JURNAL REKAYASA INFRASTRUKTUR
ISSN : 2460-335X
E-ISSN : 2686-6587
Vol 11 No 1, Juni 2025

PERBANDINGAN KEEKONOMIAN BETON MENGGUNAKAN AGREGAT ALAM DAN AGREGAT DAUR ULANG

Suharwanto[1*]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wiralodra, Kecamatan Indramayu
suharwanto.ft@unwir.ac.id

ABSTRACT

Stone exploration and sand that will be used as concrete raw materials will have an impact on environmental damage. The Rocky Mountains become flat or can even leave deep holes, and river sand mining can damage the ecosystem and river depth. This requires finding alternative materials to replace natural stone and sand. The recycled aggregate (RA) using concrete (it is called recycled concrete) will reduce the exploitation of natural resources and construction waste. This study aims to compare the economics between concrete using natural aggregate (NA) and recycled concrete waste aggregate. The research methodology is experimental that compressive strength testing, material cost analysis, and unit costs per m³ calculation of concrete. The research results show that recycled concrete aggregate has lower cost while lower compressive strength. The recycled aggregate cost can save up to 15–20%, depending on the source and processing of recycled aggregate. This study recommends the use of RA as a viable economic alternative, especially for reducing rock and sand exploration and it is used for non-structural or secondary structures.

Keywords: alternative material; economics exploitation; material exploitation; natural Aggregate; recycled concrete aggregate

ABSTRAK

Ekplorasi batu alam dan pasir alam yang akan diguankan sebagai bahana dasar (*raw material*) pembuatan beton akan berdampak pad kerusakan lingkungan. Gunung batu menjadi rata atau bahkan dapat meninggalkan lubang yang dalam, serta penambangan pasir alam atau sungai akan merusak ekosistem dan ke dalam sungai. Hal ini perlu dicari bahan alternative pengganti batu dan pasir alam. Penggunaan agregat daur ulang (*recycled aggregate*/RA) dalam beton menjadi bahan alternatif untuk pembuatan beton (sering disebut beton daur ulang) yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi eksploitasi sumber daya alam dan limbah konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan keekonomian antara beton yang menggunakan agregat alam (*natural aggregate*/NA) dan agregat daur ulang dari limbah beton bekas. Metodologi yang digunakan adalah eksperimental yang meliputi pengujian kuat tekan, analisis biaya material, dan perhitungan biaya satuan per meter kubik beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang dapat menghemat biaya hingga 15–20%, walaupun beton dengan daur ulang memiliki kuat tekan yang lebih rendah, tergantung pada sumber dan proses pengolahan agregat daur ulang. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan beton daur ulang sebagai alternatif keekonomian yang layak, khususnya untuk proyek non-struktural atau sekunder.

Kata kunci: agregat alam; agregat daur ulang; bahan alternatif; beton daur ulang; eksploitasi; keekonomian beton

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material utama yang paling banyak digunakan untuk bahan konstruksi, karena kemudahan untuk mendapatkan bahan pembentuknya atau bahan dasarnya, kekuatan tekan yang tinggi, daya tahan, mudah dibentuk, dan fleksibilitas penggunaannya [11], [12], dan [24]. Salah satu komponen utama bahan pembentuk beton adalah agregat alam berupa batu pecah dan pasir, yang biasanya berasal dari sumber daya alam, seperti batu pecah atau kerikil dan pasir Sungai, sehingga terjadi eksploitasi besar-besaran dan terus menerus terhadap agregat alam tersebut [12]. Eksploitasi agregat alam ini dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan meningkatkan biaya produksi akibat keterbatasan sumber daya yang semakin berkurang dimasa mendatang dan biaya transportasi [12] dan [13].

Peningkatan penggunaan agregat alam yang dapat merusak lingkungan tersebut, menimbulkan kesadaran untuk melakukan pembangunan yang berkelanjutan dan efisiensi ekonomi [12] dan [24]. Di sisi lain, adanya limbah bongkaran bangunan dari material beton akibat perubahan fungsi bangunan membangun baru, sehingga dibongkar, perbaikan jalan beton yang melakukan penggantian dengan material beton, atau kegiatan lainnya yang menimbulkan limbah/sampah padat berupa beton buangan yang menjadi material sampah/limbah padat [22] dan [23]. Penggunaan agregat daur ulang yang merupakan hasil pecahan bekas bongkahan beton buangan menjadi bahan dasar (*raw material*) pembentuk beton ini diharapkan dapat menjadi bahan alternatif yang menarik [26]. Agregat daur ulang ini diharapkan dapat menjadi beton yang ramah lingkungan dan harga yang lebih murah. Selain membantu mengurangi volume limbah padat dan tekanan terhadap lingkungan, pemanfaatan agregat daur ulang juga berpotensi menurunkan biaya produksi beton, terutama di daerah yang jauh dari sumber agregat alam [6] dan [8].

