

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kuat Tekan

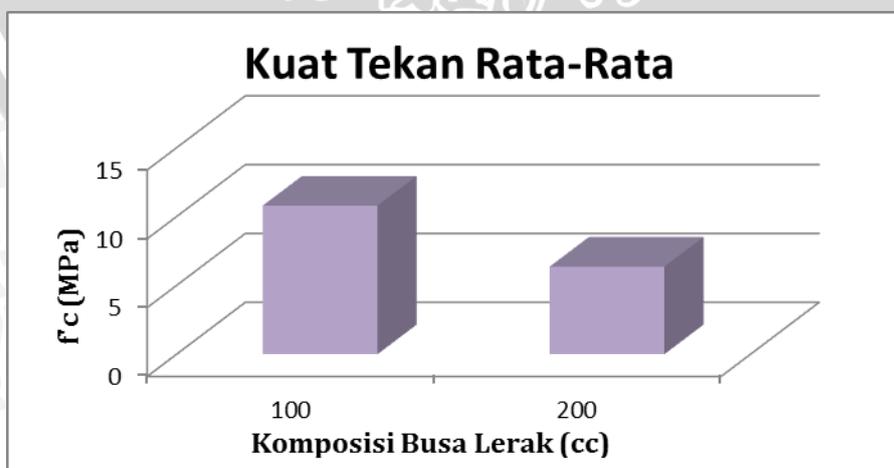
Setelah benda uji berumur lebih dari 28 hari, dilakukan pengujian kuat tekan yang bertujuan untuk mengetahui mutu atas mortar yang telah dibuat. Masing-masing tiga benda uji tiap variasi kadar busa lerak yang digunakan.

Hasil dari pengujian kuat tekan secara lengkap disajikan pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi Lerak	Benda Uji	Berat (kg)	Beban Maksimum (kg)	Luas Permukaan (cm ²)	f ^c	f ^c
					(MPa)	rata-rata (MPa)
100 cc	1	9,62	20400	17671,46	11,54	10,79
	2	9,80	13500	17671,46	7,64	
	3	9,68	23300	17671,46	13,19	
200 cc	1	6,68	12740	17671,46	7,21	6,36
	2	5,80	70040	17671,46	3,96	
	3	6,09	13961	17671,46	7,90	

Sumber : Hasil Analisis Pengujian



Gambar 4.1 Grafik Rata-Rata Hasil Pengujian Kuat Tekan

4.2 Pengujian *Pull Out*

Benda uji yang telah berumur lebih dari 28 hari diuji *Pull Out* dengan menggunakan *Lever Type Creep Tester* yang telah dimodifikasi menyesuaikan bentuk benda uji. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap dengan kelipatan beban sebesar 10 kg. Untuk mengetahui besar selip yang terjadi, dipasang *dial gauge* dengan kapasitas 5 cm pada rangka alat uji. Secara detail gambar instalasi alat uji dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.2 Instalasi Alat Uji Kapasitas Beban Dan Selip

Pembebanan yang diberikan merupakan beban tarik yang akan menarik benda uji dari satu sisi secara vertikal. Beban yang diberikan akan terus ditingkatkan sampai pada kapasitas maksimum yang dapat ditahan mortar dan tulangan. Demikian pula untuk pembacaan besar selip yang terjadi. Kapasitas maksimum didapat pada pemberian beban terbesar yang masih sanggup ditahan oleh ikatan mortar dengan tulangan yang diselimutinya.

Adapun contoh hasil pengujian kapasitas beban dan selip masing-masing perlakuan disajikan pada **tabel 4.2** s.d. **4.10** di bawah ini.

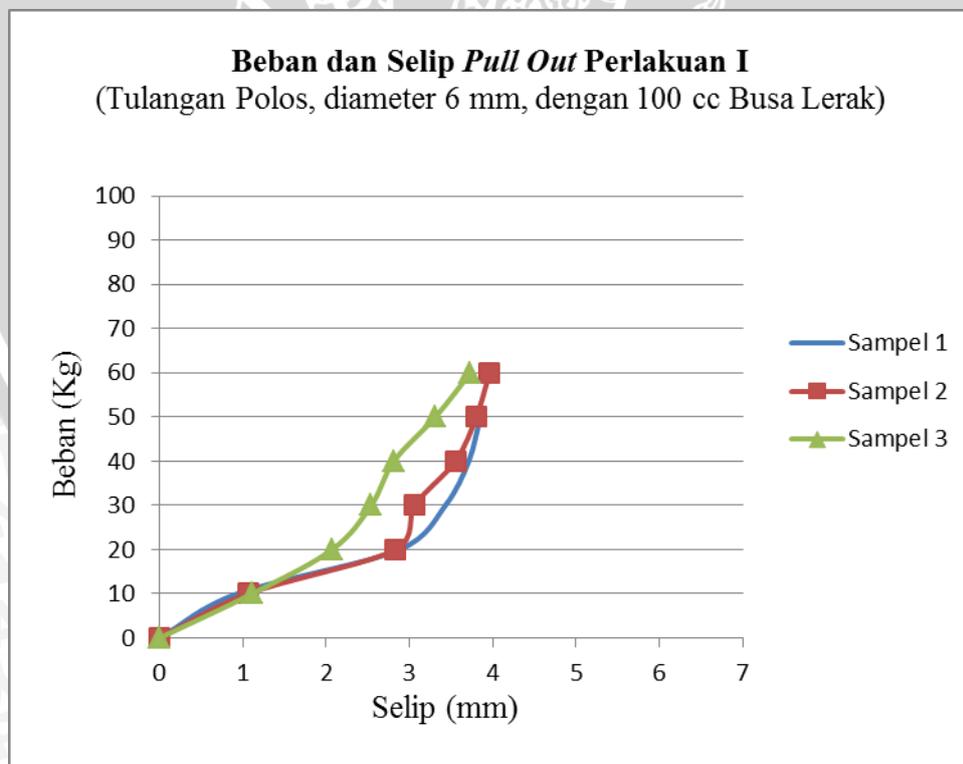
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan I

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	0,93	0,93	1,06	1,06	1,11	1,11
20	1,95	2,88	1,77	2,83	0,96	2,07
30	0,55	3,43	0,23	3,06	0,47	2,54
40	0,28	3,71	0,49	3,55	0,27	2,81
50	0,14	3,85	0,25	3,8	0,5	3,31
60			0,16	3,96	0,42	3,73

Tulangan polos berdiameter 6 mm dengan kadar busa lerak 100 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian tersebut di atas dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Polos, Diameter 6 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 100 cc

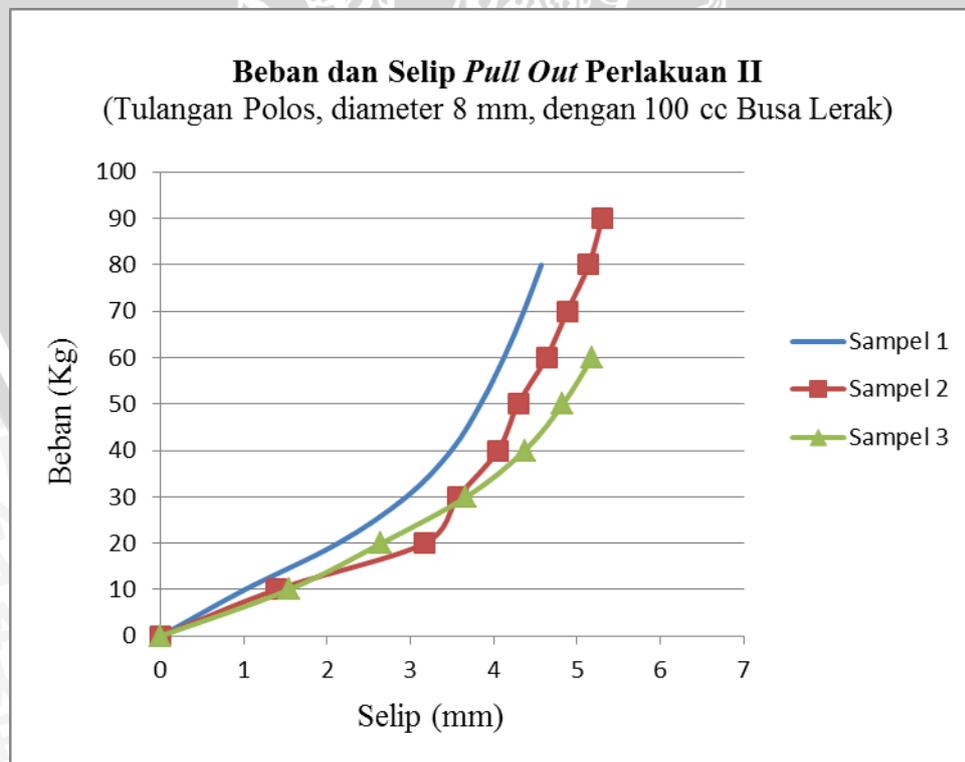
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan II

