

KAJIAN *ECO-CONCRETE DEVELOPMENT* DENGAN *EGGSHELL WASTE* DAN *GRANITE* DALAM PERSPEKTIF MATERIAL SUBSTITUSI

Adinda Tila Armina¹, Khafidho Takhassunan¹, Gaieza Salsabila Ramadhani¹, Eva Hana Safitri¹, Yenny Nurhasanah^{1*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

*Email: yn205@ums.ac.id

Abstrak

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan. Namun, produksinya berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan akibat tingginya emisi karbon dari penggunaan semen. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pemanfaatan limbah material alternatif yang lebih ramah lingkungan. Artikel ini berfokus untuk meninjau potensi limbah *eggshell* (cangkang telur) dan limbah *Granite* (granit) sebagai material substitusi dalam campuran beton. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap berbagai penelitian terkait penggunaan kedua limbah tersebut dalam campuran beton. Hasil tinjauan jurnal menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah cangkang telur mampu mempertahankan, bahkan pada kondisi tertentu meningkatkan, sifat mekanik beton karena kandungan kalsium karbonat yang tinggi. Berdasarkan penelitian yang ditinjau, diperoleh pada variasi sekitar 4,5% *eggshell* sebagai substitusi sebagian semen, beton umur 28 hari mampu mencapai kuat tekan sebesar 20,3 MPa, sehingga berpotensi dimanfaatkan secara praktis oleh masyarakat. Sementara itu, penggunaan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar menunjukkan kecenderungan menurunkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan penambahan limbah granit 10% yaitu sebesar 45,25 MPa, lebih rendah 9,14 % dari kuat tekan beton tanpa granit. Penggunaan kedua material tersebut menunjukkan adanya pengaruh terhadap kuat tekan beton serta berpotensi mengurangi dampak lingkungan melalui pemanfaatan limbah sebagai material substitusi. Oleh karena itu, limbah cangkang telur dan granit dapat dipertimbangkan dalam pengembangan *eco-concrete* yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: Beton ramah lingkungan, cangkang telur, granit, limbah

Abstract

Concrete is the most widely used construction material. However, its production contributes to environmental pollution due to high carbon emissions from the use of cement. Therefore, innovation in the use of alternative material waste that is more environmentally friendly is needed. This article focuses on reviewing the potential of Eggshell waste (eggshell) and Granite waste (granite) as substitution materials in concrete mixtures. The method used is a literature study of various studies related to the use of these two wastes in concrete mixtures. The results of a journal review show that the utilization of eggshell waste is able to maintain, even under certain conditions enhance, the mechanical properties of concrete due to its high calcium carbonate content. Based on the reviewed research, it was obtained in a variation of around 4.5% eggshell as a partial cement substitution, 28-day old concrete is able to reach a compressive strength of 20.3 MPa, so it has the potential to be used practically by the community. Meanwhile, the use of granite waste as a substitution of coarse aggregates shows a tendency to reduce the compressive strength of concrete compared to normal concrete. The highest compressive strength value was obtained on concrete with the addition of 10% granite waste, which was 45.25 MPa, 9.14% lower than the compressive strength of concrete without granite. The use of these two materials shows an influence on the compressive strength of concrete and has the potential to reduce environmental impact through the use of waste as a substitute material. Therefore, eggshell and granite waste can be considered in the development of eco-concrete that is more environmentally friendly and sustainable.

Keywords: Eco-concrete, eggshell, granite, waste

1. PENDAHULUAN

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah hasil pencampuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran lainnya (*admixture*). Beton merupakan material utama dalam pembangunan infrastruktur seperti gedung, jalan, dan jembatan (Ibrahim & Muthe, 2025). Tingginya penggunaan beton meningkatkan kebutuhan bahan penyusunnya, sementara mutu beton bergantung pada kualitas bahan tersebut (Aswanti dkk., 2024). Produksi semen menghasilkan emisi CO₂ yang berdampak negatif bagi lingkungan (Majeed dkk., 2024). Selain itu, penggunaan agregat juga berdampak pada

degradasi lingkungan (Habibilah & Muthe, 2025). Beton ramah lingkungan dikembangkan dalam dunia konstruksi sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut (Pohan & Rambe, 2022).

Penggunaan limbah cangkang telur dan granit sebagai bahan campuran beton merupakan upaya mewujudkan beton ramah lingkungan (Pohan & Rambe, 2022). Limbah cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat meningkatkan sifat mekanis beton sehingga dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen (Dandu dkk., 2024). Limbah granit memiliki karakteristik butiran kasar dan densitas tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar (Anandaraj dkk., 2026). Pemanfaatan limbah granit menjadi upaya mitigasi pencemaran lingkungan akibat limbah industri batuan yang sering dibuang tanpa pengolahan (Tommy dkk., 2025).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur dan granit dalam persentase tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton (Yong dkk., 2022). Pemanfaatan limbah cangkang telur dan granit sebagai bahan substitusi beton tidak hanya berkontribusi dalam meningkatkan performa mekanik beton, tetapi juga memberikan manfaat ekologis melalui pengurangan volume limbah industri yang terbuang ke lingkungan serta mendukung konsep beton ramah lingkungan (Anandaraj dkk., 2026).

