



Analisis Penggunaan Limbah Kalsit sebagai Pengganti Semen terhadap Sifat Mekanik pada Beton

Liana Herlina^{1*}, Endah Kurniyaningrum², Salwa Zahra Rizkina³, Giraldi Fardiaz Kuswanda⁴, Ulfa Fatmasari Faisal⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

*liana@trisakti.ac.id

Abstract

Beton adalah merupakan material yang sangat penting dalam industri konstruksi dimana komposisinya adalah semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Namun, produksi beton terutama dalam hal pemakaian semen portland menyumbang sekitar 5-7% dari total emisi karbon global. Untuk mengurangi penggunaan semen, adalah subsitusi limbah kalsit ($CaCO_3$), yang merupakan bahan alami yang mudah didapatkan dan relatif murah. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kalsit sebagai pengganti semen terhadap sifat mekaniknya. Subsitusi limbah kalsit terhadap semen sebesar 0%, 5%, 7.5%, dan 12.5%. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian slump, berat jenis dan kuat tekan pada umur 28 hari, hasil yang didapat dibandingkan dengan subsitusi limbah kalsit 0% atau beton normal. Hasil penelitian ini diperoleh bahwa semakin bertambahnya subsitusi limbah kalsit nilai workability menjadi lebih kecil dan semakin bertambahnya subsitusi limbah kalsit maka berat jenisnya menjadi lebih ringan, beton paling ringan terdapat di subsitusi 12.5% dengan nilai 2219.52kg/m^3 , lebih ringan 3.55% dibandingkan beton normal. Terhadap kuat tekan dengan penambahan subsitusi kalsit terhadap semen dapat meningkatkan kuat tekan sampai batas tertentu akan mengalami penurunan pada penelitian ini subsitusi limbah kalsit yang paling optimal yaitu 10% kalsit dengan hasil kuat tekan sebesar 39.33 MPa dengan perbandingan beton normal sebesar 32.26 MPa .

Keywords: Beton , Limbah Kalsit, Kuat tekan, Slump.

1. Pendahuluan

Beton adalah material yang sangat penting dalam industri konstruksi modern karena sifat mekanik yang unggul, daya tahan terhadap cuaca, dan kemampuan untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk sesuai kebutuhan. Beton yang terbuat dari campuran semen, agregat, dan air ini, telah menjadi bahan utama dalam pembangunan infrastruktur, gedung, jalan, dan berbagai konstruksi lainnya. Namun, produksi beton terutama dalam hal pemakaian semen portland menyumbang sekitar 5-7% dari total emisi karbon global (Pérez et al., 2015). Sebagai bahan yang memerlukan energi tinggi dalam proses produksinya, semen portland memiliki dampak lingkungan yang besar, baik dalam hal penggunaan sumber daya alam maupun emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan dan

ramah lingkungan, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari alternatif pengganti semen yang lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi kualitas beton. Salah satu alternatif yang menarik adalah penggunaan limbah kalsit (CaCO_3), yang merupakan bahan alami yang mudah didapatkan dan relatif murah. Limbah kalsit dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian atau seluruhnya dalam campuran beton, menggantikan sebagian atau seluruh semen portland. Pemanfaatan limbah ini dalam pembuatan beton diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen dan sekaligus mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh produksi semen portland.

Kalsit adalah mineral karbonat yang banyak ditemukan di alam, khususnya dalam bentuk batu kapur (limestone). Batu kapur adalah sumber utama untuk produksi semen, namun banyak limbah kalsit yang dihasilkan dalam proses penambangan dan pengolahan batu kapur, yang biasanya dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan. Padahal, limbah kalsit ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen dalam beton, karena kalsit memiliki kandungan kalsium yang tinggi, yang dapat berperan dalam proses hidrasi beton, memberikan kontribusi terhadap kekuatan dan durabilitas beton. Penambahan limbah kalsit (CaCO_3) mampu untuk mempertahankan kekuatan beton (Risky Sherly, Heriansyah Putra, 2022)

Beberapa penelitian telah mengkaji potensi limbah kalsit dalam campuran beton dan memberikan hasil yang menjanjikan.. Misalnya, Zhang et al. (2008) menunjukkan bahwa penambahan limbah kalsit dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, terutama pada umur beton yang lebih muda. Hal ini disebabkan oleh interaksi antara kalsit dan air yang dapat meningkatkan reaksi hidrasi dalam campuran beton. Selain itu, limbah kalsit dapat memperbaiki mikrostruktur beton dengan mengisi pori-pori dan meningkatkan kepadatan beton, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton terhadap lingkungan eksternal.

