

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Data pengujian meliputi hasil dari pengujian bahan yang digunakan dalam penelitian ini dan hasil dari pengujian benda uji silinder beton. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan yang digunakan dan mengetahui hasil dari penelitian ini.

1. Pengujian Bahan

a. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Progo. Berbagai pengujian agregat halus, yaitu:

1) Pengujian Berat Jenis Pasir SSD

Pengujian berat jenis pasir SSD dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat agregat halus dalam kondisi SSD dengan volume air. Hasil pengujian berat jenis pasir SSD dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Data pengujian berat jenis pasir SSD.

Sampel	Berat pasir (gram)	Volume pasir (ml)
1	153,1	56
2	150,2	54
3	150	55
4	150,9	56
5	151,8	56

2) Pengujian Kadar Air Pasir SSD

Pengujian kadar air dalam pasir kondisi SSD bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam pasir saat pasir berada dalam kondisi SSD. Pasir kondisi SSD ditimbang kemudian dioven selama 24 jam. Hasil pengujian kadar air dalam pasir kondisi SSD dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8. Data pengujian kadar air pasir SSD.

Sampel	Berat pasir SSD (A) (gram)	Berat pasir kering (B) (gram)
1	200	197
2	200	196,5
3	200	197,5
4	200	197,5
5	200	198

3) Pengujian Bobot Isi Gembur Pasir

Pengujian bobot isi gembur pasir bertujuan untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan gembur atau berongga dalam satu volume bejana. Hasil pengujian bobot isi gembur pasir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9. Data pengujian bobot isi gembur pasir.

Sampel	Berat pasir (gram)	Volume bejana (cm³)
1	23820	15362,3

4) Pengujian Bobot Isi Padat Pasir

Pengujian bobot isi padat pasir bertujuan untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan padat dalam satu volume bejana. Hasil pengujian bobot isi padat pasir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Data pengujian bobot isi padat pasir.

Sampel	Berat pasir (gram)	Volume bejana (cm³)
1	25820	15362,3

5) Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar lumpur yang menempel pada permukaan butir pasir. Kadar lumpur maksimal yaitu 5%. Hasil pengujian kadar lumpur pasir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 11. Data pengujian kadar lumpur pasir.

Sampel	Volume pasir (ml)	Volume lumpur (ml)
1	90	2
2	76	4
3	92	2

6) Pengujian Modulus Kehalusan Butir Pasir

Pengujian modulus kehalusan butir dilakukan untuk mengetahui gradasi pada butir pasir yang akan digunakan untuk bahan penyusun

beton. Pengujian ini menggunakan dua sampel. Hasil pengujian modulus kehalusan butir pasir dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 12. Data I pengujian modulus kehalusan butir pasir.

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)
9,50	0	0
4,75	0	0
2,36	68,89	13,81
1,18	68,63	13,75
0,60	101,51	20,34
0,30	182,97	36,67
0,15	67,20	13,47
< 0,15	9,80	1,96

Tabel 13. Data II pengujian modulus kehalusan butir pasir.

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)
9,50	0	0
4,75	0	0
2,36	70,31	14,09
1,18	69,46	13,92
0,60	102,67	20,58
0,30	178,20	35,71
0,15	68,23	13,67
< 0,15	10,12	2,03

7) Pengujian Penyerapan Air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan air pada agregat halus dalam kondisi kering hingga SSD. Hasil pengujian penyerapan air dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 14. Data pengujian penyerapan air.

Sampel	Bobot awal (gram)	Bobot akhir (gram)
1	500	485
2	500	487
3	500	494
4	500	483
5	500	484

b. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan batu pecah yang lolos saringan 1 – 2 cm yang berasal dari Sungai Progo. Berbagai pengujian agregat kasar, yaitu:

1) Pengujian Berat Jenis Kerikil SSD

Pengujian berat jenis kerikil dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat agregat kasar dengan volume air. Hasil pengujian berat jenis kerikil dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 15. Data pengujian berat jenis kerikil.

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume kerikil (ml)
1	157,70	61,50
2	150,00	59,00
3	151,60	61,00
4	150,50	61,50
5	151,10	60,50

2) Pengujian Kadar Air Kerikil SSD

Pengujian kadar air dalam kerikil kondisi SSD bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam kerikil saat berada dalam kondisi SSD. Kerikil kondisi SSD ditimbang kemudian dioven selama 24 jam. Hasil pengujian kadar air dalam kerikil kondisi SSD dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 16. Data pengujian kadar air kerikil SSD.

Sampel	Berat kerikil SSD (A) (gram)	Berat kerikil kering (B) (gram)
1	500	482
2	500	482
3	500	483
4	500	486
5	500	487

3) Pengujian Bobot Isi Gembur Kerikil

Pengujian bobot isi gembur kerikil bertujuan untuk mengetahui bobot isi kerikil dalam keadaan gembur atau berongga dalam satu volume bejana. Hasil pengujian bobot isi gembur kerikil dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 17. Data pengujian bobot isi gembur kerikil.

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume bejana (cm³)
1	20080	15362,3

4) Pengujian Bobot Isi Padat Kerikil

Pengujian bobot isi padat kerikil bertujuan untuk mengetahui bobot isi kerikil dalam keadaan padat dalam satu volume bejana. Hasil pengujian bobot isi padat kerikil dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 18. Data pengujian bobot isi padat kerikil.

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume bejana (cm³)
1	21800	15362,3

5) Pengujian Keausan Kerikil

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya tahan aus gesek agregat kasar. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Los Angeles*. Bagian yang hilang karena gesekan dalam alat ini maksimal 50%. Hasil pengujian keausan kerikil dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 19. Data pengujian keausan kerikil.

Sampel	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)
1	5000	2731

6) Pengujian Penyerapan Air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan air pada agregat kasar dalam kondisi kering hingga SSD. Hasil pengujian penyerapan air dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 20. Data pengujian penyerapan air.

Sampel	Bobot awal (gram)	Bobot akhir (gram)
1	2000	1891
2	2000	1895
3	2000	1889

7) Pengujian Modulus Kehalusan Butir Kerikil

Pengujian modulus kehalusan butir dilakukan untuk mengetahui gradasi pada butir kerikil yang akan digunakan untuk bahan penyusun beton. Hasil pengujian modulus kehalusan butir kerikil dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 21. Data pengujian modulus kehalusan butir kerikil.

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)
25,40	19	0,38
19,10	334	6,69
15,90	3010	60,26
9,50	1415	28,33
4,75	49,23	0,99
2,36	149,58	2,99
1,18	3,2	0,06
0,60	1,19	0,02
0,30	0,89	0,02
0,15	12,85	0,26

c. Pengujian Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini merupakan semen jenis PPC. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji berat jenis dan derajat kehalusan semen. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 22. Data pengujian berat jenis semen PPC.

Sampel	Berat semen (gram)	Volume semen (ml)
1	30	10
2	29	10
3	33	10
4	30	10
5	31	10

Tabel 23. Data pengujian derajat kehalusan semen PPC.

Sampel	Berat tertahan ayakan No. 200 (gram)	Berat awal (gram)
1	0,23	100
2	0,17	100
3	0,19	100

2. Pengujian Silinder Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan dan regangan tiap mutu beton. Terdapat tiga mutu beton yang diuji yaitu mutu 12 MPa, 25 MPa, dan 40 MPa. Setiap mutu beton terdiri dari 30 benda uji. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 24. Data pengujian silinder beton mutu 12 MPa.

