



Research Articles

Kinerja Beton Polimer dengan Agregat Kasar Daur Ulang Metode Termal-Mekanik-Kimia

Performance of Polymer Concrete with Recycled Coarse Aggregate Produced by Thermal-Mechanical-Chemical Process

**Ni Nyoman Kencanawati*, Ngudiyono, I Nyoman Hari Biomantara,
Fathmah Mahmud, I Nyoman Merdana, Hariyadi**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, INDONESIA.

**corresponding author, email : nkencanawati@unram.ac.id*

Manuscript received: 30-07-2025. Accepted: 25-09-2025

ABSTRAK

Penggunaan agregat kasar alami dalam produksi beton secara besar-besaran dapat dihindarkan dengan menggunakan agregat kasar daur ulang sebagai pengganti penggunaan agregat alami. Namun penggunaan agregat kasar daur ulang umumnya dapat berpengaruh terhadap kualitas beton. Daerah interfacial transition zone (ITZ) yang berlebihan terbentuk akibat mortar lama yang masih melekat merupakan zona kontak terlemah pada beton agregat daur ulang. Penambahan polimer seperti Styrene Butadiene Rubber (SBR) ke dalam campuran beton agregat daur ulang diharapkan mampu meningkatkan kekuatan pada daerah tersebut. Penambahan kadar SBR sebesar 0%, 2.5%, 5%, dan 10% terhadap berat air campuran dilakukan untuk meninjau kinerja beton pada sifat fisik dan sifat mekanik beton. Agregat kasar yang digunakan berasal dari agregat kasar daur ulang metode Heating-Grinding-Acid Solvent (H-G-A). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton H-G-A dengan tambahan kadar SBR 5% memiliki kualitas lebih tinggi dibandingkan dengan beton agregat normal. Hasil ini disebabkan akibat SBR mampu mengisi celah ITZ sehingga daerah ITZ ini menjadi lebih padat.

Kata kunci : Beton agregat kasar daur ulang, metode termal-mekanik-kimia, beton polimer

ABSTRACT

The use of natural coarse aggregate in large-scale concrete production can be avoided using recycled coarse aggregate as a substitute for natural aggregate. However, using recycled coarse aggregate can generally affect the quality of concrete. The excessive interfacial transition zone (ITZ) is formed due to the old mortar that is still attached, which is the weakest contact zone in recycled aggregate concrete. The addition of polymers such as Styrene Butadiene Rubber (SBR) to the recycled aggregate concrete mixture is expected to increase the strength in this area. The addition of SBR content of 0%, 2.5%, 5%, and 10% to the weight of the mixture water was carried out to review the performance of concrete in terms of its physical properties and mechanical properties. The coarse aggregate used came from recycled coarse aggregate using the Heating-Grinding-Acid Solvent (H-G-A) method. The results of the study show that H-G-A concrete with an additional SBR content of 5% exhibits superior quality compared to normal aggregate concrete. The addition of SBR shows a denser ITS area resulting in the quality of concrete increases.

Keywords: Recycled coarse concrete, polymer modified concrete, heating-grinding-acid process.

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan yang umum digunakan untuk proyek konstruksi di bidang teknik sipil. Hal ini dikarenakan beton memiliki kelebihan dibandingkan material lainnya. Dari segi ekonomi, harga beton relatif murah karena bahannya berasal dari material lokal (Shetty & Jain, 2019). Hal tersebut tentunya akan menimbulkan tingkat penggunaan agregat yang tinggi.

Penggunaan agregat alami dalam beton umumnya diperoleh dari hasil penambangan di alam. Eksploitasi agregat alami yang tinggi tentu saja berpengaruh terhadap keseimbangan alam. Masalah lain yang muncul adalah meningkatnya limbah beton yang dihasilkan, terutama dari proses renovasi dan pembongkaran bangunan (Behera et al., 2014). Tanpa perlakuan khusus, limbah beton akan sulit terurai sehingga sering kali digunakan sebagai material urugan atau timbunan (Llatas, 2013). Selanjutnya, jika tidak dikelola dengan baik, limbah beton dapat menimbulkan permasalahan dari segi estetika dan juga lingkungan (Pacheco-Torgal, 2013).

