

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebelum merencanakan struktur suatu bangunan diperlukan struktur yang handal dan memadai, tidak hanya dari segi kekuatan dan keamanan saja, tetapi juga kenyamanan dan ekonomis. Oleh karena itu pemilihan jenis bahan baku untuk struktur yang dipakai merupakan hal yang penting dalam perencanaan struktur.

Beton adalah salah satu pilihan yang tepat sebagai alternatif untuk dipakai sebagai sistem struktur bangunan. Selain itu beton sangat fleksibel dan dapat dibentuk sesuai dengan bentuk struktur yang diinginkan. Beton juga memiliki sifat khusus yang merupakan kelebihanannya yaitu kemampuan atau kekuatan yang besar dalam menahan tekan. Tetapi di sisi lain, beton sangat lemah menahan tarik. Kekuatan tarik beton hanya 7-10% dari kekuatan tekannya. Oleh sebab itu, beton harus dikombinasikan dengan bahan lain, yaitu baja sebagai tulangnya untuk menahan tarik dan geser, sehingga diperoleh struktur yang cukup ideal karena dapat menahan tekan, tarik dan geser, sehingga merupakan bahan struktur utama yang dipilih.

Beban-beban yang bekerja pada struktur baik beban gravitasi (arah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin atau beban karena susut dan perubahan temperatur, yang menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan tegangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentangan balok. Pada saat yang sama balok juga mengalami gaya geser akibat lenturan yang mengakibatkan retak geser atau retak tarik diagonal. Untuk menghindari kegagalan lentur, tarik diagonal dan tekan geser diperlukan maka diperlukan adanya penulangan geser yang memadai. Oleh karena itu perencana harus mendesain penampang elemen balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja serta mempunyai kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, terutama untuk bangunan dengan bentang yang lebih panjang, atau karena tuntutan arsitektur, sering dijumpai balok beton yang mempunyai tinggi jauh lebih besar dari tinggi normal, dalam hubungan dengan panjang bentang, sedangkan tebal dalam arah tegak lurus jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan bentang atau tingginya.

Balok beton tinggi bertulang (*reinforced concrete deep beams*) memiliki aplikasi yang bermanfaat pada bangunan dan pondasi tinggi. Dinding-dinding yang dibebani vertikal, balok bentang pendek yang mengalami beban sangat berat dan dinding geser merupakan contoh jenis balok tinggi. Karena balok tinggi merupakan suatu bagian

struktur yang cukup pendek sehingga deformasi-deformasi geser menjadi penting dalam perbandingannya dengan lentur murni.

Berdasarkan pemikiran di atas akan dicoba melakukan penelitian terhadap kekuatan geser dan pola retak yang menyebabkan kegagalan pada balok tinggi. Tinjauan penelitian akan difokuskan pada pengujian geser dengan variasi bentang geser pada struktur balok tinggi persegi.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kapasitas geser balok tinggi akibat beban terpusat yang berpengaruh terhadap kekuatan geser nominal balok beton tinggi bertulang.
2. Mengetahui perilaku balok tinggi akibat geser terhadap pola retak geser sampai keruntuhan (bila terjadi), akibat beban terpusat (P).

1.3 Manfaat Penelitian

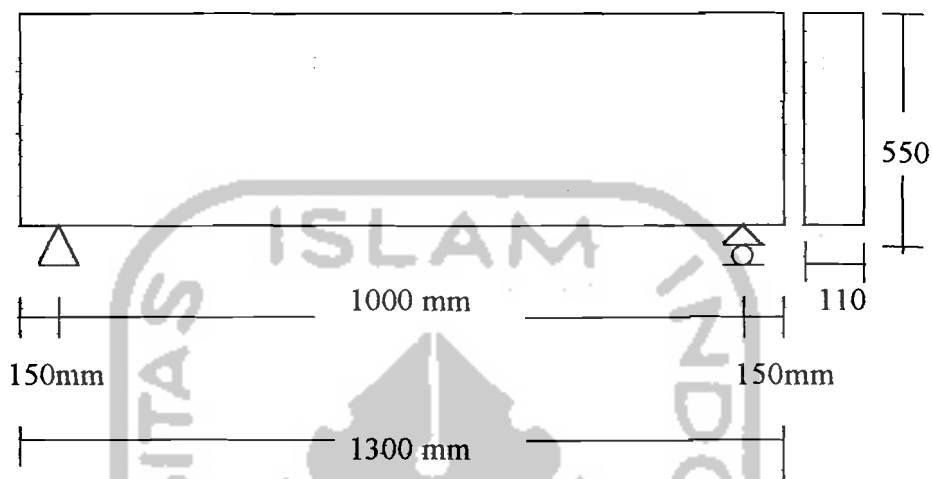
1. Menambah pengetahuan tentang balok tinggi yang jarang dibahas dalam penelitian dan dalam perkuliahan.
2. Menambah referensi tentang kekuatan dan perilaku geser pada balok tinggi.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji berupa balok berbentuk persegi dengan dimensi tinggi 550 mm, lebar 110 mm dan panjang bentang 1300 mm seperti Gambar 1.1.

