

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

Sub bab 4.1 menyajikan temuan dan pembahasan dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan sesuai dengan standar yang relevan. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kesesuaian agregat kasar alami, tembikar, marmer, dan granit untuk digunakan dalam campuran beton. Pengujian agregat halus juga dilakukan untuk memastikan karakteristik fisik dan kesesuaiannya dengan spesifikasi standar. Pengujian berat jenis untuk setiap jenis agregat juga disertakan dalam penelitian ini, yang memberikan informasi penting untuk perancangan campuran. Selain itu, kuat tekan beton dievaluasi untuk mengevaluasi kinerja struktural campuran yang dibuat dengan berbagai kombinasi agregat. Hasil pengujian ini penting untuk memahami bagaimana setiap komponen memengaruhi kekuatan dan kualitas beton secara keseluruhan, yang menjadi dasar untuk penelitian dan kesimpulan tambahan.

4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian Agregat kasar dilakukan di Laboratorium Universitas Pembangunan Jaya sesuai dengan satandar yang berlaku.

4.1.2. Hasil Pengujian Berat Jenis

Untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, digunakan SNI 03-1969-2008. Tabel 4.1 menampilkan hasil uji berat jenis.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

No	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat keranjang (A)	gr	527,00	527,00
2.	Berat sample dan keranjang (B)	gr	2527,00	2527,00
3.	Berat sample (C=B-A)	gr	2000,00	2000,00
4.	Berat keranjang dalam air (D)	gr	365,00	365,00
5.	Berat sample dan keranjang dalam air (E)	gr	1575,50	1583,00
6.	Berat sample dalam air (F=E-D)	gr	1210,50	1218,00
7.	Berat jenis (G=C/(C-F))		2,53	2,56
8.	Selisih			0,02
9.	Rata - rata			2,55

Agregat kasar yang dikumpulkan memiliki berat jenis rata-rata 2,55. Agregat tersebut harus memiliki berat jenis curah minimum 2,5 gram sesuai dengan SNI

03-1969-2008. Dengan demikian, sampel yang diperiksa memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

4.1.3. Hasil Pengujian Daya Serap Air

Uji ini berkaitan dengan SIN 03-1969-2008, yang membahas evaluasi agregat kasar untuk berat jenis dan penyerapan udara. Hasil uji penyerapan air ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Daya Serap Air Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat pan (A)	gr	1286,00	1252,00
2.	Berat sample dan pan (B)	gr	3286,00	3252,00
3.	Berat Sample (C=B-A)	gr	2000,00	2000,00
4.	Berat Sample Kering (D)	gr	1944,80	1945,70
5.	Daya Serap air ($E=(C-D)/D$)	%	2,84	2,79
6.	Selisih			0,05
7.	Rata-rata			2,81

Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata laju penyerapan air agregat kasar dari kondisi kering hingga jenuh air permukaan adalah 2,81%. Berdasarkan kriteria standar, angka ini berada dalam kisaran yang diizinkan, yaitu 3%, yang berarti porositas agregat tersebut sesuai untuk digunakan dalam konstruksi beton. Kinerja keseluruhan campuran beton ditingkatkan oleh agregat dengan nilai penyerapan di bawah batas 3% karena dianggap memiliki daya tahan tinggi dan konsumsi air yang lebih rendah. Hasilnya, agregat kasar yang diuji memenuhi standar kualitas dan konsistensi, serta cocok untuk aplikasi beton struktural.

4.1.4. Pengujian Berat Isi

Uji kepadatan agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-4804-1998, yang menjelaskan cara menguji agregat untuk mengetahui kepadatan massal dan kandungan rongga. Standar ini menjamin bahwa prosedur pengujian mematuhi protokol yang tepat untuk menghasilkan hasil yang presisi dan andal. Massa agregat per satuan volume, termasuk jumlah ruang antar partikel, adalah yang ingin diukur dalam uji ini. Berat, kekuatan, dan stabilitas produk akhir dipengaruhi oleh kepadatan agregat, oleh karena itu pemahaman akan hal ini sangat penting dalam

merancang campuran beton. Ringkasan lengkap nilai terukur disajikan pada Tabel 4.3, yang menyajikan hasil uji kepadatan ini.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Isi

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	2002,00	2002,00
2.	Berat container (B)	gr	787,00	787,00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	3675,00	3730,00
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2888,00	2943,00
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	2,44	2,47
6.	Selisih			0,03
7.	Rata - rata (F)			1,46
8.	Berat jenis (G)			2,55
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			57,21

Agregat kasar yang dihasilkan memiliki kerapatan rata-rata 1,46 g/cm³, atau berat satuan. Angka ini masih lebih tinggi dari 1,4 g/cm³, yang memenuhi kriteria SNI 03-4804-1998.

4.1.5. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Tabel 4.4 menampilkan hasil uji kadar kotoran. Dalam menentukan jumlah material dalam agregat, uji ini mengacu pada SIN 03-4142-1996.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum di cuci (A)	gr	2000,00	2000,00
2.	Berat kering material sesudah di cuci (B)	gr	1984,20	1980,30
3.	Material lolos ayakan 0,074 mm (C=((A-B)/A)x100%)	%	0,79	0,99
4.	Selisih			0,20
5.	Rata - rata			0,89

Jumlah maksimum lumpur yang diperbolehkan dalam agregat kasar, menurut SNI 03-4142-1996, adalah 1% dari berat agregat kering. Agregat dalam campuran beton harus dibersihkan atau dibuang jika hasil uji menunjukkan kadar lumpur lebih dari 1%.

4.1.6. Hasil Pengujian Analisis Saringan

Hasil analisis saringan agregat kasar alami ditunjukkan pada Tabel 4.5 untuk pengujian analisis saringan agregat kasar yang dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-1990 tentang analisis saringan agregat halus dan kasar..

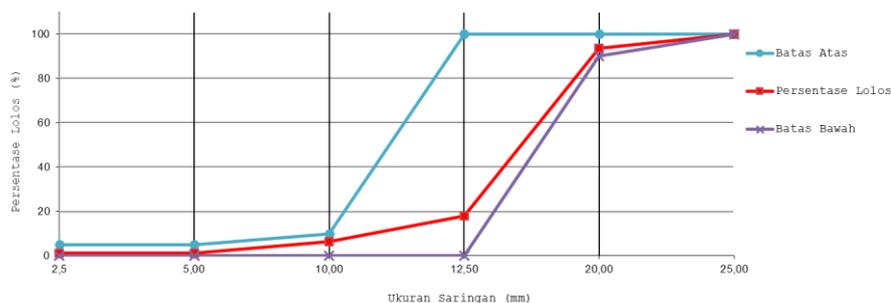
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan	Kumulatif	Kumulatif
	Berat	Persentase	Berat	Persentase		Persentase	Persentase
	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Lolos
(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20	123,00	6,15	142,00	7,10	6,63	6,63	93,38
12,7	1489,00	74,45	1524,00	76,20	75,33	81,95	18,05
10	254,00	12,70	212,00	10,60	11,65	93,60	6,40
5	112,00	5,60	99,00	4,95	5,28	98,88	1,13
2,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13
1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13
0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13
0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13
Pan	22,00	1,10	23,00	1,15	1,13	100,00	0,00
Total	2000,00		2000,00				
FM						7,75	

Nilai modulus kehalusan sebesar 7,75 ditemukan dalam hasil pengujian; Namun, angka ini secara keseluruhan dianggap kurang memadai karena tidak memenuhi standar SK SNI S-04-1989 F, yang mensyaratkan nilai modulus kehalusan 6,0 hingga 7,1. Hasilnya berupa grafik gradasi untuk analisis saringan agregat kasar.

Tabel 4. 6 Gradasi Analisis Agregat Kasar

Ukuran Ayakan (mm)	25	20	12,5	10	5	2,5
% lolos kumulatif	100,00	93,38	18,05	6,40	1,13	1,13
Standard	100-100	90-100	0-100	0-10	0-5	0-5



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar

Karena garis merah menunjukkan persentase agregat kasar yang melewati garis batas bawah (garis kuning) pada Gambar 4.1, maka gradasi agregat kasar ditunjukkan memenuhi kriteria.