Para peneliti telah mencoba mendaur ulang limbah beton untuk menghasilkan agregat bekas sebagai alternatif pengganti agregat alami (Chen et al., 2019; Makul et al., 2021). Penelitian oleh menunjukkan bahwa agregat kasar daur ulang hasil pemecahan limbah beton menghasilkan kuat tekan dibawah kekuatan beton dengan agregat normal (Miraldo et al., 2021). Penggunaan agregat kasar hasil pemecahan limbah beton ini umumnya menghasilkan kinerja beton yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat kasar alami.

Penggantian agregat kasar alami dengan agregat kasar daur ulang dapat mengurangi kuat tekan beton karena sisa mortar lama membentuk *Interfacial Transition Zone* (ITZ) yang mempengaruhi kekuatan ikatan antara agregat dan mortar baru (Poon et al., 2004). Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas campuran beton adalah dengan menggunakan bahan tambah kimia berupa *styrene butadiene rubber* (SBR) (Grinys et al., 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan SBR *Latex* sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 1.85% dan kuat tarik belah hingga 4.89% dibandingkan dengan beton menggunakan agregat kasar alami. Namun, penggunaan kadar SBR di atasnya berpotensi menurunkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Oleh karena itu, penelitian kali ini menggunakan *chemical admixture* berbahan aktif SBR dengan tujuan mengoptimalisasi penggunaan kadar SBR dalam campuran mortar dan agregat kasar daur ulang metode *Heating, Grinding*, dan *Acid Solvent* (H-G-A). Metode *Heating, Grinding*, dan *Acid Solvent* (H-G-A) merupakan salah satu metode yang telah dilakukan selama ini untuk meningkatkan mutu agregat kasar daur ulang (Kencanawati et al., 2017). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi kadar SBR (0%, 2.5%, 5%, dan 10%) terhadap sifat fisik dan mekanik beton yang menggunakan agregat kasar daur ulang metode H-G-A.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen untuk mengetahui sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat mikroskopis dari beton dengan kekuatan rencana 30 MPa yang menggunakan agregat kasar daur ulang metode *Heating - Grinding - Acid Solvent*. Beton normal yang menggunakan agregat alami digunakan sebagai pembanding.

Produksi Agregat Daur Ulang

Agregat daur ulang kasar diproduksi melalui serangkaian proses pengolahan untuk meningkatkan kualitas. Bongkahan limbah beton dihancurkan hingga berukuran sekitar 5 cm dan dimasukkan ke dalam oven untuk dipanaskan hingga 100°C selama 24 jam. Limbah beton

panas kemudian dibawa ke mesin penggerus untuk menghilangkan sisa pasta semen yang menempel dengan putaran 600 kali. Produk dicuci bersih dengan air bertekanan untuk menghilangkan debu. Setelah itu, direndam dalam larutan HCL 0,1 mol/L untuk membersihkan pasta semen lama. Terakhir, agregat kasar daur ulang dicuci dan direndam 24 jam kembali dalam air bersih.

Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah adalah silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hal ini berdasar standar SNI 1974:2011 yaitu tentang pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan benda uji silinder dan SNI 2491:2014 tentang pengujian kuat tarik belah beton dengan menggunakan benda uji silinder. Sedangkan prosedur pengujian uji serap air berdasarkan ASTM C1585-13 dimana dibuat dalam bentuk kubus dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 100 mm. Benda uji dibuat dalam 4 variasi berbeda (masing-masing 5 replikasi) yakni tanpa penggunaan SBR serta dengan penambahan SBR sebesar 2,5%, 5%, dan 10% dari berat air.

Mix Design

Perhitungan *mix design* beton bertujuan untuk memperoleh proporsi campuran yang sesuai dari material penyusun beton seperti agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Dalam penelitian ini, acuan perhitungan *mix design* beton menggunakan metode DOE. (*Department of Environment*) yang merupakan standar perencanaan yang digunakan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia (SNI 03-2834-2000, 2000).

