

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Hasil penelitian yang telah dilakukan selama Tugas Akhir meliputi analisa agregat halus, analisis agregat kasar, *mix design*, pengujian kuat tekan beton normal, pengujian kuat tekan beton dengan bahan tambah, pengujian kuat lentur balok bertulang normal dan pengujian balok bertulang dengan bahan tambah pada umur 3, 7, 14 hari untuk pengujian kuat tekan serta 28 hari untuk pengujian kuat lentur balok akan di bahas dalam bab ini. Pengujian kuat tekan pada beton dilakukan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton dengan bahan tambah yang di targetkan ada perbandingan yang signifikan dengan beton normal dan untuk mengetahui nilai lentur maksimal pada balok yang nantinya akan dibandingkan antara balok normal dengan balok bahan tambah yang diharapkan balok dengan bahan tambah memiliki nilai yang lebih kuat.

5.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Halus

Tujuan dilakukan pemeriksaan sifat fisik agregat halus adalah untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang akan digunakan sebagai material penyusun beton. Sebagai material penyusun beton, agregat halus mempunyai peran yang sangat penting dalam mempengaruhi kekuatan beton, agar mendapatkan kualitas yang baik maka perlu dilakukan pemeriksaan agregat. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian modulus halus butir.

5.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Data pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	478,3	471,9	475,1
berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	978	976	977
berat piknometer berisi air, gram (B)	672,4	672,4	672,4
berat jenis curah ($Bk/(B + 500 - Bt)$)	2,46	2,40	2,43
berat jenis kering muka ($500/(B + 500 - Bt)$)	2,57	2,54	2,56
berat jenis semu, $Bk/(B + Bk - Bt)$	2,76	2,80	2,78
Penyerapan air, ($500 - Bk)/Bk \times 100\%$)	4,54	5,95	5,2

.Berdasarkan SK.SNI.T-15-1990:1 angka berat jenis kering muka normal berada di antara 2,5-2,7. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh berat jenis kering muka sebesar 2,55. Hal ini berarti agregat yang digunakan telah memenuhi syarat dan dapat digunakan untuk pembuatan beton. Berdasarkan Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa penyerapan air rerata yang terjadi pada agregat kasar adalah sebesar 5,2 %.

5.2.2 Uji Kandungan Lumpur Agregat Halus

Data pengujian kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Data Pengujian Kandungan Lumpur Pada Agregat Halus

Pemeriksaan Lumpur Pasir		
Uraian	Hasil Pengamatan	
	sampel 1	Sampel 2
Cawan (W1), Gram	155	82
Berat Pasir kering mutlak (W2), Gram	500	500
Berat Pasir setelah dicuci dan dioven lagi, (W3) Gram	641,2	556,2
berat lumpur (W4)	13,8	25,8
Kadar lumpur %	2,76	5,16
Kadar lumpur rata - rata %	3,96	

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982) pasir yang bisa yang digunakan untuk bahan bangunan jika kandungan lumpurnya tidak lebih dari 5% (lima persen). Dari Tabel 5.2 dapat dilihat kandungan lumpur pada pasir sebesar 3,96%. Setelah ini berarti pasir tersebut langsung dapat digunakan dalam pembuatan beton tanpa harus dicuci terlebih dahulu.

5.2.3 Modulus Halus Butir Agregat Halus

Data pengujian modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3 dibawah ini

Tabel 5.3 Modulus Halus Butir Agregat Halus

NO Ayakan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4	4.8	11,5	0,58	0,58	99.42%
8	2.4	109,1	5,56	6,03	93.97%
16	1.2	258,2	12,91	18,49	81.06%
30	0.6	658,4	32,92	51,87	48.13%
50	0.3	601	30,05	81,92	18.08%
100	0.15	293,5	14,67	96,59	3.41%
	Sisa	68,2	3,41	100	0.00%
Jumlah		1999,9	100,00	255,92	

Berdasarkan Tabel 5.3, maka nilai modulus halus butir (MHB) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{255,92}{100} = 2,55$$

Sesuai dengan syarat SNI 03-1750-1990 modulus halus butir yaitu 1,5 - 3,8. Oleh karena itu pasir yang digunakan cukup baik dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh SNI.

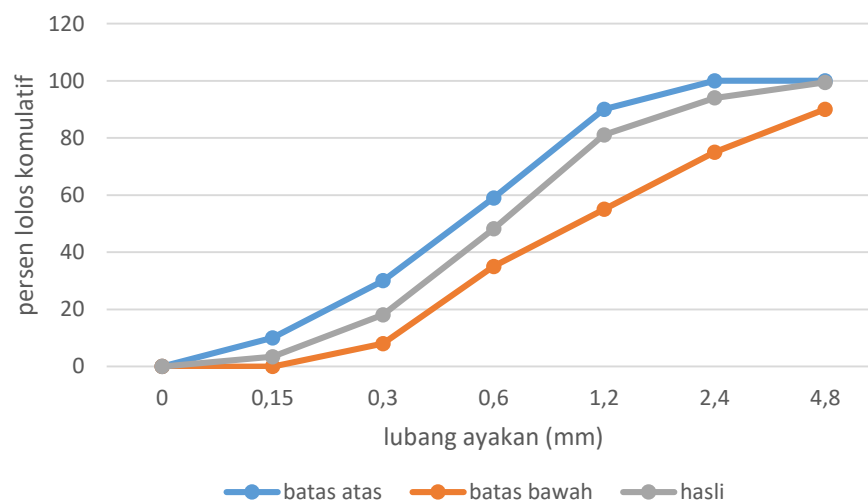
Hasil pengujian MHB digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat halus. Penentuan daerah gradasi agregat halus berdasarkan persentase berat butir agregat lolos ayakan yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.4 Gradasi Pasir

No Ayakan	Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
4	4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
8	2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
16	1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
30	0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
50	0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
100	0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

Berdasarkan tabel gradasi pada Gambar 5.4, gradasi yang dihasilkan dari pengujian MHB agregat halus berada dalam batas yang disyaratkan, gradasi tersebut berada pada daerah II dengan jenis gradasi pasir agak kasar, dan grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan yang dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus Daerah 2

5.3 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Kasar

Agregat kasar adalah salah satu material penyusun beton dengan persentase paling besar dibandingkan material penyusun beton yang lainnya. Sifat agregat kasar juga penting untuk diketahui karena agregat kasar memberikan pengaruh besar terhadap kekuatan beton. Pengujian agregat kasar yang dilakukan sama dengan pengujian agregat halus, hanya saja untuk pengujian kadar lumpur tidak dilakukan karena agregat kasar telah dicuci sebelum digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan,

5.3.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Data pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4943	4939	4941
berat krikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3074	3053	3063,5
berat jenis curah, (Bk/Bj- Ba)	2.5665	2.5367	2.55
berat jenis jenuh kering muka, (Bj/Bj- Ba)	2.596	2.5681	2.58
berat jenis semu, (Bk/Bk- Ba)	2.644	2.6188	2.63
Penyerapan air, (Bj - Bk)/Bk x 100%	1,15	1,25	1,19

Berdasarkan SK.SNI.T-15-1990:1 angka berat jenis kering muka normal berada di antara 2,5-2,7. Dari Tabel 5.5 dapat dilihat hasil dari pengujian berat jenis jenuh kering muka didapatkan angka rata-rata sebesar 2,58. Hal ini berarti agregat yang digunakan telah memenuhi syarat dan dapat digunakan untuk pembuatan beton. Berdasarkan Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa penyerapan air rerata sebesar 1,19 %.

5.3.2 Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Data pengujian modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

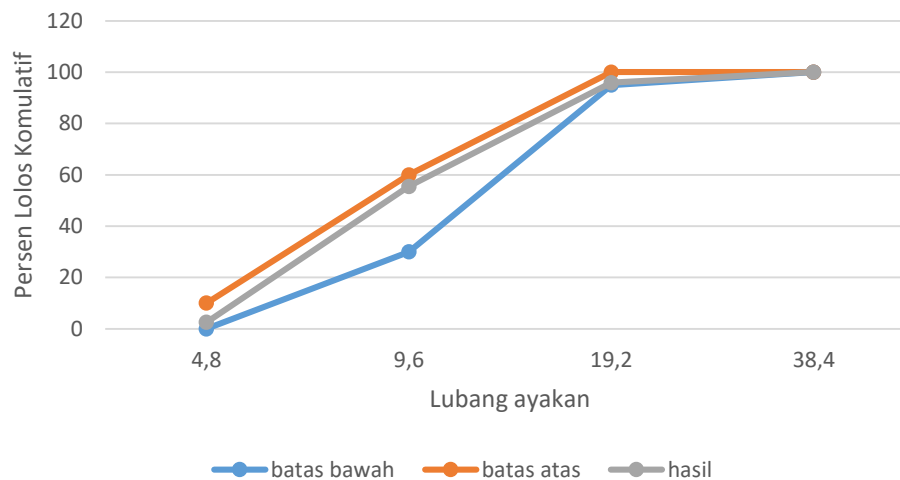
Tabel 5.6 Modulus Halus Butir Agregat Kasar

lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (Gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	persen lolos kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	204,4	4,09	4,09	95,91
10	2022,7	40,46	44,54	55,91
4.8	2645,7	52,92	97,46	2,54
2.4	15,1	0,3	97,76	2,24
1.2		0,00	97,76	2,24
0.6		0,00	97,76	2,24
0.3		0,00	97,76	2,24
0.15		0,00	97,76	2,24
Sisa	111,9	2,24	100,00	0,00
Jumlah	5000	100,000	634,9	-

Berdasarkan data dari Tabel 5.6, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{634,9}{100} = 6,34 \%$$

Hasil pengujian MHB digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat kasar. Gradasi yang dihasilkan dari pengujian MHB agregat kasar berada dalam batas yang disyaratkan yaitu pada gradasi daerah II yaitu gradasi dengan jenis besar butir maksimum 20 mm, dan grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Gradasi Agregat Kasar Daerah 2

5.4 Mix Design Beton

Perhitungan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada SNI-03-2834-2000 dengan 3 mutu yang direncanakan yaitu 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan *mix design* dengan contoh 20 MPa :

1. Kuat tekan yang direncanakan = 20 MPa
2. Menentukan nilai tambah (M)

Nilai tambah dapat dilihat pada SNI-03-2834-2000 , karena jumlah pengujian setiap variasi yang di buat adalah 6 buah maka jumlah data uji tersebut kurang dari 15 buah, oleh karena itu kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'_c + 12 \text{ MPa})$.

