

PENGGUNAAN LIMBAH CANGKANG TELUR SEBAGAI BAHAN PENGANTI SEMEN DALAM BETON: SOLUSI BERKELANJUTAN UNTUK INDUSTRI KONSTRUKSI

Sheala Aditya Kusuma Mukti

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jln. A. Yani No.157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57169
e-mail: d100220333@student.ums.ac.id

Sri Sunarjono

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jln. A. Yani No.157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57169

Abstract: *In Indonesia, climate change is causing extreme weather and increasing natural disasters, affecting various aspects of life, including infrastructure. Concrete, as the main construction material in infrastructure development, has major environmental challenges due to the production of cement, which contributes significantly to greenhouse gas emissions. Therefore, efforts are needed to partially replace the use of cement with more environmentally friendly materials, one of which is the use of eggshell waste. Eggshells contain calcium carbonate (CaCO_3), which is chemically similar to materials such as lime and fly ash commonly used in concrete mixes. The purpose of this study is to analyze the effect of eggshell waste substitution on compressive strength and potential reduction in concrete production costs. Several variations of cement substitution with eggshell (0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10%) were used in the production of concrete. This research uses an experimental approach with quantitative research methods. The results showed that the use of eggshell was maximum at 2.5%. From an economic point of view, the use of eggshell as a cement substitute can significantly reduce the cost of concrete production, especially at a replacement level of about 10%. This study provides recommendations for the use of eggshell waste in the construction industry as a more environmentally friendly and economical alternative, supporting the principle of circular economy and reducing the carbon footprint of concrete production. However, further research is needed to optimize the correct substitution dosage and improve the particle distribution in the concrete mix for more consistent results.*

Keywords: *concrete, eggshell, economic, sustainability*

Abstrak: Perubahan iklim menyebabkan cuaca ekstrem dan meningkatnya bencana alam di Indonesia turut berdampak pada berbagai aspek kehidupan, termasuk pada infrastruktur. Beton, sebagai bahan konstruksi utama dalam pembangunan infrastruktur, memiliki tantangan lingkungan besar akibat produksi semen yang berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca. Sehingga, diperlukan upaya untuk menggantikan sebagian penggunaan semen dengan bahan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya dengan memanfaatkan limbah cangkang telur. Cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3), yang secara kimiawi mirip dengan bahan-bahan seperti kapur dan fly ash yang biasa digunakan dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah cangkang telur terhadap kuat tekan dan potensi pengurangan biaya produksi beton. Beberapa variasi substitusi semen dengan cangkang telur (0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%) digunakan dalam pembuatan beton. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode penelitian bersifat kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan cangkang telur maksimum pada proporsi 2,5%. Dari segi ekonomi, penggunaan cangkang telur sebagai bahan pengganti semen dapat mengurangi biaya produksi beton secara signifikan, terutama pada kadar penggantian sekitar 10%. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk penerapan limbah cangkang telur dalam industri konstruksi sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis, mendukung prinsip ekonomi sirkular, dan mengurangi jejak karbon dari produksi beton. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan dosis substitusi yang tepat dan meningkatkan distribusi partikel dalam campuran beton agar hasil yang diperoleh lebih konsisten.

Kata kunci: : beton, cangkang telur, ekonomis, keberlanjutan

PENDAHULUAN

Peristiwa perubahan iklim di Indonesia saat ini terjadi, seperti cuaca ekstrem dan meningkatnya bencana alam yang sangat berdampak terhadap produktivitas segala aspek kehidupan. Salah satunya pada infrastruktur yang ada di Indonesia, termasuk material beton yang digunakan pada perkerasan jalan dan perumahan seperti pelengkungan pelat beton (*wrapping*), muai susut sambungan beton, dan sifat *workability* beton segar.

Dalam pembangunan infrastruktur beton menjadi material konstruksi yang sangat penting. Namun, produksi semen sebagai bahan utama dalam pembuatan beton memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Menurut Mehta dan Monteiro (2020), industri semen bertanggung jawab atas sekitar 8% emisi gas rumah kaca dan menjadi penyumbang dalam perubahan iklim. Oleh karena itu, peneliti dan praktisi konstruksi terus mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk menggantikan sebagian penggunaan semen dalam beton. Pada proyek konstruksi berskala besar, prioritas utama adalah mencapai kekuatan beton yang optimal untuk mendukung Pembangunan berkelanjutan (SDGs).

