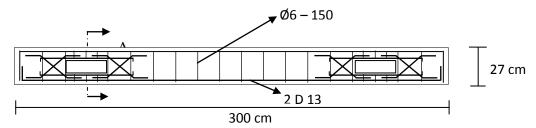
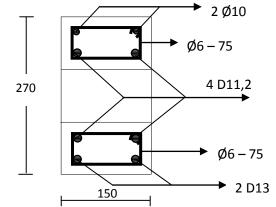
III. METODE PENELITIAN

A. Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah balok dengan ukuran panjang 300 cm, tinggi 27 cm dan lebar 15 cm. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton normal dengan kuat tekan (f'_c) rencana 20 MPa. Tulangan tarik pada balok adalah 2 D13 mm dengan mutu baja (f_y) adalah 350 MPa dan tulangan geser dipakai Ø6 - 150mm dengan f_y 240 Mpa. Berdasarkan karakteristik material dan penampang benda uji di atas, maka pada penelitian ini benda uji didesain untuk hancur akibat lentur dan bukan hancur karena gaya geser.



Gambar 10. Penampang memanjang balok beton bertulang dengan bukaan



Gambar 11. Dimensi balok dan detail potongan A

B. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen portland tipe I (berat jenis 3,15 gr/cm³). Dalam penelitian ini digunakan semen Baturaja.

2. Air

Air yang digunakan adalah air yang bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda-benda merusak lainnya yang dapat dilihat secara visual, tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton. Dalam penelitian ini digunakan air sumur yang tersedia di Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan terhadap analisis saringan, kadar air, berat volume, kadar lumpur, kandungan zat organis, berat jenis dan penyerapan. Dalam penelitian ini digunakan agregat halus yang berasal dari penambangan pasir Way Sekampung, di daerah Gunung Sugih, Lampung Tengah.

4. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan terhadap analisis saringan, kadar air, berat volume, berat jenis dan penyerapan. Dalam penelitian ini agregat kasar yang digunakan berasal dari pabrik pemecah batu di daerah Tarahan, Lampung Selatan.

5. Baja tulangan

Baja tulangan yang dipakai adalah baja tulangan polos untuk sengkang, dengan \emptyset 6 mm dan mutu baja (f_y) 240 MPa, sedangkan untuk tulangan tarik dipakai baja tulangan ulir D13 mm dengan mutu baja (f_y) 350 MPa.

6. Multiplek, kasau, paku dan belerang

Multiplek, kasau dan paku dipakai untuk pembuatan bekisting balok uji, sedangkan belerang dipakai untuk pembuatan *capping layer*.

7. Kawat bendrat

Kawat bendrat dipakai untuk mengikat tulangan sengkang dengan tulangan tarik dalam proses perakitan tulangan balok.

C. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Satu set saringan

Alat ini berguna untuk mengetahui gradasi agregat dan untuk menentukan modulus kehalusan butir agregat kasar dan agregat halus. Untuk penelitian ini gradasi agregat kasar dan agregat halus berdasarkan standar *ASTM C-33*.

2. Oven

Alat ini digunakan untuk mengeringkan bahan campuran beton yang perlu dikeringkan terlebih dahulu pada saat pemeriksaan atau pengujian kadar air agregat, berat jenis dan penyerapan agregat dan kadar lumpur agregat halus.

3. Keranjang besi

Keranjang ini digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

4. Timbangan

Timbangan digunakan untuk seluruh pemeriksaan agregat dan untuk menghitung komposisi campuran beton.

5. Piknometer

Alat ini digunakan untuk mengetahui berat jenis *SSD* (*Saturated Surface Dry*), berat jenis kering, berat jenis jenuh dan penyerapan agregat halus.

6. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat besi untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan dengan percobaan *Slump test*. Ukuran kerucut Abrams adalah diameter bawah 200 mm dan diameter bagian atas 100 mm dengan tinggi 300 mm.

7. Cetakan beton silinder dan cetakan balok beton

Cetakan beton yang digunakan untuk mencetak benda uji kuat tekan beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sedangkan cetakan beton untuk benda uji kuat tarik lentur beton berbentuk balok dengan ukuran panjang 500 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm.

8. *CTM* (Compression Testing Machine)

Alat ini digunakan untuk menguji kuat tekan beton yang berbentuk silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm). *CTM* yang digunakan adalah *CTM*

dengan merk Wykeham Farrance Eng. dengan ketelitian 5 kN dan kapasitas pembebanan maksimum sebesar 1500 kN.