4.1.7. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pengujian ini mengacu pada SNI 2417-2008 mengenai uji keausan menggunakan Los Angeles. Pada tabel 4.7 menyajikan hasil pengujian keausan agregat kasar.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)		Sample I	Sample II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
76,2	63,5		
63,5	50,8		
50,8	36,1		
36,1	25,4		
25,4	19,1		
19,1	12,7	2500	2500
12,7	9,52	2500	2500
9,52	6,35		
6,35	4,75		
4,75	2,36		
Jumlah Putaran		500	500
Jumlah Bola Baja		11	11
Jumlah Berat (gram) (a)		5000	5000
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		3921	4012
Keausan (%) =		21,58	19,76

$\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	
Selisih sample I & II	1,82
Rata-rata Keausan (%)	20,67

Karena memenuhi standar SNI 2417-2008 untuk keausan agregat di bawah 40%, agregat dengan keausan rata-rata 20,67% dapat digunakan untuk keperluan bangunan.

4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Laboratorium Universitas Pembangunan Jaya menganalisis agregat halus yang digunakan dalam pengujian sesuai dengan persyaratan yang relevan. Untuk menjamin kesesuaian agregat halus untuk digunakan dalam campuran beton, prosedur pengujian bertujuan untuk menilai kualitas dan karakteristik fisiknya. Hasil pengujian dijaga keakuratan dan konsistensinya dengan mematuhi proses standar. Atribut penting seperti kadar air, berat jenis, dan distribusi ukuran butir dapat dipastikan dengan menggunakan standar-standar ini. Untuk mencapai kemampuan kerja, kekuatan, dan daya tahan terbaik pada produk beton akhir, agregat halus harus memenuhi persyaratan yang diperlukan.

4.2.1. Hasil Pengujian Berat Jenis

Tujuan pengujian berat jenis beton sesuai dengan SNI 03-1974-1990 adalah untuk memastikan berat jenis (atau berat satuan) beton. Hasil pengujian berat jenis agregat halus ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Nomor flash		1	2
2.	Berat flash (A)	gr	141,00	224,00
3.	Berat sample dan flask (B)	gr	641,00	724,00
4.	Berat sample (C=B-A)	gr	500,00	500,00
5.	Berat flask, sample, dan air (D)	gr	944,60	1025,70
6.	Berat air (E=D-B)	gr	303,60	301,70
7.	Berat Jenis (F=C/(C-E))		2,55	2,52
8.	Selisih			0,02
9.	Rata - rata			2,53

Kepadatan agregat halus rata-rata adalah 2,53. Menurut SNI 3-1970-1990, agregat halus hanya dapat digunakan jika masih melebihi batas, yaitu di atas 2,5. Ini termasuk dalam kategori tersebut.

4.2.2. Hasil Pengujian Daya Serap Air

Tujuan uji penyerapan air adalah untuk mengetahui seberapa banyak air yang dapat diserap beton dalam jangka waktu tertentu. SNI 03-1970-1990 menyatakan bahwa penyerapan air yang signifikan dapat menjadi tanda porositas tinggi, yang dapat memengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Hasil uji penyerapan air ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Daya Serap Air Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1	Berat pan (A)	gr	1247,90	654,00
2	Berat sample dan pan (B)	gr	2247,90	1654,00
3	Berat sample (C=B-A)	gr	1000,00	1000,00
4	Berat sample kering (D)	gr	972,40	971,90
5	Daya serap air (E=(C-D)/D)	%	2,84	2,89
6	Selisih			0,05
7	Rata - rata			2,86

Agregat halus memiliki daya serap rata-rata 2,86% dari tingkat kekeringan absolut hingga tingkat kekeringan permukaan. Standar SNI 3-1970-1990 terpenuhi karena proporsi penyerapan agregat halus berada di bawah batas atas 3%.

4.2.3. Hasil Pengujian Berat Isi

Menentukan massa beton per satuan volume merupakan tujuan pengujian berat satuan beton. Sebagai acuan pengujian, pengujian ini sesuai dengan SNI 03-4804-1998. Hasil uji berat agregat halus ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	2002,00	2002,00
2.	Berat container (B)	gr	788,00	788,00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	3694,50	3723,80
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2906,50	2935,80
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1,45	1,47
6.	Selisih			0,01
7.	Rata - rata			1,46

No.	Percobaan	Satuan	1	2
8.	Berat Jenis (G)		2,53	
9.	Persentase volume padat ($H=(F/G)\times 100\%$)		57,59	

Kepadatan agregat halus rata-rata adalah $1,46 \text{ g/cm}^3$. Batas kepadatan rata-rata harus lebih besar dari $1,4 \text{ g/cm}^3$, yang memenuhi angka ini sesuai dengan SNI 03-4142-1996.

4.2.4. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Untuk mengetahui kadar lumpur (partikel halus) dalam agregat, kadar lanau agregat diuji. Pengujian ini memenuhi standar SNI 03-1968-1990 yang relevan. Untuk agregat halus, hasil uji kadar lanau ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Percobaan	Satuan	1	2
Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	1000,00	1000,00
Berat kering material sesudah dicuci (B)	gr	974,60	979,10
Material lolos ayakan 0.074 mm ($C=((A-B)/A)\times 100\%$)	%	2,54	2,09
Selisih			0,45
Rata - rata			2,32

Rata-rata kadar lumpur yang diperoleh adalah 2,32%. Angka ini masih di bawah ambang batas 7% yang ditetapkan oleh SNI 03-4142-1996.

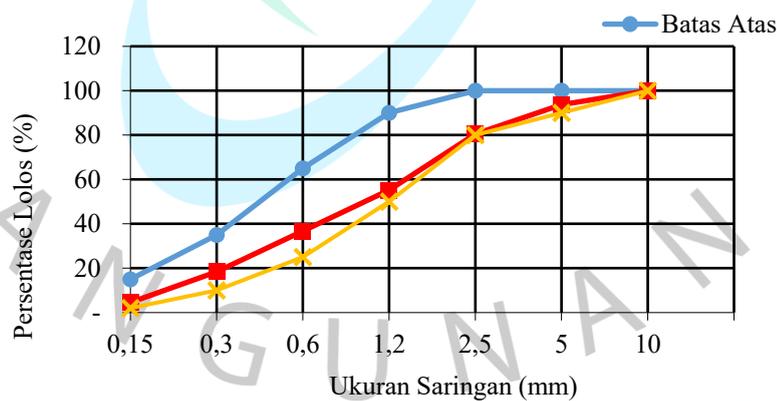
4.2.5. Hasil Pengujian Analisis Saringan

Berdasarkan SNI 03-1968-2008 tentang pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar, pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus ditampilkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Ukuran Aayakan	Percobaan 1		Percobaan 2		Rata-Rata	Kumulatif	Kumulatif Persentas e Lolos (%)
	Berat Tertahan (gr)	Persentas e Tertahan (%)	Berat Tertahan (gr)	Persentas e Tertahan (%)	Persentas e Tertahan (%)	Persentas e Tertahan (%)	
10	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
5	25,0	2,50	101,00	10,10	6,30	6,30	93,70
2,5	144,0	14,40	120,00	12,00	13,20	19,50	80,50
1,2	321,0	32,10	185,00	18,50	25,30	44,80	55,20
0,6	115,0	11,50	254,00	25,40	18,45	63,25	36,75
0,3	203,0	20,30	164,00	16,40	18,35	81,60	18,40
0,15	127,0	12,70	150,00	15,00	13,85	95,45	4,55
Pan	65,00	6,50	26,00	2,60	4,55	100,00	0,00
Total	1000,00	100,00	1000,00	100,00			
FM							3,11

Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat halus dengan modulus kehalusan ini baik dan memenuhi persyaratan sebagai bahan konstruksi. Ini karena agregat halus memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989 F, yang memerlukan nilai modulus kehalusan antara 1,5 dan 3,8.



Gambar 4. 2 Grafik Analisis Gradasi Agregat Halus

Karena garis merah, yang menunjukkan persentase agregat halus yang lolos, terletak di antara garis batas atas biru dan garis batas bawah kuning, grafik menunjukkan bahwa gradasi agregat memenuhi standar kehalusan.

4.3. Hasil Pengujian Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar Alami

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui berapa banyak limbah keramik yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat kasar alami saat menggunakan puing konstruksi.

