

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN KALSIUM KARBONAT (CaCO₃) DAN CANGKANG KERANG TERHADAP KUAT TEKAN PADA LOW CEMENT CONCRETE (LCC)

Cindryasih Rahma Putri¹, *)Dian Arumningsih D.P.¹, Herman Susila¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan (UTP), Surakarta

*) Email: dian.arumningsih@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is a country committed to equitable development in all regions, including underdeveloped areas. The influence of sustainable development has encouraged the use of cement and its use is increasing every year. This can be damaging to the environment, as for every million tons of cement produced, one million tons of CO₂ gas is generated and released into the atmosphere. Considering that 8-10% of total CO₂ emissions worldwide come from cement production. This study solves this problem by using an environmentally friendly and economical low-cement concrete using calcium carbonate and innovative mussel powder. Calcium carbonate (CaCO₃) is a raw material for Portland cement and does not go through the combustion process, so it can be used as an environmentally friendly concrete alternative. Clam shells contain a lot of calcium (CaO) and are alkaline. In addition, it also contains silica and aluminum oxide, so it has the potential to be a substitute for cement materials. At this stage, the mixed design stage is carried out based on SNI 7656-2012. The tests carried out showed optimal results in each innovation, namely the provision of 15% calcium carbonate and 20% shells, resulting in an average compressive strength of 28-day-old concrete of 27 MPa, 34 MPa, 37 MPa, and 38 MPa. It can be concluded that LCC calcium carbonate and shells have the highest compressive strength, 7.4% higher and able to compete with normal concrete.

Keywords: Low Cement Concrete, Calcium Carbonate, Clam Shell

ABSTRAK

Indonesia adalah negara yang berkomitmen terhadap pemerataan pembangunan di seluruh wilayah, termasuk daerah tertinggal. Pengaruh pembangunan berkelanjutan telah mendorong penggunaan semen dan penggunaannya semakin meningkat setiap tahunnya. Hal ini dapat merusak lingkungan, karena untuk setiap juta ton semen yang diproduksi, satu juta ton gas CO₂ dihasilkan dan dilepaskan ke atmosfer. Mempertimbangkan bahwa 8-10% dari total emisi CO₂ di seluruh dunia berasal dari produksi semen. Studi ini memecahkan masalah ini dengan menggunakan beton rendah semen yang ramah lingkungan dan ekonomis dengan menggunakan kalsium karbonat dan bubuk kerang yang inovatif. Kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan bahan baku semen Portland dan tidak melalui proses pembakaran sehingga dapat digunakan sebagai alternatif beton ramah lingkungan. Cangkang kerang banyak mengandung kalsium (CaO) dan bersifat basa. Selain itu, ia juga mengandung silika dan aluminium oksida, sehingga berpotensi menjadi pengganti material semen. Pada tahap ini dilakukan tahap mixed design berdasarkan SNI 7656-2012. Pengujian yang dilakukan menunjukkan hasil optimal pada masing-masing inovasi yaitu pemberian 15% kalsium karbonat dan 20% kerang, sehingga menghasilkan kuat tekan rata-rata beton umur 28 hari sebesar 27 MPa, 34 MPa, 37 MPa, dan 38 MPa. Dapat disimpulkan bahwa LCC kalsium karbonat dan cangkang mempunyai kuat tekan paling tinggi, lebih tinggi 7,4 % dan mampu bersaing dengan beton normal.

Kata kunci: Low Cement Concrete, Kalsium Karbonat, Cangkang Kerang

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang dengan jumlah penduduk 275,77 juta jiwa dan berkomitmen terhadap pemerataan pembangunan di seluruh wilayah, termasuk daerah tertinggal. Beton dipilih sebagai bahan bangunan utama untuk setiap bangunan. Salah satu komponen beton yang paling populer adalah semen portland, semen portland semakin dibutuhkan sebagai bahan perekat seiring dengan kebutuhan beton dalam bidang konstruksi. Menurut artikel Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2021), dengan meningkatnya konstruksi beton maka kebutuhan semen juga akan meningkat, dan konsumsi semen pada tahun 2021 diperkirakan mencapai 77 juta ton atau meningkat 6,94% dibandingkan tahun 2021. Meningkatkan 1 juta ton pada tahun 2020. Mengingat 8-10% total emisi CO₂ dunia berasal dari proses pembuatan semen, maka semakin besar proyek konstruksi maka semakin banyak pula semen yang digunakan (Suhendro, 2014). Hal ini meningkatkan permintaan beton, mengganggu keseimbangan lingkungan dan merusak sumber daya alam. Oleh karena itu, perlu dikembangkan alternatif pengganti semen portland berupa material yang lebih ramah lingkungan.