2. Balok beton uji menggunakan tulangan sebelah 2D 16 mm dan sengkang memakai tulangan $\varnothing 6$ mm,



Gambar 1.1 Benda uji

3. mutu beton rencana yang digunakan $f'c = 25$ MPa,
4. mutu baja rencana: $f_y = 350$ MPa, nilai yang pasti sesuai dengan hasil uji tarik,
5. variasi bentang geser (a) yaitu : 125 mm, 250 mm, 375 mm, 500 mm,
6. uji desak beton digunakan kubus ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm,
7. perbandingan campuran menggunakan cara "DOE",
8. nilai slump ditentukan sebesar 7,5 – 15 cm untuk setiap sample adukan beton,
9. agregat halus yang digunakan dari Sungai Krasak,
10. agregat kasar digunakan batu pecah dengan ukuran agregat maksimal 20 mm,
11. semen digunakan tipe I merek Nusantara,
12. pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini memuat rencana pelaksanaan, perencanaan benda uji, serta prosedur pelaksanaan penelitian.

1. Rencana Pelaksanaan

Rencana penelitian direncanakan sesuai jadwal yang telah ditetapkan oleh Kepala Laboratorium BKT UII. Rencana pelaksanaan ini meliputi penyediaan segala sarana dan prasarana yang digunakan seperti penyediaan bahan/material, pembuatan cetakan sampel dan mix design.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. timbangan.
2. cetakan kubus ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm,
3. 1 set alat uji slump,
4. mesin pengaduk beton (*concrete mixer*),
5. mesin uji desak beton,
6. mesin uji geser,
7. Dukungan rol dan sendi, sehingga model balok mendekati balok sederhana (*simple beam*)
8. peralatan tambahan seperti ember, sekop, tongkat pemadat.

Adapun bahan-bahan yang digunakan antara lain :

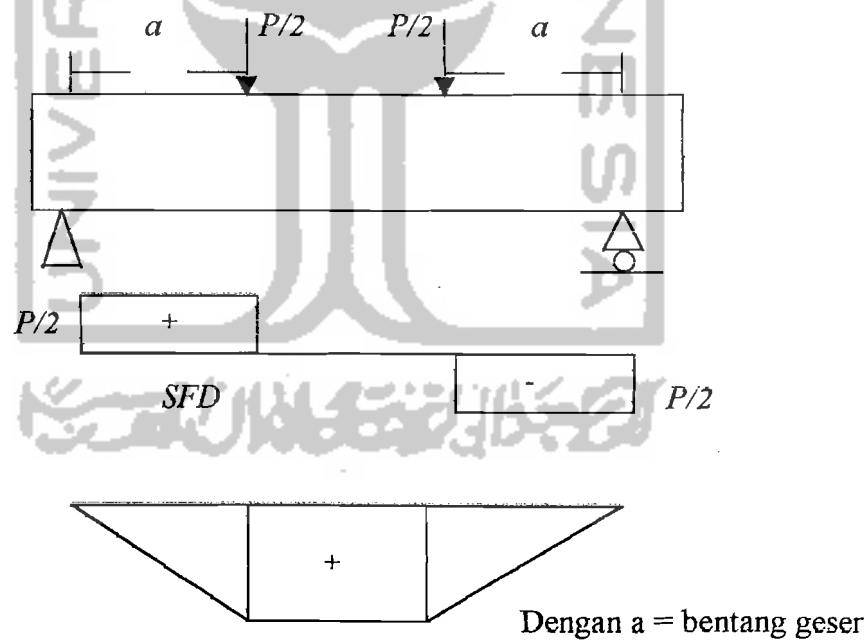
1. Semen Portland Tipe I Merek Nusantara,
2. agregat halus berasal dari kali krasak,
3. agregat kasar (batu pecah) dari Clereng,

4. tulangan baja deform diameter 16 mm dan polos diameter 6 mm,
5. multiplex tebal 12 mm,
6. air yang digunakan untuk campuran beton.