Perhitungan kebutuhan material penyusun beton setiap 1m³ sesuai SNI 03- 2834-2000 untuk mencapai kuat tekan rata-rata rencana sebesar 30 MPa disajikan pada **Tabel 1**

Tabel 1. Kebutuhan Bahan Campuran Beton Setiap 1m³

Material	Kebutuhan (kg)
Agregat Kasar	1038.07
Agregat Halus	721.37
Semen	455.56
Air	205
SBR 2.5% dari berat air	5.13
SBR 5% dari berat air	10.25
SBR 10% dari berat air	20.5

Proporsi material penyusun beton dibuat sama antara beton normal dengan beton agregat daur ulang dimana menggunakan acuan *mix design* dari beton normal. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan yang objektif pada setiap variasi beton sehingga penelitian ini dapat berfokus pada pengaruh variasi kadar SBR yang digunakan terhadap perubahan mutu dari beton agregat kasar daur ulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus yang digunakan dalam penelitian ditampilkan pada Tabel 2. Pengujian dilakukan berdasarkan (Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar, 2012; SNI 03-1969-1990, 1990).

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SK SNI S-04-1989
Berat Satuan Lepas	1.29	> 1.2 gr/cm ³
Berat Satuan Padat	1.39	> 1.2 gr/cm ³
Berat Jenis Bulk	2.57	2.4-3.0
Berat Jenis SSD	2.60	2.4-3.0
Penyerapan Air	0.89	< 5 %
Kandungan Lumpur	2.70	< 5 %
Modulus Halus Butir	2.81	1.5-3.8

Berdasarkan Tabel 2, didapatkan bahwa pasir ini telah memenuhi syarat, sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian berupa agregat kasar alami dan agregat kasar metode heating-grinding (H-G-A). Hasil pengujian terhadap agregat kasar ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

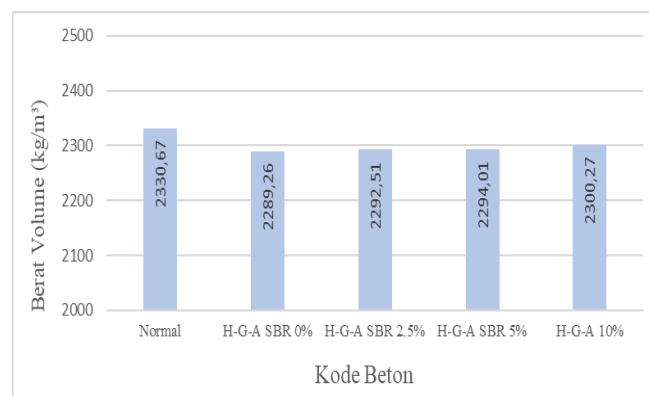
Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat Kasar		Standar SK SNI S 04-1989-F
	Normal	H-G-A	
Berat Satuan Lepas	1.32	1.31	> 1.2 gr/cm ³
Berat Satuan Padat	1.35	1.33	> 1.2 gr/cm ³
Berat Jenis Bulk	2.76	2.48	2.4 – 3.0
Berat Jenis SSD	2.82	2.54	2.4 – 3.0
Penyerapan	2.28	2.35	< 3%
Modulus Halus Butir	6.27	6.20	6.0 – 7.1

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan bahwa agregat telah memenuhi syarat (Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar, 2012; SNI 03-1969-1990, 1990), sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

Pengujian Sifat Fisik Beton

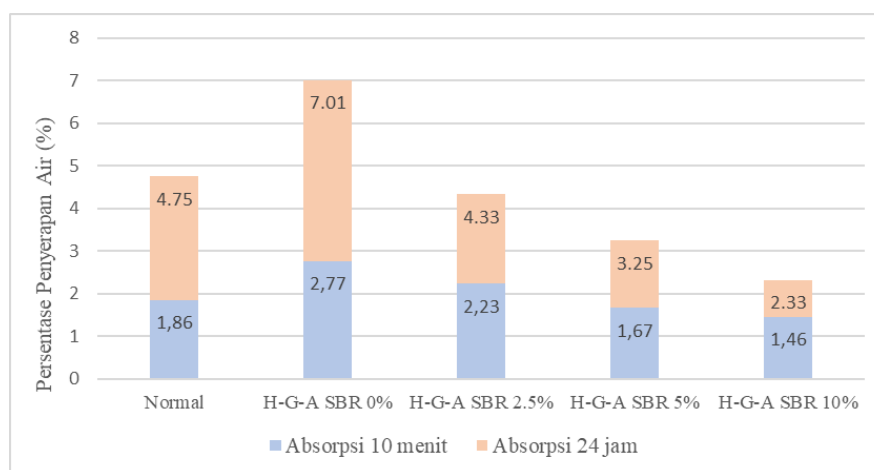
Berat volume beton. Hasil perhitungan berat volume beton untuk setiap variasi agregat ditampilkan pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa beton yang menggunakan agregat normal memiliki berat volume lebih tinggi dibandingkan beton yang memanfaatkan agregat kasar daur ulang. Perbedaan ini menunjukkan bahwa agregat daur ulang cenderung memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan agregat normal. Persentase penurunan berat volume tertinggi terjadi pada beton agregat H-G-A dengan kadar 0% SBR. Pada kondisi tersebut, selisih berat volume mencapai 1,78% dibandingkan beton normal. Nilai penurunan ini menggambarkan pengaruh signifikan penggunaan agregat daur ulang terhadap sifat fisik beton. Secara keseluruhan, data tersebut menunjukkan bahwa jenis agregat yang digunakan berperan penting dalam menentukan berat volume beton.



