



## SEBUAH ULASAN SINGKAT TENTANG BETON AGREGAT DAUR ULANG

### (AN ABBREVIATED ASSESSMENT OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATES )

Danang Hadi Nugroho<sup>1</sup>, Hadi Surya Wibawanto Sunarwadi<sup>2</sup>, Heru Prasetyo Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tulungagung

Alamat korespondensi :

email: danangmarkko@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang

Alamat korespondensi :

email: hadiwibawanto@lecturer.itn.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

Alamat korespondensi :

email: heruprasetyo@untag-banyuwangi.ac.id

#### Abstract

*This paper briefly introduces the recycling and regeneration preparation of waste concrete, as well as the crushing and screening process of waste concrete blocks. The properties of crushed aggregate and the physical and mechanical properties of recycled concrete were analyzed, and the research status of compressive strength and splitting tensile strength of waste concrete at home and abroad was summarized and analyzed. Factors such as water-glue ratio, water absorption, apparent density of recycled coarse aggregate, state of recycled coarse aggregate and strength of virgin concrete will affect the strength of recycled aggregate concrete. This paper also summarizes the relationship between the splitting tensile strength of recycled aggregate concrete and the compressive strength of the cube.*

**Keywords:** Recycled aggregate concrete; compressive strength; splitting tensile strength.

#### Abstrak

Makalah ini secara singkat memperkenalkan persiapan daur ulang dan regenerasi limbah beton, serta proses penghancuran dan penyaringan blok beton limbah. Sifat agregat hancur dan sifat fisik dan mekanik beton daur ulang dianalisis, dan status penelitian kuat tekan dan kuat tarik belah beton limbah di dalam dan luar negeri dirangkum dan dianalisis. Faktor-faktor seperti perbandingan water-glue, daya serap air, berat jenis agregat kasar daur ulang, keadaan agregat kasar daur ulang dan kekuatan beton perawan akan mempengaruhi kekuatan beton agregat daur ulang. Tulisan ini juga merangkum hubungan antara kuat tarik belah beton agregat daur ulang dengan kuat tekan kubus.

**Kata kunci:** Beton agregat daur ulang; kekuatan tekan; kekuatan tarik belah.

## AGREGAT DAUR ULANG DAN SIFAT DASARNYA

### 1.1. Daur ulang limbah beton

Biasanya, ada empat sumber utama limbah beton (Hansen, 1992) : 1) bangunan dibongkar karena mencapai umur pakai atau karena penuaan; 2) pembongkaran proyek-proyek kota dan renovasi infrastruktur utama menghasilkan limbah blok beton; 3) limbah beton yang dihasilkan oleh pabrik beton komersial; dan 4) limbah batako dihasilkan karena sebab-sebab yang tidak disengaja seperti gempa bumi, angin topan, banjir dan sebab-sebab lain yang menyebabkan runtuhnya bangunan. Karena rumitnya sumbernya, balok beton bekas pasti tercampur dengan berbagai kotoran seperti baja, kayu, pecahan plastik, kaca dan gipsu konstruksi, dll. Oleh karena itu, kinerja beton bekas sangat bervariasi, dan biaya daur ulang sebagian darinya. Limbah betonnya tinggi, dan tidak didaur ulang karena pertimbangan ekonomi. Xiao Jianzhuang (Jianzhuang, 2006) dan yang lainnya mengklasifikasikan limbah beton menjadi dua kategori, satu adalah limbah beton

yang dapat didaur ulang dan yang lainnya adalah limbah beton yang tidak dapat didaur ulang, berdasarkan sumbernya, lingkungan penggunaan, kondisi paparan, dan tingkat karbonasi.

“Dengan pesatnya perkembangan urbanisasi di Tiongkok, pembongkaran bangunan-bangunan tua perkotaan secara terus-menerus telah menghasilkan sejumlah besar limbah konstruksi” (Lina dkk, 2021). Saat ini, tingkat pemanfaatan limbah konstruksi di Tiongkok rendah, dan hanya sebagian kecil dari limbah konstruksi yang didaur ulang di landasan jalan dan struktur non-pemikul beban, dan sebagian besar dibuang dengan cara tradisional yaitu menumpuk atau menimbun di tempat pembuangan sampah. pinggiran kota, yang telah menyebabkan polusi besar terhadap lingkungan (Zhou dkk, 2019). Beton daur ulang (Meng, 2019) adalah suatu proses di mana beton biasa dihancurkan dan disaring untuk membuat agregat kasar daur ulang untuk menggantikan agregat kasar alami, yang tidak hanya memecahkan masalah penumpukan dan pemanfaatan limbah konstruksi, tetapi juga sesuai dengan lingkungan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. pembangunan yang dianjurkan oleh negara, dan memiliki signifikansi ekonomi dan sosial yang besar (CRRIN, 2022).

## 1.2. Pemrosesan agregat daur ulang

Metode proses produksi agregat daur ulang merupakan bagian penting dari pemanfaatan limbah beton kami, agregat daur ulang yang berkualitas baik lebih mudah kami terapkan pada proyek sebenarnya, berikut ini penjelasan proses produksi agregat daur ulang di dalam dan luar negeri.