Untuk mengurangi penggunaan semen Portland, dalam penelitian ini dibuat beton ramah lingkungan dengan kandungan semen yang lebih rendah, yaitu Low cement Concrete (LCC). Menurut ACI Committee 302 (2004), beton dianggap mempunyai kandungan semen yang rendah jika mengandung semen <310 kg/m³ Metode utama untuk membuat beton dengan kadar semen terendah dicapai bila digunakan bahan yang mengandung cementitious (Lothenbach et al., 2011). Bahan bangunan beton yang paling mahal adalah semen. Oleh karena itu, dalam produksi

beton perlu menggunakan kalsium karbonat dan cangkang sebagai bahan baku pengganti semen. Menggunakan aditif kalsium karbonat yang mengandung CaO (kalsium oksida) dan CO₂ (karbon dioksida) Ketika dicampur dengan komponen beton lainnya, ia mengeras karena adanya kristal asing. Hal ini mengurangi penyusutan yang terjadi ketika beton mulai mengering, Danjushevsky (1980). Cangkang kerang mengandung senyawa pozzolan yaitu senyawa kapur (CaO), alumina, dan silika (Siregar, 2009, p. 2 dalam Mifshella, 2015). Oleh karena itu, penggunaan beton ramah lingkungan secara inovatif dalam konstruksi pasti akan bermanfaat bagi lingkungan melalui pengurangan emisi CO₂. Inovasi ini tidak hanya memberikan dampak positif terhadap lingkungan, tetapi juga menurunkan biaya produksi beton.

Beton

Menurut SNI 03-2847 (2002: 6), beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan campuran, sehingga membentuk suatu padatan Berbentuk bongkahan. Beton berfungsi melalui bahan bakunya: semen hidrolik (semen Portland), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambahan (admixture atau bahan tambahan).

Low Cement Concrete (LCC)

Beton semen rendah *Low Cement Concrete* (LCC) adalah beton yang menggunakan sedikit semen. Kadar semen yang rendah juga mengurangi penyusutan yang terjadi sehingga mengurangi keretakan pada beton (Wassermann, Katz & Bentur, 2009). Menurut ACI (American Concrete Institute) Komite 302 Prasetyo (2017), beton dikatakan mempunyai kandungan semen rendah jika kandungan semennya kurang dari < 310kg/m. Secara konvensional, beton mempunyai persyaratan minimum untuk penggunaan semen, dibuktikan dengan ukuran maksimum agregat yang digunakan (ACI Committee 302, 1997).

Proses beton semen rendah memanfaatkan konsep kepadatan partikel. Tujuan dari kepadatan partikel adalah untuk menggabungkan agregat dengan ukuran berbeda untuk mencapai keadaan padat yang membuat volume rongga kosong sekecil mungkin (Kwan & Wong, 2005). Semakin tinggi densitas agregat yang tercampur maka semakin rendah porositas yang dihasilkan. Ini juga mengurangi jumlah pasta semen yang dibutuhkan. Mengganti semen dengan kalsium karbonat dan cangkang juga dapat mengurangi konsumsi semen, karena kalsium karbonat dan cangkang berperan sebagai pengikat.

Material penyusun Beton Low Cement Concrete (LCC)

1. Semen

Semen portland jika dicampur dengan air akan menghasilkan pasta semen, jika dicampur dengan air ditambahkan pasir untuk membuat mortar semen, dan bila ditambahkan kerikil akan menghasilkan beton (Tjokrodinuj,1992). Semen berperan sebagai bahan pengikat bahan bangunan lainnya (bata, batu kali, pasir). Hal ini juga digunakan untuk mengisi kekosongan antara partikel agregat.

2. Agregat Halus

Menurut SNI 1970(2008: hal.2), agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Agregat kasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (PBBI 1971, NI-2:23-24).

3. Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Mineral karbonat yang umumnya berasosiasi dengan batu kapur adalah aragonit (sejenis kristal CaCO₃), yang merupakan mineral metastabil yang berubah seiring waktu menjadi kalsit (kristal CaCO₃ paling stabil) (Sucipto et al., 2007). Batu kapur diketahui mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat, sekitar 95%. Beberapa kalsium karbonat diubah menjadi kalsium oksida (CaO) melalui kalsinasi, yang memfasilitasi pemurnian dan ekstraksi kalsium. Dengan cara ini, batu kapur dapat digunakan sebagai katalis.

4. Cangkang Kerang

Cangkang kerang mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan yaitu zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silika (Siregar, 2009 hal 2 dalam Mifshella, 2015). Pozzolan merupakan senyawa silika atau bahan yang mengandung silika- alumina dan alumina, meskipun tidak memiliki sifat pengikatan semen, namun bereaksi dengan kalsium hidroksida dengan adanya air pada suhu kamar dalam keadaan halus menghasilkan senyawa kalsium terhidrasi bersifat hidrolik dan mempunyai angka kelarutan yang relatif rendah (Hery Riyanto, 2015).

5. Air

Air merupakan unsur penting dalam produksi beton, karena reaksi kimia dapat terjadi dengan semen jika ada air, sehingga terjadi ikatan dan pengerasan. Persyaratan kualitas air untuk beton mutu tinggi sangat mirip dengan beton biasa. Air yang dapat digunakan pada beton harus memenuhi standar SNI 03-6817-2002. Air yang digunakan berasal dari PDAM FT UTP Surakarta.

6. Superplasticizer

Penggunaan Superplasticizer membantu mempercepat pengerasan, meningkatkan kemampuan kerja beton segar, meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi kerapuhan beton, dan mengurangi retak pengerasan. Sika Visconcrete 1003 digunakan sebagai bahan pereduksi air. PT Sika Indonesia menjamin sifat pereduksi air yang kuat, kemampuan mengalir yang sangat baik, kohesi yang optimal, dan sifat pemadatan sendiri pada beton.

