

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PENGUJIAN AGREGAT HALUS

4.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

Rumus :

- Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) = $B_k : (B + B_{ssd} - B_t)$
- BJ SSD (*Bulk Specific Gravity SSD*) = $B_{ssd} : (B + B_{ssd} - B_t)$
- BJ Semu (*Apparent Specific Gravity*) = $B_k : (B + B_k - B_t)$
- Penyerapan air (*Absorption*) = $((B_{ssd} - B_k) : B_k) \times 100 \%$

Contoh perhitungan : Sampel 1

- Berat Jenis = $996,6 \text{ g} : (1389,4 + 1000 - 1962,2) = 2,33$
- BJ SSD = $1000 \text{ g} : (1389,4 + 1000 - 1962,2) = 2,34$
- BJ Semu = $996,6 \text{ g} : (1389,4 + 996,6 - 1962,2) = 2,35$
- Penyerapan Air = $((1000 - 996,6) : 996,6) \times 100 \% = 0,341\%$

Tabel 4.1. Data Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

No	Berat SSD (g)	Berat Kering Oven (g)	Berat Agregat + Picnometer+ Air (g)	Berat Picnometer + Air (g)
	B_{ssd}	B_k	B_t	B
1	1000	996,6	1962,2	1389,4
2	1000	997,5	1963,1	1389,4

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian	Sampel		Rata -Rata
	1	2	
Berat Jenis	2,33	2,34	2,33
BJ SSD	2,34	2,35	2,34
BJ Semu	2,35	2,35	2,35
Penyerapan Air	0,341 %	0,251 %	0,295 %

Dari pengujian berat jenis pada agregat halus didapat berat jenis SSD 2,34. Dengan berat jenis seperti ini maka agregat ini dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena masih berada antara 2,2 s/d 2,7, oleh karena itu agregat ini dapat digunakan untuk membuat beton normal. Untuk penyerapan air agregat sebesar 0,295 %, maksudnya adalah kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga jenuh kering permukaan sebesar 0,295 % dari berat agregat itu sendiri. Penyerapan air ini sesuai dengan yang disyaratkan, yaitu maksimum 3% (SII 0079-75).

4.1.2 Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Berat isi agregat halus adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air.

Pengujian Berat Isi Padat dan Lepas :

Jika pasir yang atau kerikil yang dimasukkan ke dalam silinder takar dan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat maka langkah ini disebut cara RODDING (untuk pengujian berat isi padat), sedangkan bila tanpa ditusuk-tusuk langkah ini disebut cara SHOVELING (untuk pengujian berat isi lepas).

Rumus :

$$\bullet \text{ Berat Isi} = \frac{(\text{Berat takaran} + \text{benda uji}) - (\text{Berat takaran})}{(\text{Berat air}) : (\text{Berat takaran})}$$

Contoh Perhitungan : Sampel 1

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat Isi Padat} &= \frac{.6900 \text{ gr} - 1644,4 \text{ gr}}{3121,8 \text{ gr} : 1644,4 \text{ gr}} \\ &= 2768,37 \text{ gr/cc} \\ \bullet \text{ Berat Isi Lepas} &= \frac{.6720 \text{ gr} - 1644,4 \text{ gr}}{3121,8 \text{ gr} : 1644,4 \text{ gr}} \\ &= 2673,56 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Tabel 4.3. Data Dan Hasil Perhitungan Berat Isi Agregat Halus Cara *RODDED*

Pengujian		Sat	Sampel 1	Sampel 2
(1)	Berat takaran	(gr)	1644,4	1644,4
(2)	Berat takaran + air	(gr)	4766,2	4766,2
(3)	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3121,8	3121,8
(4)	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1,898	1,898
(5)	Berat takaran + benda uji	(gr)	6900	6890
(6)	Berat benda uji = (5)-(1)	(gr)	5255,6	5245,6
(7)	Berat isi agregat halus = (6)/(4)	(gr/cc)	2768,37	2763,11
(8)	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	2765,7	

Tabel 4.4. Data Dan Hasil Perhitungan Berat Isi Agregat Halus Cara *SHOVELED*

Pengujian		Sat	Sampel 1	Sampel 2
(1)	Berat takaran	(gr)	1644.4	1644.4
(2)	Berat takaran + air	(gr)	4766.2	4766.2
(3)	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3121.8	3121.8
(4)	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.898	1.898
(5)	Berat takaran + benda uji	(gr)	6720	6718.5
(6)	Berat benda uji = (5)-(1)	(gr)	5075.6	5074.1
(7)	Berat isi agregat halus = (6)/(4)	(gr/cc)	2673.56	2672.77
(8)	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	2673.2	

Dari pengujian berat isi agregat halus didapat nilai berat isi untuk berat isi lepas sebesar 2673,2 gr/cc dan berat isi padat sebesar 2765.7 gr/cc. Hasil pengujian sudah sesuai yang disyaratkan bahwa berat isi minimal adalah 1,2 kg/liter (SII 0052-80).

4.1.3 Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus

Susunan butir agregat dapat menentukan jumlah pemakaian semen, dimana susunan butiran agregat yang halus cenderung memerlukan pemakaian jumlah semen lebih banyak dibandingkan dengan susunan butiran kasar. Hal ini disebabkan oleh karena butiran halus memiliki jumlah luas permukaan lebih besar persatuan volume yang sama sehingga memerlukan jumlah semen lebih banyak untuk mengikat seluruh permukaannya.

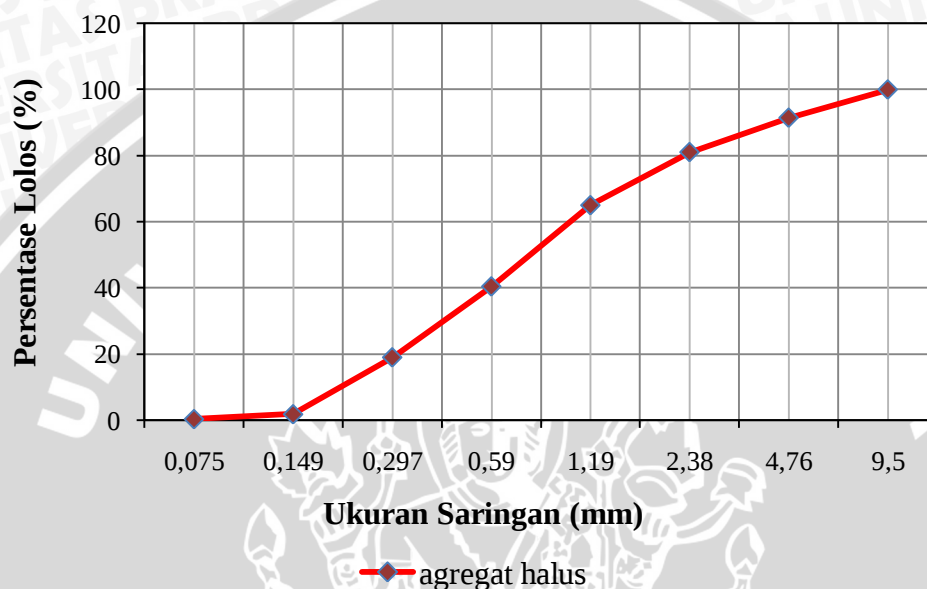
Tabel 4.5. Data Dan Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir Tertinggal		%Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3	76,2	-	-	-	-
2.5	63,5	-	-	-	-
2	50,8	-	-	-	-
1.5	38,1	-	-	-	-
1	25,4	-	-	-	-
$\frac{3}{4}$	19,1	-	-	-	-
$\frac{1}{2}$	12,7	-	-	-	-
$\frac{3}{8}$	9,5	-	-	-	100
4	4,76	83,4	8,52	8,52	91,48
8	2,38	101,8	10,40	18,92	81,08
16	1,19	157,4	16,08	34,99	65,01
30	0,59	240,4	24,56	59,55	40,45
50	0,297	210	21,45	81,00	19,00
100	0,149	168,6	17,22	98,22	1,78
200	0,075	14,4	1,47	99,69	0,31
Pan		3	0,31	100,00	0,00
$\Sigma =$		979	100		

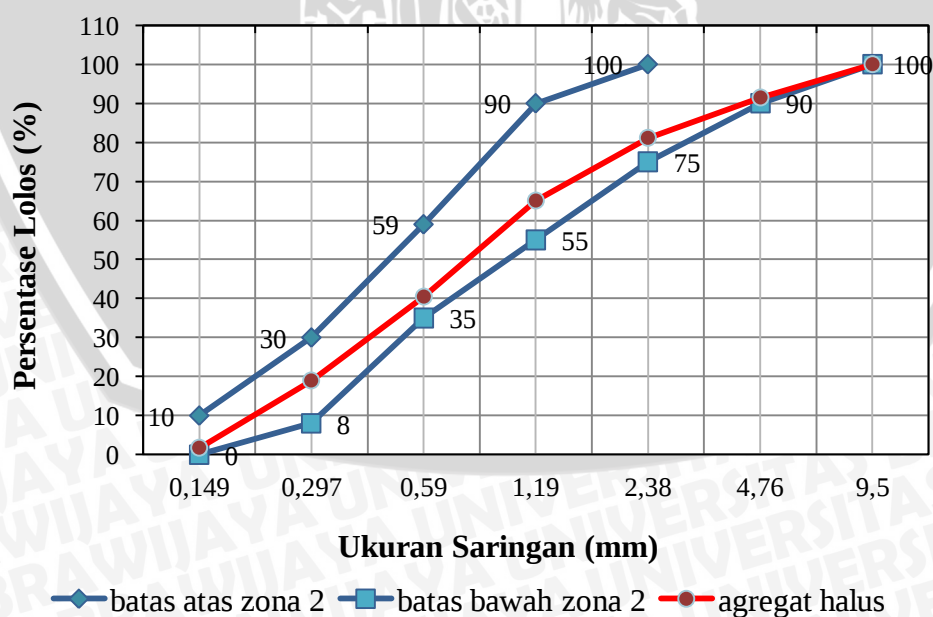
Rumus : Menghitung angka kehalusan

$$FM = \frac{(\sum \% \text{ tertahan kumulatif tertahan ayakan no.3/8 sampai } 100)}{100}$$

$$FM = \frac{(8,52 + 18,92 + 34,99 + 59,55 + 81,00 + 98,22)}{100} = 3,0121$$



Gambar 4.1. Grafik lengkung pengujian analisa gradasi agregat halus



Gambar 4.2. Grafik lengkung agregat halus ZONA 2

Jika dilihat pada grafik gradasi agregat halus di atas, maka agregat termasuk ke dalam gradasi Zone II yaitu pasir agak kasar (SNI 03-1750-1990). Hasil perhitungan modulus kehalusan agregat halus adalah 3,0121 hasil tersebut sesuai dengan yang disyaratkan karena nilainya antara 1,5-3,8 (SK SNI S-04-1989-F) atau 2,3-3,1 (ASTM C35-37).

4.1.4 Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Kadar air agregat adalah besar perbandingan atau rasio antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering yang dinyatakan dalam persen.

Rumus :

$$\bullet \text{ Kadar Air} = \frac{(W1 - W2)}{(W3)} \times 100 \%$$

W1 = Berat Talam + Contoh basah

W2 = Berat Talam + Contoh kering

W3 = Berat Contoh Kering

Contoh Perhitungan : Sampel 1

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Kadar Air} &= \frac{(46,8 \text{ gr} - 46,6 \text{ gr})}{(15,2 \text{ gr})} \times 100 \% \\ &= 1,3158 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.6. Data Dan Hasil Perhitungan Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian		sat	sampel	
			1	2
(1)	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	46,8	66,2
(2)	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	46,6	66,1
(3)	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,2	0,1
(4)	Berat Talam	(gr)	31,4	28,2
(5)	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	15,2	37,9
(6)	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	1,3158	0,2639
(7)	Kadar Air rata-rata	(%)	0,78982	

Dari hasil pengujian, jumlah air yang terkandung dalam agregat halus sebesar 0,79% dari berat agregat dan memenuhi spesifikasi menurut PBI 1971 karena di bawah 5%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat halus dalam **kondisi basah** (Petunjuk Praktikum Teknologi Beton Universitas Brawijaya, 2004:14) yaitu kondisi agregat dengan kandungan air yang berlebihan pada permukaannya, hal ini ditunjukkan dengan nilai kadar air 0,79% melebihi dari nilai penyerapan airnya yaitu sebesar 0,295 %.

Agregat dengan kondisi basah akan menyumbangkan air ke dalam campuran, sehingga bila tidak diperhitungkan akan merubah nilai rasio air semen di dalam campuran, maka langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu dengan cara agregat halus sebelum digunakan dalam campuran beton harus didiamkan selama beberapa waktu pada suhu ruang sampai tercapai kondisi jenuh dengan permukaan kering (Saturated Surface Dry).

4.2 PENGUJIAN AGREGAT KASAR

4.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Rumus :

- Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) = $Bk : (Bssd - Ba)$
- BJ Semu (*Apparent Specific Gravity*) = $Bk : (Bk - Ba)$
- BJ SSD (*Bulk Specific Gravity SSD*) = $Bssd : (Bssd - Ba)$
- Penyerapan air (*Absorption*) = $((Bssd - Bk) : Bk) \times 100 \%$

Contoh perhitungan : Sampel 1

- Berat Jenis = $4944 \text{ g} : (5000 \text{ g} - 3044 \text{ g}) = 2,53$
- BJ SSD = $5000 \text{ g} : (5000 \text{ g} - 3044 \text{ g}) = 2,56$
- BJ Semu = $4944 \text{ g} : (4944 \text{ g} - 3044 \text{ g}) = 2,60$
- Penyerapan Air = $((5000 - 4944) : 4944) \times 100\% = 1,133\%$

Tabel 4.7. Data Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

No	Berat SSD (g)	Berat Kering Oven (g)	Berat Dalam Air (g)
	<i>Bssd</i>	<i>Bk</i>	<i>Ba</i>
1	5000	4944	3044
2	5000	4930	3044

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Sampel		Rata -Rata
	1	2	
Berat Jenis	2,53	2,52	2,52
BJ SSD	2,56	2,56	2,56
BJ Semu	2,60	2,61	2,61
Penyerapan Air	1,133 %	1,420 %	1,276 %

Dari pengujian berat jenis pada agregat kasar didapati berat jenis SSD 2,56. Dengan berat jenis seperti ini maka agregat ini dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena masih berada antara 2,2 s/d 2,7, oleh karena itu agregat ini dapat digunakan untuk membuat beton normal. Untuk penyerapan air sebesar 1,276 %, maksudnya adalah kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga jenuh kering permukaan sebesar 1,276 % dari berat agregat itu sendiri. Penyerapan air ini sesuai dengan yang disyaratkan, yaitu maksimum 3% (SII 0079-75)

4.2.2 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Berat isi agregat kasar adalah perbandingan antara berat agregat kasar dengan volume air.