Namun, seperti halnya bahan pengganti lainnya, penggunaan limbah kalsit dalam beton tidak tanpa tantangan. Penggunaan kalsit yang berlebihan dalam campuran beton dapat menurunkan kekuatan beton, karena kalsit yang tidak dapat bereaksi dengan air akan mengurangi kepadatan beton dan menghasilkan lebih banyak pori-pori. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kadar optimal limbah kalsit yang dapat digunakan dalam campuran beton tanpa mengorbankan sifat mekanik beton. Penentuan dosis yang tepat menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan beton yang dihasilkan tetap memenuhi standar kekuatan tekan dan durabilitas.

Selain dari aspek teknis, pemanfaatan limbah kalsit juga memiliki keuntungan lingkungan yang signifikan. Dengan menggantikan sebagian semen dengan limbah kalsit, jumlah bahan baku alam yang diperlukan untuk produksi beton dapat dikurangi, yang pada gilirannya dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat proses pertambangan dan pengolahan bahan baku. Penggunaan limbah kalsit juga mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan, sehingga memberikan manfaat dalam konteks ekonomi sirkular, yaitu mendaur ulang limbah menjadi bahan yang berguna.

Salah satu tantangan besar dalam industri konstruksi adalah bagaimana menciptakan keseimbangan antara peningkatan kualitas material dan pengurangan dampak lingkungan. Oleh karena itu, penelitian tentang pemanfaatan limbah kalsit sebagai pengganti sebagian semen dalam beton merupakan langkah yang penting dalam mewujudkan konstruksi berkelanjutan. Dalam penelitian ini, akan dianalisis secara mendalam tentang pengaruh

penggunaan limbah kalsit terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan, serta potensi keberlanjutan yang dapat dicapai dengan mengganti sebagian semen dengan limbah kalsit.

Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai teknik baru dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas dan sifat beton. Misalnya, penggunaan bahan aditif atau bahan pengikat lainnya dapat digunakan untuk memaksimalkan kinerja limbah kalsit dalam beton. Hal ini membuka peluang untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai interaksi antara limbah kalsit dan bahan-bahan lainnya yang digunakan dalam campuran beton, seperti *fly ash*, *slag*, atau bahan pozzolan lainnya. Selain itu, penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh waktu pengerasan, suhu, dan kelembaban terhadap beton yang mengandung limbah kalsit juga diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang potensi penggunaannya dalam berbagai kondisi.

Selain itu, penting juga untuk mempertimbangkan aspek ekonomis dari penggunaan limbah kalsit dalam beton. Pemanfaatan limbah sebagai bahan alternatif dapat memberikan penghematan biaya produksi beton, yang dapat menjadi keuntungan besar bagi industri konstruksi. Harga limbah kalsit relatif lebih rendah dibandingkan dengan semen portland, yang dapat mengurangi biaya bahan baku. Dalam konteks ini, evaluasi biaya dan manfaat menjadi hal yang sangat penting, mengingat biaya produksi beton adalah faktor utama yang mempengaruhi keputusan penggunaan bahan alternatif dalam campuran beton.