9. Mesin pengaduk beton (*concrete mixer*)

Alat ini digunakan untuk mencampur adukan beton. *Concrete mixer* yang digunakan pada penelitian ini mempunyai merk MIC-109-0-02 dengan kapasitas 0,125 m³.

10. Bekisting dan styrofoam untuk cetakan benda uji

Bekisting ini terbuat dari multiplek yang diperkuat dengan kasau yang dipaku untuk membentuk cetakan balok sesuai dengan ukuran yang diperlukan. Styrofoam digunakan untuk membuat cetakan lubang pada balok uji.

11. Mesin getar dalam (*internal vibrator*)

Mesin getar dalam (*internal Vibrator*) digunakan untuk memadatkan adukan beton pada saat memasukkan adukan beton ke dalam cetakan. Tujuannya untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mendapatkan kepadatan yang maksimal serta menjamin suatu perekatan antara beton dan baja tulangan. Mesin getar dalam (*internal vibrator*) yang digunakan pada penelitian mempunyai merk Maruto.

12. Loading frame

Alat ini berupa profil baja yang cukup kuat dan kaku, dilengkapi dengan model tumpuan sendi dan rol yang dapat diatur posisinya serta dilengkapi dengan *hydraulic jack*. Alat ini digunakan sebagai tempat/perletakan benda uji balok pada saat pengujian.

13. Proving Ring

Proving ring adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya pembebanan vertikal pada benda uji. Proving ring yang digunakan pada penelitian ini mempunyai merk Kobe dan mempunyai kapasitas 100 dial tiap satu putaran.

14. Hidraulic jack

Alat ini digunakan untuk memberi beban vertikal pada benda uji. Pada penelitian ini *hydraulic jack* yang digunakan mempunyai merk Enerpac P-84, mempunyai dial pembacaan maksimum 80 tonf dengan ketelitian 1 tonf.

15. Electrical strain gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya regangan yang terjadi pada tulangan dan pada beton balok uji untuk setiap tahapan pembebanan.

Ada dua jenis *electrical strain gauge* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

- a. Electrical strain gauge tipe PL-60-11 untuk beton
- b. Electrical strain gauge tipe FLA-6-11 untuk baja

16. Strain indicator

Alat ini digunakan untuk membaca regangan yang terjadi pada *electrical strain gauge*. Pada penelitian ini digunakan *strain indicator* P-3500 produksi Vishay Group, selain itu alat ini juga dilengkapi dengan alat tambahan yaitu Switch and Balance Unit SB-10 yang mampu membaca regangan hingga 10 buah titik pemasangan *electrical strain gauge*.

17. Mikroskop retak (*microcrack tester*)

Alat ini digunakan untuk mengukur lebar retak pada beton. Pada penelitian ini mikroskop retak yang digunakan mempunyai merk MaTest, alat ini mempunyai ketelitian 0,02 mm (1 divisi) dan mampu mengukur lebar retak hingga 4 mm (200 divisi).

18. Dial gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur lendutan balok beton yang terjadi untuk setiap tahap pembebanan. Pada penelitian ini *dial gauge* yang digunakan mempunyai merk Mitutoyo dengan kapasitas 30 mm dan mempunyai ketelitian hingga 0,01 mm.

19. Peralatan lainnya

Peralatan yang digunakan dalam proses penelitian seperti meteran, sekop, pembengkok tulangan, gergaji, solder, timah, lem, palu, amplas, lakban, spidol dan peralatan penunjang lainnya.

D. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

1. Pengujian Bahan Campuran Beton

Pengujian dan pemeriksaan bahan campuran beton terdiri dari:

- a. Analisis saringan agregat kasar dan agregat halus (ASTM C-33, C-136).
- b. Berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar (*ASTM C*-128& *ASTM C*-127).

- c. Kadar air agregat halus dan agregat kasar (ASTM C-566 & ASTM C-556).
- d. Berat volume agregat kasar dan agregat halus (ASTM C-29).
- e. Kadar lumpur agregat halus (ASTM C-117).

Pemeriksaan material campuran beton dilakukan untuk mengetahui mutu material tersebut. Data pemeriksaan material digunakan sebagai acuan dalam mendisain campuran beton, sehingga kekuatan beton yang diperoleh sesuai dengan yang direncanakan. Pemeriksaan material yang dilakukan terhadap agregat halus, agregat kasar dan mortar didasarkan pada standar *ASTM*.

Pemeriksaan agregat meliputi pemeriksaan gradasi saringan, modulus kehalusan, kadar air, berat volume, berat jenis, persentase penyerapan, serta pemeriksaan kadar lumpur dan kandungan zat organik pada agregat halus. Hasil pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat kasar.