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Gaya tekan (ton)
1	151.20	299.20	12400	30
2	151.83	298.65	12600	29
3	151.55	301.90	12565	29
4	151.85	298.25	12335	32
5	151.05	303.85	12557	29
6	151.65	299.95	12420	32
7	151.38	300.10	12520	33
8	151.50	302.20	12590	31
9	151.03	301.10	12498	29
10	150.95	304.95	12694	34
11	150.33	299.65	12398	31
12	151.10	300.35	12640	29
13	150.90	301.55	12495	26
14	151.90	300.30	12605	22
15	151.05	300.45	12530	35
16	150.98	301.50	12850	35
17	151.25	300.40	12550	28
18	150.80	297.25	12526	30
19	151.25	300.90	12600	28
20	150.95	300.35	12660	38
21	151.50	304.70	12670	28
22	151.30	299.05	12560	27
23	151.38	302.90	12670	35
24	151.68	302.30	12715	36
25	151.83	301.95	12600	32
26	152.60	296.80	12330	30

Tabel 24. (lanjutan).

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Gaya tekan (ton)
27	151.30	303.70	12683	28
28	151.48	303.15	12600	32
29	150.83	301.50	12600	30
30	151.30	298.20	12483	29

Tabel 25. Data pengujian silinder beton mutu 25 MPa.

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Gaya tekan (ton)
1	150.85	300.10	12790	61.5
2	151.20	303.30	12910	61
3	150.95	302.55	12990	55
4	150.60	299.50	12720	61.5
5	150.83	301.35	12970	60.5
6	150.98	302.00	12970	57
7	151.05	301.65	12800	60
8	150.13	300.50	12640	59
9	151.03	301.30	12650	58
10	151.15	303.95	12970	57
11	151.85	301.40	12860	60
12	151.03	301.00	12720	42
13	151.30	303.25	12910	40
14	151.45	303.00	12930	61
15	151.65	297.05	12600	61.5
16	150.93	301.30	12795	55
17	150.23	302.90	12800	53
18	151.08	302.15	12995	56
19	150.78	299.60	12720	43
20	151.33	302.45	12950	55

Tabel 25. (lanjutan).

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Gaya tekan (ton)
21	149.67	300.70	12710	45
22	151.13	301.50	12860	51
23	150.98	297.15	12705	60
24	151.00	299.90	12785	54
25	150.30	303.10	12952	62
26	150.78	300.35	12860	61
27	150.80	302.80	12905	46
28	150.45	300.35	12744	65
29	150.80	301.95	12975	55
30	151.38	302.00	13000	55

Tabel 26. Data pengujian silinder beton mutu 40 MPa.

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Gaya tekan (ton)
1	151.38	304.80	12808	69
2	151.35	304.25	12705	51
3	151.43	304.25	12740	73
4	151.53	302.90	12713	78
5	151.05	302.70	12652	68
6	151.15	300.95	12717	74
7	151.30	302.05	12670	74
8	151.03	301.60	12608	56
9	151.48	301.85	12710	75
10	151.75	302.40	12680	85
11	152.08	301.45	12745	66
12	151.15	301.10	12600	73
13	150.68	303.95	12780	89
14	151.13	301.40	12705	82

Tabel 26. (lanjutan).

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Gaya tekan (ton)
15	151.65	298.95	12505	85
16	152.33	303.55	12765	73
17	151.68	302.75	12745	81
18	151.08	301.35	12799	74
19	151.98	302.70	12683	67
20	151.03	298.90	12510	71
21	150.80	303.40	12620	69
22	151.10	302.40	12835	72.5
23	151.50	302.90	12675	62
24	151.90	302.40	12740	52
25	151.60	303.15	12710	67
26	151.33	301.60	12865	84
27	151.03	299.80	12605	79
28	151.58	301.90	12735	72
29	151.33	301.60	12795	73
30	151.33	301.55	12710	73

B. Pembahasan Hasil Pengujian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk *mix design*. Bahan-bahan yang diuji yaitu agregat halus dan kasar dari Sungai Progo dan semen PPC. Pengujian dilakukan untuk mengetahui spesifikasi bahan-bahan yang digunakan dan disesuaikan dengan standar yang berlaku. Bahan-bahan yang diuji yaitu:

a. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Progo. Berbagai pengujian agregat halus, yaitu:

1) Pengujian Berat Jenis Pasir SSD

Pengujian berat jenis pasir SSD menggunakan 5 sampel dan diperoleh berat jenis rata-rata pasir SSD yaitu 2,73 gram/ml.

Tabel 27. Hasil pengujian berat jenis pasir SSD.

Sampel	Berat pasir (gram)	Volume pasir (ml)	Berat jenis (gram/ml)
1	153,1	56	2,73
2	150,2	54	2,78
3	150	55	2,73
4	150,9	56	2,69
5	151,8	56	2,71
Rata-rata			2,73

2) Pengujian Kadar Air Pasir SSD

Pengujian Kadar air pasir SSD dilakukan agar kebutuhan air dalam campuran beton dapat optimal. Pengujian ini menggunakan 5 sampel dan diperoleh rata-rata kadar air pasir SSD yaitu 1,35%.

Tabel 28. Hasil pengujian kadar air pasir SSD.

Sampel	Berat pasir SSD (A) (gram)	Berat pasir kering (B) (gram)	Kadar air (%)
1	200	197	1,50
2	200	196,5	1,75
3	200	197,5	1,25
4	200	197,5	1,25

Tabel 28. (lanjutan).

Sampel	Berat pasir SSD (A) (gram)	Berat pasir kering (B) (gram)	Kadar air (%)
5	200	198	1,00
		Rata-rata	1,35

3) Pengujian Bobot Isi Gembur Pasir

Bobot isi pasir dalam keadaan gembur atau berongga dalam satu volume bejana yaitu 1,55 gram/cm³. Pengujian ini dilakukan hanya dengan satu sampel.

Tabel 29. Hasil pengujian bobot isi gembur pasir.

Sampel	Berat pasir (gram)	Volume bejana (cm³)	Bobot isi gembur (gram/cm³)
1	23820	15362,3	1,55

4) Pengujian Bobot Isi Padat Pasir

Bobot sisi pasir dalam keadaan padat dalam satu volume bejana yaitu 1,68 gram/cm³. Pengujian ini dilakukan hanya dengan satu sampel.

Tabel 30. Hasil pengujian bobot isi padat pasir.

Sampel	Berat pasir (gram)	Volume bejana (cm³)	Bobot isi gembur (gram/cm³)
1	25820	15362,3	1,68

5) Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Kadar lumpur rata-rata yang menempel pada permukaan butir pasir yaitu 3,10%. Kadar lumpur maksimal yaitu 5% sehingga pasir dapat digunakan.

Tabel 31. Hasil pengujian kadar lumpur pasir.

Sampel	Volume pasir (ml)	Volume lumpur (ml)	Kadar lumpur (%)
1	90	2	2,17
2	76	4	5,00
3	92	2	2,13
		Rata-rata	3,10

6) Pengujian Modulus Kehalusan Butir Pasir

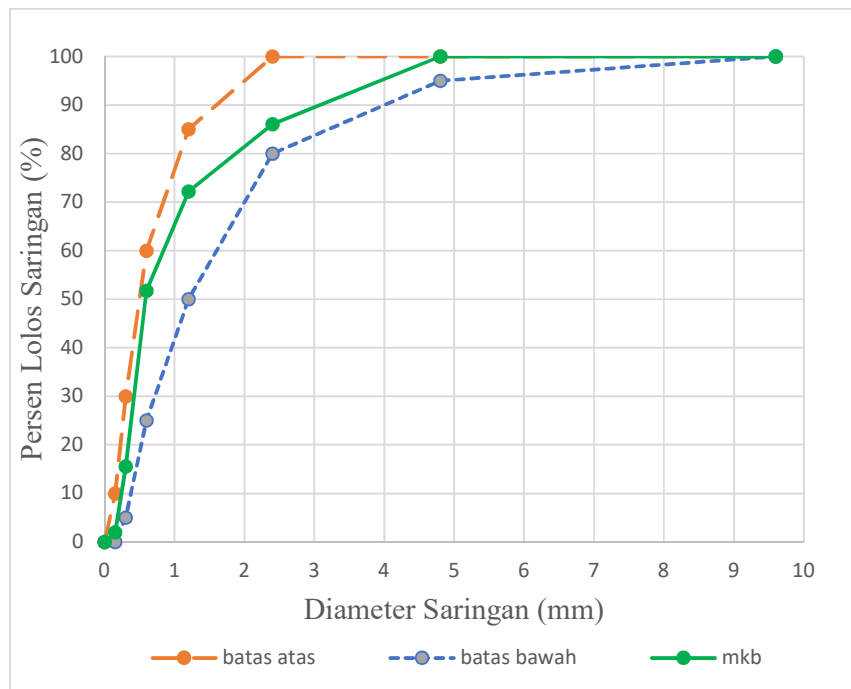
Pengujian modulus kehalusan butir pasir menggunakan dua sampel. Dari pengujian tersebut diperoleh modulus kehalusan butir pasir rata-rata yaitu 2,72.