Gambar 1. Berat Volume Beton

.Penyerapan air beton. Hasil pengujian penyerapan air atau absorpsi pada beton ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyerapan Air Beton pada Umur 10 Menit dan 24 Jam

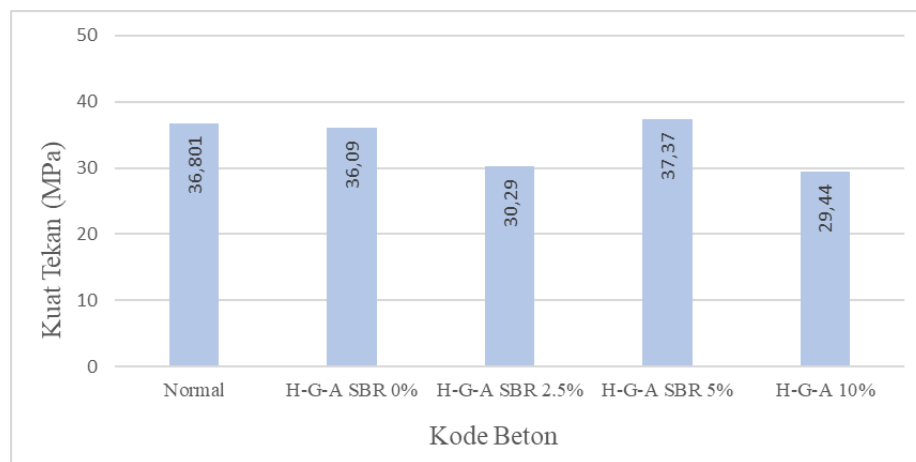
Berdasarkan Gambar 2, diketahui tingkat penyerapan air pada beton normal memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat kasar H-G-A tanpa tambahan SBR. Penyerapan air tertinggi terdapat pada beton agregat H-G-A tanpa tambahan SBR dengan nilai absorpsi sebesar 7.01%. Tingkat penyerapan air pada beton agregat kasar daur ulang semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar SBR yang digunakan pada campuran. SBR yang berbahan dasar karet sintetis (latex) mampu mengisi celah mikro yang tercipta akibat sisa lapisan mortar yang masih melekat serta membuat beton agregat kasar daur ulang menjadi lebih kedap air.

Pengujian Sifat Mekanik Beton

Kuat tekan beton. Pengujian sifat mekanis beton termasuk kuat tekan dilakukan setelah benda uji beton padat berusia 28 hari. Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan tekan pada beton hingga beton runtuh. Pemberian beban dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Data hasil pengujian kuat tekan beton pada seluruh variasi agregat ditampilkan pada Gambar 3.