No	Pemeriksaan	Hasil Rata-rata	Standar ASTM
1.	Gradasi saringan	Baik	Sesuai gradasi
2.	Modulus kehalusan	6,79	6-8
3.	Kadar air (%)	1,25	0 – 3
4.	Berat jenis kondisi SSD	2,7	2,5 - 2,7
5.	Berat volum padat (kg/m3)	1562	-
6.	Persentase penyerapan (%)	2,38	1 – 3

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat halus.

No	Pemeriksaan	Hasil Rata-rata	Standar ASTM	
1.	Gradasi saringan	Baik	sesuai gradasi	
2.	Modulus kehalusan	2,84	2,3 - 3,1	
3.	Kadar air (%)	0,8	0 – 1	
4.	Berat jenis kondisi SSD	2,53	2,5-2,7	
5.	Persentase penyerapan (%)	2,53	-	
6.	Kadar lumpur (%)	3,27	< 5	
7.	Berat volum padat	1428	-	

Dari hasil pemeriksaan agregat halus dan kasar, terlihat bahwa hasil ratarata memenuhi standar *ASTM* untuk setiap jenis pemeriksaan. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus dan kasar yang telah diuji tersebut, layak untuk digunakan dalam pencampuran beton.

2. Pembuatan Benda Uji

Sampel uji silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dibuat tiga buah untuk setiap satu benda uji balok yang digunakan untuk uji kuat tekan beton dan tiga buah sampel uji berbentuk balok (panjang 500 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm) untuk setiap satu benda uji balok yang dipakai untuk uji kuat tarik lentur beton. Sampel uji silinder dan balok beton dibuat bersamaan dengan pembuatan benda uji balok beton bertulang yaitu dengan adukan yang sama.

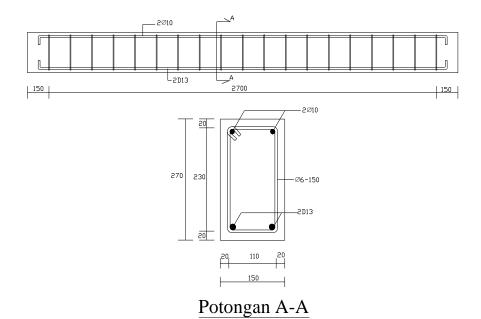
Pembuatan benda uji balok diawali dengan proses pembuatan bekisting berukuran 27 cm x 15 cm x 300 cm. Setelah proses pembuatan bekisting selesai dilanjutkan dengan proses pencampuran material. Benda uji balok beton bertulang dibuat satu buah untuk balok polos tanpa lubang dan dua

buah balok dengan lubang bukaan, yaitu satu dengan tulangan perkuatan dan satu tanpa tulangan perkuatan. Ukuran balok uji adalah panjang 300 cm, lebar 15 cm dan tinggi 27 cm. Benda uji balok beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 3.

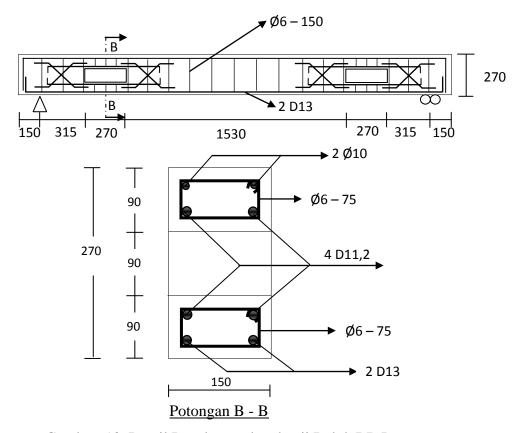
Tabel 3. Kode sampel dan detail

Kode	Jum-	Keterangan	Tulangan	Tulangan	Dimensi
	lah		Tarik	geser	lubang
ВU	1	Tanpa lubang	2 D 13	Ø 6 – 150 mm	-
BB I	1	Dengan lubang dan tulangan perkuatan	2 D 13	Ø 6 – 150 mm	t = 90mm L= 270mm
BB II	1	Dengan Lubang tanpa tulangan perkuatan	2 D 13	Ø 6 – 150 mm	t = 90mm L= 270mm
Total	3	sampel			