Tabel 32. Hasil I pengujian modulus kehalusan butir pasir.

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertinggal kumulatif (%)
9,50	0	0	0
4,75	0	0	0
2,36	68,89	13,81	13,81
1,18	68,63	13,75	27,56
0,60	101,51	20,34	47,90
0,30	182,97	36,67	84,57
0,15	67,20	13,47	98,04
< 0,15	9,80	1,96	-
Jumlah		100,00	271,87

Tabel 33. Hasil II pengujian modulus kehalusan butir pasir.

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertinggal komulatif (%)
9,50	0	0	0
4,75	0	0	0
2,36	70,31	14,09	14,09
1,18	69,46	13,92	28,01
0,60	102,67	20,58	48,59
0,30	178,20	35,71	84,30
0,15	68,23	13,67	97,97
< 0,15	10,12	2,03	-
Jumlah		100,00	272,95



Gambar 45. Grafik modulus kehalusan butir pasir rata-rata.

7) Pengujian Penyerapan Air

Penyerapan air rata-rata pada pasir dalam kondisi kering hingga pasir menjadi SSD yaitu 2,76%. Pengujian ini dilakukan untuk mengoptimalkan kebutuhan air untuk adukan beton segar.

Tabel 34. Hasil pengujian penyerapan air.

Sampel	Bobot awal (gram)	Bobot akhir (gram)	Penyerapan (%)
1	500	485	3,09
2	500	487	2,67
3	500	494	1,21
4	500	483	3,52
5	500	484	3,31
		Rata-rata	2,76

b. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang lolos saringan diameter 1 – 2 cm yang berasal dari Sungai Progo. Berbagai pengujian agregat kasar, yaitu:

1) Pengujian Berat Jenis Kerikil SSD

Pengujian berat jenis kerikil SSD menggunakan 5 sampel dan diperoleh berat jenis rata-rata kerikil SSD yaitu 2,51 gram/ml.

Tabel 35. Hasil pengujian berat jenis kerikil SSD.

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume kerikil (ml)	Berat jenis (gram/ml)
1	157,70	61,50	2,56
2	150,00	59,00	2,54

Tabel 35. (lanjutan).

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume kerikil (ml)	Berat jenis (gram/ml)
3	151,60	61,00	2,49
4	150,50	61,50	2,45
5	151,10	60,50	2,50
		Rata-rata	2,51

2) Pengujian Kadar Air Kerikil SSD

Pengujian kadar air kerikil SSD dilakukan agar kebutuhan air dalam campuran beton dapat optimal. Pengujian ini menggunakan 5 sampel dan diperoleh rata-rata kadar air kerikil SSD yaitu 3,20%.

Tabel 36. Hasil pengujian kadar air kerikil SSD.

Sampel	Berat kerikil SSD (A) (gram)	Berat kerikil kering (B) (gram)	Kadar air (%)
1	500	482	3,60
2	500	482	3,60
3	500	483	3,40
4	500	486	2,80
5	500	487	2,60
		Rata-rata	3,20

3) Pengujian Bobot Isi Gembur Kerikil

Bobot isi kerikil dalam keadaan gembur atau berongga dalam satu volume bejana yaitu 1,30 gram/cm³. Pengujian ini dilakukan hanya dengan satu sampel.

Tabel 37. Hasil pengujian bobot isi gembur kerikil.

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume bejana (cm³)	Bobot isi gembur (gram/cm³)
1	20080	15486,54	1,30

4) Pengujian Bobot Isi Padat Kerikil

Bobot isi kerikil dalam keadaan padat dalam satu volume bejana yaitu 1,41 gram/cm³. Pengujian ini dilakukan hanya dengan satu sampel.

Tabel 38. Hasil pengujian bobot isi padat kerikil.

Sampel	Berat kerikil (gram)	Volume bejana (cm³)	Bobot isi padat (gram/cm³)
1	21800	15486,54	1,41

5) Pengujian Keausan Kerikil

Menurut (SNI 2417-2008, 2008), keausan pada agregat kasar tidak melebihi 50%. Keausan kerikil yang digunakan dalam penelitian ini adalah 45,38%. Berat akhir adalah berat yang tertahan ayakan 1,7 mm.

Tabel 39. Hasil pengujian keausan kerikil.

Sampel	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Persentase keausan (%)
1	5000	2731	45,38

6) Pengujian Penyerapan Air

Penyerapan air rata-rata pada kerikil dalam kondisi kering hingga pasir menjadi SSD yaitu 5,63%. Pengujian ini dilakukan untuk mengoptimalkan kebutuhan air untuk adukan beton segar.

Tabel 40. Hasil pengujian penyerapan air.

Sampel	Bobot awal (gram)	Bobot akhir (gram)	Penyerapan (%)
1	2000	1891	5,76
2	2000	1895	5,25
3	2000	1889	5,88
		Rata-rata	5,63

7) Pengujian Modulus Kehalusan Butir Kerikil

Pengujian modulus kehalusan butir kerikil menggunakan satu sampel. Dari pengujian tersebut diperoleh modulus kehalusan butir kerikil yaitu 7,66.

Tabel 41. Hasil pengujian modulus kehalusan butir kerikil.

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertinggal komulatif (%)
25,40	19	0,38	0.38
19,10	334	6,69	7.07
15,90	3010	60,26	67.33
9,50	1415	28,33	95.66
4,75	49,23	0,99	96.64
2,36	149,58	2,99	99.64
1,18	3,2	0,06	99.70
0,60	1,19	0,02	99.72

Tabel 41. (lanjutan).

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertinggal komulatif (%)
0,30	0,89	0,02	99,74
0,15	12,85	0,26	100,00
		Jumlah	765,88

c. Pengujian Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini merupakan semen jenis PPC. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji berat jenis, massa jenis dan derajat kehalusan semen. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa berat jenis rata-rata semen PPC yaitu 3,06 gram/ml, massa jenis semen yaitu 3,06 dan derajat kehalusan rata-rata semen PPC yaitu 0,197%.

Tabel 42. Hasil pengujian berat jenis semen PPC.

Sampel	Berat semen (gram)	Volume semen (ml)	Berat jenis (gram/ml)
1	30	10	3,00
2	29	10	2,90
3	33	10	3,30
4	30	10	3,00
5	31	10	3,10
		Rata-rata	3,06

Tabel 43. Hasil pengujian massa jenis semen PPC.

Sampel	Berat jenis semen (gram/ml)	Berat jenis air (gram/ml)	Massa jenis semen
1	3,00	1	3,00
2	2,90	1	2,90
3	3,30	1	3,30
4	3,00	1	3,00
5	3,10	1	3,10
		Rata-rata	3,06

Tabel 44. Hasil pengujian derajat kehalusan semen PPC.

Sampel	Berat tertahan ayakan No. 200 (gram)	Berat awal (gram)	Derajat kehalusan (%)
1	0,23	100	0,23
2	0,17	100	0,17
3	0,19	100	0,19
		Rata-rata	0,197

d. Pengujian Silinder Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan dan regangan tiap mutu beton. Terdapat tiga mutu beton yang diuji yaitu mutu 12 MPa, 25 MPa, dan 40 MPa. Setiap mutu beton terdiri dari 30 benda uji dan diuji pada usia 28 hari. Setelah memperoleh data tegangan dan regangan maka dapat diketahui kurva modulus elastisitas beton.

