

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk memperoleh beban maksimum yang mampu didukung oleh silinder beton yang dilakukan saat beton berumur 28 hari. Dari pengujian yang dilakukan dengan alat *Compressing Testing Machine* merk “ADR 3000” didapatkan beban maksimum (P_{maks}). Dari data tersebut maka diperoleh tegangan maksimum (kuat desak maksimum) beton dengan rumus (4.4). Salah satu perhitungan untuk mencari kuat tekan benda uji silinder beton adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 448,1 \text{ KN} \\
 &= 448100 \text{ N} \\
 d &= 150 \text{ mm} \\
 A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 = 17671,46 \text{ mm}^2 \\
 f_c &= \frac{P}{A} = \frac{448100}{17671,46} = 25,3573 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan beton selengkapnya disajikan dalam table 5.1

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tekan beton

Jenis beton	Kode benda uji	Beban maksimum (KN)	Luas tampang (mm^2)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
Normal	BN - 1	448,1	17671,46	25,3573	27,0191
	BN - 2	491,0	17671,46	27,7849	
	BN - 3	493,3	17671,46	27,9151	

Dari tabel 5.1 di atas terlihat adanya variasi kuat tekan beton berkisar pada 25,3573 MPa sampai dengan 27,9151 MPa. Setelah seluruh nilai kuat tekan dirata-

rata, maka didapatkan hasil sebesar 27,0191 MPa. Nilai yang dihasilkan lebih tinggi bila dibandingkan dengan kuat tekan yang direncanakan sebelumnya, yaitu 25 MPa.

Dari perhitungan perancangan adukan beton didapat berat jenis beton adalah 2300 Kg/m³. Dalam SK SNI-03-2847-2002 menyatakan bahwa beton normal adalah beton yang mempunyai berat jenis 2200 Kg/m³ sampai 2500 Kg/m³.

5.2 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan baja pada saat mengalami kondisi leleh, nilai tegangan baja pada saat kondisi maksimum, dan untuk mengetahui modulus elastis dari baja tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dan dihitung dengan persamaan (4.1), persamaan (4.2), dan persamaan (4.3).

Hasil pengujian kuat tarik baja dapat di lihat dalam tabel 5.2, tabel 5.3, tabel 5.4, dan tabel 5.5.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan ulir diameter 10 mm

Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm ²)	Beban leleh (N)	Beban maksimum (N)	Tegangan leleh (MPa)	Tegangan maksimum (MPa)
1	8,6782	59,1492	19700	28600	333,0561	483,5231
2	8,6407	58,6391	19600	28500	334,2479	486,0237
Rata-rata			19650	28550	333,6520	484,7734

$$E = 180478,1 \text{ MPa}$$

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan ulir diameter 13 mm

Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm ²)	Beban leleh (N)	Beban maksimum (N)	Tegangan leleh (MPa)	Tegangan maksimum (MPa)
1	11,9648	112,4338	35000	55750	311,2942	495,8473
2	11,9648	112,4338	37000	56250	329,0825	500,2943
Rata-rata			36000	56000	320,1884	498,0708

$$E = 210209,7 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.4 Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan ulir diameter 16 mm

Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm ²)	Beban leleh (N)	Beban maksimum (N)	Tegangan leleh (MPa)	Tegangan maksimum (MPa)
1	10,3500	84,1337	41000	62000	487,3193	736,9219
2	10,4000	84,9486	42700	60000	502,6569	706,3095
Rata-rata			41850	61000	494,9881	721,6157

$E = 192829,9 \text{ Mpa}$

Tabel 5.5 Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan polos diameter 12 mm

Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm ²)	Beban leleh (N)	Beban maksimum (N)	Tegangan leleh (MPa)	Tegangan maksimum (MPa)
1	11,3000	100,2874	33000	52750	329,0543	525,9883
2	11,3000	100,2874	34500	52500	344,0113	523,4954
Rata-rata			33750	52625	336,5328	524,7419

$E = 179047,7 \text{ MPa}$

Istimawan Dipohusodo dalam bukunya Struktur Beton Bertulang mengatakan modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan di daerah elastik dimana antara mutu baja yang satu dengan yang lainnya tidak banyak bervariasi. SK SNI T-15-1991-03 menetapkan angka modulus elastis untuk baja tulangan adalah 200.000 MPa. Dapat dilihat dari hasil pengujian tarik baja nilai modulus elastis baja bervariasi, ini mungkin disebabkan oleh kelalaian pada saat pengujian seperti pembacaan dial atau keterbatasan jumlah benda uji.