4.3.1. Hasil Pengujian Analisis Saringan Keramik

SNI 03-1968-2008, yang menguji agregat halus dan kasar menggunakan analisis saringan, digunakan dalam pengujian ini. Sebagai alternatif agregat kasar alami, limbah keramik diuji menggunakan analisis saringan, dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Analisis Saringan Keramik

Ukuran Saringan	Analisis Saringan Keramik						Kumulatif	Kumulatif
	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan	Persentase		
	Berat	Persentase	Berat	Persentase		Tertahan	Lolos	
	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan		Tertahan	Lolos	
(mm)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(%)		
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
20	78,00	3,90	142,00	7,10	5,50	5,50	94,50	
12,7	1566,00	78,30	1524,00	76,20	77,25	82,75	17,25	
10	244,00	12,20	212,00	10,60	11,40	94,15	5,85	
5	90,00	4,50	99,00	4,95	4,73	98,88	1,13	
2,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13	
1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13	
0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13	
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13	
0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,88	1,13	
Pan	22,00	1,10	23,00	1,15	1,13	100,00	0,00	
Total	2000,00		2000,00					
FM						7,76		

Nilai modulus kehalusan sebesar 7,76 ditemukan dalam hasil pengujian; Namun, angka ini secara keseluruhan dianggap kurang memadai karena tidak memenuhi standar SK SNI S-04-1989 F, yang mensyaratkan nilai modulus kehalusan antara 6,0 dan 7,1. Hasilnya berupa grafik gradasi untuk analisis saringan agregat kasar. Pengujian analisis saringan pada agregat halus dan kasar, SNI 03-1968-2008, digunakan dalam pengujian ini. Hasil uji analisis saringan penggunaan limbah keramik sebagai alternatif agregat kasar alami ditampilkan pada Tabel 4.13.

4.3.2. Hasil Pengujian Abrasi Keramik

Dalam mengevaluasi ketahanan fisik agregat kasar terhadap keausan akibat benturan dan kondisi pemrosesan yang menyerupai kondisi lapangan, pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles merupakan teknik yang krusial. Untuk keperluan penelitian ini, SNI 03-2417-2008 (pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles) digunakan sebagai acuan. Hasil uji abrasif untuk keramik ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Abrasi Keramik 100%

UJI ABRASI KERAMIK			
Ukuran saringan (mm)		Sample I	Sample II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
76,2	63,5		
63,5	50,8		
50,8	36,1		
36,1	25,4		
25,4	19,1		
19,1	12,7	2500	2500
12,7	9,52	2500	2500
9,52	6,35		
6,35	4,75		
4,75	2,36		
Jumlah Putaran		500	500
Jumlah Bola Baja		11	11
Jumlah Berat (gram) (a)		5000	5000
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		2515	2369
Keausan (%) $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$		49,7	52,62
Selisih sample I & II		2,92	
Rata-rata Keausan (%)		51,16	

Dengan keausan agregat rata-rata sebesar 51,16%, agregat tersebut melampaui batasan SNI 2417-2008 mengenai keausan agregat di bawah 40%.

4.3.3. Pengujian Abrasi Parsial Kramik

Pengujian abrasi parsial pada limbah keramik 25% ditunjukkan pada Tabel 4.15. Standar SNI 03-2417-2008, yang menggunakan mesin Los Angeles untuk pengujian abrasi, diterapkan dalam kasus ini.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Abrasi Parsial Keramik 25%

CAMPURAN KERAMIK 25%					
Ukuran saringan (mm)		Sample I		Sample II	
Lolos		Keramik	AGG Alami	Keramik	Agg Alami
76,2	63,5				
63,5	50,8				
50,8	36,1				
36,1	25,4				
25,4	19,1				
19,1	12,7	1050	3950	1050	3950
12,7	9,52				
9,52	6,35				
6,35	4,75				
4,75	2,36				
Jumlah Putaran		500		500	
Jumlah Bola Baja		11		11	
Jumlah Berat (gram) (a)		5000		5000	
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		3056		3093	
Keausan% $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$		38,88		38,14	
Selisih sample I & II				0,74	
Rata-rata Keausan (%)				38,51	

Uji abrasi parsial pada 75% limbah keramik ditunjukkan pada Tabel 4.16. Hal ini sesuai dengan standar SNI 03-2417-2008, yang menggunakan mesin uji abrasi Los Angeles sebagai acuan pengujian.

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Abrasi Parsial Keramik 75%

CAMPURAN KERAMIK 75%					
Ukuran saringan (mm)		Sample I		Sample II	
Lolos		Keramik	AGG Alami	Keramik	AGG Alami
76,2	63,5				
63,5	50,8				
50,8	36,1				
36,1	25,4				
25,4	19,1				
19,1	12,7	3950	1050	3950	1050
12,7	9,52				
9,52	6,35				
6,35	4,75				

CAMPURAN KERAMIK 75%				
Ukuran saringan (mm)	Sample I		Sample II	
Lolos	Keramik	AGG Alami	Keramik	AGG Alami
4,75	2,36			
Jumlah Putaran	500		500	
Jumlah Bola Baja	11		11	
Jumlah Berat (gram) (a)	5000		5000	
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)	3073		3198	
Keausan (%) $= \frac{a-b}{a} \times 100 \%$	38,54		36,04	
Selisih sample I & II			2,5	
Rata-rata Keausan (%)			37,29	

4.4. Hasil Pengujian Marmer Sebagai Pengganti Agregat Kasar Alami

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh limbah marmer dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar alami sebagai pemanfaatan limbah konstruksi.

4.4.1. Hasil Pengujian Analisis Saringan Marmer

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-2008, yang mengatur pengujian analisis ayakan pada agregat halus dan kasar. Hasil uji ayakan analisis limbah sebagai pengganti agregat kasar alami ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Analisis Saringan Marmer

Analisis Saringan Marmer							
Ukuran Saringan (mm)	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Lolos (%)
	Berat	Persentase	Berat	Persentase			
	Tertahan (gr)	Tertahan (%)	Tertahan (gr)	Tertahan (%)			
25	14,00	0,73	0,00	0,00	0,37	0,37	99,63
20	98,00	5,14	106,00	5,54	5,34	5,70	94,30
12,7	1478,00	77,46	1456,00	76,07	76,77	82,47	17,53
10	231,00	12,11	269,00	14,05	13,08	95,55	4,45
5	49,00	2,57	56,00	2,93	2,75	98,30	1,70
2,5	20,00	1,05	5,00	0,26	0,65	98,95	1,05
1,2	8,00	0,42	6,00	0,31	0,37	99,32	0,68

Analisis Saringan Marmer							
Ukuran Saringan	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan	Kumulatif	Kumulatif
	Berat	Persentase	Berat	Persentase		Persentase	Persentase
	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Lolos
(mm)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)
0,6	0,00	0,00	6,00	0,31	0,16	99,48	0,52
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,48	0,52
0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,48	0,52
Pan	10,00	0,52	10,00	0,52	0,52	100,00	0,00
Total	1908,00		1914,00				
FM						7,79	

Berdasarkan hasil pengujian, modulus kehalusan adalah 7,79; Namun, angka ini secara keseluruhan dianggap kurang memadai karena tidak memenuhi standar SK SNI S-04-1989 F, yang mensyaratkan nilai modulus kehalusan antara 6,0 dan 7,1. Hasilnya berupa grafik gradasi untuk analisis saringan agregat kasar.

4.4.2. Hasil Pengujian Abrasi Marmer

Dalam mengevaluasi ketahanan fisik agregat kasar terhadap keausan akibat benturan dan kondisi pemrosesan yang menyerupai kondisi lapangan, pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles merupakan teknik yang krusial. Untuk keperluan penelitian ini, SNI 03-2417-2008 (pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles) digunakan sebagai acuan. Hasil pengujian abrasif terhadap kualitas ditampilkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Abrasi Marmer 100%

UJI ABRASI MARMER			
Ukuran saringan (mm)		Sample I	Sample II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
76,2	63,5		
63,5	50,8		
50,8	36,1		
36,1	25,4		
25,4	19,1		
19,1	12,7	2500	2500

UJI ABRASI MARMER			
Ukuran saringan (mm)		Sample I	Sample II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
12,7	9,52	2500	2500
9,52	6,35		
6,35	4,75		
4,75	2,36		
Jumlah Putaran		500	500
Jumlah Bola Baja		11	11
Jumlah Berat (gram) (a)		5000	5000
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		2636	2778
$Keausan (\%) = \frac{a-b}{a} \times 100 \%$		47,28	44,44
Selisih sample I & II		2,84	
Rata-rata Keausan (%)		45,86	

Dengan keausan rata-rata sebesar 45,86 persen, agregat tersebut melampaui batasan SNI 2417-2008 tentang keausan agregat di bawah 40 persen.