Tabel 45. Hasil pengujian silinder beton mutu 12 MPa.

Sampel	Diameter rerata (mm)	Gaya tekan (ton)	Kuat tekan (MPa)
1	151.20	30	16.36

Tabel 45. (lanjutan).

Sampel	Diameter rerata (mm)	Gaya tekan (ton)	Kuat tekan (MPa)
2	151.83	29	15.82
3	151.55	29	15.82
4	151.85	32	17.46
5	151.05	29	15.82
6	151.65	32	17.46
7	151.38	33	18.00
8	151.50	31	16.91
9	151.03	29	15.82
10	150.95	34	18.55
11	150.33	31	16.91
12	151.10	29	15.82
13	150.90	26	14.18
14	151.90	22	12.00
15	151.05	35	19.09
16	150.98	35	19.09
17	151.25	28	15.27
18	150.80	30	16.36
19	151.25	28	15.27
20	150.95	38	20.73
21	151.50	28	15.27
22	151.30	27	14.73
23	151.38	35	19.09
24	151.68	36	19.64
25	151.83	32	17.46
26	152.60	30	16.36
27	151.30	28	15.27
28	151.48	32	17.46
29	150.83	30	16.36
30	151.30	29	15.82

Tabel 46. Hasil pengujian silinder beton mutu 25 MPa.

Sampel	Diameter rerata (mm)	Gaya tekan (ton)	Kuat tekan (MPa)
1	150.85	61.5	33.73
2	151.20	61	33.45
3	150.95	55	30.16
4	150.60	61.5	33.73
5	150.83	60.5	33.18
6	150.98	57	31.26
7	151.05	60	32.90
8	150.13	59	32.35
9	151.03	58	31.81
10	151.15	57	31.26
11	151.85	60	32.90
12	151.03	42	23.03
13	151.30	40	21.94
14	151.45	61	33.45
15	151.65	61.5	33.73
16	150.93	55	30.16
17	150.23	53	29.06
18	151.08	56	30.71
19	150.78	43	23.58
20	151.33	55	30.16
21	149.67	45	24.68
22	151.13	51	27.97
23	150.98	60	32.90
24	151.00	54	29.61
25	150.30	62	34.00
26	150.78	61	33.45
27	150.80	46	25.23

Tabel 46. (lanjutan).

Sampel	Diameter rerata (mm)	Gaya tekan (ton)	Kuat tekan (MPa)
28	150.45	65	35.64
29	150.80	55	30.16
30	151.38	55	30.16

Tabel 47. Hasil pengujian silinder beton mutu 40 MPa.

Sampel	Diameter rerata (mm)	Gaya tekan (ton)	Kuat tekan (MPa)
1	151.38	69	37.60
2	151.35	51	27.79
3	151.43	73	39.78
4	151.53	78	42.51
5	151.05	68	37.06
6	151.15	74	40.33
7	151.30	74	40.33
8	151.03	56	30.52
9	151.48	75	40.87
10	151.75	85	46.32
11	152.08	66	35.97
12	151.15	73	39.78
13	150.68	89	48.50
14	151.13	82	44.69
15	151.65	85	46.32
16	152.33	73	39.78
17	151.68	81	44.14
18	151.08	74	40.33
19	151.98	67	36.51
20	151.03	71	38.69
21	150.80	69	37.60

Tabel 47. (lanjutan).

Sampel	Diameter rerata (mm)	Gaya tekan (ton)	Kuat tekan (MPa)
22	151.10	72.5	39.51
23	151.50	62	33.79
24	151.90	52	28.34
25	151.60	67	36.51
26	151.33	84	45.78
27	151.03	79	43.05
28	151.58	72	39.24
29	151.33	73	39.78
30	151.33	73	39.78

C. Kurva Modulus Elastisitas

Setelah memperoleh data kuat tekan beton, data tersebut dianalisis statistik menggunakan metode Chauvenet's Criterion untuk menghilangkan data *outlier* atau pencilan. Setelah menghilangkan data pencilan, dalam setiap mutu beton tersisa data kuat tekan beton yang dianggap valid untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Hasil analisis statistik pada setiap mutu beton, yaitu:

1. Silinder Beton Mutu 12 MPa

Analisis pada silinder beton mutu 12 MPa hanya menggunakan 29 data karena data benda uji nomor 27 hilang. Data yang tersisa dianalisis untuk memperoleh data yang valid dengan menghilangkan data pencilan. Terdapat dua data pencilan yang dihilangkan, sehingga nilai T_{sus} minimal dan T_{sus} maksimal kurang dari nilai D_{max} . Tersisa 27 data dengan nilai D_{max} yaitu 2,355, nilai T_{sus} minimal yaitu 1,686 dan nilai T_{sus} maksimal yaitu 2,144.

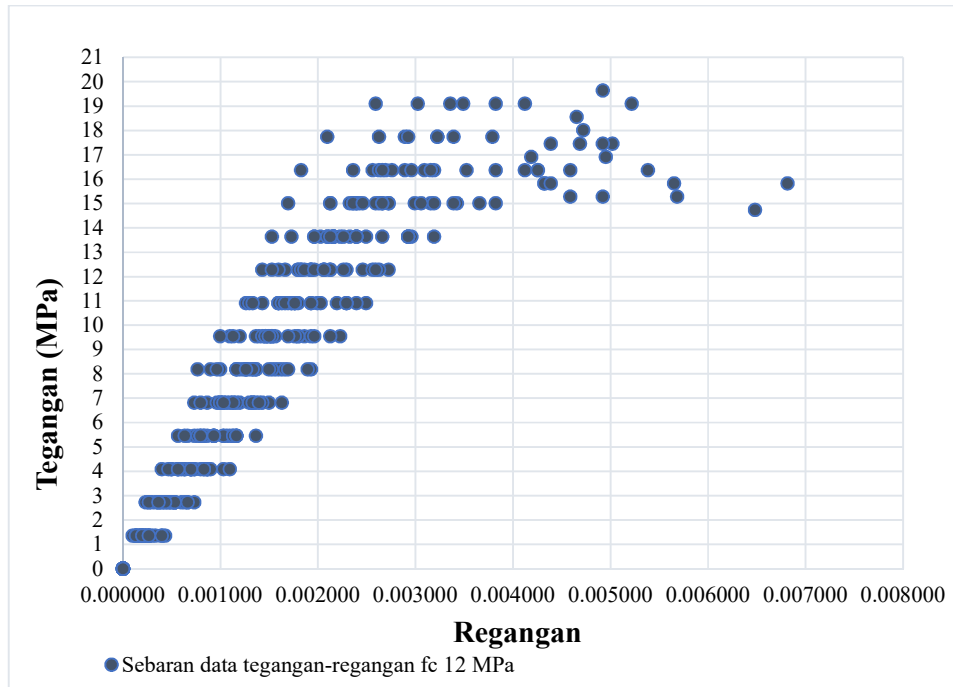
2. Silinder Beton Mutu 25 MPa

Terdapat 5 data pencilan yang dihilangkan dan tersisa 25 data, sehingga nilai T_{sus} minimal adalah 2,083 dan T_{sus} maksimal adalah 2,063 sedangkan nilai D_{max} adalah 2,326. Data dianggap valid apabila nilai T_{sus} minimal dan T_{sus} maksimal kurang dari nilai D_{max} .