Pemilihan penggunaan agregat alam dan agregat daur ulang tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan, jarak dari sumbernya, dan faktor lingkungan, tetapi perlu juga ditinjau berdasarkan pertimbangan keekonomian. Keekonomian dalam hal ini mencakup biaya bahan baku, biaya pengolahan, biaya transportasi, serta pengaruhnya terhadap kinerja beton itu sendiri [18], [22], dan [23].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan aspek keekonomian antara penggunaan agregat alam dan agregat daur ulang dalam campuran beton, dengan memperhatikan biaya langsung serta pengaruhnya terhadap mutu beton yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, mutu beton yang dianalisis dibatasi pada beton dengan kekuatan 20 MPa dan 25 MPa. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pertimbangan teknis dan ekonomis bagi pelaku industri konstruksi dalam memilih jenis agregat yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, pemanfaatan limbah padat berupa beton daur ulang juga dapat mengurangi timbunan sampah padat dan dampak negatif terhadap kesuburan tanah di tempat pembuangan a

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan material konstruksi yang tersusun dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lainnya. Agregat menyumbang sekitar 60–75% dari volume total beton, sehingga kualitas dan jenis agregat sangat memengaruhi sifat teknis dan biaya beton [13]. Secara umum, agregat dibagi menjadi dua, yaitu agregat kasar dan halus. Agregat kasar berupa batu pecah atau kerikil dengan ukuran tertentu yang memenuhi syarat ukuran dan gradasi/penyebaran butiran yang proporsional. Sedangkan agregat halus berasal dari pasir atau abu batu dengan diameter butiran maksimum 4.75 mm [20]. Secara umum, agregat yang digunakan dalam campuran beton terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu agregat alam dan agregat

daur ulang. Agregat alam berasal dari sumber daya alam seperti batu pecah, kerikil, dan pasir sungai, sedangkan agregat daur ulang diperoleh dari hasil penghancuran limbah beton atau material bangunan yang tidak terpakai, yang berpotensi menjadi bahan alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi. Penggunaan agregat daur ulang menjadi solusi dalam mengurangi eksploitasi sumber daya alam dan limbah konstruksi [9], [20], dan [22].