5.3 Hasil Pengujian Kuat Lekat Baja Tulangan dengan Beton Menggunakan Zat Perekat Sikadur[®] 31 CF Normal

5.3.1 Kuat lekat baja tulangan polos diameter 12 mm dengan beton menggunakan zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal

Pengujian *Pull out* antara baja tulangan polos diameter 12 mm dengan beton menggunakan benda uji sebanyak 3 buah dengan kedalaman penanaman 200 mm. Salah satu data benda uji adalah sebagai berikut :

Diameter nominal (db)	= 11,3 mm
Luas tampang baja (A)	= 100,2874 mm ²
Panjang penanaman (Ld)	= 200 mm
Jarak penjepitan (L ₀)	= 340 mm
Modulus elastis (E)	= 179047,7 MPa

Dari pengujian *pull out* diperoleh data seperti terlihat pada tabel 5.6

Tabel 5.6 Sesar beton dengan baja tulangan polos diameter 12 mm,
Ld = 200 mm.

P (Kg)	P (N)	Δ (mm) $\times 10^{-2}$	Δ_s (mm)	$\Delta_c = \Delta - \Delta_s$ (mm)
0	0	0	0	0
250	2500	63	0,047337	0,582662
500	5000	82	0,094675	0,725325
750	7500	98	0,142012	0,837988
1000	10000	111	0,189349	0,920650
1250	12500	132	0,236687	1,083313
1500	15000	144	0,284024	1,155976
1750	17500	158	0,331361	1,248638
2000	20000	170	0,378699	1,321301
2250	22500	186	0,426036	1,433964
2500	25000	200	0,473373	1,526626
2750	27500	211	0,520711	1,589289
3000	30000	227	0,568048	1,701952
3200	32000	271	0,605918	2,104082
3225	32250	405	0,610652	3,439348
3250	32500	498	0,615385	4,364614
3275	32750	700	0,620119	6,379881
3300	33000	940	0,624853	8,775147
3450	34500	1036	0,653255	9,706744
3475	34750	1215	0,657989	11,492011
3000	30000	1325	0,568048	12,681952
2750	27500	1335	0,520711	12,829289
2500	25000	1348	0,473373	13,006626
2250	22500	1378	0,426036	13,353964
2000	20000	1444	0,378699	14,061301
1975	19750	1648	0,373965	16,106035

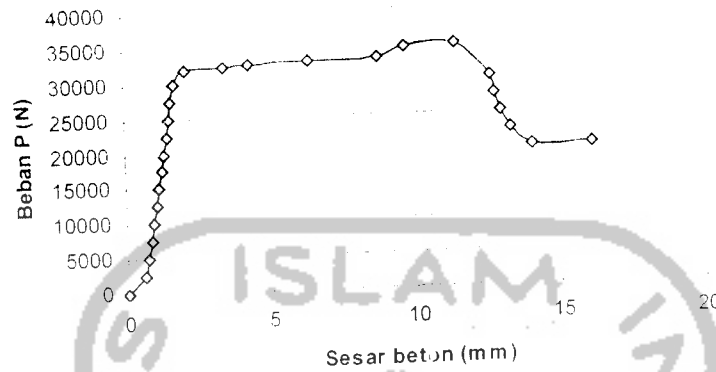
Dari tabel 5.6 di atas didapat kurva hubungan antara beban dan sesar beton seperti yang terlihat pada gambar 5.1. Regresi dari kurva tersebut memberikan persamaan:

$$y = 10112 x^2 + 1423,3 x - 579,16$$

Dengan:

y = Beban (N)

x = Sesar beton (mm)



Gambar 5.1 Kurva beban-sesar beton (baja tulangan polos diameter 12 mm.
Ld = 200 mm)

Dari persamaan regresi :

$$y = 10112 x^2 + 1423,3 x - 579,16$$

Dengan $x = 0,25$ mm diperoleh :