Limbah konstruksi saat ini diproses dengan dua cara di seluruh dunia.

Bentuk pertama adalah langsung menghasilkan limbah konstruksi di lokasi konstruksi untuk diolah, metode ini sederhana dan nyaman, secara efektif dapat memecahkan masalah biaya transportasi yang tinggi, namun juga menghemat banyak waktu, untuk mencapai kemanjuran penggunaan saat ini. Namun lokasi konstruksi umumnya dekat dengan pemukiman penduduk, untuk perlindungan lingkungan terhadap persyaratan kebisingan, tidak dapat menggunakan mesin penghancur berkekuatan tinggi, dan karena prosesnya yang sederhana, tidak dapat memperoleh agregat yang lebih bersih, penilaian agregat juga relatif buruk, secara umum, kualitas agregat buruk.

Bentuk kedua adalah mengangkut agregat ke pabrik pengolahan agregat daur ulang khusus, yang memerlukan truk pengangkut khusus dan kemudian mesin khusus untuk mengolah limbah konstruksi. Biaya teknik dan biaya waktu dari metode ini relatif tinggi, namun dapat menghasilkan agregat yang bersih dan bergradasi baik, bahkan dapat digunakan sebagai agregat alami. Bentuk kedua digunakan di banyak negara maju (Jianzhuang, 2008).

Cara pembuangan limbah beton di Jepang adalah sebagai berikut: pertama-tama, limbah beton dihancurkan menjadi bola berukuran sekitar 40mm, setelah pemanasan suhu tinggi 300 °C, dapat membuat sisa pasta menjadi bubuk setelah pemisahan sempurna, yang menghasilkan sisa bubuk semen. digunakan untuk perbaikan pondasi, agregat dapat digunakan bersama dengan agregat alami, praktik ini pada dasarnya mencapai efisiensi daur ulang 100%.

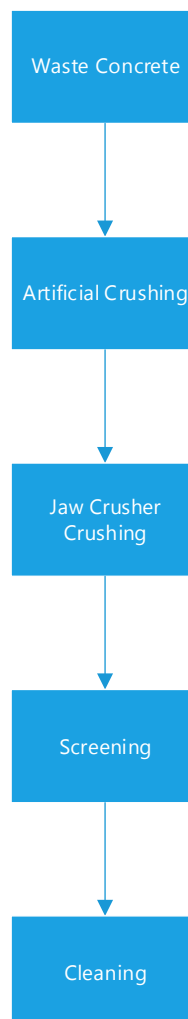
Dalam pengolahan agregat daur ulang di Rusia, mengingat limbah beton seringkali mengandung banyak limbah logam, kaca dan kayu serta serpihan lainnya, dipasang alat pemisah magnet khusus untuk memudahkan pembuangan kotoran seperti bagian logam. limbah beton, dengan meja pemisah untuk menghilangkan kotoran seperti kayu, plastik dan kaca. Proses ini juga dilengkapi dengan ayakan layar ganda, yang dapat menilai dan mengklasifikasikan agregat daur ulang, dan penghancuran sekunder agregat di atas 40 mm, yang dapat memperoleh lebih banyak agregat dengan ukuran partikel 0~40mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Proses proses ini merupakan proses daur ulang limbah konstruksi yang ideal, kelemahan dari metode pengolahan ini adalah peralatan yang banyak, biaya investasi pada tahap awal yang besar, dan sulit untuk dipromosikan. Dimana penghancuran blok dan penyaringan agregat di dalam negeri juga memiliki proses yang matang, kontrol penyortiran, penyortiran, pembersihan adalah salah satu teknologi proses utama.

Kebutuhan China akan agregat daur ulang dan tidak terlalu banyak, semuanya berupaya untuk kenyamanan dan masalah biaya, penggunaan metode produksi yang sederhana dan praktis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah: pertama-tama, limbah beton dalam jumlah besar, dihancurkan secara artifisial menjadi ukuran jaw crusher dapat dimasukkan ke dalam ukuran layar

dengan spesifikasi berbeda, lalu diayak, ambil agregat yang lebih besar dari 5mm, dan terakhir pembersihan agregat siaga, proses perhatian pada penghilangan kotoran, seperti kaca, logam dan kayu.