2. Perencanaan Benda Uji

Pada penelitian ini bentang balok yang digunakan sangat pendek yaitu 1,3 m sehingga diharapkan kegagalan geser yang menentukan. Benda uji direncanakan supaya mempunyai kemampuan geser lebih rendah dari kemampuan lenturnya, hal ini dimaksudkan supaya benda uji tidak gagal dalam lentur. Karena keterbatasan alat, maka beban rencana tidak boleh lebih dari 15 ton.

Skema dari balok uji dapat dilihat seperti Gambar 1.2 .



BMD

Gambar 1.2 Skema balok beton

Dari kondisi di atas, dapat dihitung kapasitas nominal mesin maksimum dengan berbagai variasi bentang geser.

Misal untuk $a = 125 \text{ mm}$

$$M_n \text{ max} = 7,5 \times 0,125 \times 9,81 = 9,1669 \text{ kNm.}$$

$$V_n \text{ max} = 7,5 \times 9,81 = 73,575 \text{ kN}$$

Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.1 di bawah ini

Tabel 1.1 Kapasitas nominal mesin maksimum

Bentang geser	$M_n \text{ max (kNm)}$	$V_n \text{ max (kN)}$
125	9,1669	73,575
250	18,3938	73,575
375	27,5906	73,575
500	36,7875	73,575

Untuk menghindari kegagalan lentur pada saat pengujian, maka kapasitas lentur harus lebih besar dari kapasitas geser dan kapasitas lentur balok sebagai pembanding agar memenuhi persyaratan pengujian (kegagalan geser).

a) Kapasitas geser (V_c)

$$f'_c = 21 \text{ MPa}$$

$$b = 110 \text{ mm}$$

$$d = 496 \text{ mm}$$

$$V_c = 1/6 \sqrt{f'_c} b d = 1/6 \sqrt{21} 110 496 = 41671 \text{ N} = 41,671 \text{ kN}$$

b) Kapasitas lentur

$$f'_c = 21 \text{ MPa}$$

$$f_y = 350 \text{ MPa}$$

Kapasitas tampang

$$M_u = \phi A_s f_y j d$$

$$= 0,80 \times 402,124 \times 350 \times 420$$

$$= 47289782,4 \text{ Nmm} = 47,2898 \text{ kNm}$$

Momen akibat beban luar :

$$M_u = 1/2 P_u a + 1/8 W_u L^2$$

$$1/2 P_u a = M_u - 1/8 W_u L^2$$

$$P_u = \frac{2 (M_u - 1/8 W_u L^2)}{a}$$

dengan a = bentang geser

Misal untuk a = 125 mm = 0,125 m

$$P_u = \frac{2 (47,2898 - 1/8 1,6699 \text{ l}^2)}{0,125} = 753,397 \text{ kN}$$

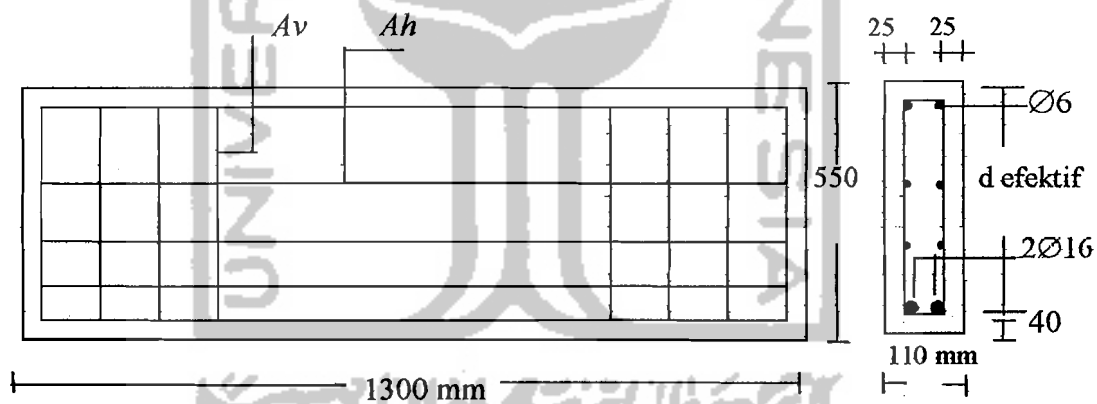
Hasil perhitungan beban maksimum (P_u) berdasarkan kapasitas lentur untuk berbagai variasi bentang geser dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Beban maksimum (Pu) berdasarkan kapasitas lentur untuk berbagai variasi bentang geser

Bentang geser (a) (mm)	Beban maksimum (Pu) berdasarkan kapasitas lentur (kN)
125	753,397
250	376,649
375	251,099
500	188,324

Berdasarkan hasil hitungan Tabel 1.2, kapasitas lentur lebih besar dari kapasitas geser balok.