$$y = 10112 (0,25^2) + 1423,3 (0,25) - 579,16$$

$$= 476,9303 \text{ N}$$

$$P = Ld \cdot \pi \cdot d \cdot f_b$$

$$f_b = \frac{P}{\pi \cdot Ld \cdot db}$$

$$f_{b \text{ kritis}} = \frac{476,9303}{\pi \cdot 200 \cdot 11,3}$$

$$= 0,063255 \text{ MPa}$$

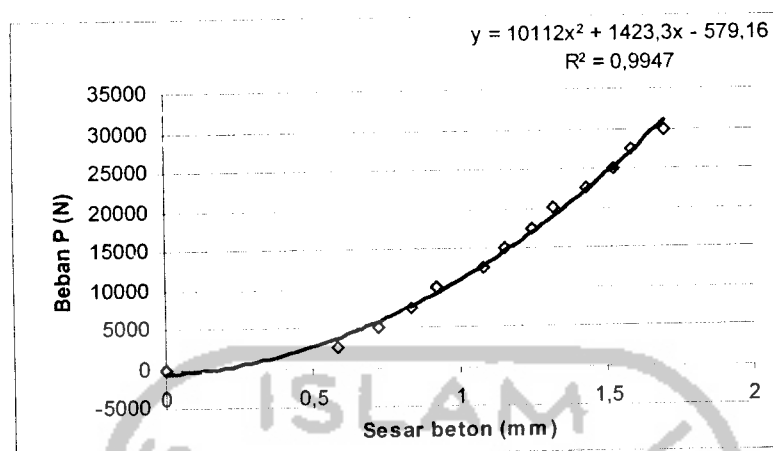
$$Pluluh = 35118 \text{ N}$$

$$f_{b \text{ luluh}} = \frac{35118}{\pi \cdot 200 \cdot 11,3}$$

$$= 4,657673 \text{ MPa}$$

$$P_{maks} = 37817,13 \text{ N}$$

$$f_{b \text{ maks}} = \frac{37817,13}{\pi \cdot 200 \cdot 11,3} = 1035,762 \text{ MPa}$$



Gambar 5.2 Kurva beban-sesar beton kritis (baja tulangan polos diameter 12 mm, $L_d = 200$ mm)

Besarnya tegangan lekat pada benda uji diperoleh dari hasil pengujian tarik masing-masing benda uji dengan berbagai variasi. Pemberian beban tarik pada benda uji menyebabkan terjadinya slip antara baja tulangan dengan beton. Park dan Paulay mendefinisikan tegangan lekat kritis adalah nilai terkecil dari tegangan lekat yang menghasilkan sesar sebesar 0,05 mm pada ujung bebas atau 0,25 mm pada ujung yang dibebani. Samhardi (2000) menyimpulkan bahwa beban yang mengakibatkan sesar 0,25 mm pada ujung dibebani lebih kecil dibandingkan dengan beban pada sesar 0,05 mm pada ujung bebas, sehingga beban kritis yang digunakan untuk perhitungan tegangan lekat kritis didasarkan pada sesar 0,25 mm pada ujung yang dibebani.

Tegangan selengkapnya antara baja tulangan polos dengan diameter 12 mm panjang penanaman 200 mm dengan beton dapat dilihat pada tabel 5.7, tabel 5.8, dan tabel 5.9.

Tabel 5.7 Tegangan lekat kritis baja tulangan polos diameter 12 mm, $L_d = 200$ mm dengan beton

Benda uji	Beban pada sesar 0.25 mm (N)	db (mm)	Tegangan lekat (MPa)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
				Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
1	476,9303	11,3000	0,0633	0,0725	0,0428
2	493,3501	11,3000	0,0695		
3	571,0021	11,3000	0,0804		

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.8 Tegangan lekat saat luluh baja tulangan polos diameter 12 mm, Ld = 200 mm dengan beton

Benda uji	Beban pada saat baja luluh (N)	db (mm)	Tegangan lekat (MPa)	Tegangan lekat rata-rata
1	35118,0000	11,3000	4,6576	4,9923
2	36099,5000	11,3000	5,0344	
3	35118,0000	11,3000	4,9462	

Tabel 5.9 Tegangan lekat maksimum baja tulangan polos diameter 12 mm, Ld = 200 mm dengan beton

Benda uji	Beban maksimum (N)	db (mm)	Tegangan lekat (MPa)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
				Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
1	37817,1250	11,3000	5,0157	5,5129	4,7402
2	39780,1250	11,3000	5,6028		
3	39780,1250	11,3000	5,6028		

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Berdasarkan nilai yang diberikan pada tabel 5.7, tabel 5.8, dan tabel 5.9 dapat dilihat bahwa tegangan lekat rata-rata hasil pengujian lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat lekat antara baja tulangan dan beton di cor bersamaan.