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,01	1,01	1,39	1,39	1,54	1,54
20	1,12	2,13	1,78	3,17	1,11	2,65
30	0,82	2,95	0,4	3,57	1,02	3,67
40	0,54	3,49	0,48	4,05	0,7	4,37
50	0,35	3,84	0,24	4,29	0,46	4,83
60	0,28	4,12	0,34	4,63	0,35	5,18
70	0,24	4,36	0,25	4,88		
80	0,21	4,57	0,26	5,14		
90			0,16	5,3		

Tulangan polos berdiameter 8 mm dengan kadar busa lerak 100 cc

Sumber : Hasil Analisis Perlakuan

Hasil penelitian tersebut di atas dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Polos, Diameter 8 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 100 cc

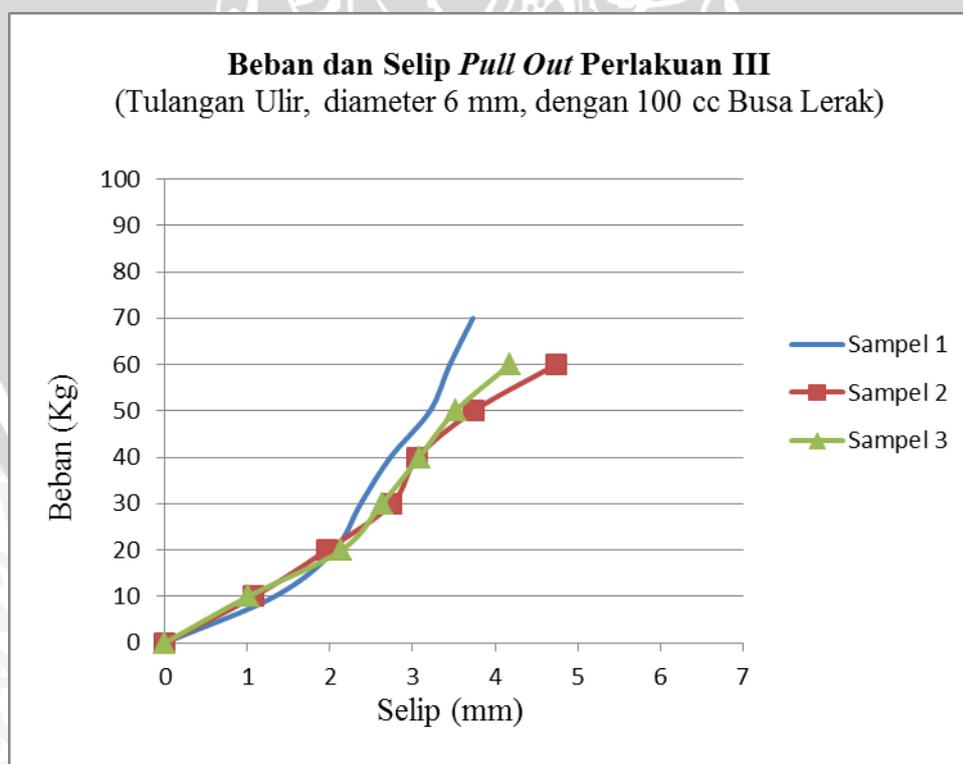
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan III

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,33	1,33	1,08	1,08	1,01	1,01
20	0,62	1,95	0,88	1,96	1,13	2,14
30	0,52	2,47	0,79	2,75	0,49	2,63
40	0,42	2,89	0,31	3,06	0,45	3,08
50	0,42	3,31	0,68	3,74	0,44	3,52
60	0,54	3,85	0,7	4,44	0,66	4,18
70	0,44	4,29				
80						
90						

Tulangan ulir berdiameter 6 mm dengan kadar busa lerak 100 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian tersebut di atas dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Ulir, Diameter 6 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 100 cc

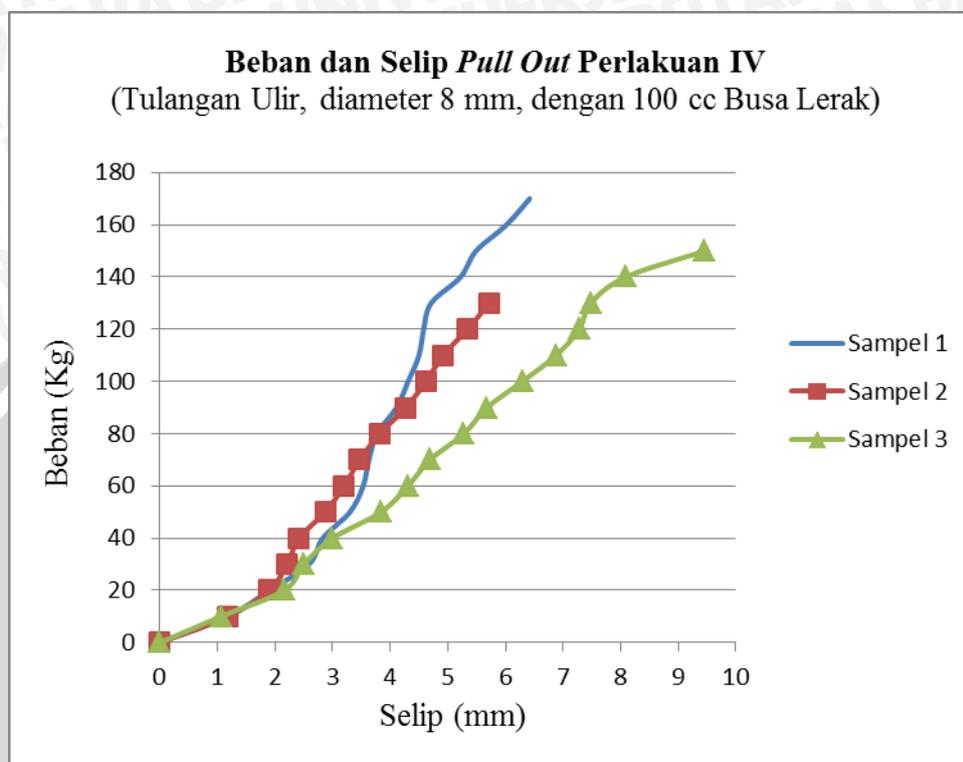
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan IV

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,18	1,18	1,18	1,18	1,06	1,06
20	0,72	1,9	0,72	1,9	1,1	2,16
30	0,69	2,59	0,31	2,21	0,34	2,5
40	0,24	2,83	0,21	2,42	0,5	3
50	0,47	3,3	0,45	2,87	0,84	3,84
60	0,23	3,53	0,33	3,2	0,47	4,31
70	0,1	3,63	0,27	3,47	0,38	4,69
80	0,14	3,77	0,35	3,82	0,59	5,28
90	0,34	4,11	0,45	4,27	0,4	5,68
100	0,2	4,31	0,35	4,62	0,61	6,29
110	0,19	4,5	0,3	4,92	0,59	6,88
120	0,08	4,58	0,42	5,34	0,4	7,28
130	0,13	4,71	0,38	5,72	0,2	7,48
140	0,51	5,22			0,61	8,09
150	0,27	5,49			1,37	9,46
160	0,53	6,02				
170	0,4	6,42				
180	0,64	7,06				