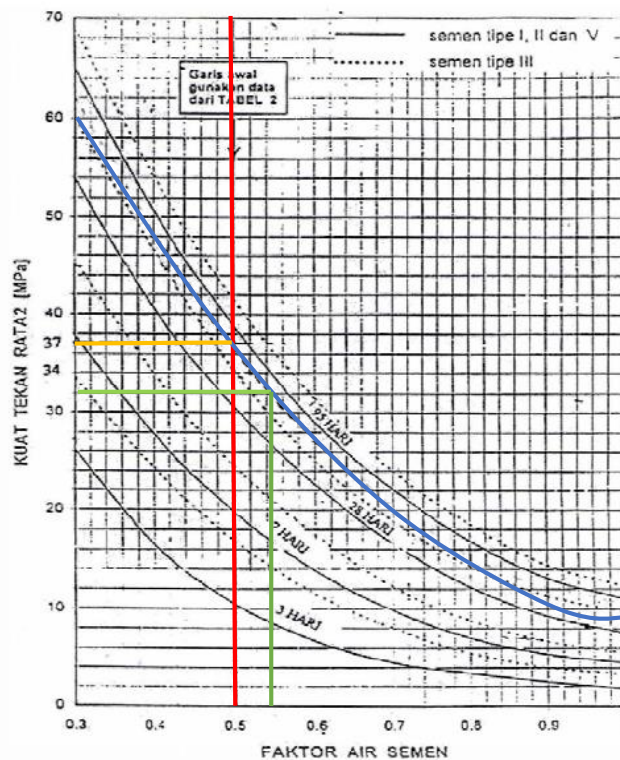
3. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan $(f'_{cr}) = f'_c + M$

$$f_{cr} = 20 + 12$$

$$f_{cr} = 32 \text{ MPa}$$

4. Jenis semen ditetapkan menggunakan semen pertland tipe 1
5. Jenis agregat halus yang digunakan, yaitu alami, menggunakan pasir Progo.
6. Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah berasal dari lereng gunung Merapi dengan ukuran maksimal 20 mm.
7. Faktor air semen ditentukan berdasarkan kuat tekannya. Berikut urutan menentukan Faktor Air Semen (FAS) :

- a. Berdasarkan SNI 2834 2000 , jenis semen tipe 1 , jenis agregat kasar batu pecah benda uji silinder kuat tekan pada umur 28 hari adalah 20 MPa.
- b. Pembacaan grafik dengan mendapat nilai fas :0,54 dengan pembacaan sebagai berikut.
- 1) Berdasarkan Tabel 3.5 , jenis semen tipe 1 , jenis agregat kasar batu pecah benda uji silinder kuat tekan pada umur 28 hari adalah 37 MPa.
 - 2) Tarik garis pada kuat tekan 37 MPa sampai menyentuh garis tepat tegak lurus pada nilai fas 0,5. Tarik garis perpotongan berbentuk melengkung menyentuh garis kuat tekan 37 MPa dan nilai fas 0,5, lihat Gambar 5.3.
 - 3) Lalu tarik garis f_{cr} rencana = 32 MPa sampai menyentuh garis lengkung, lalu tarik tegak lurus kebawah hingga didapat nilai fas = 0,54



Gambar 5.3 Penentuan Faktor Air Semen.

(Benda Uji Berbentuk Silinder Dengan Diameter 150 mm × Tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Penetapan kebutuhan Air

Penentuan kebutuhan air dapat digunakan berdasarkan SNI 2834 2000, berikut urutan penentuan kebutuhan air :

- a. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar adalah 20 mm.
- b. Penetapan nilai slump, nilai slump berpengaruh terhadap *workability*, pada penelitian ini penetapan nilai slump sebesar 60-180 mm.
- c. Maka diperoleh :

Batu tak dipecahkan / alami (Wh) = 195

Batu pecah (Wk) = 225

$$d. \text{Kebutuhan Air} = \frac{2}{3} \text{Wh} + \frac{1}{3} \text{Wk}$$

$$\text{Kebutuhan Air} = \frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225 = 205\text{kg}$$

9. Penetapan Jumlah Semen minimum

Berdasarkan Tabel 3.4 didapatkan penentuan jumlah semen minimum sebagai berikut :

Jumlah semen = kebutuhan air / fas

$$\text{Jumlah semen} = 205 / 0,54$$

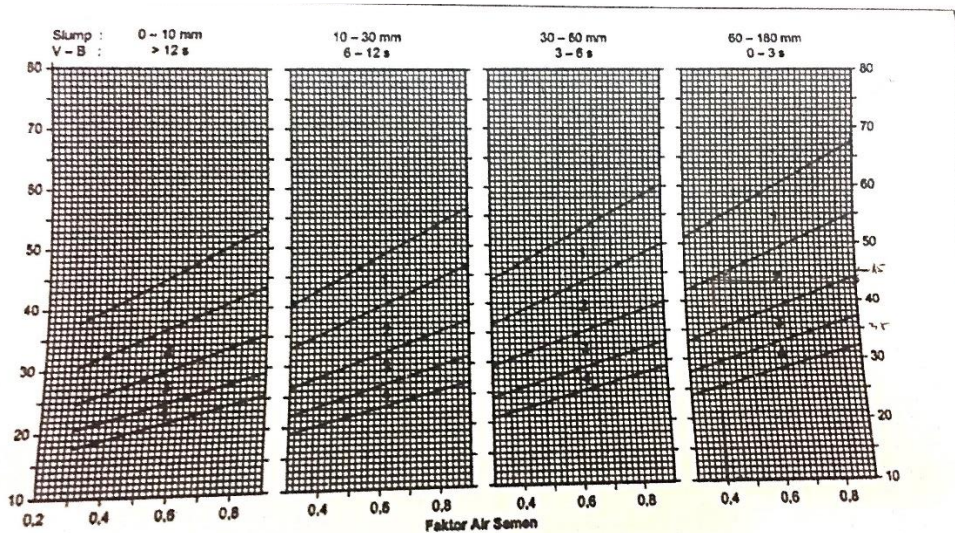
$$\text{Jumlah semen} = 379,629 \text{ kg}$$

Kadar semen minimum dengan jenis pembetonan beton di dalam ruangan bangunan serta beton keadaan keliling tidak korosif adalah 275 kg. Berdasarkan perhitungan jumlah semen lebih besar dibandingkan dengan kadar semen minimum maka digunakan jumlah semen yaitu 379,629 kg

10. Penentuan Persentase Agregat

- a. Cara menentukan persentase agregat yang pertama yaitu kita harus dapat menentukan batas bawah dan batas atas terlebih dahulu pada Gambar 5.4 di bawah. Pertama menentukan titik faktor air semen (fas) yaitu 0,54 berdasarkan perhitungan sebelumnya.
- b. Setelah faktor air semen (fas) sudah ditentukan lalu menarik garis lurus pada gradasi yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu gradasi 2

- c. Setelah garis faktor air semen (fas) sudah bersingungan dengan garis batas gradasi 2, cara selanjutnya adalah dengan menarik garis tegak lurus ke arah kanan, sehingga didapatkan batas bawah dan batas atasnya.



Grafiik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 5.4 Penentuan Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Digunakan Pada Penelitian

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- d. Dari Gambar 5.4 didapatkan sebagai berikut :

Batas bawah : 37

Batas atas : 47

Prosentase agregat halus : $\frac{37+47}{2} = 42\%$

Prosentase agregat kasar : $100\% - 42\% = 58\%$

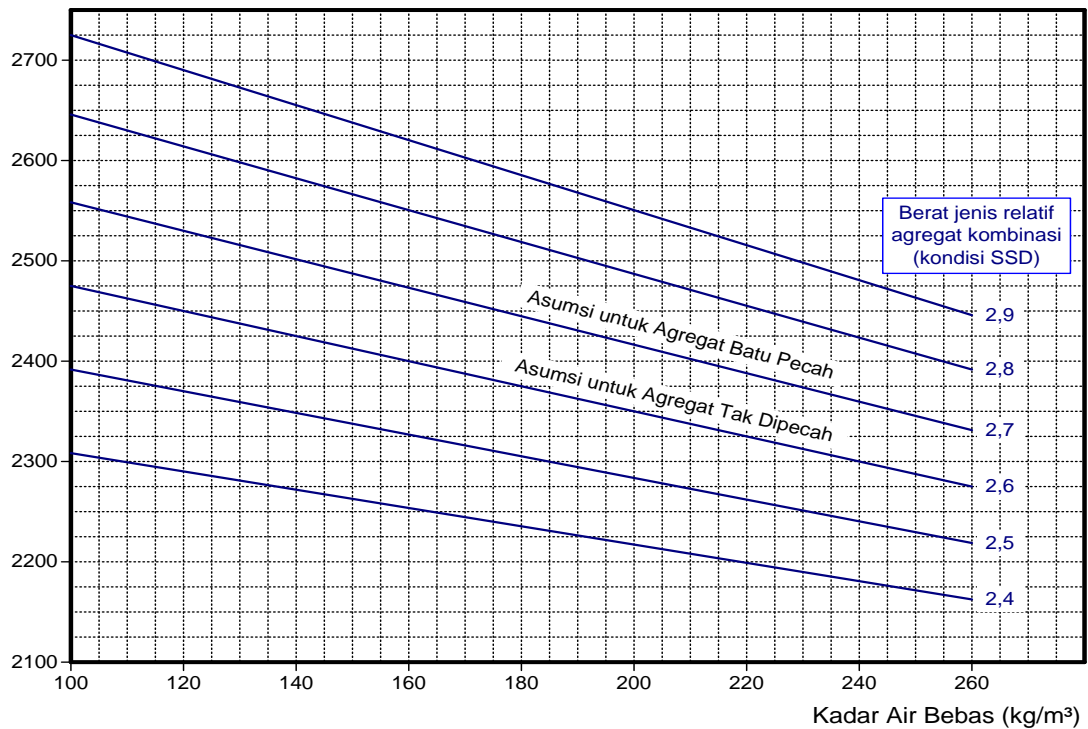
11. Berat Jenis Agregat

a. Berat jenis SSD pasir : 2,55

b. Berat jenis SSD kerikil : 2,58

c. Berat jenis gabungan : $(\frac{42}{100} \times 2,55) + (\frac{58}{100} \times 2,58) = 2,56$

12. Menentukan Berat Isi Beton



Gambar 5.5 Penentuan Berat Isi Beton Basah

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari Gambar 5.5 diatas diperoleh berat isi beton adalah 2300 kg/m³.

13. Penentuan Berat Agregat Campuran.

Berat Agregat Campuran = Berat Isi beton – berat semen – berat Air

$$\text{Berat Agregat Campuran} = 2300 - 379,629 - 205$$

$$\text{Berat Agregat Campuran} = 1715,371 \text{ kg/m}^3$$

14. Penentuan berat agregat halus dan agregat kasar yang diperlukan.

$$\text{Berat Agregat Halus} = \frac{42}{100} \times 1715,371 \text{ kg/m}^3 = 720,455 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat Agregat Kasar} = 1667,917 - 675,506 = 994,916 \text{ kg/m}^3$$

15. Rekapitulasi *mix design* beton dengan mutu 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 5.7, Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 di bawah ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi *Mix Design* Beton Menggunakan Metode SNI 03-2834-2000 Mutu 20 MPa

N0	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan rencana ($f'c$)	20	MPa
2	<i>Deviasi Standart</i>	-	
3	Nilai Tambah	12	
4	Kuat Tekan Beton Ditargetkan (f_{cr})	32	MPa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
8	Faktor air semen (fas)	0,54	
9	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm
10	Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Halus (Wh)	195	mm
11	Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Kasar (Wk)	225	mm
12	Bj Agregat Halus	2,55	
13	Bj Agregat Kasar	2,58	
14	BJ butiran Agregat Gabungan	2,56	
15	Persen Agregat Halus	42	%
16	Persen Agregat Kasar	58	%
17	Berat Isi beton	2300	Kg/ m ³
18	Kadar Gregat Gabungan	1715,379	Kg/ m ³
19	Kadar Agregat Halus	720,455	Kg/ m ³
20	Kadar Agregat Kasar	994,916	Kg/ m ³
21	Kadar Semen Yang Digunakan	379,629	Kg/ m ³

Tabel 5.8 Rekapitulasi *Mix Design* Beton Menggunakan Metode SNI 03-2834-2000 Mutu 25 Mpa

