

INOVASI ECO-FRIENDLY SELF COMPACTING CONCRETE MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG TELUR, SERBUK GRANIT, DAN LIMBAH BETON UNTUK MENGURANGI LIMBAH DI INDONESIA

Gunarso¹, Dian Arumningsih Diah Purnamawanti², *Reki Arbianto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan

*) Email : reki.arbianto@lecturer.utp.ac.id

ABSTRACT

The development of the world of civil engineering is experiencing very rapid progress in the era of society 5.0 and the intensive development of infrastructure in the country. SCC concrete is an innovative concrete that does not require vibration or compaction tools because SCC batons can compact themselves. The large demand for materials causes illegal mining to occur, which will damage the environment. Therefore, there is a need for other alternatives to reduce natural exploitation, which over time will have a negative impact on the environment. The aim of this research is to use eggshell powder and granite powder as substitutes for fine aggregate, while concrete waste is used as a substitute for coarse aggregate. Eggshell powder material comes from crushed eggshell waste and has a high calcium carbonate (CaCO₃) content. In the granite production process, 30% of each slab turns into stone mud. The waste is often loaded into trucks to be taken away and thrown into nature. Concrete waste is leftover concrete material that is no longer used for construction. The results of tests carried out show that the optimum results for each innovation are 40% eggshell powder, 20% granite powder, and 20% concrete waste. Okamura and Ouichi stated that in making SCC concrete, the fine aggregate must be higher than the coarse aggregate. The environmentally friendly SCC concrete innovation using eggshell powder, granite powder, and concrete waste is capable of producing a compressive strength of >41.4 MPa and can save costs of IDR 407,739/m³ from the price of SCC concrete without using innovation, or the equivalent of 25.92% more economical.

Keyword: *Self-compacting concrete, environmentally friendly concrete, eggshell powder, granite powder, concrete waste, economical*

ABSTRAK

Perkembangan dunia teknik sipil mengalami kemajuan yang sangat pesat di era society 5.0 dan gencarnya pembangunan infrastruktur di tanah air. Beton SCC merupakan beton yang inovatif yang tidak memerlukan getaran ataupun alat pemadat karena baton SCC dapat memadat sendiri. Banyaknya kebutuhan akan material menyebabkan terjadinya penambangan ilegal yang akan merusak lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif lain untuk mengurangi eksploitasi alam yang semakin lama akan berdampak buruk bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini yaitu pemanfaatan serbuk cangkang telur dan serbuk granit digunakan sebagai substitusi agregat halus, limbah beton digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Material serbuk cangkang telur berasal dari limbah cangkang telur yang telah dihaluskan dan memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) tinggi. Dalam proses produksi granit, 30% dari setiap lempengan berubah menjadi lumpur batu. Limbah tersebut sering dimuat ke dalam truk untuk dibawa pergi dan dibuang ke alam. Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan hasil optimum masing-masing inovasi adalah 40% serbuk cangkang telur, 20% serbuk granit dan 20% limbah beton. Okamura dan Ouichi menyatakan bahwa dalam pembuatan beton SCC, agregat halus harus lebih tinggi daripada agregat kasar. Inovasi beton SCC ramah lingkungan menggunakan serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton mampu menghasilkan kuat tekan >41,4 MPa dan dapat menghemat biaya Rp. 407.739 /m³ dari harga beton SCC tanpa menggunakan inovasi atau setara dengan 25,92 % lebih ekonomis.

Kata kunci: *Self compacting concrete, beton ramah lingkungan, serbuk cangkang telur, serbuk granit, limbah beton, ekonomis.*