5.3.2 Kuat lekat baja tulangan ulir diameter 10 mm dengan beton menggunakan zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal

Pengujian *Pull out* antara baja tulangan ulir diameter 10 mm dengan beton menggunakan benda uji sebanyak 9 buah dengan ketalaman penanaman 100 mm, 150 mm, 200 mm. Salah satu data benda uji adalah sebagai berikut :

- a = 1,1 mm
- c = 7,9 mm
- d'b = 8,3 mm
- d''b = 10,5 mm

Maka:

$$\pi \frac{d_s'^2 - d_b'^2}{4} \approx \pi d_b' a$$

$$\pi \frac{10,5^2 - 8,3^2}{4} \approx \pi \cdot d_b \cdot l \cdot l$$

- Diameter nominal (db) = 9,4 mm
 Luas tampang baja (A) = 69,3977231 mm²
 Panjang penanaman (Ld) = 100 mm
 Jarak penjepitan (L₀) = 350 mm
 Modulus elastis (E) = 180478,146 MPa

Dari pengujian *pull out* diperoleh data seperti terlihat pada table 5.10.

Tabel 5.10 Sesar beton dengan baja tulangan ulir diameter 10 mm.
Ld = 100 mm

P (Kg)	P (N)	Δ (mm) × 10 ⁻¹	Δs (mm)	Δc = Δ - Δs (mm)
0	0	0	0	0
250	2500	89	0,067866	0,822134
500	5000	120	0,135731	1,064268
750	7500	135	0,203597	1,146403
1000	10000	168	0,271462	1,408537
1250	12500	208	0,339328	1,740672
1500	15000	230	0,407193	1,892806
1750	17500	265	0,475059	2,174941
2000	20000	305	0,542924	2,507075
2050	20500	350	0,556497	2,943502
2100	21000	830	0,570070	7,729929
2150	21500	1120	0,583643	10,616356
2250	22500	1225	0,610790	11,639210
2500	25000	1672	0,678655	16,041344
2750	27500	2365	0,746521	22,903479
2850	28500	2855	0,773667	27,776333
2900	29000	3095	0,787240	30,162760
2975	29750	3380	0,807600	32,992400
3000	30000	3680	0,814386	35,985613
3025	30250	4230	0,821173	41,478827
3050	30500	4600	0,827959	45,172040
3000	30000	4900	0,814386	48,185613
2750	27500	4950	0,746521	48,753479
2500	25000	5000	0,678655	49,321344
2250	22500	5500	0,610790	54,389210
2000	20000	6000	0,542924	59,457075
1750	17500	6040	0,475059	59,924941
1500	15000	7025	0,407193	69,842806
1400	14000	7535	0,380047	74,969953

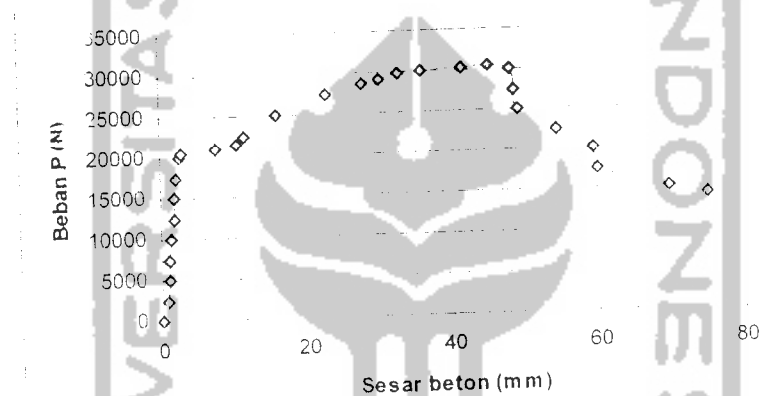
Dari tabel 5.10 di atas didapat kurva hubungan antara beban dan sesar beton seperti yang terlihat pada gambar 5.3. Regresi dari kurva tersebut memberikan persamaan :

$$y = 1546.1 x^2 + 4810.9 x - 724.77$$

Dengan :

$$y = \text{Beban (N)}$$

$$x = \text{Sesar beton (mm)}$$



Gambar 5.3 Kurva beban-sesar beton (baja tulangan ulir diameter 10 mm, $L_d = 100$ mm)

Dari persamaan regresi :

$$y = 1546.1 x^2 + 4810.9 x - 724.77$$

Dengan $x = 0.25$ mm diperoleh :

$$\begin{aligned} y &= 1546.1 (0.25^2) + 4810.9 (0.25) - 724.77 \\ &= 574.5863 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Delta T = \pi \cdot d_b \cdot a \cdot f_b$$

$$f_b = \frac{\Delta T}{\pi \cdot d_b \cdot a}$$

$$vc = \frac{a}{c} \cdot f_b$$

$$f_{b \text{ kritis}} = \frac{574,5853}{\pi \cdot 9,4 \cdot 1,1} = 20,6435 \text{ MPa}$$

$$v_{c \text{ kritis}} = \frac{1,1}{7,9} 20,6435 = 2,8743 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{luluh}} = 23830,75 \text{ N}$$