N0	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan rencana (f_c)	25	MPa
2	<i>Deviasi Standart</i>	-	
3	Nilai Tambah	12	
4	Kuat Tekan Beton Ditargetkan (f_{cr})	37	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
8	Faktor air semen (f_{as})	0,52	
9	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm
10	Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Halus (W_h)	195	mm
11	Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Kasar (W_k)	225	mm
12	Bj Agregat Halus	2,55	
13	Bj Agregat Kasar	2,58	
14	BJ butira Agregat Gabungan	2,567	
15	Persen Agregat Halus	41	%
16	Persen Agregat Kasar	59	%
17	Berat Isi beton	2315	Kg/ m ³
18	Kadar Gregat Gabungan	1715,77	Kg/ m ³
19	Kadar Agregat Halus	703,565	Kg/ m ³
20	Kadar Agregat Kasar	1012,305	Kg/ m ³
21	Kadar Semen Yang Digunakan	394,230	Kg/ m ³

Tabel 5.9 Rekapitulasi *Mix Design* Beton Menggunakan Metode SNI 03-2834-2000 Mutu 30 MPa

N0	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan rencana (f_c)	30	MPa
2	<i>Deviasi Standart</i>	-	
3	Nilai Tambah	12	
4	Kuat Tekan Beton Ditargetkan (f_{cr})	42	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
8	Faktor air semen (f_{as})	0,45	
9	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm
10	Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Halus (W_h)	195	mm
11	Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Kasar (W_k)	225	mm
12	Bj Agregat Halus	2,55	
13	Bj Agregat Kasar	2,58	
14	BJ butira Agregat Gabungan	2,569	
15	Persen Agregat Halus	40	%
16	Persen Agregat Kasar	60	%
17	Berat Isi beton	2320	Kg/ m ³
18	Kadar Gregat Gabungan	1659,44	Kg/ m ³
19	Kadar Agregat Halus	663,776	Kg/ m ³
20	Kadar Agregat Kasar	995,664	Kg/ m ³
21	Kadar Semen Yang Digunakan	455,556	Kg/ m ³

5.5 Perhitungan Kuat Tekan Beton

Pada subbab ini akan di jelaskan tentang hasil dan pembahasan dari uji kuat tekan beton

5.5.1 Perhitungan Volume *Mix Design* Benda Uji Silinder

Perhitungan ini dilakukan untuk mencari berat volume dan mencari berat masing-masing agregatnya untuk tiap silinder beton dengan perhitungan pada satu silinder yang berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm maka di dapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi D^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi 15^2 30 = 5298,75 \text{ cm}^3 / 0,005298 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka volume tiap satu silinder adalah 0,005298 m³, dengan hasil tersebut selanjutnya volume silinder dapat dihitung dengan cara mengalikan tiap tiap agregat dengan volume silinder dan dikali 120% untuk *safety* dari *mix design*. Dapat diambil contoh perhitungan beton normal mutu 20 MPa yang tiap-tiap agregatnya dapat dilihat pada tabel 5.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus} &= 720,455 \times 0,005298 \times 120\% = 4,5811 \text{ kg} \\ \text{Agregat kasar} &= 994,916 \times 0,005298 \times 120\% = 6,3262 \text{ kg} \\ \text{Semen} &= 379,629 \times 0,005298 \times 120\% = 2,4133 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 205,000 \times 0,005298 \times 120\% = 1,3033 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan *mix design* beton dengan bahan tambah 20 MPa ada sedikit perbedaan dengan menambahkan *bestmittel* dan *fly ash* maka perhitungan semennya berubah, karena berat semen akan dikurangi dengan berat *flyash* yang penggunaannya yaitu 5% dari berat semen dan untuk *bestmittel* penggunaannya tidak mengurangi apapun hanya perhitungan dari *bestmittel* ini adal 0,6 % dari berat semen, maka dari itu hasil *mix design* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus} &= 720,455 \times 0,005298 \times 120\% = 4,5811 \text{ kg} \\ \text{Agregat kasar} &= 994,916 \times 0,005298 \times 120\% = 6,3262 \text{ kg} \\ \text{Semen} &= 379,629 \times 0,005298 \times 120\% = 2,4133 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air} &= 205,000 \times 0,005298 \times 120\% = 1,3033 \text{ kg} \\ \text{Fly Ash} &= 5\% \times 2,4133 = 0,1207 \text{ kg} \\ \text{Bestmittel} &= 0,6\% \times 2,4133 = 0,0138 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lainnya dapat dilihat pada tabel 5.10 rekap hasil *mix design* silinder beton berikut ini:

Tabel 5.10 Rekap Hasil *Mix Design* Silinder Beton

No	Mutu Beton (Mpa)	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji			Jumlah (buah)	Bahan Penyusun Beton (kg)					
			3 hari	7 hari	14 hari		AH	AK	S	A	F	B
1	20	BeNM20	3	3	3	9	41,22	56,93	21,72	11,73	0	0
2	25	BeNM25	3	3	3	9	40,25	57,93	22,56	11,73	0	0
3	30	BeNM30	3	3	3	9	37,98	56,98	26,07	11,73	0	0
4	20	BeBTM20	3	3	3	9	41,22	56,93	20,64	11,73	1,08	0,12
5	25	BeBTM25	3	3	3	9	40,25	57,93	21,44	11,73	1,12	0,13
6	30	BeBTM30	3	3	3	9	37,98	56,98	24,77	11,73	1,30	0,14
Total						54	225,13	339,88	156,04	70,38	4	0,45

Keterangan:

BeNM20 : Beton normal mutu 20 Mpa.

BeNM25 : Beton normal mutu 25 Mpa.

BeNM30 : Beton normal mutu 30 Mpa.

BeBTM20 : Beton dengan bahan tambah 5% *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* mutu 20 Mpa.

BeBTM25 : Beton dengan bahan tambah 5% *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* mutu 25 Mpa.

BeBTM30 : Beton dengan bahan tambah 5% *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* mutu 30 Mpa.

AH : Agregat Halus

AK : Agregat Kasar

S : Semen

A : Air

F : *Fly Ash*

B : *Bestmittel*

5.5.2 Hasil Pengujian Slump

Uji Slump adalah suatu uji yang digunakan untuk menentukan apakah beton tersebut dapat dikerjakan atau tidak dari campuran beton segar (*fresh concrete*) agar dapat menentukan tingkat *workability*. Dalam suatu campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan, untuk itu uji slump menunjukkan apakah campuran beton kekurangan, kelebihan, atau cukup air. Dalam suatu campuran beton, kadar air sangat diperhatikan karena menentukan tingkat *workability* nya atau tidak. *Workability* pada beton diasosiasikan dengan kerapatan campuran beton, kelekatan adukan pasta semen, kemampuan alir beton segar, kemampuan beton segar mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindahkan dengan alat angkut serta mengindikasikan apakah beton masih dalam kondisi plastis (Arthana 2017). Campuran beton yang terlalu cair akan menyebabkan mutu beton rendah, dan lama mengering. Sedangkan campuran beton yang kekurangan air menyebabkan adukan tidak merata dan sulit untuk dicetak serta rentan terhadap terjadinya pecah pada beton.

Pada penelitian kali ini pengujian slump dilakukan sebanyak 1 kali dalam satu kali campuran beton normal maupun beton normal atau dengan campuran limbah abu terbang dan *Bestmittel*. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.11

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Slump

No	Kode Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump (Cm)
		<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bestmittel</i> (%)	
1	BeNM20	0	0	11
2	BeNM25			10
3	BeNM30			12
4	BeBTM20	5	0,6	8,5
5	BeBTM25			9
6	BeBTM30			8

Berdasarkan Tabel 5.12 dapat diketahui bahwa nilai slump dengan campuran 5% limbah abu terbang (*fly ash*) dengan 0,6 % *bestmittel* nilai slumpnya lebih rendah dibanding beton normal.

Berdasarkan hasil penyerapan air pada agregat halus, agregat kasar, limbah abu terbang (*fly ash*), dan *bestmittel*, menunjukkan bahwa penyerapan air oleh beton bahan tambah limbah abu terbang (*fly ash*) dan *bestmittel* lebih besar dari beton normal yang hanya berisi semen, agregat halus dan agregat kasar.

5.5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian beton dilakukan pada beton normal atau dengan bahan tambah 5% *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* dengan mutu masing masing 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa. Pengujian dilakukan pada 54 benda uji dengan uji tekan. Sebelum pengujian dilakukan, pada bagian atas benda uji diberi kaping dengan tujuan agar permukaan bidang tekan menjadi rata sehingga beban yang diterima dapat terdistribusi secara merata, dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Hasil Pengujian Beton Normal

Pengujian beton dengan uji tekan beton normal yang dilakukan terhadap 3 sampel dapat dilihat pada perhitungan berikut. Rekapitulasi pengujian tekan beton normal dapat dilihat pada perhitungan berikut

a. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 20 Mpa 3 hari

Benda Uji BNM20

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{225000 \text{ N}}{16672,82 \text{ mm}^2} \\ &= 13,495 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 20 MPa 3 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM20-1	225000	16672,82	13,49	12.993	32,48
BeNM20-2	210000	16513,00	12,72		
BeNM20-3	215000	17203,36	12,49		

b. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 20 Mpa 7 hari

Benda Uji BeNM20

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{320000 \text{ N}}{17624,37 \text{ mm}^2} \\
 &= 18,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 20 MPa 7 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM20-1	320000	17624,37	18,16	18,82	28,94
BeNM20-2	310000	17860,46	17,36		
BeNM20-3	370000	17671,46	20,94		

c. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 20 Mpa 14 hari

Benda Uji BeNM20

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{450000 \text{ N}}{17742,22 \text{ mm}^2} \\
 &= 25,36 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 20 MPa 14 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM20-1	450000	17742,22	25,36	25,25	28,69
BeNM20-2	420000	17671,46	23,77		
BeNM20-3	470000	17647,90	26,63		

d. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 25 Mpa 3 hari

Benda Uji BeNM25

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{350000 \text{ N}}{17133,69 \text{ mm}^2} \\
 &= 20,43 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 25 MPa 3 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM25-1	215000	17133,69	20,43	14,67	36,68
BeNM25-2	265000	17695,03	20,34		
BeNM25-3	295000	17884,15	18,45		

e. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 25 Mpa 7 hari

Benda Uji BeNM25

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{440000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 22,46 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 25 MPa 7 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BNM25-1	440000	17671,46	22,64	22,30	34,31
BNM25-2	375000	17436,62	21,51		
BNM25-3	405000	17789,46	22,77		

f. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 25 Mpa 14 hari

Benda Uji BeNM25

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{595000N}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 33,43 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 25 MPa 14 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM25-1	595000	17765,83	33,43	30,44	34,58
BeNM25-2	500000	17860,64	29,82		
BeNM25-3	520000	17436,62	28,10		

g. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 30 Mpa 3 hari

Benda Uji BeNM30

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{290000N}{17413,23 \text{ mm}^2} \\
 &= 16,65 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 30 MPa 3 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BNM30-1	290000	17413,23	16,65	15,66	39,15
BNM30-2	300000	17553,85	17,09		
BNM30-3	230000	17366,48	18,43		

h. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 30 Mpa 7 hari

Benda Uji BeNM30

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{480000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 27,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 30 MPa 7 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM30-1	480000	17671,46	27.16	26,65	41
BeNM30-2	450000	17765,83	25.33		
BeNM30-3	490000	17671,46	27.73		

i. Pengujian Tekan Beton Normal Mutu 30 Mpa 14 hari

Benda Uji BeNM30

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{615000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 34,80 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal 30 MPa 14 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeNM30-1	615000	17671,46	34,80	33,67	38,261
BeNM30-2	600000	17765,83	33,95		
BeNM30-3	570000	17671,46	32,26		