Pengujian Berat Isi Padat dan Lepas

Jika pasir yang atau kerikil yang dimasukkan ke dalam silinder takar dan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat maka langkah ini disebut cara RODDING (untuk pengujian berat isi padat), sedangkan bila tanpa ditusuk-tusuk langkah ini disebut cara SHOVELING (untuk pengujian berat isi lepas).

Rumus :

$$\bullet \text{ Berat Isi} = \frac{(\text{Berat takaran} + \text{benda uji}) - (\text{Berat takaran})}{(\text{Berat air}) : (\text{Berat takaran})}$$

Contoh Perhitungan : Sampel 1

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat Isi Padat} &= \frac{.6520 \text{ gr} - 1644,4 \text{ gr}}{3121,8 \text{ gr} : 1644,4 \text{ gr}} \\ &= 2568,21 \text{ gr/cc} \\ \bullet \text{ Berat Isi Lepas} &= \frac{.6490 \text{ gr} - 1644,4 \text{ gr}}{3121,8 \text{ gr} : 1644,4 \text{ gr}} \\ &= 2552,41 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Tabel 4.9. Data Dan Hasil Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar Cara *RODDED*

Pengujian		Sat	Sampel 1	Sampel 2
(1)	Berat takaran	(gr)	1644,4	1644,4
(2)	Berat takaran + air	(gr)	4766,2	4766,2
(3)	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3121,8	3121,8
(4)	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1,898	1,898
(5)	Berat takaran + benda uji	(gr)	6520	6525
(6)	Berat benda uji = (5)-(1)	(gr)	4875,6	4880,6
(7)	Berat isi agregat kasar = (6)/(4)	(gr/cc)	2568,21	2570,84
(8)	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	2569,5	

Tabel 4.10. Data Dan Hasil Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar Cara *SHOVELED*

Pengujian		Sat	Sampel 1	Sampel 2
(1)	Berat takaran	(gr)	1644,4	1644,4
(2)	Berat takaran + air	(gr)	4766,2	4766,2
(3)	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3121,8	3121,8
(4)	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1,898	1,898
(5)	Berat takaran + benda uji	(gr)	6490	6498
(6)	Berat benda uji = (5)-(1)	(gr)	4845,6	4853,6
(7)	Berat isi agregat kasar = (6)/(4)	(gr/cc)	2552,41	2556,62
(8)	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	2554,5	

Dari pengujian berat isi agregat kasar didapat nilai berat isi untuk berat isi lepas sebesar 2554,5 gr/cc dan berat isi padat sebesar 2569,5 gr/cc . Hasil pengujian sudah sesuai yang disyaratkan bahwa berat isi minimal adalah 1,2 kg/liter (SII 0052-80).

4.2.3 Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar

Tabel 4.11. Data Dan Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar

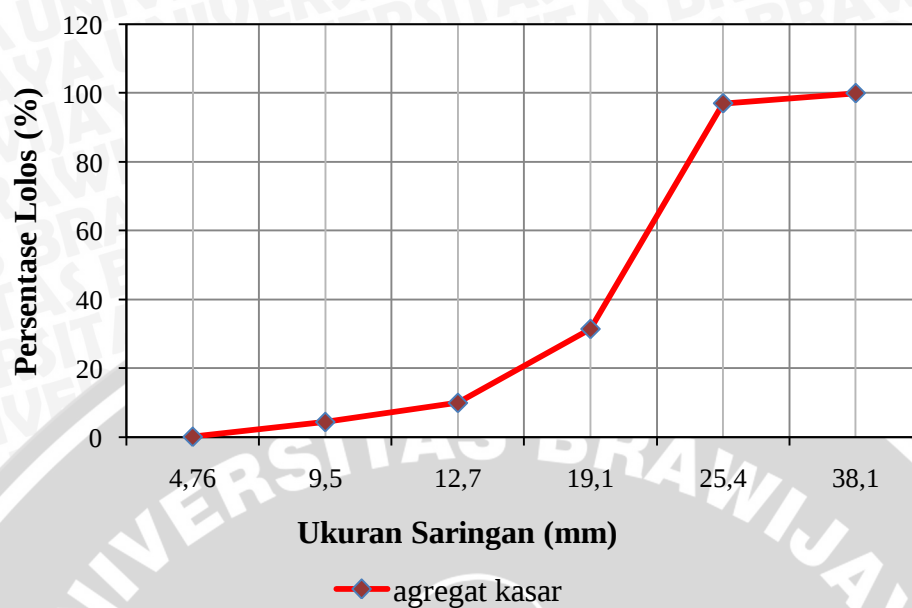
Lubang Saringan		Pasir Tertinggal		%Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3	76,2	-	-	-	100
2.5	63,5	-	-	-	100
2	50,8	-	-	-	100
1.5	38,1	0	0	0	100
1	25,4	146,4	2,95	2,95	97,05
$\frac{3}{4}$	19,1	3249,4	65,51	68,47	31,53
$\frac{1}{2}$	12,7	1065,6	21,48	89,95	10,05
$\frac{3}{8}$	9,5	274,8	5,54	95,49	4,51
4	4,76	212,8	4,29	99,78	0,22
8	2,38	-	-	0	-
16	1,19	-	-	0	-
30	0,59	-	-	0	-
50	0,297	-	-	0	-
100	0,149	-	-	0	-
200	0,075	-	-	0	-
Pan		10,8	0,2177	0,22	-
$\Sigma =$		4959,8	99,8	263,74	

Rumus : Menghitung angka kehalusan

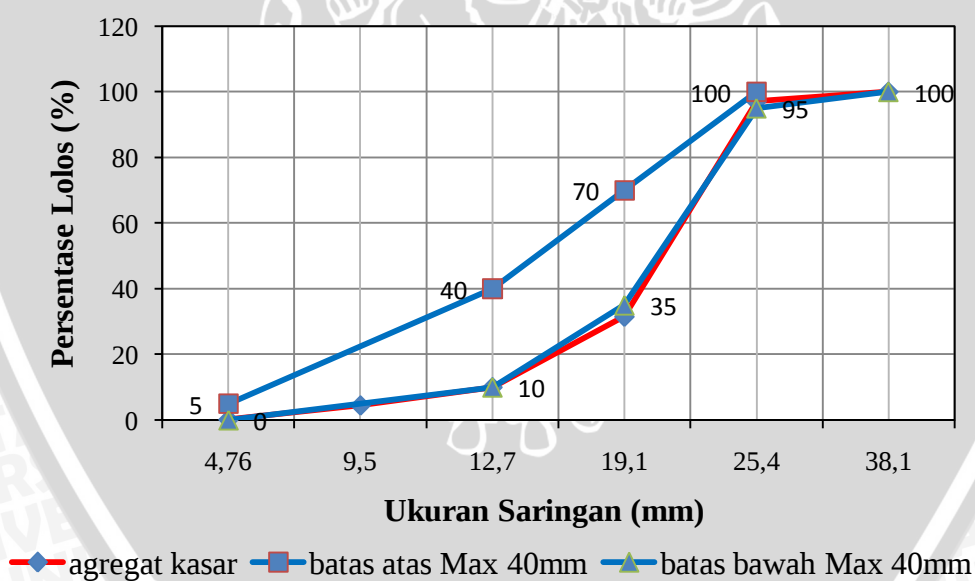
$$FM = \frac{(\Sigma \% \text{ tertahan kumulatif di atas ayakan } 0,15 \text{ mm})}{100}$$

$$FM = \frac{(2,95+68,47+89,95+95,49+99,78+100+100+100+100+100)}{100}$$

$$= 8,57$$



Gambar 4.3. Grafik lengkung pengujian analisa ayak agregat kasar



Gambar 4.4. Grafik lengkung agregat kasar Max 40 mm

Jika dilihat pada grafik gradasi agregat kasar di atas, maka agregat termasuk ke dalam grafik gradasi lengkung agregat dengan ukuran maksimum agregat kasar sebesar 40 mm. Hasil perhitungan modulus kehalusan agregat halus adalah 8,57 hasil tersebut sesuai dengan yang disyaratkan karena nilainya antara 7,49-9,55 (ASTM C35-37).

4.2.4 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Rumus :

$$\bullet \text{ Kadar Air} = \frac{(W1 - W2)}{(W3)} \times 100 \%$$

W1 = Berat Talam + Contoh basah

W2 = Berat Talam + Contoh kering

W3 = Berat Contoh Kering

Contoh Perhitungan : Sampel 1

$$\bullet \text{ Kadar Air} = \frac{(138,6 \text{ gr} - 138 \text{ gr})}{(101,2 \text{ gr})} \times 100 \%$$

$$= 0,5929 \%$$

Tabel 4.12. Data Dan Hasil Perhitungan Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian		sat	sampel	
			1	2
(1)	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	138,6	152
(2)	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	138	151,2
(3)	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,6	0,8
(4)	Berat Talam	(gr)	36,8	37
(5)	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	101,2	114,2
(6)	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,5929	0,7005
(7)	Kadar Air rata-rata	(%)	0,6467	

Dari hasil pengujian, jumlah air yang terkandung dalam agregat kasar sebesar 0,65% dari berat agregat dan memenuhi spesifikasi menurut PBI 1971 karena di bawah 5%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat kasar dalam **kondisi kering udara** (Petunjuk Praktikum Teknologi Beton Universitas Brawijaya, 2004:14) yaitu kondisi agregat yang kering permukaan namun mengandung sedikit air di rongganya, hal ini ditunjukkan dengan nilai kadar air 0,65% lebih kecil dari nilai penyerapan airnya yaitu sebesar 1,276 %.

Agregat dengan kondisi kering udara dapat menyerap air dalam campuran beton walaupun tidak dengan kapasitas penuh sehingga bila tidak diperhitungkan akan merubah nilai rasio air semen di dalam campuran. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu untuk mencapai kondisi jenuh dengan permukaan kering (Saturated Surface Dry) maka air pada campuran beton harus ditambah sebesar $1,276 \% - 0,65 \% = 0,626 \%$ dari berat agregat kasar.



4.3 PENGUJIAN PIROPILIT

4.3.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Piropilit

Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

Rumus :

- Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) = $Bk : (B + Bssd - Bt)$
- BJ SSD (*Bulk Specific Gravity SSD*) = $Bssd : (B + Bssd - Bt)$
- BJ Semu (*Apparent Specific Gravity*) = $Bk : (B + Bk - Bt)$
- Penyerapan air (*Absorption*) = $((Bssd - Bk) : Bk) \times 100 \%$

Contoh perhitungan : Sampel 1

- Berat Jenis = $497,4 : (1350,2 + 500 - 1640,8) = 2,375$
- BJ SSD = $500 : (1350,2 + 500 - 1640,8) = 2,388$
- BJ Semu = $497,4 : (1350,2 + 497,4 - 1640,8) = 2,405$
- Penyerapan Air = $((500 - 497,4) : 497,4) \times 100 \% = 0,523\%$

Tabel 4.13. Data Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Piropilit

No	Berat SSD (gr)	Berat kering oven (gr)	Berat piknometer + air	Berat piknometer + air + piropilit (gr)
	<i>Bssd</i>	<i>Bk</i>	<i>B</i>	<i>Bt</i>
A	500	497,4	1350,2	1640,8
B	500	497,6	1350,2	1640

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Piropilit

Pengujian	Sampel		Rata -Rata
	1	2	
Berat Jenis	2,375	2,367	2,371
BJ SSD	2,388	2,379	2,383
BJ Semu	2,405	2,395	2,399
Penyerapan Air	0,523%	0,482%	0,502%

Dari pengujian berat jenis pada piropilit didapat berat jenis SSD 2,383. Untuk penyerapan air piropilit sebesar 0,502% menandakan bahwa kemampuan piropilit dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga jenuh kering permukaan sebesar 0,502% dari berat piropilit.

4.3.2 Pengujian Berat Isi Piropilit

Berat isi agregat halus adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air.

Pengujian Berat Isi Padat dan Lepas :

Jika piropilit yang dimasukkan ke dalam silinder takar dan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat maka langkah ini disebut cara RODDING (untuk pengujian berat isi padat), sedangkan bila tanpa ditusuk-tusuk langkah ini disebut cara SHOVELING (untuk pengujian berat isi lepas).

Rumus :

$$\bullet \text{ Berat Isi} = \frac{(\text{Berat takaran} + \text{benda uji}) - (\text{Berat takaran})}{(\text{Berat air}) : (\text{Berat takaran})}$$

Contoh Perhitungan : Sampel 1

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat Isi Padat} &= \frac{6280 \text{ gr} - 1643,2 \text{ gr}}{3147,4 \text{ gr} : 1643,2 \text{ gr}} \\ &= 2420,79 \text{ gr/cc} \\ \bullet \text{ Berat Isi Lepas} &= \frac{5860 \text{ gr} - 1643,2 \text{ gr}}{3147,4 \text{ gr} : 1643,2 \text{ gr}} \\ &= 2201,51 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Tabel 4.15. Data Dan Hasil Perhitungan Berat Isi Piroplit Cara *RODDED*

Pengujian		Sat	Sampel 1	Sampel 2
(1)	Berat takaran	(gr)	1643,2	1643,2
(2)	Berat takaran + air	(gr)	4790,6	4790,6
(3)	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3147,4	3147,4
(4)	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1,915	1,915
(5)	Berat takaran + benda uji	(gr)	6280	6260
(6)	Berat benda uji = (5)-(1)	(gr)	4636,8	4616,8
(7)	Berat isi agregat halus = (6)/(4)	(gr/cc)	2420,79	2410,35
(8)	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	2415,6	

Tabel 4.16. Data Dan Hasil Perhitungan Berat Isi Piroplit Cara *SHOVELED*

Pengujian		Sat	Sampel 1	Sampel 2
(1)	Berat takaran	(gr)	1643,2	1643,2
(2)	Berat takaran + air	(gr)	4790,6	4790,6
(3)	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3147,4	3147,4
(4)	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1,915	1,915
(5)	Berat takaran + benda uji	(gr)	5860	5900
(6)	Berat benda uji = (5)-(1)	(gr)	4216,8	4256,8
(7)	Berat isi agregat halus = (6)/(4)	(gr/cc)	2201,51	2222,40
(8)	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	2212,0	

Dari pengujian berat isi piropilit didapat nilai berat isi untuk berat isi lepas sebesar 2212,0 gr/cc dan berat isi padat sebesar 2415,6 gr/cc.

4.3.3 Pengujian Analisa Ayak Piropilit

Susunan butir agregat dapat menentukan jumlah pemakaian semen, dimana susunan butiran agregat yang halus cenderung memerlukan pemakaian jumlah semen lebih banyak dibandingkan dengan susunan butiran kasar. Hal ini disebabkan oleh karena butiran halus memiliki jumlah luas permukaan lebih besar persatuan volume yang sama sehingga memerlukan jumlah semen lebih banyak untuk mengikat seluruh permukaannya.