4.4.3. Pengujian Abrasi Parsial Marmer

Pada tabel 4.19 menyajikan pengujian abrasi parsial pada limbah marmer pada presentase 25%. Seusai dengan standar SNI 03-2417 sebagai acuan pengujian.

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Abrasi Parsial Marmer 25%

CAMPURAN MARMER 25%					
Ukuran saringan (mm)		Sample I		Sample II	
Lolos	Tertahan	Marmer	AGG Alami	Marmer	AGG Alami
76,2	63,5				
63,5	50,8				
50,8	36,1				
36,1	25,4				
25,4	19,1				
19,1	12,7	1050	3950	1050	3950
12,7	9,52				
9,52	6,35				
6,35	4,75				
4,75	2,36				

CAMPURAN MARMER 25%				
Ukuran saringan (mm)	Sample I		Sample II	
Lolos	Marmer	AGG Alami	Marmer	AGG Alami
Jumlah Putaran	500		500	
Jumlah Bola Baja	11		11	
Jumlah Berat (gram) (a)	5000		5000	
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)	3097		3119	
Keausan (%) $\frac{a-b}{a} \times 100\%$	38,06		37,62	
Selisih sample I & II			0,44	
Rata-rata Keausan (%)			37,84	

Pada tabel 4.20 menyajikan pengujian abrasi parsial pada limbah marmer pada presentase 75%. Seusai dengan standar SNI 03-2417-2008 sebagai acuan pengujian.

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Abrasi Marmer 75%

CAMPURAN MARMER 75%					
Ukuran saringan (mm)	Sample I		Sample II		
Lolos	Marmer	AGG Alami	Marmer	AGG Alami	
76,2	63,5				
63,5	50,8				
50,8	36,1				
36,1	25,4				
25,4	19,1				
19,1	12,7	3950	1050	3950	1050
12,7	9,52				
9,52	6,35				
6,35	4,75				
4,75	2,36				
Jumlah Putaran	500		500		
Jumlah Bola Baja	11		11		
Jumlah Berat (gram) (a)	5000		5000		
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)	3095		3042		
Keausan (%) $\frac{a-b}{a} \times 100\%$	38,1		39,16		
Selisih sample I & II			1,06		
Rata-rata Keausan (%)			38,63		

4.5. Hasil Pengujian Granit Sebagai Pengganti Agregat Kasar Alami

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh limbah granit dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar alami sebagai pemanfaatan limbah konstruksi.

4.5.1. Hasil Pengujian Analisis Saringan Granit

Pengujian ini menggunakan analisis saringan pada agregat halus dan kasar, SNI 03-1968-2008. Limbah alam sebagai alternatif agregat kasar alami diuji menggunakan analisis saringan, dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Analisis Saringan Granit

Ukuran Saringan (mm)	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan	Kumulatif	Kumulatif
	Berat	Persentase	Berat	Persentase		Persentase	Persentase
	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Lolos
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20	75,00	3,75	80,00	4,13	3,94	3,94	96,06
12,7	1258,00	62,90	1226,00	63,36	63,13	67,07	32,93
10	598,00	29,90	574,00	29,66	29,78	96,85	3,15
5	50,00	2,50	47,00	2,43	2,46	99,32	0,68
2,5	9,00	0,45	0,00	0,00	0,23	99,54	0,46
1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,54	0,46
0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,54	0,46
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,54	0,46
0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,54	0,46
Pan	10,00	0,50	8,00	0,41	0,46	100,00	0,00
Total	2000,00		1935,00				
FM						7,65	

Nilai modulus kehalusan sebesar 7,65 ditemukan dalam hasil pengujian; Namun, angka ini secara keseluruhan dianggap kurang memadai karena tidak memenuhi standar SK SNI S-04-1989 F, yang mensyaratkan nilai modulus kehalusan 6,0 hingga 7,1. Hasilnya berupa grafik gradasi untuk analisis saringan agregat kasar..

4.5.2. Hasil Pengujian Abrasi Granit

Dalam mengevaluasi ketahanan fisik agregat kasar terhadap keausan akibat benturan dan kondisi pemrosesan yang menyerupai kondisi lapangan, pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles merupakan teknik yang krusial. Untuk

keperluan penelitian ini, SNI 03-2417-2008 (pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles) digunakan sebagai acuan. Hasil uji abrasi pada granit ditampilkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Abrasi Granit 100%

UJI ABRASI GRANIT			
Ukuran saringan (mm)		Sample I	Sample II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
76,2	63,5		
63,5	50,8		
50,8	36,1		
36,1	25,4		
25,4	19,1		
19,1	12,7	2500	2500
12,7	9,52	2500	2500
9,52	6,35		
6,35	4,75		
4,75	2,36		
Jumlah Putaran		500	500
Jumlah Bola Baja		11	11
Jumlah Berat (gram) (a)		5000	5000
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		2885	2924
Keausan (%) $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$		42,3	41,52
Selisih sample I & II			0,78
Rata-rata Keausan (%)			41,91

Keausan agregat rata-rata sebesar 41,52% lebih tinggi dari batas keausan agregat SNI 2417-2008 yaitu kurang dari 40%.

4.5.3. Pengujian Abrasi Parsial Granit

Pada persentase 25%, pengujian abrasi parsial pada limbah granit ditunjukkan pada Tabel 4.23. sebagai referensi pengujian, sesuai dengan standar SNI 03-2417-2008 (pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles).

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Abrasi Parsial Granit 25%

CAMPURAN GRANIT 25%					
Ukuran saringan (mm)		Sample I		Sample II	
Lolos		Granit	AGG Alami	Granit	AGG Alami
76,2	63,5				
63,5	50,8				
50,8	36,1				
36,1	25,4				
25,4	19,1				
19,1	12,7	1050	3950	1050	3950
12,7	9,52				
9,52	6,35				
6,35	4,75				
4,75	2,36				
Jumlah Putaran		500		500	
Jumlah Bola Baja		11		11	
Jumlah Berat (gram) (a)		5000		5000	
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		3321		3172	
Keausan (%) $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$		33,58		36,56	
Selisih sample I & II				2,98	
Rata-rata Keausan (%)				35,07	

Tabel 4.24 menunjukkan hasil uji abrasi parsial 75% pada serpihan granit menurut standar SNI 03-2417-2008 yang menggunakan mesin uji abrasi Los Angeles sebagai acuan pengujian.

Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Abrasi Parsial Granit 75%

CAMPURAN GRANIT 75%					
Ukuran saringan (mm)		Sample I		Sample II	
Lolos		Granit	AGG Alami	Granit	AGG Alami
76,2	63,5				
63,5	50,8				
50,8	36,1				
36,1	25,4				
25,4	19,1				
19,1	12,7	3950	1050	3950	1050
12,7	9,52				
9,52	6,35				
6,35	4,75				
4,75	2,36				
Jumlah Putaran		500		500	
Jumlah Bola Baja		11		11	
Jumlah Berat (gram) (a)		5000		5000	
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		3391		3242	

CAMPURAN GRANIT 75%				
Ukuran saringan (mm)	Sample I		Sample II	
Lolos	Granit	AGG Alami	Granit	AGG Alami
Keausan (%) $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	32,18		35,16	
Selisih sample I & II	2,98			
Rata-rata Keausan (%)	33,67			

4.6. Perancangan Campuran

Subbab 4.6 menyajikan temuan desain campuran beton, yang didasarkan pada SNI 03-2834-2000 dan menghasilkan kuat tekan beton sebesar 50 MPa.

4.6.1. Perancangan Campuran Beton Normal

Tabel 4.25 menunjukkan perhitungan desain untuk beton biasa dengan proyeksi kuat tekan f'_c sebesar 50Mpa sesuai dengan SNI 03-2834-2000, yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

Tabel 4. 25 Perancangan Campuran Beton Normal

Komponen	Hasil	Satuan
Faktor Air Semen Maksimal	0,60	
Jumlah Semen Minimum per m ³	662,55	
Standar Deviasi	7	
Nilai Tambah (Margin)	11,48	MPa
fcr	61,48	MPa
Nilai Slump	60-180	mm
Ukuran Agregat Minimum	12,5	mm
Kadar Air Bebas	233,33	
Faktor Air Semen	0,35	
Bj Agregat Kasar	2,55	
Bj Agregat Halus	2,53	
Wh	225	
Wk	250	
Air	233,33	Liter
Agregat Halus	560,09	kg
Agregat Kasar	876,03	kg
Semen	662,55	kg

4.6.2. Perancangan Campuran Beton Substitusi Agregat Kasar

Rancangan campuran beton tipikal sesuai dengan SNI 03-2834-2000, yang menjadi panduan penelitian ini, ditunjukkan pada Tabel 4.26. Kuat tekan objektif yang direncanakan untuk penelitian ini adalah $f'_c = 50$ MPa.

