

# TINJAUAN KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN LAPISAN MUTU BETON YANG BERBEDA

Iwan Wikana<sup>1)</sup>, Yohanes Widayat<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta

<sup>2)</sup>Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta

## Abstarct

*This study was aimed to investigate the flexural strength of concrete beam with the different layer inforcement. On the area of compression required the high compressive strength reinforced.*

*Reinforced beam consist two layer given flexural stress. Dimention of the beam tested with  $P \times L \times T = 100 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  with steel  $2 \phi 6 \text{ mm}$ . Each sample was made 5 concrete beam with composition 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr, 1 Pc : 2,34 Ps : 2,84 Kr, and 1 Pc : 3 Ps : 3 Kr.*

*The test result showed, the change of composition 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr into 1 Pc : 2,34 Ps : 2,84 Kr increase flexural stress 24,75 %. The change of composition 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr into 1 Pc : 3 Ps : 3 Kr increase flexural stress 37,09 %.*

*Key words = flexural, strength, concrete*

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan-bahan dasarnya, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan. Banyak keuntungan beton jika digunakan sebagai bahan bangunan tetapi beton juga memiliki sisi lain yang kurang menguntungkan, yaitu rendahnya kuat tarik beton yang hampir selalu diabaikan dalam perancangan struktur, serta sifat getasnya sehingga beton segera runtuh setelah retakan pertama hanya dengan gaya tarik yang tidak terlalu besar.

Gaya luar yang bekerja pada struktur beton bertulang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan secara bersama-sama. Bila gaya luar yang ditahan oleh beton dan baja tulangan relatif kecil dari modulus tarik, seluruh serat penampang secara efektif dapat menahan beban tersebut bersama baja tulangan. Dengan peningkatan beban lebih lanjut, kapasitas momen balok tercapai, dan balok akan runtuh menurut salah satu dari dua jenis keruntuhan. Pertama, bila baja tulangan yang terpasang relatif sedikit, sehingga pada tingkat beban tertentu baja tulangan dapat mencapai tegangan lelehnya. Sementara itu, retak-tarik pada beton akan

---

terlihat dan menjalar ke bagian atas serat penampang. Bila ini terjadi, regangan beton di bagian tekan akan meningkat hingga mencapai batas regangan hancur beton, dan terjadi runtuh tekan sekunder (*secondary compression failure*), dengan tingkat beban yang sedikit di atas beban yang menyebabkan baja tulangan meleleh. Keruntuhan semacam ini terjadi secara perlahan-lahan dan diawali dengan semakin lebar dan panjang retakan, serta peningkatan defleksi. Kedua, bila baja tulangan yang digunakan ternyata relatif banyak dan apalagi dengan mutu tinggi, kekuatan tekan beton dapat dilampaui sebelum baja tulangan mencapai tulangan leleh. Bagian tekan beton akan hancur, karena timbulnya regangan yang terlalu besar yang menyebabkan hilangnya integritas beton. Keruntuhan semacam ini terjadi secara mendadak.

Dengan adanya kondisi tekan-tarik pada balok beton bertulang, maka tidak menutup kemungkinan apabila balok beton bertulang tersebut dibuat dengan menggunakan mutu beton yang berbeda. Dilihat dari fungsi beton sendiri pada daerah tarik adalah sebagai perekat tulangan, maka kami mencoba melakukan penelitian seberapa besar pengaruh lapisan mutu beton yang berbeda pada balok beton bertulang, apabila balok tersebut diuji kuat lenturnya. Seberapa besar pengaruh perubahan komposisi campuran beton pada daerah tarik terhadap kuat lentur balok beton bertulang, apakah hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang dengan mutu beton yang sama hasilnya lebih baik dibanding balok beton bertulang dengan menggunakan mutu beton yang berbeda, dan keretakan yang terjadi apakah karena pengaruh gaya tarik atau karena gaya geser perlu diseliki lebih jauh.

## **B. Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh beton pada daerah tarik, apakah sebagai perekat tulangan saja, sehingga mutu beton pada daerah tarik bisa direndahkan. Dengan demikian pada daerah tarik, yang perlu diperhatikan adalah baja tulangannya, karena baja tulangan bisa menahan gaya tarik lebih besar dibandingkan beton. Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian yang dilakukan ini adalah sumbangan pengetahuan khususnya ilmu sipil yang berhubungan dengan beton bertulang.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Beton Bertulang**

Beton dalam konstruksi teknik didefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu wadah atau cetakan dalam keadaan cair kental, yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai

---

bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan berlangsung.

Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen *portland* (s.p.) atau disebut juga *Portland Cement* (P.C.). Agregat kasar umumnya adalah dipakai kerikil atau batu pecah kecil (kricak) dan sebagai agregat halus lazim dipergunakan pasir. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri dari campuran semen portland, pasir dan kerikil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton.

## **B. Baja tulangan dan kawat pengikat**

Baja tulangan untuk konstruksi beton bertulang ada bermacam-macam jenis dan mutu tergantung dari pabrik yang membuatnya. Setiap pabrik baja mempunyai standar yang dipakai oleh pabrik yang bersangkutan. Ada dua jenis baja tulangan, yaitu tulangan polos (*plain bar*) dan tulangan ulir (*deformed bar*). Sebagian besar baja tulangan yang ada di Indonesia adalah produksi Krakatau Steel, yang umumnya berupa tulangan polos untuk baja lunak, dan tulangan ulir untuk baja keras.

Baja Tulangan polos tersedia dalam beberapa macam diameter, tetapi karena ketentuan SNI hanya memperkenankan pemakaiannya untuk sengkang dan tulangan spiral, pemakaiannya terbatas. Saat ini, tulangan polos yang mudah dijumpai adalah hingga diameter 16 mm, dengan panjang standar 12 meter.

Berdasarkan ketentuan SNI T-15-1991-03 Pasal 3.5, baja tulangan ulir lebih diutamakan pemakaian untuk batang tulangan beton struktur. Salah satu tujuan dari ketentuan ini adalah agar struktur beton bertulang tersebut memiliki keandalan terhadap efek gempa, karena, antara lain, terdapat lekatan yang lebih baik antara beton dengan tulangannya. Berbeda dengan PBI-71 yang menggunakan simbol U untuk menyatakan mutu baja tulangan, SNI menggunakan simbol BJTP (baja tulangan polos) dan BJTD (baja tulangan ulir). Baja tulangan polos yang tersedia mulai dari mutu BJTP-24 hingga BJTP-30, simbol ini menyatakan tegangan leleh karakteristik materialnya.