Tabel 4.17. Data Dan Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Ayak Piropilit

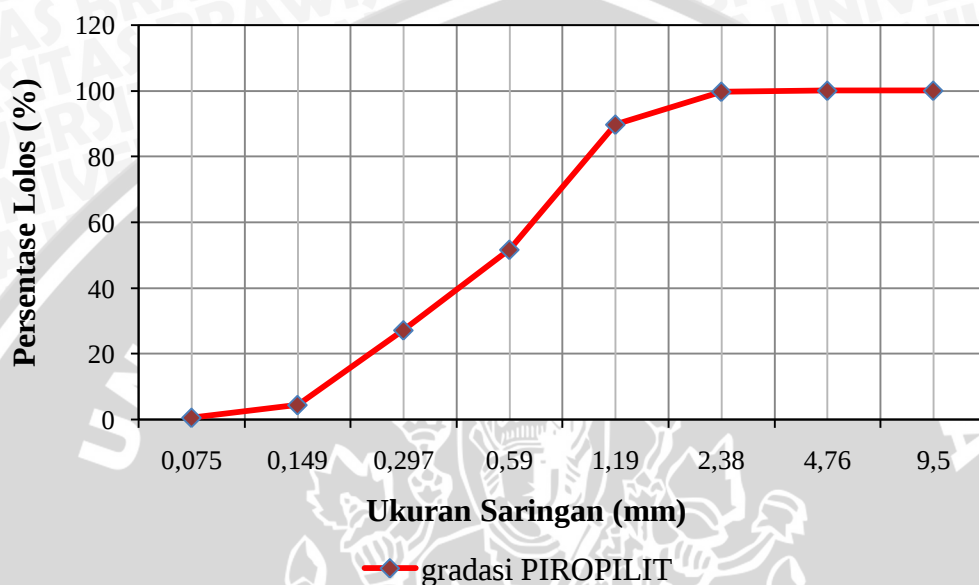
Lubang Saringan		Pasir Tertinggal		%Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3	76,2	-	-	-	-
2,5	63,5	-	-	-	-
2	50,8	-	-	-	-
1,5	38,1	-	-	-	-
1	25,4	-	-	-	-
3/4.	19,1	-	-	-	-
1/2.	12,7	-	-	-	-
3/8.	9,5	-	-	-	100
4	4,76	0	0,00	0,00	100,00
8	2,38	3,4	0,31	0,31	99,69
16	1,19	110,6	10,00	10,30	89,70
30	0,59	420,6	38,02	48,32	51,68
50	0,297	270,8	24,48	72,79	27,21
100	0,149	251,2	22,70	95,50	4,50
200	0,075	42,8	3,87	99,37	0,63
Pan		7	0,63	100,00	0,00
$\Sigma =$		1106,4	100		

Rumus : Menghitung angka kehalusan

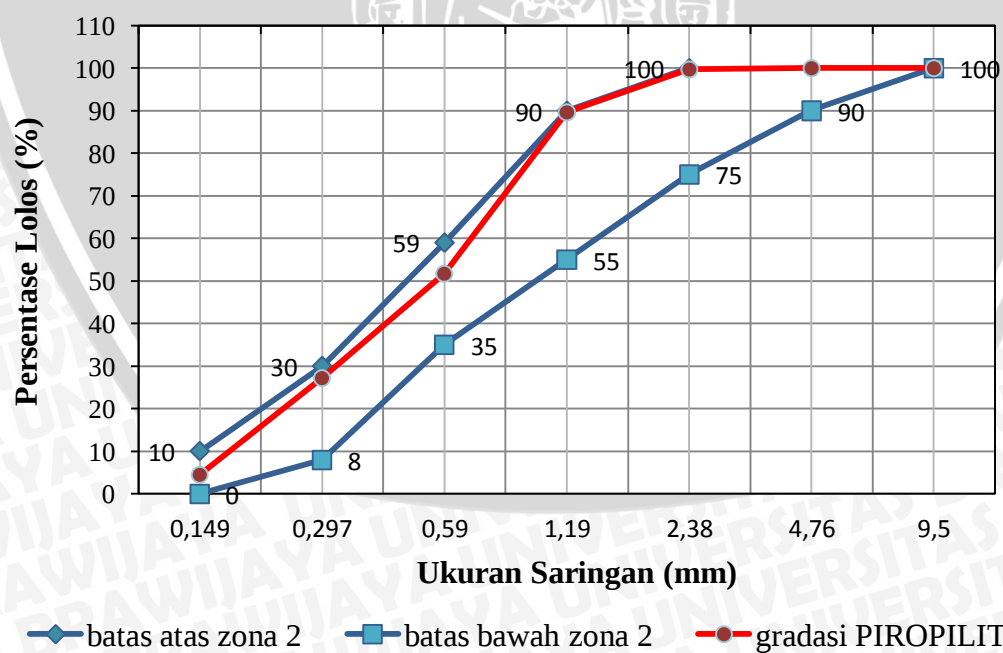
$$FM = \frac{(\sum \% \text{ tertahan kumulatif tertahan ayakan no.3/8 sampai 100})}{100}$$

$$FM = \frac{(0,31 + 10,30 + 48,32 + 72,79 + 95,50)}{100}$$

$$= 2,2722$$



Gambar 4.5. Grafik lengkung pengujian analisa gradasi piropilit



Gambar 4.6. Grafik lengkung piropilit terhadap agregat halus ZONA 2

Jika dilihat pada grafik gradasi piropilit di atas, maka piropilit termasuk ke dalam gradasi Zone II yaitu gradasi agak kasar (SNI 03-1750-1990). Hasil perhitungan modulus kehalusan piropilit adalah 2,2722.

4.3.4 Pengujian Kadar Air Piropilit

Kadar air piropilit adalah besar perbandingan atau rasio antara berat air yang dikandung piropilit dengan berat piropilit dalam keadaan kering yang dinyatakan dalam persen.

Rumus :

$$\bullet \text{ Kadar Air} = \frac{(W1 - W2)}{(W3)} \times 100 \%$$

W1 = Berat Talam + Contoh basah

W2 = Berat Talam + Contoh kering

W3 = Berat Contoh Kering

Contoh Perhitungan : Sampel 1

$$\bullet \text{ Kadar Air} = \frac{(129,6 \text{ gr} - 129,0 \text{ gr})}{(99,4 \text{ gr})} \times 100 \%$$

$$= 0,603 \%$$

Tabel 4.18. Data Dan Hasil Perhitungan Pengujian Kadar Air Piropilit

Pengujian		sat	sampel	
			1	2
(1)	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	129,6	132
(2)	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	129	131,2
(3)	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,6	0,8
(4)	Berat Talam	(gr)	29,6	32
(5)	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	99,4	99,2
(6)	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,6036	0,8065
(7)	Kadar Air rata-rata	(%)	0,70504	

Dari hasil pengujian, jumlah air yang terkandung dalam piropilit sebesar 0,705% dari berat piropilit. Nilai ini menunjukkan bahwa piropilit dalam **kondisi basah** (Petunjuk Praktikum Teknologi Beton Universitas Brawijaya, 2004:14) yaitu kondisi piropilit dengan kandungan air yang berlebihan pada permukaannya, hal ini ditunjukkan dengan nilai kadar air 0,705% melebihi dari nilai penyerapan airnya yaitu sebesar 0,502 %. Piropilit dengan kondisi basah akan menyumbangkan air ke dalam campuran, sehingga bila tidak diperhitungkan akan merubah nilai rasio air semen di dalam campuran beton, maka langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu dengan cara piropilit sebelum digunakan dalam campuran beton harus didiamkan selama beberapa waktu pada suhu ruang sampai tercapai kondisi jenuh dengan permukaan kering (Saturated Surface Dry).



4.4 PERHITUNGAN RANCANGAN CAMPURAN BETON (*Mix Design*)

Perencanaan campuran (*mix design*) beton normal dapat dilakukan dengan langkah seperti pada **Tabel 4.19** berikut:

Tabel 4.19. Formulir Perencanaan Beton Normal

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	22,5000
2	Deviasi standar	Diketahui	7 Mpa
3	Nilai tambah (margin)	1,64*(2)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan	(1) + (3)	34,5
5	Jenis semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis agregat kasar	Ditetapkan	Batu pecah
	Jenis agregat halus	Ditetapkan	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1	0,53
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar air bebas	TABEL 6	185,0
12	Jumlah semen	(11) : (8)	349,0566
13	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	-
14	Jumlah semen minimum	Ditetapkan	275,0
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 2
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	0,38
18	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	Diketahui	2,4764
19	Berat isi beton	Grafik 16	2380
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1845,9434
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	701,4585
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1144,4849

Perhitungan kebutuhan untuk campuran uji tiap 1 m³ (teoritis):

- a. Semen = 349,0566 kg
- b. Air = 185,00 kg
- c. Agregat halus = 701,4585 kg
- d. Agregat kasar = 1144,4849 kg

Perhitungan kebutuhan untuk campuran uji tiap 1 m³ (aktual):

- a. Air = $B - \left(\frac{(C_k - C_a)}{100} \times C \right) - \left(\frac{(D_k - D_a)}{100} \times D \right)$
= 188,7314 (kg)
- b. Agregat halus = $C + \left(\frac{(C_k - C_a)}{100} \times C \right)$
= 704,9293 kg
- c. Agregat kasar = $D + \left(\frac{(D_k - D_a)}{100} \times D \right)$
= 1137,2827 kg

dengan:

- B = Jumlah air (kg/m³)
- C = Jumlah agregat halus (kg/m³)
- D = Jumlah agregat kasar (kg/m³)
- C_a = Absorpsi air pada agregat halus (%) = 0,2950
- D_a = Absorpsi air pada agregat kasar (%) = 1,2760
- C_k = Kandungan air pada agregat halus (%) = 0,7898
- D_k = Kandungan air pada agregat kasar (%) = 0,6467

Kontrol campuran beton

- a. Sebelum koreksi = 349,0566 + 185,0 + 701,4585 + 1144,4849
= 2380 kg/m³
- b. Setelah koreksi = 349,0566 + 188,7314 + 704,9293 + 1137,2827
= 2380 kg/m³

Dari perhitungan kebutuhan bahan campuran dalam pembuatan beton tersebut dapat disajikan seperti pada **Tabel 4.20** berikut:

Tabel 4.20. Kebutuhan Bahan Pembuatan Beton

Banyaknya bahan	Semen (kg)	Air (kg/lt)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)
(teoritis)				
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg	349,0566	185,0000	701,4585	1144,4849
Tiap campuran uji 0,0053 m ³	1,8500	0,9805	3,7177	6,0658
Proporsi	1	0,5300	2,0096	3,2788
(aktual)				
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg	349,0566	188,7314	704,9293	1137,2827
Tiap campuran uji 0,0053 m ³	1,8500	1,0003	3,7361	6,0276
Proporsi	1	0,5407	2,0612	3,3254

Jadi dalam pembuatan benda uji digunakan perbandingan campuran dalam satuan berat sebagai berikut:

Semen : Pasir : Kerikil : Air
1 : 2,0612 : 3,3254 : 0,5407

Analisis Kebutuhan Material Pembuatan Benda Uji

- a. Pembuatan benda uji 1 silinder dengan angka keamanan 15%

$$\begin{aligned}
 \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5298,75 \text{ cm}^3 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kebutuhan material tiap 1 silinder + 15% angka keamanan (115%)

Semen = 115% x 0,0053 x 349,0566 = 2,1275 kg

Pasir = 115% x 0,0053 x 704,9293 = 4,2965 kg

Kerikil = 115% x 0,0053 x 1137,2827 = 6,9317 kg

Air = 115% x 0,0053 x 188,7314 = 1,1503 kg

- b. Pembuatan benda uji 1 balok dengan angka keamanan 15%

$$\begin{aligned}\text{Volume balok} &= b \times h \times L \\ &= 10 \times 15 \times 75 \\ &= 11250 \text{ cm}^3 \\ &= 0,01125 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Kebutuhan material tiap 1 silinder + 15% angka keamanan (115%)

$$\text{Semen} = 115\% \times 0,01125 \times 349,0566 = 4,5159 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 115\% \times 0,01125 \times 704,9293 = 9,1200 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 115\% \times 0,01125 \times 1137,2827 = 14,7136 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 115\% \times 0,01125 \times 188,7314 = 2,4417 \text{ kg}$$

Dari perhitungan kebutuhan material untuk tiap pembuatan benda uji berupa 1 silinder dan 1 buah balok dengan angka keamanan 15%, dapat ditentukan kebutuhan material untuk keseluruhan benda uji. Berdasar perhitungan tersebut dapat diketahui jumlah berat piropilit yang digunakan sebagai pengganti agregat halus untuk tiap variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Banyaknya kebutuhan material yang diperlukan untuk pembuatan benda uji disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.21. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Dengan 0% Piropilit

Benda uji	Semen	Air	Ag. Halus	Piropilit	Ag. Kasar
	(kg)	(kg/lt)	(kg)	(kg)	(kg)
Silinder 15 / 30	2,1275	1,1503	4,2965	-	6,9317
Total silinder 3 buah	6,3825	3,4510	12,8896	-	20,7952
Balok 10/15 x 75 cm	4,5159	2,4417	9,1200	-	14,7136
Total balok 3 buah	13,5478	7,3251	27,3601	-	44,1408

Tabel 4.22. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Dengan 5% Piropilit

Benda uji	Semen	Air	Ag. Halus	Piropilit	Ag. Kasar
	(kg)	(kg/lt)	(kg)	(kg)	(kg)
Silinder 15 / 30	2,1275	1,1503	4,0817	0,2148	6,9317
Total silinder 3 buah	6,3825	3,4510	12,2452	0,6445	20,7952
Balok 10/15 x 75 cm	4,5159	2,4417	8,6640	0,4560	14,7136
Total balok 3 buah	13,5478	7,3251	25,9921	1,3680	44,1408

Tabel 4.23. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Dengan 10% Piropilit

Benda uji	Semen	Air	Ag. Halus	Piropilit	Ag. Kasar
	(kg)	(kg/lt)	(kg)	(kg)	(kg)
Silinder 15 / 30	2,1275	1,1503	3,8669	0,4297	6,9317
Total silinder 3 buah	6,3825	3,4510	11,6007	1,2890	20,7952
Balok 10/15 x 75 cm	4,5159	2,4417	8,2080	0,9120	14,7136
Total balok 3 buah	13,5478	7,3251	24,6241	2,7360	44,1408

Tabel 4.24. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Dengan 15% Piropilit

Benda uji	Semen	Air	Ag. Halus	Piropilit	Ag. Kasar
	(kg)	(kg/lt)	(kg)	(kg)	(kg)
Silinder 15 / 30	2,1275	1,1503	3,6521	0,6445	6,9317
Total silinder 3 buah	6,3825	3,4510	10,9562	1,9334	20,7952
Balok 10/15 x 75 cm	4,5159	2,4417	7,7520	1,3680	14,7136
Total balok 3 buah	13,5478	7,3251	23,2561	4,1040	44,1408

Tabel 4.25. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Dengan 20% Piropilit

Benda uji	Semen	Air	Ag. Halus	Piropilit	Ag. Kasar
	(kg)	(kg/lt)	(kg)	(kg)	(kg)
Silinder 15 / 30	2,1275	1,1503	3,4372	0,8593	6,9317
Total silinder 3 buah	6,3825	3,4510	10,3117	2,5779	20,7952
Balok 10/15 x 75 cm	4,5159	2,4417	7,2960	1,8240	14,7136
Total balok 3 buah	13,5478	7,3251	21,8881	5,4720	44,1408

4.5 PENGUJIAN SIFAT FISIK BETON SEGAR

4.5.1 Pengujian *Slump*

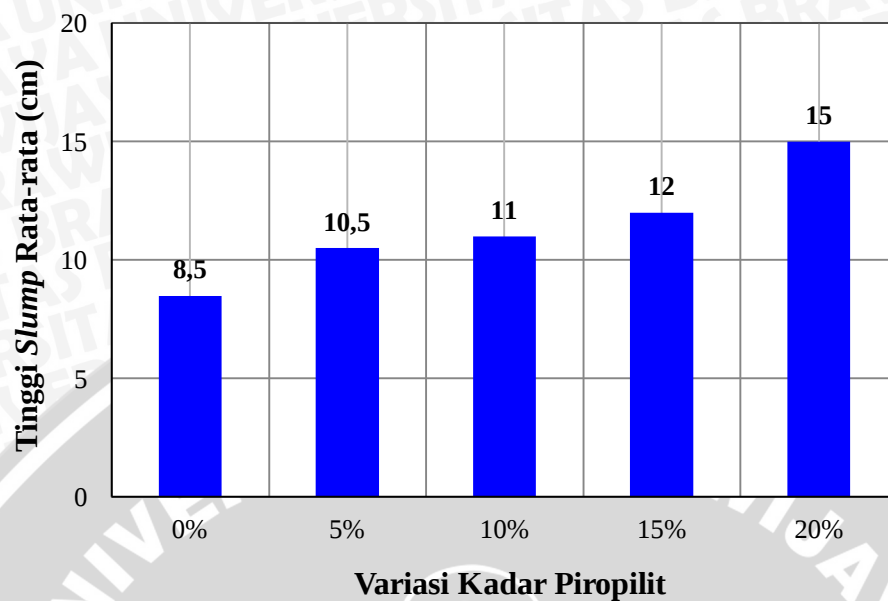
Pengujian *slump* adalah pengujian penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat. Cara uji ini merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan suatu nilai *slump*.