**Gambar 1.** Pembuangan limbah konstruksi



**Gambar 2.** Proses agregat daur ulang

### 1.3. Sifat fisik dan mekanik agregat daur ulang

#### 1.3.1. Komposisi agregat daur ulang

“Agregat daur ulang dapat dibagi menjadi agregat kasar daur ulang dan agregat halus daur ulang, dan secara umum partikel dengan ukuran partikel lebih besar dari 5 mm disebut agregat

kasar daur ulang, dan partikel dengan kisaran ukuran partikel 0,16 hingga 5 mm disebut agregat kasar daur ulang. agregat halus daur ulang” (Sagoe-Crentsil, 2001). “Agregat kasar daur ulang terutama terdiri dari batu-batu yang sebagian mortar semennya melilit permukaannya, dan juga mencakup sebagian kecil batu yang terlepas seluruhnya dari mortar serta sejumlah kecil partikel batu semen. Agregat halus daur ulang terutama terdiri dari kerikil dengan mortar semen yang menempel di permukaan, kerikil tanpa mortar semen di permukaan, partikel batu semen dan sejumlah kecil batu pecah yang terbentuk setelah penghancuran balok beton bekas. Apakah permukaan agregat daur ulang melekat pada mortar semen dan seberapa banyak mortar semen menempel padanya, berkaitan dengan faktor-faktor seperti tingkat kekuatan beton asli dan jenis agregat. Secara umum diyakini bahwa semakin tinggi tingkat kekuatan beton asli, semakin sedikit mortar semen yang menempel pada permukaan” (Yanagi, 1991).

### **1.3.2. Kepadatan yang tampak**

“Ada banyak faktor yang mempengaruhi berat jenis agregat daur ulang, terutama meliputi: berat jenis agregat pada beton asli, laju pasir dan rasio air-semen pada beton asli, ukuran partikel dan gradasi agregat daur ulang, komposisi partikel dan sifat agregat daur ulang, dan kandungan air agregat daur ulang, dll. Secara umum, massa jenis agregat daur ulang lebih kecil dibandingkan dengan agregat alami. Secara umum, kepadatan nyata agregat daur ulang lebih kecil dibandingkan agregat alami, menurut laporan B.C.S.J di Jepang, kepadatan nyata agregat kasar daur ulang jenuh muka kering adalah 2120 ~ 2430kg/m<sup>3</sup>, dan kepadatan nyata agregat halus daur ulang adalah 1970~2140kg/m<sup>3</sup>”. (BCSJ, 1983) Karena komposisi agregat daur ulang yang kompleks, maka dalam proses penelitian beton perlu dilakukan praktik. Karena komposisi agregat daur ulang yang kompleks, maka perlu ditentukan kepadatan semu agregat daur ulang dalam proses tersebut. penelitian khusus, untuk memberikan dasar yang diperlukan untuk desain proporsi beton agregat daur ulang.

### **1.3.3. Penyerapan air**

Agregat alam mempunyai porositas yang rendah, sehingga secara umum laju penyerapan air dan laju serapan air agregat alam sangat kecil. Untuk agregat daur ulang, partikelnya bersudut, permukaannya kasar, komposisinya mengandung banyak mortar semen yang mengeras, batu semen itu sendiri dalam badan mortar relatif berpori, dan dalam proses penghancurannya cenderung menghasilkan butiran yang besar. jumlah retakan dengan ukuran tertentu pada bagian dalamnya, sehingga dibandingkan dengan agregat alami, laju dan laju penyerapan air agregat daur ulang jauh lebih besar. Selain itu, Topcu (1997) dkk. menemukan bahwa “laju penyerapan air agregat daur ulang dengan massa jenis semu 2470 kg/m<sup>3</sup> dan modulus kehalusan 5,50 mencapai 7% setelah perendaman 30 menit, yang menunjukkan bahwa agregat daur ulang tidak hanya memiliki tingkat penyerapan air yang besar, tetapi juga mempunyai tingkat penyerapan air yang cukup cepat”. Pada saat yang sama, Kreiiiger (Hansen, 1986) juga “dari sejumlah besar hasil pengujian menemukan bahwa laju penyerapan air dari agregat daur ulang dan kepadatan nyatanya memiliki hubungan yang menurun, seperti kepadatan nyata 2400, 1900, 1700 dan 1300kg /m<sup>3</sup> agregat daur ulang masing-masing memiliki tingkat penyerapan air sebesar 3,8%, 9,7%, 12,8% dan 22,2%”.

Singkatnya, agregat daur ulang memiliki tingkat penyerapan air yang besar dibandingkan dengan agregat alami, dan tingkat penyerapan air yang cepat, yang harus mendapat perhatian khusus dalam desain proporsi beton agregat daur ulang. Untuk memastikan bahwa beton agregat daur ulang memiliki kemampuan kerja yang baik dan tingkat penyusutan kering yang kecil, laju penyerapan air dari agregat daur ulang harus dibatasi secara tepat untuk persiapan beton agregat daur ulang.

### **1.3.4. Indikator penghancuran**

Agregat alam mempunyai struktur yang keras dan padat dengan porositas yang rendah sehingga kuat tekannya tinggi. Dibandingkan dengan agregat alami, agregat daur ulang di satu sisi, karena adanya sekitar 30% mortar semen yang mengeras (Sun dkk, 1998) (Jianzhuang dkk, 2003), mortar semen ini menyebabkan permukaan kasar agregat daur ulang dengan lebih banyak sudut; sebaliknya, balok beton bekas memiliki banyak retakan mikro di dalam agregat daur ulang akibat akumulasi kerusakan selama proses penghancuran. Oleh karena itu, kekuatan agregat daur ulang

lebih rendah dibandingkan agregat alami. Indeks penghancuran agregat daur ulang harus ditentukan sesuai dengan proyek spesifik aktual.