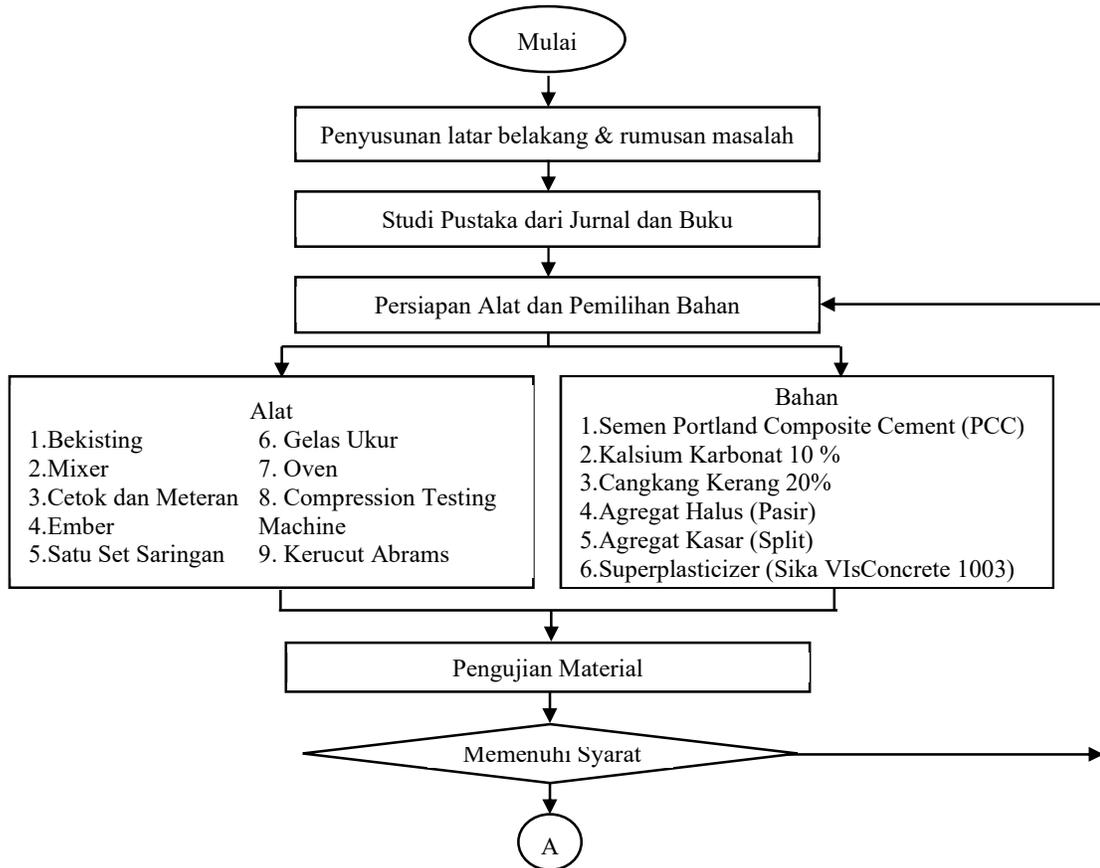
2. METODE PENELITIAN

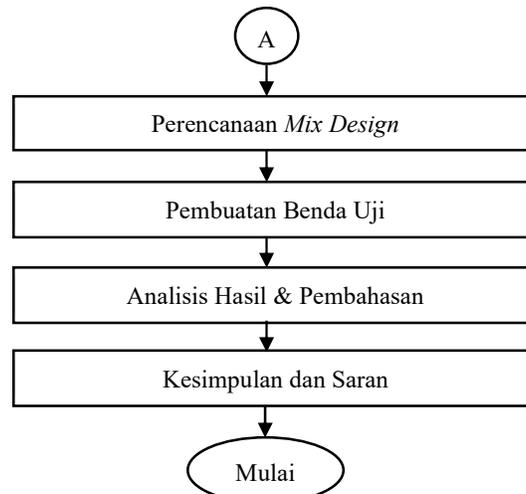
Metode penelitian ini dirancang agar berhasil mencapai tujuan penelitian yang dimaksudkan. Metode penelitian meliputi langkah-langkah menyelidiki secara ilmiah suatu masalah, kasus, gejala, atau fenomena untuk memperoleh jawaban yang dapat dimengerti.

Pengumpulan data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini berdasarkan penelitian kepustakaan dan penelitian langsung di laboratorium bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta. Tujuan dari teknik ini adalah untuk mencari data yang berkaitan dengan jenis penelitian yang dilakukan. Selain itu, data hasil studi kepustakaan dapat membantu penulis memperluas wawasan ketika menyelesaikan penelitiannya. Setelah melakukan studi literatur tentang beton rendah menggunakan aditif inovatif kalsium karbonat dan limbah cangkang, penelitian yang menyelidiki rasio air-semen yang optimal dan konsumsi kalsium karbonat cangkang untuk mencapai kuat tekan yang optimal terus berlanjut. Dalam penelitian ini, material inovatif kalsium karbonat dan kerang dimasukkan ke dalam beton rendah semen sebagai bahan tambahan semen. Pengujian ini dilakukan pada sampel berbentuk silinder berukuran 10x20 cm. Selanjutnya dilakukan tahapan pengukuran berat jenis, pengujian laju alir, pengujian kuat tekan beton, dan analisis data untuk menyiapkan benda uji. Dan sampaikan kesimpulan dan saran anda sebagai informasi dan referensi mengenai ilmu *low cement concrete*.

Tahapan penelitian





Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Pengujian material

1. Portland Composite Cement (PCC)
2. Kalsium Karbonat ayakan 0,075 mm (No. 200);
3. Limbah Cangkang Kerang ayakan 0,075 mm (No. 200);
4. Agregat Halus (Pasir) alami lolos ayakan 4,75 mm;
5. Agregat Kasar (Split) alami lolos ayakan 4,75 mm-40mm

Perencanaan benda uji

Pada penelitian ini dibuat benda uji dengan menggunakan bekisting berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, dan diselidiki tingkat berat beton dan kuat tekan beton yang optimal. Penelitian ini menggunakan variasi kalsium karbonat 10% dan cangkang kerang 20% dari total berat semen. Selanjutnya, benda uji campuran beton disiapkan dengan 5 kali mixing dengan perencanaan mix design yang berbeda. Untuk mix design sampel A adalah pembuatan beton normal, mix design sampel B adalah pembuatan low cement concrete (LCC), mix design sampel C adalah pembuatan LCC dengan kalsium karbonat,), mix design sampel D adalah pembuatan LCC dengan cangkang kerang, dan mix design sampel E adalah pembuatan LCC dengan cangkang kerang dan cangkang kerang. Agar dapat dibandingkan dan diuji kuat tekannya setelah umur 14, dan 28 hari dengan menggunakan perlakuan yaitu perendaman

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kalsium karbonat

Di bawah ini adalah hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) kalsium karbonat.