Tabel 4.26. Data Dan Hasil Pengujian *Slump*

VARIASI CAMPURAN	Pengukuran tinggi <i>slump</i> (cm)		
	Sampel 1	Sampel 2	rata-rata
Piropilit 0 %	9	8	8.5
Piropilit 5 %	10	11	10.5
Piropilit 10 %	11	11	11
Piropilit 15 %	12	12	12
Piropilit 20 %	15	15	15



Gambar 4.7. Pengujian *slump* beton



Gambar 4.8. Grafik hasil pengujian *slump*

Hasil pengujian *slump* di dapat nilai *slump* rata-rata untuk beton dengan variasi campuran 0% sebesar 8,5 cm, variasi campuran 5% sebesar 10,5 cm, variasi campuran 10% sebesar 11 cm, variasi campuran 15% sebesar 12 cm, variasi campuran 20% sebesar 15 cm. Nilai tersebut sesuai dengan yang direncanakan yaitu memenuhi nilai *slump* antara 60-180 mm. Ternyata semakin besar persentase campuran piropilit berdampak semakin besarnya nilai *slump*.

4.6 PENGUJIAN SIFAT FISIK BETON KERAS

4.6.1 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki maka semakin tinggi pula mutu beton yang harus dihasilkan. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas.

Rumus :

- Kuat Tekan (σ_b)
$$= \frac{P_{\max}}{A} \quad (\text{kg/cm}^2 \text{ atau } \text{N/mm}^2)$$

- Kuat Tekan Rata-rata (σ_{bm})
$$= \frac{\sum \sigma_b}{n} \quad (\text{kg/cm}^2 \text{ atau } \text{N/mm}^2)$$

dimana: A = Luas penampang benda uji yang akan ditekan

n = Jumlah benda uji

$P_{\max}$ = Beban maksimum yang diberikan

Contoh perhitungan : Sampel 1_campuran 0% (umur 28 hari)

- Luas Penampang
$$= (1/4) \times 3,14 \times (\text{Diameter})^2$$

$$= (1/4) \times 3,14 \times (15 \text{ cm})^2 = 176,79 \text{ cm}^2$$
- Volume
$$= (1/4) \times 3,14 \times (\text{Diameter})^2 \times T$$

$$= (1/4) \times 3,14 \times (15 \text{ cm})^2 \times (30 \text{ cm}) = 5303,57 \text{ cm}^3$$
- Berat Isi
$$= \text{Berat} / \text{Volume}$$

$$= (12,42 \text{ kg}) / (5303,57 \text{ cm}^3) = 0,00234 \text{ kg/cm}^3$$
- Kuat Tekan (σ_b)
$$= \frac{P_{\max}}{A}$$

$$= 46700 \text{ kg} / 176,79 \text{ cm}^2 = 264,162 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 4.9. Skema pengujian kuat tekan beton



Gambar 4.10. Silinder beton setelah diuji kuat tekan

Pengujian kuat tekan pada beton dilakukan pada beton yang berumur 28 hari dan 56 hari dengan variasi kadar campuran piropilit 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pada pengujian kuat tekan didapatkan data profil beton yang akan di uji terlampir pada **Tabel 4.27**.

Tabel 4.27. Data Profil Benda Uji Silinder Beton

BENDA UJI		BERAT	LUAS	VOLUME	BERAT ISI	Ket.
Variasi Campuran	Kode		PENAMPANG			
		(kg)	(cm ²)	(cm ³)	(kg/cm ³)	Dimensi silinder : diameter 15 cm tinggi 30 cm
0%	1	12,42	176,79	5303,57	0,00234	
	2	12,32	176,79	5303,57	0,00232	
	3	12,48	176,79	5303,57	0,00235	
5%	1	12,7	176,79	5303,57	0,00239	
	2	12,84	176,79	5303,57	0,00242	
	3	12,7	176,79	5303,57	0,00239	
10%	1	12,76	176,79	5303,57	0,00241	
	2	12,8	176,79	5303,57	0,00241	
	3	12,72	176,79	5303,57	0,00240	
15%	1	12,68	176,79	5303,57	0,00239	
	2	12,58	176,79	5303,57	0,00237	
	3	12,82	176,79	5303,57	0,00242	
20%	1	12,98	176,79	5303,57	0,00245	
	2	12,76	176,79	5303,57	0,00241	
	3	12,82	176,79	5303,57	0,00242	

Untuk nilai kuat tekan pada beton dengan variasi campuran piropilit dan umur tertentu terlampir pada **Tabel 4.28** berikut :

Tabel 4.28. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Umur 7 Hari

BENDA UJI		Umur 7 HARI			
		BEBAN MAX.		KUAT TEKAN	
Variasi Campuran	Kode	Kn	kg	kg/cm ²	MPa (N/mm ²)
0%	1	285	28500	161,212	16,121
	2	368	36800	208,162	20,816
	3	329	32900	186,101	18,610
Rata-rata				185,158	18,516
5%	1,2,3	-	-	-	-
10%	1,2,3	-	-	-	-
15%	1,2,3	-	-	-	-
20%	1,2,3	-	-	-	-

Tabel 4.29. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Umur 14 Hari

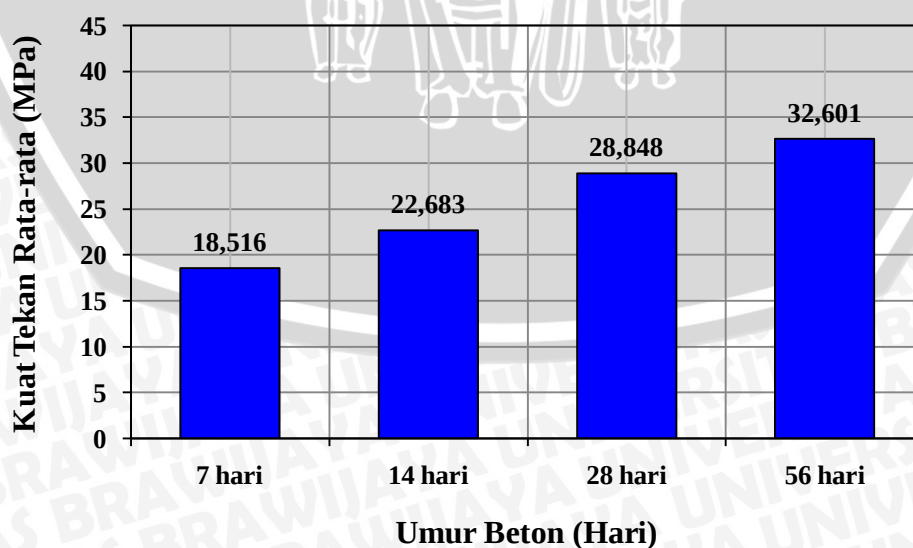
BENDA UJI		Umur 14 HARI			
		BEBAN MAX.		KUAT TEKAN	
Variasi Campuran	Kode	Kn	kg	kg/cm ²	MPa (N/mm ²)
0%	1	356	35600	201,374	20,137
	2	471	47100	266,424	26,642
	3	376	37600	212,687	21,269
Rata-rata				226,828	22,683
5%	1,2,3	-	-	-	-
10%	1,2,3	-	-	-	-
15%	1,2,3	-	-	-	-
20%	1,2,3	-	-	-	-

Tabel 4.30. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Umur 28 Hari

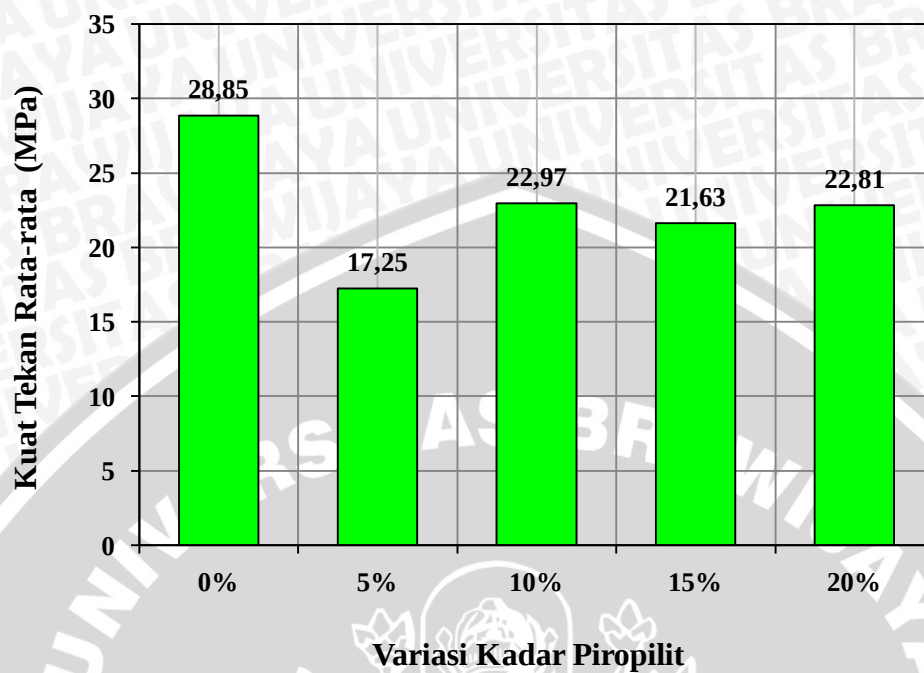
BENDA UJI		Umur 28 HARI			
		BEBAN MAX.		KUAT TEKAN	
Variasi Campuran	Kode	Kn	kg	kg/cm ²	Mpa (N/mm ²)
0%	1	467	46700	264,162	26,416
	2	526	52600	297,535	29,754
	3	537	53700	303,758	30,376
Rata-rata				288,485	28,848
5%	1	334	33400	188,929	18,893
	2	275	27500	155,556	15,556
	3	306	30600	173,091	17,309
Rata-rata				172,525	17,253
10%	1	404	40400	228,525	22,853
	2	408	408000	230,788	23,079
	3	406	40600	229,657	22,966
Rata-rata				229,657	22,966
15%	1	364	36400	205,899	20,590
	2	365	36500	206,465	20,646
	3	418	41800	236,444	23,644
Rata-rata				216,269	21,627
20%	1	445	44500	251,717	25,172
	2	427	42700	241,535	24,154
	3	338	33800	191,192	19,119
Rata-rata				228,148	22,815

Tabel 4.31. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Umur 56 Hari

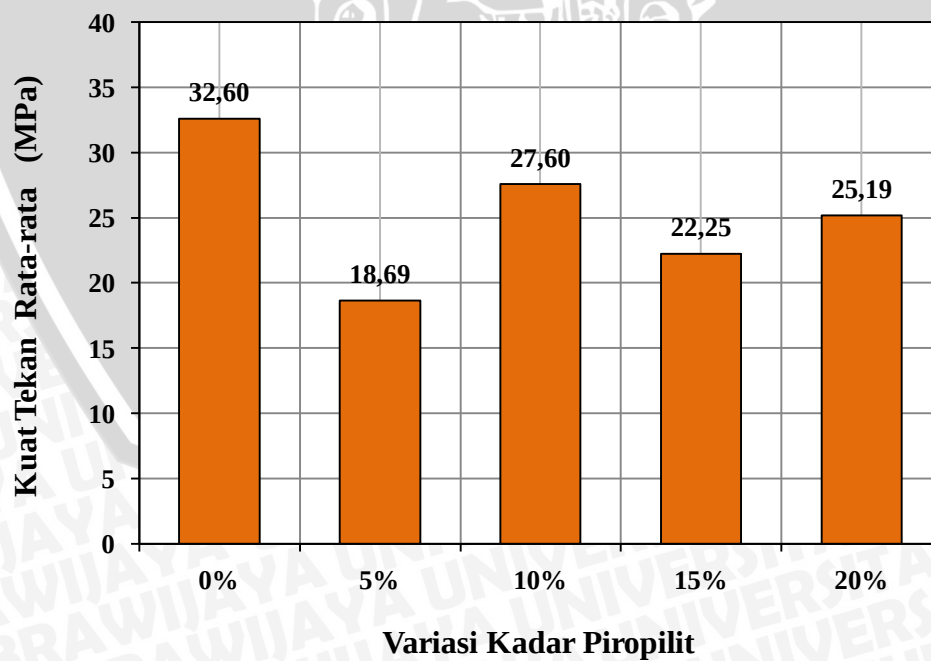
BENDA UJI		Umur 56 HARI			
		BEBAN MAX.		KUAT TEKAN	
Variasi Campuran	Kode	Kn	kg	kg/cm ²	Mpa (N/mm ²)
0%	1	519	51900	293,576	29,358
	2	690	69000	390,303	39,030
	3	520	52000	294,141	29,414
Rata-rata				326,007	32,601
5%	1	343	34300	194,020	19,402
	2	293	29300	165,737	16,574
	3	355	35500	200,808	20,081
Rata-rata				186,855	18,686
10%	1	458	45800	259,071	25,907
	2	513	51300	290,182	29,018
	3	493	49300	278,869	27,887
Rata-rata				276,040	27,604
15%	1	360	36000	203,636	20,364
	2	402	40200	227,394	22,739
	3	418	41800	236,444	23,644
Rata-rata				222,492	22,249
20%	1	488	48800	276,040	27,604
	2	432	43200	244,364	24,436
	3	416	41600	235,313	23,531
Rata-rata				251,906	25,191



Gambar 4.11. Grafik nilai kuat tekan rata-rata beton normal (piropilit 0%)



Gambar 4.12. Grafik nilai kuat tekan rata-rata beton piropilit umur 28 hari



Gambar 4.13. Grafik nilai kuat tekan rata-rata beton piropilit umur 56 hari

- Penentuan kekuatan tekan beton secara analitis dilakukan pada tahap *mix design* yang telah dihitung pada **tabel 4.19**, yang menjadi kekuatan target minimum beton yang akan dihasilkan, target minimum yang ditentukan saat perencanaan campuran yaitu minimum 22,5 MPa.
- Dari pengujian kuat tekan pada silinder beton pada umur 28 hari dan 56 hari didapat nilai kuat tekan rata-rata beton pada campuran 0% piropilit (beton normal) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata beton yang persentase agregat halusnya digantikan dengan piropilit yaitu sebesar $288,485 \text{ kg/cm}^2$ (28,848 MPa) pada umur 28 hari dan sebesar $326,007 \text{ kg/cm}^2$ (32,601 MPa) pada umur 56 hari. Dan telah memenuhi target kekuatan minimum yang ditentukan.



