

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan di berbagai bidang yang sangat pesat terutama dalam bidang sarana dan prasarana umum seperti gedung, jembatan, bendungan dan lain-lain, sangat memerlukan struktur/konstruksi yang sangat handal dan memadai. Tidak hanya dari kekuatan dan keamanannya saja, tetapi juga kenyamanan dan tidak kalah pentingnya adalah ekonomisnya. Untuk itu pemilihan jenis bahan konstruksi sangat penting.

Beton adalah pemilihan bahan yang sangat luas sebagai alternatif yang digunakan untuk sistem-sistem konstruksi bangunan. Karena disamping beton sangat fleksibel dan dapat dibentuk sesuai dengan bentuk struktur dan konstruksi yang diinginkan, beton juga memiliki sifat khusus yang merupakan keunggulannya, yaitu kemampuannya yang besar dalam menahan desak disamping bahan konstruksi yang lain.

Apabila suatu balok beton bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan akan terjadi dibagian atas dan regangan tarik dibagian bawah penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus

ditahan oleh balok, tegangan tekan disebelah atas dan tegangan tarik disebelah bawah. Agar stabilitasnya terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut. Untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur beton terlentur (balok, plat dan sebagainya), sifat utama bahwa beton kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan. Dengan cara memperkuat dengan batang tulangan baja pada daerah tegangan tarik bekerja akan didapat apa yang dinamakan struktur beton bertulang. Seberapa banyak jumlah tulangan yang akan digunakan pada struktur beton bertulang dibutuhkan kajian yang seksama, sehingga akan memberikan kemampuan yang dapat diandalkan untuk melawan lenturan, disamping memperhatikan dampak yang kurang menguntungkan pemakaian jumlah tulangan.

Supaya memenuhi tujuannya, suatu struktur haruslah aman dan dapat memberikan pelayanan yang baik. Suatu struktur dikatakan aman apabila struktur dapat memikul semua beban yang akan bekerja selama usia hidupnya tanpa menimbulkan kerugian-kerugian dan masih mempunyai faktor keamanan. Kemampuan memberikan pelayanan yang baik mencakup antara lain, bahwa lendutan dan perubahan-perubahan lainnya yang terjadi akibat bekerjanya beban cukup kecil.

Salah satu persyaratan yang ditetapkan oleh SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 dan *ACI Building CODE* pasal 10.3.3 dalam mendisain suatu tampang elemen lentur beton bertulang yang harus dipenuhi adalah kekuatan lentur dan

mengacu kepada “Daktilitas Minimum”. Sehingga penampang tersebut dapat diterima sebagai elemen struktur yang aman.

Pada prinsipnya daktilitas suatu elemen lentur beton bertulang dicapai bilamana penampang tersebut mengandung sejumlah tulangan baja tarik (A_s) kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan (A_{sb}). Penambahan tulangan baja yang melebihi dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan (A_{sb}) tidak akan memperlihatkan daktilitas bila dibebani sampai gagal. Ini disebabkan tegangan ultimit dalam baja dibawah kuat luluh. Untuk memenuhi hal tersebut maka ditetapkan koefisien pembatas untuk tulangan baja tarik yang sekaligus sebagai batasan daktilitas minimum, yakni :

$$A_s < A_s \text{ max dengan } A_s \text{ max} = 0,75 A_{sb}.$$

Penampang dengan batasan tulangan seperti tersebut diatas akan memperlihatkan lenturan yang besar setelah baja mencapai titik leleh, sehingga memberikan peringatan yang tepat sebelum gagalnya balok dalam waktu dekat. Kondisi yang seperti inilah yang diharapkan oleh perancang, karena kegagalan balok akan didahului oleh peringatan sehingga memperkecil resiko yang terjadi.