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini meninjau berbagai penelitian mengenai pemanfaatan limbah cangkang telur dan granit sebagai bahan substitusi beton. Artikel ini digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi limbah cangkang telur dan granit terhadap kuat tekan beton. Sehingga, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh penggunaan kedua jenis limbah tersebut terhadap kuat tekan beton, serta mengetahui komposisi campuran yang optimal untuk menghasilkan beton yang kuat dan ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan studi literatur atau *review paper* yang bertujuan untuk mengkaji, membandingkan, dan menganalisis berbagai variasi komposisi limbah cangkang telur dan granit yang telah diteliti dalam sejumlah publikasi ilmiah. Fokus utama pada artikel ini mengarah pada pemanfaatan limbah cangkang telur dan granit sebagai bahan substitusi beton serta mengarah pada perbandingan variasi komposisi limbah cangkang telur dan granit terhadap kuat tekan beton.

Pencarian artikel dilakukan melalui database *Google Scholar* menggunakan kata kunci "eggshell concrete", "granite waste concrete", "beton ramah lingkungan", "substitusi limbah cangkang telur pada beton", "limbah granit pada beton", "keunggulan beton inovasi". Artikel yang dipertimbangkan merupakan publikasi ilmiah dalam rentang tahun 2020 hingga 2026 dengan tujuan memastikan relevansi dan kemutakhiran data yang digunakan.

Dari data pencarian tersebut, dilakukan proses seleksi artikel terkait dengan pemanfaatan limbah cangkang telur dan granit sebagai substitusi beton. Artikel yang dipilih harus memenuhi kriteria berupa publikasi yang telah melalui proses *peer-review*, membahas secara spesifik penggunaan cangkang telur dan granit sebagai material substitusi dalam campuran beton, serta tersedia dalam versi teks lengkap. Diperoleh sebanyak 23 artikel ilmiah yang memenuhi kriteria dan selanjutnya dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan variasi komposisi limbah cangkang telur dan granit serta kuat tekan beton. Analisis juga dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi substitusi paling optimal dalam meningkatkan kuat tekan beton berdasarkan hasil penelitian yang ditinjau.

3. KONSEP BETON RAMAH LINGKUNGAN

Beton ramah lingkungan adalah jenis beton yang dalam pembuatannya memanfaatkan material limbah sebagai bahan campuran, serta diproduksi melalui proses yang tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kelestarian lingkungan hidup (Wicaksono dkk., 2024).

Pengembangan beton ramah lingkungan dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan pengganti yang mampu menekan ketergantungan pada sumber daya alam konvensional. Sejumlah material seperti agregat daur ulang, abu terbang (*fly ash*), terak baja, serta serat berbahan alami telah banyak diteliti guna mendorong keberlanjutan di sektor konstruksi. Melalui penggantian material tersebut, beton tidak hanya berperan dalam meminimalkan eksploitasi sumber daya alam, tetapi juga memberikan kontribusi ekologis dengan menekan jumlah limbah industri yang terbuang ke lingkungan (Tommy dkk., 2025).

Menurut *The Institution of Structural Engineers* (ISE), produksi material penyusun beton yang berwawasan lingkungan dapat diwujudkan melalui empat upaya utama. Pertama, menekan emisi gas rumah kaca khususnya karbon dioksida (CO_2) yang merupakan kontributor terbesar dalam pemanasan global. Kedua,

mengoptimalkan penggunaan energi serta material dasar agar tidak terjadi pemborosan sumber daya dalam proses produksi. Ketiga, memaksimalkan pemanfaatan material buangan atau limbah sebagai bahan substitusi dalam campuran beton sehingga volume sampah industri dapat berkurang secara signifikan. Keempat, meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan dan keselamatan para pengguna bangunan, baik yang muncul pada tahap pelaksanaan konstruksi maupun selama masa operasional gedung, dengan menerapkan konsep 4R yang meliputi *Reduce* (mengurangi), *Refurbish* (memperbarui), *Reuse* (menggunakan kembali), dan *Recycle* (mendaur ulang) (Tommy dkk., 2025).

Beton ramah lingkungan tidak sebatas mampu menekan jejak karbon yang dihasilkan dalam proses pembuatannya, melainkan memberikan manfaat jangka panjang berupa penghematan energi serta peningkatan ketahanan struktur bangunan. Dengan berbagai keunggulan tersebut, implementasi beton ramah lingkungan menjadi sangat penting sebagai langkah strategis dalam mewujudkan cita-cita pembangunan yang berkelanjutan di masa mendatang (Anisah dkk., 2024).

4. INOVASI LIMBAH SEBAGAI BAHAN PENYUSUN BETON

Inovasi pemanfaatan limbah sebagai bahan penyusun beton merupakan salah satu pendekatan yang berkembang pesat dalam dunia konstruksi modern. Konsep ini lahir dari kebutuhan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh industri konstruksi, sekaligus mengatasi permasalahan penumpukan limbah industri yang semakin mengkhawatirkan.

Peneliti Purnamawanti pada tahun 2023 telah mengkaji pemanfaatan abu sekam padi sebagai alternatif pengganti sebagian komponen beton konvensional. Abu sekam padi mengandung silika tinggi hasil proses pembakaran sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan pengganti semen, serta penggunaannya sebesar 10% terbukti mampu meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan (Purnamawanti dkk., 2023).