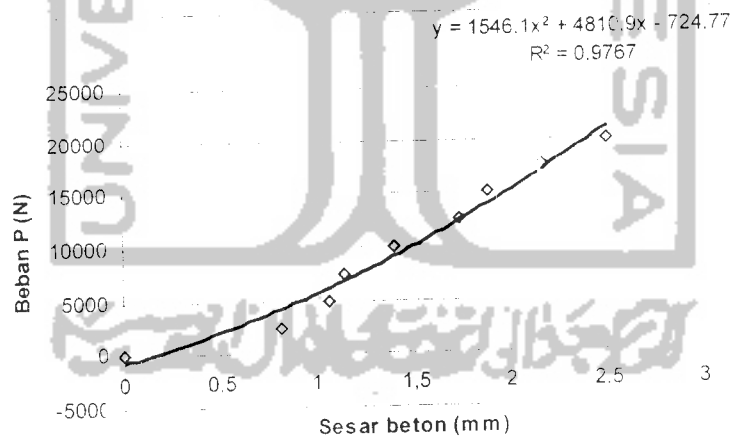
$$f_{b \text{ luluh}} = \frac{23830,75}{\pi \cdot 9,4 \cdot 1,1} = 733,6141 \text{ MPa}$$

$$v_{c \text{ luluh}} = \frac{1,1}{7,9} 733,6141 = 102,1488 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{maks}} = 33645,75 \text{ N}$$

$$f_{b \text{ maks}} = \frac{33645,75}{\pi \cdot 9,4 \cdot 1,1} = 1035,762 \text{ MPa}$$

$$v_{c \text{ maks}} = \frac{1,1}{7,9} 33645,75 = 144,2201 \text{ MPa}$$



Gambar 5.4 Kurva beban-sesar beton kritis (baja tulangan ulir diameter 10 mm, $L_d = 100$ mm)

Tegangan lekat yang didapatkan dari perhitungan merupakan tegangan lekat yang terjadi diantara dua ulir. Tegangan lekat yang sebenarnya adalah tegangan lekat yang terjadi disepanjang baja tulangan yang tertanam atau yang terselimuti oleh beton. Ini didapatkan dengan cara membagi tegangan lekat yang terjadi diantara dua

ulir dengan hasil pembagian antara panjang tulangan yang tertanam dalam beton dengan jarak antar puncak ulir.

Tegangan lekat rata-rata selengkapnya antara baja tulangan ulir diameter 10 mm panjang penanaman 100 mm, 150 mm, 200 mm, dengan beton dapat dilihat pada tabel 5.11, tabel 5.12, dan tabel 5.13.

Tabel 5.11 Tegangan lekat kritis baja tulangan ulir diameter 10 mm.

Beban pada sesar 0.25 mm (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (Mpa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
645,5104	1,1	7,9	9,4	100	0,2186	0,1906
1039,7060	1,1	7,9	9,4	150	0,2347	0,2355
4270,6042	1,1	7,9	9,4	200	0,2373	0,2569

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.12 Tegangan lekat saat baja luluh baja tulangan ulir diameter 10 mm.

Beban pada saat baja luluh (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (Mpa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
23242,8300	1,1	7,9	9,4	100	7,8707	7,6416
20811,5700	1,1	7,9	9,4	150	4,6938	5,0875
22464,7500	1,1	7,9	9,4	200	3,8036	3,6554

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.13 Tegangan lekat maksimum baja tulangan ulir diameter 10 mm.

Beban maksimum (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (Mpa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
33549,9000	1,1	7,9	9,4	100	9,7731	9,9254
29719,7500	1,1	7,9	9,4	150	6,7093	6,7831
33546,3000	1,1	7,9	9,4	200	5,6799	5,1566

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

5.3.3 Kuat lekat baja tulangan ulir diameter 13 mm dengan beton menggunakan zat perekat Sikadur® 31 CF Normal

Pengujian *Pull out* antara baja tulangan ulir diameter 13 mm dengan beton menggunakan benda uji sebanyak 9 buah dengan kedalaman penanaman 100 mm, 150 mm, 200 mm. Cara dan langkah perhitungan sama dengan perhitungan baja tulangan ulir diameter 10 mm. Tegangan lekat selengkapnya antara baja tulangan ulir diameter 13 mm panjang penanaman 100 mm, 150 mm, 200 mm dengan beton dapat dilihat pada tabel 5.14, tabel 5.15, dan tabel 5.16.