Tulangan ulir berdiameter 8 mm dengan kadar busa lerak 100 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian perlakuan IV tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Ulir, Diameter 8 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 100 cc

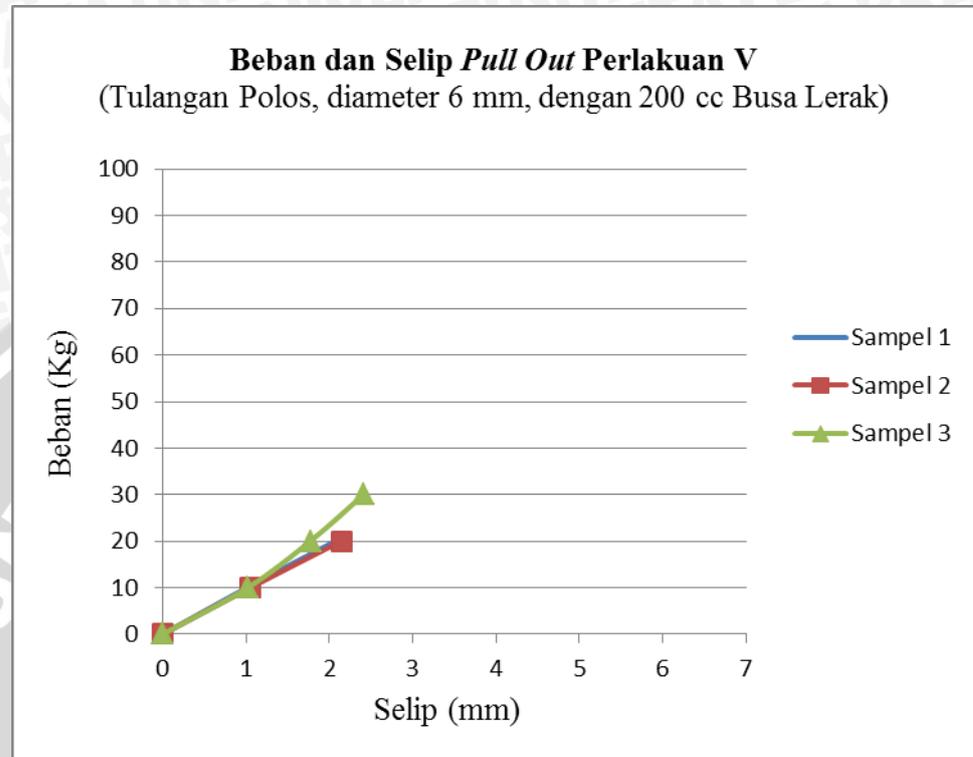
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan V

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,01	1,01	1,05	1,05	1,02	1,02
20	1,06	2,07	1,09	2,14	0,75	1,77
30					0,64	2,41
40						
50						
60						
70						
80						

Tulangan polos berdiameter 6 mm dengan kadar busa lerak 200 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian perlakuan V tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Polos, Diameter 6 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 200 cc

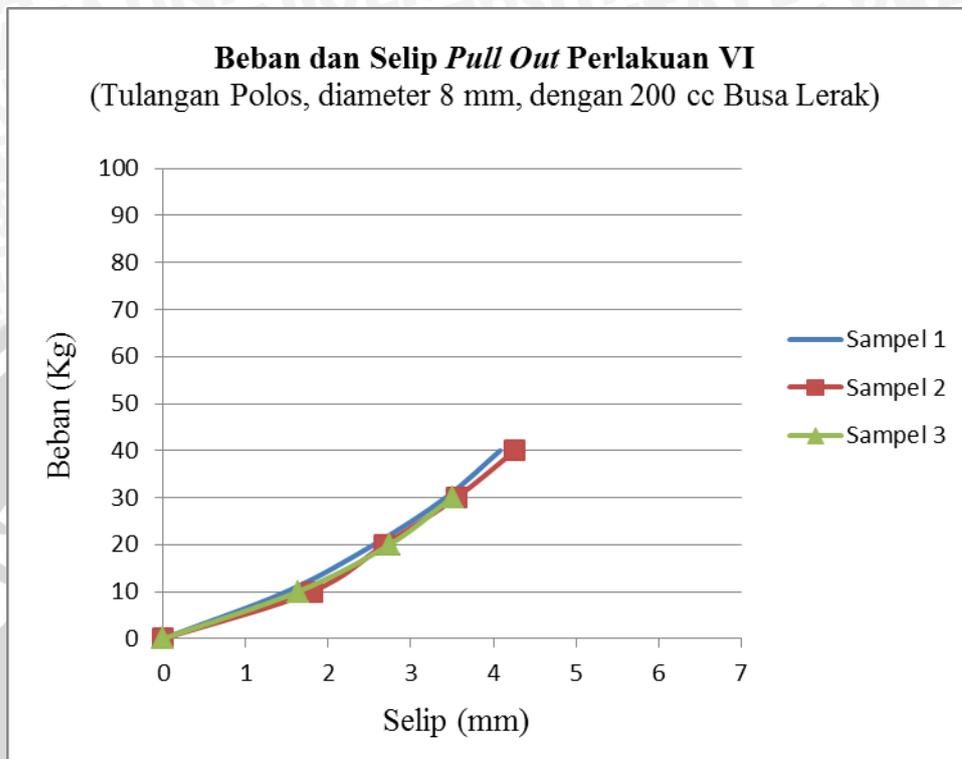
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan VI

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,49	1,49	1,8	1,8	1,63	1,63
20	1,06	2,55	0,88	2,68	1,11	2,74
30	0,87	3,42	0,87	3,55	0,76	3,5
40	0,66	4,08	0,71	4,26		
50						
60						
70						
80						

Tulangan polos berdiameter 8 mm dengan kadar busa lerak 200 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian perlakuan VI tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Polos, Diameter 8 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 200 cc

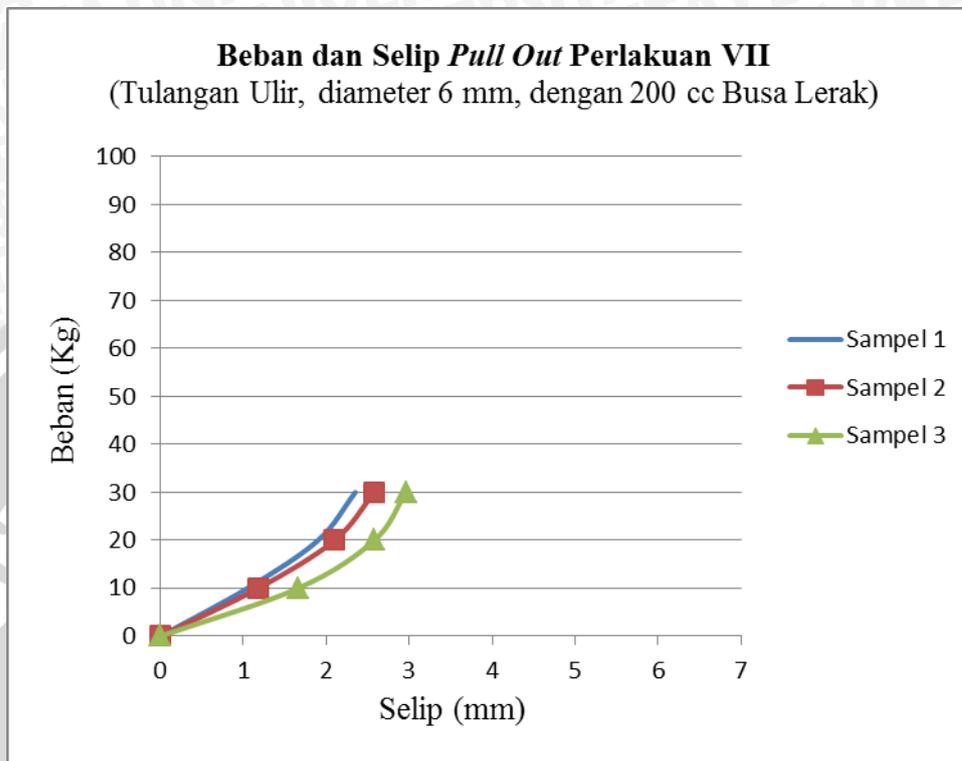
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan VII