4.6.7.1. Langkah 1 – Pergantian rasio agregat kasar dengan keramik, marmer, dan granit

Setelah rasio perbandingan campuran beton normal dalam 1 m³ didapatkan, langkah selanjutnya adalah mengubah rasio antara agregat kasar alami dengan keramik, marmer, dan granit.

4.6.7.2. Langkah 2 – Rasio substitusi agregat kasar dengan keramik, marmer, dan granit

Rasio substitusi agregat kasar adalah 25%, 75% dan 100% dan mendapatkan hasil perhitungan seperti dibawah ini,

Tabel 4. 26 Rasio Substitusi Agregat Campuran

3 bekisting	0%	25%	75%	100%	Satuan
air	1,38	1,38	1,38	1,38	kg/m ₃
semen	3,43	3,43	3,43	3,43	kg/m ₃
agg halus	2,84	2,84	2,84	2,84	kg/m ₃
agg kasar	4,97	1,24	3,72	4,97	kg/m ₃
agg kasar alami		3,72	1,24		kg/m ₃

4.6.7.3. Langkah 3 – Rasio superplastisizer

Rasio superplastisizer dalam pencampuran beton pada penelitian ini di ambil 2% dari jumlah rasio air yang ada direncana campuran beton pada tabel 4.27 Menunjukkan perhitungan cammpuran superplastisizer.

Tabel 4. 27 Rasio Superplastisizer

Air (liter)	1,38 L
SP	2%
Jumlah	0,028 L

4.7. Analisis Data

5. Hasil uji slump, kuat tekan, dan berat jenis disertakan dalam subbab 4.7 tentang analisis data. Hasil-hasil ini disertai dengan variasi agregat kasar granit, marmer, dan keramik.

4.7.1 Hasil Uji Slump

Slump test digunakan untuk mengukur seberapa kental atau cair campuran beton. Ini membantu dalam menentukan apakah campuran beton memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk mengetahui workability beton. Hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 4.28 Menunjukkan hasil slump pada beton segar.

Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Slump

	0%	25%	75%	100%	Satuan
Aggregat Alami	180	–	–	–	<i>mm</i>
Aggregat Campuran Keramik	–	140	140	120	<i>mm</i>
Aggregat Campuran Marmer	–	140	180	200	<i>mm</i>
Aggregat Campuran Granit	–	200	180	140	<i>mm</i>

Ketika persentase kombinasi agregat kasar yang digunakan untuk menggantikan campuran agregat kasar alami dalam campuran beton meningkat, hasil uji slump membuktikan hal ini.

4.7.2 Hasil Kuat Tekan Beton

Untuk menentukan kuat tekan beton, pengujian ini mengacu pada SNI 2847:2019 (Prosedur Standar Perancangan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung). Uji kuat tekan beton ini digunakan untuk memastikan kekuatan beton yang terbuat dari kombinasi tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa beton memenuhi persyaratan yang dibutuhkan untuk aplikasi bangunan.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengevaluasi kualitas dan kepadatan beton akhir serta untuk mengetahui seberapa kuat beton pada umur tertentu, umumnya antara tujuh dan dua puluh delapan hari. Untuk menentukan apakah tembikar, marmer, dan granit dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar alami dalam beton, alternatif penggunaan puing konstruksi ditambahkan ke dalam campuran beton. Mutu beton 50 MPa digunakan dalam campuran beton

untuk penelitian ini. Beton diuji setelah tujuh, empat belas, dan dua puluh delapan hari. Selama pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa tabung berukuran 10 x 20 cm yang dihitung menggunakan rumus.

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan

f'_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm²)

Tabel ringkasan kuat tekan beton dapat ditemukan di **Lampiran A-1**. Rumus berikut digunakan untuk menghitung hasil berikut menggunakan sampel beton normal 0%:

$$f'_c = \frac{368.000}{7,854}$$

$$f'_c = 46,855 \text{ MPa}$$

4.7.3 Hasil Berat Jenis Beton

Dalam studi ini, pengukuran berat jenis beton dilakukan menggunakan rumus tertentu, dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengenali serta menganalisis karakteristik berat jenis beton yang telah dibuat sebagai bagian dari penelitian.

Ringkasan hasil pengukuran berat jenis beton ditampilkan pada Tabel 4.29, yang merupakan hasil pengujian terhadap berbagai variasi campuran beton.

Tabel 4. 29 Berat Jenis Beton

		Berat Jenis Beton							
Nama	Umur	Massa Beton Campuran %				0%	Berat Jenis (kg/m ₃)		
		0%	25%	75%	100%				
Beton Normal	7	3,768	-	-	-	2400,00	-	-	-
Beton Normal	7	3,456	-	-	-	2201,27	-	-	-
Beton Normal	7	3,876	-	-	-	2468,79	-	-	-
Beton Normal	14	3,987	-	-	-	2539,49	-	-	-
Beton Normal	14	3,328	-	-	-	2119,75	-	-	-
Beton Normal	14	3,741	-	-	-	2382,80	-	-	-
Beton Normal	28	3,893	-	-	-	2479,62	-	-	-

Berat Jenis Beton									
Nama	Umur	Massa Beton Campuran %					Berat Jenis (kg/m_3)		
		0%	25%	75%	100%	0%			
Beton Normal	28	3,558	-	-	-	2266,24	-	-	-
Beton Normal	28	3,894	-	-	-	2480,25	-	-	-
Beton Campuran Keramik	7	-	3,466	3,476	3,439	-	2207,64	2214,01	2190,45
Beton Campuran Keramik	7	-	3,396	3,496	3,496	-	2163,06	2226,75	2226,75
Beton Campuran Keramik	7	-	3,432	3,442	3,476	-	2185,99	2192,36	2214,01
Beton Campuran Keramik	14	-	3,462	3,456	3,446	-	2205,10	2201,27	2194,90
Beton Campuran Keramik	14	-	3,418	3,449	3,476	-	2177,07	2196,82	2214,01
Beton Campuran Keramik	14	-	3,446	3,423	3,486	-	2194,90	2180,25	2220,38
Beton Campuran Keramik	28	-	3,426	3,410	3,402	-	2182,17	2171,76	2167,09
Beton Campuran Keramik	28	-	3,418	3,393	3,429	-	2177,07	2161,25	2184,29
Beton Campuran Keramik	28	-	3,410	3,377	3,349	-	2171,97	2150,74	2133,33
Beton Campuran Marmer	7	-	3,402	3,360	3,463	-	2166,88	2140,23	2205,94
Beton Campuran Marmer	7	-	3,394	3,344	3,486	-	2161,78	2129,72	2220,59
Beton Campuran Marmer	7	-	3,386	3,327	3,409	-	2156,69	2119,21	2171,55
Beton Campuran Marmer	14	-	3,378	3,411	3,429	-	2151,59	2172,40	2184,29
Beton Campuran Marmer	14	-	3,370	3,494	3,493	-	2146,50	2225,58	2225,05
Beton Campuran Marmer	14	-	3,362	3,478	3,467	-	2141,40	2215,07	2208,49
Beton Campuran Marmer	28	-	3,354	3,461	3,689	-	2136,31	2204,56	2349,89
Beton Campuran Marmer	28	-	3,346	3,445	3,409	-	2131,21	2194,06	2171,55
Beton Campuran Marmer	28	-	3,338	3,428	3,422	-	2126,11	2183,55	2179,83
Beton Campuran Granit	7	-	3,330	3,412	3,443	-	2121,02	2173,04	2193,21
Beton Campuran Granit	7	-	3,322	3,495	3,469	-	2115,92	2226,22	2209,77
Beton Campuran Granit	7	-	3,314	3,479	3,489	-	2110,83	2215,71	2222,51
Beton Campuran Granit	14	-	3,306	3,462	3,401	-	2105,73	2205,20	2166,45
Beton Campuran Granit	14	-	3,298	3,446	3,424	-	2100,64	2194,69	2181,10
Beton Campuran Granit	14	-	3,290	3,429	3,441	-	2095,54	2184,18	2191,93
Beton Campuran Granit	28	-	3,282	3,413	3,463	-	2090,45	2173,67	2205,94
Beton Campuran Granit	28	-	3,274	3,396	3,489	-	2085,35	2163,16	2222,51
Beton Campuran Granit	28	-	3,266	3,480	3,498	-	2080,25	2216,35	2228,03

4.7.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar Alami

Tabel 4.30 menampilkan ringkasan pengujian yang dibuat dari temuan pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dan halus.