### **1.3.5. Pengaruh agregat daur ulang terhadap kinerja beton agregat daur ulang**

Pengaruh agregat terhadap kekuatan beton ada dua (Nobuaki, 2003): satu adalah kekuatan agregat itu sendiri; yang lainnya adalah tingkat ikatan antar muka antara agregat dan mortar semen. Agregat daur ulang mengandung banyak retakan mikro, yang dapat berdampak buruk pada kekuatan beton agregat daur ulang. Namun pada saat yang sama, dibandingkan dengan beton biasa, beton agregat daur ulang mendaur ulang permukaan agregat kasar yang dibungkus dengan mortar semen, sehingga perbedaan modulus elastisitas antara agregat kasar daur ulang dan mortar semen baru menjadi kecil, dan ikatan antar mukanya diperkuat. Dengan cara ini, karena penguatan ikatan antar muka, penurunan kinerja beton agregat daur ulang yang disebabkan oleh rendahnya kekuatan agregat daur ulang akan dikompensasi sampai batas tertentu.

Menggabungkan dua faktor di atas, pengaruh agregat daur ulang terhadap kekuatan beton agregat daur ulang menjadi lebih kompleks, bergantung pada analisis situasi sebenarnya.

## **KUAT TEKAN BETON AGREGAT DAUR ULANG**

Banyak penelitian telah dilaporkan mengenai sifat tekan beton agregat daur ulang di dalam dan luar negeri, Malhotra (1976), Buck (1977), Ravindrarajah (1985), Dhir (1999), Limbachiya (1998), dan Gupta (2001) telah menemukan bahwa perkembangan kuat tekan seiring bertambahnya usia beton agregat daur ulang mengikuti pola yang sama dengan beton biasa. Namun penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton agregat daur ulang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. penelitian Nixon (1978) menunjukkan bahwa kuat tekan beton agregat daur ulang sekitar 20% lebih rendah dibandingkan beton normal; temuan eksperimental Liu S (2014) dan Tan Yishuai (2019) memiliki kesimpulan serupa. Uji Ravindrarajah (1985) menemukan bahwa kuat tekan beton agregat daur ulang 8 kali lebih rendah dibandingkan beton normal. kuat tekan berkurang 8-24% dibandingkan beton normal, dan hasil percobaan Xing Zhenxian (1998) menunjukkan bahwa kuat tekan beton agregat daur ulang berkurang sekitar 9%. Wesche (1982), Buck (1977), Malhotra (1976) dan Frondistou-Yannas (1977) menyimpulkan bahwa terdapat korelasi antara kuat tekan beton agregat daur ulang yang 10% lebih rendah dibandingkan beton polos. Sebaliknya, Hansen (1983) menunjukkan bahwa kekuatan beton agregat daur ulang cenderung lebih tinggi dibandingkan beton biasa; hasil serupa ditemukan dalam tes Ke Guojun (2002).

Dari hasil pengujian di atas terlihat adanya beberapa perbedaan kesimpulan dari berbagai peneliti. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kualitas agregat kasar daur ulang yang besar sehingga menyebabkan perbedaan kuat tekan beton agregat daur ulang.

### **2.1. Pengaruh Rasio Air-semen Terhadap Kuat Tekan Beton Agregat Daur Ulang**

Hasil pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa rasio pengikat air merupakan faktor utama yang mempengaruhi kuat tekan beton agregat daur ulang. Yong-Huang Lin (2004) dkk. melakukan uji ortogonal terhadap lima faktor (rasio pengikat air, kadar agregat kasar daur ulang, laju substitusi pasir sungai alami, kadar batu bata pecah, dan kebersihan agregat, dll.) yang mempengaruhi kekuatan beton agregat daur ulang, dan masing-masing faktor dibagi menjadi dua kelas (rasio pengikat air: 0,5, 0,7; kandungan agregat kasar daur ulang: 42% dan 40,4%; tingkat substitusi agregat halus daur ulang: 0% dan 100%; kandungan batu bata pecah: 5% dan 0%; kebersihan agregat: tidak dibilas, dibilas). Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya pengaruh terhadap kekuatan beton agregat daur ulang adalah dengan urutan tinggi ke rendah: rasio air-semen, laju substitusi pasir sungai alam, kebersihan agregat, kadar agregat kasar daur ulang, dan kadar batu bata pecah.