2. Hasil Pengujian Beton Bahan Tambah

Pegujian beton dengan uji tekan beton bahan tambah yang dilakukan terhadap 3 sampel dapat dilihat pada perhitungan berikut. Rekapitulasi pengujian tekan beton bahan tambah dapat dilihat pada perhitungan berikut

a. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 20 Mpa 3 hari

Benda Uji BeBTM20

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{255000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\ &= 14,43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 20 MPa 3 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (f'c.r) (MPa)	Konversi 28 Hari (f'c) (MPa)
BeBTM20-1	255000	17671,46	14,43	15.02	37,56
BeBTM20-2	230000	17203,36	13.37		
BeBTM20-3	300000	17366,48	17.27		

b. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 20 Mpa 7 hari

Benda Uji BeBTM20

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{545000 \text{ N}}{17718,16 \text{ mm}^2} \\ &= 30,76 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 20 MPa 7 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM20-1	545000	17718,61	30,76	24,44	37,6
BeBTM20-2	360000	17156,90	20,98		
BeBTM20-3	300000	17366,48	21,59		

c. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 20 Mpa 14 hari

Benda Uji BeBTM20

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{490000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 27,73 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.23 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 20 MPa 14 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM20-1	490000	17671,46	27,73	27,57	31,329
BeBTM20-2	510000	17156,90	28,48		
BeBTM20-3	470000	17366,48	27,06		

d. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 25 Mpa 3 hari

Benda Uji BeBTM25

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{275000 \text{ N}}{16902,47 \text{ mm}^2} \\
 &= 16,26 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.24 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 25 MPa 3 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM25-1	275000	16902,47	16,26	15,91	39,79
BeBTM25-2	265000	17203,36	14,98		
BeBTM25-3	295000	17319,80	16,50		

e. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 25 Mpa 7 hari

Benda Uji BeBTM25

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{4000000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 22,64 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.25 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 25 MPa 7 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM25-1	400000	17671,46	22,46	25,66	39,48
BeBTM25-2	455000	17813,11	25,54		
BeBTM25-3	500000	17366,48	28,79		

f. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 25 Mpa 14 hari

Benda Uji BeBTM25

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{735000 \text{ N}}{17366,48 \text{ mm}^2} \\
 &= 42,32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.26 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 25 MPa 14 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM25-1	735000	17366,48	42,32	40,11	45,45
BeBTM25-2	715000	17624,37	40,57		
BeBTM25-3	650000	17366,48	37,43		

g. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 30 Mpa 3 hari

Benda Uji BeBTM30

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{310000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 17,54 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.27 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tamabah 30 MPa 3 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BBTM30-1	310000	17671,46	17,54	17,64	44,09
BBTM30-2	330000	17671,46	18,67		
BBTM30-3	295000	17366,48	16,69		

h. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 30 Mpa 7 hari

Benda Uji BeBTM30

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{560000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} \\
 &= 31,69 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.28 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 30 MPa 7 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM30-1	560000	17671,46	31,69	30,75	47,30
BeBTM30-2	510000	17671,46	28,86		
BeBTM30-3	560000	17671,46	31,69		

- i. Pengujian Tekan Beton Bahan Tambah Mutu 30 Mpa 14 hari

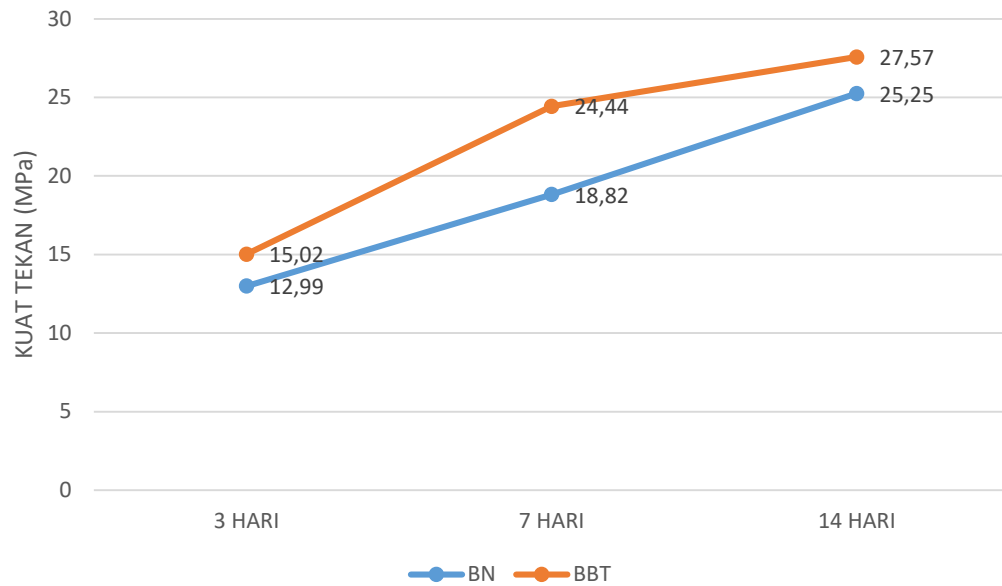
Benda Uji BeBTM30

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{715000 \text{ N}}{17907,86 \text{ mm}^2} \\
 &= 39,93 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.29 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Bahan Tambah 30 MPa 14 Hari

Kode Sampel	Beban (P) (N)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Kuat Tekan (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)	Kuat Desak Rata-Rata (<i>f'</i> <i>c.r</i>) (MPa)	Konversi 28 Hari (<i>f'</i> <i>c</i>) (MPa)
BeBTM30-1	715000	17907,86	39,93	41,91	47,62
BeBTM30-2	755000	17600,84	42,90		
BeBTM30-3	750000	17389,85	43,13		

Dari point 1 dan 2 di atas dapat dibandingkan dan digambarkan dengan grafik pada Gambar 5.6- Gambar 5.8 sebagai berikut

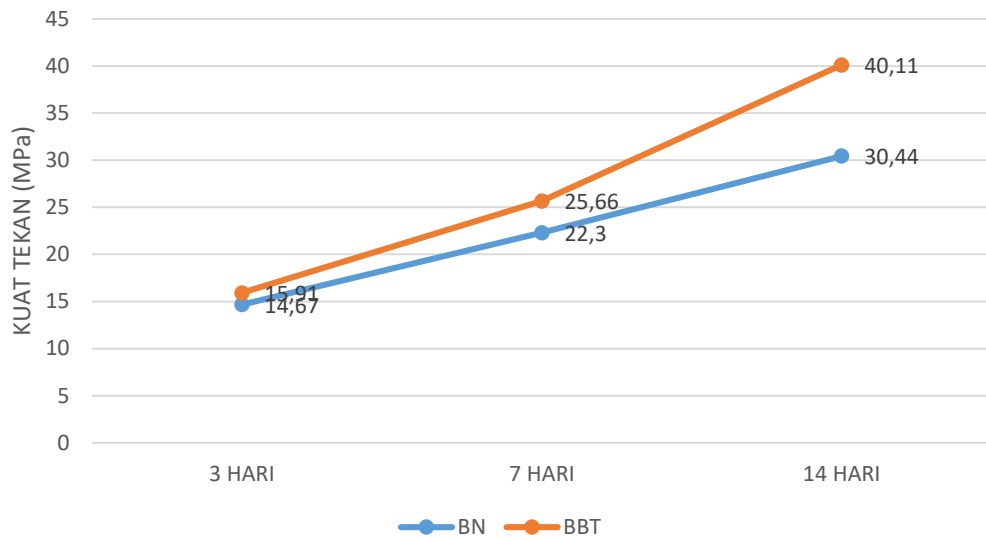


Gambar 5.6 Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata Beton Normal dan Beton Bahan Tambah 20 MPa pada Umur 3 Hari, 7 Hari dan 14 Hari

Keterangan: BN = Beton Normal

BBT = Beton Bahan Tambah (5 % *fly ash* dan 0,6% *bestmittel*)

Dari perhitungan dan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa setiap beton normal memiliki peningkatan kuat tekan beton ketika di tambah 5% *fly ash* dan 0,6 % *bestmittel* , dengan prosentase rata rata kuat tekan, beton mutu 20 MPa 3 hari 12,99 MPa – 15,02 Mpa (15,62%), beton mutu 20 MPa 7 hari 18.82 MPa – 24,44 MPa (29,86%), beton mutu 20 MPa 14 hari 25,25 MPa – 27,57 MPa (9,18%).

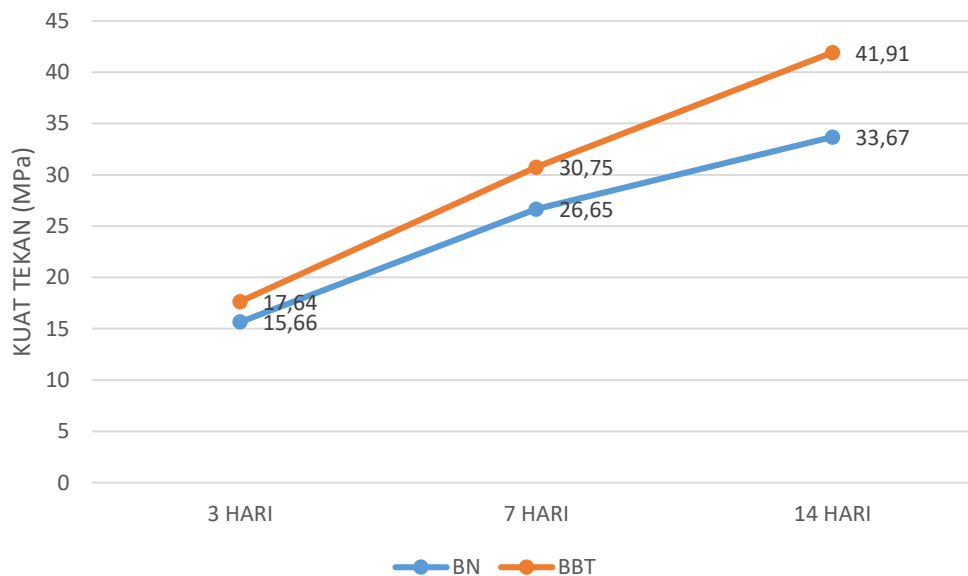


Gambar 5.7 Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata Beton Normal dan Beton Bahan Tambah 25 MPa pada Umur 3 Hari, 7 Hari dan 14 Hari

Keterangan: BN = Beton Normal

BBT = Beton Bahan Tambah (5 % *fly ash* dan 0,6% *bestmittel*)

Dari perhitungan dan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa setiap beton normal memiliki peningkatan kuat tekan beton ketika di tambah 5% *fly ash* dan 0,6 % *bestmittel* , dengan prosentase rata rata kuat tekan, beton mutu 25 MPa 3 hari 14,67 MPa – 15,91 MPa (8,45%), beton mutu 25 MPa 7 hari 22,33 MPa - 25,66 MPa (14,91%), beton mutu 25 MPa 14 hari 30,44 MPa – 40,11 MPa (31,76%)



Gambar 5.8 Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata Beton Normal dan Beton Bahan Tambah 30 MPa pada Umur 3 Hari, 7 Hari dan 14 Hari

Keterangan: BN = Beton Normal

BBT = Beton Bahan Tambah (5 % *fly ash* dan 0,6% *bestmittel*)

Dari perhitungan dan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa setiap beton normal memiliki peningkatan kuat tekan beton ketika di tambah 5% *fly ash* dan 0,6 % *bestmittel* , dengan prosentase rata rata kuat tekan, beton mutu 30 MPa 3 hari 15,66 MPa – 17,64 MPa (12,64%), beton mutu 30 MPa 7 hari 26,65 MPa – 30,75 MPa (15,38%) dan beton mutu 30 MPa 14 hari 33,67 MPa – 41,91 MPa (24,51%).