4.6.2 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton

Pengujian kuat lentur pada beton dilakukan pada beton yang berumur 28 hari dengan variasi kadar campuran piropilit 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.



Gambar 4.14. Skema pengujian kuat lentur beton

Tabel 4.32. Data Profil Benda Uji Balok Beton

Variasi Campuran	Benda Uji	Berat	Ket.
		(kg)	
0%	1	27,5	Dimensi balok 10 cm x 15 cm x 75 cm
	2	27,8	
	3	27,74	
5%	1	28,08	
	2	27,62	
	3	28,36	
10%	1	27,46	
	2	28,08	
	3	27,92	
15%	1	27,92	
	2	27,56	
	3	27,88	
20%	1	27,86	
	2	27,18	
	3	27,32	



Gambar 4.15. Pola patahan balok beton bertulang

Pada hasil percobaan ternyata patahan yang terjadi pada balok beton bertulang berada dalam 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari balok beton maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan berikut :

Rumus :

$$\sigma = \frac{\text{Momen}(\text{bebanterpusat})}{W} = \frac{\frac{1}{6} \cdot P \cdot L}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Pada rumus SNI di atas beban yang diperhitungkan dalam analisa hanya beban terpusat sedangkan beban merata dari berat balok beton tidak diperhitungkan, sehingga untuk menganalisa data kuat lentur yang didapatkan dari hasil pengujian perlu adanya penyesuaian terhadap rumus yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan akibat beban merata balok menghasilkan momen, walaupun nilainya tidak terlalu besar.

Sehingga rumus kuat lentur menjadi :

$$\sigma = \frac{\text{Momen}(\text{bebanterpusat}) + \text{Momen}(\text{bebanmerata})}{W} = \frac{\left(\frac{1}{6} P \cdot L\right) + \left(\frac{1}{8} q \cdot L^2\right)}{\frac{1}{6} b \cdot h^2}$$

- dimana :
- σ : kuat lentur benda uji (kg/cm²).
 - P : beban tertinggi (kg).
 - L : jarak antar perletakan (cm).
 - b : lebar tampang lintang arah horizontal (cm).
 - h : lebar tampang lintang arah vertikal (cm).
 - a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah pada tumpuan luar yang terdekat (cm).

Contoh perhitungan : Sampel 1_campuran 0%

- Berat plat + pembagi beban = 8,90 Kg
- Angka konversi beban P dial gauge = 133,1
- Beban P = (Angka maks pada dial gauge x 133,1) + 8,90 Kg
- Beban P maks = (Angka maks pada dial x 133,1) + 8,90 kg
= (28 x 133,1) + 8,90 kg = 3735,7 kg
- Kuat Lentur (σ) = $\left(\left(\frac{1}{6} \cdot P \cdot L \right) + \left(\frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \right) \right) / \left(\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \right)$
= $\left(\left(\frac{1}{6} \cdot 3735,7 \text{ kg} \cdot 60 \text{ cm} \right) + \left(\frac{1}{8} \cdot (27,5 \text{ kg} / 60 \text{ cm}) \cdot 60^2 \text{ cm} \right) \right) / \left(\frac{1}{6} \cdot 15 \text{ cm} \times 60^2 \text{ cm} \right)$
= 100,0587 kg/cm²

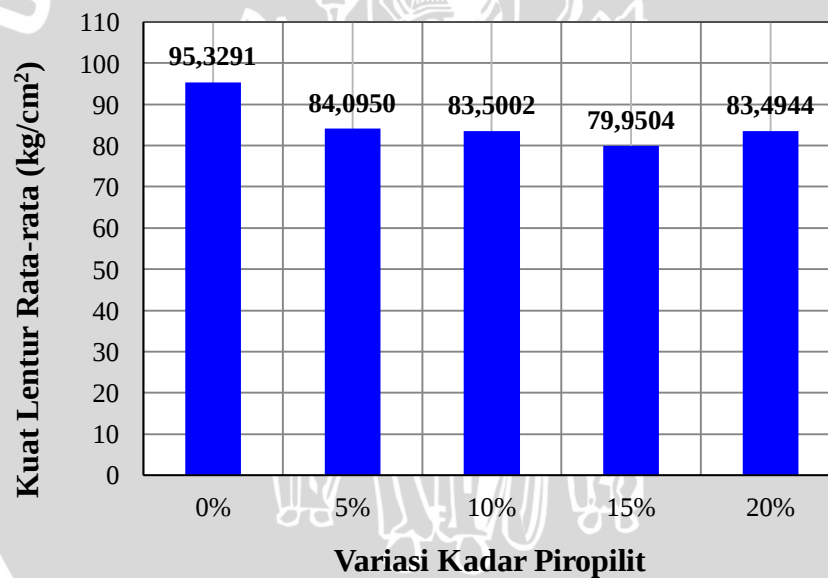
Untuk nilai kuat lentur pada beton tanpa variasi campuran piropilit terlampir pada **Tabel 4.33.** berikut :

Tabel 4.33. Hasil Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton

Persentase Campuran	Kode Sampel	P max (Dial Gauge)	BEBAN TERPUSAT (kg)	BEBAN MERATA (kg/m)	KUAT LENTUR (kg/cm ²)	KUAT LENTUR RATA2 (kg/cm ²)
0%	1	28	3735,7	36,67	100,0587	95,3291
	2	29	3868,8	37,07	103,6128	
	3	23	3070,2	36,99	82,3158	
5%	1	24,5	3269,9	37,44	87,6453	84,0950
	2	24,5	3269,9	36,83	87,6379	
	3	21,5	2870,6	37,81	77,0018	
10%	1	24	3203,3	36,61	85,8607	83,5002
	2	23	3070,2	37,44	82,3213	
	3	23	3070,2	37,23	82,3187	
15%	1	23	3070,2	37,23	82,3187	79,9504
	2	23	3070,2	36,75	82,3130	
	3	21	2804,0	37,17	75,2194	
20%	1	22	2937,1	37,15	78,7684	83,4944
	2	25,5	3403,0	36,24	91,1802	
	3	22,5	3003,7	36,43	80,5345	



Gambar 4.16. Alat pengukur kuat lentur balok (*Proving Ring & Dial Gauge*)



Gambar 4.17. Grafik nilai kuat lentur rata-rata beton piropilit umur 28 hari



Gambar 4.18. Benda uji balok beton bertulang selesai diuji kuat lentur

Dalam Analisa data kuat lentur balok beton ini beban merata dari berat balok sendiri telah dimasukkan dalam perhitungan. Dari pengujian kuat lentur pada balok beton pada umur 28 hari didapat nilai kuat lentur beton rata-rata pada campuran 0% piropilit (beton normal) memiliki kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat lentur beton yang persentase agregat halus nya digantikan dengan piropilit yaitu sebesar $95,3291 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan pada beton dengan campuran piropilit nilai kuat lentur terbesar dihasilkan pada campuran 5% yaitu sebesar $84,0950 \text{ kg/cm}^2$.



4.7 PERHITUNGAN KUAT LENTUR BALOK SECARA ANALITIS

Untuk segala penjelasan tentang keterangan rumus dan perhitungan yang digunakan telah dijelaskan pada BAB 3.3.3 : *Perhitungan Kuat Lentur Balok 150 mm x 150 mm x 750 mm Secara Analitis.*

Pada perhitungan kuat lentur secara analitis beban sendiri dari berat balok beton tidak dimasukkan dalam perhitungan, hal ini agar dalam pada saat pembandingan dengan hasil kuat lentur secara pengujian terpenuhi kondisi dan perlakuan yang sama terhadap benda uji balok beton tersebut.

Sampel : Variasi Campuran 0% Kode 1

Gaya tekan (C) :

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 26,41 \text{ (MPa)} \cdot a \cdot 100 \text{ (mm)} \\ &= 0,85 \cdot 264,16 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cdot a \cdot 10 \text{ (cm)} = 2245,36 \text{ a kg/cm} \end{aligned}$$

Gaya tarik (T) :

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 1,57 \text{ (cm}^2\text{)} \cdot 240 \text{ (MPa)} \\ &= 1,57 \text{ (cm}^2\text{)} \cdot 2400 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 3768 \text{ kg} \end{aligned}$$

Keseimbangan gaya horizontal ($\Sigma H = 0$) :

$$\begin{aligned} C &= T \\ 2245,36 \text{ a (kg/cm)} &= 3768 \text{ (kg)} \\ a &= 3768 \text{ (kg)} / 2245,36 \text{ (kg/cm)} = 1,6781 \text{ cm} \\ d &= h - \text{selimut beton} \\ &= 15 \text{ (cm)} - 5 \text{ cm} = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T \cdot (d - a/2) \\ &= 3768 \text{ (kg)} \cdot (10 \text{ cm} - 1,6781 \text{ cm} / 2) \\ &= 34518,43 \text{ kg cm} \\ &= 345,18 \text{ kg m} \end{aligned}$$

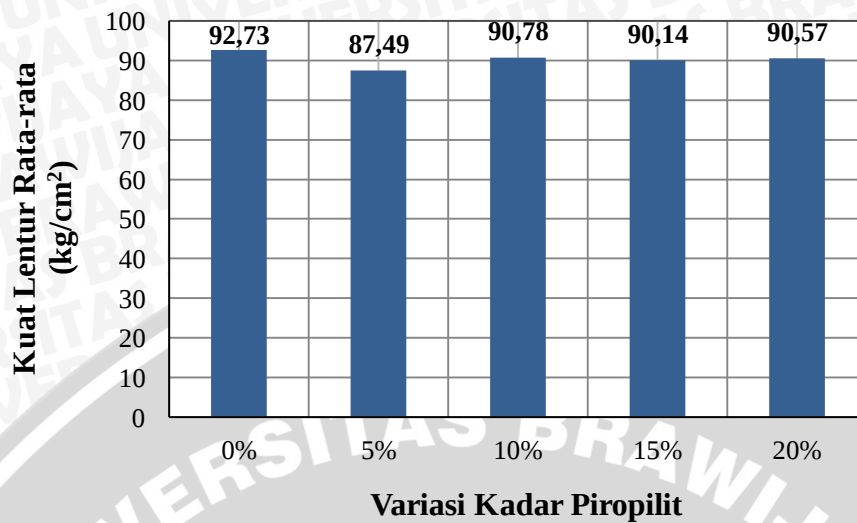
$$\begin{aligned} M_u &= \phi M_n \\ &= 0,8 \cdot 345,18 \text{ (kg m)} \\ &= 276,15 \text{ kg m} \end{aligned}$$

Dari analisa penampang diagram tegangan – regangan di atas didapat momen nominal (M_n) yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang saat desain sebesar 345,18 kgm, dan momen ultimat (M_u) sebesar 276,15 kgm. Maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan :

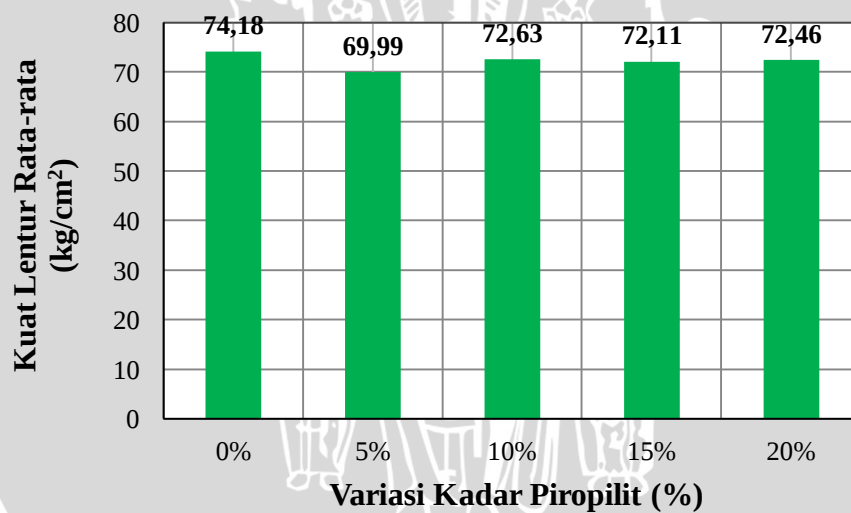
$$\begin{aligned}
 W &= 1/6 \cdot b \cdot (h^2) \\
 &= 1/6 \cdot 10 \text{ (cm)} \cdot (15 \text{ cm})^2 = 375 \text{ cm}^3 \\
 \sigma \text{ (tanpa } \emptyset) &= M_n / W \\
 &= 34518 \text{ (kg cm)} / 375 \text{ (cm}^3) = 92,05 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma \text{ (dengan } \emptyset) &= M_u / W \\
 &= 27615 \text{ (kg cm)} / 375 \text{ (cm}^3) = 73,64 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4.34. Kuat Lentur (σ) Balok Beton Umur 28 Hari Secara Analitis