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,05	1,05	1,18	1,18	1,66	1,66
20	0,85	1,9	0,92	2,1	0,92	2,58
30	0,45	2,35	0,48	2,58	0,38	2,96
40						
50						
60						
70						

Tulangan ulir berdiameter 6 mm dengan kadar busa lerak 200 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian perlakuan VII tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Ulir, Diameter 6 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 200 cc

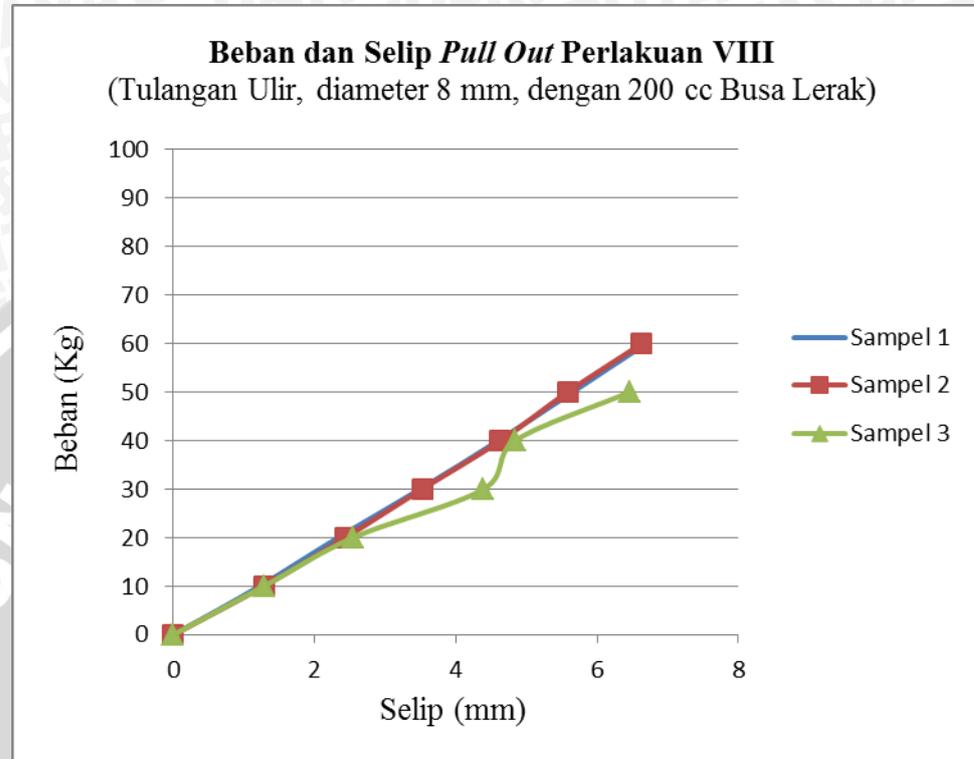
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Selip *Pull Out* Perlakuan VIII

P (Kg)	Selip (mm)					
	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif	Δ	Δ Kumulatif
0	0	0	0	0	0	0
10	1,22	1,22	1,28	1,28	1,28	1,28
20	1,11	2,33	1,15	2,43	1,26	2,54
30	1,16	3,49	1,09	3,52	1,85	4,39
40	1,11	4,6	1,11	4,63	0,45	4,84
50	1,05	5,65	0,95	5,58	1,62	6,46
60	1,04	6,69	1,05	6,63		
70						
80						

Tulangan ulir berdiameter 8 mm dengan kadar busa lerak 200 cc

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Hasil penelitian perlakuan VIII tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dan selip seperti yang tertera pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban Dengan Selip Benda Uji Tulangan Ulir, Diameter 8 mm, Dengan Kadar Busa Lerak 200 cc

4.3 Analisis Data

4.3.1 Analisis Beban Maksimum Hasil Eksperimen

Beban yang didapat dari pengujian *pull out* merupakan beban maksimum yang masih sanggup ditahan oleh ikatan tulangan bambu dengan mortar yang menyelimuti. Ikatan antara tulangan dengan mortar yang menyelimuti akan terus berkurang dengan seiring bertambahnya beban yang diberikan.

Beban maksimal ditandai dengan bertambahnya selip tulangan yang berkelanjutan secara cepat tanpa henti hingga terlepasnya tulangan bambu dari mortar yang menyelimuti. Selip yang terjadi pada pengujian *pull out* ini dapat diamati secara langsung dengan ditunjukkan oleh bekas

cat pelindung tulangan yang terkelupas seperti yang terlihat pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11 Selip yang Terjadi pada Benda Uji *Pull Out*

Secara detail beban maksimum dari hasil pengujian *pull out* dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini.

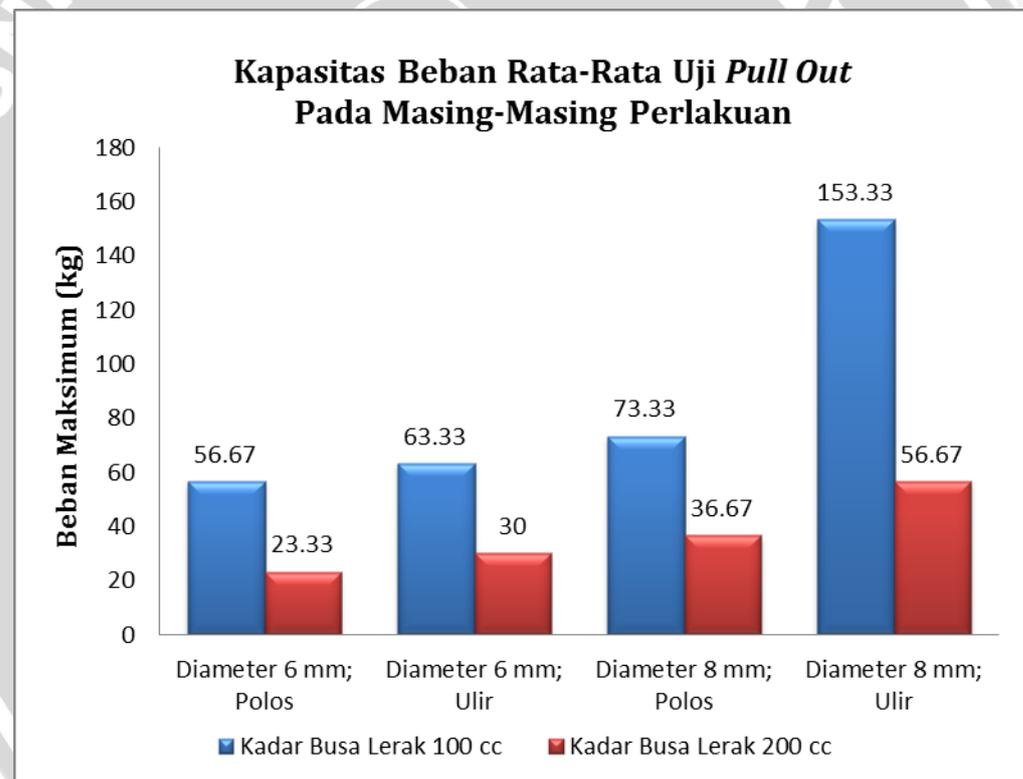
Tabel 4.10 Rekapitulasi Beban Maksimum Pengujian *Pull Out*

Komposisi Busa Lerak	Diameter Tulangan			
	6 mm		8 mm	
	Jenis Tulangan			
	<i>Polos</i>	<i>Ulir</i>	<i>Polos</i>	<i>Ulir</i>
100 cc	50 kg	60 kg	90 kg	180 kg
	60 kg	70 kg	80 kg	130 kg
	60 kg	60 kg	50 kg	150 kg
Rata-rata	56,67 kg	63,33 kg	73,33 kg	153,33 kg
200 cc	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg
	20 kg	30 kg	40 kg	60 kg
	30 kg	30 kg	30 kg	60 kg
Rata-rata	23,33 kg	30 kg	36,67 kg	56,67 kg

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa benda uji dengan kadar busa lerak 100 cc memberikan ikatan yang lebih kuat jika dibanding dengan kadar busa 200 cc. Dari tabel juga terlihat adanya pengaruh dari adanya penambahan ulir pada tulangan yang memberikan beban maksimum rata-rata lebih besar dari tulangan polos. Begitu pula pada diameter tulangan yang digunakan, tulangan dengan diameter 8 mm mampu memberikan beban maksimum yang relatif lebih besar dari tulangan dengan diameter 6 mm.

