besar, akan semakin relatif menurun. Hal tersebut diakibatkan karena penambahan serbuk batu kapur yang mengandung kadar CaCO_3 .



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Slump Rata-Rata

Grafik di atas menunjukkan rata-rata slump beton 7 hari dan 28 hari dengan substitusi serbuk batu kapur variasi 0%, 5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 35% didapatkan hasil 18 cm, 16 cm, 15,75 cm, 11,5 cm, 12,5 cm, dan 12 cm. Nilai tertinggi slump didapatkan 18 cm pada variasi 0% serbuk batu kapur. Selanjutnya, nilai slump menurun menjadi 16 cm pada variasi 5% serbuk batu kapur dan kembali menurun pada variasi 10% dengan nilai 15,75%. Setelah itu, slump menurun kembali menjadi 11,5 cm dengan variasi 12,5% serbuk batu kapur. Kemudian, pada variasi 15% serbuk batu kapur didapatkan kenaikan slump dengan nilai 12,5 cm. Setelah itu, terjadi penurunan kembali pada variasi 35% dengan nilai 12 cm. Berdasarkan data yang telah didapat, nilai slump yang paling optimal yaitu pada variasi 12,5% dengan nilai 11,5 cm. Hal tersebut karena slump berada di tengah rentang ideal (tidak terlalu kental maupun terlalu encer), tidak mendekati batas atas yang beresiko segregasi, dan tidak terlalu rendah sehingga menyulitkan pemadatan.

Menurut Muhammad Aswar dengan rekannya, adanya penurunan nilai slump disebabkan akibat penambahan serbuk batu kapur sebagai pengganti semen pada adonan beton. Serbuk batu kapur memiliki sifat CaCO_3 sehingga tingkat penyerapan air yang tinggi pada beton, sehingga berakibat pada kebutuhan air yang meningkat pada perencanaan. Penurunan pada slump juga dipengaruhi oleh waktu dan lama pencampuran, ditunjukkan pada grafik penelitiannya, bahwa terdapat hubungan waktu dan lama pencampuran. Pada

grafiknya ditampilkan jika semakin lama pengadukan suhu pada campuran beton semakin meningkat, akibatnya campuran beton semakin homogen namun sulit dikerjakan atau workability tidak baik. (Sultan Aswar et al., 2023)

Penambahan serbuk batu kapur yang mengandung CaCO_3 yang berlebih dapat mempengaruhi kebutuhan air pada adonan beton. Hal tersebut karena serbuk batu kapur memiliki ukuran partikel yang sangat halus, sehingga ketika dicampurkan ke dalam beton partikel ini akan mengisi rongga kosong diantara butir semen. Dengan adanya kontak antar partikel, kebutuhan air akan semakin bertambah.

Menurut penelitiannya, Nurul Rochmah (2019), penggunaan serbuk batu kapur sebagai substitusi semen bisa dilakukan, namun tidak boleh berlebihan agar karakteristik mekanik dan fresh concrete terjaga. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik pada grafik penelitiannya, bahwa nilai slump optimum berada pada proporsi serbuk kapur 10% dan semakin banyak serbuk batu kapur beton akan sulit untuk dibuat. Sama dengan Mohd Afiq, et.al. (2020), campuran optimum slump dengan penambahan serbuk batu kapur yaitu pada variasi 10%. Pada penelitiannya, *limestone powder* dapat digunakan dengan efektif sebagai aditif atau pengganti sebagian semen pada beton ringan busa self-consolidating, tetapi harus pada kadar yang terkontrol. Dalam jumlah optimum, limestone powder membantu meningkatkan kepadatan dan sifat mekanik, namun apabila berlebihan, kandungan serbuk batu kapur dapat menyebabkan penurunan workability (*slump decrease*) dan penurunan kekuatan struktural pada beton.

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dampak penggunaan serbuk batu kapur yang berlebih, akan berpengaruh pada workability beton sehingga akan menurunkan nilai slump dan membuat beton semakin kaku dan tidak efektif jika digunakan di lapangan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan tren umum bahwa penambahan serbuk batu kapur cenderung menurunkan nilai slump karena sifat CaCO_3 yang sangat halus meningkatkan kebutuhan air campuran, sehingga workability berkurang. Berdasarkan tujuan penelitian untuk memperoleh tingkat kelecakan yang paling seimbang, variasi 12,5% dipilih sebagai komposisi optimum karena berada di rentang slump yang stabil, tidak terlalu encer hingga berisiko segregasi, dan tidak terlalu kental sehingga tetap mudah dipadatkan di lapangan. Temuan ini bermanfaat sebagai acuan praktis dalam menentukan proporsi serbuk batu kapur agar beton tetap workable, meskipun penelitian ini terbatas pada rentang substitusi 0–35% dan kondisi material tertentu. Oleh karena itu, studi lanjutan disarankan untuk menguji variasi serbuk batu kapur, penggunaan superplasticizer pada beton, serta dampaknya terhadap kekuatan jangka panjang..

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2000). SNI 03 - 2834 - 2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2002). SNI 03-6820-2002 : Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2004a). SNI 15-2049-2004 : Semen Portland.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2002c). SNI 03-6827-2002: Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2002c). SNI 03-6827-2002: Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil.
- Barbhuiya, S., Nepal, J., & Das, B. B. (2023). Properties, Compatibility, Environmental Benefits and Future Directions of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete: A Review. 1(1), 34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobc.2023.10779>
- Fauzan, A., Ambarwati, A., Kustrini, A., & Purnijanto, B. (2023). Analisis Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Tetes Tebu (Molasse) dan Kapur Alam. *Bangun Rekaprima*, 9(1), 68–74. <https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v9i1.4472>
- Hamdi, F., Edwin Lopian, F., Tumpu, M., Mansyur, Irianto, Suyamiharja S Mabui, D., Raidyarto, A., Azis Sila, A., Masdiana, Rusan Rangan, P., & Hamkah. (2022). *Teknologi Beton*. CV. Tohar Media.
- Huynh, L. (2018). Perubahan Iklim: Inilah Penghasil Emisi CO2 Terbesar yang Mungkin Tak Anda Sadari. <https://www.bbc.com/indonesia/majalah-46591036>.
- Ramdhani, R. (2018). Pemetaan Potensi dan Kualitas Batuan Kapur Menggunakan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kecamatan Semanding, Tuban). Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- Paslah, R., & Suhana, N. (2021). Pengaruh Penggunaan Substitusi Limbah Genteng pada Agregat Kasar dan Agregat Halus pada Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 7(2). <https://doi.org/10.31943/jri.v7i2.180>
- Rochmah, N., & Sarya, G. (2019). Pengaruh Serbuk Batu Kapur terhadap Uji Tekan Beton. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 5(4), 13–20.
- Sultan Aswar, Jasman, & Hamsyah. (2023). Pengaruh Kuat Tekan dan Nilai Slump Beton Dengan Campuran Bubuk Kapur (CaCO_3) Sebagai Pengganti Semen. 11(November).
- Suryani, N. L., Setiawan, A., Renaldi, S., & Yusriyah, A. (2024). Pemanfaatan Limbah Industri Abu Batu Kapur dan Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Campuran Beton Tepat Mutu. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 7(1). <https://doi.org/10.25139/jprs.v7i1.7608>
- Tasari, S., Iqbal, & Badaruddin. (2020). Penentuan Lama Kalsinasi Kalsium Karbonat CaCO_3 dari Batu Kapur Tanjung Karang Donggala. *Gravitasi*, 18(2), 137–147. <https://doi.org/10.22487/gravitasi.v18i2.15077>