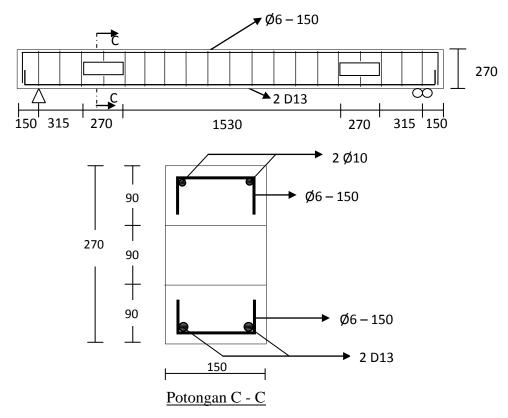
Detail Penulangan benda uji balok BU, BB I dan BB II dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 12. Detail Penulangan benda uji Balok B U



Gambar 13. Detail Penulangan benda uji Balok BB I



Gambar 14. Detail Penulangan benda uji Balok BB II

Tahapan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- Perakitan tulangan serta pemasangan electrical strain gauge pada tulangan tarik, kemudian memasukkan ke dalam cetakan yang sudah disiapkan.
- 2. Perencanaan campuran beton menggunakan metode ACI (American Concrete Institute) dengan kuat tekan rencana (f'_c) 20 MPa.
- 3. Mencampur adukan beton dengan mesin pengaduk beton (*concrete mixer*).
- 4. Mengukur kelecakan (workability) beton dengan melakukan slump test.
- 5. Menuangkan campuran beton ke dalam cetakan benda uji silinder dan cetakan benda uji balok serta menuangkan campuran beton ke dalam cetakan balok beton bertulang yang sudah dipersiapkan.
- 6. Membuka cetakan benda uji pada umur 1-3 hari.
- 7. Benda uji silinder dirawat dengan cara pembasahan yaitu dengan cara merendam dalam air selama 28 hari dan kemudian membiarkan dalam ruangan terbuka. Benda uji balok dirawat dengan menjaga kelembabannya yaitu menutup dengan karung goni yang dibasahi setiap hari selama 28 hari.
- 8. Pemberian lapisan belerang pada permukaan tekan (*capping*) benda uji silinder untuk uji kuat tekan beton. Hal ini dilakukan untuk membuat permukaan benda uji silinder rata.
- 9. Pengujian benda uji silinder untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton, pengujian benda uji balok untuk mencari nilai kuat tarik lentur beton serta pengujian balok beton bertulang setelah beton berumur 28 hari.

3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton didapat melalui tata-cara pengujian standar *ASTM C*-192, pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *CTM (Compression Testing Machine)* dengan cara meletakkan silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) tegak lurus dan memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan 0,15 MPa/detik sampai 0,34 MPa/detik sampai benda uji hancur.

Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu permukaan tekan benda uji silinder harus diratakan agar tegangan terdistribusi secara merata pada penampang benda uji. Dalam hal ini maka benda uji harus diberi lapisan belerang (*capping*) setebal 1,5 mm sampai 3 mm pada permukaan tekan benda uji silinder. Dari hasil pengujian ini didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton tersebut hancur. Selanjutnya kuat tekan beton dicari dengan membandingkan beban maksimum dan luas permukaan silinder beton seperti pada Persamaan (1).

4. Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

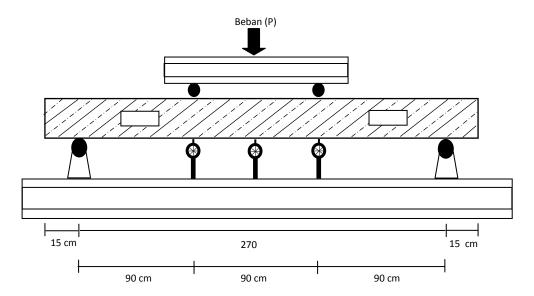
Nilai kuat tarik lentur beton didapat melalui tata-cara pengujian standar *ASTM C-78*, pengujian kuat tarik lentur beton ini dilakukan dengan menggunakan alat *Loading Frame* yang dilengkapi dengan *Hidraulic Jack* sebagai pemberi beban, serta menggunakan *Proving Ring* sebagai alat pengukur besarnya beban. Pengujian dilakukan dengan menggunakan benda uji balok beton dengan panjang 500 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm.

Benda uji diletakkan di atas dua tumpuan yang kemudian di atasnya diberi beban secara *third-point loading* dengan kecepatan pembebanan antara 0,0143 MPa/detik sampai 0,02 MPa/detik sampai benda uji beton retak. Nilai kuat tarik lentur beton didapat dengan rumus Persamaan (2).