Dimensi balok dipakai 110/550



Gambar 1.3 Dimensi balok beton

$$\begin{aligned}
 d \text{ efektif} &= h - p_b - D_s - 1/2 D_p \\
 &= 550 - 40 - 6 - \frac{1}{2} 16 = 496 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perencanaan penulangan benda uji adalah sebagai berikut

Perencanaan penulangan lentur

Baja digunakan, $f_y = 350 \text{ MPa}$

Kuat desak beton. $f'c = 21\text{MPa}$

Tulangan pokok digunakan D16 mm

$$A_{dp} = \frac{1}{4} \pi D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

Penulangan lentur yang dipakai ditentukan sama untuk semua balok uji. Untuk perencanaan diambil bentang geser yang mengakibatkan momen yang maksimum, yaitu pada bentang geser, $a = 500 \text{ mm}$

$$\text{Momen luar rencana : } M_u = 1/2 P_u a + 1/8 W_u L^2$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,11 \times 0,55 \times 23 = 1,3915 \text{ kN/m}$$

$$\text{Maka } M_u = 1,2 \times 73,575 \times 0,50 + 1/8 \times 1,6698 \times 1^2 = 44,3537 \text{ kNm}$$

Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s = \frac{M_u}{\Phi f_y j d}$$

dengan $j d = 0,2 (1 + 2h)$ untuk $1 \leq l/h < 2$

$$l/h = 1000/550 = 1,8 < 2$$

$$j d = 0,2 (1000 + 2 \times 550) = 420 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Phi f_y j d} = \frac{44,3537 \times 10^6}{0,80 \times 350 \times 420} = 377,157 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2D 16 dengan luas $A_s = 402,124 \text{ mm}^2$

● Perencanaan penulangan geser (sengkang)

Mutu baja, $f_y = 230 \text{ MPa}$

Diameter tulangan = 6 mm

Cek apakah balok uji termasuk balok tinggi

$$L_n/d = 1000/496 = 2,02 < 5$$

Jadi dapat dianggap balok tinggi

Gaya geser rencana (V_n) pada penampang kritis sama untuk semua variasi bentang geser yaitu $V_n = 73,575$ kN

Berat sendiri balok , $W_u = 1,6698$ kN/m

● Perencanaan tulangan geser untuk bentang geser, $a = 125$ mm

$$V_u = 1,2 \times 73,575 = 88,29 \text{ kN}$$

Jarak penampang kritis , $x = 0,50 \times a = 0,50 \times 125 = 62,5$ mm $< d = 496$ mm

$$M_u = \frac{1}{2} P_u x + \frac{1}{8} W_u L^2$$

$$= 88,29 \times 0,0625 + \frac{1}{8} \times 1,6698 \times 1 = 5,7269 \text{ kNm}$$

$$V_n \text{ maks} = \frac{1}{18} (10 + l_n/d) \sqrt{f'_c} b d$$

$$= \frac{1}{18} (10 + 2,02) \sqrt{21} \times 110 \times 496 = 375663 \text{ N} = 375,663 \text{ kN}$$

Kekuatan geser nominal pada penampang kritis,

$$V_n = \frac{V_u}{\Phi} = \frac{88,29}{0,60} = 147,15 \text{ kN}$$

$V_n \text{ maks} > V_n \text{ perlu}$

Dengan menggunakan prosedur yang lebih terperinci , maka pada penampang kritis,

$$\frac{M_u}{V_u d} = \frac{5,7269 \times 10^3}{88,29 \times 496} = 0,1308$$

Faktor pengali untuk balok tinggi

$$3,5 - 2,5 \frac{Mu}{Vud} = 3,5 - 2,5 \times 0,1308 = 3,17 > 2,5$$

Dipakai 2,5

$$\rho_w = \frac{As}{bd} = \frac{402,124}{110 \times 496} = 0,00737$$

$$\begin{aligned} \text{maka, } V_c &= \left[\left(3,5 - 2,5 \frac{Mu}{Vud} \right) \frac{1}{7} \left(\sqrt{f'c} + 120 \rho_w \frac{Vud}{Mu} \right) \right] b w d \\ &= (2,5) \frac{1}{7} \left[\sqrt{21} + 120 \times 0,00737 \times \frac{88,29 \times 496}{5,7269 \times 10^3} \right] \times 110 \times 496 \\ &= 221071,5 N \\ &= 221,0715 kN \end{aligned}$$