Karimah dan Rusdianto pada tahun 2021 menyatakan bahwa penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat halus cenderung meningkatkan nilai *absorpsi* beton yang berpotensi menurunkan durabilitas, meskipun penambahan *fly ash* dapat sedikit mereduksi penyerapan air tersebut. Berat satuan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase limbah keramik yang digunakan. Persentase limbah keramik sebesar 9% dari total agregat halus memperoleh nilai kuat tekan tertinggi, hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah keramik sebagai alternatif agregat halus hanya efektif hingga batas persentase tertentu (Karimah & Rusdianto, 2021).

Uji eksperimental kuat tekan beton ramah lingkungan dengan limbah serbuk karet dan ban bekas sebagai substitusi agregat halus telah dilakukan oleh Nugroho pada tahun 2025. Berdasarkan hasil penelitian, pada persentase tertentu, beton masih menunjukkan kekuatan yang memenuhi standar minimal konstruksi ringan, meskipun terjadi penurunan kuat tekan. Hal ini disebabkan sifat elastis dan kurangnya daya ikat antar permukaan serbuk karet dengan pasta semen, sehingga kurang optimal dalam proses pengecoran menyebabkan timbulnya rongga atau keropos pada beton (Nugroho, 2025).

Penelitian untuk meneliti pemanfaatan limbah serbuk beton dan serbuk cangkang kerang telah dilakukan oleh Arumningsih pada tahun 2022. Serbuk cangkang kerang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus, sementara serbuk limbah beton berperan sebagai substitusi semen dalam campuran beton. Pemanfaatan serbuk cangkang kerang terbukti tidak menyebabkan penurunan kekuatan beton bahkan mampu meningkatkan *workability* dibandingkan dengan beton konvensional. Penggunaannya dalam jumlah besar dapat menekan produksi semen, sehingga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca (Arumningsih dkk., 2022).

Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa limbah industri dan pertanian seperti abu sekam padi, limbah keramik, serbuk karet ban bekas, serbuk cangkang kerang, serta limbah beton berpotensi sebagai bahan substitusi dalam campuran beton, meskipun pengaruhnya terhadap sifat mekanik bervariasi pada setiap materialnya. Abu sekam padi dan limbah keramik terbukti mampu meningkatkan kuat tekan, sementara serbuk karet justru cenderung menurunkan. Serbuk cangkang kerang menjadi material paling menjanjikan karena mampu mempertahankan *workability* dan menekan emisi gas rumah kaca, sehingga pemanfaatan limbah sebagai bahan penyusun beton secara keseluruhan terbukti mendukung prinsip keberlanjutan lingkungan dalam industri konstruksi.

5. INOVASI LIMBAH SERBUK CANGKANG TELUR SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI SEMEN

Cangkang telur merupakan bagian terluar telur yang berperan sebagai pelindung seluruh isi. Limbah cangkang telur diolah menjadi serbuk berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif untuk substitusi

sebagian semen. Ketersediaannya melimpah seiring dengan tingginya konsumsi telur menjadikan limbah cangkang telur belum dimanfaatkan secara optimal (Devi dkk., 2024). Serbuk cangkang telur yang digunakan pada campuran beton seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Serbuk cangkang telur (Rumbyarso & Ulum, 2021)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gunarso tahun 2024, didapat kadar optimum serbuk cangkang telur sebagai substitusi semen adalah 40% dari volume semen dengan berat jenis $2,31 \text{ gr/cm}^3$. (Gunarso dkk., 2024). Selanjutnya, proporsi kandungan kimia serbuk cangkang telur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kimia serbuk cangkang telur (Gunarso dkk., 2024)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------|-----------------|------------------|
| 19,02 | 4,307 | 4,241 | 64,342 | 2,040 | 2,881 | 1,053 |

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sorisi tahun 2021, cangkang telur diketahui mengandung sekitar 97% kalsium karbonat (CaCO₃). Selain itu, cangkang telur juga mengandung unsur lain seperti fosfor sekitar 3%, serta sejumlah mineral lain seperti magnesium, kalium, natrium, seng, mangan, besi, dan tembaga dalam jumlah kecil. Dalam bentuk serbuk limbah cangkang telur memiliki komposisi kimia yang hampir serupa dengan batu kapur (Sorisi dkk., 2021). Berikut komposisi kimia cangkang telur berdasarkan persentase berat total disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia cangkang telur berdasarkan persentase berat total (Sorisi dkk., 2021).

| Mineral | % dari berat total | g/berat total |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Kalsium (Ca) | 37,30 | 2,30 |
| Magnesium (Mg) | 0,38 | 0,02 |
| Fosfor (P) | 0,35 | 0,02 |
| Karbonat (CO ₃) | 58,00 | 3,50 |
| Mangan (Mn) | 7 | ppm |

Peningkatan kekuatan awal beton yang terjadi akibat penambahan serbuk cangkang telur disebabkan oleh efek *filler*, yaitu kemampuan partikel halus cangkang telur untuk mengisi rongga-rongga kecil di antara butiran semen dan agregat sehingga struktur beton menjadi lebih rapat dan homogen. Seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur akhirnya berkontribusi pada peningkatan kepadatan dan kekuatan beton secara keseluruhan (Gunarso dkk., 2024).

