

BAB IV

ANALISIS DATA HASIL PENELITIAN

4.1 Umum

Bab ini memaparkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian, yang terdiri dari pengujian material, benda uji, hingga analisis biaya. Pengujian material mencakup pemeriksaan pada agregat halus, agregat kasar, semen, serta material substitusi yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu, pada bab ini juga membahas terkait analisis komposisi campuran optimal berdasarkan parameter kuat tekan dan daya serap pada benda uji beton serta membahas tentang perbandingan biaya produksi antara beton konvensional dan beton dengan substitusi.

4.2 Hasil Pengujian Gradasi Agregat

Pengujian gradasi agregat halus dilakukan berdasarkan ketentuan SNI ASTM C136:2012 yang membahas tentang Metode Uji Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran agregat yang akan digunakan dalam campuran beton benda uji.

4.2.1 Hasil Uji Gradasi Gregat Halus

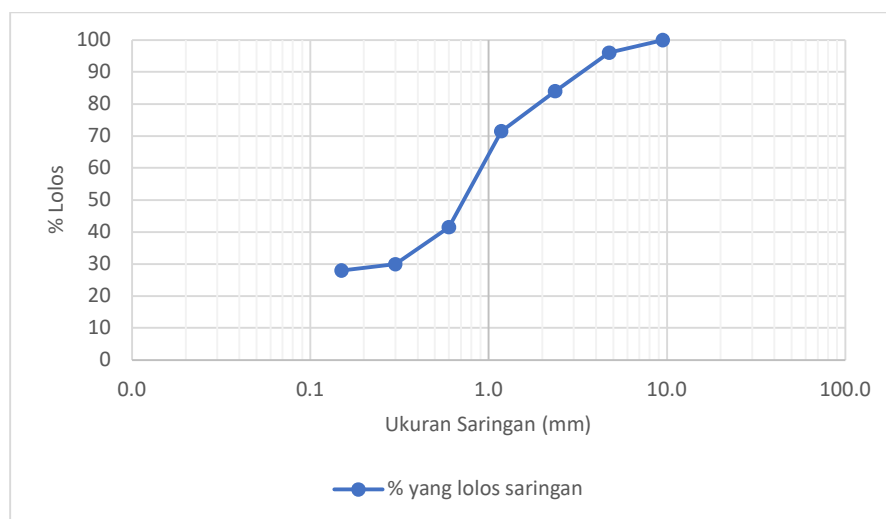
Pengujian gradasi agregat halus dilakukan untuk mengetahui gradasi butiran pasir yang akan digunakan dalam campuran pembuatan benda uji beton. Berikut merupakan hasil dari pengujian gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Pengujian Gradasi Agregat Halus

No Saringan	Berat Tertahan di Saringan (gram)	Persentase		
		Berat Tertahan di Saringan (%)	Kumulatif yang Tertahan di Saringan (%)	Lolos Saringan (%)
3/8"	0	0	0	100

No Saringan	Berat Tertahan di Saringan (gram)	Persentase		
		Berat Tertahan di Saringan (%)	Kumulatif yang Tertahan di Saringan (%)	Lolos Saringan (%)
No. 4	40	4	4	96
No. 8	120	12	16	84
No. 16	125	12,5	28,5	71,5
No. 30	300	30	58,5	41,5
No. 50	115	11,5	70	30
No. 100	20	2	72	28
PAN	280	28	100	0
TOTAL	1000	100	349	451

Dari hasil pengujian gradasi agregat halus yang telah dilakukan dan dipaparkan pada Tabel 4.1, kemudian digambarkan ke dalam bentuk grafik gradasi butiran agregat halus yang dapat dilihat sebagaimana berikut pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Gradasi Agregat Halus

Tabel 4. 2 Perhitungan Gradasi Agregat Halus

Perhitungan	Hasil	Persyaratan	Keterangan
Kehilangan Berat	0		
Persentase Kehilangan Berat	0%	< 2%	Memenuhi
Modulus Kehalusan	2,49	2,0 –3,3	Memenuhi

Dari Tabel 4.2 perhitungan modulus kehalusan dengan persamaan 3.1, pada agregat halus didapatkan nilai modulus kehalusan sebesar 2,49. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ukuran butiran agregat halus atau pasir masih berada dalam batas yang disyaratkan yaitu antara 2,0 sampai dengan 3,3, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat halus tersebut memenuhi rentang batas yang telah disyaratkan.

4.2.2 Hasil Uji Gradasi Agregat Kasar

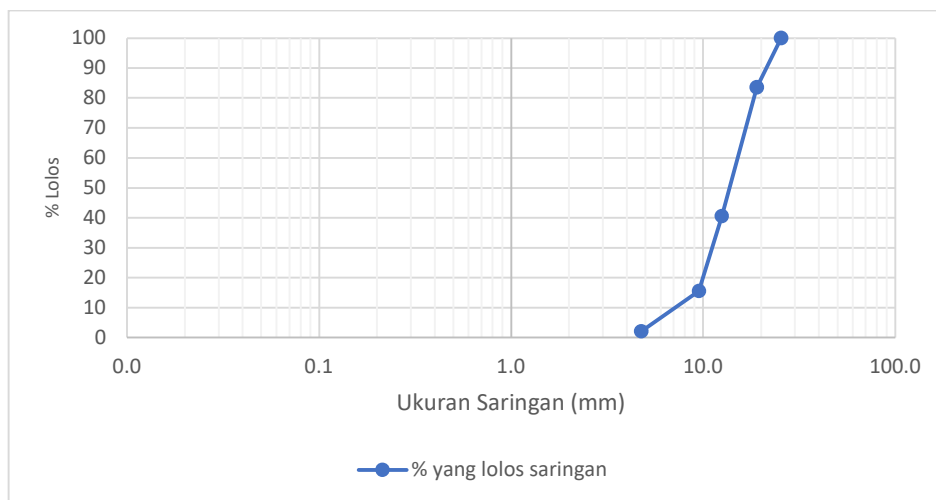
Pengujian gradasi agregat kasar dilakukan guna untuk mengetahui distribusi ukuran butir kerikil yang akan digunakan sebagai campuran dalam pembuatan benda uji beton. Hasil pengujian gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 3 Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No Saringan	Berat Tertahan di Saringan (gram)	Persentase		
		Berat Tertahan di Saringan (%)	Kumulatif yang Tertahan di Saringan (%)	Lolos Saringan (%)
1"	0	0	0	100
3/4"	165	16,5	16,5	83,5
1/2"	430	43	59,5	40,5
3/8"	250	25	84,5	15,5
No.4	135	13,5	98	2

No Saringan	Berat Tertahan di Saringan (gram)	Persentase		
		Berat Tertahan di Saringan (%)	Kumulatif yang Tertahan di Saringan (%)	Lolos Saringan (%)
PAN	20	2	100	0
TOTAL	1000	100	258,5	241,5

Data hasil pengujian gradasi agregat kasar sebagaimana yang tersaji pada Tabel 4.2 kemudian diolah menjadi grafik gradasi butiran agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Tabel 4. 4 Perhitungan Gradasi Agregat Kasar

Perhitungan	Hasil	Persyaratan	Keterangan
Kehilangan Berat	0		
Persentase Kehilangan Berat	0%	< 2%	Memenuhi
Modulus Kehalusan	2,585	2,36 –4,40	Memenuhi

Dari perhitungan modulus kehalusan pada agregat kasar didapatkan nilai sebesar 2,585. Nilai ini menunjukkan bahwa ukuran butir agregat kasar termasuk dalam rentang batas yang ditentukan, yaitu antara 2,36 sampai dengan 4,40. Dengan nilai modulus kehalusan berikut, dapat disimpulkan bahwa agregat kasar tersebut memenuhi persyaratan yang diperlukan dalam pembuaran campuran beton.

4.2.3 Hasil Uji Gradasi Agregat Campuran

Pengujian gradasi agregat campuran dilakukan untuk mengetahui ukuran butiran dari gabungan agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini dilakukan berdasarkan acuan SNI untuk memastikan bahwa gradasi agregat yang akan digunakan memenuhi batas yang disyaratkan, hasil uji gradasi agregat campuran dapat dilihat pada Tabel 4.5 – Tabel 4.6 dan grafik pada Gambar 4.3