### **2.2. Pengaruh Penyerapan Air Terhadap Kuat Tekan Beton Agregat Daur Ulang**

“Semakin tinggi daya serap air agregat kasar daur ulang menunjukkan semakin tinggi kandungan mortar yang melekat, semakin besar porositasnya, maka semakin besar pula kehilangan kekuatan beton agregat daur ulang yang diformulasikan. Pengaruh penyerapan air agregat kasar

daur ulang pada beton agregat daur ulang juga terlihat pada beton agregat daur ulang. Pengurangan kemampuan kerja. Untuk meminimalkan hilangnya kemampuan kerja beton agregat daur ulang, sering kali agregat kasar perlu dibasahi terlebih dahulu atau meningkatkan konsumsi air pencampuran. Semakin tinggi daya serap air agregat kasar daur ulang maka semakin besar pertambahan jumlah air yang dibutuhkan, sehingga semakin besar penyusutan beton agregat daur ulang maka semakin besar kemungkinan terjadinya keretakan dini pada beton agregat daur ulang. Mengingat dampak buruk penyerapan air dari agregat kasar daur ulang terhadap kinerja beton agregat daur ulang, banyak negara dan wilayah telah membatasi penyerapan air dari agregat kasar daur ulang tidak lebih dari 10%” (Hong Kong SAR Government, 2002) (Hendriks dkk, 1998) (Commytte Concrete Spain, 2006)

### **2.3. Pengaruh Keadaan Agregat Kasar Daur Ulang Terhadap Kuat Tekan Beton Agregat Daur Ulang**

Perbedaan keadaan basah agregat kasar daur ulang juga dapat menyebabkan variasi kekuatan beton agregat daur ulang, M Barra de Oliveira dan E. Vazquez (1996) menyelidiki pengaruh keadaan basah agregat kasar daur ulang (kering, jenuh muka-kering, dan semi jenuh face-dry) terhadap kuat tekan beton agregat daur ulang, dan menyimpulkan bahwa keadaan semi jenuh face-dry agregat kasar daur ulang adalah yang paling menguntungkan untuk peningkatan kuat tekan, terutama untuk peningkatan kuat lentur. Disimpulkan bahwa kondisi agregat kasar daur ulang setengah jenuh dan kering muka merupakan kondisi yang paling menguntungkan untuk peningkatan kuat tekan, terutama untuk peningkatan kuat lentur. Namun, C.S. Poon (2004) dan yang lainnya menunjukkan bahwa “ketika agregat kasar daur ulang berada dalam keadaan kering udara, beton agregat daur ulang yang diformulasikan dengan agregat tersebut menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi, dan ketika agregat kasar daur ulang berada dalam keadaan kering muka jenuh, kuat tekan beton agregat daur ulang yang diformulasikan dengannya lebih rendah, dan menyarankan bahwa bila laju substitusi agregat kasar daur ulang tidak melebihi 50%, agregat daur ulang dalam keadaan kering udara dapat digunakan untuk memformulasi kuat tekan yang sama dengan beton normal sama dengan kuat tekan beton biasa. beton dengan kuat tekan yang sama dengan beton agregat daur ulang”.

### **2.4. Pengaruh Berat Jenis Agregat Kasar Daur Ulang Terhadap Kuat Tekan Beton Agregat Daur Ulang**

Rendahnya kepadatan agregat kasar daur ulang secara langsung menyebabkan penurunan kepadatan beton agregat daur ulang yang diformulasikan darinya, yang menyebabkan penurunan kuat tekan dan modulus elastisitas beton agregat daur ulang (Li dkk, 2004). Pengujian yang dilakukan oleh Müller (1998) menyimpulkan bahwa “ada hubungan linier tambahan antara kepadatan jenuh muka kering agregat kasar daur ulang dan kuat tekan kubus beton agregat daur ulang”.

### **2.5. Pengaruh Kekuatan Beton Asli Terhadap Kuat Tekan Beton Agregat Daur Ulang**

Hansen dan Narud (1983) menemukan bahwa, “dalam kondisi faktor-faktor lain pada dasarnya sama, kuat tekan beton agregat daur ulang terutama ditentukan oleh rasio air semen dari beton asli dan beton agregat daur ulang, dan dengan meningkatnya dari perbandingan air-semen beton asli, kekuatan beton agregat daur ulang pada dasarnya menurun secara bertahap”. “Kekuatan beton agregat daur ulang mutu tinggi dengan beton asli mutu rendah sebagai agregat kasar adalah 39% lebih rendah dibandingkan beton agregat daur ulang mutu tinggi dengan beton asli mutu tinggi sebagai agregat kasar. Selain itu, kuat tekan beton agregat daur ulang sebanding atau lebih unggul dari beton biasa jika perbandingan air-semen beton asli tidak melebihi perbandingan beton agregat daur ulang. Hasil yang sama juga ditemukan pada pengujian De Pauw” (1981)

## **KEKUATAN TARIK BELAH BETON AGREGAT DAUR ULANG**

Kekuatan tarik adalah salah satu indeks mekanis paling dasar dari beton agregat daur ulang, yang merupakan dasar yang sangat diperlukan untuk mempelajari ketahanan retak beton agregat daur ulang serta desain dan perhitungan komponen strukturalnya, dan untuk diskusi tentang

mekanisme penghancuran beton agregat daur ulang, dll. Pada saat yang sama, kualitas penampilan dan daya tahan beton berkaitan erat dengan penampilannya. Sedangkan mutu tampilan dan keawetan beton erat kaitannya dengan kuat tariknya. Telah diketahui bahwa kuat tarik beton biasanya ditentukan secara tidak langsung melalui penentuan kuat tarik belah.