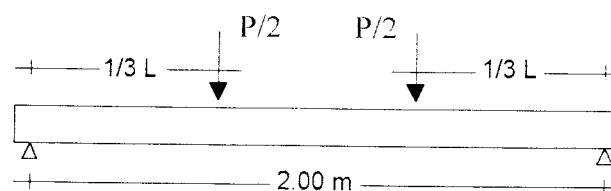
1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui aksi komposit antara dua material yang berbeda sifat dan perilakunya pada balok tampang persegi dengan penulangan lebih (*Overreinforced*) dan penulangan kurang (*Underreinforced*) akibat beban lentur.

1.3 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel benda uji yang digunakan adalah balok tampang persegi dengan mutu beton $f'_c = 17,5$ MPa dengan ukuran panjang (L) = 220 cm, Lebar (b) = 10 cm, dan tinggi (h) = 20 cm.
2. Agregat yang digunakan adalah agregat halus atau pasir dan agregat kasar atau kerikil dari kali krasak.
3. Semen yang dipakai adalah tipe I merk Gresik, air yang dipakai dari Lab. BKT-FTSP-Universitas Islam Indonesia.
4. Balok persegi bertulangan rangkap dan balok tanpa tulangan.
5. Baja tulangan yang dipakai dilakukan uji tarik sebelum digunakan sebagai tulangan.
6. Pengujian kekuatan lentur pada benda uji dengan menggunakan beban terpusat dua titik. Seperti pada gambar 1.1.
7. Pengujian dilakukan dilaboratorium BKT-UII setelah beton berumur 28 hari.



Gambar 1.1 Rencana sampel balok

1.4 Metode Penelitian

Metode ini merupakan serangkaian percobaan di laboratorium yang meliputi :

1. Penelitian berat volume agregat dan analisa saringan untuk mengetahui berat jenis (*BJ*) dan Modulus Halus Butir agregat.
2. Perencanaan campuran beton dengan menggunakan cara *ACI* (*American Concrete Institute*), untuk mendapatkan campuran yang tepat berdasarkan perbandingan berat.
3. Pembuatan beton dengan menggunakan mesin pengaduk yang tersedia di laboratorium.
4. Pembuatan benda uji dengan 3 variasi yang berukuran 220 x 20 x 10 cm dengan variasi sebagai berikut.
 - a. Variasi I beton tanpa tulangan, 1 sampel
 - b. Variasi II beton dengan tulangan *Underreinforced*, 3 sampel.
 - c. Variasi III beton dengan tulangan *Overreinforced*, 3 sampel.
5. Perawatan benda uji.
6. Pengujian di laboratorium, meliputi pengujian kuat lentur dan kuat desak yang terjadi .
7. Hasil dicatat dan kemudian diolah menjadi data gambar dan grafik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Perkuatan pada beton dapat meningkatkan kekuatan tarik penampang bergantung pada keserasian (*compatibility*) antara kedua bahan untuk dapat bekerja sama memikul beban luar. Dalam keadaan terbebani elemen penguat seperti tulangan baja harus mengalami regangan atau deformasi yang sama pada beton disekelilingnya untuk mencegah *diskontinuitas* atau terpisahnya kedua jenis material. Modulus elastis, daktailitas dan kekuatan leleh maupun kekuatan tarik tulangan harus jauh lebih besar daripada yang dimiliki beton agar terjadi peningkatan kapasitas penampang beton bertulang menjadi jauh lebih besar daripada penampang beton sederhana (tanpa tulangan). Dengan demikian material-material seperti aluminium, bambu ataupun karet tidak cocok digunakan sebagai penguat pada beton karena tidak memiliki lekatan atau *adhesi* yang diperlukan antara beton dengan bahan penguatnya. Baja dan *fiberglass* mempunyai faktor-faktor prinsip penguat beton yaitu kekuatan leleh, daktailitas dan lekatan yang cukup besar, (E.G. Nawy, 1990).