6. INOVASI LIMBAH BATU GRANIT SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI AGREGAT KASAR

Granit merupakan batuan beku yang terbentuk dari proses kristalisasi magma di dalam perut bumi. Granit banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan keramik, batu hias, lantai, serta ornamen dinding. Granit memiliki sifat fisik yang kuat, keras, dan tahan terhadap beban, erosi, serta abrasi, sehingga menjadikannya material yang awet dan tahan terhadap pelapukan (Aswanti dkk., 2024). Pecahan limbah batu granit yang digunakan dalam campuran beton seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Pecahan limbah batu granit (Fiery & Munthe, 2025)

Peningkatan kuat tekan beton dapat diperoleh melalui penggunaan agregat kasar yang memiliki ketahanan hancur yang tinggi. Granit merupakan batuan beku yang tersusun atas berbagai senyawa, seperti silika (SiO₂), Al₂O₃, serta mineral lainnya. Dengan karakteristik tersebut, granit berpotensi digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran beton, dengan capaian kuat tekan berkisar antara 60–110 Mpa (Devi dkk.,

2024). Penggunaan limbah granit juga mendukung efisiensi material dengan mengurangi kebutuhan agregat alami serta memberikan solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Penelitian yang dilakukan Aswanti pada tahun 2024 diperoleh hasil pengujian *slump* pada berbagai variasi campuran menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai *slump* sebesar 10,5 cm. Pada campuran dengan penambahan limbah granit sebesar 3% dan 5%, nilai *slump* mengalami sedikit penurunan menjadi 10 cm. Sebaliknya, pada variasi 8% dan 10%, nilai *slump* meningkat menjadi 11 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kadar limbah granit cenderung meningkatkan tingkat *workability* campuran beton. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh karakteristik limbah granit yang memiliki porositas relatif rendah, sehingga tidak banyak menyerap air dan menyebabkan ketersediaan air bebas dalam campuran menjadi lebih tinggi (Aswanti dkk., 2024).

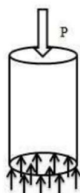
Penelitian yang dilakukan Aswanti tahun 2024, diperoleh nilai daya serap air tertinggi terjadi pada beton normal sebesar 1,67%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada campuran dengan variasi limbah granit 10% yaitu sebesar 0,68%. Penurunan daya serap air ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar limbah granit dalam campuran beton dapat mengurangi tingkat porositas. Hal ini menyebabkan beton menjadi lebih rapat dan lebih tahan terhadap penetrasi air. Sifat limbah granit yang memiliki kepadatan tinggi berkontribusi dalam membentuk struktur beton yang lebih kompak (Aswanti dkk., 2024).

Penelitian yang dilakukan Devi pada tahun 2024 menunjukkan penggunaan limbah granit sebesar 10% menghasilkan kepadatan pasta yang optimal akibat kombinasi efek *filler* dan efek *pozzolan*, sehingga memberikan karakteristik mekanik beton yang lebih baik. Secara umum, pemanfaatan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar dapat meningkatkan kuat tekan beton karena memiliki tingkat kepadatan dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan agregat konvensional seperti batu pecah atau kerikil (Devi dkk., 2024).

7. PENGARUH LIMBAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Dalam menentukan mutu beton, terdapat beberapa sifat mekanik yang dapat dijadikan sebagai acuan, seperti kuat tekan beton.

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton menahan beban tekan per satuan luas hingga benda uji mengalami kehancuran saat diuji menggunakan mesin tekan (*compression testing machine*) (SNI 03-1974-1990). Skema uji kuat tekan beton ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Skema Uji Kuat Tekan Beton (Pane & Windah, 2015)

Dalam SNI 03-1974-1990 kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan $f_c = \frac{P}{A}$, dengan f_c adalah kuat tekan (MPa), P adalah beban maksimum (kN) dan A adalah luas penampang (mm^2).

Dalam PBI 1979 halaman 33-34 perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan kekuatan tekan pada berbagai umur (PBI 1979).

| Umur Beton | Semen Portland biasa | Semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi |
|------------|----------------------|---|
| 3 | 0,40 | 0,55 |
| 7 | 0,65 | 0,75 |
| 14 | 0,88 | 0,90 |
| 21 | 0,95 | 0,95 |
| 28 | 1,00 | 1,00 |
| 90 | 1,20 | 1,15 |
| 365 | 1,35 | 1,20 |

7.1. Pengaruh Limbah Cangkang Telur terhadap Kuat Tekan Beton

Menurut Pasaribu & Hermasyah, pada jurnal yang berjudul “Pengaruh Limbah Cangkang Telur sebagai Bahan Campuran Pada Kuat Tekan Beton”, dengan kuat tekan beton yang direncanakan yaitu sebesar 12,35 MPa pada umur 28 hari (Pasaribu & Hermansyah, 2025). Didapatkan hasil pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil penelitian pengaruh cangkang telur pada berbagai variasi (Pasaribu & Hermansyah, 2025).

| No | Presentase limbah cangkang telur | Hasil Kuat Tekan Beton |
|----|----------------------------------|------------------------|
| 1 | 0% | 19,43 MPa |
| 2 | 1% | 13,48 MPa |
| 3 | 3% | 14,66 MPa |
| 4 | 7% | 16,52 MPa |