Tabel 5.14 Tegangan lekat kritis baja tulangan ulir diameter 13 mm.

Beban pada sesar 0.25 mm (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
864,7223	1,2	9,7	12,6	100	0,2185	0,2321
1853,5061	1,2	9,7	12,6	150	0,3122	0,2625
2435,2400	1,2	9,7	12,6	200	0,3076	0,3076

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.15 Tegangan lekat saat baja luluh baja tulangan ulir diameter 13 mm.

Beban pada saat baja luluh (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
35067,13	1,2	9,7	12,6	100	8,8589	8,8718
20811,57	1,2	9,7	12,6	150	5,9309	6,1487
35557,93	1,2	9,7	12,6	200	4,4914	4,4772

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.16 Tegangan lekat maksimum baja tulangan ulir diameter 13 mm.

Beban maksimum (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
40761,6250	1,2	9,7	12,6	100	10,2975	11,6318
54658,0000	1,2	9,7	12,6	150	9,2054	9,2054
56149,0000	1,2	9,7	12,6	200	6,6215	6,8622

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

5.3.4 Kuat lekat baja tulangan ulir diameter 16 mm dengan beton menggunakan zat perekat Sikadur³ 31 CF Normal

Pengujian *Pull out* antara baja tulangan ulir diameter 16 mm dengan beton menggunakan benda uji sebanyak 9 buah dengan kedalaman penanaman 100 mm, 150 mm, 200 mm. Cara dan langkah perhitungan sama dengan perhitungan baja tulangan ulir diameter 10 mm. Tegangan lekat selengkapnya antara baja tulangan ulir diameter 16 mm panjang penanaman 100 mm, 150 mm, 200 mm dengan beton dapat dilihat pada tabel 5.17, tabel 5.18, dan tabel 5.19.

Tabel 5.17 Tegangan lekat kritis baja tulangan ulir diameter 16 mm.

Beban pada sesar 0.25 mm (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
1369,3341	1,55	14,65	15,55	100	0,2803	0,3177
2831,2593	1,55	14,65	15,55	150	0,2490	0,3940
1824,7762	1,55	14,65	15,55	200	0,2898	0,3418

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.18 Tegangan lekat saat baja luluh baja tulangan ulir diameter 16 mm.

Beban pada saat baja luluh (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
61491,75	1,55	14,65	15,55	200	6,2937	6,2556

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Tabel 5.19 Tegangan lekat maksimum baja tulangan ulir diameter 16 mm.

Beban maksimum (N)	a (mm)	c (mm)	db (mm)	Ld (mm)	Tegangan lekat rata-rata (MPa)	
					Tulangan direkatkan	Tulangan dicor langsung *
45715,2334	1,55	14,65	15,55	100	9,3580	11,001
77413,9000	1,55	14,65	15,55	150	8,3238	9,6396
47948,5000	1,55	14,65	15,55	200	7,9234	8,4085

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

5.4 Hubungan Panjang Penyaluran Terhadap Tegangan Lekat

Panjang penyaluran adalah panjang yang diperlukan untuk mengembangkan tegangan baja hingga mencapai tegangan luluh, merupakan fungsi dari tegangan leleh, diameter, dan tegangan lekat baja tulangan dengan beton. Panjang penyaluran menentukan tahanan terhadap tergelincirnya tulangan dari ikatan dengan beton. Agar batang dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, maka baja harus tertanam di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran.

Sehingga dalam perencanaan panjang penyaluran di gunakan tegangan lekat saat baja tulangan mencapai luluh. Sedangkan tegangan lekat bervariasi saat baja tulangan mencapai luluh dengan diameter yang sama. Ini disebabkan oleh luas bidang kontak baja tulangan dengan beton juga bervariasi, sedangkan gaya yang di butuhkan untuk mencapai baja tulangan hingga luluh relatif sama untuk setiap baja tulangan dengan diameter dan mutu yang sama. Maka untuk memudahkan dalam perhitungan diambil tegangan lekat per satuan panjang (10 mm) panjang penyaluran.