Dapat dilihat dan disimpulkan dari seluruh percobaan pada semua benda uji dengan menggunakan *fly ash* dan *bestmittel* terdapat kenaikan dengan kenaikan terbesar ada pada beton mutu 25 MPa dengan umur beton 14 dengan prosentase 31,76 % dan yang terendah ada pada beton mutu 25 Mpa umur beton 3 hari dengan prosentase 8,45 %, dapat dilihat juga rata-rata beton dengan bahan tambah saat umur beton 7 hari dan 14 hari, semua beton sudah mencapai mutu yang direncanakan selama 28 hari. Dari bahan tambah *bestmittel* menyebutkan untuk nilai kuat tekan beton mencapai umur rencana pada saat umur 10 hari. Dapat saya simpulkan bahan tambah berpengaruh pada kuat tekan beton dengan laju kenaikan mencapai 31,76 % dengan hasil ini membuktikan bahwa *fly ash* sebagai bahan

tambah sebagian semen mampu meningkatkan kuat tekan beton yang berasal dari silica yang terdapat pada *fly ash* yang sangat berpengaruh pada proses hidrasi sehingga mempengaruhi kuat tekan pada beton, *silica* pada *fly ash* juga dapat meningkatkan permeabilitas pada beton sehingga sangat minim terjadinya korosi, selain itu dalam peningkatan kuat tekan juga terdapat bahan tambah *bestmittel* yang fungsinya sebagai *accelerator* hal ini dapat dilihat pada saat beton belum mencapai umur rencana namun kuat tekan rencananya sudah tercapai.

5.6 Perhitungan Kuat Lentur Balok Bertulang

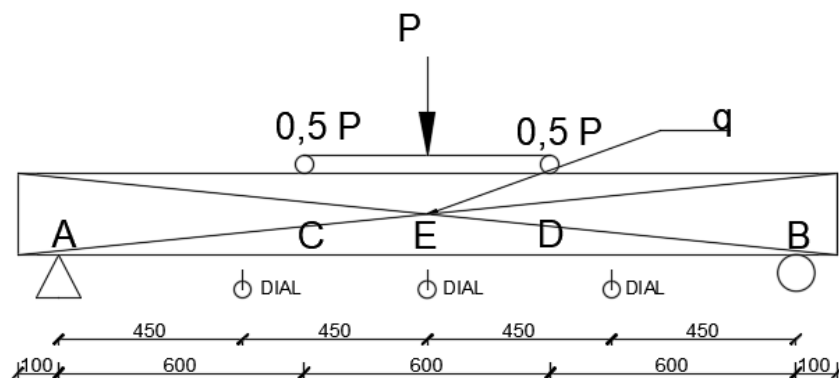
Perhitungan kuat lentur balok bertulang adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai dan terjadinya gagal lentur pada balok yang akan di uji.

5.6.1 Perhitungan Pembebanan Rencana Dan Penulangan

Pada tahapan pertama yang dilakukan pada pengujian kuat lentur balok beton bertulang adalah menentukan nilai pembebanan yang akan diterima oleh balok bertulang dengan rencana tulangan dan mutu yang sudah di tentukan pada batasan masalah serta hasil perhitungan uji kuat Tarik baja yang ada pada tabel 4.

1. Pembebanan Pada Balok Bertulang

Pembebanan pada balok bertulang ini dengan contoh perhitungan menggunakan metode analisa struktur dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Dimensi Benda Uji Memanjang

Dengan perhitungan pembebanan sebagai berikut

$$q = 0,12 \text{ m} \times 0,21 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 0,6048 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\begin{aligned}
 RA &= \frac{0,6 P + 0,3 P + 0,6048 \cdot 2,0 \cdot 95}{1,8} \\
 &= 0,5P + 0,6048 \text{ kN}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

$$RA = RB$$

Mencari Momen

$$\begin{aligned}
 MC &= MD \\
 MC &= RA \cdot 0,6 - q \cdot 0,7 \cdot 0,35 \\
 &= (\frac{1}{2} P + 0,6048) \cdot 0,6 - 0,6048 \cdot 0,7 \cdot 0,35 \\
 &= 0,3 P + 0,36288 - 0,14817 \\
 &= 0,3 P + 0,21462
 \end{aligned} \tag{5.2}$$

$$\begin{aligned}
 ME &= RA \cdot 0,9 - q \cdot 1 \cdot 0,5 - \frac{1}{2} P \cdot 0,3 \\
 &= (\frac{1}{2} P + 0,6048) \cdot 0,9 - q \cdot 1 \cdot 0,5 - \frac{1}{2} P \cdot 0,3 \\
 &= 0,45 P + 0,54432 - 0,3024 - 0,15 P \\
 &= 0,3 P + 0,24192 \text{ kNm}
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

2. Penentuan Tulangan dan Pengujian Tulangan

Pada tahap ini adalah penentuan tulangan yang akan digunakan dengan penentuan seperti pada Tabel 5.30 berikut

Tabel 5.30 Penulangan Benda Uji Balok

No	Mutu Beton (Mpa)	Kode Benda Uji	Tulangan Pokok		Tulangan Sengkang	Jumlah (buah)
			Tekan	Tarik		
1	20	BNM20	2P8	2D13	P8	1
2	25	BNM25	2P8	2D13	P8	1
3	30	BNM30	2P8	2D13	P8	1
4	20	BBTM20	2P8	2D13	P8	1
5	25	BBTM25	2P8	2D13	P8	1
6	30	BBTM30	2P8	2D13	P8	1
Total (Buah)						6

Melakukan perhitungan/ pengujian pada baja tulangan yang akan digunakan agar hasil dari perhitungan didapatkan nilai lentur atau terjadinya gagal lentur balok beton bertulang dengan memperbesar kapasitas gesernya dengan melakukan uji tarik sebelumnya dengan hasil rata-rata pada pengujian baja tulangan diameter (D) 13 mm tulangan tarik didapatkan nilai beban leleh

sebesar 62288,57 N dan nilai beban maksimum sebesar 81722,083 N dengan luas penampang sebesar 127,589 mm² maka di dapatkan nilai tegangan

$$f_y = \frac{62288,57 \text{ N}}{127,589 \text{ mm}^2} = 488,197 \text{ MPa}$$

$$f_u = \frac{81722,083 \text{ N}}{127,589 \text{ mm}^2} = 640,51 \text{ MPa}$$

serta hasil pada pengujian baja tulangan (P) diameter 8 mm tulangan tarik didapatkan nilai beban leleh sebesar 14350,39 N dan nilai beban maksimum sebesar 21557,96 N dengan luas penampang sebesar 34,37 mm² maka di dapatkan nilai tegangan

$$f_y = \frac{14350,39 \text{ N}}{34,37 \text{ mm}^2} = 417,52 \text{ MPa}$$

$$f_u = \frac{21557,96 \text{ N}}{34,37 \text{ mm}^2} = 627,23 \text{ MPa}$$

Hasil rekapitulasi pengujian baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut ini

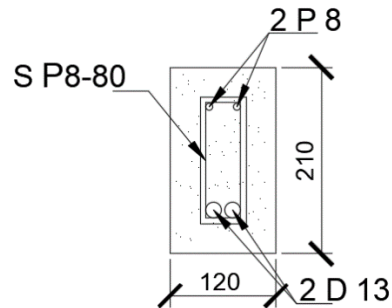
Tabel 5.31 Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

No	Diameter Pengenal (mm)	Diameter penampang (mm)	Luasan (mm ²)	Tegangan (MPa)	
				Leleh Awal	Tegangan maksimal
1	D13	13,13	127,589	488,196	640,51
2	P8	6,58	34,37	417,52	627,23

3. Penulangan Sebelah pada Balok Bertulang

Penulangan pada balok bertulang ini menggunakan penulangan sebelah seperti Gambar 5.10 karena beban yang diterima tidak terlalu besar dan hanya untuk mencari nilai kuat lentur pada balok bertulang tersebut yang pada nantinya yang akan bekerja lebih banyak ada di tulangan tariknya , maka dari itu pada percobaan ini digunakan tulangan sebelah namun karena adanya perencanaan tulangan geser maka pada tulangan tekan diberi tulangan dengan 2P8 tanpa

diperhitungkan untuk membantu pengikatan tulangan sengkangnya dengan contoh perhitungan tulangan sebelah mutu 25 MPa sebagai berikut:



Gambar 5.10 Dimensi Benda Uji Melintang

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$h = 210 \text{ mm}$$

$$f_u = 640,51 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$= 21019,038$$

$$\mathcal{E}_c = 0,003$$

$$\mathcal{E}_y = \frac{f_u}{E_s} = \frac{640,51}{E_s} = 0,0032$$

$$A_s = 265,465 \text{ mm}^2$$

$$s_b = 30 \text{ mm}$$

$$d_s = s_b + \varnothing_{\text{sengkang}} + \varnothing_{\text{tul pokok}}/2$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 165,5 \text{ mm}$$

$$d_t = d$$

$$\mathcal{E}_y = 0,0034$$

Gaya-gaya dalam $C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$ dan $T = A_s \cdot f_y$

$$C = T$$

$$A = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{265,465 \cdot 640,51}{0,85 \cdot 25 \cdot 120} = 63,52 \text{ mm}$$

jika $f'_c < 28 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$f'_c < 28 \text{ MPa} \text{ maka } \beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$$

$$\beta l = 0,85$$

$$c = a/\beta l = 78,455 \text{ mm}$$

Periksa regangan baja tulangan tarik :

$$\varepsilon_t = \frac{d_t - c}{c} \cdot \varepsilon_c = \frac{165,5 - 78,455}{78,455} \cdot 0,003 = 0,0034 > \varepsilon_y = 0,0032$$

Baja tulangan tarik sudah leleh

Momen Nominal:

$$M_n = T(d - a/2)$$

$$M_n = 265,465.640,51 \left(165,5 - \frac{66,679}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$= 22,471 \text{ kNm}$$

$$M_u = M_n$$

$$= 22,471 \text{ kNm}$$

Nilai M_u didapat dari persamaan 5.2 maka hasil perhitungan menjadi seperti berikut:

$$M_u = 18,426 \text{ kNm}$$

$$22,471 = 0,3 P + 0,24192$$

$$P = 73,591 \text{ kN}$$

Rekapitulasi perhitungan beban pada mutu 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut

Tabel 5.32 Rekap Hasil Perhitungan Nilai Pembebanan Pada Balok

No	Mutu Beton (Mpa)	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	NILAI P (kN)
1	20	BNM20	1	65,627
2	25	BNM25	1	73,591
3	30	BNM30	1	77,136
4	20	BBTM20	1	65,627
5	25	BBTM25	1	73,591
6	30	BBTM30	1	77,136

Dari hasil perhitungan desain tulangan tunggal dapat dilihat bahwa nilai P yang didapat. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai beban yang dapat dipikul oleh semua balok adalah kurang dari 100 kN. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang

dipakai dalam penelitian ini (*load cell*) masih dalam batas aman karena memiliki kapasitas 50 ton atau sekitar 500 kN

4. Penulangan Geser Untuk Terjadinya Gagal Lentur

Fungsi dari penulangan ini adalah untuk membantu percobaan yang diinginkan, yaitu untuk mendapatkan nilai lentur pada balok, agar mendapatkan nilai lentur atau gagal lentur maka perhitungan tulangan geser juga harus diperhitungkan dengan contoh mutu 25 MPa sebagai berikut:

Hitung perkiraan tinggi efektif balok

$$d = 210 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 6,5 \text{ mm} = 165,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai V_u

Diambil dari persamaan 5.1 didapatkan reaksi momen di ujung bentang sebesar $0,5 P + 0,6048$ maka dapat didapatkan nilai V_u sebagai berikut:

$$V_u = 0,5 \cdot 60,613 \text{ kN} + 0,6048 = 30,9113 \text{ kN}$$

Hitung kapasitas geser beton

$$V_u = \phi (V_c + V_s)$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Maka $V_u \leq \phi V_n$ menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.1

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.3 dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_c &= 1/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= 1/3 \cdot \sqrt{25} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 165,5 \text{ mm} \\ &= 33100 \text{ N} = 33,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka nilai ϕV_c

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 33,11 = 24,83 \text{ kN}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.9 dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_s &\leq 2/3 \cdot \sqrt{25} \cdot b \cdot d \\ &\leq 2/3 \cdot \sqrt{25} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 165,500 \text{ mm} \\ &\leq 66220 \text{ N} = 66,220 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek $V_u \leq \phi V_n$

$$30,911 \leq 0,75 (33,110 + 66,220)$$

$$30,911 \text{ kN} \leq 74,490 \text{ kN (OK)}$$

Hitung spasi sengkang

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.1 Bila V_u melebihi ϕV_c , maka tulangan geser harus disediakan.