BENDA UJI		f'c	Tanpa Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)			Dengan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)		
			Mn	P maks	σ	Mu = $\emptyset \cdot M_n$	P maks	σ
Kode		kg/cm ²	kgm	kg	kg/cm ²	kgm	kg	kg/cm ²
0%	1	264,162	345,18	3451,84	92,05	276,15	2761,47	73,64
	2	297,535	348,73	3487,31	92,99	278,98	2789,84	74,40
	3	303,758	349,31	3493,06	93,15	279,44	2794,44	74,52
Rata-rata		288,485	347,74	3477,4	92,73	278,19	2781,92	74,18
5%	1	188,929	332,59	3325,95	88,69	266,08	2660,76	70,95
	2	155,556	323,11	3231,11	86,16	258,49	2584,89	68,93
	3	173,091	328,55	3285,5	87,61	262,84	2628,4	70,09
Rata-rata		172,525	328,09	3280,85	87,49	262,47	2624,68	69,99
10%	1	228,525	340,25	3402,54	90,73	272,20	2722,03	72,59
	2	230,788	340,61	3406,12	90,83	272,49	2724,9	72,66
	3	229,657	340,43	3404,34	90,78	272,35	2723,47	72,63
Rata-rata		229,657	340,43	3404,34	90,78	272,35	2723,47	72,63
15%	1	205,899	336,24	3362,38	89,66	268,99	2689,9	71,73
	2	206,465	336,35	3363,49	89,69	269,08	2690,79	71,75
	3	236,444	341,48	3414,78	91,06	273,18	2731,82	72,85
Rata-rata		216,269	338,02	3380,22	90,14	270,42	2704,17	72,11
20%	1	251,717	343,62	3436,21	91,63	274,90	2748,97	73,31
	2	241,535	342,22	3422,23	91,26	273,78	2737,78	73,01
	3	191,192	333,12	3331,18	88,83	266,49	2664,94	71,07
Rata-rata		228,148	339,65	3396,54	90,57	271,72	2717,23	72,46



Gambar 4.19. Grafik nilai kuat lentur rata-rata beton piropilit secara analitis Tanpa Menggunakan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)



Gambar 4.20. Grafik nilai kuat lentur rata-rata beton piropilit secara analitis Dengan Menggunakan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Dari perhitungan secara analitis dengan kriteria desain seperti yang disebutkan diatas didapat karakteristik kekuatan beton bertulang :

- Kuat tekan (f'_c) beton digunakan data hasil pengujian laboratorium.
- Kuat leleh tulangan (f_y) yang digunakan = 240 MPa.
- Luas tulangan tarik (A_s) yang digunakan 2Ø 10 = 1,57 cm²

4.8 PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

4.8.1 Uji Anova Dua Arah Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Piropilit Umur 28 Hari

A. Uji Anova Menggunakan Pembanding Nilai Kuat Lentur Hasil Perhitungan Analitis Tanpa Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Untuk analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan piropilit terhadap kuat lentur hasil dari pengujian laboratorium terhadap benda uji beton piropilit umur 28 hari.
2. H_{0B} : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kuat lentur hasil pengujian laboratorium dengan hasil perhitungan secara analitis tanpa reduksi kekuatan ($\emptyset$).
3. H_{0AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penggunaan kadar piropilit terhadap hasil kuat lentur secara analitis tanpa reduksi kekuatan ($\emptyset$) maupun terhadap pengujian laboratorium.

Tabel 4.35. Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton dan Hasil Perhitungan Analitis Tanpa Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Kadar piropilit	Kuat Lentur (kg/cm^2)	
	ANALITIS	LABORATORIUM
0%	92,049	100,059
	92,995	103,613
	93,148	82,316
5%	88,692	87,645
	86,163	87,638
	87,613	77,002
10%	90,734	85,861
	90,830	82,321
	90,782	82,319
15%	89,663	82,319
	89,693	82,313
	91,061	75,219
20%	91,632	78,768
	91,259	91,180
	88,831	80,534

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 4 \times 1 = 4$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 10 \times 2 = 20$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (122480,566 + 109953,691) - (6939298,038 / 30) \\ &= 1124,32207 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (1389711,956 / 6) - (6939298,038 / 30) \\ &= 308,72477 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (3472540,094 / 15) - (6939298,038 / 30) \\ &= 192,73832 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris Kolom (JKBK)} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} + \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (695869,556 / 3) - (1389711,956 / 6) - (3472540,0936 / 15) + (6939298,038 / 30) \\ &= 145,12113 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\ &= 1124,32207 - 308,72477 - 192,73832 - 145,12113 \\ &= 477,73785 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah

$$KT \text{ Baris (KTP)} = \frac{JKB}{dB_{\text{baris}}} = \frac{308,7248}{4} = 77,1812$$

$$KT \text{ Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{\text{kolom}}} = \frac{192,7383}{1} = 192,7383$$

$$KT \text{ Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{\text{interaksi}}} = \frac{145,1211}{4} = 36,2803$$

$$KT \text{ Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{\text{galat}}} = \frac{477,7379}{20} = 23,8869$$

Nilai f Hitung

$$F \text{ Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{77,1812}{23,8869} = 3,2311$$

$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{192,7383}{23,8869} = 8,0688$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{36,2803}{23,8869} = 1,5188$$

Tabel 4.36. Perhitungan Anova Dua Arah Hasil Pengujian dan Perhitungan Analitis Tanpa Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	308,7248	4	77,1812	3,2311	2,8700
Nilai tengah kolom	192,7383	1	192,7383	8,0688	4,3500
Interaksi	145,1211	4	36,2803	1,5188	2,8700
Galat	477,7379	20	23,8869		
Total	1124,3221	29			

Berdasarkan analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah pada tabel diatas didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Untuk kuat lentur beton piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan akibat penggunaan kadar piropilit terhadap kuat lentur hasil dari pengujian laboratorium terhadap benda uji beton piropilit umur 28 hari.
2. $F_{hitung} \text{ antar group (B)} > F_{Tabel} \text{ antar group (B)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kuat lentur hasil pengujian laboratorium dengan hasil perhitungan secara analitis tanpa reduksi kekuatan ($\emptyset$) beton piropilit umur 28 hari.
3. $F_{hitung} \text{ antar group (AB)} < F_{Tabel} \text{ antar group (AB)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0AB} ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara penggunaan kadar piropilit dan hasil kuat lentur secara analitis tanpa reduksi kekuatan ($\emptyset$) maupun hasil pengujian laboratorium.

B. Uji Anova Menggunakan Pembanding Nilai Kuat Lentur Hasil Perhitungan Analitis Dengan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Untuk analisis statistik metode ANOVA 2 arah terlebih dahulu ditentukan hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. H_{0A} : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penggunaan piropilit terhadap kuat lentur hasil dari pengujian laboratorium terhadap benda uji beton piropilit umur 28 hari.
4. H_{0B} : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kuat lentur hasil pengujian laboratorium dengan hasil perhitungan secara analitis dengan reduksi kekuatan ($\emptyset$).
2. H_{0AB} : Tidak ada interaksi yang signifikan antara penggunaan kadar piropilit terhadap hasil kuat lentur secara analitis dengan reduksi kekuatan ($\emptyset$) maupun terhadap pengujian laboratorium.

Tabel 4.37. Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton dan Hasil Perhitungan Analitis Dengan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Kadar piropilit (%)	Kuat Lentur (kg/cm ²)	
	ANALITIS	LABORATORIUM
0%	73,639	100,059
	74,396	103,613
	74,519	82,316
5%	70,954	87,645
	68,930	87,638
	70,091	77,002
10%	72,588	85,861
	72,664	82,321
	72,626	82,319
15%	71,731	82,319
	71,754	82,313
	72,849	75,219
20%	73,306	78,768
	73,007	91,180
	71,065	80,534

Analisa Varian 2 arah

Perhitungan statistika

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 4 \times 1 = 4$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 10 \times 2 = 20$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (78387,562 + 109953,691) - (5584833,448 / 30) \\ &= 2180,13805 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (1118675,087 / 6) - (5584833,448 / 30) \\ &= 284,73293 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (2811427,093 / 15) - (5584833 / 30) \\ &= 1267,35794 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris Kolom (JKBK)} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} + \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} \\ &= (563601,167 / 3) - (1118675,087 / 6) - (2811427,0932 / 15) + (5584833,448 / 30) \\ &= 153,85002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\ &= 2180,13805 - 284,73293 - 1267,35794 - 153,85002 \\ &= 474,51156 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah

$$KT \text{ Baris (KTP)} = \frac{JKB}{dB_{\text{baris}}} = \frac{284,7329}{4} = 71,1832$$

$$KT \text{ Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{\text{kolom}}} = \frac{1267,3579}{1} = 1267,3579$$

$$KT \text{ Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{\text{interaksi}}} = \frac{153,8500}{4} = 38,4625$$

$$KT \text{ Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{\text{galat}}} = \frac{474,1972}{20} = 23,7099$$

Nilai f_{Hitung}

$$F \text{ Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{71,1832}{23,7099} = 3,0023$$

$$f \text{ Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{1267,3579}{23,7099} = 53,4528$$

$$f \text{ Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{38,4625}{23,7099} = 1,6222$$

Tabel 4.38. Perhitungan Anova Dua Arah Hasil Pengujian dan Perhitungan Analitis Dengan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

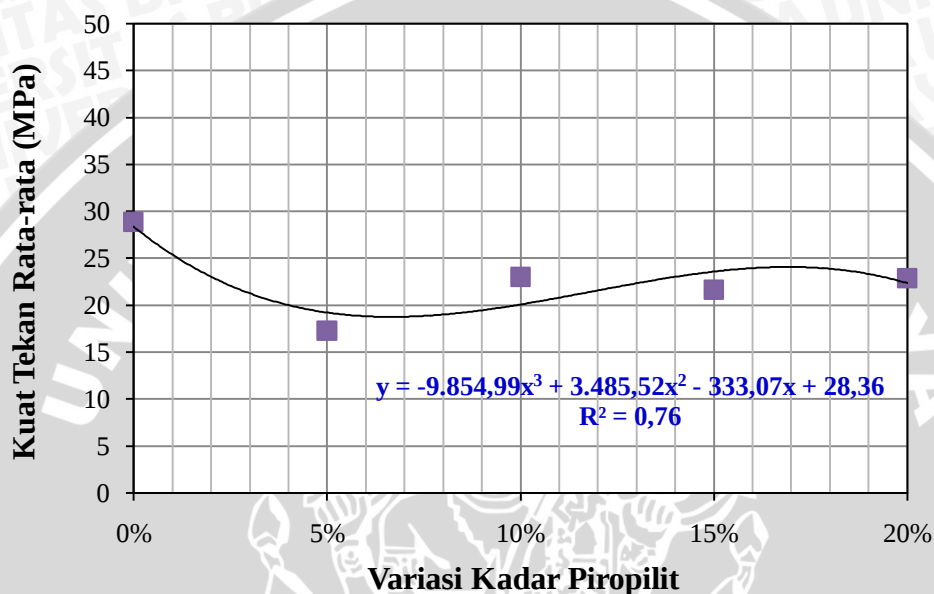
Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	284,8098	4	71,1832	3,0023	2,8700
Nilai tengah kolom	1182,2553	1	1267,3579	53,4528	4,3500
Interaksi	153,8514	4	38,4625	1,6222	2,8700
Galat	474,5116	20	23,7099		
Total	2095,4280	29			

Berdasarkan analisis perhitungan statistik dengan metode ANOVA 2 arah pada tabel diatas didapatkan kesimpulan bahwa :

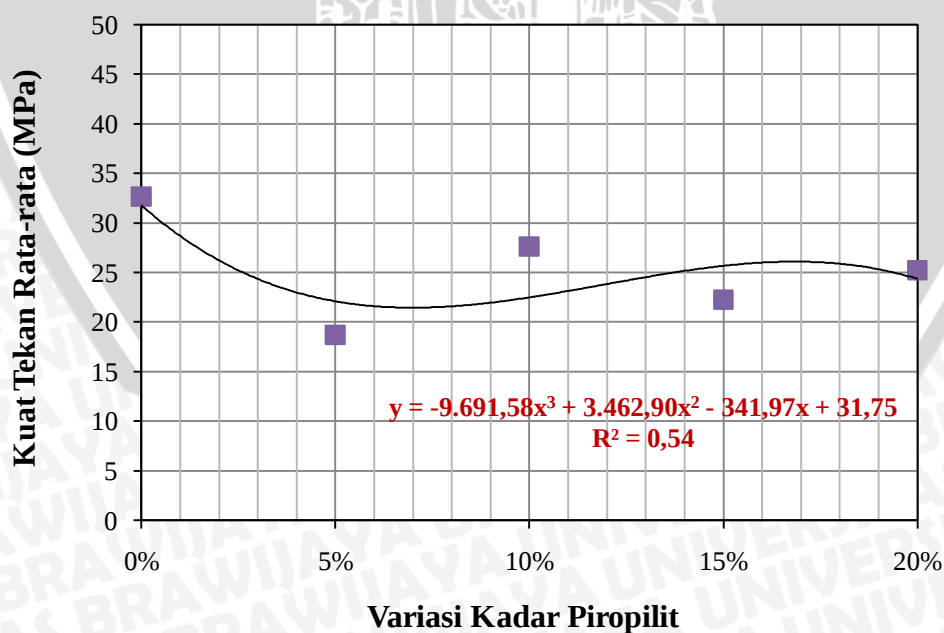
1. Untuk kuat lentur beton piropilit dengan variasi penambahan kadar piropilit, $F_{hitung} \text{ antar group (A)} > F_{Tabel} \text{ antar group (A)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0A} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan akibat penggunaan kadar piropilit terhadap kuat lentur hasil dari pengujian laboratorium terhadap benda uji beton piropilit umur 28 hari.
2. $F_{hitung} \text{ antar group (B)} > F_{Tabel} \text{ antar group (B)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0B} ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kuat lentur hasil pengujian laboratorium dengan hasil perhitungan secara analitis dengan reduksi kekuatan ($\emptyset$) beton piropilit umur 28 hari.
3. $F_{hitung} \text{ antar group (AB)} < F_{Tabel} \text{ antar group (AB)}$, ini menunjukkan bahwa H_{0AB} ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara penggunaan kadar piropilit dan hasil kuat lentur secara analitis dengan reduksi kekuatan ($\emptyset$) maupun hasil pengujian laboratorium.

4.8.2 Analisis Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Variasi Kadar Piropilit Pada Umur 28 dan 56 Hari Menggunakan Persamaan Regresi

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penggunaan piropilit terhadap kuat tekan beton adalah dengan menggunakan grafik regresi polynomial.



Gambar 4.21. Persamaan regresi kuat tekan beton hasil pengujian umur 28 hari.



Gambar 4.22. Persamaan regresi kuat tekan beton hasil pengujian umur 56 hari.