1) Agregat Alam
   Agregat alam berasal dari hasil proses alami seperti batuan pecah atau kerikil, pasir Sungai.. Ketersediaan agregat alam cukup melimpah di beberapa wilayah, namun penggunaannya secara masif menimbulkan dampak lingkungan, seperti kerusakan ekosistem dan penurunan cadangan sumber daya alam[12]. Di sisi lain, kualitas agregat alam umumnya stabil dan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan tinggi.
2) Agregat Daur Ulang
   Agregat daur ulang (*Recycled Concrete Aggregate*/RCA) diperoleh dari hasil pembongkaran struktur beton lama, yang kemudian dihancurkan dan disaring untuk digunakan kembali. Penggunaan RCA mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi limbah konstruksi dan ketergantungan pada agregat alam [14]. Namun, agregat daur ulang biasanya memiliki porositas lebih tinggi dan daya serap air yang lebih besar, yang dapat memengaruhi mutu beton [5].
3) Performa Beton Menggunakan Agregat Daur Ulang
   Studi menunjukkan bahwa beton dengan RCA memiliki kuat tekan yang sedikit lebih rendah dibanding beton dengan agregat alam, terutama jika tidak dilakukan perbaikan pada proses desain campuran [4] dan [17]. Meskipun demikian, dengan pengolahan dan teknik pencampuran yang tepat, performa beton RCA masih memenuhi standar struktural tertentu.
4) Keekonomian Beton
   Keekonomian dalam konteks konstruksi beton mencakup seluruh biaya dari mulai biaya bahan baku, produksi, transportasi, pelaksanaan, dan dampak lingkungan yang ditimbulkan. produksi, pengangkutan, hingga pemeliharaan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan RCA dapat menekan biaya material hingga 10–20%, tergantung pada lokasi sumber dan proses daur ulang [22]. Penghematan ini juga dipengaruhi oleh biaya pembuangan limbah dan jarak transportasi.
5) Penelitian Terkait
   a) Penelitian yang dilakukan oleh Limbachiya et al. (2007) [22] menunjukkan bahwa RCA dapat digunakan secara ekonomis dalam campuran beton struktural jika proporsinya disesuaikan. Sementara itu, penelitian di Indonesia oleh Wibowo & Sari (2018) [25] mengungkapkan bahwa penggunaan agregat daur ulang dapat menurunkan biaya produksi beton sekitar 15%, dengan penurunan kuat tekan beton tidak lebih dari 10%.
   b) Diah Rachmawati & Bambang Suhendro (2016) [16] menghasilkan penelitian antara lain:
      - Harga per m^3 beton dengan agregat daur ulang lebih rendah karena pengurangan biaya bahan baku.
      - Namun, terdapat kenaikan biaya perawatan dan aditif tambahan untuk mempertahankan mutu.
      - Efisiensi ekonomi tergantung pada jarak sumber limbah beton dan biaya penghancuran/pengayakan.
   c) Penelitian yang dilakukan oleh Wijaya, I. G. N. A., dkk (2019) [27], mengahasilkan penelitian antara lain:
      - Beton dengan agregat daur ulang menghemat biaya sebesar 12–18%, khususnya pada proyek skala besar.
      - Potensi penghematan meningkat bila daur ulang dilakukan di lokasi proyek (on-site recycling).
      - Cocok untuk lapisan bawah (lean concrete), saluran drainase, dan struktur sekunder.
   d) Kusuma & Santosa (2021) [7] mengahasilakna penelitian antara lainL

- Biaya produksi beton dengan agregat daur ulang lebih murah 10–20% tergantung lokasi.
- Agregat daur ulang dari limbah lokal (bekas bangunan kota) mengurangi biaya transportasi dan TPA.
- *Return on Investment* (ROI) meningkat untuk proyek pemerintah berorientasi pada green construction.

3. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental yang bertujuan untuk membandingkan keekonomian antara beton yang menggunakan agregat alam dan agregat daur ulang berdasarkan biaya produksi dan performa beton (kuat tekan).

Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dan analisis biaya, dengan membuat dua jenis campuran beton:
- Beton dengan agregat alam
- Beton dengan agregat daur ulang

Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari:
- Variabel bebas: Jenis agregat (alami dan daur ulang)
- Variabel terikat: Biaya produksi per m^3 beton dan kuat tekan beton
- Variabel kontrol: Komposisi campuran beton selain agregat (semen, dan air), metode pencampuran, perawatan (*curing*), dan waktu uji

Prosedur Penelitian

1) Pengumpulan Material
   - Agregat alam: diperoleh dari pemasok lokal
   - Agregat daur ulang: diperoleh dari pengumpulan limbah beton bekas yang telah diuji di Laboratorium.
   - Material lain: semen Portland, air, diperoleh dari lokal Indramayu.
2) Pengujian Awal Agregat
   - Gradasi
   - Berat jenis
   - Kadar air
   - Abrasi (untuk agregat kasar)
   - Nilai keausan Los Angeles
3) Pembuatan Campuran Beton
   - Desain campuran (mix design) beton menggunakan metode tertentu (misalnya SNI 7656:2012) [21]
   - Volume sampel beton misalnya 3–5 kubus uji untuk tiap variasi
4) Uji Kuat Tekan
   Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari sesuai standar SNI 1974:2011 [19]
5) Analisis Biaya Produksi
   - Menghitung biaya per m^3 beton untuk setiap jenis agregat

- Komponen biaya: harga agregat, pengolahan agregat daur ulang (*crushing, screening*), transportasi, tenaga kerja, dan biaya material lainnya

6) Analisis Data dan Perbandingan Keekonomian
   - Data kuat tekan diolah secara statistik (rata-rata, standar deviasi)
   - Perbandingan biaya dan kuat tekan dilakukan untuk menentukan efisiensi ekonomi

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil (Universitas Wiralodra - Idramayu) dan berlangsung selama sekitar 2 bulan, termasuk tahap pengumpulan material, pembuatan beton, perawatan (*curing*), pengujian, dan analisis data.