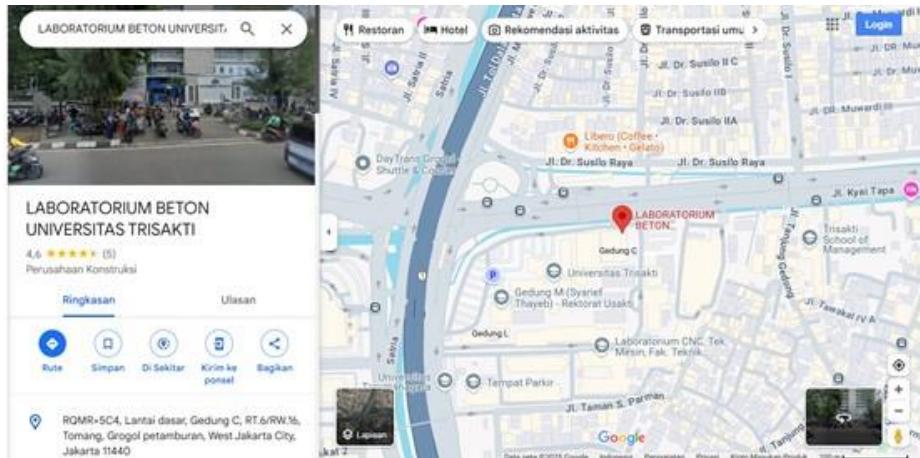
Dalam upaya mewujudkan konstruksi yang berkelanjutan, penggunaan limbah kalsit dalam beton merupakan salah satu solusi yang dapat memberikan kontribusi besar dalam mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi. Namun, untuk mewujudkan potensi ini secara maksimal, diperlukan riset yang lebih mendalam mengenai berbagai faktor yang mempengaruhi sifat-sifat beton yang mengandung limbah kalsit, serta standar teknis yang jelas mengenai kadar penggantian semen yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih jauh mengenai potensi penggunaan limbah kalsit dalam campuran beton, serta memberikan rekomendasi tentang cara terbaik untuk mengintegrasikan limbah kalsit dalam praktik konstruksi yang berkelanjutan.

2. Metodologi

Metodologi penelitian ini mencakup beberapa tahap yang terdiri dari persiapan material, pengujian material, perancangan campuran beton (*mix design*), pembuatan sampel beton, pengujian laboratorium, serta analisis data.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lokasi laboratorium beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti.