Batas atas V_c adalah $V_c = \frac{1}{2} \sqrt{f'c} b d$

$$= \frac{1}{2} \times \sqrt{21} \times 110 \times 496 = 125013 N = 125,013 kN$$

maka dipakai $V_c = 125,013 kN$

$V_n > V_c$, maka perlu penulangan geser vertikal dan horisontal.

Penulangan geser menurut SK SNI T - 03 - 1991, adalah

$$V_s = \left[\frac{Av}{s} \left(\frac{1 + \ln/d}{12} \right) + \frac{Avh}{s^2} \left(\frac{11 - \ln/d}{12} \right) \right] f_y d$$

Diameter tulangan geser horisontal dan vertikal adalah sama

$$A_v = A_{vh} = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 6^2 = 56,52 \text{ mm}^2$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$= 147,15 - 125,013 = 22,137 \text{ kN}$$

Sehingga

$$\frac{22,137 \times 10^3}{230 \times 496} = \frac{56,52 \left(\frac{1+2,02}{12} \right)}{s} + \frac{56,52 \left(\frac{11-2,02}{12} \right)}{s_2}$$

$$0,19405 = \frac{14,2242}{s} + \frac{42,2958}{s_2}$$

Ditentukan jarak sengkang vertikal dan horisontal sama, maka $s = s_2$

$$0,19405 = \frac{14,2242}{s} + \frac{42,2958}{s}$$

$$0,19405s = 56,5199$$

$$s = 290,591 \text{ mm}$$

$$s \text{ maks} = d/5 = 496/5 = 99,2 \text{ mm}$$

Dipakai jarak sengkang $s = s_2 = 200 \text{ mm}$

Perhitungan sengkang untuk berbagai variasi bentang geser dapat dilihat pada Tabel

Tabel 1.3 Jarak sengkang untuk berbagai variasi bentang geser

Bentang geser(a) (mm)	Jarak sengkang vertikal(s) (mm)	Jarak sengkang horisontal(s2) (mm)
125	200	200
250	200	200
375	200	200
500	200	200

Perhitungan kapasitas geser beton dan tegangan geser balok untuk berbagai variasi bentang geser sebagai pembanding dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Tegangan Geser Rencana

Bentang geser (a) (mm)	Vc (N)	Tegangan geser (v = V / bd) (N / mm ²)
125	221071,5	4,0519
250	156467,1	2,8678
375	134314,6	2,4618
500	108784,9	1,9939

3. Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan penelitian diuraikan secara singkat sebagai berikut :

1. Perencanaan campuran beton untuk adukan yang disesuaikan dengan "*mix design*" yang telah dihitung, beton diaduk dengan mesin pengaduk tersedia.
2. Pelaksanaan pencoran dilakukan apabila beton telah memenuhi nilai slump yang direncanakan, kemudian beton ditumpahkan pada bak penampung adukan dan ditampung dengan ember untuk dibawa ke tempat cetakan, setelah adukan dituang ke dalam cetakan. Setiap sampel diambil adukan beton untuk uji desak.
3. Pematatan beton dilaksanakan menggunakan tongkat penumbuk yang ditusuk-tusuk ke dalam adukan beton serta sisi cetakan diketuk-ketuk dengan palu sampai adukan merata dan padat.
4. Rawatan benda uji dengan membasahi benda uji dengan air sampai umur 14-28 hari.
5. Materi pengujian di laboratorium meliputi pengujian kuat desak beton, kuat tarik baja dan pengaruh variasi bentang geser terhadap beban geser dengan mesin uji.
6. Hasil-hasil penelitian dicatat untuk kemudian diolah menjadi data, gambar dan grafik.

Pengujian kuat desak beton dilakukan pada umur 28 hari. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Setiap benda uji diberi tanggal pembuatan dan tanggal pengujiannya.
2. Benda uji diletakkan pada mesin uji desak beton, kemudian diuji sampai pecah atau runtuh.