Secara lebih detail Perbandingan Kapasitas Beban maksimum rata-rata pada tiap-tiap perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Kapasitas Beban Rata-Rata Pengujian *Pull Out*

4.3.2 Perbandingan Analisis Teoritis dan Hasil Eksperimen Tegangan Lekat

Tegangan lekat merupakan tegangan yang menyatakan kekuatan yang ditimbulkan oleh ikatan antara tulangan dengan mortar yang

menyelimuti. Besaran tegangan lekat diperoleh dari pembagian beban maksimum dengan luas permukaan mortar dan tulangan yang diselimuti.

Tegangan lekat dapat diperoleh melalui analisa teoritis berdasarkan SKSNI T-15-1991-03. Analisis teoritis ini hanya mengaitkan antara kuat tekan mortar dan diameter tulangan yang digunakan (**persamaan 2-6**).

$$\bar{u} = \frac{16,67 \cdot \sqrt{f_c'}}{db}$$

Dengan memasukkan besar diameter 6 mm dan kuat tekan mortar untuk kadar busa lerak 100 cc sebesar 10,79 Mpa. didapatkan nilai tegangan lekat sebesar

$$\bar{u} = \frac{16,67 \cdot \sqrt{10,79}}{6}$$

$$\bar{u} = 9,126 \text{ Mpa}$$

Besar tegangan lekat juga dapat diperoleh dengan pengujian *pull out*. Melalui pengujian ini didapatkan besar gaya (P) yang dapat ditahan oleh ikatan tulangan dengan mortar yang menyelimuti. Untuk mendapatkan nilai tegangan lekat digunakan **persamaan 2-7**

$$\bar{u} = \frac{P}{\pi \cdot db \cdot ld}$$

Dengan memasukkan besar gaya rata-rata untuk perlakuan I (tulangan polos diameter 6 mm dengan busa lerak 100 cc) sebesar 56,67 Kg, dan panjang penyaluran sebesar 30 cm. Didapat besar tegangan lekat hasil eksperimen sebesar

$$\bar{u} = \frac{566,7 \text{ N}}{3,14 \cdot 6 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}}$$

$$\bar{u} = 0,100168 \text{ Mpa}$$

Perbandingan tegangan lekat secara teoritis dengan hasil eksperimen disajikan secara lengkap pada lampiran II. Hasil perhitungan perbandingan tegangan lekat seperti yang tertera pada tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Tegangan Lekat Secara Teoritis dan Hasil Eksperimen

No.	Jenis Perlakuan	Tegangan Lekat (Mpa)		
		Teoritis Rata-rata	Eksperimen Rata-rata	Rasio
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(4):(3)
<i>Busa Lerak 100 cc</i>				
1.	Tulangan polos diameter 6 mm	9,126	0,100	0,01098
2.	Tulangan polos diameter 8 mm	6,847	0,097	0,01420
3.	Tulangan ulir diameter 6 mm	6,847	0,084	0,01227
4.	Tulangan ulir diameter 8 mm	5,476	0,163	0,02970
<i>Busa Lerak 200 cc</i>				
5.	Tulangan polos diameter 6 mm	7,001	0,041	0,00589
6.	Tulangan polos diameter 8 mm	5,255	0,065	0,01233
7.	Tulangan ulir diameter 6 mm	5,255	0,053	0,01009
8.	Tulangan ulir diameter 8 mm	4,204	0,100	0,02383

Sumber : Hasil Analisis Teoritis dan Eksperimen

Dari tabel di atas dapat dilihat adanya ketidaksesuaian antara analisis teoritis dengan hasil eksperimen. Hal ini dimungkinkan adanya perbedaan jenis material uji dalam penentuan rumus empiris yang terdapat pada SKSNI T-15-1991-03. Dalam penentuan rumus empiris tersebut digunakan beton normal dengan tulangan berbahan dasar baja, sedangkan pada penelitian ini digunakan mortar ringan dengan tulangan berbahan dasar bambu.

Namun dari tabel diatas dapat dilihat adanya nilai yang paling mendekati antara analisis teoritis dengan hasil pengujian. Hal ini terlihat pada perlakuan ke-4, yakni benda uji dengan kadar busa lerak 100 cc dan tulangan ulir berdiameter 8 mm.

4.3.3 Analisis Selip Hasil Eksperimen

Di samping mengetahui tentang tegangan lekat yang terjadi pada ikatan antara tulangan bambu dan mortar ringan. Dari pengujian *pull out*

yang dilakukan, diperoleh pula nilai dari besar selip yang terjadi. Pada penelitian ini digunakan masing-masing tiga buah sampel untuk setiap perlakuan yang diberikan. Sehingga terdapat keragaman data dari tiap-tiap perlakuan yang diberikan. Di samping itu, besaran selip maksimum dari masing-masing perlakuan tidak dapat langsung dinyatakan sebagai hasil akhir yang akan digunakan dalam perbandingan atas masing-masing perlakuan. Hal ini dikarenakan adanya keragaman pada kapasitas beban yang mengikutinya.

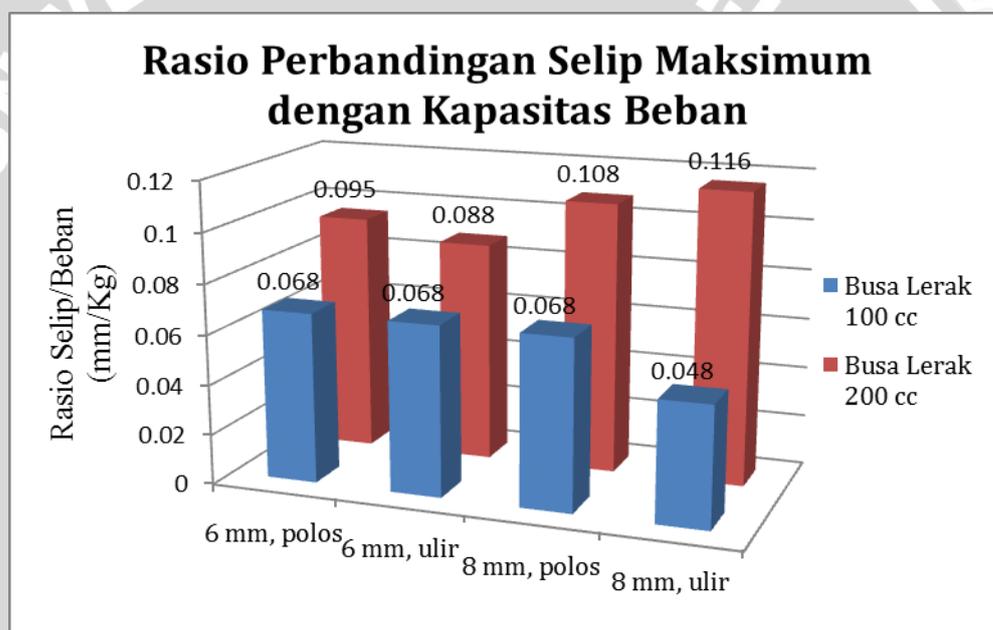
Untuk melakukan perbandingan hasil dari masing-masing perlakuan yang diberikan. Terlebih dahulu disusun hasil penelitian atas rasio perbandingan antara selip maksimum dengan beban maksimum rata-rata yang terjadi. Berikut ini disajikan rasio perbandingan antara selip maksimum dengan kapasitas beban yang terjadi pada masing-masing perlakuan.