Untuk mengikat baja tulangan satu dengan lainnya supaya pada waktu pengecoran beton, baja tulangan tidak berubah tempatnya harus diikat teguh dengan kawat pengikat. Kawat pengikat tersebut harus dibuat dari baja lunak dengan garis tengah minimum 1 mm (telah dipijarkan terlebih dahulu) dan tidak bersepuh seng. Kawat pengikat baja tulangan dalam perdagangan berbentuk gulungan. Untuk diikatkan pada baja tulangan harus dipotong-potong dahulu menurut kebutuhannya.

## **C. Kuat Tekan Beton**

Kekuatan maksimal beton hanya terletak pada kuat tekan yang tinggi dan beton juga menghasilkan kuat tarik tapi sangat kecil kira-kira 10 % dari kuat tekannya. Jadi yang perlu mendapat perhatian maksimal pada kekuatan beton

---

hanya kuat tekannya, apabila kuat tekannya tinggi, maka sudah tentu sifat-sifat yang lain juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah faktor air semen, sifat dan kualitas bahan, perbandingan bahan susun, *slump*, cara pengerjaan, dan perawatan beton.

#### D. Kuat Lentur Balok

Bila suatu penampang beton bertulang yang dibebani lentur murni dianalisis, pertama-tama perlu dipakai sejumlah kriteria agar penampang itu mempunyai probabilitas keruntuhan yang layak pada keadaan batas hancur.

Anggapan yang digunakan dalam menganalisis beton bertulang yang diberi beban lentur adalah :

1. Beton tidak dapat menerima gaya tarik karena beton tidak mempunyai kekuatan tarik
2. Perubahan bentuk berupa pertambahan panjang dan perpendekan (regangan tarik dan tekan) pada serat-serat penampang, berbanding lurus dengan jarak tiap serat ke sumbu netral. Ini merupakan kriteria yang kita kenal, yaitu penampang bidang datar akan tetap berupa bidang datar.
3. Hubungan antara tegangan dan regangan baja ( $\sigma_s$  dan  $\epsilon_s$ ) dapat dinyatakan secara skematis
4. Hubungan antara tegangan dan regangan beton ( $\sigma'_s$  dan  $\epsilon'_s$ ) dapat dinyatakan secara skematis.

Untuk menentukan kuat lentur pada balok, berlaku rumus lenturan sebagai berikut :

$$\sigma_{lt} = \frac{\frac{1}{2} wac}{I} \quad (1)$$

$$\sigma_{lt} = \frac{M \cdot c}{\frac{1}{12} bh^3} \quad (2)$$

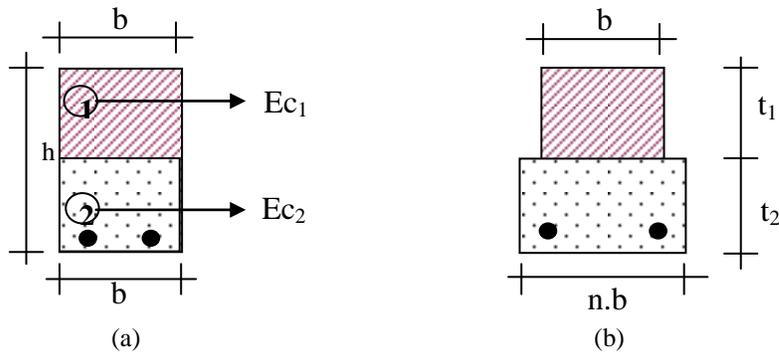
dengan  $\sigma_{lt}$  = tegangan lentur pada balok (MPa),  $M$  = momen yang bekerja pada balok (kg.cm),  $c$  = Jarak serat terluar terhadap garis netral (cm),  $I$  = Momen inersia penampang balok terhadap garis netral (cm<sup>4</sup>), dan  $w$  = besar beban (kg).

#### E. Garis Netral

Untuk mengetahui adanya daerah tekan dan daerah tarik pada balok beton bertulang, harus dicari garis netral penampang. Akan tetapi balok-balok yang dibangun lebih daripada satu mutu beton tekan ( $f_c'$ ) mengalami kesulitan dalam pencarian garis netral dibanding hanya dengan satu  $f_c'$  saja. Cara yang mudah untuk menganalisa balok beton bertulang yang dibangun lebih dari satu  $f_c'$  tersebut adalah mentransformasikan penampang, yang terdiri atas lebih daripada satu  $f_c'$  ke dalam suatu penampang ekuivalen yang disusun hanya

---

dengan satu  $f_c'$  saja. Tampang transformasi untuk beton lapis yang memiliki mutu beton yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.4.



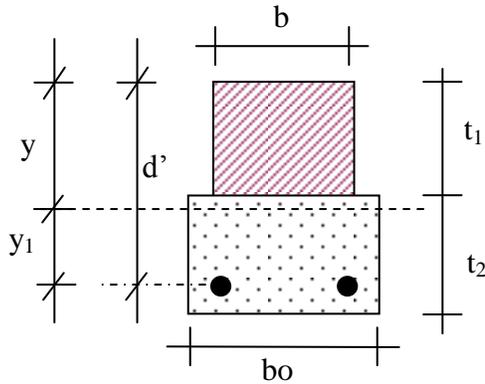
Gambar 2.4. Tampang transformasi : (a) penampang beton lapis , (b) tampang transformasi.

Untuk melihat bagaimana ekuivalensi atau kesetaraan ini tercapai diperlukan angka modular (*modular ratio*) yang dihasilkan dari perbandingan antara modulus elastisitas bahan 1 dengan modulus elastisitas bahan 2 atau sebaliknya tergantung bahan mana yang akan ditransformasikan. Angka modular dapat dirumuskan seperti Persamaan 2.4.

$$n = \frac{Ec_2}{Ec_1} \quad (3)$$

dengan  $n$  = angka modular,  $Ec_2 = (4700\sqrt{f_{c_2}})$  modulus elastisitas beton tekan, lapis kedua, dan  $Ec_1 = (4700\sqrt{f_{c_1}})$  modulus elastisitas beton tekan, lapis pertama.