Melalui persamaan $V_u > \phi V_c$ maka

$$30,911 \text{ kN} > 24,830 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan diatas bahwa balok memerlukan tulangan geser.

Maka menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.2 Bila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$66200 \text{ N} = \frac{100,52 \cdot 417,52 \cdot 165,5}{s}$$

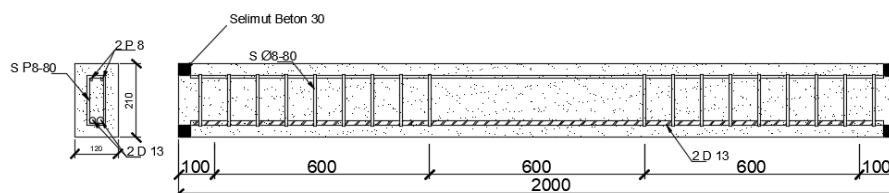
$$s = 104,890 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.1 spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non-prategang, maka jarak sengkang dapat di tuliskan sebagai berikut:

$$d/2 = 165,5 \text{ mm} / 2$$

$$= 82,75 \text{ mm} \approx 80 \text{ mm}$$

Menurut Dr.Edward G.Nawy,P.E (1998) rencana penulangan geser dengan dua titik pembebanan dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut



Gambar 5.11 Rencana Penulangan Tarik dan Geser

5.6.2 Perhitungan Volume *Mix Design* Benda Uji Balok Bertulang

Dari perhitungan jumlah tulangan dapat ditentukan volume beton yang akan digunakan dengan mengurangi nilai volume beton murni dengan volume tulangan yang digunakan. Perhitungan ini dilakukan juga untuk mencari berat volume dan mencari berat masing-masing agregatnya untuk tiap balok bertulang dengan

perhitungan pada satu balok bertulang yang berukuran 0,12 m x 0,21 m x 2 m maka dapatkan volume balok adalah 0,0504 m³ dan dikurangi dengan volume tulangan sebesar 0,0018 m³ maka volume bersih sebesar 0,0486 m³ didapatkan rekap perhitungan hasil *mix design* pada Tabel 5.33 berikut:

Tabel 5.33 Rekap Hasil *Mix Design* Balok Bertulang

No	Mutu Beton (Mpa)	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Bahan Penyusun Beton (kg)					
				AH	AK	S	A	F	B
1	20	BNM20	1	42,68	58,98	22,48	14,81	0	0
2	25	BNM25	1	41,67	59,98	23,54	14,81	0	0
3	30	BNM30	1	39,322	58,98	26,98	14,81	0	0
4	20	BBTM20	1	42,68	58,98	21,36	14,81	1,12	0,12
5	25	BBTM25	1	41,67	59,98	22,38	14,81	1,16	0,13
6	30	BBTM30	1	39,322	58,98	25,64	14,81	1,34	0,15
Total			6	233,06	351,84	161,54	88,86	4,141	0,472

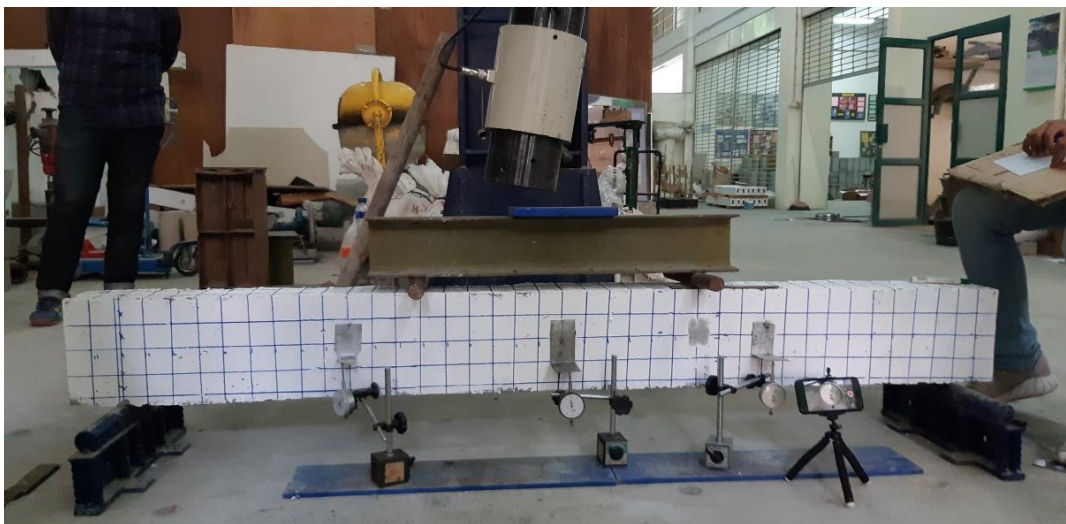
Keterangan:

- BNM20 : Balok normal mutu 20 Mpa.
- BNM25 : Balok normal mutu 25 Mpa.
- BNM30 : Balok normal mutu 30 Mpa.
- BBTM20 : Balok dengan bahan tambah 5% *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* mutu 20 Mpa.
- BBTM25 : Balok dengan bahan tambah 5% *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* mutu 25 Mpa.
- BBTM30 : Balok dengan bahan tambah 5 % *fly ash* dan 0,6% *bestmittel* mutu 30 Mpa.
- AH : Agregat Halus
- AK : Agregat Kasar
- S : Semen
- A : Air
- F : *Fly Ash*
- B : *Bestmittel*

5.6.3 Pengujian Balok Bertulang Eksperimental

Pembebanan yang diberikan pada balok adalah beban titik yang didistribusi menjadi 2 beban terpusat dengan jarak sepertiga bentang seperti yang terlihat pada

Gambar 5.12. Beban diberikan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum, yang menyebabkan keruntuhan pada suatu penampang balok. Pada Tabel 5.35 berikut ini adalah hasil pengujian keempat balok dengan jenis pembebanan yang sama dengan besar beban yang berbeda.

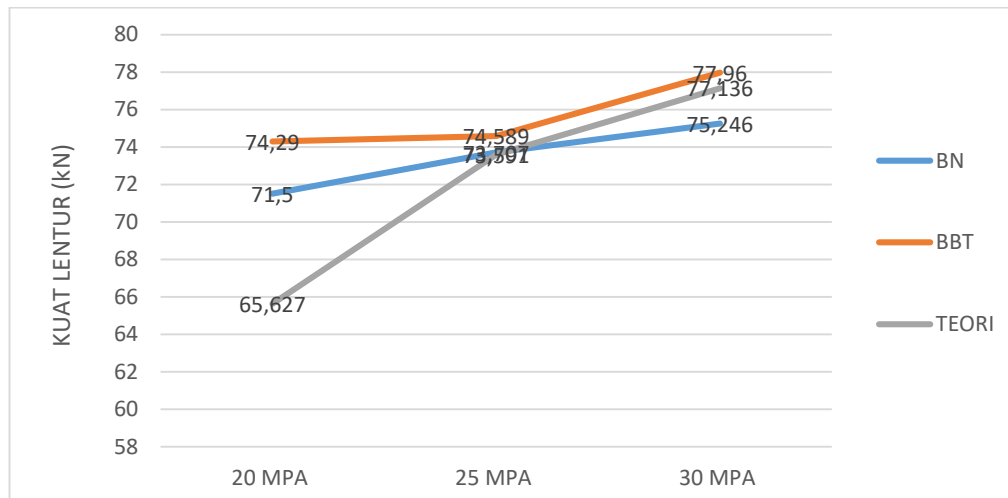


Gambar 5.12 Model Pembebanan Benda Uji

Pada penelitian ini dial gauge 1 dan 3 tidak dipasang di bawah beban melainkan pada jarak $\frac{1}{4}$ bentang dari titik tumpuan terdekat. Hal ini bertujuan untuk mengukur lendutan pada daerah tersebut dan memastikan bahwa lendutannya tidak melebihi nilai lendutan pada dial gauge 2 karena diluar momen maksimum, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini sesuai dengan teori. Dengan perbandingan hasil teori dan eksperimental dapat dilihat pada Tabel 5.34 dan gambar 5.13 berikut:

Tabel 5.34 Rekap Hasil Pembebanan Benda Uji Teoritis dan Eksperimental

No	Kode Benda Uji	P Eksperimental (kN)	P Teoritis (kN)
1	BNM20	71,500	65,627
2	BNM25	73,707	73,591
3	BNM30	75,246	77,136
4	BBTM20	74,290	65,627
5	BBTM25	74,589	73,591
6	BBTM30	77,960	77,136



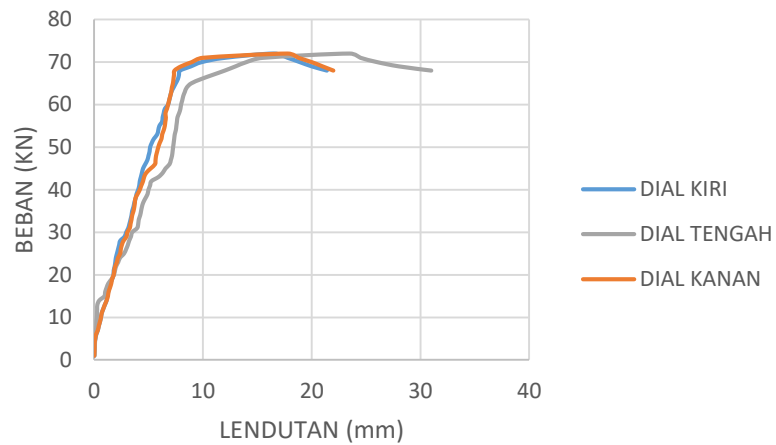
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Berdasarkan Tabel 5.35 dan gambar 5.13 dapat dilihat terjadi perbedaan antara nilai pembebanan secara teoritis dengan pembebanan eksperimental dimana pada semua kode benda uji nilai pembebanan eksperimentalnya lebih besar daripada nilai pembebanan teoritis kecuali pada balok beton bertulang bahan normal dengan mutu 30 MPa yang disebabkan karena adanya kurang telitinya saat melakukan pembuatan benda uji sehingga data yang didapatkan tidak sesuai teoritisnya. Hal ini membuktikan bahwa kualitas balok 20 MPa, 25 MPa normal serta 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa bahan tambah memenuhi standar dan aman karena dapat memikul beban diatas rencananya. Untuk perbandingan tiap mutunya ada peningkatan dari semua benda uji seperti BNM20 – BBTM20 kenaikan 3,3 %, BNM25 – BBTM25 dengan kenaikan 0,8 % dan BNM30 – BBTM30 dengan kenaikan 3,6 %, dari data prosentase tersebut dapat disimpulkan laju kenaikan dari bahan normal ke bahan tambah tidaklah terlalu besar.