Alat dan Bahan

- Alat: mesin uji tekan beton, cetakan silinder/kubus beton, timbangan digital, mixer, alat uji gradasi
- Bahan: agregat alam, agregat daur ulang, semen, dan air bersih,

Rencana Pengujian dan Analisa

- Uji Los Angeles untuk mendapatkan nilai keausan agregat kasar
- Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari.
- Analisis biaya per m^3 beton berdasarkan harga material, proses pengolahan, dan transportasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Material

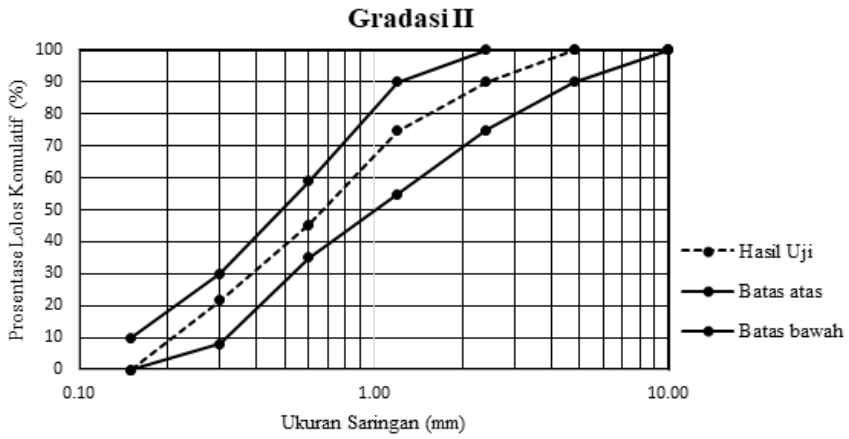
Agregat daur ulang memiliki tingkat keausan dan penyerapan air yang lebih tinggi dibandingkan agregat alam, yang berdampak pada peningkatan kebutuhan air pada beton. Hasil pengujian diperloleh nilai karaakteristik material agregat kasar, halus dan daur ulang dapat dilihat pada Tabel 1. Selain itu, gradasi masing-masing agregat dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3. Namun, gradasi agregat kasar daur ulang diatur agar dapat memenuhi persyaratan untuk membuat beton. Hal ini dilakukan dengan cara mengatur besar dan susunan saringannya.

Tabel 1. Nilai Karakteristik material pembentuk beton.

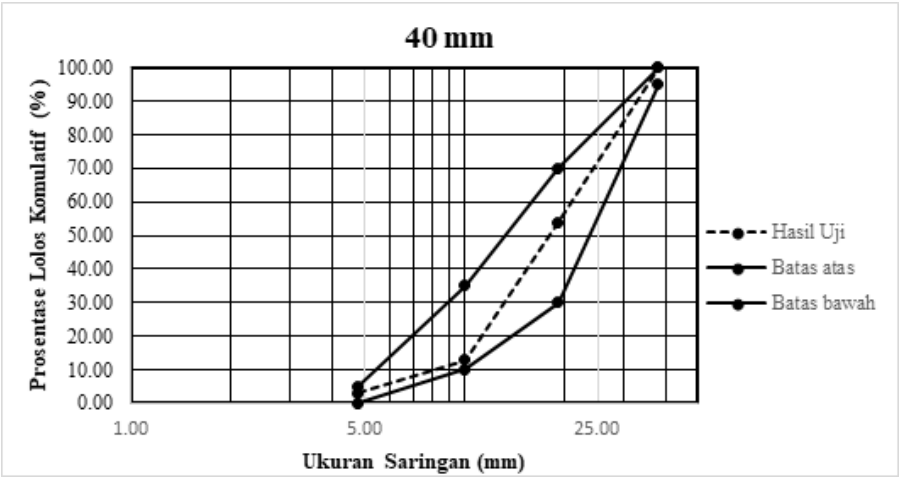
Jenis Pengujian	Agregat Alam		Agregat daur uang
	Kasar	Halus	
Apparens Specific Gravity	2,66	2,75	2,53
Densitas (kg/cm^3) SSD	2,60	2,46	2,25
% water absorption	1,45	7,18	2,40
Berat Volume padat (kg/cm^3)	1,41	1,55	1,48
Berat Volume gembur (kg/cm^3)	1,28	1,39	1,25
Agregat Maksimum (mm)	40,00	4,75	40,00
Kadar lumpur (%)	0,042	0,31	0,10
Kadar air (%)	1,61	9,51	1,85
Keausan (%)	23,60	-	32,60
Modulus Kehalusan	-	2,50	2,35