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Perkembangan dunia teknik sipil mengalami kemajuan yang sangat pesat di era society 5.0 dan gencarnya pembangunan infrastruktur di tanah air. Selain itu, Indonesia merupakan negara yang berada di peringkat keempat dengan populasi terbanyak di dunia. Karena populasinya yang tinggi, tentu saja masyarakat di Indonesia akan menghasilkan banyak limbah dari kehidupan sehari – harinya. Baik itu limbah industri yang berbahaya, limbah konstruksi, limbah pertanian atau limbah lainnya yang masih bisa digunakan kembali menjadi sesuatu yang memiliki manfaat dan nilai ekonomis. Material serbuk cangkang telur berasal dari limbah cangkang telur yang telah dihaluskan dan memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) tinggi. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa jumlah kalsium karbonat dalam telur coklat mencapai 96-97% berat, dengan kandungan biologis 3-4% berat [1]. Kulit telur dapat menggantikan sebagian agregat halus sambil tetap mempertahankan sifat agregat halus dan mengurangi berat beton [2]. Selain itu, beton dengan formulasi kulit telur memiliki kinerja yang baik dalam hal perlindungan mekanik dan radiasi [3]. Selain membantu mengurangi pencemaran lingkungan. Dalam proses produksi granit, 30% dari setiap lempengan berubah menjadi lumpur batu. Limbah tersebut sering dimuat ke dalam truk untuk dibawa pergi dan dibuang ke alam. Praktik ini di satu sisi merugikan lingkungan, dan di sisi lain menambah biaya transportasi ke pabrik pengolahan batu[4].

Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi. Ketersediaan material tersebut sangat banyak, sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah yang tidak terpakai. Pemanfaatan tersebut dilakukan karena agregat merupakan bahan tidak terbaharukan dan pengambilannya selalu merusak alam. Meminimalkan limbah beton yang berkelanjutan dapat mengurangi limbah beton yang dapat merusak lingkungan. Pemanfaatan beton ramah lingkungan dan inovatif pada dunia konstruksi tentu akan memberikan manfaat dan dampak positif terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan beton ramah lingkungan memanfaatkan limbah, serta memberikan nilai yang lebih ekonomis pada pembangunan infrastruktur di Indonesia mencegah sumber daya alam yang berharga terbuang sia-sia, menggunakan limbah batu dari pabrik pengolahan batu dalam beton.

Tinjauan pustaka

Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan ($f'c$) pada usia 28 hari [5].

Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

Self Compacting Concrete (SCC) adalah beton yang dapat memadat dengan sendirinya tanpa bantuan getaran. SCC mudah dikerjakan karena sifatnya yang kohesif sehingga mengurangi potensi segregasi dan *bleeding*. SCC dapat mengalir menggunakan berat sendiri, mengisi seluruh cetakan hingga memadat penuh, bahkan di area penuh tulangan. Beton keras SCC memiliki sifat padat dan homogen dengan daya tahan serupa dengan beton normal [6]

Beton Ramah Lingkungan (*Eco-Friendly Concrete*)

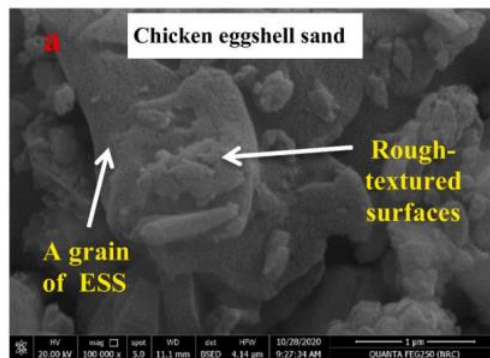
Beton ramah lingkungan menjadi eksistensi untuk mengurangi emisi CO₂. Menurut The Institution of Structural Engineers/ISE, 1999, pembuatan material penyusun beton yang ramah lingkungan ini dapat dilakukan dengan mewujudkan 3 usaha kelangsungan dan konservasi lingkungan, yaitu:

1. Pengurangan emisi gas rumah kaca (terbesar adalah CO₂).
2. Efisiensi energi dan material dasar
3. Penggunaan material buangan, dan pengurangan efek yang mengganggu kesehatan/keselamatan pengguna konstruksi, baik yang timbul saat proses konstruksi atau selama operasi bangunan, dengan konsep 4R (*Reduce, Refurbish, Reuse and Recycle*).

Green Concrete mendukung tiga pilar keberlanjutan dampak lingkungan, ekonomi, dan sosial [7]. *Green Concrete* dapat dianggap unsur pembangunan berkelanjutan karena ramah lingkungan dan banyak digunakan dalam praktek *Green Building* [8].

Serbuk Cangkang Telur

Cangkang telur adalah lapisan terluar dari telur yang berfungsi melindungi semua bagian telur dari luka atau kerusakan. Cangkang telur mengandung 92-96% kalsium karbonat yang juga merupakan sumber alami kalsium. Kulit telur dapat menggantikan sebagian agregat halus sambil tetap mempertahankan sifat agregat halus dan mengurangi berat beton. Selain itu, beton dengan formulasi kulit telur memiliki kinerja yang baik dalam hal perlindungan mekanik dan radiasi. Menggantikan pasir dengan serbuk cangkang telur dapat meningkatkan kekuatan awal beton dikarenakan efek filler serbuk cangkang telur [2]. Beton akan semakin padat seiringnya dengan penambahan serbuk cangkang telur, karenanya kristal CH tidak memiliki tempat yang cukup untuk berkembang menjadi besar sehingga kristal tersebut akan tersebar secara merata pada beton.