Tabel 4.12 Rasio Perbandingan antara Selip dengan Kapasitas Beban

No.	Jenis Perlakuan	Selip	Beban	Rasio
		Maksimum Rata-rata	Maksimum Rata-rata	
		(mm)	(Kg)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3):(4)
<i>Busa Lerak 100 cc</i>				
1.	Diameter 6 mm, polos	3,85	56,67	0,068
2.	Diameter 6 mm, ulir	4,30	63,33	0,068
3.	Diameter 8 mm, polos	5,02	73,33	0,068
4.	Diameter 8 mm, ulir	7,41	153,33	0,048
<i>Busa Lerak 200 cc</i>				
5.	Diameter 6 mm, polos	2,21	23,33	0,095
6.	Diameter 6 mm, ulir	2,63	30,00	0,088
7.	Diameter 8 mm, polos	3,95	36,67	0,108
8.	Diameter 8 mm, ulir	6,59	56,67	0,116

Sumber : Hasil Analisis Teoritis dan Eksperimen

Dari tabel diatas diperoleh rasio atau perbandingan yang paling optimum dari semua perlakuan yang diberikan, yakni pada perlakuan ke-4 dengan kadar busa lerak 100 cc dan tulangan ulir berdiameter 8. Pada benda uji dengan kadar busa lerak 200 cc umumnya memiliki selip yang lebih besar jika dibandingkan dengan beban yang dapat ditahan. Hal ini terlihat dari nilai rasio yang lebih besar jika dibandingkan dengan benda uji berkadar busa lerak 100 cc. Pada benda uji dengan kadar busa lerak 100 cc diperoleh nilai rasio yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa selip yang terjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan selip pada benda uji dengan kadar busa lerak 200 cc dengan beban yang sama.



Gambar 4.13 Rasio Perbandingan Selip Maksimum dengan Kapasitas Beban

4.4 Pengujian Hipotesis dengan Analisis Varian Faktorial 2^3

Pengujian hipotesis dilakukan untuk memperoleh jawaban atas dugaan sementara yang ditetapkan sebelum penelitian dimulai. Pengujian ini tidak memiliki kemampuan untuk membuktikan benar atau salah suatu percobaan. Dalam pengujian ini akan dilakukan pengambilan keputusan atas hipotesis penelitian yang tentunya terdapat resiko dari setiap keputusan yang diambil.

Resiko tersebut muncul karena keputusan yang diambil tidak selalu benar. Besar kecilnya resiko dinyatakan dalam nilai probabilitas.

Variabel bebas pada penelitian ini meliputi kadar busa lerak, diameter tulangan, dan jenis tulangan. Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah kapasitas beban dan selip yang terjadi. Pengujian ini akan digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat dari hasil penelitian.

Berdasarkan variabel bebas yang digunakan, maka terdapat tiga buah faktor yaitu A (kadar busa lerak), B (diameter tulangan), dan C (jenis tulangan) dengan dua variasi pada tiap faktornya. Sehingga digunakan analisis varian faktorial 2^3 acak sempurna dengan delapan kombinasi perlakuan meliputi (1), a, b, c, ab, ac, bc, dan abc. Dalam penentuan kontras digunakan metode Yates. Secara detail penentuan kontras metode Yates dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.13 Penentuan Kontras dengan Metode Yates

Perlakuan	Respon	Kolom (1)	Kolom (2)	Kolom (3) <i>Kontras</i>	JK
(1)	(1)	(1) + a	(1) + a + b + ab	Total	
a	a	b + ab	c + ac + bc + abc	$r \cdot 2^3 \cdot A$	$\frac{(\text{kontras})^2}{r \cdot 2^3}$
b	b	c + ac	a - (1) + ab - b	$r \cdot 2^3 \cdot B$	
ab	ab	bc + abc	ac - c + abc - bc	$r \cdot 2^3 \cdot AB$	
c	c	a - (1)	b + ab - (1) - a	$r \cdot 2^3 \cdot C$	
ac	ac	ab - b	bc + abc - c - ac	$r \cdot 2^3 \cdot AC$	
bc	bc	ac - c	ab - b - a + (1)	$r \cdot 2^3 \cdot BC$	
abc	abc	abc - bc	abc - bc - ac + c	$r \cdot 2^3 \cdot ABC$	

Keterangan :

r	= jumlah replikasi
Total	= +(1)+a+b+ab+c+ac+bc+abc
$r \cdot 2^3 \cdot A$	= -(1)+a-b+ab-c+ac-bc+abc
$r \cdot 2^3 \cdot B$	= -(1)-a+b+ab-c-ac+bc+abc
$r \cdot 2^3 \cdot AB$	= +(1)-a-b+ab+c-ac-bc+abc
$r \cdot 2^3 \cdot C$	= -(1)-a-b-ab+c+ac+bc+abc

$$r.2^3.AC = +(1)-a+b-ab-c+ac-bc+abc$$

$$r.2^3.BC = +(1)+a-b-ab-c-ac+bc+abc$$

$$r.2^3.ABC = -(1)+a+b-ab+c-ac-bc+abc$$

Dari hasil perhitungan kontras akan didapatkan jumlah kuadrat kontras (JK) yang akan digunakan pada perhitungan analisis varian hingga diperoleh F-hitung yang nantinya akan dibandingkan dengan F-tabel untuk menguji kebenaran dari hipotesis yang telah ditentukan di awal. Secara detail analisis varian faktorial 2^3 disajikan pada tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.14 Analisis Varian Faktorial 2^3

Sumber Variasi	Derajat kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (JK)	Rata rata Jmlah Kuadrat (RJK)	F – hitung
Rata-rata	1	R_y	R	-
Perlakuan				
A	a-1	A_y	A	A/E
B	b-1	B_y	B	B/E
AB	(a-1)(b-1)	AB_y	AB	AB/E
C	c-1	C_y	C	C/E
AC	(a-1)(c-1)	AC_y	AC	AC/E
BC	(b-1)(c-1)	BC_y	BC	BC/E
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	ABC_y	ABC	ABC/E
Galat	abc(n-1)	E_y	E	
Jumlah	abcn	ΣY^2		

Keterangan :

n = jumlah faktor perlakuan

a = jumlah variasi kadar busa lerak

b = jumlah variasi diameter tulangan

c = jumlah variasi jenis tulangan

RJK = JK/dk

4.4.1 Pengujian Hipotesis Pengaruh Variasi Kadar Busa Lerak, Diameter Tulangan, dan Jenis Tulangan Terhadap Kapasitas Beban

Dari hasil penelitian di atas, untuk masing-masing perlakuan yang diberikan memiliki nilai kapasitas beban yang berbeda-beda. Untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh dari variabel bebas (kadar busa lerak, diameter tulangan, dan jenis tulangan) yang diberikan terhadap kapasitas beban *pull out*, maka akan dilakukan analisis statistik.

Berikut adalah kriteria pengujian analisis varian 2^3 :

$$H_1 : A_i = 0, (i=1,2,\dots,a)$$

$$H_2 : B_j = 0, (j=1,2,\dots,b)$$

$$H_3 : AB_{ij} = 0, (i=1,2,\dots,a \text{ dan } j=1,2,\dots,b)$$

$$H_4 : C_k = 0, (i=1,2,\dots,c)$$

$$H_5 : AC_{ik} = 0, (i=1,2,\dots,a \text{ dan } k=1,2,\dots,c)$$

$$H_6 : BC_{jk} = 0, (j=1,2,\dots,b \text{ dan } k=1,2,\dots,c)$$

$$H_7 : ABC_{ijk} = 0, (i=1,2,\dots,a \text{ dan } j=1,2,\dots,b \text{ dan } k=1,2,\dots,c)$$

$$\alpha \text{ (level of significance)} = 5\%$$

$$f_{0,05} (1,16) = 4,49 \quad (\text{F-tabel})$$

Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Kapasitas Beban *Pull Out*

Komposisi Busa Lerak	Diameter Tulangan			
	6 mm		8 mm	
	Jenis Tulangan		Jenis Tulangan	
	Polos	Ulir	Polos	Ulir
100 cc	50	60	90	180
	60	70	80	130
	60	60	50	150
Jumlah	170	190	220	460
200 cc	20	30	40	50
	20	30	40	60
	30	30	30	60
Jumlah	70	90	110	170