Berdasarkan nilai karakteristik yang ada di dalam Tabel 1, maka masing-masing agregat pembentuk beton tersebut masih memenuhi persyaratan untuk campuran beton. Selain itu, gradasi

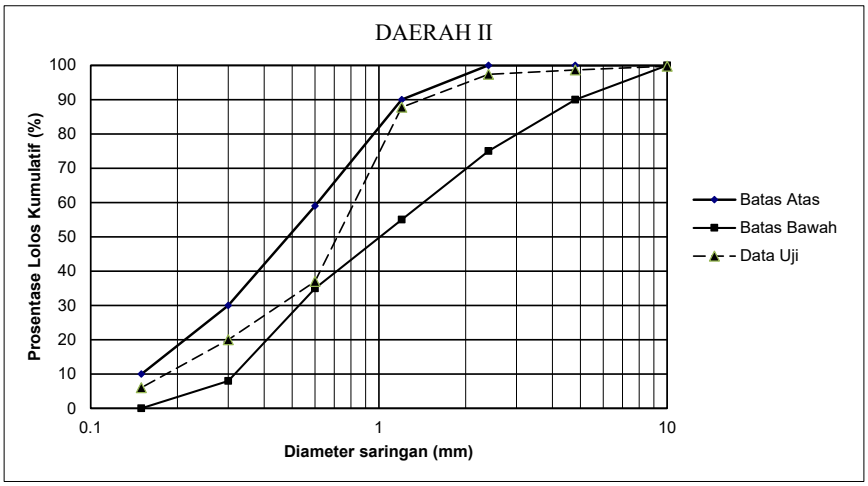
agregat kasar, halus dan daur ulang juga masih berada di dalam rentang persayaratan. Oleh karena itu, agregat tersebut dapat digunakan untuk membuat benda uji tekan.



Gambar 1. Gradasi Pasir



Gambar 2. Gradasi Batu Pecah



Gambar 2. Gradasi Agregat Halus Daur Ulang

Berdasarkan uji gradasi terhadap agregat alam dan daur ulang, diperoleh gradasi masing-masing agregat yang masih di dalam batas atas dan baawah persyaratan untuk bahan pembentuk beton. Dengan demikian, material agregat alam dan daur ulang tersebut dapat digunakan untuk bahan pembentuk beton.
Berdasarkan hasil uji abdrasi dengan alat uji Los Angeles Test batu pecah yang digunakan untuk pebuatan beton agregat alam adalah 23,60% dan untuk agregat daur ulang adalah 32,60%. Nilai ini masih memenuhi persayaratan untuk pmbuatan beton. Nilai maksimumnya adalah 40% (SNI 03-2417-1991) atau 40 – 50% (ASTM C131/C535)

4.2. Komposisi Campuran Beton

Perhitungaan komposisi bahan campuran di dalam beton dapat dilihat pada Tabel 2. Perhitungan ini berdaskan SNI 03-2834-2000.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton pada kondisi sesuai asalnya.

Jenis Material	Agregat Alam (kg)		Agregat daur uang (kg)	
	20 MPa	25 MPa	20 MPa	25 MPa
Semen	322	360	322	360
Agregat Kasar	1045	1045	1099	1099
Agregat Halus	1889	1857	1594	1567
Air	131	133	175	179

4.3. Pengujian Beton Segar (*Slump Test*)

Uji *slump* dilakukan untuk mengukur tingkat konsistensi dari adonan beton yang baru dibuat sebelum digunakan. Hasil uji dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil uji *Slump* Beton.

Jenis Material	Agregat Alam (cm)	Agregat daur uang (cm)
20 MPa	8,30	7,80
25 MPa	7,50	7,10

Berdasarkan nilai hasil uji slump, Agregat daur ulang mempunyai *slump* yang lebih kecil, walaupun pada komposisi campuran beton membutuhkan air yang lebih banyak. Hal ini diakibatkan oleh adanya penyerapan yang lebih tinggi, di mana agregat daur ulang memiliki selimut mortar lama yang mempunyai pori-pori yang lebih tinggi dan menyebabkan penyerapan yang lebih tinggi juga.