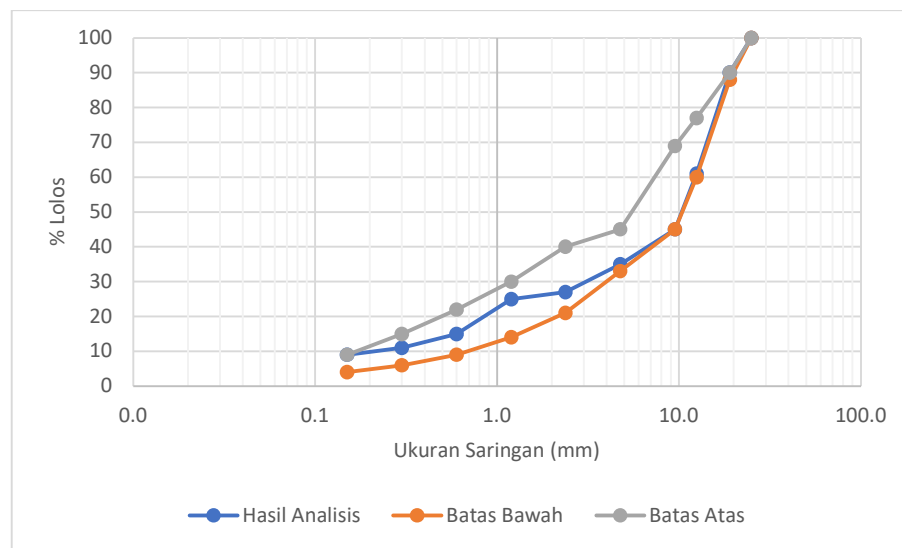
Tabel 4. 5 Uji Gradasi Agregat Campuran

Ayakan (mm)	Persentase Lewat Kumulatif		Persentase Tinggal Kumulatif		Batas Gradasi	
	Pasir	Kerikil	Pasir	Kerikil	Pasir Gradasi Sedang	Kerikil
25		100		0		95-100
19,0		83,5		16,5		37-70
12,5		40,5		59,5		35-65
9,5	100	15,5	0	84,5	100	10-40
4,75	96	2	4	98	90-100	0-5
2,375	84	0	16	100	75-100	
1,2	71,5		28,5		55-90	
0,60	41,5		58,5		35-59	
0,30	30		70		8-30	
0,15	28		72		0-15	
Jumlah kumulatif tinggal			249	358,5		

Dari hasil uji gradasi agregat campuran maka didapatkan presentase kerikil sebanyak 65% sedangkan untuk pasir sebanyak 35%, langkah berikutnya adalah cek hasil uji gradasi kedalam persyaratan agregat gabungan seperti pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Gradasi Agregat Gabungan Hasil Analitis

Ayakan (mm)	Persen kumulatif lewat		Pasir	Kerikil	Gabungan Pasir dan Kerikil	
	pasir	kerikil	35%	65%	Hasil	Batas
25	100	100	35	65	100	100
19,0	100	83,5	35	55	90	88-90
12,5	100	40,5	35	26	61	60-77
9,5	100	15,5	35	10	45	45-69
4,75	96	2	34	1	35	33-45
2,375	84	0	27		27	21-40
1,2	71,5		25		25	14-30
0,60	41,5		15		15	9-22
0,30	30		11		11	6-15
0,15	28		9		9	4-9



Gambar 4. 3 Grafik Analisis Gradasi Agregat Campuran

Berdasarkan hasil pengujian gradasi agregat campuran yang terdapat pada Tabel 4.5 sampai dengan Tabel 4.6 dan grafik pada Gambar 4.3, hasil analisis gradasi agregat campuran berada di antara batas atas dan batas bawah spesifikasi SNI. Gradasi butir agregat campuran pada penelitian ini masih memenuhi kriteria gradasi yang disyaratkan, sehingga agregat ini dapat digunakan sebagai campuran beton.

4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis agregat dilakukan untuk menentukan nilai massa jenis material agregat dalam beberapa kondisi tertentu.

4.3.1 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian berat jenis agregat kasar mengacu Pada SNI 03-1969-1990 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Hasil pengujian dan perhitungan berat jenis agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.7 serta Tabel 4.8.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	984,1	984,5	gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	1000	1000	gram
Berat benda uji dalam air	C	600	600	gram

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar

Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,460	2,461	2,461
Berat jenis curah kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,5	2,5	2,5
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,562	2,560	2,561
Penyerapan air (S_w)	$\left(\frac{B - A}{A}\right) \times 100\%$	1,616%	1,574%	1,595%

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan berat jenis serta penyerapan air agregat kasar didapatkan bahwa agregat halus masih berada dalam batas penyerapan yang telah ditentukan.

4.3.2 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus mengacu pada SNI 03-1970-1990 yang membahas tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Hasil pengujian serta perhitungan berat jenis agregat halus pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	S	500	500	gram
Berat benda uji kering oven	A	496,4	493,2	gram
Berat piknometer yang berisi air	B	671	655	gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	C	966	976	gram

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat Halus

Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,421	2,755	2,577
Berat jenis curah kering permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,439	2,793	2,604
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,464	2,864	2,648

Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Penyerapan air (S _w)	$\left(\frac{S - A}{A}\right) \times 100\%$	0,725%	1,379%	1,051%

Berdasarkan hasil pegujian dan perhitungan berat jenis dan penyerapan pada garegat halus, didapatkan bahwa hasil pengujian ini memnuhi batas karakteristik yang ditentukan, sehingga agregat kasar ini memenuhi karakteristik untuk digunakan sebagai material campuran beton.

4.4 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat

Pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin los angeles dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan dan kekekalan agregat. Pengujian keausan agregat menggunakan mesin los angeles mengacu pada SNI 03-2417-1991. Adapun hasil dari pengujian keuasan agregat kasar pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

Gradasi Pemeriksaan		Jumlah Putaran = 500 Putaran	
Ukuran Saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (a)
		500	500
Jumlah Berat		500	500
Berat tertahan saringan No. 12 Sesudah percobaan (b)		3476	4015
Keausan	$\frac{a - b}{a} \times 100\%$	24,2	19,7
Rata-rata		21,95	

Berdasarkan hasil pengujian keausan agregat kasar yang telah ditunjukkan dalam Tabel 4.9, didapatkan nilai keausan agregat kasar pada penelitian ini adalah

sebesar 21,95%. Yang artinya nilai tersebut memenuhi standar persyaratan kausan agregat kasar.

4.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus mengacu pada ketentuan SNI S-040-1998-F. Adapun hasil pengujian kadar lumpur pada agregat pada penelitian ini adalah sebagaimana pada tabel 4.12

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Material	Awal	Akhir
	A	B
Pasir	130	126 ml
Lumpur	-	4 ml
Kadar Lumpur	$\frac{A - B}{A} \times 100$	3%

Dari hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus, diketahui bahwa kandungan lumpur pada agregat halus senilai 3%. Yang mana nilai tersebut masih memenuhi batas persyaratan yang sebesar 5%, sehingga agregat halus pada penelitian ini memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan

4.6 Hasil Pengujian Semen

Pengujian material semen terdiri atas pengujian kadar air semen atau konsistensi semen dan pengujian waktu ikat semen. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 15-2049-2004 tentang semen portland.

4.6.1 Pengujian Kadar Air Semen

Pengujian kadar air semen dilakukan untuk mengetahui persentase kadar air optimum yang diperlukan dalam semen. Pada penelitian ini dilakukan 9 pengujian berdasarkan beberapa variasi campuran semen dengan bahan substitusi pengganti

semen yang akan digunakan, hasil pengujian kadar air semen pada penelitian ini dapat dilihat melalui Tabel 4.13 s/d Tabel 4.21.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 0 BLA 0

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	300	-	-	27	4
2	300	-	-	28	9

Berdasarkan Tabel 4.13 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 0% dan BLA 0%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 28%.

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 0 BLA 10

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	270	30	-	28	1
2	270	30	-	30	2
3	270	30	-	32	4
4	270	30	-	34	9

Berdasarkan Tabel 4.14 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 0% dan BLA 10%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 34%. Mengalami peningkatan yang signifikan sebesar 21,43% dari variasi normal.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 0 BLA 15

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	255	45	-	34	1

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
2	255	45	-	40	4
3	255	45	-	45	8
4	255	45	-	47	9

Berdasarkan Tabel 4.15 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 0% dan BLA 15%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 47%. Mengalami peningkatan yang cukup signifikan sebesar 67,9% dari variasi normal

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 10 BLA 0

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	270	-	30	34	12
2	270	-	30	33	10

Berdasarkan Tabel 4.16 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 10% dan BLA 0%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 33%. Mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan sebesar 17,86% dari variasi normal.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 10 BLA 10

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	240	30	30	33	1
2	240	30	30	36	5

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
3	240	30	30	38	8
4	240	30	30	40	9

Berdasarkan Tabel 4.17 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 10% dan BLA 10%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 40%. Mengalami peningkatan yang signifikan sebesar 42,86% dari variasi normal.

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 10 BLA 15

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	225	45	30	40	6
2	225	45	30	43	8
3	225	45	30	45	9

Berdasarkan Tabel 4.18 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 10% dan BLA 15%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 45%. Mengalami peningkatan yang signifikan sebesar 60,7% dari variasi normal.

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 20 BLA 0

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	240	-	60	34	14

2	240	-	60	33	11
---	-----	---	----	----	----

Berdasarkan Tabel 4.19 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 20% dan BLA 0%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 33%. Mengalami peningkatan yang tidak begitu signifikan sebesar 17,9% dari variasi normal.