Setelah ada kesetaraan  $f_c'$  pada penampang balok tersebut, garis netral dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini seperti disajikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penampang garis netral

Momen statis terhadap garis netral :

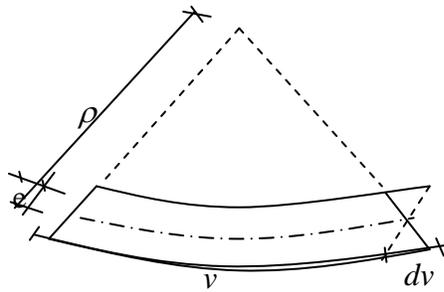
$$y = \frac{\left(\frac{1}{2} t_1 \times b \times t_1\right) + \left[\frac{1}{2} (t_1 + t_2) \times b_0 \times t_2\right] + [(n - 1)As] \times d'}{(t_1 \times b) + (t_2 \times b_0) + (n - 1) As}$$

$$y_1 = d' - y$$

dan dengan memasukkan nilai  $b$ ,  $b_0$ ,  $t_1, t_2$ ,  $n$ ,  $As$ ,  $d'$  ke dalam persamaan di atas, maka nilai  $y$  dan  $y_1$  dapat diperoleh dengan  $b$  = lebar badan (cm),  $b_0$  = lebar sayap (cm),  $t_1 = t_2$  = tinggi badan (cm),  $n$  = modulus elastisitas baja dibagi modulus elastisitas beton ( $E_s/E_c$ ),  $As$  = luas tulangan ( $cm^2$ ), dan  $d'$  = tinggi efektif balok (cm).

#### F. Hubungan Lendutan dan Regangan

Menurut Gideon (1994), perhitungan lendutan dapat dilakukan dengan cara analisis kekakuan, misalnya papan yang melengkung seperti Gambar 3.2. Akibat pembebanan papan mengalami lendutan, sehingga serat-serat bagian bawah batang akan mengalami pertambahan panjang sebesar  $dv$  dari panjang awal  $v$ . Serat ditengah-tengah batang pada sumbu netral dengan panjang  $v$  tidak akan mengalami perubahan.



Gambar 3.2. Hubungan lendutan, kekakuan, dan regangan

$\rho$  adalah jari-jari kelengkungan dari sumbu netral dan  $e$  adalah jarak antara sumbu netral ke serat bawah. Dari hubungan kesebangunan segitiga pada Gambar 3.2 tersebut diperoleh :

$$\frac{e}{\rho} = \frac{v}{dv} \quad (4)$$

Berdasarkan Hukum Hooke :

$$\sigma = E \varepsilon \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma = \frac{M}{w}, \text{ maka } \frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot w \cdot e} \text{ dengan } w \cdot e = I$$

Hubungan antara jari-jari kelengkungan, momen, modulus elastisitas dan lendutan untuk beban dua titik persamaannya adalah :

$$\delta = \frac{M}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \rightarrow M = \frac{24EI\delta}{(3L^2 - 4a^2)}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \rightarrow \frac{1}{\rho} = \frac{24\delta}{(3L^2 - 4a^2)}, \text{ sehingga } \rho = \frac{(3L^2 - 4a^2)}{24\delta}$$

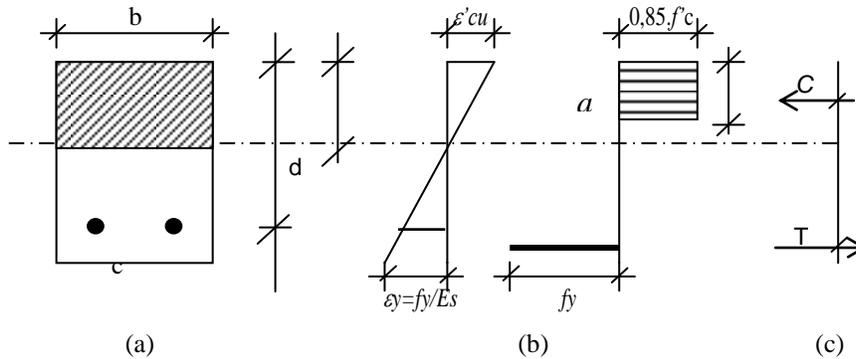
Perbandingan  $dv/v$  menyatakan suatu regangan, sehingga selanjutnya akan diperoleh :

$$\varepsilon = \frac{e}{\rho} \text{ atau } \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon}{e}$$

### G. Keseimbangan Regangan dan Tegangan

Pada Gambar 3.3. berturut-turut disajikan; sebuah penampang melintang beton dengan lebar  $b$  dan tinggi efektif  $d$  (Gambar 3.3a), diagram regangan (Gambar 3.3b) dan diagram tegangan (Gambar 3.3c).

Diagram ini menyatakan bahwa regangan tekan beton dan batas leleh baja yang disyaratkan tercapai bersamaan. Suatu keadaan pembebanan terhadap lentur murni adalah bila penampang hanya dibebani momen lentur, maka terdapat keadaan seimbang dalam berupa  $\sum H = 0$ . Ini berarti  $C_c = T_s$  (Gambar 3.3d).