Sumber : Hasil Analisis Eksperimen

Tabel 4.16 Menghitung Kontras Kapasitas Beban

Perlakuan	Respon	Kolom (1)	Kolom (2)	Kontras	JK
(1)	170,0	240,0	570,0	1.480,0	91.266,67
a	70,0	330,0	910,0	-600,0	15.000,00
b	220,0	280,0	-210,0	440,0	8.066,67
ab	110,0	630,0	-390,0	-200,0	1.666,67
c	190,0	-100,0	90,0	340,0	4.816,67
ac	90,0	-110,0	350,0	-180,0	1.350,00
bc	460,0	-100,0	-10,0	260,0	2.816,67
abc	170,0	-290,0	-190,0	-180,0	1.350,00

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil perhitungan kontras di atas diperoleh adanya nilai yang bervariasi. Nilai tersebut menunjukkan besaran pengaruh suatu variabel atas variabel lainnya. Semakin kecil pengaruhnya terhadap variabel yang lain, maka akan dihasilkan nilai kontras mendekati nol. Pengaruh terbesar ditunjukkan oleh variasi kadar busa lerak dengan nilai kontras sebesar (-600).

Setelah dilakukan perhitungan kontras, selanjutnya dilakukan perhitungan analisis varian faktorial 2^3 untuk mengetahui secara detail atas pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap kapasitas beban *pull out*. Hasil analisis varian faktorial 2^3 secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.17.

$$\sum Y^2 = (50^2) + (60^2) + \dots + (60^2) = 128.800,00$$

$$R_y = \frac{(50 + 60 + \dots + 60)^2}{24} = 91.667,67$$

$$E_y = 128.800 - 91.267 - 15.000 - 8.066,67 - 2.666,67 - 4.816,67 - 1.350 - 2.816,67 - 1.350$$

$$E_y = 2466,67$$

Tabel 4.17 Analisis Varian Kapasitas Beban

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F-hitung	F-tabel
Rata-rata					
Perlakuan	1	91.266,67	91266,67		
Pengaruh Utama					
A	1	15.000,00	15.000,00	97,30	
B	1	8.066,67	8.066,67	52,32	
C	1	4.816,67	4.816,67	31,24	
Interaksi Dwifaktor					
AB	1	1.666,67	1.666,67	10,81	4,49
AC	1	1.350,00	1.350,00	8,76	
BC	1	2.816,67	2.816,67	18,27	
Interaksi Trifaktor					
ABC	1	1.350,00	1.350,00	8,76	
Kekeliruan	16	2466,67	154,1667		
Jumlah	24	128.800,00	-	-	

Sumber :Hasil Analisis

Dari tabel 4.17 diperoleh hasil analisis varian sebagai berikut:

- Karena F hitung (A) > F tabel maka H_1 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa variasi kadar busa lerak **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.
- Karena F hitung (B) > F tabel maka H_2 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa variasi diameter tulangan **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.
- Karena F hitung (C) > F tabel maka H_3 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi kadar busa lerak dan variasi diameter tulangan **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.
- Karena F hitung (AB) > F tabel maka H_4 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa variasi bentuk tulangan **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.
- Karena F hitung (AC) > F tabel maka H_5 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi kadar busa lerak dan

variasi bentuk tulangan **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.

- f. Karena F hitung (BC) $>$ F tabel maka H_6 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi diameter tulangan dan variasi bentuk tulangan **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.
- g. Karena F hitung (ABC) $>$ F tabel maka H_7 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi kadar busa lerak, variasi diameter tulangan, dan bentuk tulangan **berpengaruh** terhadap kapasitas beban *pull out*.

4.4.2 Pengujian Hipotesis Pengaruh Variasi Kadar Busa Lerak, Diameter Tulangan, dan Jenis Tulangan Terhadap Besar Selip

Dari hasil penelitian di atas, untuk masing-masing perlakuan yang diberikan memiliki nilai rasio besar selip terhadap kapasitas beban yang berbeda-beda. Untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh dari variabel bebas (kadar busa lerak, diameter tulangan, dan jenis tulangan) yang diberikan terhadap rasio besar selip terhadap kapasitas beban *pull out*, maka akan dilakukan analisis statistik. Berikut adalah kriteria pengujian analisis varian 2^3 :

$$H_1 : A_i = 0, (i=1,2,\dots,a)$$

$$H_2 : B_j = 0, (j=1,2,\dots,b)$$

$$H_3 : AB_{ij} = 0, (i=1,2,\dots,a \text{ dan } j=1,2,\dots,b)$$

$$H_4 : C_k = 0, (i=1,2,\dots,c)$$

$$H_5 : AC_{ik} = 0, (i=1,2,\dots,a \text{ dan } k=1,2,\dots,c)$$

$$H_6 : BC_{jk} = 0, (j=1,2,\dots,b \text{ dan } k=1,2,\dots,c)$$

$$H_7 : ABC_{ijk} = 0, (i=1,2,\dots,a \text{ dan } j=1,2,\dots,b \text{ dan } k=1,2,\dots,c)$$

$$\alpha \text{ (level of significance)} = 5\%$$

$$f_{0,05} (1,16) = 4,49 \quad (\text{F-tabel})$$

Tabel 4.18 Data Rasio Besar Selip Terhadap Kapasitas Beban *Pull Out*

Komposisi Busa Lerak	Diameter Tulangan			
	6 mm		8 mm	
	Jenis Tulangan		Jenis Tulangan	
	Polos	Ulir	Polos	Ulir
100 cc	0,07700	0,07150	0,05078	0,03922
	0,06600	0,06343	0,06625	0,04400
	0,06217	0,06967	0,10360	0,06307
Jumlah	0,20517	0,20460	0,22063	0,14629
200 cc	0,10350	0,07833	0,10200	0,13380
	0,10700	0,08600	0,10650	0,11050
	0,08033	0,09867	0,11667	0,10767
Jumlah	0,29083	0,26300	0,32517	0,35197

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.19 Menghitung Kontras Rasio Selip Terhadap Kapasitas Beban

Perlakuan	Respon	Kolom (1)	Kolom (2)	Kontras	JK
(1)	0,2052	0,4960	1,0418	2,0076	0,1679
a	0,2908	0,5458	0,9659	0,4543	0,0086
b	0,2206	0,4676	0,1902	0,0805	0,0003
ab	0,3252	0,4983	0,2641	0,1661	0,0012
c	0,2046	0,0857	0,0498	-0,0759	0,0002
ac	0,2630	0,1045	0,0307	0,0739	0,0002
bc	0,1463	0,0584	0,0189	-0,0191	0,0000
abc	0,3520	0,2057	0,1473	0,1284	0,0007

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil perhitungan kontras untuk rasio selip terhadap kapasitas beban didapat nilai kontras mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh variabel yang ditinjau sangat kecil jika dibandingkan dengan variabel lainnya.

$$\sum Y^2 = (0,07700^2) + (0,06600^2) + \dots + (0,10767^2) = 0,18223$$

$$R_y = \frac{(0,07700 + 0,06600 + \dots + 0,10767)^2}{24} = 0,16794$$

$$E_y = 0,18223 - 0,16794 - 0,00860 - 0,00027 - 0,00115 - 0,00024 - 0,00023 - 0,00002 - 0,00069$$

$$E_y = 0,00310$$

Tabel 4.20 Analisis Varian Rasio Selip Terhadap Kapasitas Beban I

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F-hitung	F-tabel
Rata-rata					
Perlakuan	1	0,16794	0,16794		
Pengaruh Utama					
A	1	0,00860	0,00860	44,34424	
B	1	0,00027	0,00027	1,39084	
C	1	0,00024	0,00024	1,23925	
Interaksi Dwifaktor					
AB	1	0,00115	0,00115	5,93131	4,49
AC	1	0,00023	0,00023	1,17272	
BC	1	0,00002	0,00002	0,07867	
Interaksi Trifaktor					
ABC	1	0,00069	0,00069	3,54250	
Kekeliruan	16	0,00310	0,00019		
Jumlah	24	0,18223	-	-	