### **3.1. Perbandingan Kuat Tarik Beton Agregat Daur Ulang dengan Kuat Tarik Beton Biasa**

Jau (2004) dkk. menemukan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang lebih rendah dibandingkan beton normal, dengan penurunan berkisar antara 7,44 hingga 20%. Kesimpulan serupa dicapai oleh percobaan Kou (2004), yang hasil pengujiannya menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang menurun seiring dengan peningkatan laju substitusi agregat kasar daur ulang, dan secara keseluruhan, kuat tarik belah beton agregat daur ulang lebih rendah dibandingkan beton normal sebesar 18,2%. Studi eksperimental oleh Sagoe (2001) dkk. menemukan bahwa kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang menurun dengan meningkatnya laju substitusi agregat kasar daur ulang. Jika tingkat penggantian agregat kasar daur ulang adalah 50%, kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang adalah 85% dari beton normal; ketika tingkat penggantian agregat kasar daur ulang adalah 100%, kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang adalah 40% dari beton normal. Eksperimen Kheder (2005) menemukan bahwa, ketika rasio air-semen tinggi, kekuatan agregat kasar daur ulang lebih besar daripada kekuatan pasta semen, dan kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang berkurang dengan kekuatan semen tempel. Kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang ditentukan oleh kekuatan pasta semen; ketika rasio karet air rendah, kekuatan agregat kasar daur ulang lebih kecil dari kekuatan pasta semen, kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang ditentukan oleh kekuatan agregat kasar daur ulang, dan dua batas karet air rasionya adalah 0,5. Kesimpulannya, hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang adalah 12,9~23,5% dari beton biasa.

Namun hasil pengujian Mustafa (2003) menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang lebih tinggi dibandingkan beton polos. Kesimpulan serupa juga dicapai oleh Gupta (2001) yang hasil pengujiannya menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang dengan rasio air terhadap semen yang tinggi lebih besar dibandingkan beton polos. Pengujian yang dilakukan oleh Jahnston (2003) menemukan bahwa jenis agregat kasar daur ulang merupakan faktor pengaruh yang paling penting. Semakin banyak mortar semen yang menempel pada permukaan agregat kasar daur ulang, maka semakin tinggi kuat tarik belah beton agregat daur ulang dan semakin rendah pula kuat tekan setiap perbandingan air terhadap semen. Penelitian Jahnston menyimpulkan bahwa kekuatan ikatan agregat kasar dengan mortar semen mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tarik belah beton agregat daur ulang dan pengaruh yang lebih kecil terhadap kuat tekan. Mansur (2002) mempelajari kuat tarik belah beton agregat daur ulang yang diformulasikan dengan batu bata bekas sebagai agregat kasar dan kuat tekan beton agregat daur ulang yang diformulasikan dengan batu bata bekas sebagai agregat kasar. Kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang agregat bata lebih tinggi dibandingkan beton normal sebesar 12%.

Selain itu, beberapa peneliti meyakini bahwa kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang serupa dengan beton biasa. Hasil percobaan Ravindrarah (1985) menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang sama dengan beton normal. Hasil percobaan Ryu (2002) menemukan bahwa jenis agregat kasar daur ulang mempunyai pengaruh yang kecil terhadap kuat tarik belah beton agregat daur ulang bila perbandingan air-semennya 0,55. Kuat tarik belah beton agregat daur ulang dengan perbandingan air-semen sebesar 0,25 tergantung pada kualitas antarmuka lama dan baru dari agregat kasar daur ulang. Jika kualitas antarmuka baru lebih rendah daripada kualitas antarmuka lama, kekuatan pemisahan beton agregat daur ulang bergantung pada rasio air-semen; ketika kualitas antarmuka baru lebih unggul daripada kualitas antarmuka lama, kekuatan pemisahan beton agregat daur ulang bergantung pada kekuatan agregat kasar daur ulang. Pengujian yang dilakukan oleh Ravindrarah (1985) menyelidiki hubungan antara kuat tarik belah beton agregat daur ulang dengan beton asli, dan hasilnya menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton agregat daur ulang berada pada kisaran 15% dari kuat tarik belah beton agregat daur ulang beton perawan. RILEM [47] mengembangkan berbagai indeks sifat mekanik untuk beton agregat daur ulang, di mana nilai desain kekuatan tarik belah ditetapkan sebesar 1 MPa.