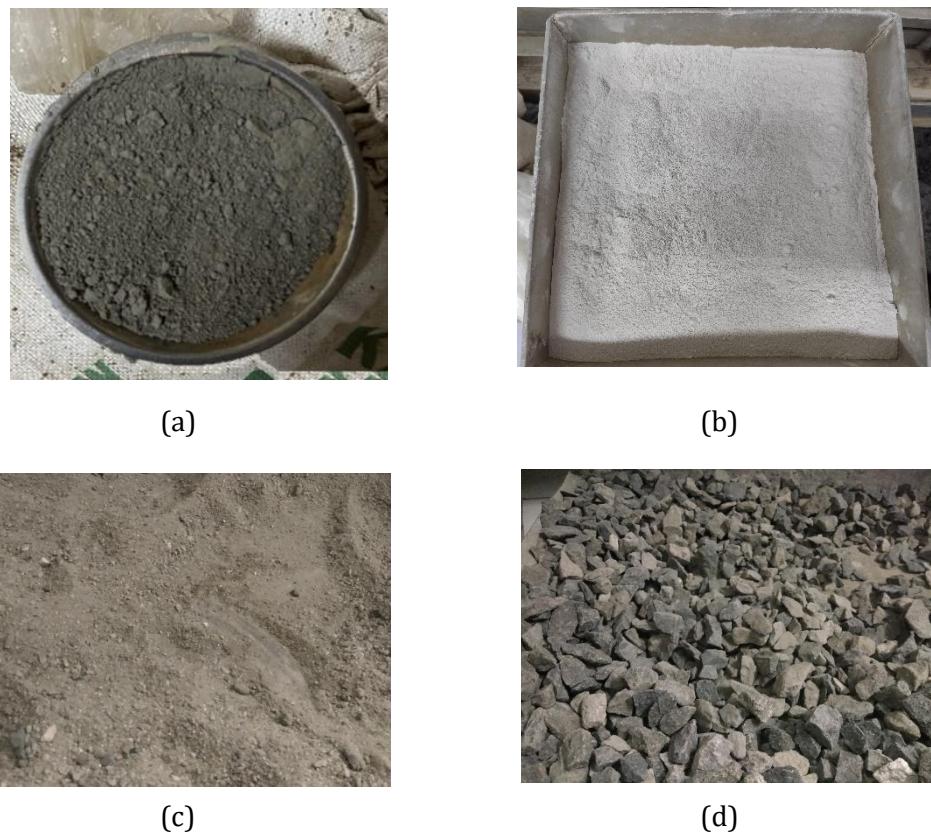


Sumber: Googlemap

Gambar 1. Lokasi penelitian

Bahan dan Material

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland tipe 1, agregat kasar, agregat halus, air, dan limbah kalsit. Limbah kalsit yang digunakan dalam penelitian ini telah melalui proses penyaringan dan penggilingan untuk mendapatkan ukuran butir yang seragam dan dapat tercampur dengan baik dalam campuran beton.



Gambar 2. (a) Semen PCC, (b) Limbah Kalsit, (c) Pasir, (d) Split

Tabel 1. Hasil Pengujian Material

| Karakteristik | Agregat Halus | Agregat Kasar | Semen | Limbah Kalsit |
|---|---------------|---------------|--------|---------------|
| Modulus Kehalusan | 3.00 | 7.02 | | |
| Kadar Lumpur (%) | 4.195 | 0,94 | | |
| Berat Jenis | 2.452 | 2.516 | 3.00 | 2.73 |
| Penyerapan Air (%) | 5.462 | 4.029 | | |
| Berat Satuan Gembur (kg/m³) | 1336.66 | 1258.18 | 913.78 | 902.99 |
| Berat Satuan Padat (kg/m³) | 1436.29 | 1350.14 | 963.28 | 1052.66 |
| Kadar Air (%) | 9.12 | 2.93 | | |

Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton dilakukan dengan menggunakan metode *proportioning mix design* berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa. Penelitian ini akan menguji beberapa variasi proporsi limbah kalsit dalam campuran beton, dengan subsitusi terhadap semen. Campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air dan limbah kalsit dengan proporsi yang disesuaikan. Variasi yang diuji adalah sebagai berikut:

1. Kontrol (0% Limbah Kalsit): Campuran beton tanpa penggantian semen dengan limbah kalsit.
2. Penggantian 95% Semen: 5% semen diganti dengan limbah kalsit.
3. Penggantian 92.5% Semen: 7.5% semen diganti dengan limbah kalsit.
4. Penggantian 90% Semen: 10% semen diganti dengan limbah kalsit.
5. Penggantian 87.5% Semen: 12.5% semen diganti dengan limbah kalsit.

Perancangan campuran beton dilakukan dengan mempertimbangkan rasio air-semen (w/c) yang sesuai untuk mendapatkan beton dengan kekuatan tekan yang optimal. Semua campuran beton akan diuji untuk memastikan perbandingan material yang tepat.

Tahapan Penelitian

1. Siapkan bahan berupa agregat kasar, agregat halus, semen dan limbah kalsit yang akan digunakan sebagai substitusi.
2. Untuk memastikan apakah agregat memenuhi spesifikasi atau tidak, bahan agregat kasar dan halus (split dan pasir) diuji dan diperiksa. Pengujian ini mencakup gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan, berat isi, kadar kotor, dan kadar air.
3. Subtitusi semen dengan limbah kalsit sebesar 5%, 7.5%, 10% dan 12.5%.
4. Pemeriksaan rancangan campuran beton (*mix design*) berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7656:2012.
5. Pengujian slump test yang dilaksanakan untuk mengetahui *workability* beton itu sendiri.
6. Pembuatan benda uji dengan cetakan silinder 15cm x 30cm yang telah dibersihkan dan dilapisi dengan mold oil untuk mencegah beton melekat pada cetakan setelah kering.
7. Setelah adukan beton tercampur dengan rata, dibuat dahulu pengujian *workability* dengan uji slump

8. Kemudian Adukan beton dituang ke dalam masing-masing cetakan dan ratakan permukaannya. Tutup cetakan dan tunggu selama 24 jam.
9. Buka benda uji dan direndam dalam air. Uji di tes setelah 28 hari. Jika akan dilakukan pengujian tekan, keluarkan benda uji dari air dan letakkan di tempat terbuka.
10. Sebelum, dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu di timbang kemudian di *capping* dengan belerang sebagai persiapan pelaksanaan pengujian tekan.
11. Benda uji akan di tes pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dengan *compression testing machine*.