Gambar 3.3. Penampang, diagram regangan dan tegangan dalam keadaan seimbang

Dari hubungan kesebangunan segitiga pada Gambar 3.3.b dapat diperoleh :

$$\epsilon'cu + \epsilon y = \frac{\epsilon'cu}{d} d \rightarrow \epsilon y = \left(\frac{\epsilon'cu}{d} d\right) - \epsilon'cu$$

$$Cc = 0,85 f'c . a . b \text{ dan } Ts = As fy \text{ sehingga } 0,85 f'c . a . b = As fy$$

$$Mu = Cc \left(d - \frac{1}{2} a\right) \text{ atau } Mu = Ts \left(d - \frac{1}{2} a\right)$$

Dalam hal ini  $a = \beta c$  dan  $f'c \geq 30 \text{ MPa}$  berlaku

$$\beta = 0,85 - 0,008(f'c - 30) \text{ dan untuk } f'c = 45 \text{ MPa } (4350 \text{ kg/cm}^2)$$

berlaku  $\beta = 0,85 - 0,008(45 - 30) = 0,73$  sehingga :

$$Mu = 0,8 As fy (d - a,365 c)$$

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Bahan dan Peralatan Penelitian

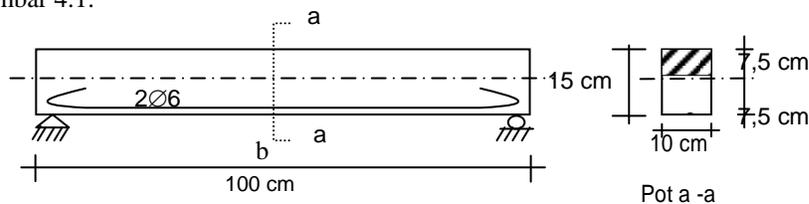
Dalam penelitian ini semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I merk Gresik dan agregat halus berupa pasir berasal dari Merapi, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah sedang air yang digunakan adalah yang layak diminum dari sumur Laboratorium Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta. Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah BJTP-24 dengan diameter tulangan 6 mm.

Kawat pengikat terbuat dari baja lunak dengan diameter 1 mm yang digunakan untuk mengikat tahu beton dengan tulangan. Papan yang digunakan untuk bekesting menggunakan papan kayu sengon dengan ukuran rata-rata (p x l x t) 200 cm x 20 cm x 1 cm. Tekstur kayu yang digunakan untuk bekesting permukaannya agak kasar dan perlu dihaluskan supaya cetakan yang dihasilkan permukaannya halus.

Alat-alat yang digunakan antara lain cetok, ember, *cone SSD* pasir diameter atas 4 cm, diameter bawah 9 cm, tinggi 7 cm dan alat penumbuk dengan berat 39,5 gr, timbangan *Ohaus* kapasitas 320 gr, gelas ukur kapasitas 250 cc dan 500 cc, ayakan spesifikasi ASTM # 4,75 ; #2,36 ; #1,18 ; #0,6 ; #0,15 ; #0,075 ; pan, mesin ayakan *sieve shaker*, oven pengering dibuat pada suhu 100 ° – 110 ° C, desikator, piring dan cawan, stopwatch, alat uji desak merk *Enerpac P-80* kapasitas 1000 Psi, kerucut Abrams dan alat penumbuk, jangka sorong, *hydraulic jack* kapasitas 315 kg/cm<sup>2</sup>, *mechanical dial gage* dengan ketelitian 0,1 mm, dan alat-alat bantu lainnya.

#### B. Benda Uji

Benda uji untuk pengujian lentur dibuat berupa balok beton bertulang dengan lapisan mutu beton berbeda dan kubus beton 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan fas 0,5. Ketentuan dan sketsa balok untuk pengujian lentur disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Sketsa benda uji

Tabel 4.1. Komposisi benda uji

Kode	Perlakuan	Jumlah
N	Balok normal dengan komposisi campuran beton 1PC : 2Ps : 3Kr.	5
A	Pencetakan balok pada daerah tekan digunakan campuran beton 1PC: 2Ps : 3Kr sedangkan daerah tarik digunakan komposisi campuran beton 1PC : 2,34Ps : 2,84 Kr selang waktu pencetakan 45 menit.	5
B	Pencetakan balok pada daerah tekan digunakan campuran beton 1PC: 2Ps : 3Kr sedangkan daerah tarik digunakan komposisi campuran beton 1PC : 3Ps : 3 Kr selang waktu pencetakan 45 menit.	5

### C. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap dan seluruhnya dikerjakan di Laboratorium Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta. Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu: persiapan, pencampuran, pengadukan, pencetakan, perawatan dan pengujian.

### D. Pengujian

Benda uji yang telah siap diuji, sebelumnya ditimbang dan diukur sisi-sisinya dengan kaliper untuk mendapatkan nilai panjang, lebar dan tinggi benda uji yang sudah dibuat. Pengujian benda uji dibagi menjadi dua yaitu pengujian desak beton dan pengujian kuat lentur.

#### 1. Pengujian kuat desak beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan pada waktu beton berumur 28 hari menggunakan alat uji desak merk *ENERPAC P-80* Kapasitas 1000 Psi. Nilai kuat desak diperoleh dengan membagi besarnya beban desak  $F$  (tonf) Dengan luas permukaan bidang tekan  $A$  (cm<sup>2</sup>) seperti pada persamaan (6).

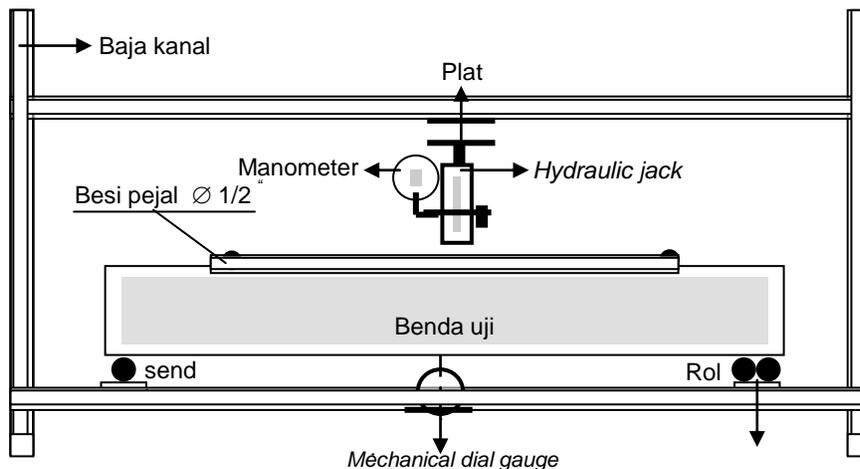
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

dengan  $\sigma$  = kuat tekan (kgf/cm<sup>2</sup>),  $F$  = beban tekan (kgf), dan  $A$  = luas bidang tekan (cm<sup>2</sup>)