Salah satu bahan yang potensial untuk menggantikan semen dalam beton adalah limbah cangkang telur (A.S. Klau et al., 2021). Menurut Badan Pusat Statisti produksi telur ayam pada tahun 2023 di provinsi Jawa Tengah mencapai 875.492,30 ton. Cangkang telur terdiri dari (CaCO_3) dengan sifat kimia mirip dengan bahan aditif yang sering digunakan dalam campuran beton, seperti kapur dan fly ash. Cangkang telur yang umumnya dibuang sebagai limbah, padahal bisa dimanfaatkan kembali untuk meningkatkan keberlanjutan dalam industri beton. Menurut penelitian oleh Rashid et al. (2021) G. W. Y. Tumbel et al (2020), cangkang telur bisa dipakai untuk substitusi sebagian semen pada beton dengan efek yang menguntungkan pada kekuatan dan daya tahan beton (S. Simanjutak et al., 2021). (Wahyuni dan Pratama., 2022) Pencampuran bubuk cangkang telur dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, meskipun hasilnya tergantung pada kadar substitusi yang digunakan. Hasil penelitian tersebut membuka

peluang untuk menggali lebih dalam tentang pengaruh penggunaan cangkang telur terhadap sifat fisik dan mekanis beton konvensional.

Limbah cangkang telur memiliki potensi untuk mengurangi biaya produksi beton, karena harganya yang relatif murah dan jumlah limbah yang melimpah (Sari dan Pratama., 2023). Hal ini menjadikan limbah cangkang telur sebagai salah satu solusi yang efisien dalam mengurangi penggunaan bahan baku semen, sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi industri konstruksi.

Penggunaan limbah cangkang telur sebagai bahan pengganti semen pada beton konvensional menawarkan peluang agar dampak negatif yang timbul terhadap lingkungan berkurang, serta mendukung penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam industri konstruksi. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan penerimaan teknologi ini secara luas dan keberlanjutan pemanfaatannya di masa depan.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah: bagaimana pengaruh substitusi limbah cangkang telur terhadap kuat tekan beton dan apakah penggunaan limbah cangkang telur dapat mengurangi biaya produksi beton tanpa mengorbankan kualitas. Selain itu, tujuan pada penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah cangkang telur terhadap sifat mekanis beton dan mengembangkan rekomendasi untuk penerapan limbah cangkang telur berdasarkan perbandingan harga dan polusi.

TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton telah banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) pada cangkang telur memiliki kemiripan kimiawi dengan kapur, yang sering digunakan sebagai bahan tambahan beton (Rashid et al., 2021). Cangkang telur umumnya terdiri dari sekitar 95% kalsium karbonat

(CaCO_3), yang memiliki sifat kimiawi yang serupa dengan bahan-bahan yang sering digunakan dalam pembuatan beton, seperti kapur (*calcium oxide*) dan *fly ash* (Akanji et al., 2021). Kalsium karbonat juga dikenal dapat memperkuat sifat beton dengan cara mengikat air dan meningkatkan kepadatan struktur mikro beton. Penelitian oleh Wahyuni dan Pratama (2022) menunjukkan bahwa pencampuran bubuk cangkang telur pada beton dapat meningkatkan kekuatan tekan pada kadar penggantian semen 5-10%, namun dengan penggantian yang lebih tinggi dapat menurunkan kekuatan tekan beton. Hal ini disebabkan oleh pengaruh partikel cangkang telur yang memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan semen, yang dapat mempengaruhi kepadatan dan struktur mikro beton (Hameed et al., 2022).

Selain itu, (Sulaiman et al., 2023) mengungkapkan bahwa substitusi cangkang telur dalam campuran beton dapat meningkatkan sifat kekuatan tarik dan lentur, terutama jika pengantiannya dikombinasikan dengan bahan tambahan lain, seperti *fly ash*. Penurunan kekuatan tekan pada kadar penggantian yang tinggi disebabkan oleh kesulitan dalam pencampuran dan distribusi partikel cangkang telur yang tidak merata dalam adukan beton.

Salah satu alasan utama untuk menggantikan sebagian semen dalam beton adalah pengurangan biaya produksi. Cangkang telur, sebagai bahan limbah yang mudah diperoleh, memiliki potensi untuk mengurangi biaya pembuatan beton. Limbah cangkang telur umumnya lebih murah daripada semen, sehingga dapat mengurangi biaya bahan baku (Y. B. Hibur, 2017).