Tabel 4. 30 Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar Alami

No	Rekapitulasi Hasil Pengujian		Agregat Kasar			Agregat Halus		
	Pengujian	SNI	Standar	Hasil	Status	Standar	Hasil	Status
1	Berat Jenis	03-1969-2008	$\geq 2,5$	2,55	OK	$\geq 2,5$	2,53	OK
2	Berat Isi	03-4804-1998	$\geq 2,4$	2,46	OK	$\geq 1,4$	1,46	OK
3	Kadar Lumpur	03-4142-1996	$\leq 1,0$	0,89	OK	$\leq 7,0$	2,32	OK
4	Daya Serap	03-1996-2008	$\leq 3,0$	2,81	OK	$\leq 3,0$	2,86	OK
5	Keausan Agregat	2417-2008	≤ 40	20,67	OK	-	-	-
6	Modulus Kekhalusan	SK SNI-04-1989-F	6,0-7,1	7,75	NOT OK	1,5-3,8	3,11	OK

4.7.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pengganti Agregat Kasar Alami

Setelah semua pengujian abrasi dilakukan untuk agregat kasar dilakukan hasil rekapitulasi pengujian abrasi agregat kasar yang telah dilakukan di laboratorium Universitas Pembangunan Jaya.

Tabel 4. 31 Rekapitulasi Pengujian Abrasi Agregat Kasar

Jenis	Rata-Rata Keausan %		
	100%	75%	25%
Agregat Kasar Alami	20,67	-	-
Keramik	51,16	38,54	38,88
Marmar	45,86	38,63	37,84
Granit	41,91	33,67	35,07

Pada tabel 4.31 menunjukkan hasil pengujian abrasi pada agregat kasar alami, keramik, marmar, dan granit. Pengujian abrasi dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan yang disebabkan oleh benturan dan gesekan selama proses pencampuran dan penggunaan beton. Uji keausan agregat kasar alami dilakukan menggunakan metode *Los Angeles Abrasion Test* sesuai

standar SNI 03-2417-2008, yang menetapkan bahwa nilai keausan agregat kasar untuk beton tidak boleh melebihi 40%. Pada pengujian dengan komposisi 100%, agregat kasar alami menunjukkan keausan 20,67%, jauh di bawah batas maksimum, menunjukkan ketahanan aus yang sangat baik. Namun, agregat keramik memiliki nilai abrasi tertinggi, 51,16%, yang melebihi ambang batas dan tidak disarankan untuk digunakan sepenuhnya. Agregat marmer dan granit juga menunjukkan nilai abrasi yang tinggi, 45,86% dan 41,91%, masing-masing, yang berarti keduanya tidak cocok untuk digunakan sebagai agregat kasar penuh.

Performa abrasi meningkat secara signifikan pada komposisi parsial (75 persen dan 25 persen). Nilai abrasi keramik pada 75% adalah 37,29%, dan pada 25% adalah 38,51%, masing-masing masih dalam batas yang dapat diterima. Selain itu, marmer menunjukkan peningkatan dengan nilai 35,07 persen (75%) dan 37,84 persen (25%). Performa terbaik dan stabilitas granit terlihat, dengan nilai abrasi yang konsisten 33,67% untuk 75%.

Secara umum, penurunan proporsi limbah agregat berkorelasi dengan penurunan nilai abrasi. Keramik mengalami penurunan yang signifikan dari 51,16% menjadi 37,29% setelah dikurangi hingga 75%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah agregat kasar secara parsial sangat membantu menjaga tingkat abrasi yang diinginkan.

Berdasarkan dari tabel 4.31 dapat disimpulkan jika pengujian abrasi parsial dengan limbah granit 75% menghasilkan yang keausan terbaik yang berada di angka 33,67% sesuai dengan acuan SNI 03-2417-2008, di mana batas keausan dari agregat kasar adalah di bawah 40%.

4.7.6 Rekapitulasi Pengujian Campuran Pengganti Agregat Kasar Alami

Tabel 4.32 menunjukkan hasil rekapitulasi dari pengujian campuran pengganti agregat kasar alami. Pengujian ini mengacu pada standar SNI yang berlaku.

Tabel 4. 32 Rekapitulasi Pengujian Campuran Pengganti Agregat Kasar Alami

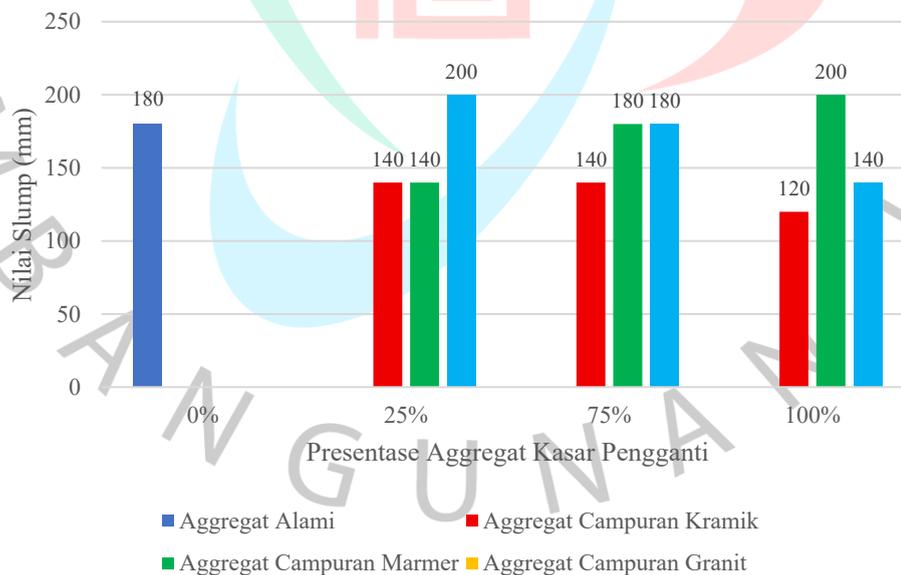
Rekapitulasi Hasil Pengujian			Keramik			Marmer			Granit		
No	Pengujian	SNI	Stand ar	Hasi l	Status	Stand ar	Hasi l	Status	Stand ar	Hasi l	Status
1	Berat Jenis	03-1969-2008	≥ 2,5	2,51	Ok	≥ 2,5	2,58	Ok	≥ 2,5	2,53	Ok
2	Berat Isi	03-4804-1998	≥ 2,4	2,48	Ok	≥ 2,4	2,5	Ok	≥ 2,4	2,46	Ok
3	Kadar Lumpur	03-4142-1996	≤ 1,0	0,92	Ok	≥ 1,0	0,87	Ok	≤ 1,0	0,9	Ok
4	Daya Serap	03-1996-2008	≤ 3,0	2,76	Ok	≤ 3,0	2,57	Ok	≤ 3,0	2,82	Ok
5	Modulus Kehalusan	SK SNI-04-1989-F	6,0-7,1	7,76	Not Ok	6,0-7,1	7,79	Not Ok	6,0-7,1	7,65	Not Ok

4.8 Pembahasan

Dengan variasi campuran keramik, marmer, dan granit sebagai pengganti agregat kasar alami, data yang berisi hasil uji slump, uji berat jenis beton, uji abrasi agregat kasar, dan uji kuat tekan beton dibahas dalam sub-bab 4.8.

4.8.1. Uji Slump

- Gambar 4.6 menampilkan hasil grafik pengujian slump pada ke empat jenis campuran beton dengan variasi 0%, 25%, 75%, dan 100% yang berbeda.