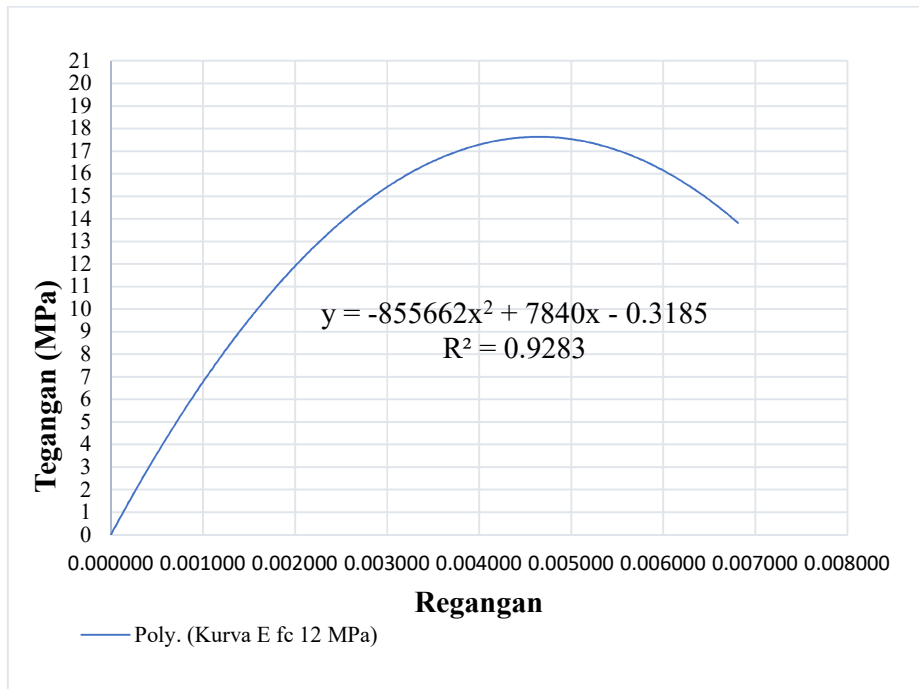
3. Silinder Beton Mutu 40 MPa

Terdapat 30 data yang tersisa karena benda uji mutu 40 MPa tidak memiliki data pencilan, sehingga nilai T_{sus} minimal adalah 2,367 dan T_{sus} maksimal adalah 1,960 sedangkan nilai D_{max} adalah 2,394. Data dianggap valid apabila nilai T_{sus} minimal dan T_{sus} maksimal kurang dari nilai D_{max} .

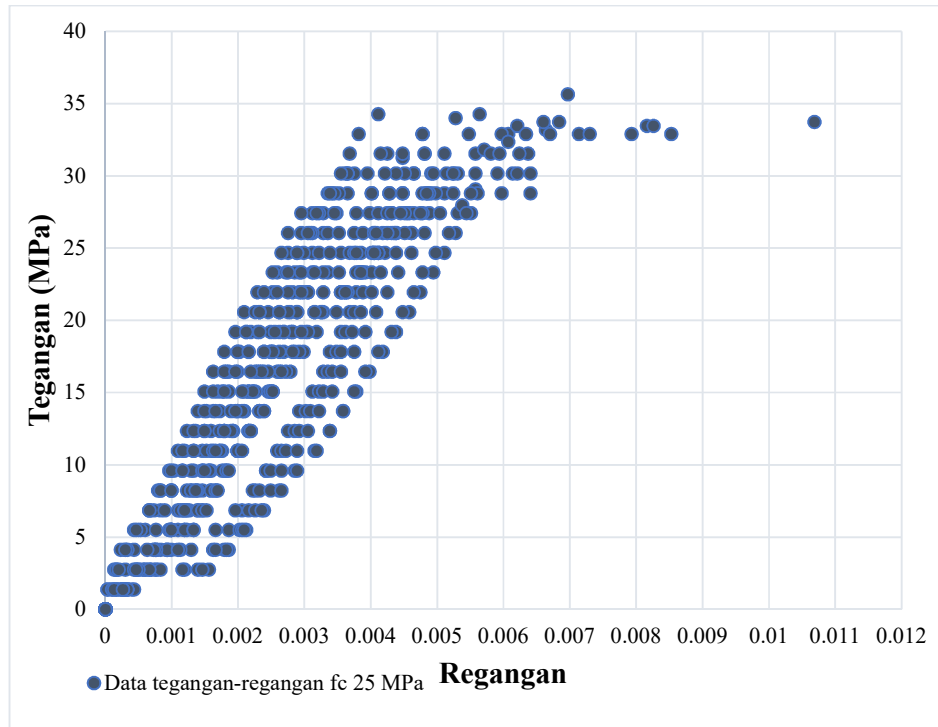
Setelah dilakukan analisis statistik untuk memperoleh data kuat tekan beton yang valid, dilakukan analisis regangan pada setiap mutu beton. Pembacaan regangan pada silinder beton mutu 12 MPa dan 25 MPa dilakukan dengan skala 2,5 ton, sedangkan untuk silinder beton mutu 40 MPa dilakukan pembacaan regangan dengan skala 5 ton. Hal tersebut dilakukan agar memudahkan pembacaan dan tidak mengurangi akurasi regangan pada silinder beton mutu 40 MPa. Berikut adalah gambar grafik hubungan tegangan-regangan pada setiap mutu silinder beton yang sudah dianalisis statistik menggunakan metode Chauvenet's Criterion.



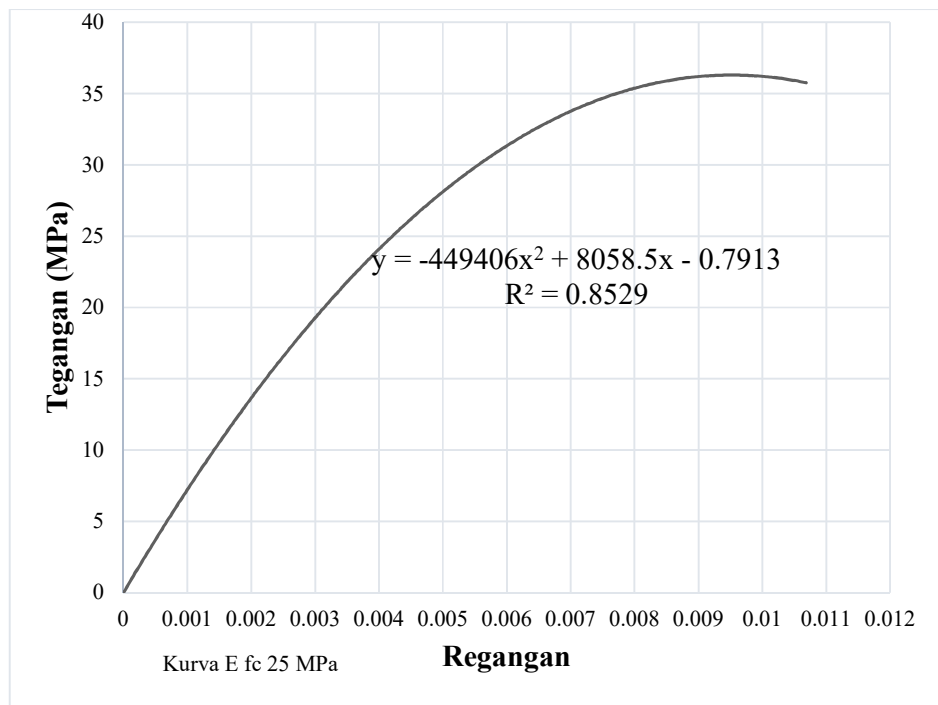
Gambar 46. Sebaran data tegangan-regangan fc 12 MPa.