### 3.2. Hubungan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Kubus Beton Agregat Daur Ulang

Studi Kou (2003) menunjukkan bahwa "rasio tarik belah terhadap kuat tekan beton agregat daur ulang lebih rendah dibandingkan beton normal". Li Jiabin (2004) mengumpulkan kekuatan tarik belah beton agregat daur ulang yang diperoleh oleh peneliti berbeda  $f_{sp}$  dan nilai uji kuat tekan  $f_{cu}$  dari peneliti berbeda dan menganalisisnya dengan analisis regresi, dan menyimpulkan bahwa hubungan konversi antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton daur ulang beton agregat adalah  $f_{sp} = f_{cu} 0,65$ . Pengujian oleh Mansur (2002) menunjukkan bahwa "semakin tinggi kuat tekan beton agregat daur ulang, semakin tinggi pula kuat tarik belahnya dan memberikan hubungan konversi antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton agregat daur ulang sebagai  $f_{sp} = 0,63(f_{cu}) 0,5$ ". Kheder (2005) menganalisis "hasil pengujian dan menyimpulkan bahwa hubungan antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton agregat daur ulang diberikan oleh  $f_{sp} = 0,5676(f_{cu}) 0,4988$ ". Jau [39] dkk. menganalisis analisis regresi data pengujian dan menyimpulkan bahwa hubungan konversi antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton agregat daur ulang diberikan oleh  $f_{sp} = 1,75(f_{cu}) 0,5$  Jau (2004) dkk.

### KESIMPULAN

Meringkas hasil penelitian di atas, terlihat bahwa selama ini sifat material beton agregat daur ulang telah banyak dipelajari di dalam dan luar negeri, dan banyak hasil penting yang telah diperoleh. Namun, perlu diperhatikan bahwa sebagian besar hasil penelitian ini didasarkan pada hasil pengujian beton agregat daur ulang bersumber tunggal, dan hanya ada sedikit penelitian tentang sifat mekanik dasar beton agregat daur ulang dari berbagai sumber. Dalam rekayasa praktis, karena beragamnya sumber limbah beton, terdapat lebih banyak faktor yang mempengaruhi sifat mekanik beton agregat daur ulang yang diformulasikan darinya, sehingga mengakibatkan perbedaan yang besar antara sifat mekanik beton agregat daur ulang dari sumber yang berbeda dan yang berasal dari sumber yang berbeda. beton agregat daur ulang sumber tunggal. Oleh karena itu, untuk mendorong penerapan beton agregat daur ulang, penelitian mengenai pekerjaan di atas perlu dikembangkan lebih lanjut.

### DAFTAR PUSTAKA

- BCSJ. Study on recycled aggregate and recycled aggregate concrete. Building Contractors Society of Japan Committee on disposal and reuse of concrete construction waste. Summary in Concrete Journal. 1983;5(1):79-83.
- Buck AD. Recycled concrete as a source of aggregate. Journal of ACI. 1977;212-219.
- China renewable resources information network. Overview of the current status of foreign waste concrete recycling [EB/OL]; 2022. Available: <http://www.rrtj.cn/news/4183.html>
- Dhir RK, Limbachiya MC. Suitability of recycled aggregate for use in BS 5328 designated mixes. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1999;(134): 257-274.
- Frondestou-Yannas. Waste concrete as aggregate concrete for new concrete. Journal of ACI. 1977;212-219.
- Gupta SM. Strength characteristics of concrete made with demolition waste as coarse aggregate. Proceedings of the International Conference on Recent Development in Structural Engineering, 2001;364-373.
- Hansen EBTC. Recycling of demolished concrete and masonry. J. Rirem Report L; 1992.
- Hansen TC. Recycled aggregate and recycled aggregate concrete. second state of art report, development from 1945-1985. RILEM technical committee 37 DRC. Material and Structures. 1986;19(5):201-246.
- Hendriks CF, Pieterse HS. Sustainable Raw Materials-Construction, Demolition Waste, RILEM Report 22, RILEM Publication Series, F-94235 Cachan Cedex, France; 1998.
- Jahnston Zaharieva. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. Cement & Concrete Composites. 2003;(25):223-232.
- Jianzhuang Xiao, Li Jiabin, Lan Yang. Recent progress and review of research on recycled concrete technology. Concrete. 2003;(10):17-20,57.