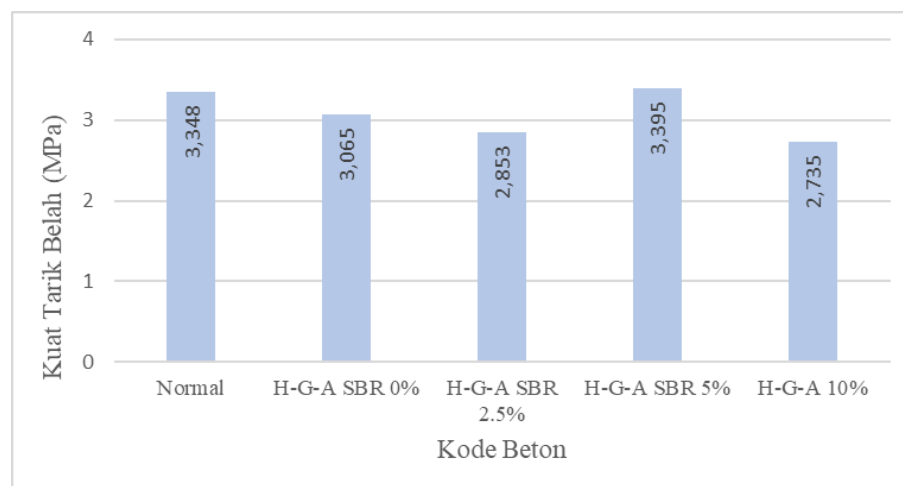
Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa kuat tekan optimum terjadi pada beton H-G-A penambahan SBR sebanyak 5% memberikan hasil kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal. Kenaikan kuat tekan yang terjadi adalah sebesar 1.54% terhadap kuat tekan dari beton normal. Pada penambahan kadar SBR 2.5% terjadi penurunan terhadap nilai kuat tekan hal tersebut diduga disebabkan oleh penambahan SBR masih belum optimal sehingga

menyebabkan pori-pori masih belum terisi dengan baik. Sedangkan penurunan yang terjadi pada penambahan kadar SBR 10% yang diduga disebabkan oleh lapisan baru akibat SBR dan mempertebal lapisan ITZ eksisting.



Gambar 3. Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Kuat tarik belah. Data hasil pengujian kuat tarik belah beton pada seluruh variasi agregat ditampilkan pada Gambar 4.



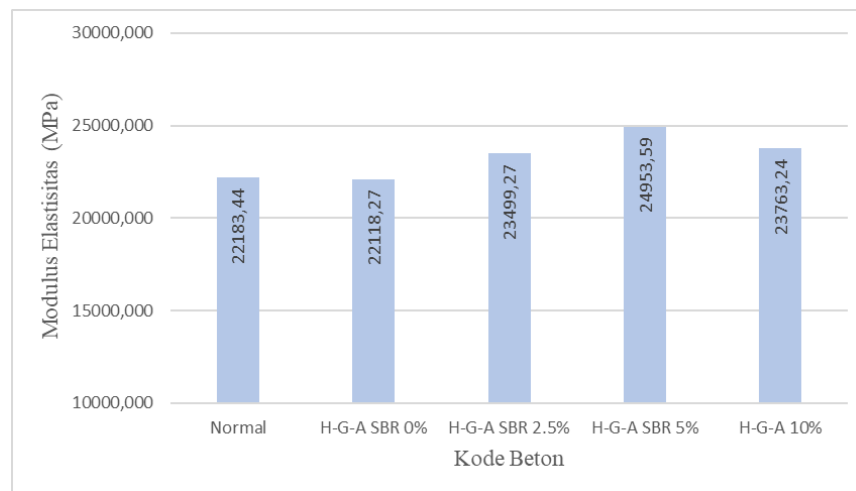
Gambar 4. Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa penambahan SBR sebanyak 5% menunjukkan hasil yang lebih tinggi dari beton normal yaitu sebesar 3.395 Mpa. Penambahan yang lebih rendah (2.5%) atau lebih tinggi (10%) cenderung menurunkan kuat tarik belah. **Modulus elastisitas beton.** Data hasil pengujian Modulus Elastisitas Beton pada seluruh variasi agregat ditampilkan pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa penggunaan bahan tambah SBR mampu meningkatkan nilai modulus elastisitas pada beton yang menggunakan agregat kasar H-G-A. Nilai modulus elastisitas optimum terdapat pada campuran yang menggunakan bahan tambah SBR dengan kadar 5% sebesar 24953.59 MPa.