Tabel 1. Analisis kuantitatif pengujian XRF kalsium karbonat

Element		Concentration [%]	Standar deviasi [%]
Calcium	Ca	58.9415	0.0437
Sulfur	S	7.6339	0.0425
Silicon Oxide	SiO ₂	8.1793	0.0726
Iron	Fe	5.3807	0.0030
Magnesium Oxide	MgO	1.2485	0.5373
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	0.3543	0.2122
Strontium	Sr	0.2623	0.0035
Phosphorus	P	0.1632	0.0204
Potassium Oxide	K ₂ O	0.0386	0.0055
Iron	Fe	0.0240	0.0024
Cadmium	Cd	0.0014	0.0010
Nickel	Ni	0.0011	0.0005
Copper	Cu	0.0009	0.0006

(Sumber: Hasil Penelitian)

Hasil pengujian cangkang kerang

Di bawah ini adalah hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) cangkang kerang.

Tabel 2. Analisis kuantitatif pengujian XRF cangkang kerang

Element		Concentratio [%]	Standar deviasi [%]
Calcium	Ca	28.6640	0.0381
Silicon Oxide	SiO ₂	36.6782	0.0442
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	0.8867	0.0974
Ferrit Oxide	Fe ₂ O ₃	5.1189	0.0186
Phosphorus	P	0.4189	0.0186
Potassium Oxide	K ₂ O	0.1489	0.0030
Strontium	Sr	0.0679	0.0006
Sulfur	S	0.0661	0.0069
Kandungan Lainnya		0.0485	0.0095

Hasil pengujian pasir

Di bawah ini adalah hasil pengujian pasir.

Tabel 3. hasil pengujian pasir

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	1,0 %	Maks. 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,51	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
3	<i>Bulk Spesific Gravity SSD</i>	2,55	2,5 – 2,7	SNI 1970:2008	Memenuhi
4	<i>Appearent Spesific Gravity</i>	2,58	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
5	<i>Absorbtion</i>	1,62 %	2 %	SNI 1970:2008	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,68	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi

Hasil pengujian agregat kasar

Di bawah ini adalah hasil pengujian agregat kasar.

Tabel 4. hasil pengujian agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	1,0 %	Maks. 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,51	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
3	<i>Bulk Spesific Gravity SSD</i>	2,55	2,5 – 2,7	SNI 1970:2008	Memenuhi
4	<i>Appearent Spesific Gravity</i>	2,58	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
5	<i>Absorbtion</i>	1,62 %	2 %	SNI 1970:2008	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,68	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi

Hasil perhitungan campuran LCC menggunakan kalsium karbonat dan cangkang kerang

Perhitungan desain campuran beton didasarkan pada SNI 7656: 2012 tentang tata cara pemilihan campuran beton biasa, beton berat, dan beton massal.

Tabel 5. Rekapitulasi Mix design

	Kebutuhan /1m ³ & 1 Silinder	
	/1m ³	/silinder
Kalsium Karbonat	69	~ 0.125
Kerang Darah	56	~ 0.100
Semen	250	~ 0.450
Pasir	885	~ 1.593
Split	1103	~ 1.985
Air	99.0	~ 0.178
SP	1.5	~ 0.003
Total	2463	4.434

Hasil pengujian slump flow test

Berdasarkan standar EN 12350-8:2012, dengan perencanaan 5 sampel beton yang di uji di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta, pengujian beton pada tanggal 27 April 2024.