- Jianzhuang XIAO, ZHANG Jie. Sources and recycling prospects of waste concrete in Shanghai. Fly ash, 2006;(03):41-43.
- Jianzhuang Xiao. Recycled concrete M. China construction industry press; 2008.
- Ke GJ, Zhang YL. Practical study of recycled concrete. Concrete. 2002;(4):47- 48.
- Kheder GF, Al-Windawi SA. Variation in mechanical properties of natural and recycled aggregate concrete as related to the strength of their binding mortar. materials and Structures. 2005;38:701- 709.
- Kou SC, Chi S, Poon, Dixon Chan, Properties of steam cured recycled aggregate fly ash concrete. Hong Kong Polytechnic University. 2004;154-164.
- Li Jiabin, Xiao Jianzhuang, Sun Zhenping. Characteristics of recycled coarse aggregate and its effect on the performance of recycled concrete. Journal of Construction Materials. 2004;7(4):390- 395.
- Limbachiya MC, Leelawat T. RCA concrete: A study of properties in the fresh state, strength development and durability. Proceedings of International Conference on Sustainable Construction: use of Recycled Concrete Aggregate, University of Dundee, Scotland. 1998;227-237.
- Lina HOU, Mengdi HE, HUANG Wei et al. Research status and prospect of mechanical properties of fiber reinforced recycled concrete[J]. Journal of Xi'an University of Technology. 2021;37 (3): 403-413.
- Liu S, Wei X, Wei w, et al. Influence of recycled coarse aggregate on recycled concrete performance [J]. Building Structure. 2014;44(14):17-20.
- M Barra de Oliveira, E. Vazquez. The influence of retained moisture in aggregate from recycling on the properties of new hardened concrete. Waste Management. 1996:113-117.
- Malhotra VM. Use of recycled concrete as a new aggregate. Report 76-18, Canada Center for Mineral and Energy Technology, Ottawa, Canada; 1976.
- Meng Ercong, YU Yalin, YUAN Jun et al. Influence of temperature on the triaxial compressive behavior and failure criterion of recycled aggregate concrete [J]. Journal of Basic Science and Engineering. 2019;27 (6):1370-1380.
- Mohammad A. Mansur TH, Wee, Lee Soo Cheran Crushed bricks as coarse aggregate for concrete. ACI Materials Journal. 2002;7(2):478-484.
- Mostafa Tavakoli, Parviz Soroushian Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. ACI Materials Journal. 2003; 9(3):182-191.
- Müller CH, Wiens U. Bewertung der bei der Aufbereitung von Bauschutt anfallenden Recyclingzuschläge hinsichtlich der Eignung als Betonzuschlag. Baustoffkreislauf im Massivbau (BiM). Statusseminar; 1998.
- Nixon PJ. Recycled concrete as an aggregate for concrete- A review. Materials and Structures. 1978;371-378.
- Nobuaki O. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE. 2003 ;15(5):443-441.
- Nugroho, D. H. (2022, October). Onyx Stone Waste As a Replacement of Coarse Aggregate In Concrete Mixture. In *Proceedings of the International Seminar on Business, Education and Science* (Vol. 1, pp. 199-207).
- Nugroho, D. H. (2023, December). Evaluating The Structural Performance Of Ceramic Waste As A Partial Substitute For Coarse Aggregate In Concrete Properties. In *INTERNATIONAL SEMINAR* (Vol. 5, pp. 292-298).
- Pauw De. Fragmentation and recycling of reinforced concrete. some research results. Proceedings of the NATO Conference on Adhesion Problems in the Proceedings of the NATO Conference on Adhesion Problems in the Recycling of Concrete. 1981;311-317.
- Poon CS, Shui ZH, Lam L, et al. Influence of Moisture States of Natural and aggregate on the slump and compressive strength of concrete. Cement and Concrete Research. 2004;(34):31-36.
- Ravindrarajah R, Tam CT. Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. Magazine of Concrete Research. 1985;37(130):29- 38.

- RELIM. Specifications for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*. 1994;(27):557-559.
- Ryu JS. An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*. 2002;54(1):7-12.
- Sagoe-Crentsil KK, Brown T, Taylor AH. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*. 2001;(31):707-712.
- Sagoe-Crentsil KK, Brown T, Taylor AH. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*. 2001;31:707-712.
- Sun ZP, Tan GQ, Wang XY. Recycled concrete technology. *Concrete*. 1998;(4):36-40.
- Sunarwadi, H. S. W., Nugroho, D. H., & Apriani, R. D. (2023). Eksperimental Pemanfaatan Limbah Banner (Polyvinil Chlorida) Dalam Pembuatan Mortar Berserat (Fiber Mortar). *JURNAL DAKTILITAS*, 3(2), 94-100.
- Tan Yishuai, Peng Youkai, Wu Hui, et al. Uniaxial compressive constitutive relationship of recycled concrete under different substitution rates of recycled fine aggregates. *Concrete*. 2019;(03):65-70.
- Task force of the standing committee of concrete of Spain. Draft of Spanish regulations for the use of recycled aggregate in the production of structural concrete; 2006.
- Topcu IB. Physical and mechanical properties of concrete produced with waste concrete. *Cement and Concrete Research*. 1997;27(12):1817-1823.
- Torben C. Hansen, Henrik Nanud. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*. 1983;5(1):79-83.
- Wen-Chen Jau, Che-Wu Fu, Ching-Ting Yang. Study of feasibility and mechanical properties for producing high-flowing concrete with recycled National Chiao Tung University, Hsinchu. 2004;300,245-253.
- Wesche K. Beton aus aufbereitetem Altbeton. *Beton*, (in German). 1982;(32): 2-3.
- Works bureau technical circular specifications facilitating the use of recycled aggregates. Hong Kong SAR Government; 2002.
- Xing ZX, Zhou YN. Basic properties of recycled concrete. research on the basic properties of recycled concrete. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydropower*. 1998;19(2) :30-32.
- Yanagi K. Concrete using recycled aggregate. *Gypsum and Lime*. 1991;(234): 140-146.
- Yong-Huang Lin, Yaw-Yuan Tyan, Ta Peng Chang, Ching- Yun Chang. An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Research*. 2004;(34 4):1373-1380.
- Zhou Jinghai, WU Di, ZHAO Tingyu, et al. Pressure and creep and characteristics of waste fiber recycled concrete and estimation model[J]. *Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2019;41(6):143-151