Tabel 5.20 Tegangan lekat per satu sentimeter baja tulangan ulir diameter 10 mm

Ld (mm)	A _{lekat} (mm ²)	fb rata-rata (MPa)	fb, Ld=10 mm (N/mm)	fb, Ld=10 mm rata-rata (N/mm)
100	2953,0946	7,8707	78,7067	75,0841
150	4429,6419	4,6983	70,4738	
200	5906,1892	3,8036	76,0719	

$$P_y = A_s \cdot f_y$$

$$= A_{lekat} \cdot f_b$$

$$A_s \cdot f_y = A_{lekat} \cdot f_b$$

$$= \pi \cdot d_b \cdot L_d \cdot f_b$$

$$\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 \cdot fy = \pi \cdot db \cdot Ld \cdot fb$$

$$\begin{aligned} Ld &= \frac{\frac{1}{4} \cdot db \cdot fy}{fb} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot 9,4 \cdot 333,6520}{75,0841} \\ &= 109,0967 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 5.21 Tegangan lekat per satu sentimeter baja tulangan ulir diameter 13 mm

Ld (mm)	A _{lekat} (mm ²)	fb rata-rata (MPa)	fb, Ld=10 mm (N/mm)	fb, Ld=10 mm rata-rata (N/mm)
100	3958,4034	8,8589	88,5891	89,1271
150	5937,6051	5,9309	88,9633	
200	7916,8068	4,4914	89,8290	

$$\begin{aligned} Ld &= \frac{\frac{1}{4} \cdot db \cdot fy}{fb} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot 12,6 \cdot 320,1884}{89,1271} \\ &= 114,878 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 5.22 Tegangan lekat per satu sentimeter baja tulangan ulir diameter 16 mm

Ld (mm)	A _{lekat} (mm ²)	fb rata-rata (N/mm)	fb, Ld=10 mm (N/mm)
200	9770,3449	6,2937	125,8743

$$\begin{aligned} Ld &= \frac{\frac{1}{4} \cdot db \cdot fy}{fb} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot 15,6 \cdot 494,9881}{125,8743} \end{aligned}$$

$$= 140,0964 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran yang didapatkan dari masing-masing diameter tulangan dibandingkan dengan syarat yang di berikan oleh SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5.2 untuk baja tulangan ulir dengan diameter kurang dari 36 mm.

Tabel 5.23 Perbandingan panjang penyaluran eksperimen dengan SKSNI T-15-1991-03

Diameter (mm)	Panjang penyaluran, Ld (mm)			
	Pengujian		SKSNI T-15-1991-03	
	Tulangan dicor langsung *	Tulangan direkatkan	$(0,02 A_b f_y) / \sqrt{f'_c} \leq 0,06 d_b f_y$	Syarat minimum
10	108,8012	109,0964	196,5948	300
13	113,4586	114,8780	245,7296	300
16	138,8582	140,0964	423,6077	300

* Tugas akhir Muhammad Arfian Nd (2008)

Berdasarkan nilai yang diberikan pada tabel 5.23 dapat dilihat bahwa panjang penyaluran yang hasil pengujian baja tulangan yang di rekatkan dengan beton menggunakan zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal menghasilkan panjang penyaluran yang relatif sama dengan baja tulangan yang di cor bersamaan dengan betonnya. Ini menunjukkan bahwa tegangan lekat yang dihasilkan metode pelaksanaan perbaikan struktur dengan cara pemberian Sikadur[®] 31 CF Normal sama baiknya dengan tegangan lekat yang dihasilkan oleh baja tulangan yang di cor langsung bersamaan dengan betonnya. Sedangkan jika dibandingkan dengan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5.2 dapat dilihat bahwa nilai yang disyaratkan lebih besar 2 kali hingga 3 kali jika dibandingkan dengan hasil pengujian. Ini berarti SKSNI T-15-1991-03 memberikan nilai 2 kali sebagai nilai *safety factor*. Nilai *safety factor* tersebut dalam rangka untuk memperhitungkan kelembaban udara dan kemungkinan terdapatnya udara yang terperangkap di bawah tulangan, yang mempengaruhi kekuatan (daya) lekat sehingga memungkinkan terjadinya penggelinciran sewaktu menahan beban yang tidak begitu besar.

5.5 Ragam Kegagalan

Setelah pengujian *pull out* dilakukan, dilakukan pengamatan terhadap kerusakan yang terjadi pada benda uji. Dari pengamatan terdapat dua jenis kerusakan yang paling banyak terjadi pada benda uji, yaitu:

1. Kegagalan lekatan pada baja tulangan (ragam kegagalan baja tulangan).

Kegagalan ini ditandai dengan terlepasnya baja tulangan dari zat perekat Sikadur 31 CF Normal. Secara visual dapat dilihat bahwa zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal masih menempel pada beton silinder.