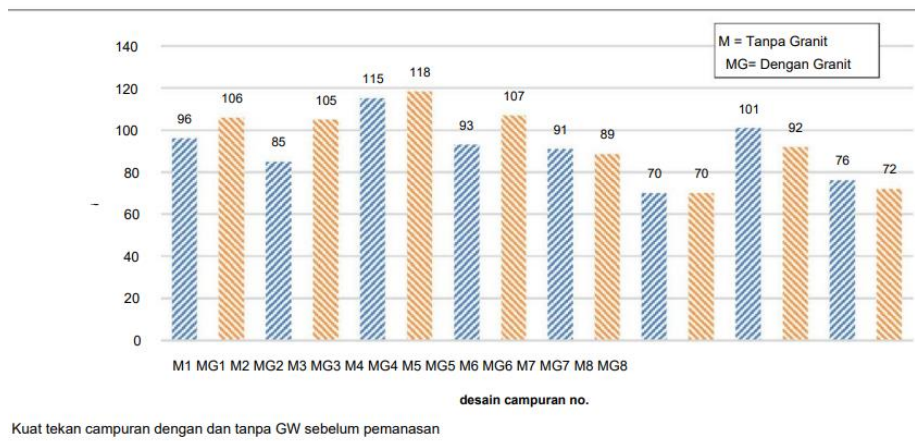


Gambar 1. Foto SEM beton dengan serbuk cangkang telur

Pertumbuhan produksi telur tahun 2022 meningkat 7,37% dari tahun sebelumnya. Tahun 2022 Jawa Tengah menduduki peringkat ke 2 produksi telur di Indonesia dengan jumlah produksi sebesar 827.711 ton (Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, 2022). Cangkang telur hanya sekitar 11% dari total berat telur [9], sehingga dihasilkan sekitar 91.048 ton cangkang telur di Jawa Tengah.

Serbuk Granit

Dalam proses produksi granit, 30% dari setiap lempengan berubah menjadi lumpur batu. Limbah tersebut sering dimuat ke dalam truk untuk dibawa pergi dan dibuang ke alam yang akan merugikan lingkungan, dan di sisi lain menambah biaya transportasi ke pabrik pengolahan batu [4]. Memanfaatkan limbah ini dapat melindungi lingkungan, yang merupakan prasyarat untuk pembangunan berkelanjutan saat ini. Beberapa peneliti telah mempelajari efek mengganti agregat dengan serbuk granit pada workability beton. Ditemukan bahwa menggantikan pasir dengan serbuk granit dalam beton dapat meningkatkan kemampuan pengerjaannya [10].



Gambar 2. Pengaruh serbuk granit terhadap kekuatan beton

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa mensubstitusi 50% pasir dengan serbuk granit dalam beton dapat meningkatkan sifat mekanik masing-masing. Hal tersebut dikarenakan gradasinya yang lebih halus daripada pasir sehingga serbuk granit berfungsi sebagai filler. Dalam campuran beton dengan kandungan seperti M1 hingga M4, memasukkan serbuk granit pada campuran beton untuk menggantikan pasir dapat meningkatkan kekuatan tekan beton karena efek filler serbuk granit.

Limbah beton

Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi. Dalam pelaksanaan konstruksi, banyak limbah – limbah beton hasil dari pengujian dan pembongkaran bangunan maupun jalan. Kontribusi limbah beton terhadap timbunan sampah konstruksi cukup besar. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya aktifitas konstruksi bangunan. Di Indonesia, limbah beton biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik, sebagian besar dibuang begitu saja di lahan terbuka dan beberapa digunakan sebagai bahan urugan. Ketersediaan material tersebut sangat banyak, sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah-limbah beton. Salah satu contoh upaya mengurangi dampak tersebut adalah menggunakan kembali limbah beton untuk penggunaan beton baru. Hal ini menjadi alternatif bahan beton yang menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah agregat yang telah di buang [11]

2. METODE PENELITIAN

Langkah – Langkah yang dilakukan dalam tahap persiapan dengan cara studi literatur dan identifikasi masalah. Studi literatur berisi serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi acuan dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan terdapat pada buku dan jurnal ilmiah tentang beton dengan serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton. Uji eksperimental dilakukan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antara satu dengan yang lain. Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah beton jenis self compacting concrete ramah lingkungan yang mana nantinya akan diuji kuat tekannya agar menghasilkan kuat tekan yang tinggi.[5], [12]–[15].

Benda uji

1. Tahap Persiapan
 - a. Pengontrolan agregat mencapai keadaan SSD.
 - b. Penimbangan material sesuai *mix design*.
 - c. Menyiapkan bekisting silinder ukuran 15x30 cm sebanyak 3 buah.
 - d. Menyiapkan *mixer* untuk pengadukan.
2. Tahap Pengecoran
 - a. Memasukkan material ke dalam *mixer* dan melakukan pengadukan.
 - b. Melaksanakan tes *slump flow*.
 - c. Memasukkan campuran ke dalam bekisting.
3. Tahap Setelah Pengecoran
 - a. Membuka bekisting setelah 24 jam pengecoran.
 - b. Melakukan *capping* untuk meratakan permukaan beton.
 - c. Melakukan uji tekan pada umur 3 hari dan 7 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Uji Material

Semen

PCC (*Portland Composite Cement*) merupakan produk semen Indonesia dengan karakteristik kimia sesuai standar [16].

Tabel 1. Kandungan kimia semen PCC

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Lain-lain
21,7	5,7	3,2	63,1	2,8	2,2	1,3

Pasir

Agregat halus sebagai bahan pencampur beton dan untuk menghasilkan mutu beton yang baik, maka pasir minimal harus memenuhi syarat - syarat diantaranya: terdiri dari butiran yang tajam, keras, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak dan dibuktikan dengan percobaan warna NaOH, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering, dan harus berasal dari gradasi baik (*well graded*). Spesifikasi agregat halus harus memenuhi standar [17]

Tabel 2. Data uji laboratorium

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0,8%
2	Zat Organik	0%
3	Berat Jenis	2,54 gr/cm ³
4	Penyerapan	1,53%
5	Modulus Halus Butir	2,5
6	Berat Isi	1,42 kg/lt

Serbuk Cangkang Telur

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapat kadar optimum serbuk cangkang telur sebagai substitusi pasir adalah 40% dari volume agregat halus dengan berat jenis 2,31 gr/cm³.

Tabel 3. Kandungan kimia serbuk cangkang telur

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
19,902	4,307	4,241	64,342	2,040	2,881	1,053

Serbuk Granit

Agregat halus sebagai bahan pencampur beton dan untuk menghasilkan mutu beton yang baik, maka dari itu perlu diperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapat kadar optimum serbuk granit sebagai substitusi agregat halus adalah 20% dari volume agregat halus.

Hasil uji analisis saringan serbuk granit ditunjukkan pada tabel 4

Tabel 4. Data uji laboratorium serbuk granit

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0%
2	Zat Organik	0%
3	Berat Jenis	2,6 gr/cm ³
4	Penyerapan	1,24%
5	Modulus Halus Butir	2,3
6	Berat Isi	1,50 kg/lt

Split

Split berperan membantu dalam pembentukan beton. Oleh sebab itu perlu diperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik

Tabel 5. Data uji laboratorium split

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0%
2	Berat Jenis	2,52 gr/cm ³
3	Penyerapan	2,50%
4	Modulus Halus Butir	6,7
5	Keausan Agregat	17,05%
6	Berat Isi	1,37 kg/lt

Limbah Beton

Limbah beton sebagai agregat kasar berperan sebagai filler dalam beton dan membantu dalam pembentukan beton. Oleh sebab itu perlu diperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapat kadar optimum limbah beton sebagai substitusi agregat kasar adalah 20% dari volume agregat kasar.

Tabel 6. Data uji laboratorium limbah beton

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0,7%
2	Berat Jenis	2,50 gr/cm ³
3	Penyerapan	2,70%
4	Modulus Halus Butir	6,2
5	Keausan Agregat	20,12%
6	Berat Isi	1,16 kg/lt

Air

Air yang digunakan untuk penelitian ini adalah air yang harus diuji kelayakan sesuai Standar [18]

Tabel 7. Karakteristik air PDAM

pH	Bau	Warna
6,4	Tidak Berbau	Tidak Berwarna

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Uji Coba (Trial)

Berdasarkan uji coba (trial and error) yang telah dilakukan didapat uji kuat tekan pada umur 3 dan 7 hari seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Hasil uji kuat tekan beton uji coba (trial)

Umur (Hari)	Ukuran (cm)	Berat (kg)	Tekanan Hancur (kN)	Tegangan Hancur (MPa)
3	Ø15x30 cm	12,340	900	50,93
3	Ø15x30 cm	12,355	910	51,50
7	Ø15x30 cm	12,365	1420	80,36

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Adapun rincian anggaran biaya material utama yang digunakan dalam pembuatan beton SCC ramah lingkungan dalam penelitian kali ini adalah berdasarkan HSPK Kota Surakarta tahun 2022.

Tabel 9. RAB beton SCC dengan inovasi

No	Material	Volume	Harga Satuan	Total Harga
1	Air	168 kg	Rp 100	Rp 16.800
2	Semen PCC	350 kg	Rp 1.325	Rp 463.750
3	Pasir	433 kg	Rp 182	Rp 78.806
4	Serbuk Cangkang Telur	394 kg	Rp 50	Rp 19.700
5	Serbuk Granit	222 kg	Rp 50	Rp 11.100
6	Split	573 kg	Rp 189	Rp 108.297
7	Limbah Beton	142 kg	Rp 50	Rp 7.100
8	<i>Sika ViscoCrete 1003</i>	5,8 kg	Rp 80.000	Rp 460.000
Total Harga				Rp 1.165.553

Tabel 10. RAB beton SCC tanpa inovasi

No	Material	Volume	Harga Satuan	Total Harga
1	Air	192 kg	Rp 100	Rp 19.200
2	Semen	500 kg	Rp 1.325	Rp 662.500
3	Pasir	950 kg	Rp 182	Rp 172.900
4	Split	628 kg	Rp 189	Rp 118.692
5	<i>Sika VisCocrete 1003</i>	7,5 ltr	Rp 80.000	Rp 600.000
Total Harga				Rp 1.573.292

Dari hasil perhitungan, didapatkan harga produksi beton SCC dengan inovasi sebesar Rp. 1.165.553 per m³ serta harga produksi beton SCC tanpa inovasi sebesar Rp. 1.573.292 per m³. Dapat disimpulkan bahwa selisih harga produksi mencapai Rp. 407.739 atau setara dengan 25,92 %.

Analisa Dampak dan manfaat Inovasi

a. Aspek Lingkungan

Penggunaan inovasi serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton dalam pembuatan beton SCC ramah lingkungan ini dapat mengurangi volume tumpukan limbah – limbah yang dihasilkan oleh industri maupun limbah konstruksi. Selain pemanfaatan dengan menggunakan material yang bersifat limbah, penggunaan inovasi tersebut juga dapat mengurangi eksploitasi alam yang semakin lama akan berdampak buruk bagi lingkungan. Karena sifat limbah yang digunakan sebagai inovasi dapat meningkatkan kekuatan beton. Dengan menggunakan inovasi ini tentunya akan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan berdasarkan konsep 4R (reduce, refurbish, reuse, recycle).

b. Manfaat Penerapan Sosial Pada Masyarakat

Dengan pemanfaatan inovasi serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton akan menambah wawasan masyarakat untuk mengalih fungsikan limbah dalam pembuatan beton SCC ramah lingkungan, dan diharapkan dapat menjadi langkah awal untuk memanfaatkan limbah sekitar, dan bekerja sama dengan penduduk setempat untuk mengoptimalkan penggunaannya. Diprediksi pemanfaatan material limbah dalam penelitian ini dapat diterapkan di kalangan masyarakat umum untuk dialih fungsikan dari segi ekonomi, lingkungan dan sosial