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 20 BLA 10

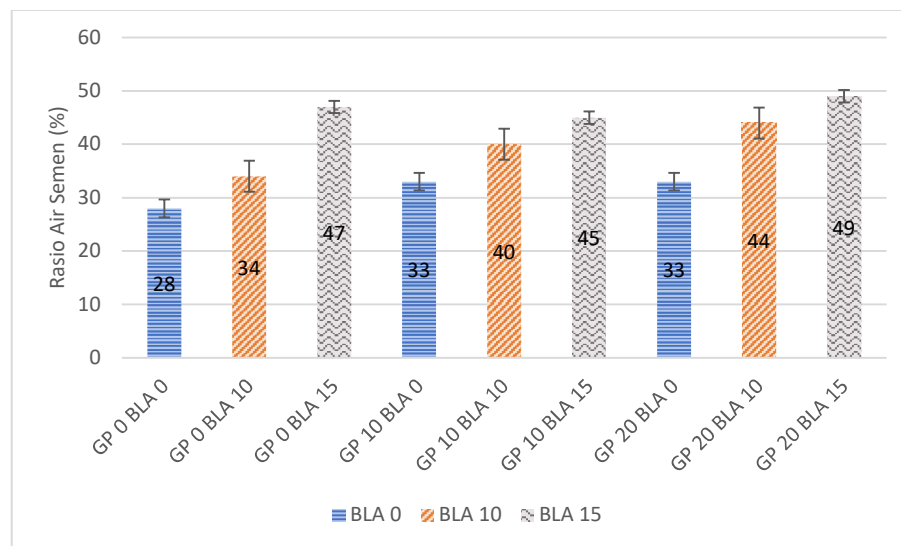
No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	210	30	60	40	3
2	210	30	60	42	8
3	210	30	60	44	11

Berdasarkan Tabel 4.20 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 20% dan BLA 10%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 44%. Mengalami peningkatan yang signifikan sebesar 57,14% dari variasi normal.

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Kadar Air Semen Variasi GP 20 BLA 15

No.	Semen (gram)	Abu Daun Bambu (gram)	Serbuk Kaca (gram)	Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	195	45	60	44	5
2	195	45	60	46	7
3	195	45	60	49	9

Berdasarkan Tabel 4.21 hasil pengujian kadar air semen pada variasi penambahan GP sebesar 20% dan BLA 10%, didapatkan hasil rasio air semen yang dibutuhkan untuk campuran beton adalah sebesar 49%. Mengalami peningkatan yang sangat signifikan sebesar 75% dari variasi normal.



Gambar 4. 4 Grafik Rasio Persentase Kadar Air Semen

Berdasarkan hasil dari pengujian kadar air semen pada beberapa variasi tersebut, menunjukkan bahwa pada variasi dengan campuran BLA cenderung akan meningkatkan rasio kadar air semen begitu signifikan, hal ini berbanding terbalik dengan penggunaan campuran GP, pada variasi dengan campuran GP peningkatan rasio air semen cenderung mengalami peningkatan kecil. Hal ini dapat disebabkan karena BLA memiliki partikel yang lebih ringan dibandingkan dengan semen, sehingga luas permukaan BLA cenderung lebih besar serta kemampuan penyerapan air pada material BLA cukup tinggi, sehingga mengakibatkan meningkatkan rasio kebutuhan air semen. Sementara itu, GP memiliki permukaan partikel yang licin dan tidak begitu besar menyerap air, oleh karena itu penambahan GP tidak terlalu memengaruhi rasio kadar air semen.

Dari penelitian ini didapatkan persentase kadar air semen optimum pada beberapa variasi adalah 28% untuk variasi BLA 0 GP 0, 34% untuk variasi GP 0 BLA 10, 47% untuk variasi GP 0 BLA 15, 33% untuk variasi GP 10 BLA 0, 40% untuk variasi GP 10 BLA 10, 45% untuk variasi GP 10 BLA 15, 33% untuk variasi GP 20 BLA 0, 44% untuk variasi GP 20 BLA 10, dan 49% untuk variasi GP 0 BLA 10.

4.6.2 Waktu Pengikatan Semen

Pengujian waktu ikat semen dilakukan untuk mengetahui rentang waktu pengerasan semen. Dalam penelitian ini dilakukan 9 pengujian dengan berbagai variasi campuran semen dengan substitusi material pengganti semen. Adapun hasil pengujian waktu ikat semen pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.20 s/d Tabel 4.28

Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Waktu Ikut Semen Variasi GP 0 BLA 0

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	42
2	30	42
3	45	41
4	60	25

Berdasarkan Tabel 4.22 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 0% dan BLA 0%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen selama 60 menit.

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Waktu Ikut Semen Variasi GP 0 BLA 10

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	44

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
2	30	44
3	45	44
4	60	44
5	75	28
6	90	24

Berdasarkan Tabel 4.23 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 0% dan BLA 10%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 90 menit. Pada variasi GP 0 BLA 0 mengalami peningkatan waktu ikat semen sebesar 50%.

Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 0 BLA 15

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	40
2	30	40
3	45	39
4	60	38
5	75	25

Berdasarkan Tabel 4.24 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 0% dan BLA 15%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 75 menit. Pada variasi GP 0 BLA 15 mengalami peningkatan waktu ikat semen sebesar 25%.

Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 10 BLA 0

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	42
2	30	42
3	45	41
4	60	41
5	75	37
6	90	25

Berdasarkan Tabel 4.25 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 10% dan BLA 0%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 90 menit. Pada variasi GP 10 BLA 0 mengalami peningkatan waktu ikat semen sebesar 50%.

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 10 BLA 10

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	45
2	30	44
3	45	33
4	60	25

Berdasarkan Tabel 4.26 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 10% dan BLA 10%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 60 menit. Pada variasi GP 10 BLA 10 tidak mengalami peningkatan waktu ikat semen.

Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 10 BLA 15

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	40
2	30	39
3	45	24

Berdasarkan Tabel 4.27 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 10% dan BLA 15%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 45 menit. Pada variasi GP 10 BLA 15 mengalami penurunan waktu ikat semen sebesar 25%.

Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 20 BLA 0

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	42
2	30	42
3	45	42
4	60	42
5	75	42
6	90	41
7	105	35
8	120	27
9	135	24

Berdasarkan Tabel 4.28 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 20% dan BLA 0%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 135 menit. Pada variasi GP 20 BLA 0 mengalami peningkatan waktu ikat semen sebesar 125%.

Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 20 BLA 10

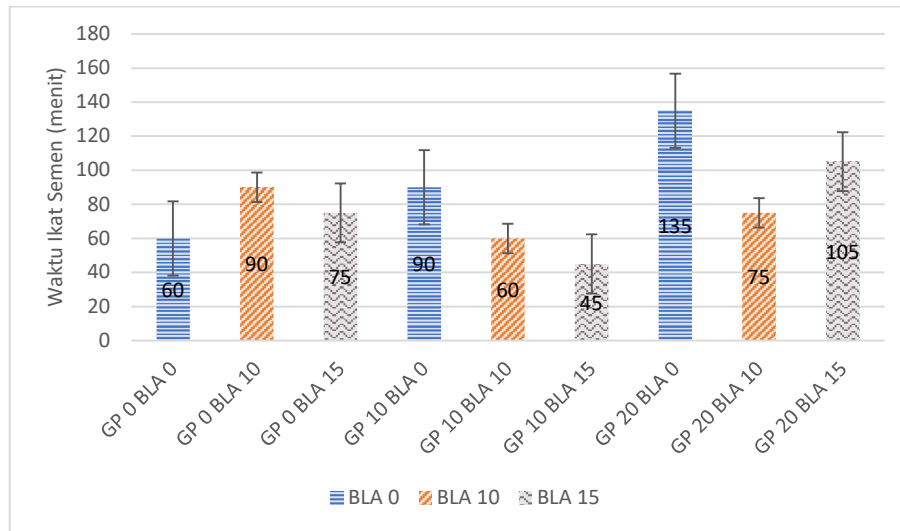
No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	42
2	30	41
3	45	41
4	60	40
5	75	24

Berdasarkan Tabel 4.29 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 20% dan BLA 10%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 75 menit. Pada variasi GP 20 BLA 10 mengalami peningkatan waktu ikat semen sebesar 25%.

Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen Variasi GP 20 BLA 15

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)
1	15	44
2	30	44
3	45	44
4	60	43
5	75	39
6	90	33
7	105	24

Berdasarkan Tabel 4.30 hasil pengujian waktu pengikatan semen pada variasi penambahan GP sebesar 20% dan BLA 15%, didapatkan hasil waktu pengikatan semen yaitu selama 105 menit. Pada variasi GP 20 BLA 15 mengalami peningkatan waktu ikat semen sebesar 75%.



Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Waktu Ikat Semen

Dari pengujian ini didapatkan hasil waktu pengikatan semen pada tiap variasi mengalami peningkatan yang fluktuatif, adapun nilai waktu pengikatan semen adalah sebagai berikut, pada GP 0 BLA 0 selama 60 menit, pada GP 0 BLA 10 selama 90 menit, pada GP 0 BLA 15 selama 75 menit, pada GP 10 BLA 0 selama 90 menit, pada GP 10 BLA 10 selama 60 menit, pada GP 10 BLA 15 selama 45 menit, pada BLA 0 GP2 0 selama 135 menit, pada GP 20 BLA 0 selama 75 menit, dan pada GP 20 BLA 15 selama 105 menit.