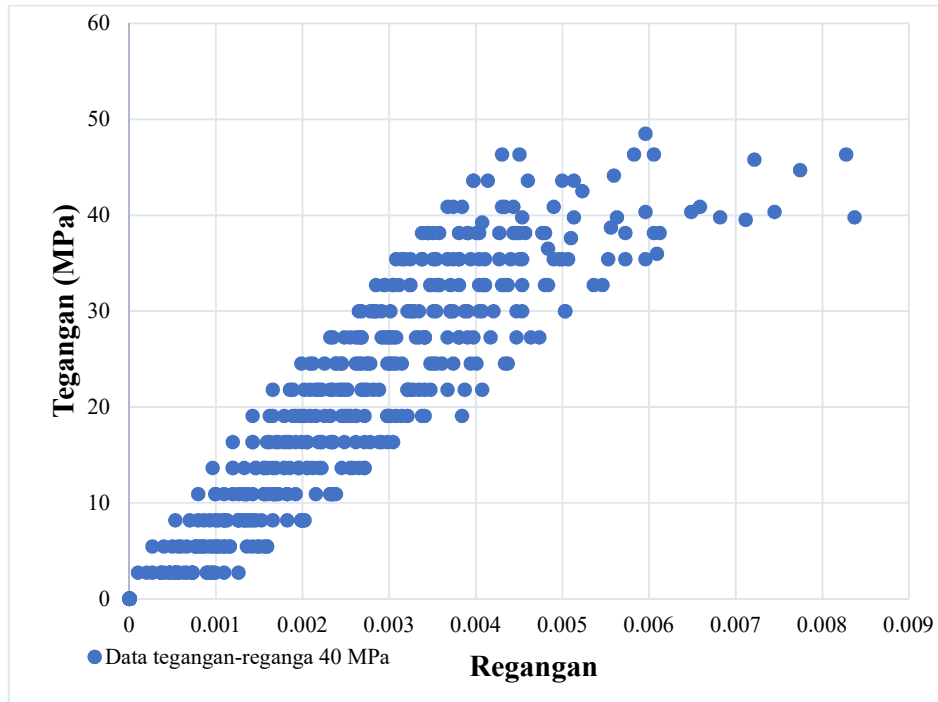
Gambar 47. Kurva modulus elastisitas fc 12 MPa



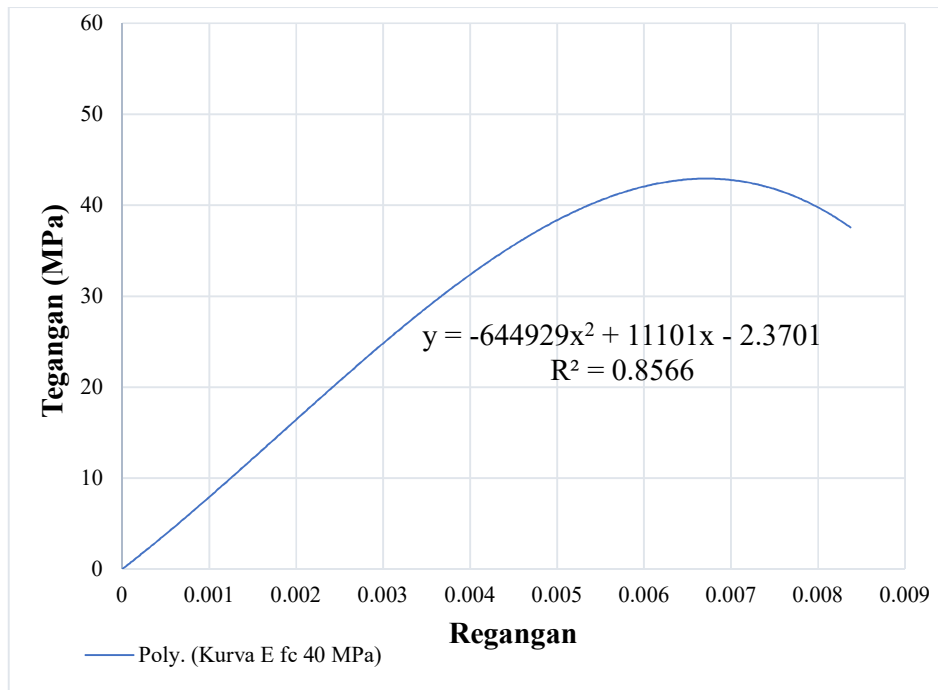
Gambar 48. Sebaran data tegangan-regangan f_c 25 MPa.



Gambar 49. Kurva modulus elastisitas f_c 25 MPa.

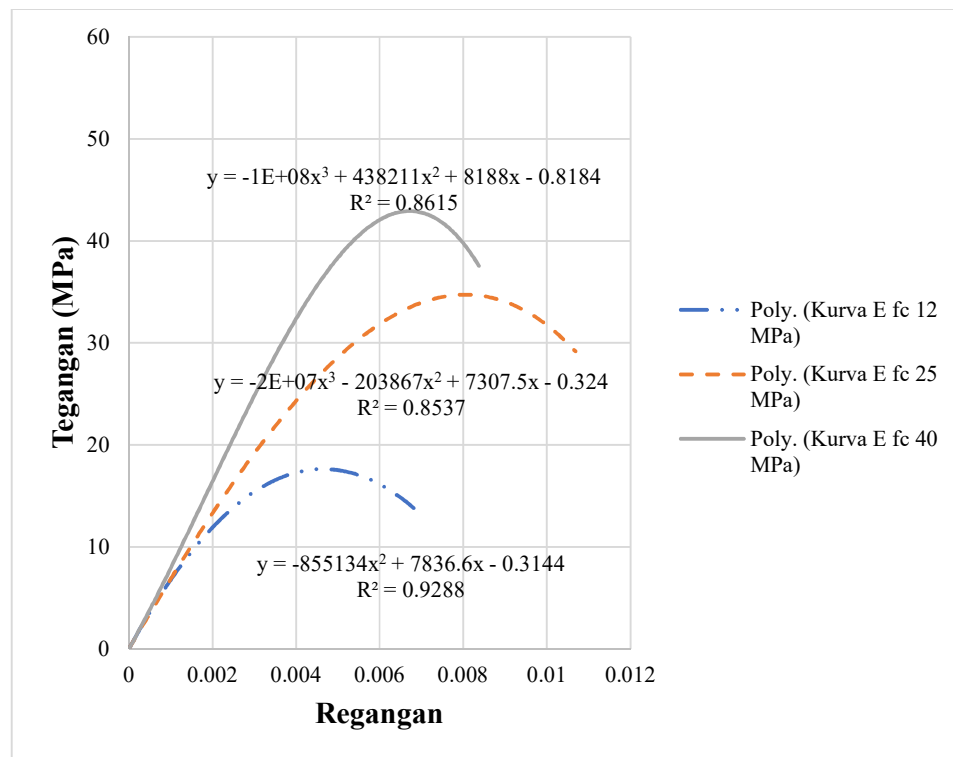


Gambar 50. Sebaran data tegangan-regangan f_c 40 MPa.



Gambar 51. Kurva modulus elastisitas f_c 40 MPa

Setelah memperoleh kurva hubungan tegangan-regangan pada setiap mutu beton yang diuji, kurva tersebut kemudian digabungkan menjadi satu untuk melihat perbandingan hubungan tegangan-regangan atau kurva modulus elastisitas setiap mutu beton. Kurva hasil penggabungan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 52. Kurva modulus elastisitas setiap mutu beton.

Grafik setiap mutu beton di atas menunjukkan bahwa setiap mutu beton memiliki kurva modulus elastisitas yang berbeda dan tergantung dari mutu beton. Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 8. Regangan akan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan yang diberikan. Ketika tegangan akan mencapai tegangan maksimal atau grafik mulai membentuk parabolik, kenaikan nilai tegangan akan lebih lambat

dibanding dengan grafik yang masih linier sedangkan regangan terus meningkat hingga tegangan mencapai batas maksimal. Dalam kondisi tersebut, beton masih bersifat elastis. Kemudian grafik parabolik akan menurun yang disebabkan oleh menurunnya nilai tegangan dan meningkatnya nilai regangan. Sifat beton berubah menjadi plastis dalam kondisi tersebut.

Mutu beton 12 MPa memiliki nilai R^2 sebesar 0,9288 yang berarti nilai keterikatan antara variabel bebas dan terikat atau r majemuk adalah 0,964. Nilai R^2 pada beton mutu 25 MPa sebesar 0,8537 dan nilai r majemuk sebesar 0,924. Nilai R^2 pada beton mutu 40 MPa sebesar 0,8615 dan nilai r majemuk sebesar 0,928. R^2 bernilai antara 0 – 1 dan akan semakin baik jika nilai R^2 mendekati 1. Nilai r majemuk bernilai antara -1 (negatif 1) hingga 1. Nilai r majemuk yang lebih besar menunjukkan hubungan yang lebih kuat.