5. Pengujian Balok Beton Bertulang

Pengujian balok beton bertulang dilakukan dengan meletakkan balok pada loading frame dengan tumpuan sendi dan rol. Pada bagian tepi bawah balok dipasang tiga buah dial gauge. Satu buah dial gauge dipasang pada bagian tengah bentang dan dial gauge yang lain dipasang tepat dibawah beban terpusat. Selanjutnya, balok beton bertulang diberi beban secara bertahap dengan menggunakan hydraulic jack pada dua titik pembebanan.

Pengaturan perletakan balok beton bertulang pada saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengujian balok beton bertulang

Untuk setiap tahapan pembebanan dibaca regangan yang timbul di tengah bentang balok beton bertulang dengan menggunakan *electrical strain gauge* yang dihubungkan dengan *strain indicator*. Selain itu juga dilakukan pembacaan besarnya lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang dengan menggunakan *dial gauge* serta melihat pola dan lebar retak yang terjadi dengan menggunakan mikroskop retak.

6. Analisis Hasil

Analisis hasil dalam penelitian ini dilakukan dengan perhitungan secara manual dengan rumus-rumus yang telah disajikan oleh tinjauan pustaka. Hasil dari penelitian ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar yang disertai dengan pembahasannya.

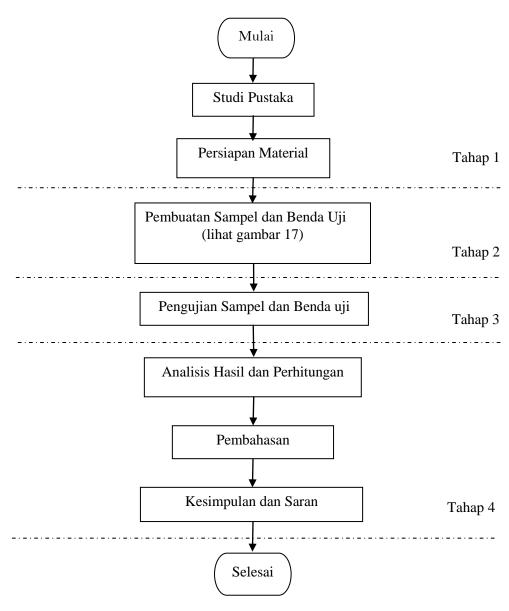
Analisis hasil pengujian diuraikan sebagai berikut:

- a. Membuat tabel data hasil pengujian.
- Membuat tabel perbandingan antara beban maksimum BU dengan
 BB I dan BB II.
- c. Membuat grafik hubungan antara beban dan lendutan di tengah bentang untuk balok berlubang dengan tulangan perkuatan dan balok berlubang tanpa tulangan perkuatan serta balok utuh.
- d. Membuat grafik hubungan antara momen dan kurvatur untuk balok berlubang dengan tulangan perkuatan dan balok berlubang tanpa tulangan perkuatan serta balok utuh.
- e. Menggambar pola retak dan menganalisis pola kehancuran yang terjadi pada balok uji.

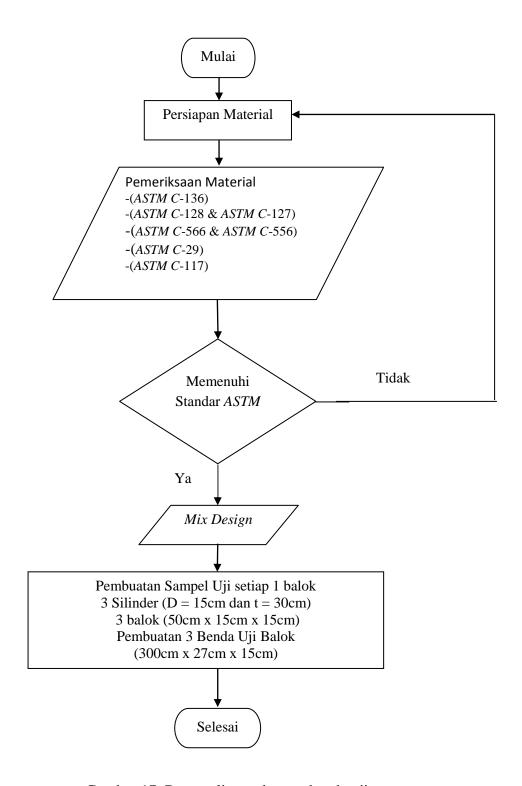
- f. Membuat tabel hasil perhitungan secara teoritis tentang beban maksimum dan beban retak pertama pada balok BU, BB I dan BB II.
- g. Membandingkan data hasil penelitian dan perhitungan teoritis.

E. Bagan Alir Penelitian

Secara keseluruhan metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16. Bagan alir penelitian



Gambar 17. Bagan alir pembuatan benda uji