3. Hasil dan Pembahasan

Kadar campuran limbah kalsit pada campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2 dengan perbandingan jumlah semen pada campuran.

Tabel 2. Kebutuhan Material untuk Pengecoran

| Unsur | Material (kg/m ³) | | | | |
|---------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------|---------------|
| | Semen | Aggregat Halus | Aggregat Kasar | Air | Limbah Kalsit |
| Beton normal | 781.968 | 878.469 | 760.836 | 182.719 | - |
| 5% | 742.898 | 878.469 | 760.836 | 182.719 | 35.545 |
| 7.5% | 723.348 | 878.469 | 760.836 | 182.719 | 53.317 |
| 10% | 703.798 | 878.469 | 760.836 | 182.719 | 71.090 |
| 12.5% | 684.248 | 878.469 | 760.836 | 182.719 | 88.863 |

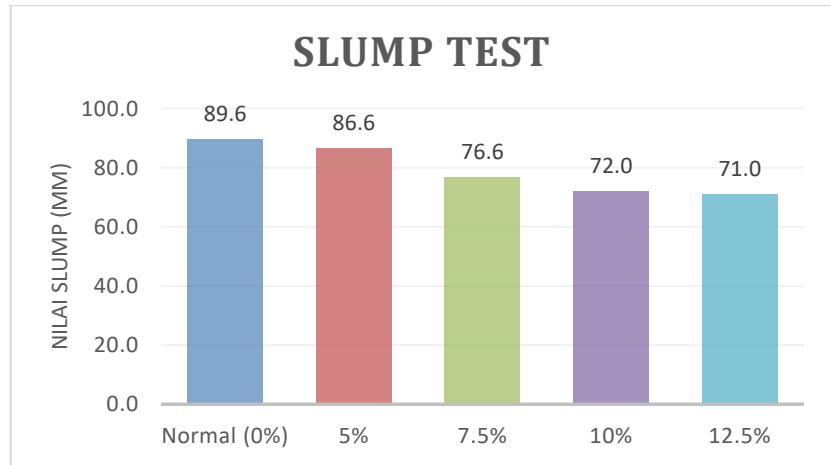
Kadar penambahan campuran berat kalsit diambil dari prosentase berat keseluruhan semen yang telah dihitung berdasarkan *mix design* dapat dilihat pada tabel 2 diatas.

Pengujian 1

Penelitian ini menggunakan pengujian slump test, berat jenis dan uji kuat tekan pada benda uji. Pengujian pertama yaitu *slump test*, dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggeraan beton yang dinyatakan dengan nilai tertentu. Slump test merupakan besarnya penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat (SNI 03-1972-2008). Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapat rata-rata nilai slump sebesar 89.6mm, 86.6mm, 76.7mm, 72.0mm dan 71.0mm untuk beton dengan subsitusi limbah kalsit 0%, 5%, 7.5%, 10% dan 12.5%. Hasil penelitian dari pengujian Slump dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai slump test pada benda uji

| No. | Kadar Subsitusi Kalsit | Pengukuran Slump (mm) | Rata-Rata Nilai Slump (mm) |
|-----|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1. | Normal (0%) | 90; 88; 90; 90; 90 | 89.6 |
| 2. | 5% | 90; 80; 80; 95; 88 | 86.6 |
| 3. | 7.5% | 60; 80; 70; 85; 88 | 76.6 |
| 4. | 10% | 70; 75; 75; 70; 70 | 72.0 |
| 5. | 12.5% | 75; 65; 65; 80; 70 | 71.0 |