Berdasarkan pada nilai r majemuk pada setiap mutu beton yang diuji, dapat diketahui bahwa pada beton mutu 12 MPa memiliki tingkat keeratan hubungan variabel bebas dan terikat sebesar 96,4%. Beton mutu 25 MPa memiliki tingkat keeratan hubungan variabel bebas dan terikat sebesar 92,4%. Beton mutu 40 MPa memiliki tingkat keeratan hubungan variabel bebas dan terikat sebesar 92,8%.

Nilai modulus elastisitas masing-masing mutu beton dapat diketahui menggunakan persamaan (5) pada masing-masing grafik. Nilai tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 48. Modulus elastisitas setiap mutu beton.

	fc 12 MPa	fc 25 MPa	fc 40 MPa
<i>f_c</i> puncak (MPa)	17,64	34,86	43,69
S ₂ (MPa)	7,06	13,94	17,48
S ₁ (MPa)	0,08	0,04	-0,41
ϵ_2	0,001065	0,002100	0,002111
ϵ_1	0,000050	0,000050	0,000050
<i>E_c</i> (MPa)	6877,278	6782,451	8677,519

Regangan pada benda uji silinder beton mutu 12 MPa dan 25 MPa dicatat setiap kenaikan tegangan sebesar 2,5 ton sedangkan regangan pada benda uji silinder beton mutu 40 MPa dicatat setiap kenaikan tegangan sebesar 5 ton. Nilai tegangan dan regangan setiap benda uji silinder beton pada setiap mutu beton dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 49. Modulus elastisitas tiap benda uji beton mutu 12 MPa.

No.	S₂ (MPa)	S₁ (MPa)	ϵ_2	ϵ_1	<i>E_c</i> (MPa)
1	6.55	-0.417470	0.001231	0.00005	5897.608
2	6.33	-0.265036	0.001134	0.00005	6083.384
3	6.33	-0.084265	0.000930	0.00005	7288.201
4	6.98	0.504900	0.000841	0.00005	8191.167
5	6.33	0.399445	0.000804	0.00005	7864.598
6	6.98	-0.501575	0.000962	0.00005	8207.991
7	7.20	-0.228985	0.001014	0.00005	7708.871
8	6.77	0.594516	0.001314	0.00005	4882.391
9	6.33	-0.646890	0.000915	0.00005	8065.020
10	7.42	1.730574	0.001117	0.00005	5332.751
11	6.77	0.098430	0.000970	0.00005	7247.205
12	6.33	-0.311555	0.001756	0.00005	3892.677

Tabel 49. (lanjutan).

No.	S ₂ (MPa)	S ₁ (MPa)	ε ₂	ε ₁	E _c (MPa)
13	5.67	-0.656718	0.001197	0.00005	5519.886
14	7.64	-0.729725	0.001311	0.00005	6636.478
15	7.64	0.265400	0.000812	0.00005	9676.474
16	6.11	-1.783065	0.000966	0.00005	8618.083
17	6.55	0.132435	0.000886	0.00005	7673.649
18	6.11	2.808005	0.000506	0.00005	7243.626
19	6.11	-0.058221	0.000995	0.00005	6528.381
20	5.89	0.013827	0.001464	0.00005	4157.722
21	7.64	-0.632095	0.001160	0.00005	7451.323
22	7.86	-1.736616	0.001312	0.00005	7602.015
23	6.98	0.476415	0.000761	0.00005	9152.880
24	6.55	-0.072909	0.001264	0.00005	5453.472
25	6.98	-0.185577	0.001073	0.00005	7008.495
26	6.55	0.143754	0.000961	0.00005	7029.475
27	6.33	-0.715670	0.001272	0.00005	5765.158

Tabel 50. Modulus elastisitas tiap benda uji beton mutu 25 MPa.

No.	S ₂ (MPa)	S ₁ (MPa)	ε ₂	ε ₁	E _c (MPa)
1	24.60	-2.086288	0.004148	0.000050	6512.027
2	24.40	-2.981080	0.004260	0.000050	6503.819
3	22.00	-2.063434	0.003206	0.000050	7624.662
4	24.60	-4.698674	0.004530	0.000050	6539.883
5	24.20	-3.128198	0.003061	0.000050	9076.120
6	22.80	0.758194	0.002470	0.000050	9108.184
7	24.00	-1.964462	0.003547	0.000050	7424.782
8	23.60	-2.771125	0.003067	0.000050	8740.843
9	23.20	-3.530121	0.003420	0.000050	7931.787

Tabel 50. (lanjutan).

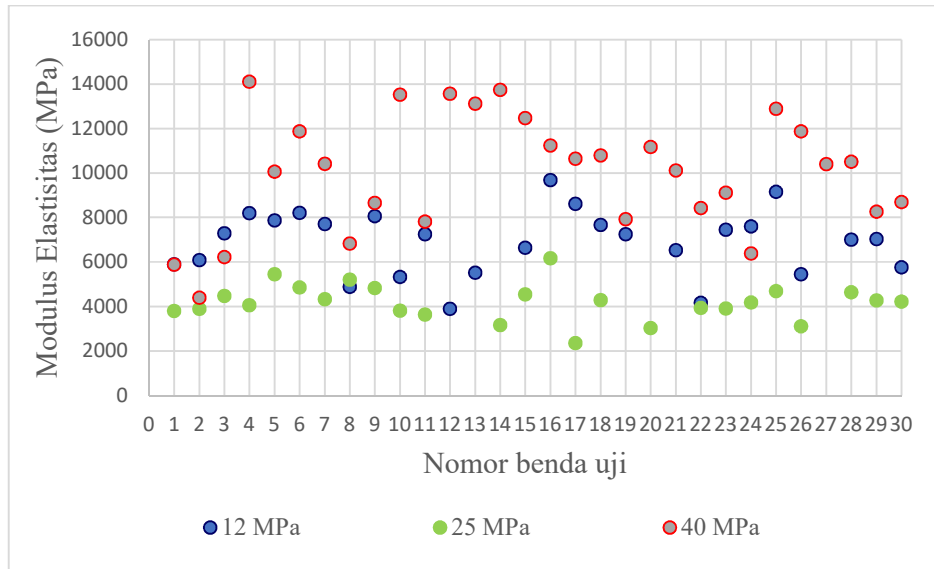
No.	S ₂ (MPa)	S ₁ (MPa)	ε ₂	ε ₁	E _c (MPa)
10	22.80	-2.268368	0.003926	0.000050	6467.587
11	24.00	-0.576082	0.003822	0.000050	6515.398
12	24.40	-3.460761	0.005386	0.000050	5221.282
13	24.60	0.538990	0.002905	0.000050	8427.674
14	22.00	-1.717750	0.002283	0.000050	10621.473
15	21.20	-3.276291	0.006380	0.000050	3866.713
16	22.40	-6.293280	0.004380	0.000050	6626.624
17	22.00	1.422351	0.003563	0.000050	5857.572
18	20.40	-1.024112	0.003156	0.000050	6897.654
19	24.00	-5.541275	0.004832	0.000050	6177.598
20	21.60	-2.963582	0.003600	0.000050	6919.319
21	24.80	0.491053	0.002842	0.000050	8706.643
22	24.40	-3.085094	0.005350	0.000050	5185.867
23	26.00	-2.609896	0.003685	0.000050	7870.673
24	22.00	-1.465701	0.003216	0.000050	7411.782
25	22.00	-0.518967	0.003031	0.000050	7554.165

Tabel 51. Modulus elastisitas tiap benda uji beton mutu 40 MPa.