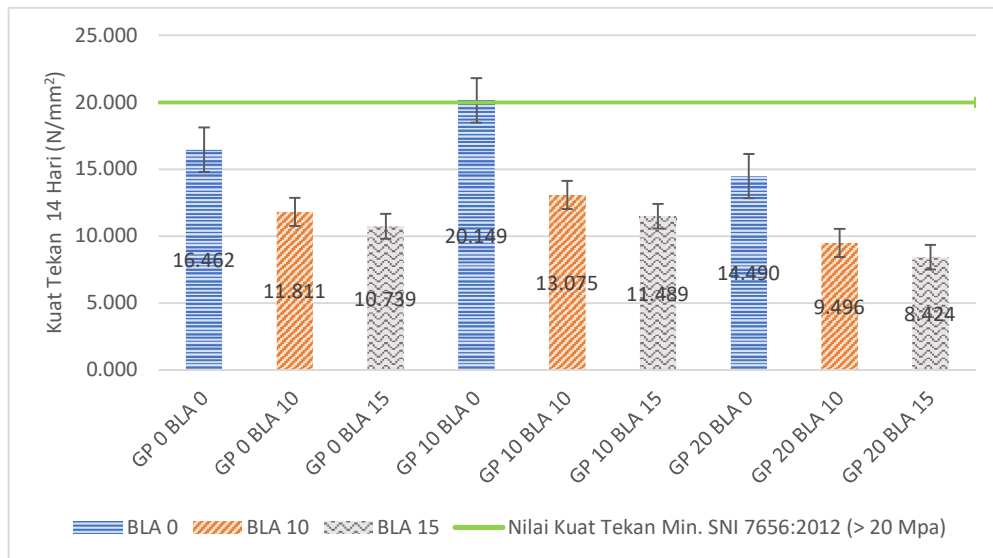
4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 14 dan 28 hari, hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh perkembangan beton untuk mencapai kekuatan optimal. Hasil pengujian kuat tekan beton pada hari ke-14 dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.6. Untuk hasil pengujian kuat tekan beton pada hari ke-28 dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Gambar 4.7.

Tabel 4. 31 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Variasi	Umur (hari)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Perkiraan Umur 28 Hari (N/mm ²)	Rata-rata Kuat Tekan (N/mm ²)
GP 0 BLA 0	14	17.671,5	271	15,335	17,427	16,462
	14	17.671,5	267	15,109	17,169	
	14	17.671,5	230	13,015	14,790	
GP 0 BLA 10	14	17.671,5	175	9,903	11,253	11,811
	14	17.671,5	184	10,412	11,832	
	14	17.671,5	192	10,865	12,347	
GP 0 BLA 15	14	17.671,5	201	11,374	12,925	10,759
	14	17.671,5	183	10,356	11,768	
	14	17.671,5	117	6,621	7,524	
GP 10 BLA 0	14	17.671,5	259	14,656	16,655	20,149
	14	17.671,5	358	20,259	23,021	
	14	17.671,5	323	18,278	20,770	
GP 10 BLA 10	14	17.671,5	217	12,280	13,954	13,075
	14	17.671,5	201	11,374	12,925	
	14	17.671,5	192	10,865	12,347	
GP 10 BLA 15	14	17.671,5	210	11,884	13,504	13,489
	14	17.671,5	178	10,073	11,446	
	14	17.671,5	148	8,375	9,517	
GP 20 BLA 0	14	17.671,5	208	11,770	13,375	14,490
	14	17.671,5	237	13,411	15,240	
	14	17.671,5	231	13,072	14,854	
GP 20 BLA 10	14	17.671,5	137	7,753	8,810	9,496
	14	17.671,5	154	8,715	9,903	
	14	17.671,5	152	8,601	9,774	

Variasi	Umur (hari)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Perkiraan Umur 28 Hari (N/mm ²)	Rata-rata Kuat Tekan (N/mm ²)
GP 20 BLA 15	14	17.671,5	153	8,658	9,839	8,424
	14	17.671,5	119	6,734	7,652	
	14	17.671,5	121	6,847	7,781	

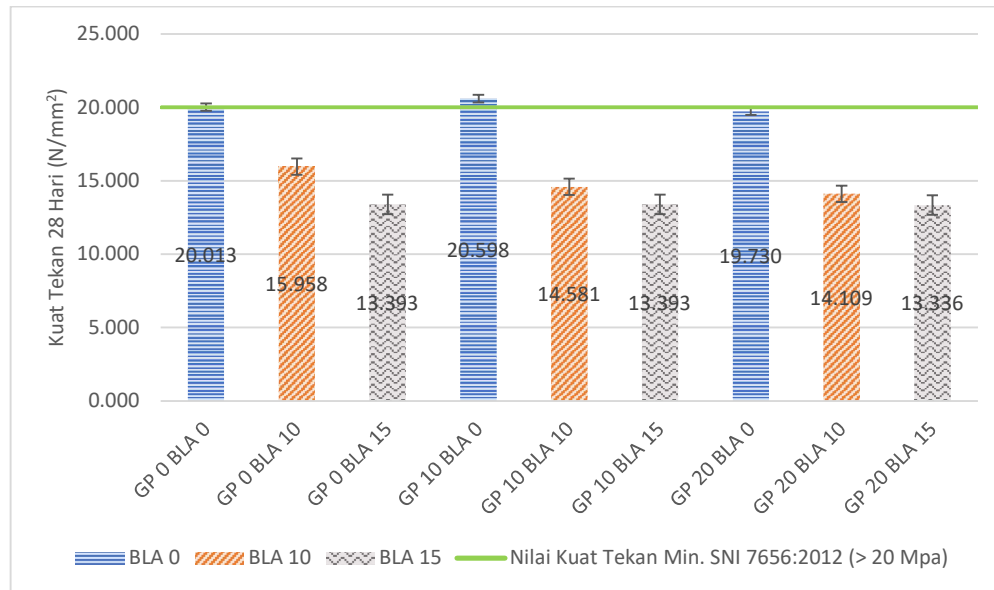


Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 14 Hari

Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Variasi	Umur (hari)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-rata Kuat Tekan (N/mm ²)
GP 0 BLA 0	28	17.671,5	402	22,748	20,013
	28	17.671,5	330	18,674	
	28	17.671,5	329	18,618	
	28	17.671,5	281	15,901	15,958

Variasi	Umur (hari)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-rata Kuat Tekan (N/mm ²)
GP 0 BLA 10	28	17.671,5	255	14,430	
	28	17.671,5	310	17,542	
GP 0 BLA 15	28	17.671,5	263	14,883	13,393
	28	17.671,5	224	12,676	
	28	17.671,5	223	12,619	
GP 10 BLA 0	28	17.671,5	353	19,976	20,598
	28	17.671,5	353	19,976	
	28	17.671,5	386	21,843	
GP 10 BLA 10	28	17.671,5	265	14,996	14,581
	28	17.671,5	253	14,317	
	28	17.671,5	255	14,430	
GP 10 BLA 15	28	17.671,5	240	13,581	13,393
	28	17.671,5	236	13,355	
	28	17.671,5	234	13,242	
GP 20 BLA 0	28	17.671,5	351	19,862	19,730
	28	17.671,5	340	19,240	
	28	17.671,5	355	20,089	
GP 20 BLA 10	28	17.671,5	249	14,090	14,109
	28	17.671,5	251	14,204	
	28	17.671,5	248	14,034	
GP 20 BLA 15	28	17.671,5	235	13,298	13,336
	28	17.671,5	240	13,581	
	28	17.671,5	232	13,128	



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Tabel. 4.31 dan Tabel 4.32 serta grafik pada Gambar 4.6 dan 4.7 hasil pengujian kuat tekan beton pada usia 28 hari menunjukkan bahwa beton dengan variasi normal dengan kode GP 0 BLA 0 mampu menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 20,013 N/mm², sedangkan beton dengan campuran GP 10% tanpa campuran BLA mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,92% dengan hasil nilai kuat tekan sebesar 20,598 N/mm². Namun pada saat beton ditambahkan dengan BLA hingga 15%, mengalami penurunan kuat tekan, dengan nilai penurunan kuat tekan tertinggi sebesar 33,37% dari nilai kuat tekan normal, Beton dengan variasi GP 20 BLA 15 memiliki nilai kuat tekan 13,336 N/mm².

Beton yang mencapai batas minimum nilai kuat tekan berdasarkan SNI adalah beton dengan variasi GP 0 BLA 0, GP 10 BLA 0, dan GP 20 BLA 0. Hal ini berkaitan dengan pengujian material substitusi yang telah dilakukan sebelumnya, dengan meningkatnya kebutuhan kadar air pada semen (dari 28% pada variasi normal hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 49% pada variasi GP 20 BLA 15). Berdasarkan dua pengujian yang telah dilakukan ini variasi campuran yang mencapai batas minimal nilai kuat tekan berdasarkan standar SNI merupakan variasi campuran yang tidak mengalami peningkatan rasio semen secara drastis.

Selain itu terjadinya peningkatan waktu ikat semen pada proses penelitian dari 60 menit menjadi 105 menit, dapat berpengaruh pada hasil kuat tekan beton. Menurut (Rony, 2019) penurunan kuat tekan beton dapat terjadi karena penambahan abu daun bambu berpotensi mengganggu proses reaksi pozzolan pada semen sehingga tidak berlangsung secara optimal. Kondisi ini dipicu oleh berkurangnya kadar senyawa trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S) dalam semen. Kedua senyawa tersebut memiliki peran penting dalam pembentukan kekuatan dan daya ikat semen. Selain itu menurut (Firmansyah, 2022) tidak terdapatnya senyawa Al_2O_3 pada abu daun bambu, mempengaruhi pengerasan pada beton, dikarenakan senyawa tersebut berfungsi sebagai pengeras dalam beton. Dengan tidak adanya senyawa Al_2O_3 pada BLA dan menurunnya senyawa trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S) dalam semen, kemampuan semen untuk mengikat dan mengeras akan menurun, yang akan menghambat beton mencapai kekuatan optimumnya, sehingga terjadi penurunan kuat tekan beton.

Dari beberapa penelitian terdahulu didapatkan nilai optimum penggunaan BLA sebagai substitusi semen adalah sebesar 10%. Pada batas tersebut beton masih dapat mengalami peningkatan sampai melebihi variasi normal. Namun, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Busari dkk., 2024) beton dengan campuran BLA lebih dari 10% masih dapat mencapai nilai optimum, pada penelitian tersebut nilai optimum penggunaan BLA adalah sebesar 15%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada penelitian tersebut mengombinasikan BLA dengan metakolin, yang mana dengan penggunaan metakolin dinilai mampu membantu proses reaksi pengikatan dan pengerasan campuran beton menjadi lebih cepat, yang dapat meminimalisir penurunan nilai kuat tekan beton.

Berdasarkan pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan GP dinilai dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga melebihi variasi normal dengan penambahan maksimal sebesar 10%, sedangkan dengan penambahan BLA cenderung dapat menurunkan nilai kuat tekan pada beton. Variasi optimum pada penelitian ini terdapat pada variasi GP 10 BLA 0

dengan hasil nilai kuat tekan sebesar 20,598 N/mm². Hal ini disebabkan juga pada penggunaan kadar air yang berbeda-beda seperti pada gambar 3.5

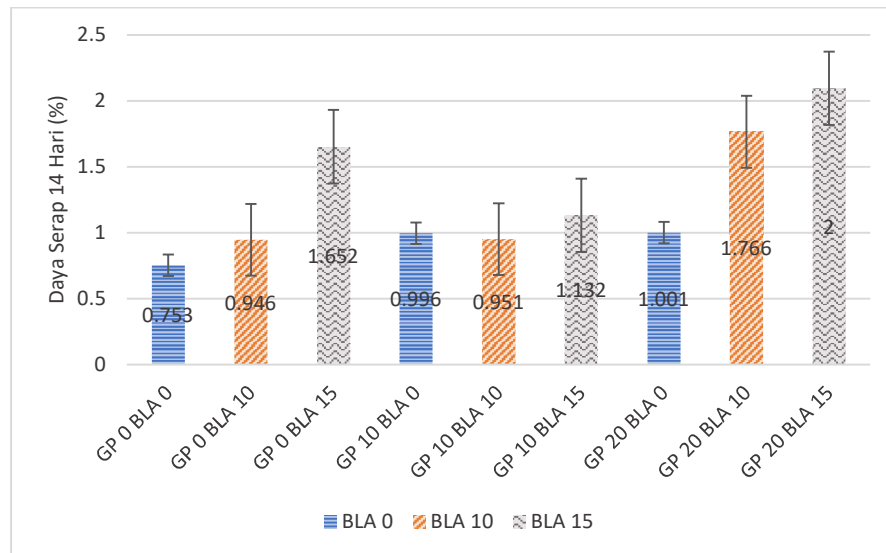
4.6 Hasil Pengujian Daya Serap Beton

Pengujian daya serap beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menyerap air, hal ini penting dilakukan agar dapat mengetahui porositas dan ketahanan beton terhadap air dan zat berbahaya lainnya. Berikut merupakan hasil pengujian daya serap air beton pada usia 14 dan 28 hari, yang dapat dilihat pada tabel 4.33 dan Tabel 4.34 serta pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9

Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Daya Serap Beton pada Umur 14 Hari

Variasi	No	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Daya Serap (%)
		A	B	$\frac{A - B}{B} \times 100\%$
GP 0 BLA 0	1	12,535	12,450	0,683
	2	12,580	12,480	0,801
	3	12,355	12,260	0,775
	Rata-rata			0,753
GP 0 BLA 10	1	12,395	12,265	1,060
	2	12,350	12,230	0,981
	3	12,260	12,145	0,947
	Rata-rata			0,996
GP 0 BLA 15	1	12,150	12,075	0,621
	2	12,005	11,855	1,265
	3	12,210	12,075	1,118
	Rata-rata			1,001
GP 10 BLA 0	1	12,285	12,160	1,028
	2	12,075	11,975	0,835
	3	12,435	12,315	0,974

Variasi	No	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Daya Serap (%)
		A	B	$\frac{A - B}{B} \times 100\%$
		Rata-rata		0,946
GP 10 BLA 10	1	11,945	11,830	0,972
	2	12,080	11,980	0,835
	3	12,090	11,965	1,045
		Rata-rata		0,951
GP 10 BLA 15	1	12,145	11,945	1,674
	2	11,925	11,720	1,749
	3	12,220	11,995	1,876
		Rata-rata		1,766
GP 20 BLA 0	1	12,125	11,930	1,635
	2	12,180	11,980	1,669
	3	12,310	12,110	1,652
		Rata-rata		1,652
GP 20 BLA 10	1	12,060	11,925	1,132
	2	12,160	12,010	1,249
	3	11,930	11,810	1,016
		Rata-rata		1,132
GP 20 BLA 15	1	12,155	11,930	1,886
	2	12,065	11,810	2,159
	3	11,855	11,595	2,242
		Rata-rata		2,096

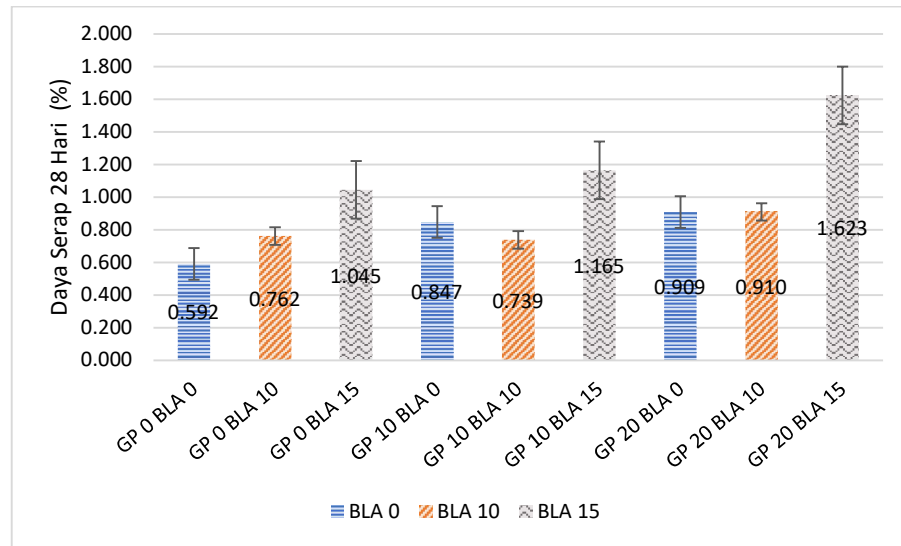


Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Beton pada Umur 14 Hari

Tabel 4. 34 Hasil Pengujian Daya Serap Beton pada Umur 28 Hari

Variasi	No	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Daya Serap (%)
		A	B	$\frac{A - B}{B} \times 100\%$
GP 0 BLA 0	1	12,375	12,310	0,528
	2	12,535	12,450	0,683
	3	12,460	12,390	0,565
	Rata-rata			0,592
GP 0 BLA 10	1	12,185	12,100	0,702
	2	12,150	12,055	0,788
	3	12,020	11,925	0,797
	Rata-rata			0,762
GP 0 BLA 15	1	11,955	11,835	1,014
	2	11,970	11,830	1,183
	3	11,855	11,745	0,937
	Rata-rata			1,045

Variasi	No	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Daya Serap (%)
		A	B	$\frac{A - B}{B} \times 100\%$
GP 10 BLA 0	1	12,165	12,050	0,954
	2	12,395	12,280	0,936
	3	12,360	12,280	0,651
	Rata-rata			0,847
GP 10 BLA 10	1	12,185	12,105	0,661
	2	12,125	12,040	0,706
	3	11,880	11,780	0,849
	Rata-rata			0,739
GP 10 BLA 15	1	12,095	11,940	1,298
	2	12,220	12,055	1,369
	3	12,180	12,080	0,828
	Rata-rata			1,165
GP 20 BLA 0	1	12,330	12,210	0,983
	2	12,155	12,050	0,871
	3	12,150	12,045	0,872
	Rata-rata			0,909
GP 20 BLA 10	1	12,075	11,960	0,962
	2	11,955	11,855	0,844
	3	12,015	11,905	0,924
	Rata-rata			0,910
GP 20 BLA 15	1	12,105	11,800	2,585
	2	12,200	12,075	1,035
	3	12,155	12,005	1,249
	Rata-rata			1,623



Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Beton pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Tabel 4.32 dan Tabel 4.33 serta grafik pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 hasil pengujian daya serap beton pada umur 14 dan 28 hari menunjukkan bahwa penambahan kadar BLA menyebabkan bertambahnya daya serap pada beton dalam nilai yang cukup signifikan tinggi. Menurut (Dhinakaran & Chandana, 2016) hal ini disebabkan oleh tingginya luas permukaan partikel BLA yang dapat meningkatkan kebutuhan air dalam campuran yang akan menambah jumlah rongga halus dalam beton. Sebaliknya penggunaan GP akan cenderung meminimalisir peningkatan daya serap yang signifikan pada beton, hal ini dikarenakan partikel kaca halus dapat mengisi rongga celah pada beton dan membuat beton menjadi lebih rapat (Wijaya & Sudjarmiko, 2023). Peningkatan daya serap beton tentu memengaruhi kekuatan pada beton, semakin besar daya serap beton semakin kecil ketahanan beton terhadap berbagai faktor yang akan berpengaruh pada penurunan nilai kuat tekan beton.

Dari penelitian yang dilakukan oleh (Abebaw dkk., 2021b) menunjukkan bahwa penambahan material BLA dapat meningkatkan daya serap hingga 2,9% pada variasi optimum 5%, sedangkan penggunaan BLA diatas 10% menyebabkan

peningkatan daya serap yang semakin besar. Sementara itu, pada penelitian yang dilakukan oleh (Paul dkk., 2022), didapatkan hasil bahwa penggunaan GP mampu menurunkan daya serap hingga 18% pada beton dengan variasi optimum GP 40%. Hal ini terjadi karena GP memberikan efek pengisian celah rongga pada beton.

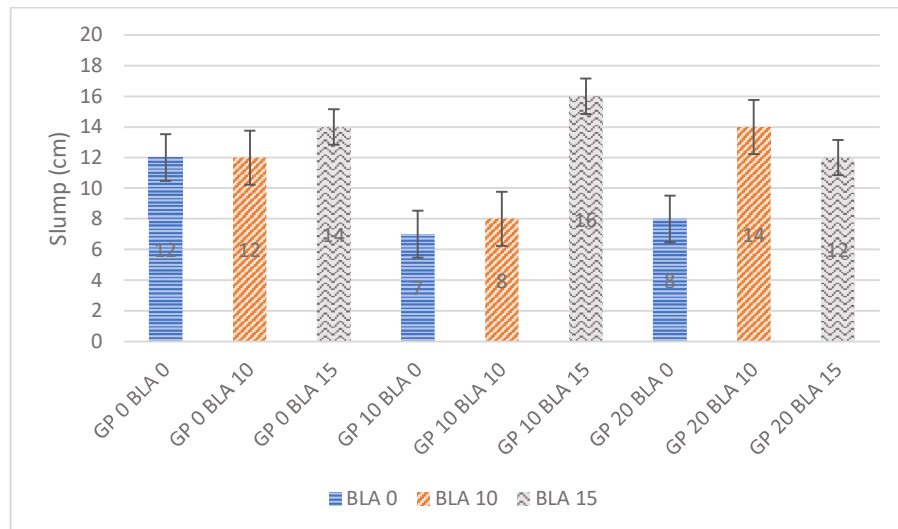
Dari hasil pengujian dan penelitian terdahulu, dapat dinilai bahwa penggunaan BLA cenderung akan meningkatkan daya serap pada beton, begitu dengan penggunaan GP, akan tetapi pada variasi penambahan GP tanpa BLA dapat meminimalisir peningkatan daya serap pada beton yang sangat signifikan. Pada penelitian ini beton dengan dengan nilai daya serap terkecil dimiliki oleh beton dengan variasi GP 0 BLA 0 dengan nilai daya serap sebesar 0,592%. Sedangkan beton dengan daya serap paling besar dimiliki oleh beton dengan variasi GP 20 BLA 15 dengan nilai daya serap sebesar 1,623%.

4.7 Hasil Pengujian Slump Beton

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui workabilitas atau kemudahan pengerjaan beton segar. Pengujian slump mengacu pada SNI 03-1972-1990 mengenai Cara Uji Slump. Berikut adalah data hasil pengujian slump pada setiap variasi campuran beton, dapat dilihat pada Tabel 4.35 dan Gambar 4.10.

Tabel 4. 35 Hasil Pengujian Slump

Variasi	Nilai Slump
GP 0 BLA 0	12
GP 0 BLA 10	12
GP 0 BLA 15	14
GP 10 BLA 0	7
GP 10 BLA 10	8
GP 10 BLA 15	16
GP 20 BLA 0	8
GP 20 BLA 10	14
GP 20 BLA 15	12



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Slump

Berdasarkan pada Tabel 4.35 dan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai slump pada penelitian bersifat fluktuatif. Namun pada variasi penambahan GP cenderung akan menurunkan nilai slump pada campuran beton. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan material substitusi berupa BLA dan GP. Menurut (Fadilla dkk., 2024) GP memiliki kandungan kalsium oksida dan bentuk partikel yang cukup halus sehingga dapat menghasilkan adonan beton yang lebih kental dan kaku, yang menyebabkan penurunan nilai slump dan workabilitas beton.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Abebaw dkk., 2021b), menyebutkan bahwa penggunaan BLA dengan kadar sebesar 15% dapat menurunkan nilai slump sebesar 20 mm. Hal ini tidak sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, yang mana pada pengujian ini terjadi peningkatan nilai slump pada beton dengan penambahan BLA. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh karakteristik BLA yang digunakan, atau dapat dipengaruhi oleh metode pelaksanaan baik perlakuan material BLA ataupun pada saat pencampuran. Namun berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Paul dkk., 2022), adanya keselarasan antara penelitian ini dan penelitian tersebut. Yaitu beton dengan variasi penambahan GP menunjukkan adanya kecenderungan penurunan nilai slump.

Dari hasil penelitian ini, penambahan BLA sebagai campuran substitusi pada beton dapat meningkatkan nilai slump pada beton sehingga campuran beton bersifat lebih encer dan memiliki workabilitas yang tinggi, dengan nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada variasi GP 10 BLA 15 nilai slump pada variasi tersebut adalah sebesar 16 cm. Sebaliknya beton dengan penambahan GP akan meminimalisir peningkatan nilai slump serta cenderung akan menurunkan nilai slump, sehingga beton dengan nilai slump kecil bersifat lebih kental dan workabilitasnya rendah, beton dengan nilai slump terkecil adalah beton dengan variasi GP 10 BLA 0 dengan nilai slump sebesar 7 cm.

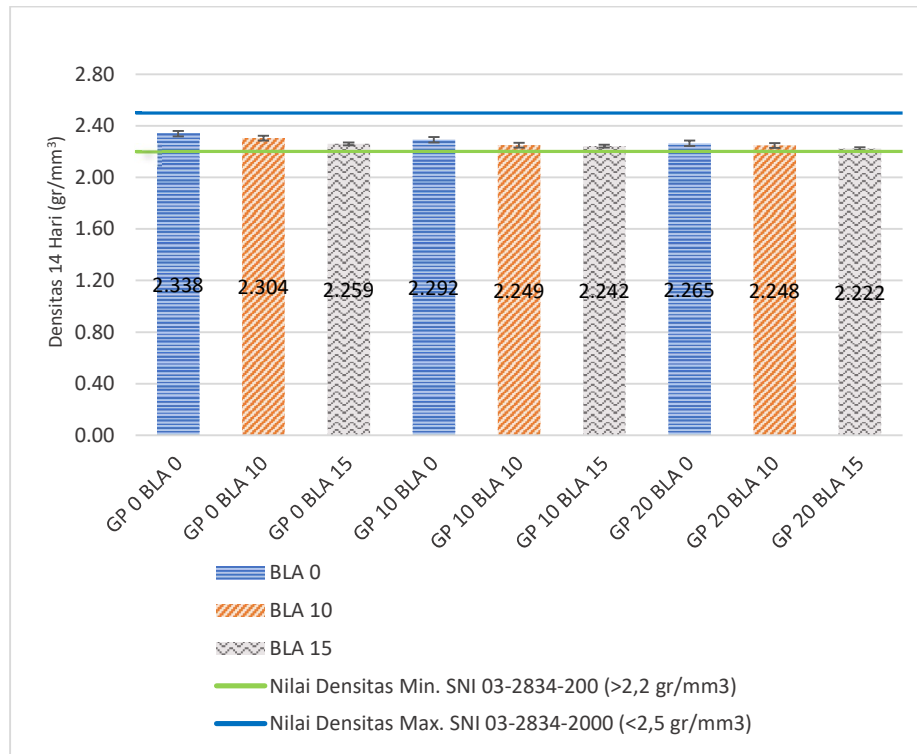
4.8 Hasil Pengujian Densitas Beton

Pengujian densitas beton dilakukan untuk mengetahui seberapa padat beton yang terpebntuk pada setiap variasi campuran. Berikut merupakan hasil dari pengujian densitas beton pada usia 14 hari dan 28 hari yang dapat dilihat pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37 serta grafik pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12

Tabel 4. 36 Hasil Pengujian Densitas Beton Usia 14 Hari

Variasi	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata
GP 0 BLA 0	12.260	5.301	2,313	2,338
	12.450	5.301	2,348	
	12.480	5.301	2,354	
GP 0 BLA 10	12.230	5.301	2,307	2,304
	12.265	5.301	2,314	
	12.145	5.301	2,291	
GP 0 BLA 15	12.075	5.301	2,278	2,259
	11.855	5.301	2,236	
	11.995	5.301	2,263	
GP 10 BLA 0	12.160	5.301	2,294	2,292
	11.975	5.301	2,259	
	12.315	5.301	2,323	

Variasi	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata
GP 10 BLA 10	11.830	5.301	2,231	2,249
	11.980	5.301	2,260	
	11.965	5.301	2,257	
GP 10 BLA 15	11.945	5.301	2,253	2,242
	11.720	5.301	2,211	
	11.995	5.301	2,263	
GP 20 BLA 0	11.930	5.301	2,250	2,262
	11.980	5.301	2,260	
	12.110	5.301	2,284	
GP 20 BLA 10	11.925	5.301	2,249	2,248
	12.010	5.301	2,265	
	11.810	5.301	2,228	
GP 20 BLA 15	11.930	5.301	2,250	2,222
	11.810	5.301	2,228	
	11.595	5.301	2,187	

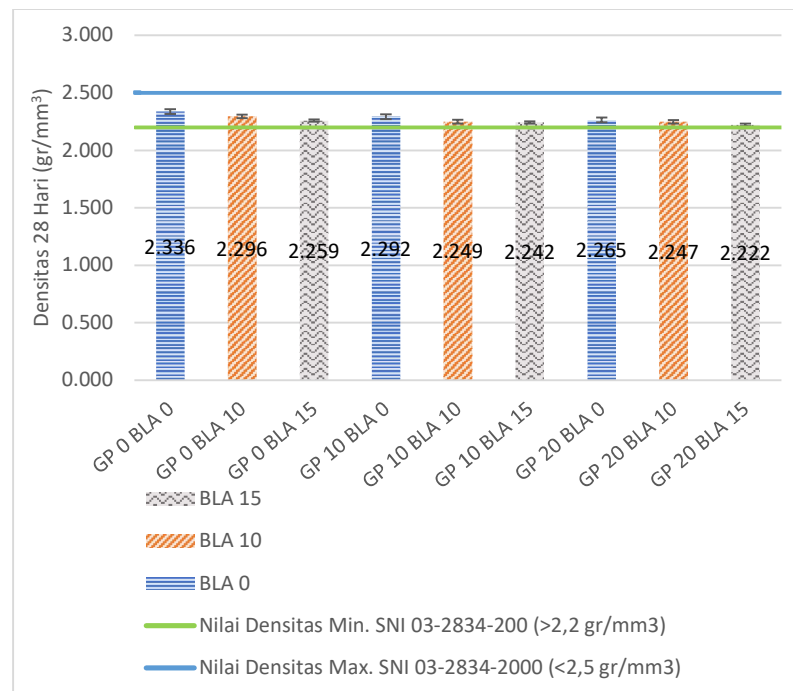


Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengujian Densitas Beton Usia 14 Hari

Tabel 4. 37 Hasil Pengujian Densitas Beton Usia 28 Hari

Variasi	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata
GP 0 BLA 0	12.310	5.301	2,322	2,336
	12.450	5.301	2,348	
	12.390	5.301	2,337	
GP 0 BLA 10	12.100	5.301	2,283	2,296
	12.055	5.301	2,314	
	11.925	5.301	2,291	
GP 0 BLA 15	11.835	5.301	2,278	2,259
	11.830	5.301	2,236	
	11.745	5.301	2,263	
GP 10 BLA 0	12.050	5.301	2,294	2,292
	12.280	5.301	2,259	
	12.280	5.301	2,323	
GP 10 BLA 10	12.105	5.301	2,231	2,249

Variasi	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata
	12.040	5.301	2,260	
	11.810	5.301	2,257	
GP 10 BLA 15	11.940	5.301	2,253	2,242
	12.055	5.301	2,211	
	12.080	5.301	2,263	
GP 20 BLA 0	12.210	5.301	2,250	2,265
	12.050	5.301	2,260	
	12.045	5.301	2,284	
GP 20 BLA 10	11.960	5.301	2,249	2,247
	11.855	5.301	2,265	
	11.905	5.301	2,228	
GP 20 BLA 15	11.800	5.301	2,250	2,222
	12.075	5.301	2,228	
	12.005	5.301	2,187	



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Densitas Beton Usia 28 Hari

Berdasarkan hasil pengujian densitas beton seperti mana pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37 serta grafik pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12, nilai densitas beton bernilai diantara $2,222 - 2,338 \text{ gr/cm}^3$, nilai ini masih memenuhi batas minimal dan maksimal pada SNI 03-2834-2000 yaitu sebesar $2,2 \text{ gr/cm}^3 - 2,5 \text{ gr/cm}^3$. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa penambahan material BLA dan GP sebagai substitusi semen pada beton cenderung tidak menurunkan nilai densitas beton secara signifikan. Penurunan densitas ini dapat disebabkan oleh peningkatan kadar air yang dibutuhkan beton seperti pada grafik Gambar 4.3, semakin tinggi kadar air yang diperlukan maka semakin besar rongga halus yang akan terbentuk pada beton setelah mengeras. Semakin kecil nilai densitas beton dapat menurunkan kualitas beton, dampak ini terlihat pada beton dengan variasi GP 20 BLA 15 yang memiliki nilai densitas terkecil dan kuat tekan terkecil.

Dari hasil pengujian ini, nilai densitas terkecil dimiliki oleh beton variasi GP 20 BLA 15 dengan nilai densitas sebesar $2,222 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan beton dengan nilai densitas tertinggi dimiliki oleh variasi GP 0 BLA 0 dengan nilai $2,338 \text{ gr/cm}^3$. Keseluruhan hasil pengujian densitas beton masih memenuhi persyaratan minimum dan maksimum nilai densitas pada beton yang telah ditentukan oleh SNI.

4.9 Analisis Biaya

Pada penelitian ini dilakukan analisis biaya produksi sebagai perbandingan anatar produksi beton normal atau konvensional dan beton dengan inovasi substitusi material semen menggunakan abu daun bambu dan serbuk kaca. Analisis biaya berdasarkan analisa harga satuan pekerjaan pada pekerjaan beton per 1 m^3 , berdasarkan indeks harga satuan kota semarang. Berikut merupakan rata-rata harga sampel daun bambu dan serbuk kaca yang didapat dari hasil survey melalui beberapa *e-commerce Shopee* yang terdapat pada tabel 4.38

Tabel 4. 38 Hasil survey harga bahan

No	Bahan	Nama Toko	Lokasi	Harga	Satuan	Rata-Rata
1	Serbuk Kaca	Kamil Botol	Depok	Rp. 17.000	kg	Rp. 15.000
2	Serbuk Kaca	Luckyman Custom	Mojokerto	Rp. 15.000	kg	
3	Serbuk Kaca	Penggilingan beling	Kab Pasuruan	Rp. 13.000	kg	

Analisis perhitungan biaya pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4.39 – Tabel 4.47.

1. Variasi GP 0 BLA 0

Pada variasi GP 0 BLA 0, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 0% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 0%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 0 BLA 0, yang dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4. 39 Analisis Biaya Variasi GP 0 BLA 0

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	371	kg	Rp. 1.410	Rp. 523.110,00
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	0	kg	Rp. 100	Rp. -
	Serbuk Kaca	0	kg	Rp. 15.000	Rp. -
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 997.709,00
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 1.271.906,50

2. Variasi GP 0 BLA 10

Pada variasi GP 0 BLA 10, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 10% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 0%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 0 BLA 10, yang dapat dilihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4. 40 Analisis Biaya Variasi GP 0 BLA 10

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp 42.62500
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	333,9	kg	Rp. 1.410	Rp 470.799,00
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp 11.825,00
	Abu Daun Bambu	37,1	kg	Rp. 100	Rp 3.710,00
	Serbuk Kaca	0	kg	Rp. 15.000	Rp -
	Jumlah Harga Bahan				Rp 949.108,00
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp1.223.305,50

3. Variasi GP 0 BLA 15

Pada variasi GP 0 BLA 15, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 15% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 0%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 0 BLA 15, yang dapat dilihat pada Tabel 4.41.

Tabel 4. 41 Analisis Biaya Variasi GP 0 BLA 15

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	315,35	kg	Rp. 1.410	Rp. 444.643,50
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	55,65	kg	Rp. 100	Rp. 5.565,00
	Serbuk Kaca	0	kg	Rp. 15.000	Rp. -
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 924,807,50
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 1.199.005,00

4. Variasi GP 10 BLA 0

Pada variasi GP 10 BLA 0, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 0% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 10%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 10 BLA 0, yang dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4. 42 Analisis Biaya Variasi GP 10 BLA 0

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	333,9	kg	Rp. 1.410	Rp. 470.799,00
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
	Abu Daun Bambu	0	kg	Rp. 100	Rp. -
	Serbuk Kaca	37,1	kg	Rp. 15.000	Rp. 556.500,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 1.501.898,00
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 1.776.095,50

5. Variasi GP 10 BLA 10

Pada variasi GP 10 BLA 10, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 10% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 10%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 10 BLA 10, yang dapat dilihat pada Tabel 4.43.

Tabel 4. 43 Analisis Biaya Variasi GP 10 BLA 10

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	296,8	kg	Rp. 1.410	Rp. 418.488,00
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	37,1	kg	Rp. 100	Rp. 3.710,00
	Serbuk Kaca	37,1	kg	Rp. 15.000	Rp. 556.500,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 1.453.297,00
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 1.727.494,50

6. Variasi GP 10 BLA 15

Pada variasi GP 10 BLA 15, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 15% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 10%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 10 BLA 15, yang dapat dilihat pada Tabel 4.44.