3. Setiap benda uji dicatat kuat desak betonnya, kemudian dihitung kuat desak beton rata-rata.

Pengujian kuat tarik langsung dilaksanakan sebelum pencoran beton. Langkah-langkah sebagai berikut :

1. Batang baja dipasang pada mesin uji tarik baja.
2. Penarikan dilakukan sampai baja luluh atau putus.
3. Dicatat besar beban tarik yang terjadi.

Pengujian kuat geser balok dilakukan pada umur 28 hari dengan cara pengujian sebagai berikut :

1. Sebelum diuji balok dikapur warna putih terlebih dahulu, sehingga pola retak yang terjadi mudah dilihat.
2. Kemudian benda uji diletakkan pada dukungan yang telah disiapkan bersama mesin uji.
3. Di atas benda uji diberi dukungan lempengan baja untuk menyalurkan beban dari mesin uji menjadi beban dua titik.
4. Pada saat pengujian, retak-retak yang terjadi pada benda uji akibat pembebanan digambar pola retaknya dengan spidol untuk memperjelas dan dicantumkan besar beban yang terjadi pada saat retak.

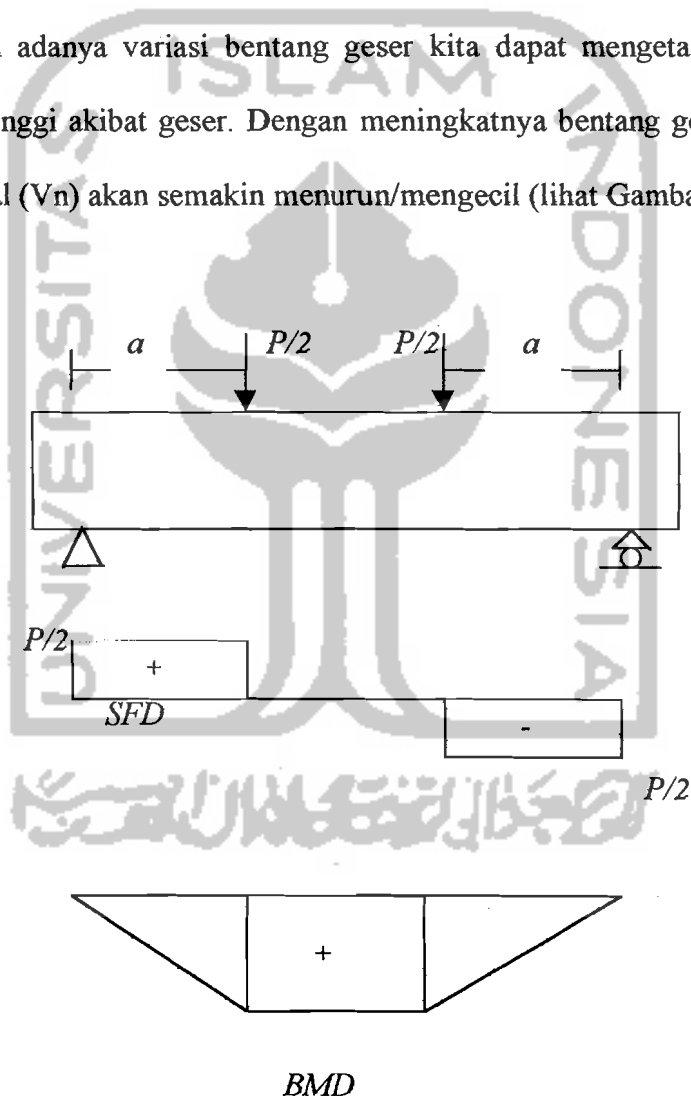
Data yang dicatat dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Besar beban yang mengakibatkan retak-retak diagonal/miring pada benda uji sampai runtuh.

2. Besar lendutan yang terjadi akibat kenaikan beban yang telah ditentukan , untuk setiap benda uji kenaikan beban ditetapkan sebesar 500 kg.
3. Digambarkan pola retak yang terjadi pada benda uji.

1.6 Hipotesa

Dengan adanya variasi bentang geser kita dapat mengetahui kapasitas geser pada balok tinggi akibat geser. Dengan meningkatnya bentang geser (a/d), kekuatan geser nominal (V_n) akan semakin menurun/mengecil (lihat Gambar 1.4).



Dengan $a =$ bentang geser

Gambar 1.4 Skema balok beton