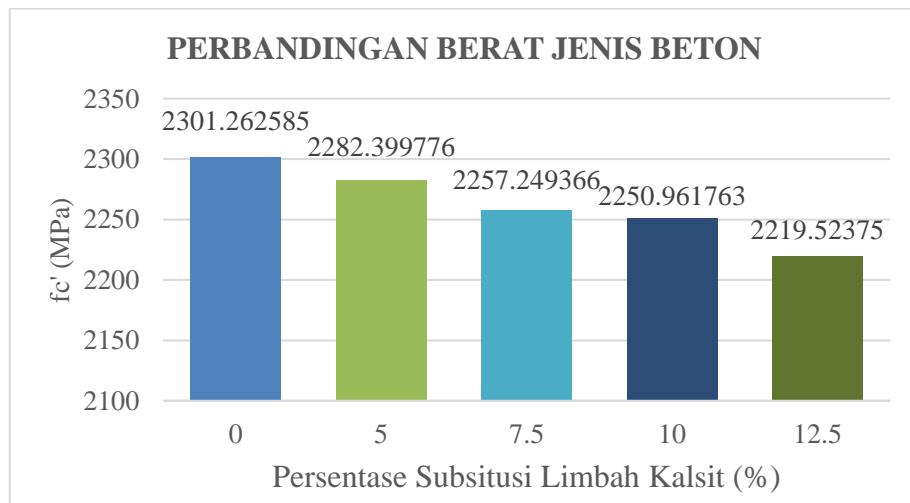


Gambar 3. Perbandingan nilai slump

Pada Gambar 3 terlihat semakin bertambahkan kadar limbah kalsit, nilai *slump* yang dihasilkan semakin kecil, hal ini disebabkan penyerapan air pada limbah kalsit lebih besar dibandingkan penyerapan air pada semen.

Pengujian 2

Pada pengujian ke 2 yaitu terkait berat jenis, pengujian ini berfungsi sebagai data dalam memeriksa rasio berat jenis antara beton normal dengan beton berdasarkan kadar penambahan kalsit. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dapat dijelaskan bahwa berat jenis beton normal percobaan memiliki nilai 2301.26 kg/m^3 memiliki perbedaan dengan beton subsitusi limbah kalsit 5% dimana bernilai 2282.40 kg/m^3 , subsitusi limbah kalsit 7.5% dimana bernilai 2257.25 kg/m^3 , subsitusi limbah kalsit 10% dimana bernilai 2250.96 kg/m^3 , subsitusi limbah kalsit 12.5% dimana bernilai 2219.52 kg/m^3 , terlihat dari data bahwa semakin bertambahnya subsitusi limbah kalsit maka beton menjadi lebih ringan dibandingkan dengan beton normal. Dapat diperhitungkan secara matematis berat jenis beton dengan subsitusi 5%, 7.5%, 10%, 12.5% menjadi lebih ringan secara berturut adalah 0.82%, 1.91%, 2.19%, dan 3.55%. Hal ini diakibatkan karena limbah kalsit memiliki berat jenis lebih ringan dibanding dengan semen. Perbandingan berat jenis dapat dilihat pada Gambar 4.



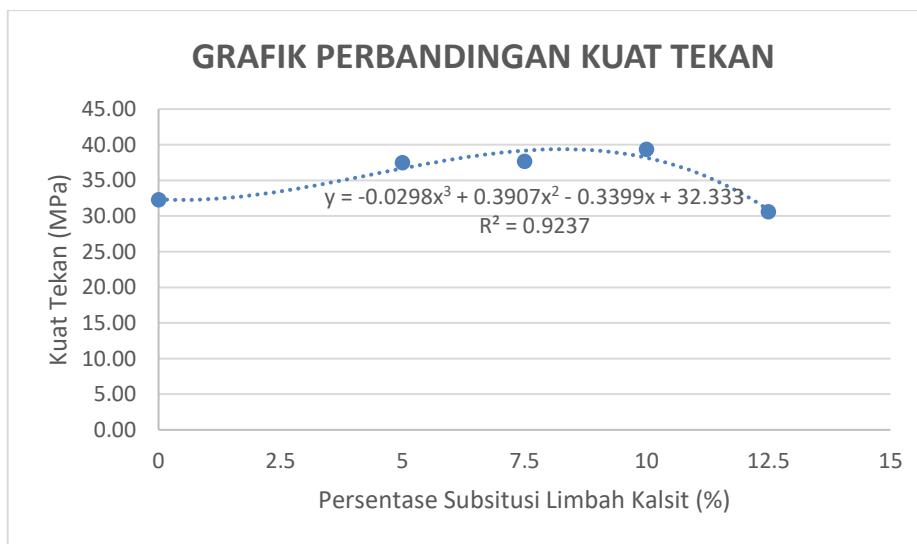
Gambar 4. Perbandingan berat jenis beton