No.	S ₂ (MPa)	S ₁ (MPa)	ε ₂	ε ₁	E _c (MPa)
1	15.04	-1.047	0.002788	0.000050	5876.203
2	11.12	-2.329	0.003110	0.000050	4394.203
3	15.91	-1.881	0.002913	0.000050	6215.434
4	17.00	-1.151	0.001337	0.000050	14105.781
5	14.82	-3.422	0.001863	0.000050	10063.863
6	16.13	-3.220	0.001679	0.000050	11879.300
7	16.13	-4.761	0.002057	0.000050	10410.079
8	12.21	-0.103	0.001854	0.000050	6824.055

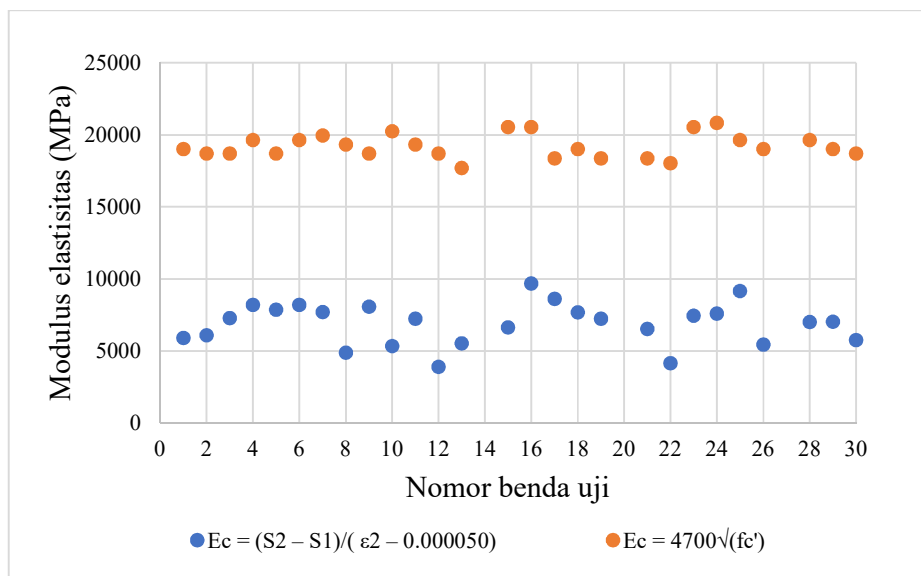
Tabel 51. (lanjutan).

No.	S ₂ (MPa)	S ₁ (MPa)	ε_2	ε_1	E _c (MPa)
9	16.35	-4.028	0.002405	0.000050	8652.713
10	18.53	-4.856	0.001779	0.000050	13525.216
11	14.39	-1.061	0.002027	0.000050	7814.008
12	15.91	-2.078	0.001376	0.000050	13568.039
13	19.40	-3.140	0.001769	0.000050	13113.133
14	17.88	-3.131	0.001579	0.000050	13738.925
15	18.53	-3.223	0.001794	0.000050	12472.907
16	15.91	-4.103	0.001830	0.000050	11245.448
17	17.66	-2.248	0.001921	0.000050	10638.981
18	16.13	-0.884	0.001626	0.000050	10796.970
19	14.61	-4.899	0.002511	0.000050	7925.571
20	15.48	-4.273	0.001818	0.000050	11171.313
21	15.04	-3.916	0.001925	0.000050	10110.720
22	15.80	-4.383	0.002448	0.000050	8418.370
23	13.52	-2.635	0.001823	0.000050	9108.938
24	11.34	-4.461	0.002526	0.000050	6379.953
25	14.61	1.410	0.001074	0.000050	12886.528
26	18.31	-4.962	0.002011	0.000050	11868.024
27	17.22	-8.160	0.002490	0.000050	10402.437
28	15.70	-1.631	0.001698	0.000050	10513.442
29	15.91	-5.168	0.002600	0.000050	8267.374
30	15.91	-2.815	0.002205	0.000050	8690.844

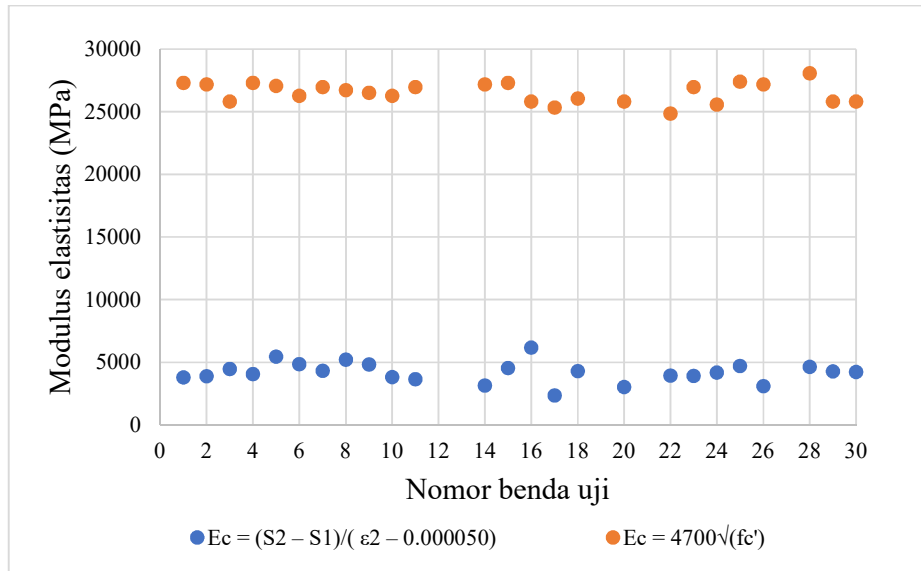


Gambar 53. Sebaran modulus elastisitas setiap mutu beton.

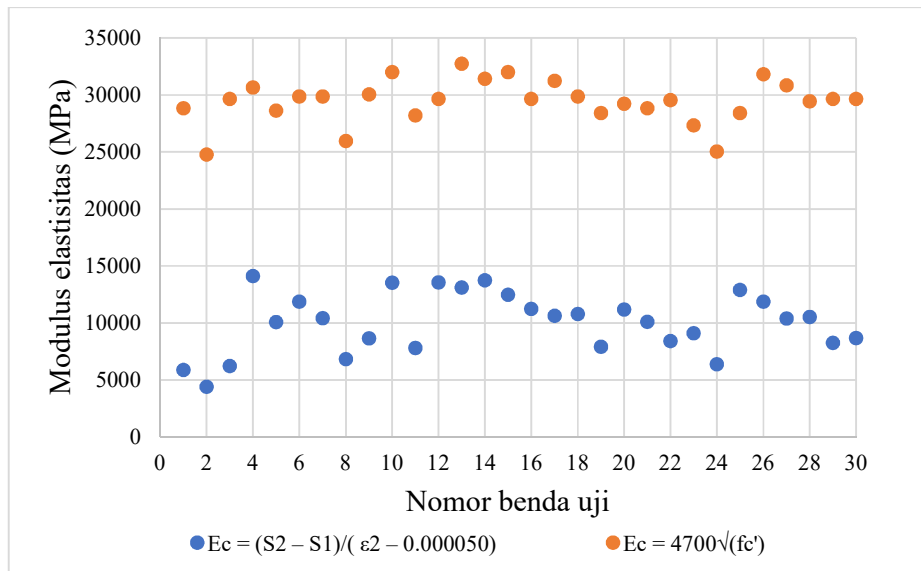
Kemudian sebaran modulus elastisitas setiap benda uji pada setiap mutu beton dibandingkan dengan modulus elastisitas yang menggunakan persamaan yang terdapat pada SNI 2847:2013 yaitu $4700\sqrt{f'c}$. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 54. Perbandingan nilai modulus elastisitas mutu 12 MPa.



Gambar 55. Perbandingan nilai modulus elastisitas mutu 25 MPa.



Gambar 56. Perbandingan nilai modulus elastisitas mutu 40 MPa.

Hasil dari perbandingan antara nilai modulus elastisitas pada setiap mutu beton yang dihasilkan oleh persamaan dari ASTM C 469 lebih rendah dari pada modulus elastisitas yang dihasilkan oleh persamaan dari SNI 2847:2013.