Menurut jurnal Harmiyati pada 2023 yang berjudul “Pengaruh Cangkang Telur terhadap Kuat Tekan Beton, Porositas, dan Permeabilitas pada Beton Porous sebagai Material *Green Building*” dengan kuat tekan beton yang direncanakan yaitu sebesar 12 MPa pada umur 28 hari (Harmiyati dkk., 2023). Didapatkan hasil pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil penelitian pengaruh cangkang telur pada berbagai variasi (Harmiyati dkk., 2023).

| No | Presentase campuran limbah cangkang telur | Hasil Kuat Tekan Beton |
|----|---|------------------------|
| 1 | 0% | 12,2 MPa |
| 2 | 1,5% | 13,6 MPa |
| 3 | 3% | 16,5 MPa |
| 4 | 4,5% | 20,3 MPa |

Menurut Klau pada tahun 2021 pada jurnal yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton”, dengan kuat tekan beton yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa pada umur 28 hari (Klau dkk., 2021). Didapatkan hasil pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil penelitian pengaruh cangkang telur pada berbagai variasi (Klau dkk., 2021).

| No | Presentase campuran limbah cangkang telur | Hasil Kuat Tekan Beton |
|----|---|------------------------|
| 1 | 0% | 27,35 MPa |
| 2 | 4% | 25,84 MPa |
| 3 | 6% | 23,2 MPa |
| 4 | 8% | 21,50 MPa |

Berdasarkan hasil penelitian Harmiyati pada tahun 2023 penambahan serbuk cangkang telur dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan nilai optimum pada variasi 4,5% yaitu sebesar 20,3 MPa (Harmiyati dkk., 2023). Namun, hasil berbeda ditunjukkan oleh penelitian Pasaribu & Hermansyah pada tahun 2025 dan penelitian Klau pada tahun 2021, dimana penambahan cangkang telur justru menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Nilai optimum diperoleh pada variasi 0% sebesar 19,43 Mpa (Pasaribu & Hermansyah, 2025). Penelitian yang dilakukan Klau pada tahun 2021 juga menunjukkan tren yang sama bahwa nilai optimum pada beton terdapat pada variasi 0% yaitu sebesar 27,35 Mpa (Klau dkk., 2021).

Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti perbedaan ukuran partikel cangkang telur, metode pengolahan, serta komposisi campuran yang digunakan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa efektivitas limbah cangkang telur bergantung pada kondisi dan metode pencampuran yang digunakan.

7.2. Pengaruh Limbah Granit terhadap Kuat Tekan Beton

Menurut Yaqin & Munthe pada tahun 2025 pada jurnal yang berjudul “Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah Granit dan Abu Batu dengan Penambahan *Sikacim* terhadap Kinerja Mekanik dan Durabilitas Beton Normal”, dengan kuat tekan beton yang direncanakan yaitu sebesar 30 MPa pada umur 28 hari (Yaqin & Munthe, 2025). Didapatkan hasil pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil penelitian pengaruh granit pada berbagai variasi (Yaqin & Munthe, 2025).

| No | Presentase campuran limbah granit | Hasil Kuat Tekan Beton |
|----|-----------------------------------|------------------------|
| 1 | 0% | 49,80 MPa |
| 2 | 3% | 44,63 MPa |
| 3 | 5% | 44,90 MPa |
| 4 | 8% | 45,00 MPa |
| 5 | 10% | 45,25 MPa |

Menurut jurnal Hadi pada tahun 2023, pada jurnal yang berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Granit terhadap Kuat Tekan Beton”, dengan kuat tekan beton yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa pada umur 28 hari (Hadi, 2020). Didapatkan hasil pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil penelitian pengaruh granit pada berbagai variasi (Hadi, 2020).

| No | Presentase campuran limbah granit | Hasil Kuat Tekan Beton |
|----|-----------------------------------|------------------------|
| 1 | 0% | 26,09 MPa |
| 2 | 8% | 24,58 MPa |
| 3 | 10% | 22,69 MPa |
| 4 | 12% | 21,28 MPa |

Menurut Habibilah & Muthe pada jurnal yang berjudul “Pengaruh Substitusi Limbah Granit dan Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan Tekan, *Slump*, dan Daya Serap Air Beton”, dengan kuat tekan rencana yaitu sebesar 20 Mpa pada umur 28 hari (Habibilah & Muthe, 2025). Didapatkan hasil pada Tabel 9.

Tabel 8. Hasil penelitian pengaruh granit pada berbagai variasi (Habibilah & Muthe, 2025).

| No | Presentase campuran limbah granit | Hasil Kuat Tekan Beton |
|----|-----------------------------------|------------------------|
| 1 | 0% | 22,83 MPa |
| 2 | 3% | 16,30 MPa |
| 3 | 5% | 21,17 MPa |
| 4 | 8% | 20,93 MPa |
| 5 | 10% | 20,07 MPa |

Berdasarkan penelitian Yaqin & Munthe, kuat tekan beton optimum diperoleh pada variasi 0% tanpa substitusi limbah granit sebesar 49,80 Mpa (Yaqin & Munthe, 2025). Hasil serupa ditunjukkan oleh Hadi pada tahun 2020, dimana kuat tekan beton optimum terdapat pada variasi 0% sebesar 26,09 Mpa (Hadi, 2020). Penelitian Habibilah & Munthe pada tahun 2025, juga menunjukkan tren yang sama, yaitu kuat tekan beton optimum pada variasi 0% sebesar 22,83 Mpa (Habibilah & Muthe, 2025).