Pengujian 3

Pengujian kuat tekan pada beton normal dengan beton berdasarkan penambahan kalsit mengacu pada *mix design* yang telah direncanakan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada beton umur 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Nilai kuat tekan beton yang didapat melalui tata cara pengujian SNI-03-1974-2011 (pengujian kuat tekan dengan benda uji silinder). Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui beban maksimal hancur beton dalam satuan kN. Dari hasil beban maksimal hancur dibagi dengan luas permukaan makan didapat kuat tekan beton. Rekapitulasi hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil kuat tekan pada benda uji

| No. | Kadar Subsitusi Kalsit | Umur | Berat (kg) | Luas Penampang (mm ²) | Beban (kN) | Kuat Tekan (MPa) | Kuat Tekan Rata-Rata (MPa) |
|-----|------------------------|------|------------|-----------------------------------|------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 0% | 28 | 12.1 | 17671.46 | 575 | 32.54 | 32.26 |
| 2 | | 28 | 12.3 | 17671.46 | 565 | 31.97 | |
| 3 | | 28 | 12.2 | 17671.46 | 570 | 32.26 | |
| 4 | 5% | 28 | 12 | 17671.46 | 630 | 35.65 | 37.44 |
| 5 | | 28 | 12.1 | 17671.46 | 690 | 39.05 | |
| 6 | | 28 | 12.2 | 17671.46 | 665 | 37.63 | |
| 7 | 7.5% | 28 | 12 | 17671.46 | 675 | 38.20 | 37.63 |
| 8 | | 28 | 12 | 17671.46 | 667.5 | 37.77 | |
| 9 | | 28 | 11.9 | 17671.46 | 652.5 | 36.92 | |
| 10 | 10% | 28 | 11.9 | 17671.46 | 677.5 | 38.34 | 39.33 |
| 11 | | 28 | 12 | 17671.46 | 710 | 40.18 | |
| 12 | | 28 | 11.9 | 17671.46 | 697.5 | 39.47 | |
| 13 | 12.5% | 28 | 11.8 | 17671.46 | 555 | 31.41 | 30.56 |
| 14 | | 28 | 11.8 | 17671.46 | 510 | 28.86 | |
| 15 | | 28 | 11.7 | 17671.46 | 555 | 31.41 | |



Gambar 5. Grafik perbandingan kuat tekan berbagai variasi

Pada Gambar 5 terlihat semakin bertambahnya subsitusi limbah kalsit terhadap semen, meningkatkan kekuatan tekan dari beton. Kuat tekan tertinggi pada subsitusi 10% limbah kalsit sebesar 39.33MPa dengan kenaikan 21.92% dibandingkan dengan beton normal (32.26MPa), setelah melewati 10% terjadi penurunan kekuatan tekan. Pada beton dengan subsitusi limbah kalsit sebesar 12.5% nilai kekuatan tekannya sebesar 30.56MPa terjadi penurunan sebesar 5.27% dibandingkan beton normal. Subsitusi limbah kalsit dalam kadar tertentu akan meningkatkan mutu beton. Hal ini disebabkan limbah kalsit mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) yang akan membantu meningkatkan proses hidrasi semen menghasilkan ikataan yang lebih kuat antara partikel-partikel semen, tetapi jika penambahan limbah kalsit berlebihan maka pembentukan kalsium karbonat menjadi tidak optimal.

4. Conclusion

Penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa semakin bertambahnya subsitusi limbah kalsit nilai *workability* menjadi lebih kecil. Untuk berat jenis betonnya semakin bertambahnya subsitusi limbah kalsit maka berat jenisnya menjadi lebih ringan, beton paling ringan terdapat di subsitusi 12.5% dengan nilai 2219.52kg/m^3 , lebih ringan 3.55% dibandingkan beton normal. Terhadap kuat tekan dengan penambahan subsitusi kalsit terhadap semen dapat meningkatkan kuat tekan sampai batas tertentu akan mengalami penurunan pada penelitian ini subsitusi limbah kalsit yang paling optimal yaitu 10% kalsit dengan hasil kuat tekan sebesar 39.33 MPa dengan perbandingan beton normal sebesar 32.26 MPa. Subsitusi limbah kalsit sebagai pengganti semen pada campuran beton merupakan salah satu inovasi dibidang material, karena penggunaan semen menjadi lebih berkurang.