Penelitian oleh Wahyuni dan Pratama (2022) menunjukkan bahwa penggunaan cangkang telur sebagai pengganti semen dapat mengurangi biaya produksi beton, dengan penghematan terbesar ditemukan pada penggantian semen sebesar 10%. Dalam hal ini, cangkang telur memberikan kontribusi positif terhadap pengurangan biaya material tanpa mengorbankan kualitas beton secara signifikan (S. Fitriani et al., 2017). Menurut Sari dan Pratama (2023), di kawasan dengan pasokan

cangkang telur yang melimpah, potensi penghematan biaya dapat lebih maksimal, sekaligus mengurangi dampak limbah.

Namun, tantangan dalam penerapan skala besar adalah biaya pemrosesan cangkang telur yang harus dihancurkan dan diproses agar memiliki ukuran partikel yang sesuai. Penelitian oleh Sulaiman et al. (2023) juga mencatat bahwa meskipun biaya material cangkang telur lebih rendah, biaya tambahan untuk pengolahan dan transportasi dapat mempengaruhi tingkat penghematan biaya secara keseluruhan.

Dengan meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya keberlanjutan dan ekonomi sirkular dalam industri konstruksi, penelitian terkait penggunaan bahan substitusi yang ramah lingkungan, seperti limbah cangkang telur, menjadi semakin relevan. Beberapa studi menunjukkan bahwa cangkang telur dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen, sehingga mengurangi jejak karbon dari proses produksi beton.

Menurut Mehta dan Monteiro (2020), penggunaan bahan alternatif seperti limbah cangkang telur tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah secara berkelanjutan. Penelitian oleh Rashid et al. (2021) menyoroti bahwa meskipun cangkang telur menawarkan potensi besar dalam meningkatkan keberlanjutan, faktor-faktor teknis dan ekonomis seperti pengolahan dan distribusi yang merata perlu dioptimalkan untuk penerapan yang lebih luas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode penelitian bersifat kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh limbah cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen terhadap pada beton. Metode eksperimen ini dipilih untuk menghasilkan data yang objektif mengenai pengaruh variabel yang diuji pada beton dengan berbagai kadar substitusi cangkang telur.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah

Surakarta, dengan dilengkapi fasilitas untuk uji beton dan pengujian material. Waktu penelitian diperkirakan berlangsung selama 6 bulan.

Bahan-bahan pada penelitian ini meliputi:

1. Semen (Portland Cement).
2. Cangkang telur (limbah dari industri pengolahan telur yang dikeringkan dan dihaluskan).
3. Pasir.
4. Kerikil.
5. Air (standar air untuk pembuatan beton).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Mixer* beton (untuk pencampuran bahan).
2. Cetakan beton (untuk uji kuat tekan, tarik, dan lentur).
3. Komputer dan perangkat lunak (untuk analisis data).
4. Alat uji seperti mesin uji tekan, alat pengukur kepadatan, dan alat untuk mengukur porositas beton.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

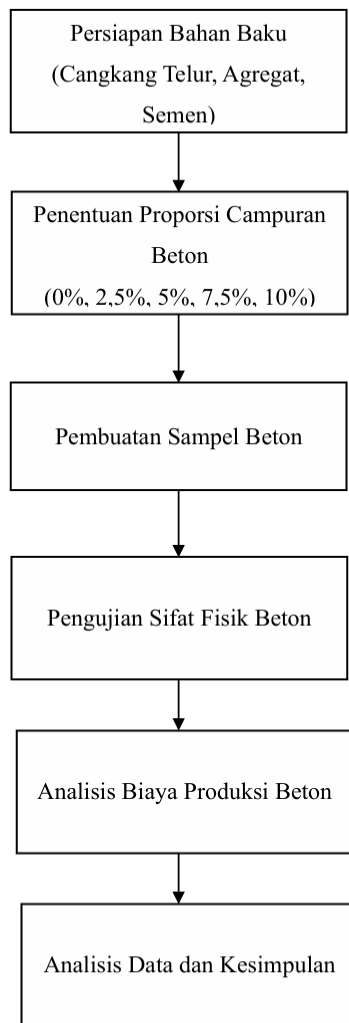
1. Persiapan Bahan Baku:
 - o Cangkang telur dikumpulkan, dibersihkan dari kotoran yang menempel, selanjutnya dikeringkan dan dihancurkan sampai berubah seperti butiran halus.
 - o Agregat halus dan kasar, serta semen disiapkan sesuai dengan spesifikasi standar untuk pembuatan beton.
2. Penentuan Proporsi Campuran Beton: Beton dibuat dengan komposisi standar (0% penggantian semen dengan cangkang telur) sebagai kontrol, serta lima variasi campuran beton dengan penggantian semen sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan bubuk cangkang telur.
3. Pembuatan Sampel Beton: Adonan beton dicampurkan dengan menggunakan mesin mixer untuk memastikan homogenitas. Setiap variasi campuran dibuat dalam 3 sampel untuk menguji kekuatan tekan, tarik, dan lentur beton.
4. Pengujian Sifat Mekanis Beton:
 - o Uji Kekuatan Tekan: Beton yang telah dibentuk dalam cetakan akan diuji