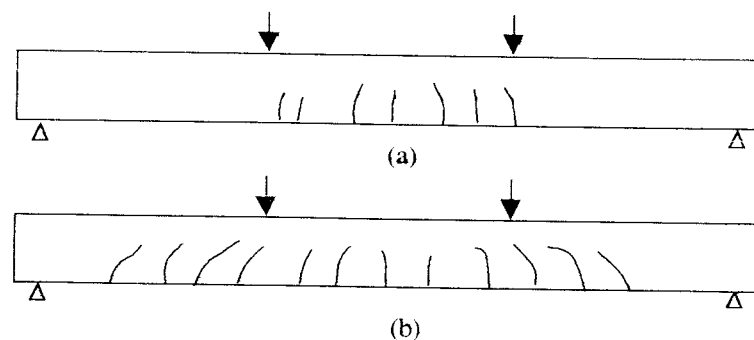
2.1 Daktailitas Dalam Beton

Keliatan (daktailitas) dalam suatu struktur atau suatu bagian konstruksi berarti pemeliharaan kekuatan sementara *deformasi* atau lendutan yang cukup

besar terjadi dalam plat-plat lantai dan balok-balok. Keliatan berarti suatu pemberitahuan akan terjadinya beban-beban yang terlalu berat dalam bentuk retak dan lenturan yang sangat besar. Apabila energi harus diserap seperti dalam situasi-situasi ledakan dan gempa, keliatan menjadi sangat penting.

Walau beton dalam tekanan jauh dari keadaan elastis pada tegangan-tegangan yang lebih tinggi, pada dasarnya beton merupakan bahan yang getas yang hancur dalam tekanan. Didalam balok-balok dan plat-plat lantai, keliatan didapat dengan: (1). Menggunakan baja tulangan yang tidak getas, untuk menerima tarik. Dan kemudian (2). Membatasi jumlah baja tarik yang akan leleh sebelum beton hancur dalam tekanan, (P.M. Ferguson, 1979).

Edward G. Nawy (1990) dalam penelitiannya menggunakan baja dalam jumlah yang berbeda, ternyata menunjukkan perilaku yang berbeda. Pada balok bertulangan sedikit retak lentur terjadi pada sepertiga bentang tengah dibandingkan dengan balok yang bertulangan banyak. Pada balok yang bertulangan banyak retak lentur cenderung merambat keaerah dengan momen yang lebih kecil dengan gaya geser yang besar.



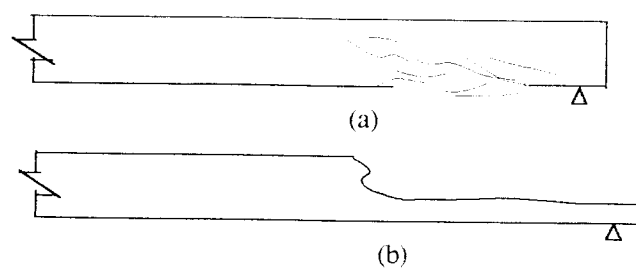
Gambar 2.1. Retak lentur pada balok (a) bertulangan sedikit, (b) bertulangan banyak (E. G. Nawy, 1990)

Phil M. Perguson (1979), dalam penelitiannya menggunakan balok dengan penulangan liat memperlihatkan lenturan yang sangat besar. Pada beton menunjukkan bahwa keruntuhan akan terjadi secara perlahan-lahan dan sifat beton menjadi lebih liat (*duktile*).

2.2. Lekatan Tulangan dan Beton.

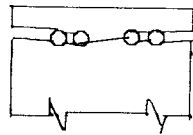
Kekuatan lekatan yang merupakan hasil dari berbagai parameter, seperti *adhesi* antara beton dan permukaan tulangan baja dan tekanan beton kering terhadap tulangan atau baja adalah akibat adanya susut pengeringan pada beton. Selain itu, saling bergeseknya permukaan baja dan beton disekitarnya menyebabkan peningkatan tekanan terhadap gelincir. Disamping itu tulangan baja harus mempunyai tulangan panjang penyaluran (penanaman), panjang lewatan, bengkokan tulangan yang cukup untuk mencegah tergelincirnya tulangan yang dapat mengakibatkan kegagalan tarik lekatan.

Edwart G. Nawy (1990), dalam pengujian pada sampel balok beton *Underreinforced* dan *Overreinforced* Menunjukkan adanya pola kegagalan lekatan yang berbeda . Pada balok *Underreinforced* kegagalan retakan terjadi pada tumpuan blok diatas tumpuan sederhana, sedangkan pada balok yang *Overreinforced* kegagalan lekatan yang terjadi dengan pembelahan samping.