References

- [1] Akpan, J. O. O., & Olutoge, O. A. K., "Exploring the potential of using limestone waste in concrete production: A review", Construction and Building Materials, 211, (2019), 267-276.
- [2] Ali, A. S. E. A. K., Kadir, M. M., & Ganesan, K. S. K., "Utilization of limestone waste and calcite powder in concrete", Engineering Science and Technology, an International Journal, 20(2), (2017), 847-853.
- [3] Appiah, I. D., & Jacob, G. W. B., "Effect of Calcite Waste on The Mechanical Properties of Cement Mortar", International Journal of Civil and Structural Engineering, 7(1), (2016), 67-75.
- [4] Kumar, R. A. S., & Balaji, S. A. V., "Sustainable concrete using waste calcite powder as a partial replacement of cement", International Journal of Recent Technology and Engineering, 7(5), (2018), 67-72.
- [5] Maranatha, O., Widodo, S., Azwansyah, H., "Pemanfaatan Kapur Tohor, Kapur Padam Dan Kapur Karbonat Sebagai Filler Pada Perkerasan Ac-Wc Ditinjau Dari Karakteristik Marshall", Jurnal Teknik Kelautan , PWK , Sipil, dan Tambang vol 8, no1, (2021).
- [6] Masoud, S. S. M., Al-Aswad, M. A. F., & Al-Sadig, F. G., "The Effect of Calcite Waste on Concrete Compressive Strength", Sustainable Construction and Building Materials, 32(6), (2021), 1069-1077.
- [7] Meena, P. K. Kumar, R., & Ramesh, R., "Limestone dust in cement as a partial replacement of cement", Journal of Engineering Science and Technology, 9(3), (2014), 256-262.
- [8] Pérez, P., Fernández, J. M., & Molina, F., "Sustainability of Cement and Concrete Industry", Journal of Sustainable Construction Materials, 18(4), (2015), 345-352.

- [9] Putri, R.S., dan Putra, H., "Peningkatan Kekuatan Beton Plastik dengan Penambahan Kalsit menggunakan Metode Soybean Crude Urease Calcite Precipitation", Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan vol 7, no.3 (2022), pp 191-200.
- [10] Rahman, S. G. M., Alengaram, A. A., & Mahmud, H. B., "Use of limestone waste as an alternative material in concrete production", Materials Research Innovations, 19(3), (2015), 230-235.
- [11] SNI 03-1972-2008 "Cara Uji Slump Beton", Badan Standar Nasional Indoensia, (2008).
- [12] SNI-03-1974-2011 "Pengujian Kuat Tekan dengan Benda Uji Silinder", Badan Standar Nasional Indonesia, (2011).
- [13] SNI 7656:2012, "Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa", Badan Standar Nasional Indoensia, (2012).
- [14] Wiranata, R.P., Rakhmawati, A., Firmansyah, D., "Pengaruh Kapur Kalsit Sebagai Pengganti Filler pada Asphalt Concrete-Wearing House", vol 3, no.2, (2022).
- [15] Yilmaz, H. Y., Öztürk, M., & Düzungün, B., "Sustainable Development of Concrete by Using Waste Materials: A review on The Effect of Calcite Powder on The properties of Concrete", Journal of Cleaner Production, 259, (2020), 120876.
- [16] Yusuf, M., Herlina, L., Budiman, A. T., Alvian, M. M., & Talahatu, V. , " Penggunaan Serat Kayu Pinus Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton Mutu Normal", Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (CESD), vol 5 no 2, (2022), pp 24-29.
- [17] Zhang, M. H., Goh, S. M. S., & Kwan, K. A., "A review of the properties and durability of concrete containing calcite as an alternative to cement", Construction and Building Materials, 22(10), (2008) 2021-2028.