Berdasarkan ketiga penelitian tersebut, terlihat bahwa penambahan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar cenderung menurunkan kuat tekan beton. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik fisik limbah granit dibandingkan agregat kasar alami, seperti tekstur permukaan yang mempengaruhi daya lekat dengan pasta semen, gradasi butiran yang kurang optimal, serta kemampuan penyerapan air yang dapat mempengaruhi keseimbangan campuran beton.

Dengan demikian, penggunaan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar perlu dibatasi atau pada proporsi yang optimal karena dapat menurunkan kinerja mekanik beton, khususnya kuat tekan.

8. ANALISIS DAMPAK DAN MANFAAT INOVASI

Produksi telur yang meningkat menyebabkan semakin meningkat juga limbah yang tidak dimanfaatkan. Untuk mengurangi limbah tersebut limbah dapat diolah menjadi bahan campuran beton. Cangkang telur mengandung kalsium karbonat sebagai salah satu bahan penyusun semen portland, dengan demikian cangkang telur dapat digunakan sebagai campuran beton (Klau dkk., 2021). Limbah granit merupakan salah satu limbah yang banyak ditemukan, biasanya berasal dari proyek perumahan. Limbah granit digunakan sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton yang memiliki berat jenis yang tinggi dan tingkat abrasi rendah (Ibrahim & Muthe, 2025).

8.1. Aspek Lingkungan

Beton ramah lingkungan dapat mengurangi volume limbah yang dihasilkan oleh industri dan konstruksi dengan menggunakan inovasi serbuk cangkang telur dan limbah granit. Penggunaan inovasi limbah cangkang telur dan granit dalam campuran beton dapat menghemat biaya serta mengurangi eksploitasi alam, yang dalam jangka panjang akan berdampak negatif pada lingkungan. Karena sifat limbah yang digunakan untuk menghasilkan beton yang lebih kuat dengan konsep 4R meliputi *Reduce* (mengurangi), *Refurbish* (memperbarui), *Reuse* (menggunakan kembali), dan *Recycle* (mendaur ulang) yang pastinya akan mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan (Gunarso dkk., 2024).

8.2. Manfaat Penerapan Sosial Pada Masyarakat

Pembuatan beton dari limbah cangkang telur dan granit diharapkan akan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang cara mengalihfungsikan limbah dalam pembuatan beton ramah lingkungan. Pemanfaatan limbah yang dibuat dalam pembuatan beton ini diterapkan pada masyarakat umum untuk dialihfungsikan dari segi ekonomi, lingkungan, dan sosial (Gunarso dkk., 2024).

9. KETERSEDIAAN LIMBAH CANGKANG TELUR DAN GRANIT

Dari berbagai penelitian didapatkan bahwa produksi telur cukup tinggi per tahunnya. Tahun 2022 Jawa Tengah menduduki peringkat ke-2 produksi telur sebesar 827.711 ton, dari tahun sebelumnya meningkat sekitar 7,37%. Cangkang telur memiliki berat hanya sekitar 11% dari berat telur, sehingga Jawa Tengah menghasilkan 91.048 ton cangkang telur (Devi dkk., 2024). Indonesia memiliki kapasitas yang sangat besar untuk menghasilkan 178.566.33 ton limbah cangkang telur setiap tahunnya (Gunarso dkk., 2024). Berdasarkan data BPS Statistik Industri Manufaktur jumlah produksi limbah granit di Indonesia tahun 2024 mencapai 3.446.143 m³.

10. PENGAPLIKASIAN DAN KEUNGGULAN BETON INOVASI

10.1. Keunggulan Beton Inovasi

Beton inovatif dengan campuran cangkang telur dan limbah granit dapat digunakan sebagai material alternatif konstruksi, baik sebagai substitusi sebagian semen maupun agregat kasar, serta berpotensi diterapkan pada beton modern seperti *Self Compacting Concrete* (SCC) yang tidak memerlukan proses pemadatan. Dari segi keunggulan, beton ini memiliki kinerja mekanik yang cukup baik, di mana pada komposisi tertentu kuat tekannya dapat mendekati beton normal. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) pada cangkang telur yang membantu proses pengikatan dalam beton. Selain itu, beton ini bersifat ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah rumah tangga dan industri sehingga mengurangi pencemaran serta penggunaan material alam. Dari aspek ekonomi, penggunaan limbah ini juga mampu menekan biaya produksi beton, sehingga lebih efisien untuk diterapkan dalam konstruksi (Klau dkk., 2021).