Tabel 6. Pengujian Slump Flow Test

No	Sampel	d (mm)	Target
1	Beton Normal	82	80 - 120
2	Beton <i>Low Cement Concrete</i> (LCC)	83	80 - 120
3	Beton LCC dengan Kalsium karbonat	80	80 - 120
4	Beton LCC dengan Cangkang kerang	95	80 - 120
5	Beton LCC dengan Cangkang kerang dan Kalsium Karbonat	87	80 - 120

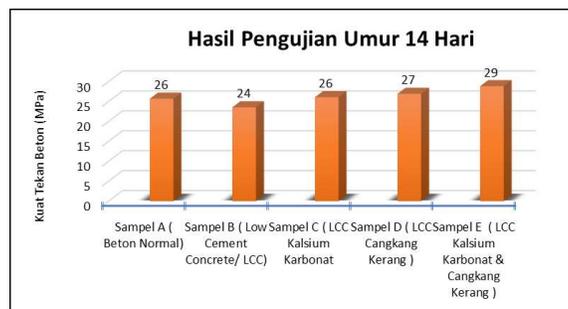
Hasil pengujian kuat tekan beton

Untuk melakukan pengujian kuat tekan pada beton lihat SNI 1974: 2011. Saat pengujian beton digunakan silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Uji kuat tekan dilakukan pada hari ke 14 dan 28 setelah lahir. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membandingkan nilai kuat tekan dengan menggunakan perendaman. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin pengujian Compression Testing Machine.

Tabel 7. pengujian kuat tekan pada beton pada hari ke 14

Jenis beton	Hasil Pengujian Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata
	Hasil Pengujian 14 hari			
	1	2	1	
Sampel A (Beton Normal)	25	25	27	26
Sampel B (Low Cement Concrete/ LCC)	23	24	24	24
Sampel C (LCC Kalsium Karbonat)	26	27	25	22.7
Sampel D (LCC Cangkang Kerang)	27	27	27	27
Sampel E (LCC Kalsium Karbonat & Cangkang Kerang)	29	29	26	29

Grafik rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan low cement concrete dengan kalsium karbonat dan cangkang kerang pada umur 14 hari adalah sebagai berikut.

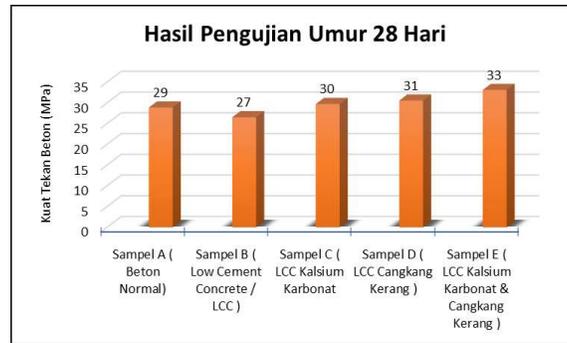


Gambar 1. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan

Tabel 7. pengujian kuat tekan pada beton pada hari ke 28

Jenis beton	Hasil Pengujian Kuat Tekan(Mpa)			Rata-rata
	Hasil Pengujian 28 hari			
	1	2	1	
Sampel A (Beton Normal)	28	29	29	29
Sampel B (Low Cement Concrete/ LCC)	27	26	27	27
Sampel C (LCC Kalsium Karbonat)	29	31	29	30
Sampel D (LCC Cangkang Kerang)	31	32	29	31
Sampel E (LCC Kalsium Karbonat & Cangkang Kerang)	33	34	32	33

Grafik rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan low cement concrete dengan kalsium karbonat dan cangkang kerang pada umur 28 hari adalah sebagai berikut

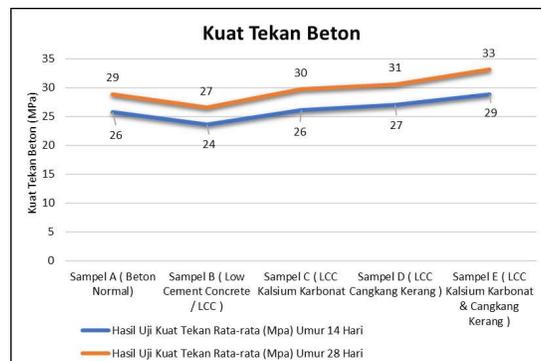


Gambar 2. Pengujian kuat tekan pada beton pada hari

Dari hasil tersebut dilakukan rekapitulasi hasil uji kuat tekan umur 14 hari dan 28 hari

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)

