

Artikel Narasumber

PEMANFAATAN KEMBALI SAMPAH KONSTRUKSI UNTUK PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN

Dadang Iskandar^{1*}, Eri Prawati¹, Ida Hadijah¹, M. Nurkholid¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro, Metro, Indonesia

* Jl. Ki Hajar Dewantara No. 116 Iringmulyo, Metro 34381

E-mail: d_iskandar@ummetro.ac.id^{1*}

Abstrak

Kekuatan beton dalam perencanaan desain struktur menjadi salah satu tinjauan yang sangat penting. Salah satu parameter utama dalam perencanaan struktur beton adalah kuat tekan. Dengan memanfaatkan material sampah konstruksi *recycled concrete aggregate* (RCA) dari pembongkaran jalan tol Sumatera (JTTS) seksi Lampung sebagai substitusi pembuatan beton baru. Nilai kuat tekan pada penelitian ini merupakan hasil uji kombinasi dari campuran RCA dengan *natural aggregate* (NA) dengan 3 komposisi campuran agregat kasar RCA yaitu: 30%, 50%, dan 70% yang sisanya diisi menggunakan bahan NA dan 4 komposisi rasio air semen yaitu 0,3; 0,4; 0,5; 0,6. Desain campuran yang digunakan menggunakan acuan SNI 7656:2012 dengan memodifikasi kebutuhan agregat kasar yang disubstitusi RCA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada umur beton 7 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 25,32 MPa, capaian ini diperoleh untuk komposisi RCA 50% dan rasio air semen 0,3 sedangkan pada umur beton 14 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 25,921 MPa yang diperoleh dari hasil campuran RCA 70% dan rasio air semen 0,3. Fenomena peningkatan kekuatan pada RCA 70% terindikasi dikarenakan kualitas mutu RCA yang tinggi menghasilkan beton baru yang cukup tinggi hanya proses pengikatan antar agregat terhambat dikarenakan pasta semen yang masih melekat pada RCA.

Kata Kunci: *mix design; natural aggregate (NA); recycled concrete aggregate (RCA); sampah konstruksi*

PENDAHULUAN

Setelah pembongkaran jalan dan bangunan tua, beton sering dianggap tidak berharga dan dibuang sebagai limbah pembongkaran. Dengan mengumpulkan beton bekas dan memecahnya, untuk dibuat menjadi agregat beton daur ulang pada tahun 1970-an, Amerika Serikat mulai memperkenalkan penggunaan *recycled concrete aggregate* (RCA) dalam penggunaan non-struktural, seperti: bahan pengisi, pondasi, dan bahan dasar. Sejak saat itu, beberapa penelitian telah dilakukan tentang seberapa layak RCA sebagai opsi untuk menggantikan *natural aggregate* (NA) dalam beton struktural (McNeil & Kang, 2013).

Total pengoperasian jalan tol di Indonesia pada akhir Juni 2022 telah mencapai 2500 km yang terbagi menjadi 66 ruas jalan tol dan 46 badan usaha jalan tol (BUJT) yang tersebar di pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan hingga Sulawesi. Dari sekian panjang jalan tol yang beroperasi, di beberapa titik terdapat kerusakan-kerusakan yang harus diperbaiki. Perbaikan dimulai dari perbaikan ringan seperti *patching*, *scraf*, *overlay* sampai dengan rekonstruksi.

Rekonstruksi jalan tol menghasilkan sampah konstruksi yang cukup besar dan menjadi masalah tersendiri bagi lingkungan. Sampah dari *rigid pavement* selama ini dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) atau digunakan untuk penimbunan dalam rangka stabilisasi tanah.

Pembangunan menimbulkan kerusakan parah bagi lingkungan dan dapat membahayakan kelestariannya. Eksploitasi sumber daya alam khususnya sumber daya alam tak terbarukan, di bidang konstruksi menghasilkan jutaan ton sampah konstruksi hasil pembongkaran setiap tahun, sebagian besar agensi tidak memiliki aturan yang spesifik terkait rencana pemrosesan untuk bahan-bahan tersebut, mereka mengirimkannya ke TPA sebagai gantinya digunakan kembali dalam bentuk penggunaan RCA (Khushnood, Qureshi, Shaheen, & Ali, 2020).