2. Kegagalan lekatan pada beton (ragam kegagalan beton).

Berbeda dengan kegagalan pada baja tulangan, kegagalan ini ditandai dengan terlepasnya baja tulangan beserta zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal dari beton akibat *pull out test*. Secara visual dapat dilihat bahwa zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal menempel pada baja tulangan yang sudah tercabut.

Berikut akan disajikan bentuk-bentuk kegagalan dari berbagai variasi diameter baja tulangan dan panjang penyaluran (tabel 5.24).

Tabel 5.24 Jenis kegagalan yang terjadi setelah dilakukan pengujian

Diameter Tulangan (mm)	Panjang Penyaluran, Ld (mm)	Ragam Kegagalan	Keterangan Baja
D 10	100	Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
		Baja tulangan	Putus
	150	Baja tulangan	Putus
		Baja tulangan	Putus
		Baja tulangan	Putus
200	Baja tulangan	Putus	
	Baja tulangan	Putus	
	Baja tulangan	Putus	
D 13	100	Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
	150	Baja tulangan	Putus
		Baja tulangan	Putus
		Beton	Putus
200	Baja tulangan	Tidak putus	
	Baja tulangan	Putus	
	Baja tulangan	Tidak putus	
D 16	100	Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
	150	Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
		Beton	Tidak putus
200	Beton	Tidak putus	
	Beton	Tidak putus	
	Beton	Tidak putus	
P 12	200	Baja tulangan	Tidak putus
		Baja tulangan	Tidak putus
		Baja tulangan	Tidak putus

Baja tulangan polos memiliki kuat lekat jauh lebih kecil dari pada baja tulangan ulir dengan panjang penyaluran dan diameter yang sama, ini dikarenakan bahwa baja tulangan ulir mempunyai tonjolan-tonjolan terhadap beton sehingga dapat meningkatkan kapasitas lekatannya yang menahan gaya tarik keluar, sedangkan untuk baja tulangan polos hanya mengandalkan luas permukaan atas gesekan dan adhesi. Dari tabel 5.24 dapat dilihat bahawa tipe kegagalan yang terjadi pada baja tulangan

polos diameter 12 mm adalah tipe kegagalan lekatan pada baja tulangan dan baja tulangan tidak putus. Sedangkan baja tulangan ulir diameter 10 mm dan 13 mm dengan panjang penyaluran 200 mm mengalami tipe kegagalan yang sama tapi baja tulangan putus. Dengan kata lain bahwa beban yang di diperlukan untuk mencabut baja tulangan polos lebih kecil dari pada beban maksimum baja tulangan.

Dari tabel 5.24 dapat dilihat bahwa semua benda uji baja tulangan ulir dengan panjang penyaluran 100 mm mengalami kegagalan pada beton. Pada panjang penyaluran yang lainnya, yaitu 150 mm dan 200 mm mengalami kegagalan lekatan terhadap baja tulangan pada baja tulangan ulir dengan diameter 10 mm dan 13 mm dan baja tulangan polos dengan diameter 12 mm, sedangkan untuk baja tulangan ulir diameter 16 mm mengalami kegagalan lekatan terhadap beton. Ini mungkin disebabkan oleh lubang yang dibuat pada beton kurang besar, sehingga bidang kontak antara zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal dengan beton tidak mencukupi untuk menahan gaya cabut yang diberikan pada tulangan atau pada saat memasukkan zat perekat tidak merata hingga pada dasar lubang karena pelaksanaan pada penelitian ini hanya menggunakan metode manual. Pada penelitian ini besarnya lubang yang dibuat pada beton silinder untuk memasukkan baja tulangan lebih besar 4 mm dari diameter tulangan. PT. Sika Indonesia mensyaratkan tebal minimum Sikadur[®] 31 CF Normal sebagai perekat adalah 2 mm lebih besar dari diameter baja tulangan.

Dilihat dari tipe kagalannya, jenis kegagalan lekatan pada baja tulangan mengakibatkan putusnya baja tulangan, karena beban yang di perlukan untuk melepaskan baja tulangan dengan zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal memerlukan beban yang lebih besar dari pada beban untuk melepaskan zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal dengan beton. Ini menunjukkan bahwa zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal memiliki kuat lekat yang lebih besar terhadap tulangan dari pada lekatannya terhadap beton.