Untuk mengetahui nilai kuat tekan terbesar yang dapat dihasilkan dari penggunaan piropilit pada beton, maka dari persamaan regresi grafik **Gambar 4.20** dan **Gambar 4.21** perlu dilakukan penggambaran ulang grafik dengan penambahan variabel x yaitu variabel “Variasi Kadar Piropilit (%)” sampai kadar 100%, pada persamaan regresi :

Untuk umur beton 28 hari :

$$y = -9.854,99x^3 + 3.485,52x^2 - 333,07x + 28,36 \quad R^2 = 0,76$$

Untuk umur beton 56 hari :

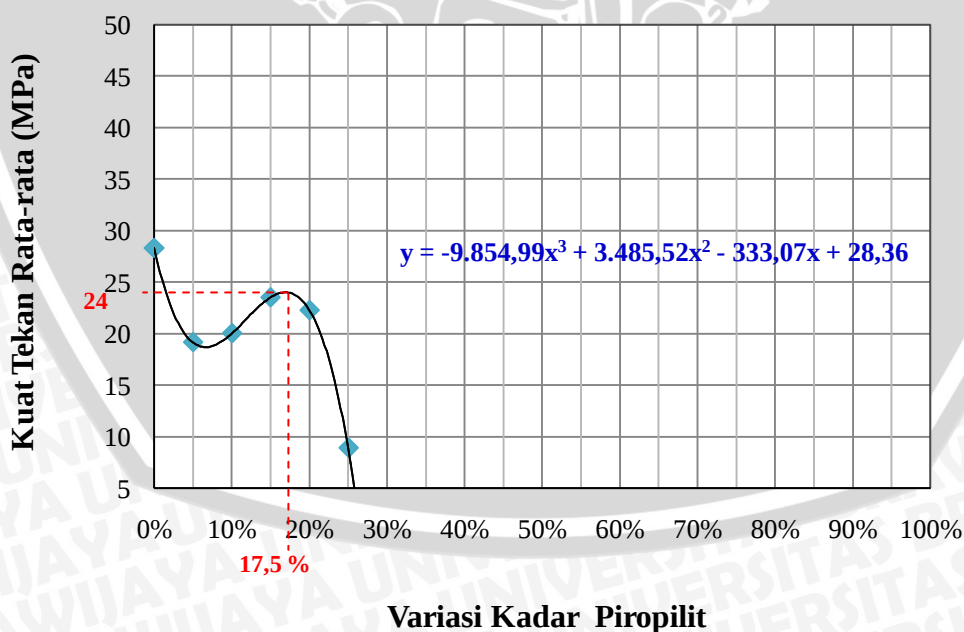
$$y = -9.691,58x^3 + 3.462,90x^2 - 341,97x + 31,75 \quad R^2 = 0,54$$

dengan : y = Nilai Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)

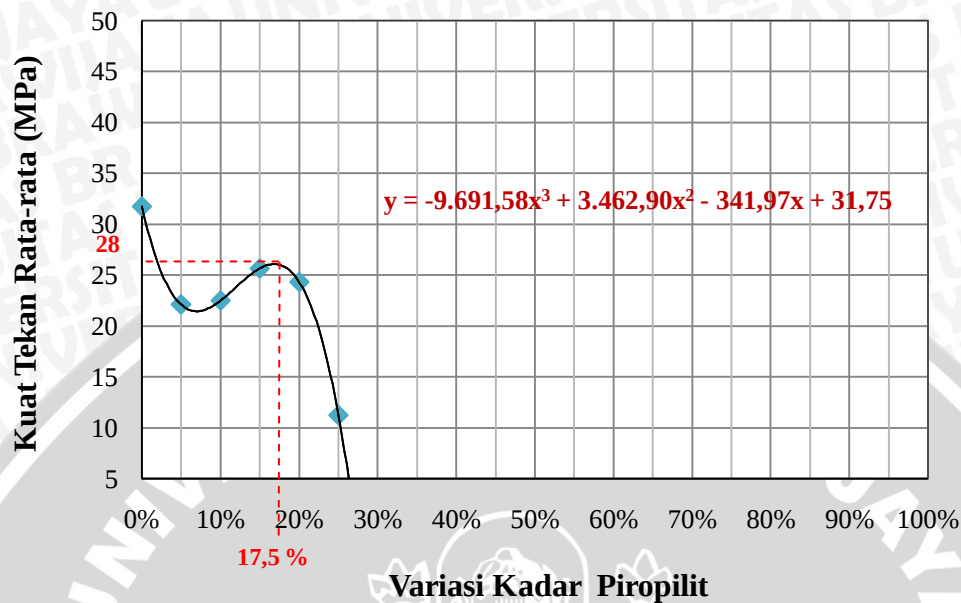
x = Variasi Kadar Piropilit (%)

R^2 = Koefisien Determinasi

R^2 adalah sebuah besaran yang mengukur ketepatan garis regresi. Nilai R^2 ini menunjukkan prosentase besarnya variabilitas dalam data yang dijelaskan oleh model regresi, nilai maksimum nilai R^2 adalah 100%.



Gambar 4.23. Nilai kuat tekan beton terbesar pada berbagai variasi kadar piropilit menggunakan persamaan regresi pada umur 28 hari.



Gambar 4.24. Nilai kuat tekan beton terbesar pada berbagai variasi kadar piropilit menggunakan persamaan regresi pada umur 56 hari.

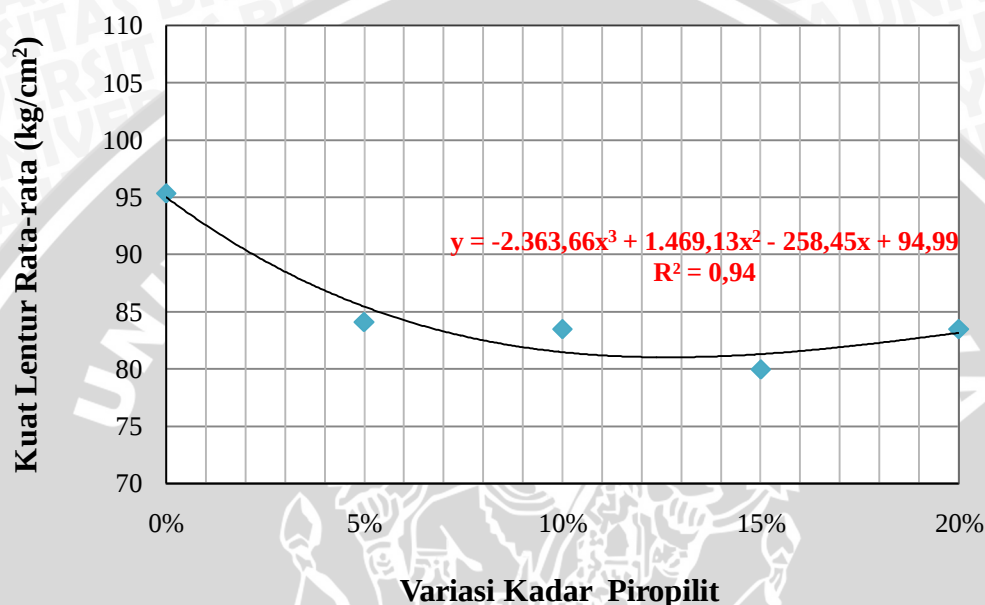
Diantara variasi kadar piropilit (5%, 10%, 15%, sampai dengan 100%) yang dilakukan dapat dilihat bahwa campuran optimum yaitu pada variasi kadar piropilit sebanyak 17,5 % dari kebutuhan agregat halus yang diperlukan, hal ini ditunjukkan dari nilai kuat tekan yang lebih tinggi pada grafik **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.23** diantara variasi campuran yang lainnya,

yaitu : pada umur 28 hari : 240 kg/cm² (24 MPa)
pada umur 56 hari : 280 kg/cm² (28 MPa)

Dari hasil analisa data-data di atas diketahui bahwa penggunaan piropilit sebanyak 5%,10%, 15% sampai dengan 100% sebagai bahan pengganti *filler* pada pembuatan beton tidak akan meningkatkan kuat tekan yang ada. Dalam grafik hasil pengujian dapat diketahui kadar optimum penggunaan piropilit adalah 17,5%, bila lebih dari itu maka semakin banyak kandungan piropilit dalam setiap komposisi benda uji kuat tekan beton yang dihasilkan akan semakin menurun.

4.8.3 Analisis Kuat Lentur Beton Pada Berbagai Variasi Kadar Piropilit Pada Umur 28 Menggunakan Persamaan Regresi

Analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui hubungan prosentase penggunaan piropilit terhadap kuat lentur beton adalah dengan menggunakan grafik regresi polynomial.



Gambar 4.25. Persamaan regresi kuat lentur beton hasil pengujian umur 28 hari.

Untuk mengetahui nilai kuat lentur terbesar yang dapat dihasilkan dari penggunaan piropilit pada beton, maka dari persamaan regresi grafik **Gambar 4.24** perlu dilakukan penggambaran ulang grafik dengan penambahan variabel x yaitu variabel “Variasi Kadar Piropilit (%)” sampai kadar 100%, pada persamaan regresi :

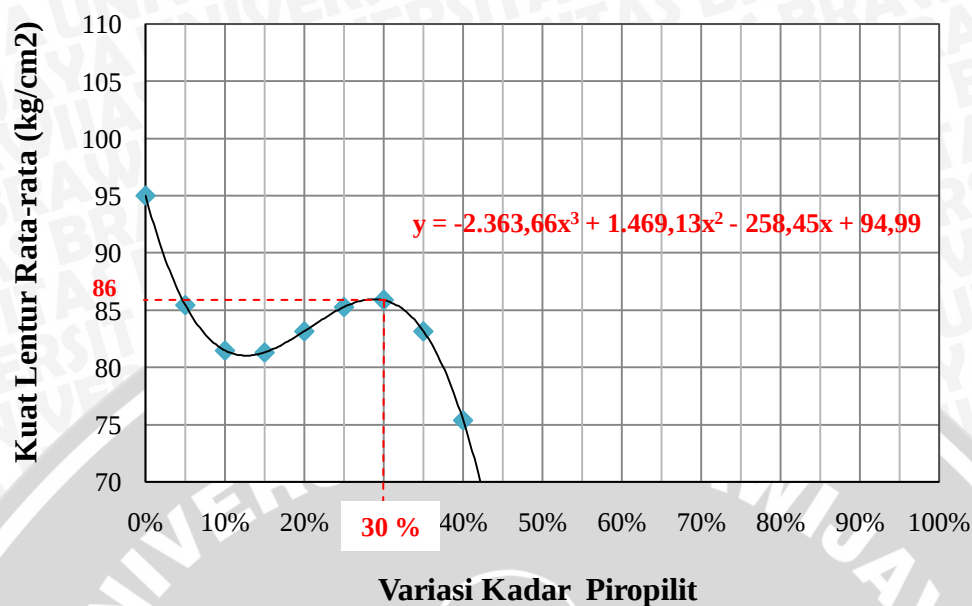
$$y = -2.363,66x^3 + 1.469,13x^2 - 258,45x + 94,99 \quad R^2 = 0,94$$

dengan : y = Nilai Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)

x = Variasi Kadar Piropilit (%)

R^2 = Koefisien Determinasi

R^2 adalah sebuah besaran yang mengukur ketepatan garis regresi. Nilai R^2 ini menunjukkan prosentase besarnya variabilitas dalam data yang dijelaskan oleh model regresi, nilai maksimum nilai R^2 adalah 100%.



Gambar 4.25. Nilai kuat lentur beton terbesar pada berbagai variasi kadar piropilit menggunakan persamaan regresi pada umur 28 hari.

Diantara variasi kadar piropilit (5%, 10%, 15%, sampai dengan 100%) yang dilakukan dapat dilihat bahwa campuran optimum yaitu pada variasi kadar piropilit sebanyak 30% dari kebutuhan agregat halus yang diperlukan, hal ini ditunjukkan dari nilai kuat tekan yang lebih tinggi pada grafik **Gambar 4.25** diantara variasi campuran yang lainnya yaitu 86 kg/cm² (8,6 MPa)

Dari hasil analisa data-data di atas diketahui bahwa penggunaan piropilit sebanyak 5%,10%, 15% sampai dengan 100% sebagai bahan pengganti *filler* pada pembuatan beton tidak akan meningkatkan kuat lentur yang ada. Dalam grafik hasil pengujian dapat diketahui kadar optimum penggunaan piropilit adalah 30%, bila lebih dari itu maka semakin banyak kandungan piropilit dalam setiap komposisi benda uji kuat lentur beton yang dihasilkan akan semakin menurun.

4.8.4 Persentase Perubahan Nilai Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Hasil Pengujian Akibat Pengaruh Penggunaan Piropilit.

Pada tabel dibawah ini merupakan persentase pengaruh piropilit terhadap rata-rata kuat tekan dan kuat lentur beton normal dengan beton variasi piropilit. Berikut ini adalah data persentase penurunan kekuatan yang disebabkan penggunaan piropilit.

Tabel 4.39. Persentase Pengaruh Piropilit Terhadap Kuat Tekan Umur 28 Hari

Kadar piropilit	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan	Persentase Pengaruh
		(MPa)	(%)
0 %	28	28,848	-
5 %	28	17,253	40,20
10 %	28	22,966	20,39
15 %	28	21,627	25,03
20 %	28	22,815	20,92

Tabel 4.40. Persentase Pengaruh Piropilit Terhadap Kuat Tekan Umur 56 Hari

Kadar piropili	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan	Persentase Pengaruh
		(MPa)	(%)
0 %	56	32,601	-
5 %	56	18,686	42,68
10 %	56	27,604	15,33
15 %	56	22,249	31,75
20 %	56	25,191	22,73

Tabel 4.41. Persentase Pengaruh Piropilit Terhadap Kuat Lentur Umur 28 Hari

Kadar piropilit	Umur Beton (hari)	Kuat Lentur Rata-rata	Persentase Pengaruh
		(kg/cm ²)	(%)
0%	28	95,329	-
5%	28	84,095	11,78
10%	28	83,500	12,41
15%	28	79,950	16,13
20%	28	83,494	12,41

Persentase pengaruh piropilit terhadap kuat tekan dan kuat lentur yang dianalisa adalah perbandingan antara nilai kuat tekan dan kuat lentur beton normal (variasi 0 %) dengan beton yang menggunakan piropilit sebagai bahan pengganti *filler*.