kekuatannya pada usia 7, 14, dan 28 hari.

- o Uji Kekuatan Tarik: Beton diuji dengan metode tarik untuk mengetahui kekuatan tariknya pada usia 28 hari.
 - o Uji Kekuatan Lentur: Beton diuji untuk mengetahui kekuatan lenturnya pada usia 28 hari.
5. Pengujian Sifat Fisik Beton:
 - o Kepadatan: Diuji dengan mengukur volume dan massa beton.
 - o Porositas: Diukur dengan metode perendaman untuk menentukan seberapa banyak udara yang terperangkap dalam beton.
 - o Workability: Diuji menggunakan uji slump untuk menentukan tingkat kelenturan campuran beton.
 6. Analisis Biaya Produksi Beton: Biaya produksi dihitung dengan mempertimbangkan harga bahan baku (semen, cangkang telur, agregat, dan air), serta biaya pemrosesan dan pembuatan beton.
 7. Analisis Data:
 - o Data hasil uji sifat mekanis, durabilitas, dan fisik dianalisis secara statistik untuk melihat pengaruh penggantian semen dengan cangkang telur.
 - o Analisis biaya dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi ekonomi dalam penerapan cangkang telur sebagai substitusi semen.

Data yang didapat pada pengujian sifat mekanis, sifat fisik, dan biaya produksi akan dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Uji ANOVA akan digunakan untuk menguji perbedaan signifikan antara sampel beton dengan berbagai kadar penggantian cangkang telur. Uji regresi juga akan digunakan untuk menganalisis hubungan antara kadar penggantian semen dengan sifat mekanis dan biaya produksi beton.

Berikut adalah bagan alir yang menggambarkan tahapan penelitian secara sistematis:



Gambar1. Bagan Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan *mix design* dengan metode ACI untuk mencapai nilai kuat tekan beton 25 MPa dengan fas 0,55, maka dibutuhkan komposisi campuran beton seperti pada tabel 1. Proporsi yang digunakan berdasarkan berat dari semen. Pada komposisi campuran menggunakan proporsi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton m³

Komposisi	Prosentase Serbuk Cangkang Telur				
	0%	2,5%	5%	7,5%	10%
Semen (kg)	372,73	372,73	372,73	372,73	372,73
Air (liter)	224,79	224,79	224,79	224,79	224,79
Agregat Kasar (kg)	846,30	846,30	846,30	846,30	846,30
Agregat Halus (kg)	729,18	729,18	729,18	729,18	729,18

Halus (kg)					
Serbuk Cangkang Telur (kg)	0	0,15	0,29	0,44	0,58

(Dewi, Y. F. Z., dkk., 2020).

Pemeriksaan nilai *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton (Octaviandy & Harahap, 2021). Pemeriksaan nilai *slump* berdasarkan proporsi substitusi limbah cangkang telur dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Slump Campuran Beton

Persentase SCT	<i>Slump</i> (mm)
0%	90
2,5%	75
5%	80
7,5%	85
10%	80

(Pohan, R. F & Rambe, M. R., 2022)

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa nilai *slump* yang diperoleh pada tiap-tiap proporsi campuran memenuhi dengan yang direncanakan yaitu 75-100 mm. Setiap campuran dengan memakai atau tidak limbah cangkang telur dapat diterapkan karena memiliki *workability* yang baik (G. W. Y. Tumbel, dkk., 2020).

Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Hasil perhitungan berat volume betony aitu berat volume rata-rata beton pada umur satu hari (Simanjutak, S., dkk. 2021). Berikut hasil dari perhitungan berat volume beton:

Tabel 3. Rata-Rata Berat Volume Beton

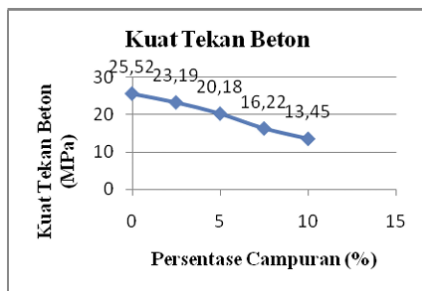
Persentase LCT	Berat Volume (kg/m ³)
0%	2110,15
2,5%	2098,18
5%	2073,13
7,5%	2055,09
10%	2038,02

(Pohan, R. F & Rambe, M. R., 2022)

Beton setelah direndam selama 28 hari, kemudian dilakukan pengujian terhadap kuat tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine*. Hasil pengujian yang didapat disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Persentase LCT	Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	25,52
2,5%	23,19
5%	20,18
7,5%	16,22
10%	13,45



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton Rata-Rata Umur 28 Hari (Pohan, R. F & Rambe, M. R., 2022)

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton normal lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton dengan substitusi limbah cangkang telur. Pada beton normal (0%) didapatkan nilai kuat tekan sebesar 25,52 MPa, sedangkan pada beton substitusi kuat tekan terendah pada proporsi 10% yaitu sebesar 13,45 MPa. Dengan demikian, dengan penambahan limbah cangkang telur semakin banyak dapat menurunkan kuat tekan beton yang dihasilkan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Persentase LCT	Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	25,38
2,5%	23,94
5%	23,26
7,5%	22,80
10%	20,50

(Dewi, Y. F. Z., dkk., 2020).

Dari hasil pengujian kuat tekan beton, pada tiap-tiap prosentase mengalami penurunan masing-masing yaitu 23,94 MPa, 23,26 MPa, 22,80 MPa, dan 20,50 MPa. Nilai kuat tekan optimum dengan prosentase cangkang telur 2,5% (Dewi, Y. F. Z., dkk., 2020).

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Persentase LCT	Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	27,17
2,5%	22,28
5%	21,60
7,5%	20,23
10%	18,42

(Sorisi, P, F., dkk, 2021).

Dari hasil pengujian rata-rata kuat tekan beton, dari persentase 0% ke persentase 2,5% mengalami penurunan yaitu 22,28 MPa begitu juga dengan persentase yang lain yaitu 5%, 7,5%, dan 10% penurunan masing-masing yaitu 21,77 MPa, 21,22 MPa, dan 18,42 MPa (Sorisi, P, F., dkk, 2021).

Berdasarkan pada tujuan kedua dari penelitian, maka dilakukan Analisa terhadap perubahan biaya dari pengurangan penggunaan semen. Pada analisis ini digunakan data harga bacterial bahan bangunan Kota Palangkaraya Tahun 2017.

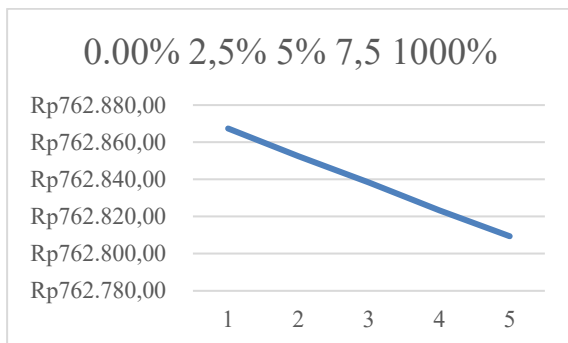


Gambar 3. Grafik Perubahan Biaya (Frieda, dkk., 2018)

Dengan mengurangi pemakaian semen, hasil perhitungan harga dapat dilihat pada grafik perubahan harga. Hasil perhitungan penurunan harga yang ideal pada nilai penurunan 5%. Dengan demikian semakin banyak penggunaan substitusi limbah cangkang telur sebagai semen dapat lebih menghemat biaya dalam pembuatan beton, karena penggunaan semen yang berkurang jauh lebih banyak, sehingga harga semakin menurun.

Pada perhitungan menggunakan harga satuan meliputi, semen Rp 1.240,00/kg, agregat kasar Rp 175,00/kg, agregat halus Rp

200,00/kg, air Rp 30,00/liter, dan serbuk cangkang telur Rp 100,00/kg.