Sumber : Hasil Analisis

Dari tabel 4.20 diperoleh hasil analisis varian sebagai berikut:

- Karena F hitung (A) > F tabel maka H_1 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa variasi kadar busa lerak **berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu.
- Karena F hitung (B) < F tabel maka H_2 ditolak. Hal ini Menunjukkan bahwa variasi diameter tulangan **tidak berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu.
- Karena F hitung (C) < F tabel maka H_3 ditolak. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi kadar busa lerak dan variasi diameter tulangan **tidak berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu

- d. Karena F hitung (AB) $>$ F tabel maka H_4 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa variasi bentuk tulangan **berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu.
- e. Karena F hitung (AC) $<$ F tabel maka H_5 ditolak. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi kadar busa lerak dan variasi bentuk tulangan **tidak berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu.
- f. Karena F hitung (BC) $<$ F tabel maka H_6 ditolak. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi diameter tulangan dan variasi bentuk tulangan **tidak berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu.
- g. Karena F hitung (ABC) $<$ F tabel maka H_7 ditolak. Hal ini Menunjukkan bahwa interaksi antara variasi kadar busa lerak, variasi diameter tulangan, dan bentuk tulangan **tidak berpengaruh** terhadap besar selip *pull out* mortar ringan bertulang bambu.

Dari hasil analisis varian di atas (Tabel 4.20) didapat bahwa besar selip yang terjadi pada pengujian *pull out* mortar ringan bertulang bambu hanya dipengaruhi oleh kadar busa lerak (F -hitung sebesar 44,34424) dan interaksi dwi faktor antara kadar busa lerak dengan diameter tulangan bambu (F -hitung sebesar 5,93131). Untuk faktor yang lain (B, C, AC, BC, dan ABC) dihasilkan nilai F -hitung kurang dari F -tabel, sehingga faktor tersebut dinyatakan tidak berpengaruh terhadap besar selip pengujian *pull out* mortar ringan bertulang bambu.

Untuk mengetahui lebih detail akan pengaruh kedua faktor di atas, maka akan dilakukan analisis varian ulang. Analisis yang akan dilakukan adalah dengan menggabungkan nilai dari faktor interaksi dwifaktor dan trifaktor yang tidak berpengaruh (AC, BC, dan ABC) ke dalam nilai kekeliruan/galat. Sehingga faktor yang tersisa adalah pengaruh utama (A, B, dan C), dan interaksi dwifaktor kadar busa lerak dengan diameter tulangan (AB). Secara detail hasil analisis varian ulang atas besar selip pengujian *pull out* disajikan pada tabel 4.21 berikut:

Tabel 4.21 Analisis Varian Rasio Selip Terhadap Kapasitas Beban II

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F-hitung	F-tabel
Rata-rata					
Perlakuan	1	0,16794	0,16794		
Pengaruh Utama					
A	1	0,00860	0,00860	40,51868	
B	1	0,00027	0,00027	1,27086	
C	1	0,00024	0,00024	1,13234	4,38
Interaksi Dwifaktor					
AB	1	0,00115	0,00115	5,41961	
Kekeliruan	19	0,00403	0,00021		
Jumlah	24	0,18223	-	-	

Sumber : Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis varian ulang diperoleh hasil seperti yang tertera pada tabel di atas, yang antara lain:

- Faktor kadar busa lerak dinyatakan tetap **berpengaruh** dengan ditunjukkan oleh besar nilai F hitung > F tabel.
- Faktor interaksi dwifaktor antara kadar busa lerak dengan diameter tulangan dinyatakan tetap **berpengaruh** dengan nilai F hitung > F tabel.
- Besar nilai F hitung pada analisis varian rasio selip terhadap kapasitas beban II mengalami penurunan sebesar 8,627 % jika dibandingkan dengan nilai F hitung pada analisis varian rasio selip terhadap kapasitas beban I (tabel 4.20).

4.5 Pembahasan

4.5.1 Kapasitas Beban

Dari hasil pengujian *pull out* diperoleh bahwa variasi kadar busa lerak dalam campuran berpengaruh terhadap kapasitas beban yang dihasilkan. Semakin besar kadar busa lerak dalam campuran, maka kapasitas beban yang dihasilkan akan semakin berkurang. Hal ini dipengaruhi oleh berkurangnya kerapatan mortar yang ditandai oleh

penurunan mutu mortar dengan adanya penambahan busa lerak. Sehingga lekatan antara mortar dan tulangan yang dihasilkan pun akan berkurang dengan bertambahnya kadar busa lerak dalam campuran mortar.

Diameter tulangan yang berbeda juga mempengaruhi besar kapasitas beban *pull out* yang terjadi. Semakin besar diameter tulangan yang digunakan, akan dihasilkan kapasitas beban yang semakin besar pula. Hal ini disebabkan oleh luasan bidang kontak yang semakin besar, sehingga tegangan lekat yang dihasilkan pun semakin besar seiring bertambahnya diameter tulangan bambu yang digunakan.

Penambahan lilitan kawat pada tulangan bambu dinyatakan masih memberikan pengaruh terhadap kapasitas beban, meskipun pengaruh yang diberikan merupakan pengaruh yang paling kecil jika dibandingkan dengan dua variabel lainnya. Dengan adanya penambahan ulir pada tulangan bambu akan memberikan gaya *interlock* yang timbul sebagai gaya langsung pada segmen ulir tulangan. Sehingga kapasitas beban yang terjadi akan meningkat dengan adanya penambahan ulir pada tulangan bambu.

4.5.2 Rasio Selip Terhadap Kapasitas Beban

Dari hasil analisis varian diperoleh bahwa kadar busa lerak memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap besar selip tiap satuan beban yang terjadi. Semakin besar kadar busa lerak dalam campuran mortar, maka selip yang terjadi akan semakin besar pula. Hal ini disebabkan berkurangnya kerapatan mortar yang dihasilkan, ditandai dengan menurunnya mutu mortar atas penambahan kadar busa lerak.

Variasi diameter tulangan pada rasio selip tiap satuan beban tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini terlihat pada nilai kontras atas variabel diameter tulangan yang sangat kecil seperti yang disajikan pada **Tabel 4.19**. Dengan nilai kontras yang mendekati nilai nol tentunya akan dihasilkan nilai F-hitung yang kecil pula. Sehingga

melalui analisis statistik, variasi diameter tulangan dinyatakan tidak memberikan pengaruh terhadap besar selip *pull out*.

Dari hasil analisis varian atas pengaruh jenis tulangan, diperoleh hasil bahwa penambahan ulir pada tulangan bambu tidak mampu memberikan pengaruh yang signifikan. Penambahan ulir pada tulangan memberikan selisih rasio selip yang tidak signifikan jika dibandingkan dengan tulangan polos. Sehingga analisis statistik menyatakan bahwa variasi tulangan tidak memberikan pengaruh terhadap besar selip *pull out*.

Pada pembahasan selip hasil eksperimen, digunakan besaran selip tiap satuan beban yang dihasilkan. Sehingga selisih dari beberapa perlakuan yang diberikan akan sangat kecil jika dibandingkan dengan penggunaan nilai selip maksimum tanpa dibandingkan dengan kapasitas beban yang dihasilkan.

Dari data nilai rasio selip terhadap kapasitas beban diperoleh beberapa nilai yang menyimpang, salah satunya adalah pada sampel ketiga tulangan polos 8 mm dengan busa lerak 100 cc (**Tabel 4.18**). Nilai yang dihasilkan seharusnya tidak jauh dari dua sampel lainnya. Nilai tersebut membuat nilai total perlakuan menyimpang dari seharusnya. Dengan diameter yang semakin besar seharusnya memiliki nilai rasio semakin kecil. Begitu juga dengan jenis tulangan, tulangan ulir seharusnya menghasilkan nilai rasio lebih kecil dari tulangan polos.