Dari **Tabel 4.39** diatas dapat diketahui bahwa pada beton umur 28 hari penambahan piropilit dengan kadar 5% menghasilkan pengaruh penurunan kuat tekan yang paling besar dibandingkan dengan variasi kadar piropilit lainnya, penurunan yang terjadi sebesar 40,20% atau sebesar $40,20\% \times 28,848 \text{ MPa} = 11,596 \text{ MPa}$

Dari **Tabel 4.40** diatas dapat diketahui bahwa pada beton umur 56 hari penambahan piropilit dengan kadar 5% juga masih memberikan pengaruh penurunan kuat tekan yang paling besar dibandingkan dengan variasi kadar piropilit lainnya, penurunan yang terjadi sebesar 42,68% atau sebesar $42,68\% \times 32,601 \text{ MPa} = 13,914 \text{ MPa}$

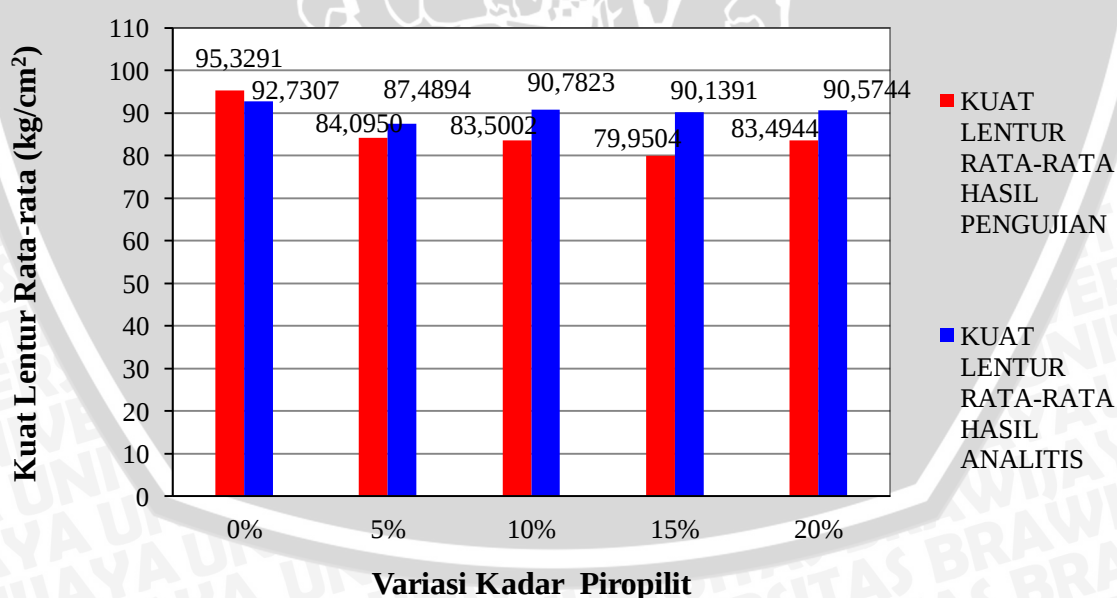
Dari **Tabel 4.41** diatas dapat diketahui bahwa pada beton umur 28 hari penambahan piropilit dengan kadar 15% memberikan pengaruh penurunan kuat tekan yang paling besar dibandingkan dengan variasi kadar piropilit lainnya, penurunan yang terjadi sebesar 16,13% atau sebesar $16,13\% \times 95,3291 \text{ MPa} = 15,379 \text{ MPa}$

4.8.5 Persentase Perbedaan Kekuatan Lentur Antara Perhitungan Secara Analitis Dengan Pengujian Laboratorium

Pada **Tabel 4.42** di bawah ini merupakan persentase perubahan kenaikan kekuatan lentur hasil perhitungan secara analitis terhadap hasil kuat lentur hasil pengujian laboratorium.

Tabel 4.42. Persentase Perbedaan Kekuatan Lentur Antara Pengujian Dan Perhitungan Analitis Tanpa Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

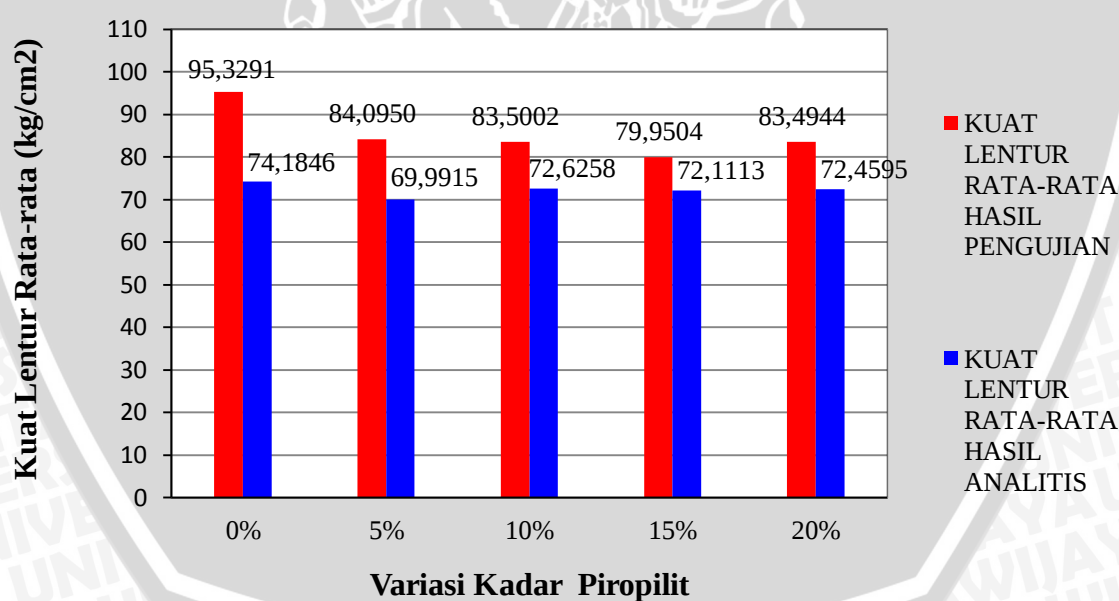
Kadar piropilit (%)	Kuat Lentur Rata-rata		Selisih	
	Pengujian	Analitis		
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
0%	95,3291	92,7307	2,598	2,802
5%	84,0950	87,4894	-3,394	3,880
10%	83,5002	90,7823	-7,282	8,021
15%	79,9504	90,1391	-10,189	11,303
20%	83,4944	90,5744	-7,080	7,817



Gambar 4.27 Perbedaan kekuatan lentur antara pengujian dan perhitungan analitis tanpa reduksi kekuatan ($\emptyset$)

Tabel 4.43. Persentase Perbedaan Kekuatan Lentur Antara Pengujian Dan Perhitungan Analitis Dengan Reduksi Kekuatan ($\emptyset$)

Kadar piropilit (%)	Kuat Lentur Rata-rata		Selisih	
	Pengujian	Analitis		
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
0%	95,3291	74,1846	21,145	28,503
5%	84,0950	69,9915	14,103	20,150
10%	83,5002	72,6258	10,874	14,973
15%	79,9504	72,1113	7,839	10,871
20%	83,4944	72,4595	11,035	15,229



Gambar 4.28 Perbedaan kekuatan lentur antara pengujian dan perhitungan analitis dengan reduksi kekuatan ($\emptyset$)

Penentuan kekuatan lentur beton secara analitis dilakukan pada tahap awal sebelum pengujian laboratorium dilakukan, yang telah dihitung pada **Tabel 4.34.** yang menjadi target kekuatan lentur (σ) minimum balok beton yang akan dihasilkan.

Dari **Tabel 4.42** dapat dilihat pengujian pada campuran 0% menghasilkan kenaikan nilai kuat lentur sebesar 2,598 kg/cm² atau mengalami kenaikan 2,802 % dari kekuatan rencana secara analitis tanpa reduksi kekuatan (ϕ). Sedangkan pada beton dengan campuran persentase piropilit menghasilkan penurunan nilai kuat lentur saat dilakukan pengujian, penurunan terbesar dihasilkan pada campuran 15% sebesar 10,189 kg/cm² atau mengalami penurunan 11,303%.

Dari **Tabel 4.43** ternyata akibat pada perhitungan digunakan nilai reduksi kekuatan (ϕ) menyebabkan dari hasil perhitungan kuat lentur secara analitis terjadi kenaikan pada saat dilakukan pengujian. Pada hasil pengujian campuran 0% menghasilkan nilai kenaikan kuat lentur terbesar yaitu sebesar 21,145 kg/cm² atau mengalami kenaikan 28,503 %. Sedangkan pada beton dengan campuran piropilit kenaikan terbesar dihasilkan pada campuran 5% yaitu 14,103 kg/cm² atau mengalami kenaikan 20,150%.

4.8.6 Analisa Penyebab Terjadinya Perubahan Nilai Kuat Tekan dan Kuat Lentur Pada Beton Piropilit

Berdasarkan dari hasil pengujian perbandingan karakter antara piropilit dengan agregat halus dalam pembuatan beton adalah :

Tabel 4.44. Karakter Antara Agregat Halus dengan Piropilit

PENGUJIAN	AGREGAT HALUS	PIROPILIT
BJ SSD	2,34	2,383
Analisa ayak	Zone II	Zone II
Modulus kehalusan	FM = 3,0121	FM = 2,2722
Kadar air	0,79 %	0,705 %
Komposisi kimiawi	SiO ₂ (80,35%) Al ₂ O ₃ (1,66%) Fe ₂ O ₃ (8,96%) CaO (3,37%) MgO (1,64%)	SiO ₂ (84,30%) Al ₂ O ₃ (1,80%) Fe ₂ O ₃ (1,56%) CaO (0,68%) MgO (1,26%) K ₂ O (0,25%) Na ₂ O (0,64%) TiO ₂ , Cu, Zn dan asam humat (9,41%)

Tabel di atas adalah data dari penelitian terdahulu oleh Mutrofin (2005), dan hasil pengujian. Jika dilihat dari perbandingan karakter antara agregat halus dengan piropilit yang digunakan sudah mendekati kesamaan secara kondisi fisiknya. Sedikit perbedaan yang terjadi pada angka Modulus Kehalusan nya, pada agregat halus ternyata memiliki gradasi sedikit lebih kasar dibandingkan dengan piropilit. Sedangkan antara agregat halus dan piropilit berdasarkan komposisi unsur kimiawinya terbentuk dari beberapa unsur kimia yang berbeda dan dengan persentase kandungan yang juga berbeda.

Pengerasan (*hardening*) merupakan proses penambahan kekuatan ikatan yang signifikan antara semen dan agregat halus dan kasar (diukur dengan kekuatan tekannya) dalam waktu kurang dari 28 hari, setelah itu proses pengerasannya relatif sangat lambat dan dianggap sudah mencapai kekuatan maksimum. Dalam proses pengerasan nya atau masa bekisting, ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton salah satunya adalah kontak langsung dengan materi atau zat lain yang memiliki sifat tertentu.

Penyebab terjadinya penurunan kuat tekan dan kuat lentur pada beton piropilit juga dikarenakan adanya perbedaan unsur kimia dan persentase jumlah kandungannya antara piropilit dengan agregat halus yang digantikan. Hal ini ternyata sangat berpengaruh terhadap reaksi ikatan antar unsur kimia yang terdapat pada bahan campuran beton lainnya.

Kandungan SiO_2 agregat halus sebesar 80,35% sedangkan pada piropilit sebesar 84,30%. Pada piropilit terdapat unsur SiO_2 yang lebih banyak dibandingkan dengan yang terdapat pada agregat halus, namun perbedaan nya tidak terlalu signifikan. Pasir silika yang baik untuk pembuatan semen adalah dengan kadar $\text{SiO}_2 \pm 90\%$, dan penggunaan pasir silika dalam pembuatan semen itu sendiri hanya sebesar $\pm 9\%$ (Amri, Sjaf. 2005 : 51).

Kandungan Fe_2O_3 agregat halus sebesar 8,96% sedangkan pada piropilit sebesar 1,56%. Pada piropilit terdapat unsur Fe_2O_3 yang lebih sedikit dibandingkan dengan yang terdapat pada agregat halus, dan perbedaan nya cukup signifikan. Pasir besi memiliki rumus kimia Fe_2O_3 (Ferri Oksida) yang pada umumnya selalu tercampur dengan SiO_2 dan TiO_2 sebagai impuritiesnya. Fe_2O_3 berfungsi sebagai penghantar panas dalam proses pembuatan terak semen. Kadar yang baik dalam pembuatan semen yaitu $\text{Fe}_2\text{O}_3 \pm 75\%-80\%$ (Amri, Sjaf. 2005 : 51).

Dari pembahasan di atas dapat dilihat ternyata selain unsur kimia C_3S unsur kimia Fe_2O_3 juga ternyata dibutuhkan saat reaksi kimia antar unsur lainnya dikarenakan sifatnya yang dapat berfungsi sebagai penghantar panas.

Ditinjau dari aksinya, zat-zat yang berpengaruh buruk tersebut pada beton dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Zat yang mengganggu proses aktifasi bahan campuran beton
2. Zat yang mengganggu proses hidrasi semen
3. Zat yang melapisi agregat sehingga mengganggu terbentuknya lekatan yang baik antara agregat dan pasta semen
4. Butiran-butiran yang kurang tahan cuaca, yang bersifat lemah dan menimbulkan reaksi kimia antar agregat dan pasta semen

Mengenai waktu yang diperlukan agar aktifasi piropilit tercapai adalah faktor penting yang harus benar-benar terpenuhi agar dihasilkan peningkatan kekuatan pada beton piropilit. Aktifasi mineral phyropilit yang mempunyai kemampuan sebagai adsorben maupun penukar anion dan kation dapat dilakukan dengan kalsinasi (cara fisik) atau dengan menggunakan larutan asam atau basa (cara kimia). Dimana secara kimia piropilit memiliki kandungan silika yang tinggi yaitu sekitar 84,30% dan alumina sekitar 1,80%.

Dengan adanya penggunaan piropilit pada beton bukan berarti akan selalu menaikkan kuat tekan dan kuat lentur beton. Namun dengan ditambahkan piropilit maka perlunya memperhatikan kondisi saat hidrasi semen berlangsung. Penyebab lain turunnya nilai kuat tekan maupun kuat lentur yang terjadi yaitu akibat aktifasi pada piropilit tidak berjalan sempurna dan masa hidrasi semen banyak berpindah untuk aktifasi piropilit. Sehingga beton tidak dapat mengeras sempurna dalam waktu yang cukup pendek. Karena penambahan piropilit dapat mengurangi proses penghantaran panas saat hidrasi berlangsung. Masa hidrasi semen terjadi dikarenakan kadar kapur (C_3S) yang terdapat pada semen yang cukup tinggi dan menghasilkan reaksi panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan beton mengeras sebelum hari ke-14. Semakin banyak kapur (C_3S) yang dihasilkan pada semen maka semakin tinggi kekuatan tekan dan panas hidrasi juga tinggi. (Mulyono Tri, 2004).

Bila dibandingkan dengan hasil perhitungan secara analitis pada beton tanpa penambahan piropilit nilai kuat lentur mengalami kenaikan, sedangkan pada beton dengan penambahan piropilit hasil kuat lenturnya menjadi turun. Hal ini lebih besar disebabkan karena pengaruh buruk yang dihasilkan karena penggunaan piropilit, karena antara piropilit dengan agregat halus yang digantikan terdapat perbedaan komposisi unsur kimia dan persentase jumlah yang dikandungnya antara agregat halus dengan piropilit. Sehingga menyebabkan proses aktivasi piropilit dengan material lainnya masih terlalu pendek dan kurang sempurna, berkurangnya kadar unsur kimia Fe_2O_3 yang berfungsi sebagai penghantar panas pada saat terjadinya hidrasi semen dengan material lainnya, selain itu juga dapat disebabkan metode pelaksanaan dan metode perawatan yang dilaksanakan

Zat-zat ini dapat berupa kandungan organik, lempung, atau bahan-bahan halus lainnya, misalnya silt atau debu pecahan batu, garam, shale lempung kayu, arang, pyrites (tanah tambang yang mengandung belerang), dan lain-lain.

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan beton, yaitu :

1. Bahan-bahan penyusutan beton : air, semen, agregat, *admixture*, bahan tambahan.
2. Metode pencampuran : penentuan proporsi bahan, pengadukan, pengecoran, pemadatan
3. Perawatan : Pembasahan/perendaman, suhu dan waktu.
4. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.