Pengaplikasian dan keunggulan Beton

Beton bermutu tinggi juga tidak jarang diaplikasikan dalam struktur jembatan layang di jalan raya. Beton mutu tinggi dalam struktur jembatan layang dapat diaplikasikan pada beton bertulang maupun pada beton pratekan untuk balok girder agar diperoleh bentang yang lebih panjang. Di sisi lain, akibat dari kapasitas balok girder yang lebih kuat maka dapat mengurangi jumlah girder yang digunakan sehingga dapat menghemat biaya konstruksi. Selain itu, beton mutu tinggi juga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan khusus dari aplikasi – aplikasi tertentu seperti durabilitas, modulus elastisitas dan kekuatan lentur. Beberapa contoh dari aplikasi ini dapat meliputi konstruksi bendungan maupun bendung, atap – atap tribun, pondasi – pondasi pelabuhan, garasi – garasi parkir, dan lintai – lintai heavy duty pada area industri, serta pada terowongan – terowongan bawah tanah yang dalam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, serbuk cangkang telur dan serbuk granit digunakan sebagai substitusi agregat halus serta limbah beton digunakan sebagai substitusi agregat kasar.
- b. Pemanfaatan limbah serbuk cangkang telur dan serbuk granit sebagai bahan substitusi agregat halus serta limbah beton sebagai substitusi agregat kasar juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan karena berkurangnya volume tumpukan limbah-limbah yang dihasilkan oleh industri maupun limbah konstruksi.
- c. Kadar optimal yang digunakan serbuk cangkang telur yaitu 40% dari volume agregat halus.
- d. Kadar optimal yang digunakan serbuk granit yaitu 20% dari volume agregat halus.
- e. Kadar optimal yang dapat digunakan limbah beton yaitu 20% dari volume agregat kasar.
- f. Harga yang didapat dari beton SCC inovasi lebih ekonomis dibandingkan beton SCC tanpa inovasi yang mempunyai selisih Rp. Rp. 407.739 per m³ atau setara dengan 25,92 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Intharapat, A. Kongnoo, and K. Kateungngan, "The Potential of Chicken Eggshell Waste as a Bio-filler Filled Epoxidized Natural Rubber (ENR) Composite and its Properties," *J Polym Environ*, vol. 21, no. 1, pp. 245–258, Mar. 2013, doi: 10.1007/s10924-012-0475-9.
- [2] H. Binici, O. Aksogan, and R. Resatoglu, "Effect of egg white, perlite, gypsum and fly ash in environment friendly insulation materials," *Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 329–342, 2018, doi: 10.2298/fuace170706012b.
- [3] Y. Y. Tan, S. I. Doh, and S. C. Chin, "Eggshell as a partial cement replacement in concrete development," *Magazine of Concrete Research*, vol. 70, no. 13, pp. 662–670, Jul. 2018, doi: 10.1680/jmacr.17.00003.
- [4] M. S. Savadkoobi and M. Reisi, "Environmental protection based sustainable development by utilization of granite waste in Reactive Powder Concrete," *J Clean Prod*, vol. 266, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121973.
- [5] BSN, "SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," SNI 03-2847-2013, 2013
- [6] EFNARC, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete," 2002. [Online]. Available: www.efnarc.org
- [7] B. Suhendro, "Toward green concrete for better sustainable environment," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2014, pp. 305–320. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.190.
- [8] E. Worrell, L. Price, N. Martin, C. Hendriks, and L. O. Meida, "CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY *," 2001.
- [9] M. Gaonkar, A. P. Chakraborty, and A. Professor, "Application of Eggshell as Fertilizer and Calcium Supplement Tablet," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO)*, vol. 3297, 2007, doi: 10.15680/IJRSET.2016.0503183.
- [10] E. Muritala, A. Adigun, B. Eng, and ; M Sc, "Cost Effectiveness of Replacing Sand with Crushed Granite Fine (CGF) In the Mixed Design of Concrete." [Online]. Available: www.iosrjournals.org
- [11] J. de-Prado-Gil, C. Palencia, N. Silva-Monteiro, and R. Martínez-García, "To predict the compressive strength of self compacting concrete with recycled aggregates utilizing ensemble machine learning models," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01046.
- [12] BSN, "SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan," SNI 1971:2011, 2011
- [13] BSN, "SNI 1970:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus," SNI 1970:2008, 2008
- [14] BSN, "SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa," SNI 7656:2012, 2012
- [15] SNI 03 – 2847 - 2002, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung," Bandung, 2002.
- [16] BSN, "SNI 2049_ 2015 Semen Portland," 2015.
- [17] BSN, "SNI 03-6820-2002 Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen," 2002. [Online]. Available: <https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-03>
- [18] BSN, "SNI 7974:2013 Spesifikasi Air Campuran Beton," 2013, [Online]. Available: www.bsn.go.id