Gambar 4. Grafik Rencana Anggaran Biaya

Berdasarkan perhitungan rencana anggaran biaya pada tiap-tiap persentase dengan limbah cangkang telur, didapat hasil pada proporsi 0% biaya yang dikeluarkan 762.867,40, 2,5% sebesar 762.852,40, 5% sebesar 762.838,40, 7,5% sebesar 762.823,40, dan 10% sebesar 762.809,40. Hal ini dengan penggunaan substitusi limbah cangkang telur yang semakin banyak maka akan mengurangi biaya dalam pembuatan beton.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari percobaan dan pembahasan, berikut adalah kesimpulan yang dapat ditarik:

1. Pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton maksimal pada proporsi 2,5%.
2. Penggunaan proporsi substitusi limbah cangkang telur dengan proporsi yang tinggi dapat lebih menghemat biaya produksi pada campuran beton.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- Akanji, A. S., Olanrewaju, F. M., & Sulaiman, N. (2021). *Utilization of eggshell waste as partial replacement for cement in concrete production: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125502>
- A. S. Klau, F. Phengkarsa, dan O. J. Sanggaria, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur

Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton, "*Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ)*, vol. 3, no. 4, pp. 479-488, 2021.

- A. Octaviandy, S. Harahap, R. F. Pohan, "Analisa Perbandingan Penggunaan Pasir Sungai Paya Sordang Desa Huta Lombang Terhadap Kuat Tekan Beton, "*Statika*, vol. 4, no. 2, pp. 10-19, 2021
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 4431:2011. *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 1979:2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Directorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, 2023. *Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan 2023*.
- Frieda, O. Meilawaty & F. A. H. B., "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Pereduksi Semen Dalam Campuran Beton Berpori Ramah Lingkungan (Green Previous Concrete), "*Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, vol. 1. 2, pp. 129-135, 2018.
- G. W. Y. Tumbel, S. O. Dapas, dan M. R. I. A. J. Mondoringin, "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Lentur Beton, "*Jurnal Sipil Statik*, vol. 8, no. 3, pp. 293-298, 2020.
- Hameed, A., Ali, S., & Azhar, S. (2022). "Effect of eggshell powder as partial cement replacement on the mechanical and durability properties of concrete." *Construction and Building Materials*, 298, 134297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.134297>
- Mehta, P.K., & Monteiro, P.J.M. (2020). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- Rashid, M. I., Shah, S. P., & Khatri, A. (2021). "Utilization of eggshell waste in concrete as partial replacement of cement." *Journal of Cleaner Production*, 278, 126925.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126925>
- Sari, A. P., & Pratama, Y. (2023). "Economic evaluation of eggshell powder as a sustainable alternative in concrete production." *2023 7th International Conference on Sustainable Engineering and Environmental Technology (ICSEET)*. <https://doi.org/10.1109/>
- S. Fitriani, W. M. Fathul, dan I. Farida, "Penggunaan Limbah Cangkang Telur, Abu Sekam, dan *Copper Slag* Sebagai Material Tambahan Pengganti Semen," *Jurnal Konstruksi*, vol. 15, no. 1, pp. 46-56, 2017.
- S. Simanjutak, S. Harahap, dan R. F. Pohan, "Pengaruh Penambahan Pecahan Serbuk Pecahan Aqua Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Massa dan Kuat Tekan Beton," *Statika*, vol. 4, no. 2, pp. 67-75, 2021
- Sulaiman, A., Noor, N.M., & Aziz, H.A. (2023). "Challenges in using eggshell waste as a partial cement replacement in concrete: A review." *Construction and Building Materials*, 348, 132404. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132404>
- Shayan, A., & Xu, A. (2021). *Utilization of eggshells as a cement replacement in concrete: A comprehensive review*. *Construction and Building Materials*, 288, 123219.
- Tara Jeky., 2018. *Pemanfaatan Limbah Cangkang Kulit Telur Ayam RAS untuk Mereduksi Pemakaian Semen pada Campuran Beton*. Volume 4, Nomor 1, Januari 2018.
- Wahyuni, S., & Pratama, R. (2022). "Effect of eggshell powder as partial cement replacement on the compressive strength of concrete." *Construction and Building Materials*, 298, 123779. <https://doi.org/10.1080/24749508.2022.2085464>
- Y. B. Hibur, "Pengaruh Serbuk Cangkang Telur Substitusi Semen Terhadap Karakteristik Beton, 2017.