Jenis beton	Hasil uji kuat tekan rata-rata (Mpa)	
	Umur 14 hari	Umur 28 hari
Sampel A (Beton Normal)	22.5	29.1
Sampel B (Low Cement Concrete / LCC)	20.9	28.2
Sampel C (LCC Kalsium Karbonat)	22.7	30.0
Sampel D (LCC Canggang Kerang)	24.6	30.1
Sampel E (LCC Kalsium Karbonat & Canggang Kerang)	26.2	32.9



Gambar 3. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan

Pada penelitian Alam, Ramadhan Nur (2019) Hasil analisis nilai pengujian kuat tekan beton dengan penggunaan CaCO_3 sebagai pengganti sebagian semen dengan pengujian umur 14 hari menggunakan proporsi 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 20,27 Mpa, sedangkan pada penelitian ini menggunakan kalsium karbonat pada beton low cement concrete terhadap kuat tekan beton dengan variasi persentase 20% sebesar 22.7 dan pada umur 28 hari sebesar 30 Mpa. Pada penelitian Mifshella, A.A., 2015, dalam menggunakan cangkang kerang pada beton normal terhadap kuat tekan beton dengan variasi persentase 25% Nilai beton normal beton 28 hari sebesar 35 Mpa. Pada penelitian ini dalam menggunakan kalsium karbonat dan cangkang kerang sebagai substitusi semen pada beton LCC terhadap kuat tekan beton pada pengujian 14 hari dan 28 hari sebesar 26,2 Mpa dan 32,9 Mpa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uji X-Ray Fluorescence (XRF) yang dilakukan di Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, hasil pengujian kalsium karbonat untuk senyawa $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}$ adalah 72,41, dan hasil untuk senyawa cangkang $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ adalah 72,41. Karena $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 70,43% sehingga tergolong sifat pozzolan dan dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Hasil kuat tekan rata-rata beton umur 14 hari untuk beton tanpa inovasi, beton (LCC), LCC dengan kalsium karbonat, LCC dengan cangkang, dan LCC dengan kedua inovasi tersebut adalah 22,5 MPa, dan 24,6 MPa, 30,0 MPa, dan 26,2 MPa, serta kuat tekan setelah 28 hari berturut-turut adalah 29,1 MPa, 28,2 MPa, 30,0 MPa, dan 32,9 MPa. Dapat disimpulkan bahwa LCC kalsium karbonat dan kerang mempunyai kuat tekan yang paling tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, beton semen rendah dengan penambahan kalsium karbonat dan cangkang 7,4% lebih baik dan kompetitif dibandingkan beton biasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. Penerbit: Erlangga, Yogyakarta
- Shaikh, F. U. A., & Supit, S. W. M. (2014). Mechanical and Durability Properties of High Volume Fly Ash (HVFA) Concrete Containing Calcium Carbonate (CaCO₃) Nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 70, 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.099>
- Mifshella, A.A., 2015, Sifat Mekanis Beton Kulit Kerang, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Standar Nasional Indonesia. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Indonesia: SNI 2847-2013
- Akhir, T., Alam, R. N. U. R., Teknik, F., Sipil, J., & Makassar, U. B. (2019). ANALISIS KUAT TEKAN CACO₃ DAN TRASS SEBAGAI.
- Anggiani, K. (2022). Analisis Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/19071>
- Prasetyo, T. T., Yosianti, C. D., & Antoni. (2018). Pengembangan Beton Rendah Semen Dengan Menggunakan Kalsium Karbonat Dan Viscosity Modifying Admixture. *Petra Christian University*, 305–312.
- Tunggu, G. F., Santoso, G. T., Antoni, A., & Area, U. M. (2018). Efek Material Pengisi Kalsium Karbonat Dan Waste Marble Dust Terhadap Sifat Mekanik Mortar. ... *Pratama Teknik Sipil*, 133–140. <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/7043>
- Nalobile, P., Wachira, J. M., Thiong'o, J. K., & Marangu, J. M. 2019. Pyroprocessing and The Optimum Mix Ratio of Rice Husks, Broken Bricks and Spent Bleaching Earth to Make Pozzolanic Cement. *Heliyon*. 5(9)
- Alengaram, U.J., Goh, W.I., Jumaat, M.Z., Lee, S.C., Mo, K.H., Yuen, C.W. (2017). Recycling of Seashell Waste in Concrete: A Review. Department of Civil Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia..