

Pengaruh Kebersihan Agregat terhadap Kuat Tekan Beton dan Implikasinya pada Konstruksi Struktural Sederhana

Sukardarminto¹, An An Anisarida², Syapril Janizar²

¹Smart Construction and Civil Engineering, Calvin Institute of Technology

²Teknik Sipil, Universitas Winaya Mukti
email korespondensi, sukardarminto@calvin.ac.id

SUBMITTED 1 JULI 2025 REVISED 11 JULI 2025 ACCEPTED 21 JULI 2025

ABSTRACT

Aggregate is the primary component of concrete, comprising 60–75% of its total volume; thus, its quality greatly influences the final performance of the concrete. Technical standards such as SNI 03-2834-2000 and ASTM C33/C33M recommend that aggregates be free from impurities such as silt and clay to ensure proper bonding and long-term durability. However, in small- to medium-scale construction, unwashed aggregates are still commonly used due to economic and logistical constraints. This study aims to evaluate the effect of aggregate cleanliness on compressive strength and explore its practical implications for low-rise residential buildings. The research was conducted through a laboratory experiment using two aggregate conditions (washed and unwashed), a mix ratio of 1:2:3, and compressive strength testing at 7, 14, and 28 days. The results indicate that concrete made with unwashed aggregates exhibited consistently higher compressive strength (by 0.9–1.1 MPa) compared to concrete with washed aggregates. This is likely due to a filler effect from fine particles that enhance the concrete's density. However, high silt content may still compromise long-term durability. The findings suggest that locally sourced, unwashed aggregates could serve as an alternative for structural concrete in low-rise housing, provided proper quality control and technical validation are implemented.

Keywords: concrete, unwashed aggregate, compressive strength, filler effect, durability.

ABSTRAK

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran beton, mencakup 60–75% dari total volume, sehingga mutu agregat sangat menentukan kualitas akhir beton. Standar teknis seperti SNI 03-2834-2000 dan ASTM C33/C33M menyarankan agar agregat terbebas dari lumpur dan bahan pengotor lainnya untuk menjaga ikatan antar material dan durabilitas beton. Namun, dalam praktik konstruksi skala kecil dan menengah, penggunaan agregat tidak dicuci masih sering dilakukan karena alasan ekonomis dan keterbatasan fasilitas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh kebersihan agregat terhadap kuat tekan beton serta mengkaji potensi penggunaannya pada bangunan struktural sederhana. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan dua perlakuan agregat (bersih dan kotor), menggunakan mix design rasio 1:2:3 dan pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa beton dengan agregat kotor memiliki kuat tekan lebih tinggi (0,9–1,1 MPa lebih besar) dibandingkan beton dengan agregat bersih. Fenomena ini diduga disebabkan oleh efek *filler* dari partikel halus lumpur yang meningkatkan kepadatan beton. Meskipun demikian, kadar lumpur yang tinggi tetap berpotensi menurunkan durabilitas jangka panjang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa agregat lokal yang tidak dicuci dapat menjadi alternatif bahan beton untuk proyek rumah tinggal bertingkat, selama dilakukan kontrol mutu dan validasi teknis yang memadai.

Kata Kunci: beton, agregat kotor, kuat tekan, *filler effect*, durabilitas

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Beton merupakan salah satu material konstruksi paling penting dalam infrastruktur karena kemampuannya menahan gaya tekan dan fleksibilitas dalam proses pencetakan bentuk. Komponen utama dari beton terdiri atas semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Di antara komponen tersebut, agregat menempati porsi terbesar dalam campuran beton yaitu sekitar 60–75% dari total volume, sehingga mutu agregat sangat menentukan kualitas akhir beton yang dihasilkan (Kosmatka dan Wilson, 2016).

Salah satu syarat penting agregat dalam campuran beton menurut standar nasional (SNI 03-2834-2000) dan internasional (ASTM C33/C33M) adalah bebas dari kotoran seperti lumpur, tanah liat, dan bahan organik. Hal ini karena bahan-bahan pengotor tersebut dapat mengganggu ikatan antara pasta semen dengan permukaan agregat, yang berpotensi mengurangi kuat tekan dan durabilitas beton dalam jangka panjang (Bui dan Stroeven, 2005).

Namun demikian, dalam praktik di lapangan, terutama pada proyek konstruksi skala menengah ke bawah, masih sering ditemukan penggunaan agregat yang belum dicuci, baik karena keterbatasan fasilitas pencucian maupun pertimbangan biaya. Hal ini menimbulkan pertanyaan penting dalam dunia teknik sipil: apakah pencucian agregat selalu menghasilkan beton dengan mutu lebih tinggi? Beberapa penelitian terbaru bahkan menunjukkan bahwa partikel halus yang terdapat dalam agregat yang tidak dicuci dapat bertindak sebagai *filler* yang justru meningkatkan kerapatan beton dan memberikan peningkatan kuat tekan pada tahap awal pengerasan (Tang et al., 2020).

Oleh karena itu, kajian eksperimental terhadap pengaruh kebersihan agregat terhadap kuat tekan beton sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan teknis penggunaan agregat di lapangan, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan praktik konstruksi yang lebih efisien dan berbasis data.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, diketahui bahwa agregat memegang peranan penting dalam mutu akhir beton. Kebersihan agregat menjadi salah satu indikator utama yang menentukan kualitas ikatan antar komponen dalam campuran beton. Standar-standar teknis seperti SNI 03-2834-2000 dan ASTM C33 mengatur agar agregat terbebas dari lumpur dan bahan pengotor lainnya. Akan tetapi, di sisi lain, terdapat temuan empiris yang menunjukkan bahwa beton dengan agregat yang tidak dicuci justru dapat menunjukkan peningkatan kuat tekan karena adanya partikel halus yang berfungsi sebagai *filler* (Tang et al., 2020).

Fenomena ini menimbulkan pertanyaan mendasar yang perlu dijawab melalui pendekatan eksperimental, khususnya dalam konteks penggunaan agregat lokal di Indonesia yang memiliki karakteristik material berbeda-beda. Untuk itu, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada:

1. Apakah kebersihan agregat (dicuci atau tidak dicuci) berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton?

2. Seberapa besar perbedaan kuat tekan beton antara yang menggunakan agregat bersih dan agregat kotor pada umur 7, 14, dan 28 hari?
3. Apakah agregat yang tidak dicuci dapat memberikan alternatif praktis dalam pembuatan beton dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan tenaga?

Rumusan masalah ini menjadi dasar dalam merancang metodologi penelitian dan analisis hasil uji kuat tekan beton secara komprehensif.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya, khususnya mengenai pengaruh kebersihan agregat terhadap mutu beton ditinjau dari aspek kuat tekan. Dengan pendekatan eksperimental di laboratorium, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh kebersihan agregat, baik yang telah dicuci maupun yang tidak dicuci, terhadap nilai kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.
2. Membandingkan kinerja beton yang menggunakan agregat bersih dan agregat kotor berdasarkan hasil uji kuat tekan terhadap batas mutu beton struktural sesuai dengan ketentuan SNI.
3. Mengevaluasi potensi pemanfaatan agregat tidak dicuci sebagai alternatif bahan baku dalam produksi beton, terutama dalam konteks efisiensi biaya dan sumber daya, tanpa mengabaikan standar mutu minimum yang berlaku.

Tujuan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknologi bahan konstruksi, khususnya dalam pemilihan agregat yang tepat untuk campuran beton berdasarkan fakta empiris dan kondisi aktual di lapangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik dari sisi teoritis maupun praktis, yang dapat berguna bagi dunia akademik, industri konstruksi, dan pengambil kebijakan teknis. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Secara akademik**, penelitian ini memberikan kontribusi dalam memperluas kajian ilmiah terkait pengaruh karakteristik agregat terhadap mutu beton, khususnya dalam konteks kebersihan agregat. Data yang diperoleh dari pengujian laboratorium dapat menjadi referensi tambahan bagi mahasiswa, dosen, dan peneliti yang fokus pada bidang teknologi bahan konstruksi.
2. **Secara praktis**, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi pelaku konstruksi (kontraktor, teknisi laboratorium, dan perencana struktur) dalam memilih jenis agregat yang sesuai untuk campuran beton. Apabila terbukti bahwa agregat yang tidak dicuci tetap mampu memenuhi mutu beton yang dipersyaratkan, maka hal ini dapat menghemat biaya produksi serta mempersingkat waktu pelaksanaan proyek.
3. **Secara kebijakan teknis**, penelitian ini dapat mendorong evaluasi terhadap standar penggunaan agregat dalam proyek-proyek skala kecil dan menengah, dengan tetap mempertimbangkan aspek keamanan struktural dan keberlanjutan lingkungan.

Dengan manfaat tersebut, penelitian ini diharapkan tidak hanya menjawab pertanyaan ilmiah, tetapi juga memberikan solusi konkret terhadap tantangan teknis di lapangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton dan Peran Agregat

Beton merupakan material komposit yang terdiri atas pasta semen dan agregat. Agregat, baik halus maupun kasar sekitar 60–75% dari total volume beton, sehingga sifat fisik dan kimianya sangat memengaruhi kekuatan, durabilitas, dan stabilitas dimensi beton (Kosmatka dan Wilson, 2016).

Kualitas agregat yang digunakan sangat dipengaruhi oleh kebersihannya. Agregat yang mengandung lumpur atau bahan organik dapat mengganggu ikatan antara semen dan permukaan agregat, sehingga mengurangi kekuatan tekan dan menyebabkan beton lebih mudah mengalami kerusakan dini (Bui et al., 2005).

2.2 Pengaruh Lumpur terhadap Mutu Beton

Lumpur dalam agregat halus berpotensi menghambat proses hidrasi karena menyelimuti permukaan partikel dan mencegah terbentuknya ikatan kimia yang optimal antara pasta semen dan agregat. Menurut hasil studi oleh Neville, kadar lumpur dalam pasir yang melebihi 5% dapat menurunkan kuat tekan beton secara signifikan (Neville, 2006). Oleh karena itu, SNI dan ASTM merekomendasikan agar agregat dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam campuran beton struktural.

2.3 *Filler Effect* dan Partikel Halus

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa partikel halus (*finer*) yang terdapat dalam agregat tidak selalu memberikan efek negatif. Dalam jumlah terbatas, partikel halus dapat mengisi rongga dalam beton segar dan mengurangi porositas, yang dikenal dengan istilah *filler effect*. Partikel *Filler* dapat meningkatkan densitas dan membantu beton lebih homogen dan tahan lama (Tang et al., 2020).

2.4 Studi Terkait Penggunaan Agregat Tidak Dicuci

Abalaka & Okoli (2021) melakukan pengujian terhadap beton yang menggunakan agregat halus tidak dicuci dan membandingkannya dengan beton yang menggunakan agregat bersih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun agregat tidak dicuci mengandung lumpur lebih tinggi, beton yang dihasilkan mampu mencapai kuat tekan yang lebih baik pada umur awal (7 hari) dibanding beton dengan agregat bersih, walaupun pada umur 28 hari hasilnya cenderung seimbang (Abalaka dan Okoli, 2021).

Hasil ini memperkuat hipotesis bahwa dampak kebersihan agregat terhadap mutu beton tidak bersifat absolut, tetapi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, metode pencampuran, serta proporsi komponen dalam *mix design*.

2.5 Standar Nasional dan Internasional

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan ASTM C33/C33M, agregat harus bebas dari bahan pengotor seperti debu, tanah, dan bahan organik. Kadar lumpur maksimum yang diperbolehkan dalam pasir adalah 5%. Standar ini disusun untuk menjamin stabilitas dan daya tahan struktur dalam jangka panjang. Namun demikian, dalam praktik, agregat lokal seringkali tidak sepenuhnya memenuhi standar ini, terutama pada proyek konstruksi skala kecil yang tidak diawasi secara ketat (Zain et al., 2006).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Dua jenis perlakuan digunakan dalam campuran beton, yaitu beton yang menggunakan agregat bersih (dicuci) dan kotor (tidak dicuci). Setiap jenis beton diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk memperoleh data kuat tekan, sebagai indikator mutu beton.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Smart Construction and Civil Engineering, Calvin Institute of Technology, Jakarta selama bulan Februari - April 2025.

3.3 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi agregat halus dan agregat kasar dalam dua kondisi utama, yaitu bersih (dicuci) dan kotor (tidak dicuci), yang seluruhnya diperoleh dari toko bangunan di sekitar Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Smart Construction and Civil Engineering, Calvin Institute of Technology, Kemayoran, Jakarta. Agregat halus yang digunakan berupa pasir alam berwarna kecokelatan dengan ukuran butir lolos saringan 4,75 mm dan umumnya digunakan dalam proyek konstruksi bangunan gedung. Sementara itu, agregat kasar berupa kerikil batu pecah bergradasi, dengan ukuran maksimum 20 mm.

Kedua jenis agregat tersebut diuji dalam kondisi bersih dan kotor, dan menjadi variabel utama dalam penelitian ini. Artinya, dalam setiap perlakuan, pasir dan kerikil digunakan secara bersamaan dalam kondisi bersih atau kotor untuk mengevaluasi pengaruh kebersihannya terhadap kuat tekan beton. Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I, yang merupakan jenis semen serbaguna yang banyak dipakai dalam konstruksi beton konvensional. Air yang digunakan dalam pencampuran beton berasal dari sumber air bersih, bebas dari zat yang dapat mengganggu proses hidrasi. Penelitian ini tidak menggunakan bahan tambahan kimia (admixture), sehingga seluruh sifat dan perilaku beton yang terbentuk bergantung sepenuhnya pada komposisi dasar dan karakteristik masing-masing material utama yang digunakan.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan digital untuk mengukur massa bahan, oven pengering untuk menentukan kadar air dan kadar lumpur pada agregat, serta alat uji kuat tekan beton (Compression Testing Machine) untuk mengukur kekuatan tekan silinder beton. Selain itu, digunakan juga alat analisa saringan untuk melakukan gradasi agregat, cetakan silinder beton berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, slump cone untuk menguji kelecakan (workability) beton segar, mixer beton laboratorium untuk proses pencampuran, dan piknometer untuk analisis berat jenis agregat.

3.4 Prosedur Pengujian

3.4.1 Pengujian Agregat

Sebelum digunakan dalam pembuatan beton, agregat diuji terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik fisiknya. Pengujian meliputi kadar air yang ditentukan dengan metode pengeringan menggunakan oven selama 24 jam, serta kadar lumpur yang diukur melalui kombinasi metode oven dan penggunaan tabung piknometer. Berat jenis dan penyerapan air agregat diuji menggunakan metode Saturated Surface Dry (SSD) untuk memperoleh data akurat terkait kemampuan agregat menyerap air. Selain itu, dilakukan pula pengujian berat volume (berat jenis gembur dan padat) menggunakan wadah tetap berupa tong kecil dan besar. Gradasi agregat dianalisis menggunakan serangkaian saringan bertingkat sesuai dengan standar SNI, guna mengetahui distribusi ukuran butir agregat dan kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis campuran beton.

3.4.2 Pembuatan Campuran Beton

Mix design dalam penelitian ini ditentukan untuk mencapai target kuat tekan beton sekitar ± 30 MPa, dengan rasio campuran antara semen : pasir : kerikil sebesar 1 : 2 : 3 dan rasio air terhadap semen (water-cement ratio) sebesar 0,54. Untuk setiap batch campuran beton, komposisinya terdiri dari 4,33 kg agregat halus, 4,28 kg agregat kasar, 2,01 kg semen, dan 1,09 kg air. Seluruh bahan dicampur menggunakan mixer beton laboratorium hingga homogen, kemudian dilakukan pengujian slump untuk mengukur kelecakan beton segar. Beton yang telah tercampur kemudian dicetak ke dalam cetakan silinder ($\varnothing 15$ cm \times 30 cm) dalam tiga lapisan, dengan masing-masing lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 18 buah, terdiri dari 3 benda uji untuk masing-masing umur pengujian (7, 14, dan 28 hari) dan masing-masing kondisi agregat (bersih dan kotor), sehingga memungkinkan dilakukan evaluasi yang sistematis terhadap pengaruh kebersihan agregat terhadap kuat tekan beton pada berbagai umur.

3.4.3 Perawatan (Curing)

Setelah 24 jam, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan direndam dalam bak curing sampai waktu pengujian (7, 14, atau 28 hari).

3.4.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin tekan sesuai dengan standar SNI 1974-2011. Nilai kuat tekan diperoleh dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji (dalam satuan Newton) dengan luas penampang silinder beton (dalam milimeter persegi). Hasil pengujian dicatat secara sistematis dan dirata-ratakan untuk masing-masing perlakuan, baik pada kondisi agregat bersih maupun kotor, serta pada setiap umur beton yang diuji, yaitu 7, 14, dan 28 hari.

3.4.5 Desain Eksperimen

Dalam penelitian ini, variabel bebas yang diamati adalah jenis agregat yang digunakan, yaitu agregat dalam kondisi bersih (dicuci) dan kotor (tidak dicuci). Variabel terikatnya adalah nilai kuat tekan beton yang dihasilkan, yang diukur dalam satuan MPa pada umur 7, 14, dan 28 hari. Untuk menjaga konsistensi hasil, variabel kontrol yang digunakan meliputi komposisi campuran beton, jenis semen (Portland tipe I), waktu perawatan (curing), dan suhu lingkungan selama proses curing berlangsung.

3.4.6 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Perbandingan nilai kuat tekan antar perlakuan dilakukan berdasarkan rata-rata dan selisih absolut antar kelompok. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar kuat tekan minimum sesuai ketentuan struktural ($SNI \geq 20$ MPa untuk struktural ringan).

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Agregat

Berdasarkan pengujian laboratorium terhadap agregat halus dan kasar baik dalam kondisi bersih maupun kotor, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Rangkuman Hasil Pengujian Agregat

Jenis Agregat	Kadar Air (%)	Kadar Lumpur (%)	Bulk SG (SSD)	Berat Volume Gembur (kg/m^3)	Berat Volume Padat (kg/m^3)
Halus Bersih	4.49	5.52	2.53	1432	1463
Halus Kotor	4.71	11.56	2.59	1268	1385
Kasar Bersih	4.29	4.16	2.25	1184	1312
Kasar Kotor	3.16	8.89	2.38	1185	1308

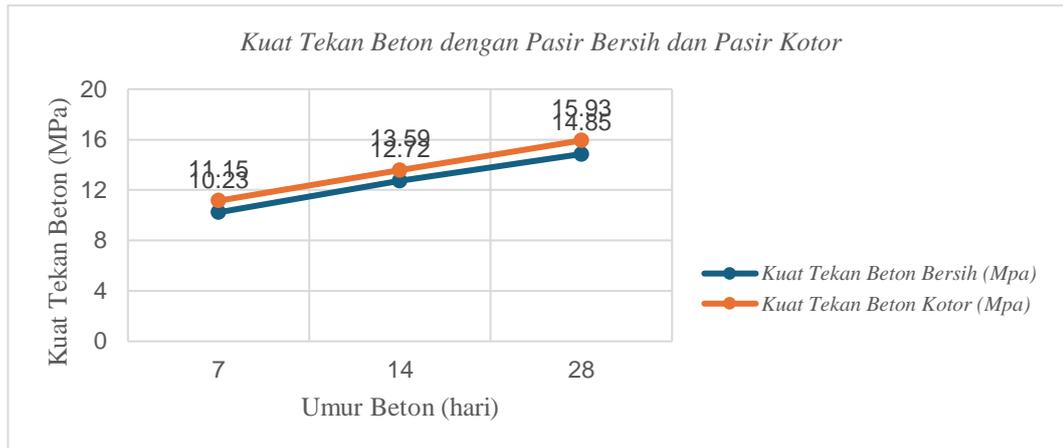
Catatan: Kadar lumpur pada agregat halus kotor melebihi batas maksimum 5% menurut SNI 03-2834-2000.

4.2 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian dilakukan terhadap silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan dua perlakuan: agregat bersih dan agregat kotor. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan hasil yang ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Rata-rata

Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Beton Bersih (MPa)	Kuat Tekan Beton Kotor (MPa)
7	10.23	11.15
14	12.72	13.59
28	14.85	15.93



Gambar 1. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisis Kuat Tekan Beton Berdasarkan Kondisi Kebersihan Agregat

Hasil uji kuat tekan terhadap 18 benda uji menunjukkan bahwa beton yang menggunakan agregat kotor (tidak dicuci) secara konsisten memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat bersih (dicuci) pada semua umur pengujian, yakni 7, 14, dan 28 hari. Selisih nilai kuat tekan berkisar antara 0,9 hingga 1,1 MPa, dengan tren peningkatan kekuatan yang relatif stabil seiring bertambahnya umur beton.

Secara umum, hasil ini bertentangan dengan ketentuan dalam standar konstruksi, seperti yang tercantum dalam SNI 03-2834-2000 dan ASTM C33/C33M, yang menyatakan bahwa agregat halus maupun kasar harus bebas dari lumpur, tanah liat, dan bahan pengotor lainnya. Batas maksimum kadar lumpur dalam agregat halus menurut kedua standar tersebut adalah 5%, guna memastikan terbentuknya ikatan sempurna antara pasta semen dan permukaan agregat yang bersih, serta menjamin durabilitas jangka panjang konstruksi.

Namun demikian, hasil eksperimental ini justru mengindikasikan bahwa agregat yang tidak dicuci dapat memberikan kontribusi positif terhadap kepadatan (densitas) beton melalui efek *filler*, yaitu peran partikel halus dalam mengisi rongga mikro di antara agregat atau pasta semen. Mekanisme ini meningkatkan homogenitas campuran dan berpotensi menurunkan porositas, sehingga menghasilkan beton dengan struktur internal yang lebih rapat dan kuat secara mekanis.

4.3.2 Peluang Pemanfaatan Agregat Tidak Dicuci dalam Konstruksi Struktural Sederhana dan Perspektif Rantai Pasok

Temuan ini sejalan dengan studi sebelumnya oleh Tang et al. (2020), yang menyatakan bahwa partikel berukuran $< 75 \mu\text{m}$ dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dalam jumlah tertentu karena berfungsi sebagai *filler* yang memperkuat zona transisi antar fase (ITZ) (Tang et al., 2020). Penelitian oleh Bui et al. (2005) juga menunjukkan bahwa material berukuran halus seperti abu sekam padi dapat menurunkan porositas dan meningkatkan kekuatan mekanik beton, bahkan tanpa keterlibatan reaksi kimia tambahan (Bui et al., 2005).

Meskipun demikian, keberadaan lumpur dalam agregat kotor juga membawa risiko penurunan durabilitas jangka panjang, terutama jika mengandung lempung aktif atau bahan organik. Menurut Ghafari et al. (2015), partikel halus yang tidak reaktif dapat memperburuk kualitas zona transisi dan meningkatkan kerentanan terhadap retak dan kelembaban (Ghafari et al., 2015). Lumpur juga dapat menyebabkan gangguan hidrasi semen, fenomena bleeding, dan memperbesar kemungkinan korosi pada tulangan jika porositas lokal meningkat akibat aglomerasi partikel.

Temuan bahwa agregat kotor masih dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang memadai membuka peluang adaptasi dalam praktik konstruksi bangunan struktural sederhana, khususnya rumah tinggal bertingkat di daerah semi-perkotaan atau pedesaan. Pada jenis bangunan ini, spesifikasi teknis biasanya tidak seketat bangunan bertingkat tinggi atau proyek infrastruktur skala besar. Oleh karena itu, pemanfaatan agregat lokal yang tidak sepenuhnya memenuhi standar kebersihan, namun telah terbukti memberikan kuat tekan yang cukup melalui uji laboratorium, dapat menjadi alternatif efisien dalam hal biaya dan pengadaan. Dengan pengawasan teknis dan mitigasi seperti penggunaan aditif, pencucian terbatas, dan kontrol kadar lumpur, agregat kotor dapat digunakan untuk elemen-elemen seperti balok, pelat lantai, dan kolom rumah tinggal, selama desain memenuhi persyaratan kekuatan minimum (misalnya 17–25 MPa untuk bangunan 1–2 lantai sesuai SNI 2847:2019).

Dari sisi pelaksanaan di lapangan, keuntungan utama penggunaan agregat lokal yang tidak dicuci adalah pengurangan biaya transportasi dan waktu tunggu, yang sering menjadi kendala dalam pembangunan di daerah dengan akses terbatas. Namun, pengusaha konstruksi perlu memastikan adanya standar mutu lokal atau rekomendasi teknis dari laboratorium material sebelum memutuskan penggunaan agregat tersebut secara luas. Dalam konteks rumah tinggal, pendekatan ini bisa dilakukan melalui kerja sama antara tukang bangunan, pengawas proyek, dan teknisi lapangan dengan kapasitas pengujian dasar, seperti slump test dan uji kuat tekan sederhana.

Dilihat dari rantai pasok material konstruksi, khususnya toko bangunan, penggunaan agregat kotor juga memiliki implikasi menarik. Toko bangunan di wilayah pinggiran atau pedesaan umumnya memperoleh agregat dari sumber lokal yang tidak selalu menjalani proses pencucian. Jika hasil penelitian ini diketahui dan divalidasi secara teknis, maka toko bangunan dapat mulai mengadopsi pendekatan selektif dalam pengadaan agregat, misalnya dengan menyediakan dua kategori produk: agregat "biasa" (belum dicuci, harga lebih murah) dan agregat "grade-A" (hasil screening dan pencucian, harga premium). Model ini memberi nilai tambah sekaligus memberikan pilihan kepada kontraktor atau pemilik rumah sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan anggaran.

Di sisi lain, toko bangunan juga bisa berperan aktif dalam edukasi pelanggan, seperti memberikan informasi mengenai kadar lumpur aman, menyediakan lembar teknis sederhana (flyer atau petunjuk praktis), atau bahkan menjalin kerja sama dengan laboratorium uji material lokal untuk uji kadar lumpur cepat. Pendekatan ini dapat meningkatkan kepercayaan konsumen sekaligus memperluas pasar agregat lokal yang sebelumnya dianggap inferior.

Secara keseluruhan, temuan ini membuka peluang bagi pendekatan konstruksi yang lebih fleksibel, lokal, dan adaptif, dengan syarat tetap mengedepankan pengujian mutu minimal dan prinsip kehati-hatian teknis, terutama untuk bangunan permanen seperti rumah tinggal bertingkat. Kombinasi antara efisiensi rantai pasok, pendekatan teknis berbasis data, dan kontrol mutu lapangan akan menjadi kunci keberhasilan penerapan penggunaan agregat tidak sepenuhnya bersih dalam sistem konstruksi yang lebih berkelanjutan dan terjangkau.

4.3.3 Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Untuk memperluas pemahaman dan validasi terhadap hasil penelitian ini, studi lanjutan sangat disarankan dengan pendekatan yang lebih mendalam dan terstruktur. Salah satu rekomendasi utama adalah melakukan isolasi pengaruh berdasarkan jenis agregat. Dalam penelitian ini, kondisi agregat halus dan kasar digunakan secara seragam, baik bersih maupun kotor secara bersamaan. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih spesifik, penelitian selanjutnya sebaiknya menyusun desain eksperimen yang memisahkan perlakuan antara agregat halus dan agregat kasar. Misalnya, menggunakan agregat halus bersih dengan agregat kasar kotor, atau sebaliknya. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana masing-masing jenis agregat berkontribusi terhadap kuat tekan dan sifat mekanis beton lainnya, mengingat perbedaan luas permukaan dan kemampuan absorpsi antara agregat halus dan kasar dapat memengaruhi interaksi dengan pasta semen secara signifikan.

Selain itu, variasi persentase kebersihan agregat juga penting untuk diteliti guna menentukan batas toleransi praktis kadar lumpur dalam agregat. Penelitian lanjutan dapat menggunakan kadar lumpur bertahap, misalnya 2%, 5%, 8%, dan 12% untuk pasir (agregat halus), serta 1%, 4%, 7%, dan 10% untuk kerikil (agregat kasar). Hal ini mengacu pada standar SNI 03-2834-2000 dan ASTM C117, namun akan memberikan kontribusi empiris terhadap kemungkinan fleksibilitas nilai ambang batas yang dapat diterapkan secara lebih kontekstual di proyek lokal atau konstruksi skala kecil.

Aspek lainnya yang perlu ditelusuri adalah dampak kandungan lumpur terhadap workability beton dan kebutuhan air. Partikel halus dari lumpur diketahui dapat menyerap air dalam campuran, yang menyebabkan penurunan slump dan perubahan waktu pengikatan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan sebaiknya mengukur indikator seperti nilai slump, waktu pengikatan awal dan akhir (setting time), serta rasio air terhadap semen efektif (efektif W/C ratio), sehingga pengaruh lumpur terhadap sifat segar beton dapat dikaji lebih rinci.

Dari sudut pandang mikroskopis, mekanisme filler akibat partikel lumpur dapat diteliti lebih lanjut menggunakan pendekatan karakterisasi material. Studi lanjutan direkomendasikan mencakup analisis mikrostruktur menggunakan alat Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengamati distribusi partikel halus dan karakteristik zona transisi antar fase (Interfacial Transition Zone/ITZ). Di samping itu, X-Ray Diffraction (XRD) dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa mineral aktif atau lempung dalam lumpur, sedangkan Thermogravimetric Analysis (TGA) dapat membantu mengevaluasi kandungan air dan stabilitas termal dari partikel-partikel halus tersebut.

Ketahanan beton terhadap kondisi lingkungan ekstrem juga menjadi perhatian penting. Beton dengan agregat kotor perlu diuji terhadap serangan sulfat, karbonasi, serta siklus pembekuan dan pencairan (*freeze-thaw*), untuk memastikan bahwa peningkatan kuat tekan pada umur awal tidak mengorbankan ketahanan jangka panjang struktur. Uji ini dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa beton dalam skenario eksposur yang berat, terutama jika akan digunakan dalam elemen struktural luar ruang.

Terakhir, penting untuk mengkaji pengaruh partikel lumpur terhadap ikatan antara pasta semen dan tulangan baja dalam beton bertulang. Kandungan lumpur yang tinggi berpotensi meningkatkan porositas lokal di sekitar tulangan, sehingga menurunkan kekuatan ikatan dan mempercepat proses korosi. Penelitian lanjutan yang mencakup uji korosi elektrostatis atau pengujian gaya lekat tarik (*pull-out test*) antara tulangan dan beton akan sangat berguna dalam menilai risiko ini, khususnya dalam konteks durabilitas struktur jangka panjang.

Dengan mengeksplorasi aspek-aspek di atas, penelitian selanjutnya diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kebersihan agregat terhadap performa beton, serta memperluas basis data teknis untuk formulasi kebijakan dan praktik konstruksi yang lebih efisien dan adaptif.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Beton yang menggunakan agregat kotor (tidak dicuci) menunjukkan **kuat tekan lebih tinggi** dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat bersih (dicuci) pada semua umur pengujian, yaitu 7, 14, dan 28 hari. Selisih kuat tekan yang tercatat berkisar antara 0,9 hingga 1,1 MPa.
2. Meskipun bertentangan dengan standar kebersihan agregat dalam SNI 03-2834-2000 dan ASTM C33/C33M, temuan ini mengindikasikan bahwa **keberadaan partikel halus dalam agregat kotor dapat memberikan efek *filler***, yang meningkatkan kerapatan beton dan menurunkan porositas internal, sehingga meningkatkan kuat tekan.
3. Hasil ini membuka **peluang adaptasi penggunaan agregat tidak dicuci** dalam proyek konstruksi skala kecil hingga menengah, seperti rumah tinggal bertingkat, selama tetap dilakukan pengawasan mutu, pengendalian kadar lumpur, dan pengujian kuat tekan minimum.
4. Temuan ini juga berdampak pada **rantai pasok material konstruksi**, khususnya toko bangunan di daerah semi-perkotaan dan pedesaan. Agregat lokal yang sebelumnya dianggap tidak memenuhi standar dapat dikategorikan ulang dengan klasifikasi kualitas dan harga berbeda, yang memberikan fleksibilitas pilihan bagi pelaku konstruksi.

5. Meskipun demikian, penggunaan agregat kotor tetap membawa **risiko terhadap durabilitas jangka panjang**, terutama jika mengandung lempung aktif atau bahan organik. Oleh karena itu, penerapannya pada elemen struktural utama perlu didampingi dengan strategi mitigasi teknis dan pengujian lebih lanjut.

5.2 Saran

Untuk menindaklanjuti temuan penelitian ini, beberapa saran yang dapat diajukan antara lain:

1. **Penggunaan agregat kotor sebaiknya dibatasi pada proyek non-struktural** atau struktur dengan beban rendah, kecuali telah dilakukan validasi laboratorium bahwa mutu beton tetap memenuhi standar struktural minimum.
2. Diperlukan **pengawasan teknis di lapangan**, termasuk pengujian kadar lumpur, *slump test*, dan uji kuat tekan sederhana, untuk memastikan bahwa agregat kotor yang digunakan masih dalam batas aman menurut SNI ($\leq 5\%$).
3. **Toko bangunan dan penyedia material konstruksi** diharapkan dapat mengklasifikasikan agregat berdasarkan kadar kebersihannya dan memberikan informasi teknis yang memadai kepada konsumen, termasuk rekomendasi penggunaan.
4. **Penelitian lanjutan** disarankan untuk mengevaluasi dampak kebersihan agregat terhadap aspek lain dari beton, seperti *workability*, durabilitas, ketahanan terhadap lingkungan agresif, serta hubungan antara pasta semen dan tulangan dalam beton bertulang.
5. Pemerintah atau asosiasi konstruksi dapat mempertimbangkan **pengembangan pedoman teknis alternatif** untuk proyek skala kecil yang memanfaatkan agregat lokal tidak dicuci, dengan tetap menjaga prinsip keamanan dan keberlanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Abalaka, A. E., & Okoli, E. O. (2021). Effect of washing of fine aggregates on strength of concrete. *Journal of Building Engineering*, 43, 102731. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102731>

ASTM International. (2004). *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing (ASTM C117-04)*. ASTM International.

ASTM International. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates (ASTM C33/C33M-18)*. ASTM International.

Bui, D. D., Hu, J., & Stroeven, P. (2005). Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. *Cement and Concrete Composites*, 27(3), 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.04.003>

Ghafari, E., Costa, H., & Júlio, E. (2015). Critical review on eco-efficient ultra high



performance concrete: Towards practical applications. *Construction and Building Materials*, 101, 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035>

Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2016). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.117>

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100987-2.00001-2>

Neville, A. M. (2006). *Properties of Concrete* (4th ed.). Pearson Education Limited. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.03.006>

SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Badan Standardisasi Nasional.

SNI 1974:2011. (2011). *Metode pengujian kuat tekan beton silinder*. Badan Standardisasi Nasional.

Tang, S. W., Yao, Y., Andrade, C., Li, Z. J., & Chen, B. (2020). Use of fillers in improving the mechanical performance and durability of concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 251, 118440. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118440>

Zain, M. F. M., Safiuddin, M., & Yusof, K. M. (2006). A study on the properties of freshly mixed high performance concrete. *Automation in Construction*, 15(4), 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.10.007>