10.2. Pengaplikasian di Lapangan

Dalam penerapannya di lapangan, beton dengan campuran cangkang telur dan limbah granit dapat digunakan pada konstruksi ringan hingga menengah, seperti paving block, trotoar, jalan lingkungan, serta area parkir. Selain itu, beton ini juga dapat diaplikasikan pada bangunan perumahan seperti pelat lantai, dinding non-struktural, dan elemen pracetak karena masih memiliki kekuatan yang memadai serta lebih ekonomis. Pada sektor infrastruktur material ini berpotensi digunakan untuk saluran drainase seperti *U-ditch* dan elemen beton lainnya, khususnya pada proyek yang menerapkan konsep *green construction*. Secara umum, penggunaan beton inovatif ini di lapangan sangat mendukung pembangunan berkelanjutan karena mampu mengurangi limbah sekaligus tetap memenuhi kebutuhan teknis konstruksi (Harmiyati dkk., 2023).

11. KESIMPULAN

Beton ramah lingkungan adalah jenis beton yang dalam pembuatannya memanfaatkan material limbah sebagai bahan campuran, serta diproduksi melalui proses yang tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kelestarian hidup. Inovasi limbah yang diambil adalah limbah rumah tangga dan limbah konstruksi yaitu cangkang telur dan granit. Limbah cangkang telur bermanfaat sebagai bahan penyusun beton karena mengandung kalsium karbonat, yang merupakan salah satu komponen utama semen portland. Limbah granit cocok digunakan sebagai substitusi agregat kasar karena memiliki berat jenis yang tinggi dan tingkat abrasi yang rendah (tahan aus), sehingga memberikan durabilitas pada campuran beton.

Dari hasil studi literatur dapat disimpulkan bahwa penggunaan inovasi serbuk cangkang telur dapat menurunkan kuat tekan beton. Kuat tekan optimum terdapat pada beton dengan variasi 0% atau tanpa campuran serbuk cangkang telur yaitu sebesar 27,35 MPa dan 0% dengan kuat tekan sebesar 19,43 MPa, akan tetapi inovasi cangkang telur juga dapat menaikkan kuat tekan pada variasi 4,5% dengan hasil kuat tekan beton 20,3 MPa dengan rencana 12 MPa pada umur 28 hari. Di sisi lain, penggunaan limbah granit sebagai bahan substitusi agregat kasar juga menunjukkan kecenderungan penurunan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan optimum tetap terjadi pada beton tanpa campuran limbah granit 0% dengan nilai kuat tekan sebesar 22,83 MPa, 26,09 MPa dan 49,80 MPa.

Penurunan kuat tekan pada penggunaan limbah cangkang telur dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain variasi ukuran partikel, metode pengolahan, serta proporsi campuran yang digunakan. Sedangkan pada limbah granit penurunan hasil kuat tekan dipengaruhi oleh perbedaan karakter fisik limbah granit dengan agregat kasar alami seperti tekstur permukaan yang mempengaruhi daya lekat dengan pasta semen, gradasi butiran yang kurang optimal, serta kemampuan penyerapan air yang dapat mempengaruhi keseimbangan campuran beton.