---

## 2. Pengujian kuat lentur

Balok-balok yang sudah cukup umur untuk dilakukan pengujian, sebelumnya dilakukan pemeriksaan apakah terjadi retak-retak ataupun cacat yang lainnya. Balok dibebani lentur murni yaitu dengan pembebanan dua titik dengan tumpuan sederhana sendi dan rol. Alat yang digunakan untuk menguji kuat lentur, berupa kerangka yang terbuat dari baja kanal, satu set *hydraulic jack* yang telah dipasang manometer yang berfungsi untuk mengetahui besarnya beban  $P$ , *mechanic dial gage* yang di pasang dibawah balok untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi saat balok mengalami lenturan dan tumpuan yang berbentuk sendi dan rol yang terbuat dari besi pejal yang berdiameter 3/4 inchi.. Sketsa alat uji disajikan seperti pada Gambar 4.2 . Pelaksanaan pengujian benda uji balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

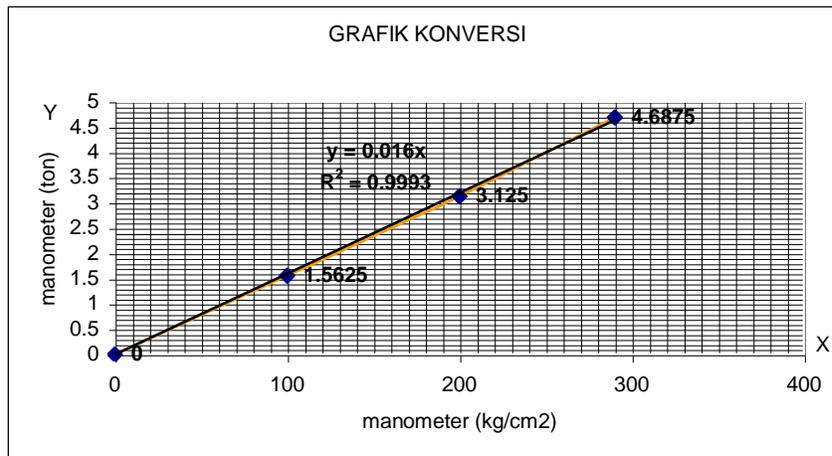


Gambar 4.2. Sketsa alat uji lentur

- Benda uji diangkat dan diletakkan pada tumpuan berupa sendi dan rol pada kerangka alat. Tumpuan benda uji terletak 5 cm dari sisi kanan dan kiri bagian bawah benda uji.
- Benda uji yang sudah terpasang dibebani dengan beban titik di dua tempat.
- Beban dua titik ini berupa seperangkat *hydraulic jack* yang sudah dipasang manometer yang berfungsi untuk mengetahui beban  $P$  dan diletakkan tepat ditengah-tengah baja kanal yang bawahnya diberi tumpuan yang berupa besi pejal berdiameter 1/2 inchi berjarak 20 cm dari tumpuan. Manometer yang terpasang pada *hydraulic jack* mempunyai ukuran tekanan dengan satuan  $\text{kg/cm}^2$ . Untuk mengetahui besarnya beban  $P$  dalam satuan tonf, maka dikalibrasikan dengan alat uji tekan beton yang mempunyai satuan tonf. Dari

besaran tonf selanjutnya dijadikan besaran ton, langkah yang digunakan yaitu mengalikannya dengan angka 1,25. Kalibrasi besaran ditunjukkan pada Gambar 4.3.

- d. Langkah selanjutnya yaitu memasang *mechanical dial gage* pada bagian bawah benda uji yang berfungsi untuk membaca seberapa besar lendutan yang akan terjadi. *Mechanical dial gage* yang digunakan mempunyai ketelitian 0,01 mm dengan penurunan sebesar 1 cm.
- e. Bila pemasangan alat sudah siap selanjutnya dilakukan tahap pengujian. Pengujian dilakukan dengan cara memompa hidraulik jack dengan kelipatan beban yang tetap. Kelipatan beban yang terjadi dibaca lewat manometer. *Hydraulic jack* yang dipompa, bagian ujung *hydraulic jack* akan menekan plat yang ada pada kerangka profil canal bagian atas dan secara otomatis bagian pangkal hidraulik jack menekan baja kanal yang diberi 2 tumpuan besi pejal sebagai beban 2 titik yang selanjutnya menekan benda uji yang berada dibagian bawahnya. Setiap kali penambahan beban dilakukan, maka *mechanical dial gage* akan berputar dan membaca lendutan yang terjadi. Pencatatan beban dan lendutan dilakukan pada saat penambahan beban dengan kelipatan tertentu. Selain melakukan pencatatan beban dan lendutan setiap penambahan beban dilakukan pengamatan pada benda uji apakah terjadi retakan atau tidak. Penambahan beban dilakukan sampai benda uji retak dan beban yang ada pada manometer tidak mau naik lagi. Pada saat benda uji retak secara otomatis beban akan turun dan lendutan akan naik pada nilai tertentu dan ini dicatat sebagai data terakhir.



Gambar 4.3. Grafik konversi satuan

## IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir dan Kerikil

Setelah dilakukan penyaringan terhadap pasir, diperoleh harga modulus butir 3,0188. Sesuai ASTM C.33-82, pasir yang digunakan memenuhi syarat. Berdasarkan *British Standard*, pasir yang digunakan tergolong kasar, karena masuk daerah I. Dari pemeriksaan kadar lumpur diperoleh kadar lumpur sebesar 1,18 %. Bila ditinjau terhadap maksimum kandungan lumpur sesuai PBI 1971 pasal 3.3 ayat 3 sebesar 5 %, maka pasir yang digunakan memenuhi persyaratan. Pemeriksaan berat jenis pasir menghasilkan berat jenis kering = 2,64, berat jenis SSD = 2,69 dan sesuai SK SNIT-15-1990-03, berat jenis pasir memenuhi persyaratan, karena lebih dari 2,5 dan kadar air pasir diperoleh 1,76 %. Pemeriksaan kerikil menghasilkan berat jenis kering = 2,5 dan berat jenis SSD = 2,6.

### B. Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan pada waktu beton berumur 28 hari. Dari hasil pengujian kuat desak beton diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Kode N → 1PC : 2Ps : 3Kr diperoleh kuat desak sebesar  $450 \text{ kg/cm}^2$  atau  $f'c = 45 \text{ MPa}$ .
2. Kode A → 1PC : 2,34Ps : 2,84Kr diperoleh kuat desak  $490 \text{ kg/cm}^2$  atau  $f'c = 49 \text{ MPa}$ .
3. Kode B → 1PC : 3Ps : 3Kr diperoleh kuat desak sebesar  $380 \text{ kg/cm}^2$  atau  $f'c = 38 \text{ MPa}$ .

### C. Angka Modular

1. Beton lapis A, dengan  $f'c = 45 \text{ MPa}$  dan lapis kedua dengan  $f'c = 49 \text{ MPa}$ .


$$E_{c1} = 4700\sqrt{45}$$
$$E_{c2} = 4700\sqrt{49}$$

→ Angka modular ( $n$ ) =  $E_{c2}/E_{c1} = 1,04$

2. Beton lapis B, dengan  $f'c = 45 \text{ MPa}$  dan lapis kedua dengan  $f'c = 38 \text{ MPa}$ .

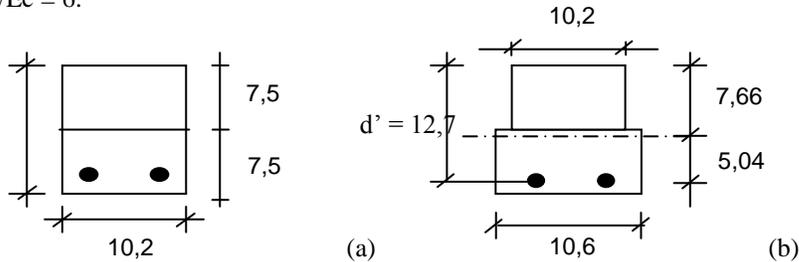

$$E_{c1} = 4700\sqrt{45}$$
$$E_{c2} = 4700\sqrt{38}$$

→ Angka modular ( $n$ ) =  $E_{c2}/E_{c1} = 0,9$

---

#### D. Garis Netral

Hasil perhitungan garis netral untuk masing-masing benda uji disajikan dalam Tabel 5.1. Contoh perhitungan garis netral benda uji A1. Diketahui angka modular = 1,04 ;  $d' = 12,7$  cm ;  $A_s = 2 \times 1/4 \pi \times 0,6^2 = 0,56$  cm<sup>2</sup> ; dan  $n = E_s/E_c = 6$ .



Gambar 5.1. Penampang transformasi

Setelah penampang pada Gambar 5.1a. ditransformasikan menjadi  $f'c$  yang sama yaitu dengan mengalikan dengan angka modular pada lapis kedua, maka penampang menjadi seperti pada Gambar 5.1b. Perhitungan garis netralnya adalah :

$$M_s = \frac{(3,75 \times 7,5 \times 10,2) + (11,25 \times 7,5 \times 10,6) + (3 \times 12,7)}{(10,2 \times 7,5) + (10,6 \times 7,5) + 3} = 7,66 \text{ cm}$$

$$y_1 = 12,7 - 7,66 = 5,04 \text{ cm } y_1$$

#### E. Momen Inersia Terhadap Sumbu Netral

Hasil perhitungan momen inersia terhadap sumbu netral untuk masing-masing benda uji disajikan dalam Tabel 5.1. Contoh perhitungan momen inersia terhadap sumbu netral tampang A1. Diketahui  $A_g = 156$  cm<sup>2</sup>;  $(n-1)A_s = 3$

$$I_0 \text{ beton} = \frac{10,2 \cdot 7,5^3}{12} + 10,2 \cdot 7,5 (7,66 - 3,75)^2 + \frac{10,2 \cdot 7,5^3}{12} + 10,6 \cdot 7,5 (5,04 - 3,75)^2$$

$$2033,07 \text{ cm}^4$$

$$A y^2 = 156 (7,66 - 7,5)^2 = 3,993 \text{ cm}^4 ;$$

$$A y^2 \text{ tulangan} = 3 \cdot (12,7 - 7,66)^2 = 76,20 \text{ cm}^4$$

$$\text{Inertia Total} = I_0 \text{ beton} + A y^2 \text{ beton} + A y^2 \text{ tulangan}$$

$$= 2033,07 + 3,993 + 76,20 = 2113,268 \text{ cm}^4$$

abel 5.1 Hasil perhitungan garis netral dan inertia

Kode	p x l x t (cm)	c (cm)	e (cm)	I total (cm <sup>4</sup> )
N1	100 x 10,2 x 15,1	7,65	5,15	3007,35
N2	99,3 x 10,5 x 14,0	7,09	4,61	2465,73
N3	99,3 x 10 x 14	7,09	4,61	2351,34
N4	100 x 10 x 15	7,6	5,08	2891,77
N5	98,5 x 11, x 15	7,59	5,11	3172,85
A1	99 x 10,2 x 15	7,66	5,04	2113,28
A2	100,2 x 10,5 x 15	7,66	5,04	2173,59
A3	99,0 x 10,3 x 14,2	7,23	4,67	1780,41
A4	99,0 x 10,3 x 14,2	7,16	4,54	1713,11
A5	102,5 x 10,5 x 14,0	7,16	4,54	1745,17
B1	98,5 x 11, 1 x 15,3	7,54	5,46	2254,44
B2	102,7 x 10,2 x 14,3	7,068	4,932	1707,51
B3	100,3 x 10,3 x 15,5	7,65	5,55	2192,16
B4	99,3 x 10,7 x 14,2	7,01	4,89	1711,52
B5	99 x 10 x 14,7	7,26	5,14	1795,68

## F. Pengujian Kuat Lentur

Hasil perhitungan kuat lentur benda uji disajikan pada Tabel 5.2.

Contoh perhitungan kuat lentur benda uji A1.