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Slump

Nilai Slump (mm)	Keleccakan Beton	Keterangan / Kegunaan
0 – 25	Sangat kaku	Beton pracetak, fondasi masif, beton tanpa tulangan
25 – 75	Kaku	Pelat pondasi, dinding penahan, kolom besar
75 – 100	Sedang	Balok, kolom biasa, elemen struktural umum
100 – 150	Lunak (plastis)	Pelat lantai, pelat atap, pengecoran dengan tulangan rapat
150 – 200	Sangat lunak (encer)	Beton dengan pemakaian superplasticizer, cetakan padat

Grafik 4.6 Menunjukkan hasil pengujian slump beton dengan campuran keramik, marmer, dan granit sebagai pengganti agregat kasar pada presentase substitusi yang berbeda (25%, 75%, dan 100%). Pada hasil uji slump 0% yang menggunakan agregat alami mencapai angka 180 mm yang mengindikasikan *workability* yang sangat baik.

Nilai slump dipilih karena sesuai dengan kebutuhan metode pengecoran yang menggunakan pompa beton (*concrete pump*) SNI 7656:2012, yang menyebutkan bahwa untuk beton bertulang dengan metode pengecoran tertentu, nilai slump yang diperbolehkan dapat berkisar antara 150–210 mm.. Beton dengan slump yang tinggi mampu mengalir dengan baik melalui pipa pompa tanpa mengalami segregasi atau penyumbatan, sehingga proses pengecoran dapat berjalan dengan lebih efisien dan cepat. Selain itu, penggunaan beton dengan nilai slump 180 mm juga membantu meminimalkan kebutuhan pemadatan manual, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap konsistensi mutu beton serta efisiensi tenaga kerja di lapangan. Dalam campuran beton yang digunakan, nilai slump yang tinggi ini diperoleh dengan penambahan bahan tambahan (*admixture*) berupa superplasticizer, yang memungkinkan peningkatan keleccakan tanpa harus menambah jumlah air dalam campuran. Dengan demikian, meskipun nilai slump tinggi, beton tetap mempertahankan rasio air-semen (*w/c ratio*) yang rendah, sehingga kekuatan tekan dan durabilitas beton tetap terjaga.

Pola slump untuk keramik cenderung menunjukkan penurunan *workability* seiring dengan peningkatan persentase penggantian, terutama pada tingkat 100%. Hal ini konsisten dengan literatur yang menyoroti penyerapan air yang lebih tinggi dan dampak negatif pada *workability* (Giridhar.,2017). Meskipun demikian, pada

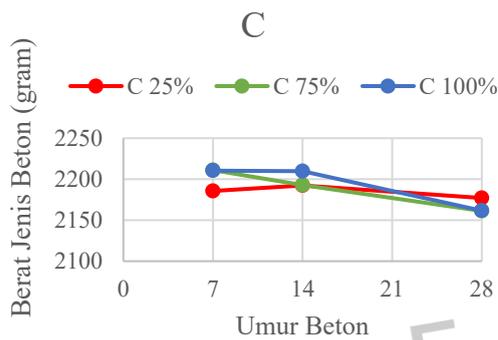
75% penggantian, slump tetap konstan, yang mungkin mengindikasikan bahwa pada titik tersebut, penyerapan air atau karakteristik lain dari keramik telah mencapai efek maksimumnya pada workability atau campuran telah dioptimalkan untuk performa tersebut.

Marmer menunjukkan tren yang berlawanan, dengan peningkatan slump seiring dengan peningkatan persentase penggantian, mencapai nilai tertinggi pada 100% penggantian. Hasil ini sangat positif dan didukung oleh banyak penelitian yang menyatakan bahwa marmer, karena kehalusan partikelnya, dapat bertindak sebagai pengisi yang efektif dan meningkatkan fluiditas campuran beton (Lee., 2015). Peningkatan workability ini sangat menguntungkan untuk produksi beton yang mudah dikerjakan.

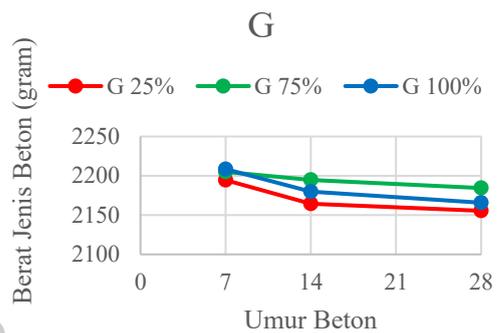
Pada campuran granit menunjukkan pola yang menarik dengan slump tertinggi pada 25% penggantian, kemudian menurun pada 75% dan 100%. Pada persentase rendah (25%), granit dapat meningkatkan workability, mungkin karena efek pengisi atau pelumasan (Prokopski et al., 2020) Namun, pada persentase yang lebih tinggi (75% dan 100%), *workability* mulai menurun. Ini bisa disebabkan oleh peningkatan luas permukaan spesifik granit atau teksturnya yang lebih kasar, yang meningkatkan kebutuhan air dan gesekan antar partikel, sehingga mengurangi kemampuan aliran beton (Nakade., 2020).

4.8.2. Uji Berat Jenis

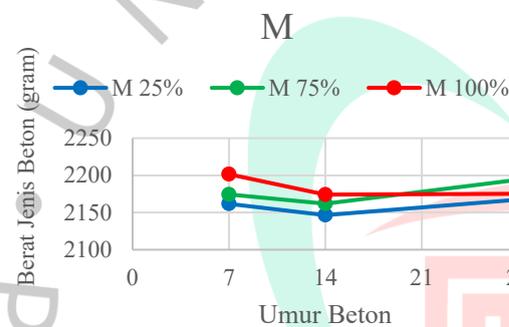
Beton dengan kombinasi granit, marmer, dan keramik diperiksa berat jenisnya pada umur 7, 14, dan 28 hari dalam penelitian ini. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan sifat kepadatan beton yang mengandung kombinasi granit, marmer, dan keramik.



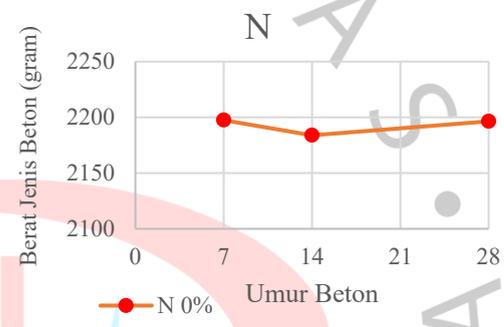
Gambar 4. 4 Grafik Berat Jenis Beton Keramik



Gambar 4. 6 Grafik Berat Jenis Beton Granit



Gambar 4. 5 Grafik Berat Jenis Beton Marmer



Gambar 4. 7 Grafik Berat Jenis Beton Normal

Tujuan pengujian berat jenis beton adalah untuk memastikan massa atau kepadatan beton pada usia tertentu, yang secara tidak langsung menunjukkan kepadatan dan kualitas campuran. Berat jenis beton bervariasi tergantung pada jenis dan jumlah agregat kasar: alami (N 0%), keramik (C 25%, 75%, 100%), marmer (M 25%, 75%, 100%), dan granit (G 25%, 75%, 100%) (Grafik 4.7 hingga 4.10). Pada agregat kasar alami (N 0%), menunjukkan kestabilan berat jenis beton sepanjang umur pengujian. Nilai berat jenis berkisar antara 2200–2250 kg/m³, yang berada dalam kisaran tipikal berat beton normal menurut SNI 2847:2019, yaitu 2200–2400 kg/m³. Ini menegaskan bahwa beton dengan agregat alami cenderung memiliki struktur yang padat dan seragam seiring waktu.

Untuk agregat keramik (C), terlihat bahwa pada komposisi 100% (C 100%), berat jenis awal cukup tinggi (sekitar 2230 kg/m³) tetapi cenderung menurun hingga mendekati 2150 kg/m³ pada umur 28 hari. Penurunan juga tampak pada C 75% dan C 25%, meskipun tidak terlalu drastis. Hal ini mengindikasikan

bahwa penggunaan limbah keramik sebagai agregat kasar penuh menyebabkan penurunan densitas, kemungkinan akibat sifat keramik yang lebih rapuh dan berpori, sehingga mengurangi kepadatan beton. Hasil ini sesuai dengan penelitian Rohana tahun 2022 yang menemukan bahwa berat jenis beton yang mengandung limbah keramik lebih rendah dibandingkan dengan beton biasa.