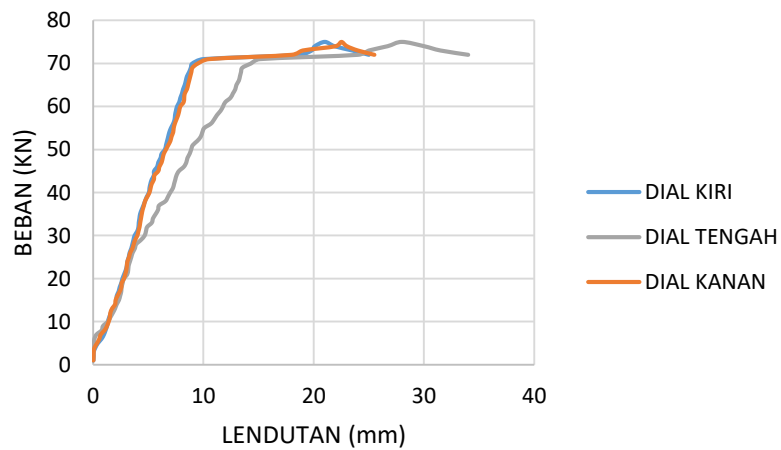
5.6.4 Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Eksperimental

Load displacement relationship dapat menggambarkan fleksibilitas dan defleksi yang terjadi pada setiap penambahan beban dari suatu benda uji. Nilai lendutan ini dibaca dari alat yang dial yang dipasang pada balok, nilai lendutan yang terbaca oleh dial dapat dilihat pada Lampiran 4. Lendutan semua benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.14 sampai dengan Gambar 5.19 berikut ini. Pada pengujian

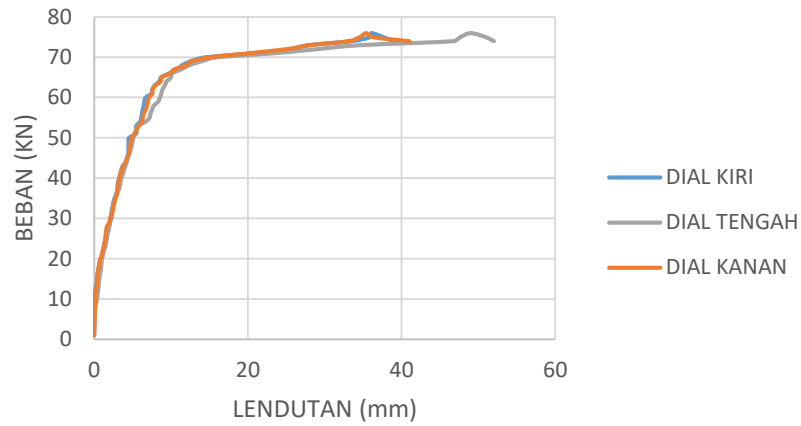
ini data lendutan dari balok diambil pada tengah bentang dan seperempat bentang. Besarnya defleksi ini diukur dengan menempatkan dial pada tempat-tempat tersebut.



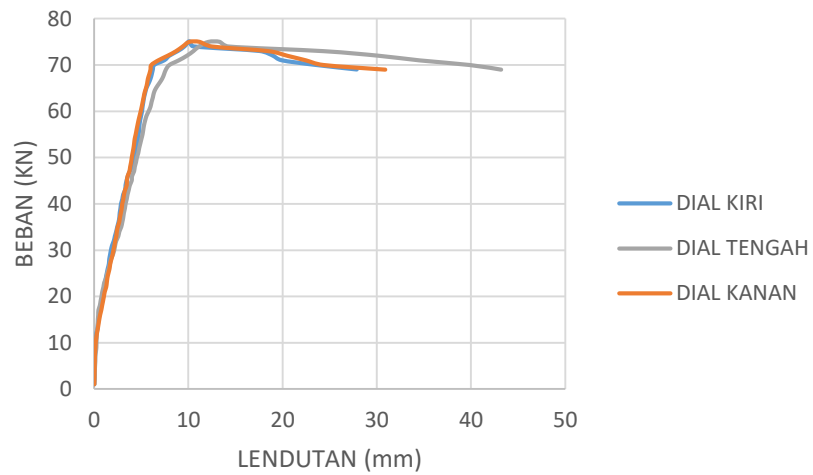
Gambar 5.14 Hubungan Beban-Lendutan BNM20



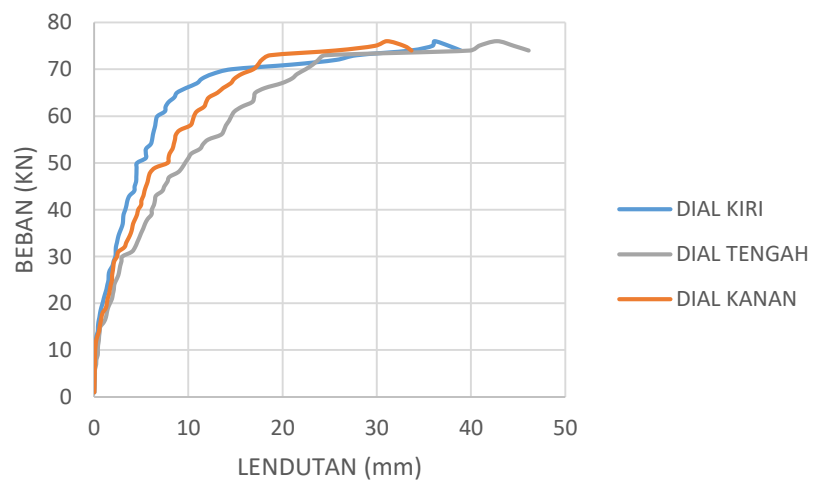
Gambar 5.15 Hubungan Beban-Lendutan BNM25



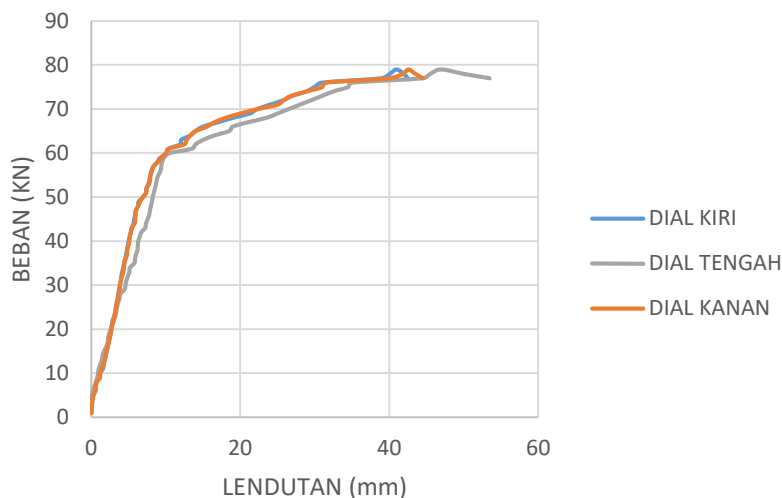
Gambar 5.16 Hubungan Beban-Lendutan BNM30



Gambar 5.17 Hubungan Beban-Lendutan BBTM20



Gambar 5.18 Hubungan Beban-Lendutan BBTM25



Gambar 5.19 Hubungan Beban-Lendutan BBTM30

Dari grafik pada Gambar 5.14 sampai dengan Gambar 5.19 terdapat perbedaan baik pada pembebanan dan lendutan maksimal yang dapat ditahan oleh balok lentur tersebut. Balok-balok yang diuji pada pengujian ini mempunyai dimensi yaitu panjang dan luasan yang sama akan tetapi komposisi beton berbeda sehingga kemampuan menahan bebanpun berbeda-beda. Dial 2 digunakan untuk mengetahui besarnya lendutan pada daerah tengah bentang yang mana pada daerah tengah bentang merupakan daerah momen maksimum dan lendutan maksimum. Dial 1 dan dial 3 digunakan untuk kontrol lendutan pada sisi kanan dan kiri beton di luar daerah pembebanan, hal ini dilakukan untuk melihat apakah terdapat kesamaan besarnya lendutan pada daerah dial 1 dan dial 3 akibat beban yang diberikan. Apabila terdapat sedikit perbedaan antara dial 1 dan dial 3 seperti yang terjadi pada benda uji kemungkinan disebabkan oleh sifat non-homogen material beton sebelah kiri dan kanan pada balok lentur tersebut atau penulangan geser yang kurang pas penempatannya, sehingga menyebabkan perbedaan nilai lendutan. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai lendutan pada dial 2 pada semua benda uji balok mempunyai nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai dial 1 dan dial 3. Sebagai contoh nilai dial pada benda uji BNM20 didapatkan nilai dial 1 sebesar 27,89 mm, dial 2 sebesar 38,90 mm dan dial 3 sebesar 28,90 mm. Pada BNM20 ini terbukti bahwa dial 2 yang terletak pada tengah bentang mempunyai

nilai lendutan yang lebih besar, sedangkan pada dial 1 dan dial 3 mempunyai nilai lendutan yang tidak jauh berbeda, hal ini dikarenakan balok mengalami kerusakan yang tidak merata disepanjang bentang balok tersebut. Kerusakan yang tidak merata dapat disebabkan oleh tidak meratanya kuat tekan yang dimiliki oleh balok. Selain itu bisa disebabkan adanya sedikit perbedaan dimensi tinggi pada balok sehingga penyaliran beban tidak merata. Pada pengujian balok-balok tersebut semua benda uji memiliki perbedaan nilai lendutan antara dial 1 dan dial 3. Selain itu pada semua pengujian balok nilai lendutan pada dial 2 merupakan lendutan terbesar.

Pada Tabel 5.35 berikut ini adalah hasil dari pembacaan beban maksimum dan lendutan maksimum pada setiap benda uji.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Beban Maksimum dan Lendutan Maksimum Benda Uji

No	Kode Benda Uji	P Eksperimental (kN)	Retak Pertama (kN)	No Dial	Lendutan Maksimum (Δ) (mm)
1	BNM20	71,500	21,100	1	21,40
				2	31,00
				3	22,00
2	BNM25	73,707	21,500	1	25,00
				2	34,00
				3	25,50
3	BNM30	75,246	25,500	1	38,91
				2	52,03
				3	41,02
4	BBTM20	74,290	24,000	1	27,89
				2	43,21
				3	30,91
5	BBTM25	74,589	24,700	1	33,40
				2	46,13
				3	33,70
6	BBTM30	77,960	26,500	1	42,50
				2	53,50
				3	44,50

Secara mekanik besarnya lendutan tergantung dari besarnya beban yang diberikan pada balok itu sendiri. Berdasarkan hasil pengujian balok dengan beton bahan tambah mempunyai kekuatan lebih tinggi dibandingkan balok dengan menggunakan beton normal. Hal ini terbukti pada benda uji bahan tambah pada tiap mutu yang selalu ada nya peningkatan beban Lentur dengan beban maksimum yang mampu ditahan serta dapat dilihat pada keretakan pertama pada balok saat di beri

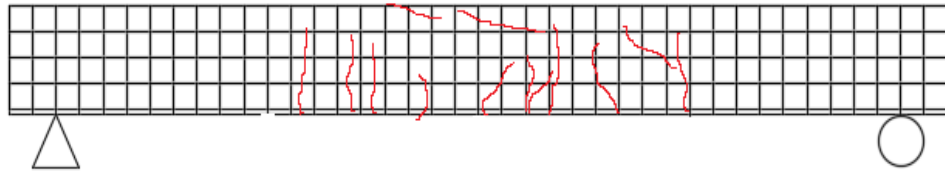
beban sebagai contoh BNM20 beban sebesar 71,50 kN, retak pertama 21,100 kN dan lendutan maksimum sebesar 31,00 mm dibandingkan dengan BBTM20 yang mampu menahan beban maksimum sebesar 74,29 kN, retak pertama 24,000 kN dan lendutan maksimum sebesar 43,21 mm, hal ini juga terjadi pada balok normal dan balok bahan tambah lainnya yang selalu adanya peningkatan beban maupun lendutan. Dari hasil pengujian balok normal dan bahan tambah dapat disimpulkan bahwa adanya kenaikan pada balok beton bahan tambah dibandingkan dengan balok beton normal walaupun dengan kenaikan yang tidak begitu jauh.

5.6.5 Pola Retak pada Balok

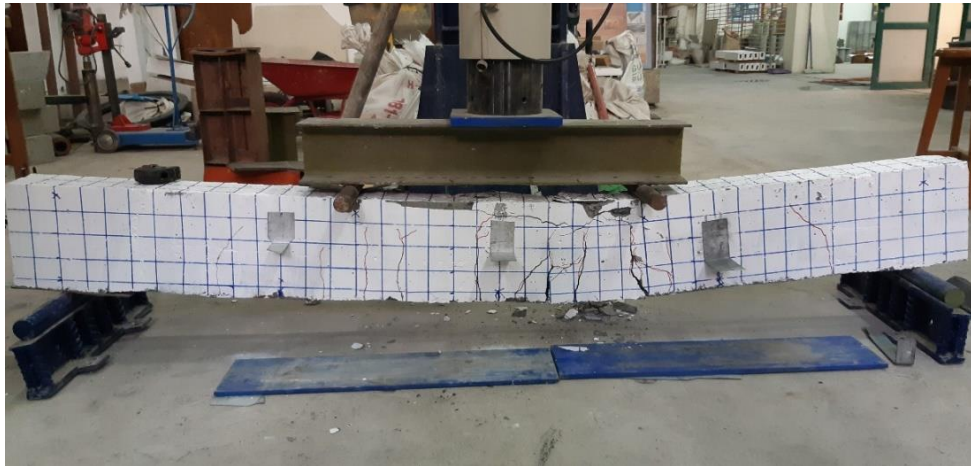
Pola retak yang umumnya terjadi pada balok adalah berupa retak lentur dan retak geser. Pada pengujian yang telah dilakukan ini, retak-retak yang terjadi pada benda uji umumnya diawali dengan retak halus pada sisi bawah benda uji yaitu sisi tarik dari penampang lalu diikuti dengan retak lentur pada sisi yang telah terjadi retak halus sebelumnya. Retak lentur dominan terjadi pada daerah momen terbesar, yaitu pada daerah sekitar tengah bentang tepatnya berada pada daerah dua beban titik diberikan. Berdasarkan Gambar 5.19 sampai Gambar 5.30 menunjukkan bahwa keretakan yang terjadi pada semua benda uji adalah keretakan lentur dengan panjang retakan ± 30 cm dan lebar retakan sebesar ± 1 cm. Pada benda uji ini cukup banyak terdapat retak lentur sesuai dengan rencana untuk terjadinya gagal lentur.



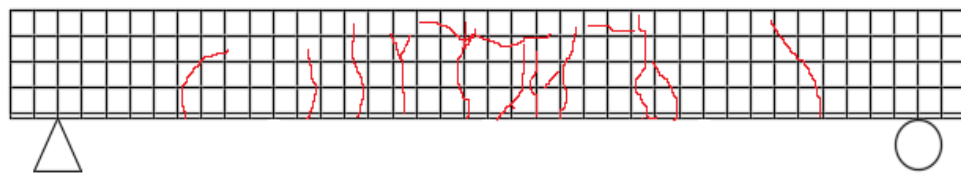
Gambar 5.20 Benda Uji BNM20 Tampak Depan Setelah Dibebani



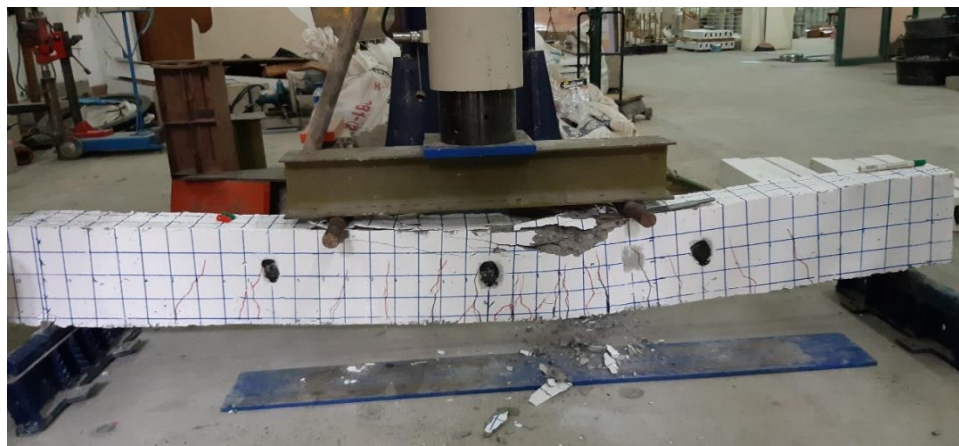
Gambar 5.21 Pola Retak BNM20



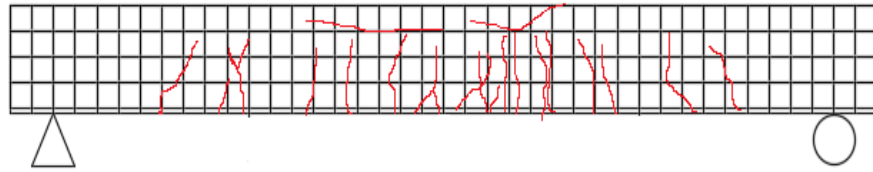
Gambar 5.22 Benda Uji BNM25 Tampak Depan



Gambar 5.23 Pola Retak BNM25



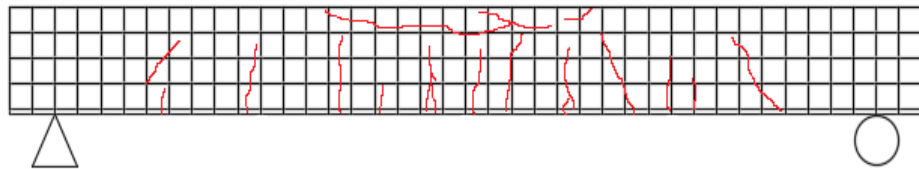
Gambar 5.24 Benda Uji BNM30 Tampak Depan



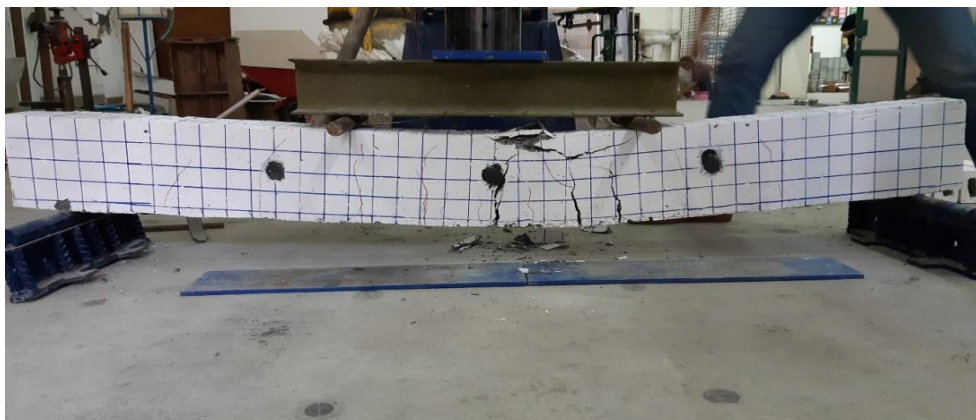
Gambar 5.25 Pola Retak BNM30



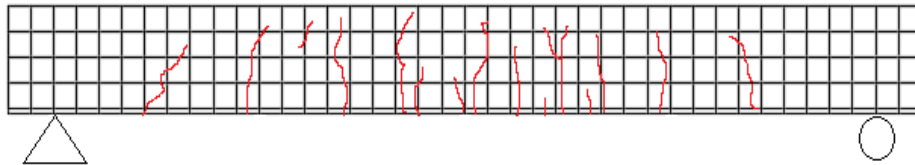
Gambar 5.26 Benda Uji BBTM20 Tampak Depan



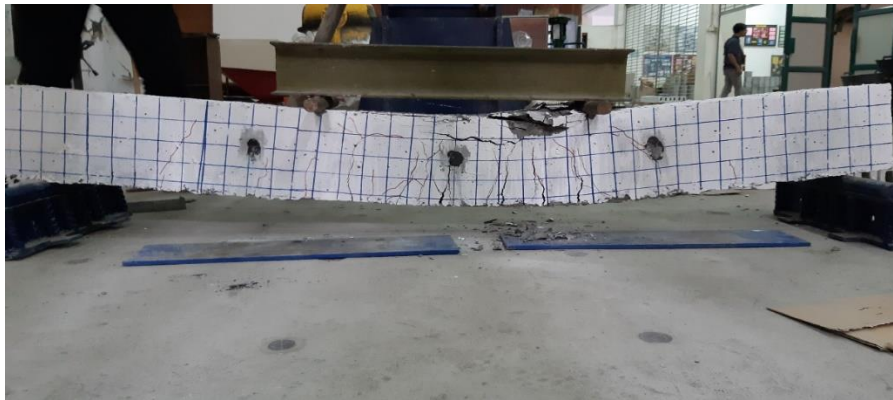
Gambar 5.27 Pola Retak BBTM20



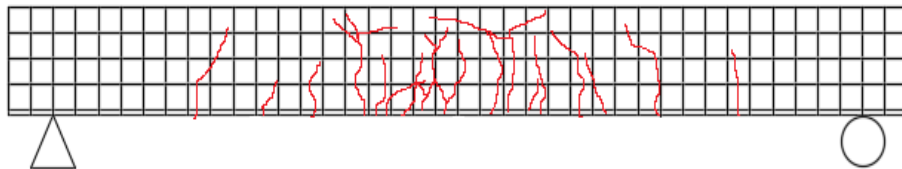
Gambar 5.28 Benda Uji BBTM25 Tampak Depan



Gambar 5.29 Pola Retak BBTM25



Gambar 5.30 Benda Uji BBTM30 Tampak Depan



Gambar 5.31 Pola Retak BBTM30

Pada Gambar 5.19-5.30 Dapat dilihat bahwa pada semua benda uji balok pola retak yang terjadi hampir sama yaitu lentur. Retak lentur terjadi di daerah yang mempunyai nilai momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil serta arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok. Dapat dilihat juga pada tiap benda uji terdapat perbedaan pada banyak retakan dan lendutan yang terjadi pada tiap-tiap balok, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan mutu dan perbedaan komposisi campuran. Semakin tinggi mutunya semakin banyak retakan yang terjadi dan lendutan yang terjadi juga lebih melendut ini juga disebabkan karena komposisi campuran yang berbeda pada bahan normal dan bahan tambah pada balok, serta beban yang mampu diterima tiap mutunya. Dapat dilihat untuk balok dengan bahan

tambah lendutan semakin besar dan retak lebih banyak dari balok berbahan normal. Dapat disimpulkan balok dengan bahan tambah sedikit menambah kekuatan dan daktilitas pada balok itu sendiri walaupun perbedaan pada tiap balok sangatlah kecil.