Saat ini konstruksi beton berkelanjutan sangat populer dikembangkan dan tujuan dari industri konstruksi adalah untuk menjamin kesejahteraan penduduk dengan menurunkan emisi CO₂ dan mendorong pemanfaatan sumber daya alam. Konstituen terpenting dalam beton adalah volume dari agregat karena memiliki dampak besar pada properti dan memiliki pengaruh besar pada biaya dari campuran beton. Selain itu peningkatan industri konstruksi telah membawa penurunan sumber daya alam yang dapat diakses untuk dimanfaatkan dalam konstruksi struktur. Jumlah sumber daya alam yang digunakan dalam industri konstruksi di Inggris adalah lebih dari 165 juta ton setiap tahun. Kemudian sekitar 109 juta ton pertahun dihasilkan limbah konstruksi dan 60 juta ton diantaranya adalah beton. Hal ini menyadarkan kita akan pentingnya daur ulang puing-puing beton untuk menjaga sumber daya alam dan mengganti proporsi agregat dengan bahan daur ulang agar menjadi beton yang lebih berkelanjutan. Penggunaan beton daur ulang juga bisa meminimalisir pelepasan jumlah karbon dioksida dan mengurangi konsumsi energi dalam produksi beton (Damdelen, 2018). Gambar 1. memperlihatkan proses pembongkaran jalan beton pada jalan tol dengan menggunakan alat berat dan bongkahan sampah konstruksi jalan beton.



Gambar 1. Pembongkaran *rigid pavement* pada jalan tol trans sumatera (JTTS)-Lampung

Umumnya jika berbicara kekuatan beton yang ada dalam benak kita adalah kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Kuat tekan sangat dipengaruhi kualitas jenis bahan penyusunnya. Bila kualitasnya baik sesuai dengan spesifikasi maka akan dihasilkan kuat tekan yang relatif tinggi, demikian pula sebaliknya. Kuat tarik belah diperoleh dari pengujian pembebanan benda uji silinder yang diletakkan sejajar dengan permukaan uji desak berdasarkan metode SNI-03-2491-2002. Hasil pengujian kuat tarik belah tersebut digunakan untuk menentukan kuat tarik beton.

(Dimitriou, Savva, & Petrou, 2018) dalam penelitiannya mengupayakan peningkatan kualitas beton RCA dengan metode perawatan sederhana mampu mengurangi mortar yang menempel dan mengurangi efek negatif menciptakan kualitas RCA yang lebih baik dan bersaing dengan beton normal. Efek penambahan abu terbang terbukti secara signifikan meningkatkan

sifat-sifat daya tahan.

Hasil penelitian dari (Andreu & Miren, 2014) menunjukkan bahwa dengan mempertimbangkan sifat mekanik, penggantian 100% agregat kasar oleh RCA dimungkinkan jika RCA diproduksi dari beton asli dengan kuat tekan minimum 60 MPa. Ketika sifat durabilitas dipertimbangkan beton yang diproduksi dengan komposisi RCA 50% dapat menghasilkan beton yang digunakan pada produksi beton berkinerja tinggi.

Dalam penelitian ini akan digunakan agregat kasar daur ulang RCA dengan agregat kasar alam NA dengan berbagai komposisi campuran dan kombinasi dari faktor air semen (FAS) untuk mendapatkan hasil campuran yang optimal. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah adanya perubahan FAS yang diikuti dengan perubahan komposisi campuran RCA dengan NA yang dianalisis sehingga mendapatkan persamaan regresi yang optimal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan penggunaan RCA yang optimal untuk digunakan pada pembuatan beton baru agar mengurangi penggunaan NA demi tercapainya kelestarian alam yang berkelanjutan.

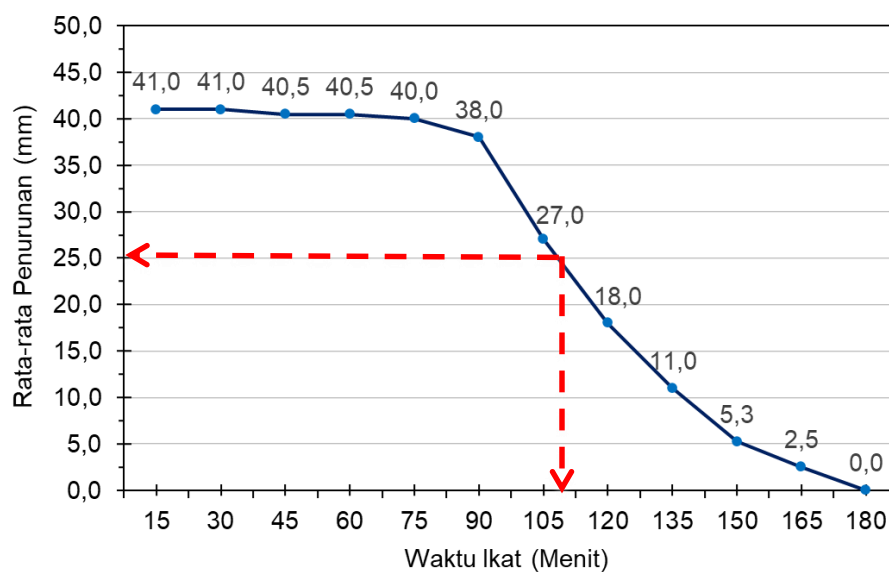
MATERIAL DAN PROGRAM PENGUJIAN

Material

Semen

Pada penelitian ini digunakan semen merk *TIGA RODA* jenis *portland cement composite* (PCC) dengan deskripsi PCC digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan semen portland jenis I dengan kuat tekan yang sama. PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan semen portland jenis I sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan beton dengan permukaan lebih rapat dan halus.

Hasil pengujian waktu ikat semen menggunakan alat vicat telah dilakukan dengan hasil ditampilkan pada gambar 2 yang memperlihatkan pada penurunan sedalam 25 mm diperlukan waktu ikat selama 108 menit.



Gambar 2. Grafik waktu ikat awal semen portland dengan alat *Vicat*

Kemudian dilakukan pengujian densitas semen hidrolis menggunakan alat tabung *le chatelier* dengan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 1 dengan hasil densitas rata-rata 3,161 gr/cm³. Pengujian dilakukan sebanyak 2 (dua) kali menggunakan bahan dan merk yang sama.

Tabel 1. Densitas/berat jenis semen portland

No.	Keterangan	Satuan	Sampel	
			A	B
1	Massa Botol + Kerosin (M1)	gr	339,55	340,12
2	Massa Botol + Semen + Kerosin (M2)	gr	402,95	403,70
3	Berat Semen (BS = M2-M1)	gr	63,40	63,58
4	Bacaan Awal (V1)	cm ³	0,00	0,50
5	Bacaan Akhir (V2)	cm ³	19,90	20,70
6	Berat Isi Air Pada Temperatur 20 °C (BA)	gr/cm ³	0,9982	0,9982
7	Densitas (BS / (V2-V1) x BA)	gr/cm ³	3,180	3,142
8	Densitas Rata -Rata	gr/cm ³	3,161	

Recycled Concrete Aggregates (RCA)

Agregat beton daur ulang adalah agregat beton yang dihancurkan dan digunakan kembali sebagai agregat dalam campuran beton baru. Beton agregat daur ulang, menggunakan beton daur ulang dari bangunan lama seperti jalan, jembatan, dan struktur lainnya sebagai bahan baku, dihancurkan dan disaring oleh mesin maupun manual untuk membentuk agregat beton, seperti yang terlihat pada gambar 3. Dengan peningkatan kesadaran perlindungan lingkungan yang terus-menerus, semakin sulit untuk mendapatkan agregat berkualitas tinggi di banyak daerah, dan daur ulang beton menjadi semakin penting. Daur ulang ini dapat melindungi lingkungan dan memulihkan jenis agregat baru dari beton induk, yang berasal dari agregat alami.

Sifat-sifat RCA seperti berat jenis, penyerapan, dan jumlah kontaminan yang ada di dalamnya berkontribusi pada kekuatan dan daya tahan beton (Verian, Ashraf, & Cao, 2018). Perbedaan utama antara *Recycled Concrete Aggregate (RCA)* dan *Natural Aggregate (NA)* adalah mortar yang menempel pada permukaan RCA (Dimitriou et al., 2018). *Interfacial transition zone (ITZ)* adalah fase penting yang mempengaruhi sifat mekanik dari RCA. Pengaruh yang menguntungkan pada sifat mekanik RCA dapat dilakukan dengan meningkatkan sifat dari ITZ baru (Li, Xiao, Sun, Kawashima, & Shah, 2012).



Gambar 3. RCA yang telah dipecah pengganti agregat kasar NA

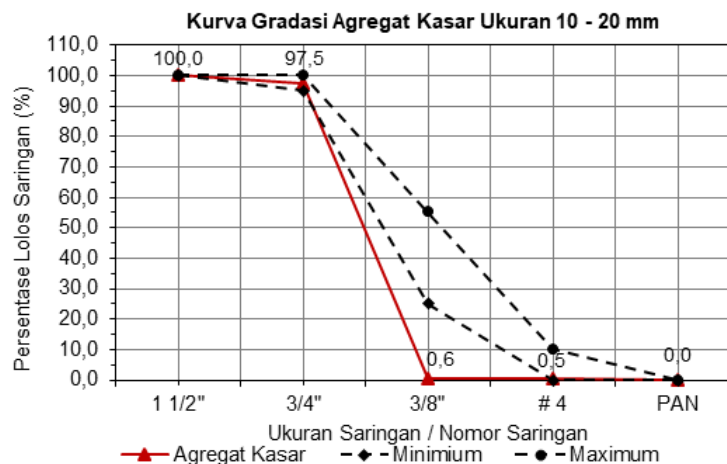
Natural Aggregates (NA) Agregat Kasar

Dalam penelitian ini dipilih agregat kasar dengan sumber *quary* dari Tanjungan Lampung Selatan. Agregat kasar yang baik harus memenuhi syarat yang tercantum dalam (SNI_03-1750, 1990) tentang Agregat Beton, Mutu, dan Cara Uji, yaitu butirannya keras tidak berpori; tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca; tidak mengandung lumpur lebih dari 1%; tidak boleh mengandung zat yang reaktif terhadap alkali; butiran agregat yang pipih tidak boleh lebih dari 20%; modulus butir antara 6-7,1; ukuran butir tidak melebihi 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang cetakan, 1/3 plat beton, 3/4 jarak bersih antar tulangan; dan gradasi butiran sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2:

Tabel 2. Syarat Agregat Kasar

Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimal			
Lubang Ayakan (mm)	40 mm	20 mm	12,5 mm
38,10	95 – 100	100	–
19,00	35 – 70	95 – 100	100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Hasil pengujian saringan dari agregat kasar pada penelitian ini seperti dideskripsikan pada gambar 4 dimana terlihat garis agregat kasar masih di bawah minimum, hal ini disebabkan variasi ukuran yang terlalu seragam dan ukurannya relatif sama dan cukup besar.



Gambar 4. Kurva gradasi agregat kasar

Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Gunung Sugih-Lampung Tengah, yang diilustrasikan dengan gambar 5. Menurut (SNI_1970, 2008) agregat halus adalah pasir alam atau pasir yang dihasilkan dari industri pemecah batu yang mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm. Agregat halus pengisi bahan beton sebaiknya memenuhi persyaratan antara lain: butirannya tajam dan keras dengan indeks kekerasan < 2,2; tidak mengandung lumpur lebih dari 5%; tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak; modulus halus butir antara 1,5-3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.



Gambar 5. Agregat halus *natural aggregate* (NA)

Program Pengujian Mix Design

Mengacu pada (SNI_7656, 2012) campuran beton merupakan perpaduan material dan penyusunnya, karakteristik, dan sifat bahan yang akan mempengaruhi hasil rancangan. Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi dan proporsi bahan-bahan dari penyusun beton yang ditentukan berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Rasio air semen maksimum atau rasio air:bahan bersifat semen;
2. Kadar semen minimum;
3. Kadar udara;
4. Slump;
5. Ukuran butir agregat maksimum;
6. Kuat tekan yang diargetkan;
7. Persyaratan lain yang berkaitan dengan kekuatan.

Setelah perancangan dibuat langkah selanjutnya adalah membuat benda uji dengan berbagai komposisi RCA 30%, 50% dan 70% sebagai pengganti NA, dengan variasi faktor air semen 0,3; 0,4; 0,5; dan 0,6. Waktu pengujian dilaksanakan pada saat benda uji beton berumur 7 hari dan 14 hari.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton merupakan upaya untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dengan cara melakukan tekanan pada sampel beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada penelitian ini digunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM) seperti terlihat pada gambar 6.



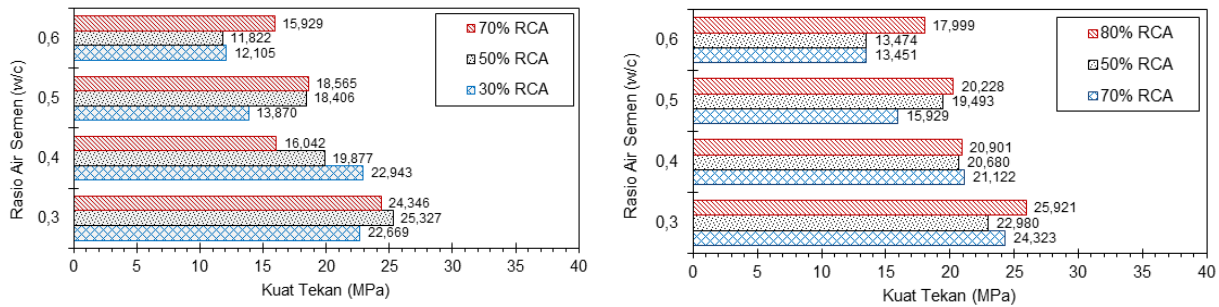
Gambar 6. Pengujian kuat tekan beton menggunakan UTM

Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro dengan terlebih dahulu merawat benda uji dengan merendam dalam bak air dan diangkat sehari sebelum pengujian.

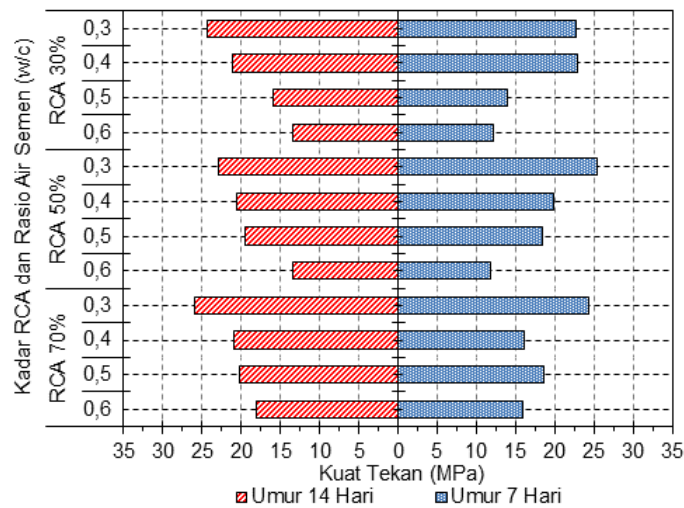
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kuat tekan

Hasil pengujian kuat tekan saat umur beton 7 hari diperoleh hasil maksimum pada kondisi komposisi RCA 80% dengan faktor air semen 0,3 dan pada umur beton 14 hari diperoleh hasil maksimum pada komposisi RCA 70% dan faktor air semen 0,3 seperti yang diperlihatkan pada gambar 7.

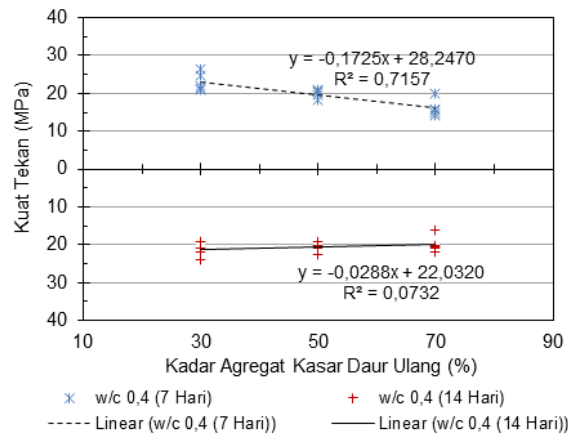


Gambar 7. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari (kiri) dan 14 hari (kanan)



Gambar 8. Pengaruh rasio air semen dan kadar RCA terhadap kuat tekan beton

Pembahasan



Gambar 9. Grafik regresi kuat tekan beton dengan kadar RCA dan FAS

Perolehan hasil empiris pengujian yang dilakukan menghasilkan persamaan regresi $y = -0,1725x + 28,24$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,7157$ dikategorikan kuat dan berpengaruh, seperti yang tergambar pada gambar 9

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan desain campuran optimum pada kondisi w/c 0,3 dengan komposisi RCA 70% dengan hasil kuat tekan $f'_c = 25,327$ MPa. Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan RCA sampah konstruksi plat beton jalan tol melebihi target kuat tekan rencana yaitu $f'_c = 25$ MPa. Hal ini diperoleh dikarenakan mutu RCA dari sampah konstruksi jalan tol mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi.

Perlu adanya penelitian lanjutan rancangan campuran beton dengan menggunakan RCA mutu rendah tetapi bisa menghasilkan beton baru dengan mutu kuat tekan yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini pada skim Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun 2022;
2. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Metro yang menaungi pelaksanaan penelitian ini sesuai nomor kontrak: 099/II.AU/C/LPPM/2022, tanggal 20 Juni 2022;
3. Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro atas kerjasama dan bantuan peralatannya
4. Tim Riset RCA Prodi Teknik Sipil FT UM Metro

DAFTAR PUSTAKA

- Andreu, G., & Miren, E. (2014). Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 227-235.
- Damdelen, O. (2018). Investigation of 30% recycled coarse aggregate content in sustainable concrete mixes. *Construction and Building Materials*, 184, 408-418.
- Dimitriou, G., Savva, P., & Petrou, M. F. (2018). Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 158, 228-235.
- Khushnood, R. A., Qureshi, Z. A., Shaheen, N., & Ali, S. (2020). Bio-mineralized self-healing recycled aggregate concrete for sustainable infrastructure. *Science of the Total Environment*, 703, 135007.
- Li, W., Xiao, J., Sun, Z., Kawashima, S., & Shah, S. P. (2012). Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches. *Construction and Building Materials*, 35, 1045-1055 % @ 0950-0618.
- McNeil, K., & Kang, T. H.-K. (2013). Recycled concrete aggregates: A review. *International journal of concrete structures and materials*, 7(1), 61-69.
- SNI_03-1750. (1990). Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji. *Departemen Pekerjaan Umum: Jakarta*.
- SNI_7656. (2012). Tentang Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa dengan Standar. *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.
- Verian, K. P., Ashraf, W., & Cao, Y. (2018). Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 30-49.