Tabel 4. 44 Analisis Biaya Variasi GP 10 BLA 15

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	278,25	kg	Rp. 1.410	Rp. 392.332,50
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.08,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	55,65	kg	Rp. 100	Rp. 5.565,00
	Serbuk Kaca	37,1	kg	Rp. 15.000	Rp. 556.500,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 1.428.996,50
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 1.703.194,00

7. Variasi GP 20 BLA 0

Pada variasi GP 20 BLA 0, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 0% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 20%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 20 BLA 0, yang dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4. 45 Analisis Biaya Variasi GP 20 BLA 0

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	296,8	kg	Rp. 1.410	Rp. 418.488,00
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	0	kg	Rp. 100	Rp. -
	Serbuk Kaca	74,2	kg	Rp. 15.000	Rp. 1.113.000,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 2.006.087,00
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 2.280.284,50

8. Variasi GP 20 BLA 10

Pada variasi GP 20 BLA 10, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 10% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar 20%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 20 BLA 10, yang dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4. 46 Analisis Biaya Variasi GP 20 BLA 10

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	259,7	kg	Rp. 1.410	Rp. 366.177,00
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	37,1	kg	Rp. 100	Rp. 3.710,00
	Serbuk Kaca	74,2	kg	Rp. 15.000	Rp. 1.113.000,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 1.957.486,00
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 2.231.683,50

9. Variasi GP 20 BLA 15

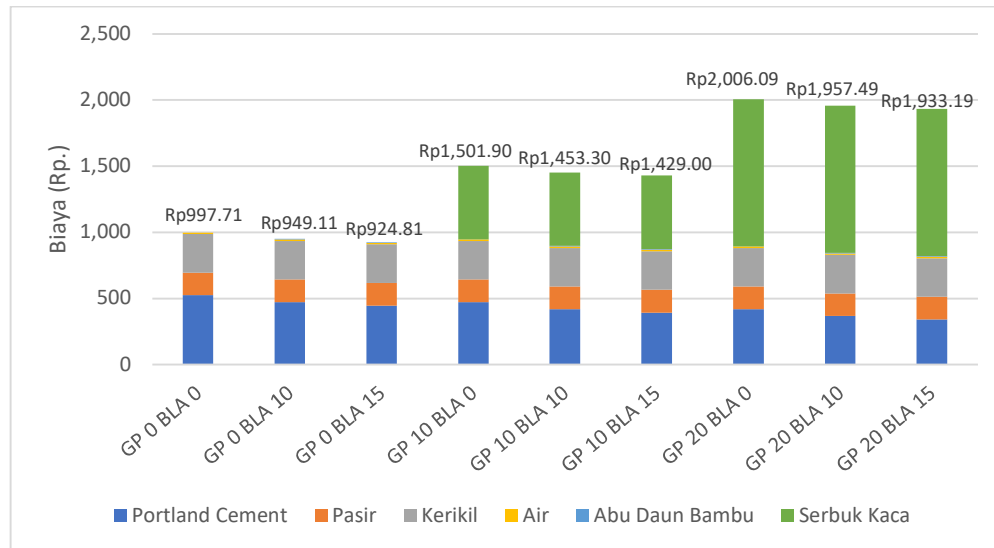
Pada variasi GP 20 BLA 15, beton merupakan variasi normal dengan komposisi abu daun bambu (BLA) sebesar 15% dan komposisi serbuk kaca (GP) sebesar

20%. Berikut adalah perhitungan analisis biaya produksi beton variasi GP 20 BLA 15, yang dapat dilihat pada Tabel 4.47.

Tabel 4. 47 Analisis Biaya Variasi GP 20 BLA 15

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1,65	oh	Rp. 129.750	Rp. 214.087,50
	Tukang Batu	0,275	oh	Rp. 155.000	Rp. 42.625,00
	Kepala Tukang	0,028	oh	Rp. 165.000	Rp. 4.620,00
	Mandor	0,083	oh	Rp. 155.000	Rp. 12.865,00
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp. 274.197,50
B	Bahan				
	Portland Cement	241,15	kg	Rp. 1.410	Rp. 340.021,50
	Pasir	698	kg	Rp. 246	Rp. 171.708,00
	Kerikil	1047	kg	Rp. 278	Rp. 291.066,00
	Air	215	liter	Rp. 55	Rp. 11.825,00
	Abu Daun Bambu	55,65	kg	Rp. 100	Rp. 5.565,00
	Serbuk Kaca	74,2	kg	Rp. 15.000	Rp. 1.113.000,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp. 1.933.185,50
C	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				Rp. 2.207.383,00

Dari keseluruhan analisis biaya produksi beton pada setiap variasi, maka didapatkan grafik dari perbandingan harga material yang digunakan pada setiap variasi. Berikut adalah grafik perbandingan analisis biaya kebutuhan material beton dan grafik perbandingan biaya produksi beton dengan penambahan GP dan BLA dapat dilihat pada Gambar 4.13. Serta didapatkan grafik analisis perbandingan biaya produksi pada setiap variasi beton dengan campuran GP dan BLA, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.14



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Biaya Penggunaan Material

Berdasarkan grafik perbandingan analisis biaya produksi beton pada penelitian ini, didapatkan bahwa biaya kebutuhan material dan biaya produksi beton dengan campuran GP dan BLA mengalami peningkatan pada setiap variasi campuran serbuk kaca. Hal ini terjadi dikarenakan penggunaan material campuran dengan komposisi yang bervariasi pada serbuk kaca akan meningkatkan jumlah kebutuhan material, peningkatan kebutuhan material ini berdampak pada peningkatan biaya produksi. Semakin tinggi komposisi material serbuk kaca yang diperlukan maka semakin besar biaya produksi yang dikeluarkan. Adapun biaya produksi dengan nilai terkecil dimiliki oleh beton dengan variasi GP 0 BLA 15, dengan nilai biaya material sebesar Rp. 924.810,00 dan total biaya produksi sebesar Rp. 1.199.005,00. Sedangkan biaya produksi terbesar dimiliki oleh beton variasi campuran GP 20 BLA 0 dengan total biaya material senilai Rp. 2.006.087,00 dan total biaya produksi sebesar Rp. 2.280.284,50

Peningkatan biaya produksi yang terjadi pada setiap variasi campuran, dapat ditekan dengan cara memanfaatkan limbah kaca yang banyak dijumpai di lingkungan sekitar. Pemanfaatan limbah kaca ini tidak hanya berfungsi sebagai bahan substitusi parsial pada campuran, tetapi juga memberikan nilai tambah dari segi ekonomi. Dengan demikian, biaya yang diperlukan dalam proses produksi

dapat dikendalikan dikendalikan dengan lebih efektif. Selain itu penggunaan limbah kaca juga dapat mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

4.10 Rekapitulasi Hasil Uji

Dari hasil pengujian benda uji beton dengan campuran GP dan BLA pada penelitian ini. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian yang meliputi uji kuat tekan, daya serap beton, slump, densitas beton, dan analisis biaya produksi. Rekapitulasi hasil uji dapat dilihat pada Tabel 4.48

Tabel 4. 48 Rekapitulasi Hasil Uji

No.	Variasi	Kuat Tekan (N/mm ²)	Daya Serap (%)	Slump (cm)	Densitas (gr/cm ³)	Biaya (Rp.)
1	GP 0 BLA 0	20,013	0,592	12	2,336	Rp1.271.906,50
2	GP 0 BLA 10	15,958	0,762	12	2,296	Rp1.223.305,50
3	GP 0 BLA 15	13,393	1,045	14	2,259	Rp1.199.005,00
4	GP 10 BLA 0	20,598	0,847	7	2,292	Rp1.776.095,50
5	GP 10 BLA 10	14,581	0,739	8	2,249	Rp1.727.494,50
6	GP 10 BLA 15	13,393	1,165	16	2,242	Rp1.703.194,00
7	GP 20 BLA 0	19,730	0,909	8	2,265	Rp2.280.284,50
8	GP 20 BLA 10	14,109	0,910	14	2,247	Rp2.231.683,50
9	GP 20 BLA 15	13,336	1,623	12	2,22212	Rp2.207.383,00

Keterangan:

= Hasil dengan nilai terbaik

Berdasarkan pada Tabel 4.48 dengan fill hijau merupakan hasil pengujian dengan nilai terbaik. Dari hasil tersebut terlihat bahwa setiap kombinasi campuran GP dan BLA dapat menghasilkan nilai kuat tekan, daya serap, slump, densitas, dan biaya produksi yang berbeda. Variasi tersebut menunjukkan adanya pengaruh komposisi material substitusi terhadap performa beton, baik dari segi kekuatan,

kerapatan, kemudahan pengerjaan, maupun dalam segi biaya produksi. Beton dengan performa kuat tekan optimal dimiliki oleh beton dengan variasi GP 10 BLA 0, namun pada pengujian daya serap dan densitas variasi optimal beton dimiliki oleh variasi GP 0 BLA 0, dan untuk biaya produksi terendah terdapat pada variasi GP 0 BLA 15 hal ini disebabkan karena peningkatan persentase campuran material substitusi GP dan BLA akan meningkatkan nilai daya serap beton serta menurunkan nilai densitas beton, dalam segi biaya semakin banyak persentase material substitusi menggunakan serbuk kaca akan meningkatkan biaya produksi beton.