Diketahui :

$L = 89,0 \text{ cm}$  ,  $a = 20 \text{ cm}$  ,  $\delta_{maks} = 0,239 \text{ cm}$  ,  $I = 2113,28 \text{ cm}^4$  ,  $c = 7,66 \text{ cm}$

$e = 5,04 \text{ cm}$  ,  $d' = 12,7 \text{ cm}$  ,  $f_y = 240 \text{ MPa}$  ,  $E_s = 2.10^5 \text{ MPa}$  ,  $P = 1440 \text{ kg}$

$$E = \frac{P \cdot a}{24 \cdot \sigma_{maks} \cdot I} (3L^2 - 4a^2)$$

$$= \frac{1440 \cdot 20}{24 \cdot 0,239 \cdot 2113,28} (3 \cdot 89^2 - 4 \cdot 20^2) = 52657,14 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\rho = \frac{3L^2 - 4a^2}{24 \sigma} = \frac{3 \cdot 89^2 - 4 \cdot 20^2}{24 \cdot 0,239} = 3836,84 \text{ cm} ;$$

$$\epsilon = \frac{e}{\rho} = \frac{5,04}{3836,84} = 0,001304$$

$$\sigma_{lt} = E \cdot \epsilon = 52657,147 \times 0,001304 = 68,66 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Check tulangan baja:

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= (\epsilon'_{cu} / c) \cdot d - \epsilon_{cu} = (0,001304 / 7,66) 12,7 - 0,01304 \\ &= 0,000858 \geq f_y / E_s = 0,0012 \text{ (baja belum luluh)} \end{aligned}$$

Tabel 5.2. Kuat lentur benda uji

Kode Balok	P uji (kg)	Rata2	$\epsilon$	Rata-rata	$\epsilon_s$	Rata2	$\sigma_{lt}$ mak (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata2	$\sigma_{lt}$ mak (MPa)	Rata2
N1	1640	1528	0,001319	0,001245	0,000888	0,000824	56,17	53,76	5,617	5,376
N2	1440		0,001336		0,000865		53,84		5,384	
N3	1520		0,001336		0,000865		56,46		5,646	
N4	1440		0,001030		0,000691		50,79		5,079	
N5	1600		0,001204		0,000811		51,53		5,153	
A1	1440	1336	0,001300	0,00096	0,000858	0,000625	68,66	67,07	6,866	6,707
A2	1280		0,000760		0,000505		59,36		5,936	
A3	1320		0,001300		0,000843		68,70		6,870	
A4	1320		0,000770		0,000492		69,96		6,996	
A5	1320		0,000670		0,000427		68,67		6,867	
B1	1560	1384	0,000691	0,000825	0,000500	0,000749	70,41	73,70	7,041	7,370
B2	1320		0,000847		0,000591		76,52		7,652	
B3	1440		0,001210		0,000878		72,91		7,291	
B4	1280		0,001250		0,000872		73,14		7,314	
B5	1320		0,000128		0,000906		75,56		7,556	

### G. Perhitungan Kuat Lentur Teoritis

Untuk benda uji N1, diketahui :

$$f_s = 177,6 \text{ MPa} = 1776 \text{ kg/cm}^2 ; A_s = 0,56 \text{ cm}^2 ; d' = 12,8 \text{ cm}$$

$$c = 7,65 \text{ cm} ; I = 3007,35 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} M_u &= 0,8 \cdot A_s \cdot f_s \cdot (d - 0,393c) = 0,8 \cdot 0,56 \cdot 1776 (12,8 - 0,365 \cdot 7,65) \\ &= 7962,64 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

$$\sigma_{lt} = \frac{M_u \cdot c}{I} = \frac{7962,64 \cdot 7,65}{3007,35} = 20,25 \text{ kg/cm}^2$$

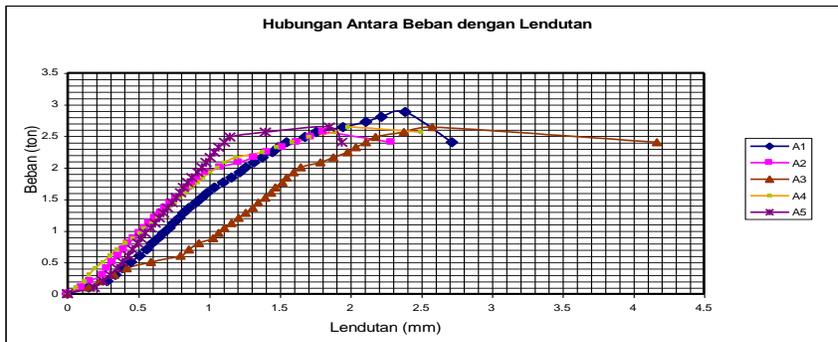
## H. Keretakan Balok

Akibat beban yang bekerja di atas balok bertambah besar sehingga tegangan tarik pada beton melampaui kekuatan tarik beton, maka timbul retakan-retakan di bagian yang tertarik dan retakan ini akan menyebar ke atas. Pada pengujian balok beton bertulang yang dibebani lentur murni keretakan yang terjadi adalah akibat gaya tarik bukan gaya geser. Hal ini dapat diketahui secara visual dengan melihat pola keretakan yang terjadi. Pada Gambar 5.5, 5.6, 5.7 rata-rata pola keretakan yang terjadi adalah pada bagian tengah yang diawali retak rambut pada bagian bawah yang kemudian menjalar ke bagian atas membentuk garis lurus. Dengan demikian keretakan yang terjadi adalah retak tarik bukan retak geser.