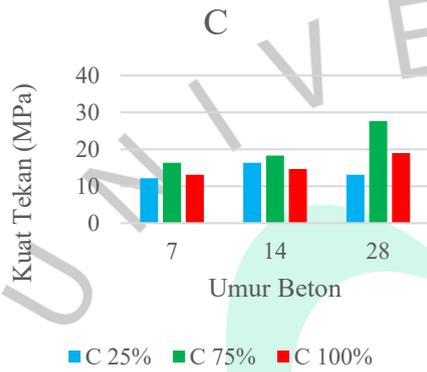
Pada campuran marmer (M), terlihat fluktuasi pada semua komposisi, namun berat jenis masih cenderung stabil dalam rentang 2150–2220 kg/m³. Beton dengan M 25% dan M 75% menunjukkan sedikit penurunan pada umur 14 hari, tetapi kembali meningkat di umur 28 hari. Ini menunjukkan bahwa beton dengan campuran marmer mengalami proses hidrasi yang lebih lambat namun stabil. Hasil ini sesuai dengan temuan Farida (2018) yang menyatakan bahwa limbah marmer tidak secara signifikan menurunkan berat jenis beton apabila digunakan dalam proporsi parsial.

Sedangkan untuk agregat granit (G), pola penurunan berat jenis paling jelas terjadi pada G 100%, dari sekitar 2210 kg/m³ pada 7 hari menjadi sekitar 2140 kg/m³ pada 28 hari. Sementara G 25% dan G 75% menunjukkan kecenderungan stabil. Hasil ini mendukung penelitian Wiyanti & Laksono (2021) yang mengamati bahwa penggunaan granit sebagai agregat kasar penuh dapat mengurangi kerapatan beton karena bentuk butiran dan tekstur permukaannya yang halus menghambat ikatan antar pasta semen.

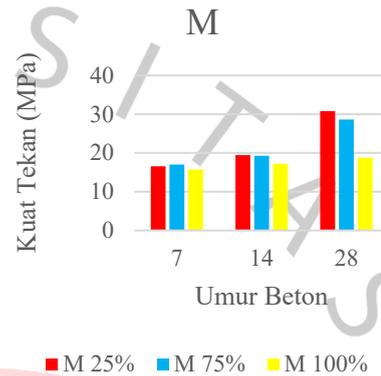
Secara umum, penggunaan agregat limbah keramik, marmer, dan granit menyebabkan sedikit penurunan berat jenis beton, terutama pada komposisi penuh (100%). Namun pada penggunaan parsial (25% dan 75%), nilai berat jenis masih berada dalam batas standar beton normal dan dapat diterima secara teknis. Penurunan berat jenis ini juga menjadi indikator bahwa campuran dengan limbah agregat kasar lebih sesuai untuk aplikasi beton non-struktural atau dengan kebutuhan beban ringan. Penggunaan parsial agregat alternatif dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam mendaur ulang limbah konstruksi tanpa mengorbankan performa fisik beton secara signifikan.

4.8.3. Kuat Tekan Beton

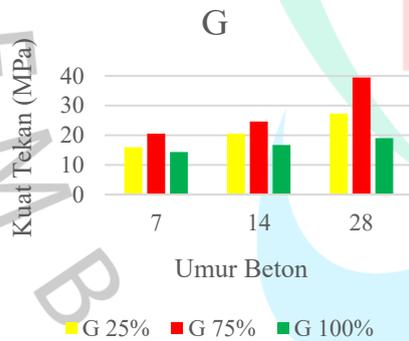
Pengujian kuat tekan beton menggunakan acuan SNI-2847:2019 2019 (Standar tata cara perancangan struktur beton untuk bangunan gedung) sebagai penentuan kuat tekan benda uji. Benda uji pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk tabung dengan diameter 10 mm dan tinggi 20 mm total benda uji sebanyak 90 buah dengan 4 variabel yang akan di uji ketika berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.



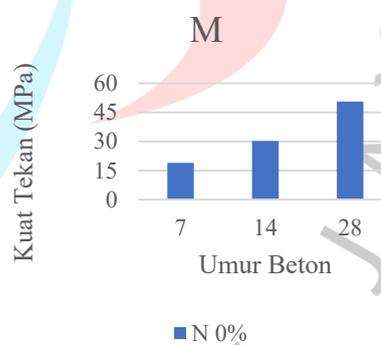
Gambar 4. 8 Grafik Kuat Tekan Beton Keramik



Gambar 4. 10 Grafik Kuat Tekan Beton Granit



Gambar 4. 9 Grafik Kuat Tekan Beton Marmer



Gambar 4. 11 Grafik Kuat Tekan Beton Normal

Untuk mengetahui bagaimana perbedaan penempatan agregat kasar alami dengan material limbah seperti granit, marmer, dan keramik memengaruhi kuat tekan beton, dilakukan pengujian. Persentase penempatan 0%, 25%, 75%, dan 100% digunakan untuk pengujian pada umur 7, 14, dan 28 hari. Gambar 4.11, 4.12, 4.13, dan 4.14 menunjukkan hasil uji kuat tekan untuk beton campuran keramik, beton campuran marmer, dan beton biasa.

Dari gambar 4.11 hingga 4.14 tersebut terlihat bahwa pengaruh pergantian agregat pada umur 7 hari, seluruh jenis beton menunjukkan nilai kuat tekan yang cukup rendah. Beton dengan agregat kasar alami menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan campuran lainnya yakni sekitar 19 MPa. Beton dengan agregat campuran granit menunjukkan nilai kuat tekan yang cukup baik di angka 20 MPa pada pergantian campuran 75%, sedangkan beton dengan campuran limbah keramik dan marmer masing-masing menunjukkan nilai kuat tekan berkisar 15-17 MPa. Hal tersebut menunjukkan jika beton masih berada pada tahap awal pengerasan.

Dengan setiap penyesuaian campuran pada hari ke-14, dampak penggunaan agregat pada beton semakin meningkat. Beton yang menggunakan agregat alami menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 30 MPa. Agregat campuran granit menunjukkan kinerja yang cukup stabil sebagai pengganti agregat kasar alami dengan menunjukkan nilai kuat tekan 20-24 MPa pada variasi campuran 25% dan 75%. Campuran marmer menunjukkan hasil yang cukup meningkat sementara hasil campuran keramik menunjukkan hasil tetap kuat tekan yang paling rendah. Peningkatan ini menunjukkan jika proses hidrasi pada semen telah berkembang.

Pada umur 28 hari pengaruh pergantian agregat kasar alami terjadi peningkatan yang signifikan pada seluruh jenis campuran. Beton dengan agregat kasar alami menghasilkan kuat tekan tertinggi, yakni 50 MPa pada pergantian 0%. Beton dengan campuran limbah granit pada variasi 75% mencapai lebih dari 40 MPa hal ini menunjukkan limbah granit memiliki performa yang cukup mendekati agregat kasar alami. Sementara itu, beton dengan campuran marmer menunjukkan nilai kuat tekan hingga 29 MPa pada variasi campuran 75%, masih layak dalam kategori struktur ringan hingga menengah. Beton dengan variasi campuran keramik tetap berada di posisi paling bawah, dengan nilai kuat tekan ± 21 MPa.

Secara umum beton mengalami peningkatan nilai kuat tekan seiring dengan penambahan umur beton, namun jika dilihat ada perbedaan tren pada setiap jenis agregat. Agregat alami dan granit menunjukkan pola peningkatan yang cukup tajam dengan kuat tekan optimal pada variasi 0% dan 75%. Variasi campuran marmer menunjukkan peningkatan sedang yang cenderung optimal pada pergantian 25% dan 75%. Variasi campuran keramik menunjukkan tren

peningkatan paing lambat dibandingkan dengan variasi campuran granit dan marmer, dan mengalami penurunan yang cukup signifikan pada variasi campuran 100%.

Menurut penelitian, “limbah granit dapat menggantikan hingga 50–75% agregat kasar tanpa menurunkan kekuatan secara signifikan” (Wiyanti & Laksono, 2021). Temuan ini konsisten dengan penelitian tersebut. Penelitian mengenai limbah marmer juga mendukung temuan ini, di mana penggantian marmer sebesar 25–50% masih memberikan hasil yang kompetitif (Farida.,2018). , penelitian oleh (Rohana.,2022) menunjukkan bahwa penggunaan bahan limbah dengan karakteristik permukaan yang kurang ideal, seperti serat sabut kelapa atau limbah keramik, cenderung menurunkan kuat tekan beton, terutama pada persentase penggantian yang tinggi.