Oleh karena itu, disarankan agar penggunaan limbah serbuk cangkang telur dan limbah granit dilakukan dengan variasi campuran yang terkontrol dan tidak melebihi batas optimum, guna menjaga kualitas kuat tekan beton. Selain itu, diperlukan penelitian lebih lanjut melalui pengujian eksperimental secara langsung untuk menentukan komposisi campuran yang paling efektif serta mengevaluasi aspek durabilitas beton dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anandaraj, S., Dharsini, S. S. R., Arunvivek, G. K., Sahu, A., Mishra, P., & Olaiya, B. C. (2026). *Utilization of granite powder in the production of sustainable fiber reinforced concrete with improved durability. Discover Materials Journal*. 6 (1), 2-3. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43939-025-00497-z>
- Anisah, A., Ariani, I., Fatima, K., Syafira, F., & Rahmat, A. (2024). Beton Ramah Lingkungan: Solusi Hijau untuk Konstruksi Masa Depan. *Teknologi Sipil*. 8, 35–40. <https://doi.org/10.30872/ts.v8i2.17662>
- Arumningsih, D., Nursetyo, G., & Pratama, S. (2022). Pemanfaatan Limbah Serbuk Beton dan Limbah Serbuk Cangkang Kerang untuk Pengaplikasian Beton Memadat Sendiri Ramah Lingkungan Kuat Tekan Awal Tinggi dengan Perencanaan 25 MPa. *Journal of Civil Engineering and Infrastructure Technology*. 1(1), 10–15. <https://doi.org/10.36728/jceit.v1i1.2229>
- Aswanti, R., Sariman, S., & Yuniarto, E. (2024). Penggunaan *Silika Fume* untuk Reduksi Semen dengan Limbah Granit sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 2(1), 106–113. <https://doi.org/10.56326/jsk.v2i1.1563>
- Dandu, P., Gattu, R. R., & Cheela, R. S. (2024). *Sustainable utilization of calcined granite powder as partial replacement for cement in concrete mixtures : A mechanical and environmental assessment. Global NEST Journal*. 27(1), 1–7. <https://doi.org/10.30955/gnj.06200>
- Devi, D., Destania, H., & Cahyadi, M. (2024). Analisis Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 6(2), 222–227. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v6n2.p223-227>
- Devi, D., Nurmeyliandari, R., & Pramadona, A. (2024). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*. 8(1), 74-82. <https://doi.org/10.35334/be.v8i1.4976>
- Fiery, H., & Munthe, A. (2025). Pemanfaatan Limbah Botol Kaca dan Limbah Granit Sebagai Substitusi Agregat Kasar dengan Penambahan Sikacim Pada Kuat Tekan Beton. *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 92–104. <https://doi.org/10.52005/teslink.v7i1.568>
- Gunarso, Purnamawanti, D., & Arbianto, R. (2024). Inovasi *Eco-Friendly Self Compacting Concrete* Menggunakan Serbuk Cangkang Telur, Serbuk Granit, dan Limbah Beton untuk Mengurangi Limbah di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 29(1), 10–16. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i1.3027>
- Habililah, E., & Muthe, A. (2025). Pengaruh Substitusi Limbah Granit dan Limbah Botol Kaca terhadap Kuat Tekan, *Slump*, dan Daya Serap Beton. *Momentum Jurnal Inovasi dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, 1(2), 35–43. <https://doi.org/10.64123/mjirts.v1.i2.1>
- Hadi, S. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Granit terhadap Kuat Tekan Beton. *GARA*. 14(1), 476–480. <https://doi.org/10.35327/gara.v14i1.123>
- Harmiyati, Syahputri, D., & Retno, D. (2023). Pengaruh Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas pada Beton Porous sebagai Material *Green Building*. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*. 16(1), 226-227. <https://doi.org/10.62603/konteks.v1i2.26>
- Ibrahim, A., & Muthe, A. (2025). Studi Pengaruh Substitusi Limbah Granit sebagai Agregat Kasar dan Limbah Abu Bonggol Jagung sebagai Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan, *Slump*, dan Daya Serap Air Beton. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*. 9(1), 94-95 <https://doi.org/10.31289/jcebt.v9i1.11733>
- Karimah, R., & Rusdianto, Y. (2021). Pemanfaatan Limbah Keramik sebagai Agregat Halus pada Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 19(1), 17–23. <https://doi.org/10.22219/jmts.v19i1.15386>
- Klau, A., Phengkarsa, F., & Sanggaria, O. (2021). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur sebagai Bahan Substitusi Semen pada Beton. *Jurnal Teknik Sipil UKI Paulus*, 3 (4), 479–488. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.327>
- Majeed, A., Umair, M., Jamal, Y., Khan, G., Aleem, A., & Mehmood, A. (2024). *An Analysis of the Strength and Durability of Eggshell Powder-Modified Concrete Structures. Spectrum of Engineering Sciences*. 2(5), 37–64. <https://www.thesesjournal.com/index.php/1/article/view/99>
- Nugroho, G. (2025). Uji Eksperimen Kuat Tekan Beton Ramah Lingkungan dengan Limbah Serbuk Karet Ban

- Bekas Sebagai Substitusi Agregate Halus. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 25(1), 160–167. <https://doi.org/10.35965/eco.v25i1.5800>
- Pane, F., & Windah, H. (2015). Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), 703–708. <https://s11nk.com/rszouf3>
- Pasaribu, C., & Hermansyah, H. (2025). Pengaruh Limbah Cangkang Telur Sebagai Bahan Campuran Pada Kuat Tekan Beton. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*. 5(2), 3329–3344. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/27407>
- Pohan, & Rambe. (2022). Beton ramah lingkungan dengan cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen. *METIKS*. 2(1), 15–19. <https://doi.org/10.30598/metiks.2022.2.1.15-19>
- Purnamawati, D., Priyanto, K., & Nurhidayah, F. (2023). Beton *Self Compacting Concrete* Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan dengan Pemanfaatan Limbah Abu Marmer, Abu Sekam Padi dan Abu Batu. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 28(1), 36–44. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v28i1.2195>
- Rumbyarso, Y., & Ulum, R. (2021). Analisis Pengaruh Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton. *Jurnal Teknologika (Jurnal Teknik-Logika-Matematika)*. 39, Vol 11 No, 3. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v11i2.139>
- Sorisi, P., Wallah, S., & Pandaleke, R. (2021). Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Langsung Beton. *Jurnal Sipil Statik*. 9(1), 45–54. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/58028>
- Tommy, A., Jaya, R., & Zainudin, A. (2025). Pemanfaatan Bahan Daur Ulang dalam Pembuatan Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Arsitektur (JRSA)*, 1(1), 45-60. <https://doi.org/10.51903/4yg5fy46>
- Wicaksono, T. M., Mukhlisin, M., Fatmawati, L., Rahmawati, R., Supriyadi, S., Sukoyo, S., Sudarmono, S., Herlambang, F. S., & Anastasya, F. (2024). Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Abuta (Abu Sekam Padi, Dan Serbuk Bata) Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton Ramah Lingkungan. *Bangun Rekaprima*, 10(1), 164–173. <https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v10i1.5681>
- Yaqin, M., & Munthe, A. (2025). Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah Granit dan Abu Batu dengan Penambahan Sikacim terhadap Kinerja Mekanik dan Durabilitas Beton Normal. *Momentum Jurnal Inovasi dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, 1(2), 55–65. <https://doi.org/10.64123/mjirts.v1.i2.3>
- Yong, T. H., Kang, L. S., & Ling, L. Y. (2022). *Dimensional Stability of Lightweight Foamed Concrete Containing Eggshell Powder and Calcium stearate*. *The International Journal of Integrated Engineering*. 1, 260–268. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.01.024>