4.4. Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian diperloleh nilai karakteristik material agregat kasar, halus dan daur ulang dapat dilihat pada Tabel 4.a. dan 4.b.

Tabel 4.a Hasil kuat tekan beton f`c 20 MPa.

Umur Beton (hari)	Beton Normal (MPa)	Beton Daur Ulang (MPa)
7	14,2	11,9
14	19,4	15,8

Umur Beton (hari)	Beton Normal (MPa)	Beton Daur Ulang (MPa)
28	20,5	17,1

Tabel 4.b Hasil kuat tekan beton f'c 25 MPa.

Umur Beton (hari)	Beton Normal (MPa)	Beton Daur Ulang (MPa)
7	18,5	14,7
14	22,8	18,2
28	26,5	21,3

Penurunan kuat tekan sekitar 10–25%, masih dalam batas wajar untuk aplikasi non-struktural. Hal ini diakibatkan oleh:

- Adanya mortar lama yang masih menempel pada agregat daur ulang → porositas tinggi.
- Absorpsi air lebih besar → mempengaruhi workability dan pengikatan semen.

Nilai kuat tekan beton daur ulang dapat diterima untuk non-struktural atau sekunder, atau jika dioptimalkan, bisa digunakan untuk struktural juga (dengan pengendalian kualitas lebih ketat)

4.5. Analisis Biaya

Berikut adalah analisa biaya pembuatan beton menggunakan agregat alam dan agregat daur ulang, dengan komponen umum seperti semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Analisis ini bersifat umum dan dapat disesuaikan dengan harga lokal serta proporsi campuran beton.

1) Campuran kekuatan tekan beton yang digunakan berdasarkan perencanaan dan hasil kuat tekan beton yang dilakukan.
2) Harga satuan bahan berdasarkan harga pasar masing-masing material di Lokasi Indramayu/
3) Perhitungan total biaya total per m3 untuk Beton agregat alam.
4) Perhitungan total biaya total per m3 untuk Beton agregat daur ulang

Secara tabulasi dapat dilihat pada Tabel 6.a dan 6.b.

Cara untuk menghitung harga satuan beton adalah:

1) Agregat alam/batu pecah dan pasir diperoleh data harga berdasarkan pembelian di toko material atau toko bangunan, yaitu harga batu peah yaitu Rp. 250.000,-/m3; pasir = Rp.325,000,-/m3; Semen = Rp. 75.000,-/Zak/50 kg, Air ledeng = Rp 5.85/liter.
2) Harga beton agregat alam atau beton normal diperoleh dari harga beton ready mix di wilayah Indramayu, dimana harga tersebut adalah : beton f'c = 20 MPa atau K-250 = 1,275,000,- dan beton f'c = 25 MPa atau K-300 = 1,350,000,-
3) Agregat daur ulang data harga diperoleh dari analisa mulai dari sewa eksavator/beko, dump truck, dan alat pemecah batu (mudah dipindah (portable) per hari dan kapasitas produksi perhari, termasuk biaya mobilisasi-demobilisasi alat pemecah batu. Alat pemecah batu akan ditempatkan di lokasi pembangunan atau lokasi proyek, sehingga biaya material beton bekas yang dimasukan adalah hanya biaya produksi saja, dimana bongkahan beton bekas diperoleh dari lokasi bangunan yang dibongkat dan akan dibangun Kembali pada Lokasi yang sama.
4) Berdasarkan keterangan item No. 3 tersebut, perincian harganya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Biaya sewa alat berat produksi agregat daur ulang

Komponen	Sewa per jam (Rp)
Dump Truck	350.000
Excavator	550.000
Stone crusher)	2.250.000
Biasa Mob-Demob	80,000,000/6 bln

Total harga sewa per jam = Rp. 3.205.555,-
Estimasi rata-rata produksi per jam = 100 m3
Biaya produksi = Rp. 3.205.555,-/ 100 m3 = 32.055,-/ m3.

5) Pehitungan harga per m3 beton

Tabel 6.a. Analisa Harga Satuan Beton f'c = 20 MPa Beton Agregat Daur Ulang

Komponen	Unit	Coeff.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Tenaga				
Pekerja	Hari	0,1004	125.000	12,550
Tukang	Hari	0,1130	200.000	22,600
Mandor	Hari	0,0010	300.000	3000
Bahan				
Semen	Kg	321,6	1.500	482,400
Air	Ltr	185,2	5.85	1,083
Pasir (m^3)	m^3	0,330	32.055	10,578
Batu (m^3)	m^3	0,970539	32,055	31,093
Alat *Ready Mix*				
Con Mixer	Jam	0,1004	803,000	80,321
Tuck Mixer	Jam	0,3987	790,000	314,973
Wter Tank	Jam	0,0382	305,000	11,650
Alat bantu	LS	1,000	15,000	15,000
Jumlah				982,850

Tabel 6.a Analisa Harga Satuan Beton f'c = 20 MPa Beton Agregat Daur Ulang

Komponen	Unit	Coeff.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Tenaga				
Pekerja	Hari	0,1004	125,000	12,550
Tukang	Hari	0,1130	200,000	22,600
Mandor	Hari	0,0010	300,000	3000
Bahan				
Semen	Kg	359,4	1,500	539,100
Air	Ltr	185,2	5.85	1,083
Pasir (m^3)	m^3	0,310	325,000	9,937
Batu (m^3)	m^3	0,975	250,000	31,253
Alat *Ready Mix*				
Con Mixer	Jam	0,1004	803,000	80,321
Tuck Mixer	Jam	0,3987	790,000	314,973
Wter Tank	Jam	0,0382	305,000	11,650

Komponen	Unit	Coeff.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Alat bantu	LS	1,000	15,000	15,000
Jumlah				1,039,069

Tabel 7. Perbandingan dan analisis Harga Beton.

Komponen	Harga Mutu Beton f'c 20 MPa	Harga Mutu Beton f'c 25 MPa
Beton Agregat Aam	1,275,000	1,350,000
Beton Agregat Daur Ulang	982,850	1,039,069
Selisih Biaya	292,150	310,931
Efisiensi (%)	22,91 %	23,03 %

Berdasarkan hasil uji material, hasil uji beton segar berupa nilai slup beton, hasil uji kuat tekan beton, dan perbandingan harga satuan beton per meter kubik tersebut dapat dianlisa sebagai berikut:

- Hasil uji karakteristik material penbentuk beton berupa agregat kasar alam dan daur ulang, agregat halus alam dan daur ulang, masing-masing memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai bahan pembentuk beton (raw material).
- Komposisi campuran beton untuk beton agregat daur ulang mengandung lebih banyak, hal ini dikarenakan agregat daur ulang memiliki berat jenis yang lebih rendah.
- Agregat daur ulang cenderung memiliki porositas yang lebih tinggi, sehingga niali penyerapan air lebih banyak air, yang mengakibatkan nilai slump menjadi lebih besar.
- Kuat tekan beton dengan agregat daur ulang umumnya turun 10–25%, tergantung proses daur ulang dan kualitas beton yang direncanakan, yaitu perencanaan beton semakin tingga, maka nilai penurunan kekuatan akan lebih tinggi juga, hal ini mungkin adanya kandungan mortar di agregat daur ualnga yang menyebabkan kerapuhan ikatan material pembentuk beton.
- Berdasarkan perhitungan nilai harga satuan harga beton untuk agregat alam dan daur ulang memiliki nilai keekonomian lebih rendah atau leih murah, yang disebabkan oleh proses pembuatan material beton daur ulang di dekat loaksi pekerjaan/proyek, dan bahan baku beton bekas tidak ada harganya, dimana nilai penurunn harga dapat mencapai 20 hingga 25%.

5. KESIMPULAN

Penggunaan agregat daur ulang dalam beton memberikan beberapa keuntungan, diantaranya adalah:

1. Perbandingkan harga produksi antara beton agregat alam dan agregat daur ulang memiliki perbedan yang lebih rendah, dimana nilai keekonomis terutama dari sisi biaya material dan kontribusi terhadap pengurangan limbah. Meskipun terdapat sedikit penurunan kuat tekan, beton agegat daur ulang tetap layak digunakan untuk aplikasi dengan tuntutan kekuatan sedang hingga rendah.
2. Harga beton agregat daur ulang mempuyai selisih harga antara 20 hingga 25% dari beton agregat alam, sehingga beton daur ulang dapat lebih hemat penggunaannya yang akan menghemat biaya konstruksi, walaupun nilai kuat tekan yang lebih rendah, namun beton daur ulang masih tetap dapat digunakan sebagai material konstruksi bangunan.
3. Berdarsarkan perhitungan analisa harga satuan anatara beton agregat alam dan agregat daur ulang, factor harga yang sangat berpengaruh adalah bahan baku berupa bongkahan beton berada di lokasi pekerjaan/proyek, produksi yang lebih cepat, dan tidak memerlukan

trasnportasi yang jauh dari lokasi pekerjaan/proyek. Dengan demikian, penghematan terjadi pada biaya transportasi dan material bahan baku yang tidak ada harganya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] ASTM. (2006). ASTM C131/C131M-06: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM International.

[2] ASTM. (2009). ASTM C535-09: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM International.

[3] BS EN 12620:2002 + A1:2008, Aggregates for concrete.

[4] Edil, Tuncer. (2018). A Review of Recycled Aggregates (RAP and RCA) as Unbound Base Course Material for Sustainable Highway Construction. Lecture Notes in Civil Engineering. 3-14. 10.1007/978-981-10-6713-6_1.

[5] Katz, A. (2003) Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. Cement and Concrete Research, 33, 703-711. http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01033-5

[6] Kementerian PUPR. (2020). Panduan Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Daur Ulang pada Konstruksi Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga.

[7] Kusuma, A., & Santosa, B. (2021). Analisis keekonomian beton menggunakan agregat daur ulang di perkotaan. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, 15(2), 123–130.

[8] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. Materials and Structures, 33(9), 574–580.

[9] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2004). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. Materials and Structures, 33(9), 574–580.

[10] Limbachiya, M.C. (2009). Recycled aggregates and their influence on concrete properties. Materials and Structures, 42, 657–670.

[11] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.

[12] Mulyono, T. (2004). Teknologi Beton. Yogyakarta: Andi.

[13] Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete (5th ed.). Pearson Education Limited.

[14] Padmini, A.K. & K, Ramamurthy & Mathews, M.S.. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials. 23. 829-836. 10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006.

[15] Poon, C.S., & Chan, D. (2006). Feasible use of recycled concrete aggregates in structural concrete. Construction and Building Materials, 20(3), 231–236.

[16] Rachmawati, D., & Suhendro, B. (2016). Studi eksperimental pemanfaatan agregat daur ulang dalam campuran beton. Jurnal Teknik Sipil, 23(1), 45–52.

[17] Rahardjo, H., Vilayvong, K., & Leong, E. C. (2011). Water characteristic curves of recycled materials. Geotechnical Testing Journal, 34(1), 89-96.

[18] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. Construction and Building Materials, 65, 201–217. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117.

[19] SNI 03-2417-1991 (1991).: Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

[20] SNI 03-2834-2000 (2000): Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

[21] SNI 7656:2012 (2012), Agregat halus dan kasar dari hasil daur ulang untuk campuran beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

[22] Tam, V. W. Y., Gao, X. F., & Tam, C. M. (2007). Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. Journal of Cleaner Production, 13(7), 689–698. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.06.004.

[23] Tam, V.W.Y., Tam, C.M., & Le, K.N. (2006). Environmental benefits and sustainable construction practice of recycled aggregate concrete. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability, 159(1), 27–38. https://doi.org/10.1680/ensu.2006.159.1.27.

[24] Tjokrodimuljo, K. (2007). Teknologi Bahan Konstruksi. Yogyakarta: Beta Offse.

[25] Wibowo, A., & Sari, R. (2018). Pemanfaatan Agregat Daur Ulang untuk Beton Ramah Lingkungan. Jakarta: Penerbit Teknik Sipil Nusantara.

[26] Widodo, A., Susanti, R., & Prasetyo, B. (2020). Pemanfaatan Limbah Beton sebagai Agregat Daur Ulang pada Campuran Beton. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 8(2), 123–130.

[27] Wijaya, I. G. N. A., Santosa, P., & Raharjo, T. (2019). Analisa kelayakan beton menggunakan agregat daur ulang pada proyek konstruksi jalan. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, 8(2), 45–52.