Penambahan SBR sebesar 5% pada proporsi campuran beton memberikan hasil kualitas beton dengan nilai yang terbaik. Hal ini diperkuat dengan penelitian oleh (Grinys et al., 2020), bahwa campuran beton dengan tingkat porositas tertentu dengan penambahan SBR dengan proposi yang sesuai dengan tingkat porositas beton tersebut, maka akan meningkatkan kualitas beton. Dalam penelitian ini, SBR dengan kadar 5% pada campuran beton mampu mengisi pori-

pori, *microcrack*, dan area ITZ dengan efektif, sehingga membuat lekatan antar partikel penyusun semakin baik dan membuat beton menjadi lebih kompak dan padat.



Gambar 5. Modulus Elastisitas Beton pada Umur 28 Hari

Analisis uji beda rerata antara sifat mekanik beton agregat kasar daur ulang komposisi 5% SBR dengan beton normal telah dilakukan dengan *Independent Sample T-Test*. Diperoleh hasil bahwa semua hasil *T* hitung lebih kecil dari pada *T* table. Dengan demikian tidak terdapat perbedaan signifikan sifat mekanik antara dua kelompok beton. Untuk lebih mengkaji tidak signifikannya pengaruh penambahan SBR pada sifat mekanik beton daur ulang, maka disarankan untuk meninjau sifat mikrostruktur terutama pada daerah ITZ. Dengan demikian dapat diketahui apakah polimer SBR mampu mengisi celah ITZ secara efektif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan SBR sebesar 5% paling mampu meningkatkan sifat mekanik dan impermeabilitas beton agregat daur ulang H-G-A, bahkan melampaui kinerja beton agregat normal. Kadar SBR di bawah atau di atas 5% tidak memberikan hasil optimal. Peningkatan kinerja ini diduga kuat karena kemampuan SBR dalam mengisi rongga dan memperkuat Interfacial Transition Zone (ITZ).

Ucapan Terimakasih.

Saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penelitian mengenai penggunaan agregat kasar daur ulang dan penambahan SBR untuk meningkatkan kualitas beton. Bantuan tersebut sangat berperan dalam kelancaran eksperimen dan analisis, serta diharapkan memberikan kontribusi bagi pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 501–516. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>

- Chen, W., Jin, R., Xu, Y., Wanatowski, D., Li, B., Yan, L., Pan, Z., & Yang, Y. (2019). Adopting recycled aggregates as sustainable construction materials: A review of the scientific literature. *Construction and Building Materials*, 218, 483–496. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.130>
- Grinys, A., Augonis, A., Daukšys, M., & Pupeikis, D. (2020). Mechanical properties and durability of rubberized and SBR latex modified rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 248, 118584. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118584>
- Kencanawati, N. N., Akmaluddin, A., Merdana, I. N., Nuraida, N., Hadi, I. R., & Shigeishi, M. (2017). Improving of Recycled Aggregate Quality by Thermal-mechanical-chemical Process. *Procedia Engineering*, 171, 640–644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.399>
- Llatas, C. (2013). 3 - Methods for estimating construction and demolition (C&D) waste. In F. Pacheco-Torgal, V. W. Y. Tam, J. A. Labrincha, Y. Ding, & J. de Brito (Eds.), *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste* (pp. 25–52). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857096906.1.25>
- Makul, N., Fediuk, R., Amran, M., Zeyad, A. M., de Azevedo, A. R. G., Klyuev, S., Vatin, N., & Karelina, M. (2021). Capacity to Develop Recycled Aggregate Concrete in South East Asia. *Buildings*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/buildings11060234>
- Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar (2012).
- Miraldo, S., Lopes, S., Pacheco-Torgal, F., & Lopes, A. (2021). Advantages and shortcomings of the utilization of recycled wastes as aggregates in structural concretes. *Construction and Building Materials*, 298, 123729. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123729>
- Pacheco-Torgal, F. (2013). 1 - Introduction to the recycling of construction and demolition waste (CDW). In F. Pacheco-Torgal, V. W. Y. Tam, J. A. Labrincha, Y. Ding, & J. de Brito (Eds.), *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste* (pp. 1–6). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857096906.1>
- Poon, C. S., Shui, Z. H., & Lam, L. (2004). Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 18(6), 461–468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>
- Shetty, M. S., & Jain, A. K. (2019). *Concrete Technology (Theory and Practice)*, 8e. S. Chand Publishing.
- SNI 03-1969-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.
- SNI 03-2834-2000. (2000). *Indonesia National Standard Code: Procedure for Designing Normal Concrete Mixture*.