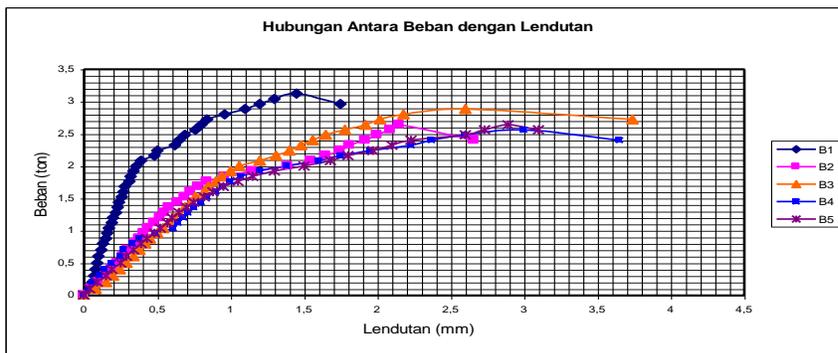
Pada Gambar 5.2, 5.3, 5.4 Grafik hubungan antara beban dengan lendutan menunjukkan bahwa pada balok dengan komposisi 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr seperti disajikan Gambar 5.4 terlihat linear dengan beban rata-rata 2 ton. Jadi pada daerah linear atau daerah elastis, beton masih mampu menahan beban di atasnya. Selanjutnya setelah batas elastis terlampaui dan beban yang bekerja bertambah besar, maka terjadilah daerah plastis dimana pada daerah ini yang bekerja adalah baja tulangannya. Dari Tabel 5.2. dapat diketahui bahwa ternyata dengan merubah mutu beton pada daerah tarik berpengaruh pada kuat lentur balok beton bertulang, meskipun secara teoritis yang bekerja pada daerah tarik adalah baja tulanganannya. Semakin kuat ikatan tulangan dengan betonnya, maka kuat lentur balok tersebut semakin besar. Dari Tabel 5.2 balok N mempunyai tegangan lentur maksimum sebesar 5,376 MPa, balok A mempunyai tegangan lentur maksimum sebesar 6,707 MPa, sedangkan balok B mempunyai tegangan lentur maksimum 7,370 MPa. Balok B mengalami peningkatan kuat lentur dibandingkan balok A. Dengan perubahan campuran beton 1PC : 2Ps : 3Kr menjadi 1PC : 2,34Ps : 2,84Kr balok A mengalami kenaikan kuat lentur uji sebesar 26,06 % dari balok N. Sedangkan dengan perubahan komposisi campuran beton 1PC : 2Ps : 3Kr menjadi 1PC : 3Ps : 3Kr balok B mengalami kenaikan kuat lentur sebesar 37,09 % dari balok N.

Kuat lentur balok B lebih tinggi dari balok A. Pada balok B ikatan antara tulangan dengan betonnya lebih baik bila dibanding balok N dan balok A. Lendutan yang terjadi akibat lentur pada balok B lebih kecil bila dibanding pada balok A dan balok N. Dalam persamaan lendutan balok dengan tumpuan sederhana nilai lendutan berbanding terbalik dengan modulus elastisitas bahan tersebut. Semakin kecil nilai lendutan, maka modulus elastisitas beton semakin besar. Dengan meningkatnya kuat lentur sebesar 37,09 % akibat perubahan komposisi campuran beton dari komposisi 1 PC : 2 Ps : 3 Kr untuk daerah tekan menjadi komposisi 1 PC : 3 Ps : 3 Kr untuk daerah tarik, maka penggunaan balok beton bertulang dengan lapisan mutu beton yang berbeda secara ekonomis lebih menghemat semen.

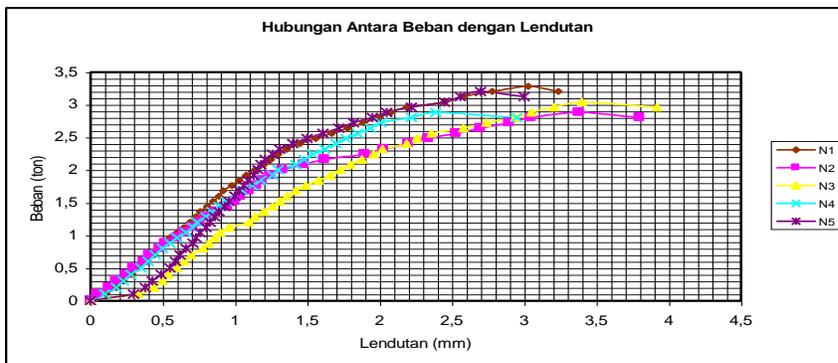
---



Gambar 5.2. Grafik hubungan antara beban dengan lendutan balok A



Gambar 5.3. Grafik hubungan antara beban dengan lendutan balok B



Gambar 5.4. Grafik hubungan antara beban dengan lendutan balok N

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari pengujian dan analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa perubahan komposisi campuran beton dari komposisi 1 PC : 2 Ps : 3 Kr menjadi komposisi 1 PC : 2,34 Ps : 2,84 Kr , komposisi 1 PC : 2 Ps : 3 Kr menjadi komposisi 1 PC : 3 Ps : 3 Kr pada daerah tarik tidak menunjukkan penurunan kuat lentur. Di samping itu, hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang dengan mutu beton yang sama hasilnya belum tentu lebih baik dibanding dengan mutu beton yang berbeda pada daerah tarik sedang balok beton bertulang dengan lapisan mutu berbeda pada daerah tarik yang dibebani lentur murni mengalami keretakan yang diakibatkan gaya tarik bukan gaya geser.

### B. Saran

Berdasar pengujian yang dilakukan disarankan mencari komposisi campuran yang optimum agar dihasilkan kuat lentur balok dengan mutu lapisan yang berbeda menghasilkan kuat lentur yang maksimum. Selain itu, pola retak balok secara dini perlu diamati dengan alat yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1982, PUBLI-1982. *Puslitbang, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman*, Bandung.
- Anonim, 1990. *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal, SKSNI T-15-1990-03* Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, Bandung.
- Anonim, DPU, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, Jakarta.
- Anonim, DPU, *Peraturan Umum untuk Bahan Bangunan Indonesia*, Jakarta.
- Antono A., 1995. *Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Diktat Kuliah*, Laboratorium BKT, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM.
- Dipohusodo, I, 1994. *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia, Jakarta.
- Gideon H. Kusuma, 1994. *Pedoman Pengerjaan Beton*, Seri 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ponco, Y, 2002. *Tinjauan Penggunaan Gabungan Pasangan Batu Kali Dan Beton Bertulang Sebagai Bahan Konstruksi Penahan Lentur*, Skripsi UKRIM, Yogyakarta.
- Puspantoro, B, 1999. *Bahan Bangunan*, Diktat Kuliah, Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, K, 1996. *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, K, 1987. *Hubungan Antara Umur dan Kuat Tekan Pada Beton Dengan Bahan Batuan Sungai Krasak*. Yogyakarta.
- Wahyudi, L dan Syahril, 1997. *Struktur Beton Bertulang Standart Baru SNI T-15-1991-03*, Gramedia, Jakarta.
-

---