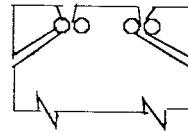


Gambar 2.2. Kegagalan lekatan pada balok beton (a) bertulangan sedikit (b) bertulangan lebih (E. G. Nawy, 1990)

Phil M. Perguson (1979), dalam penelitiannya melakukan pengujian sambungan lewatan, sebagai dasar pemikiran batang-batang tarik perlu disambung, karena terbatasnya panjang yang ada dipasaran, tetapi terutama sekali karena kejanggalan untuk menggunakan batang-batang panjang dilapangan suatu kesimpulan dasar adalah seluruh sambungan tarik gagal akibat pembelahan balok. Pada jarak-jarak yang sangat rapat, kegagalan belah samping akan terjadi dan penambahan penutup beton merubahnya sedikit, Penutup beton yang berkurang cenderung untuk merubahnya menjadi tipe kegagalan muka dan samping.



(a)



(b)

Gambar 2.3. Kegagalan sambungan lewatan (a) pembelahan samping
(b) pembelahan permukaan dan samping (Phil M. Perguson, 1979)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton Bertulang

Beton didapat dari pencampuran dari bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambah bahan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna sebagai keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar disebut sebagai bahan susun campuran, merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pencoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Agregat biasanya menempati sekitar 75% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Oleh karena agregat lebih murah dari semen, maka adalah logis untuk menggunakan dengan prosentasi yang setinggi mungkin. Umumnya untuk kekuatan yang maksimum, ketahanan dan ekonomis, agregat harus dipak dan disemen sepadat mungkin. Dengan demikian agregat biasanya diatur

tingkatannya dengan ukuran dan suatu campuran yang layak telah menyatakan prosentase dari agregat yang halus dan yang kasar. (Chu-Kia Wang, 1993).

Dalam SNI T-15-1993-03 agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Berdasarkan ukurannya, agregat dapat dibedakan dalam dua bagian yaitu agregat halus diameter 0 – 5 mm, disebut pasir dan Agregat kasar diameter ≥ 5 mm, biasanya berukuran antara 5 mm meter hingga 40 mm disebut kerikil.

Kekuatan beton dipengaruhi oleh kualitas agregat, proporsi campuran serta kebersihan air dan agregatnya. Oleh karena itu, selain harus memiliki kekuatan dan daya tahan baik, butir agregat disyaratkan harus bersih dari lumpur atau material organis lainnya yang dapat mengurangi kekuatan beton. Diameter lumpur atau material organis ini adalah kurang dari 0,063 mm. Bila banyaknya lumpur atau material organis yang dikandung dalam agregat lebih dari 1% berat kering, agregat tersebut harus dicuci.

Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat bereaksi kimia dengan air, disebut hidrasi, sehingga membentuk material batu padat. Pada umumnya, semen untuk bahan bangunan adalah tipe semen *Portland* tipe I, II, III, V.

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pencoran, tetapi kekuatan hancur beton menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam rasio air-semen (*water cement ratio*), yaitu angka yang

membandingkan antara air (kg) dibagi berat semen (kg) dalam adukan beton tersebut.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibanding dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan sangat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu menahan kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana batang tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerjasama seperti itu disebut sebagai beton bertulangan baja atau lazim disebut beton bertulang saja. Dalam perkembangannya didasarkan pada tujuan peningkatan kemampuan kekuatan komponen, sering juga dijumpai beton dan tulangan baja bersama-sama ditempatkan pada bagian struktur pada keduanya menahan gaya tekan. (Istimawan Dipohusodo, 1994).

3.1.1 Baja Tulangan

Penempatan *rebar* atau baja tulangan didalam suatu penampang beton terutama untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada penampang tersebut. Ada dua jenis baja tulangan, yaitu tulangan polos (*plain bar*) dan tulangan ulir (*deformed bar*). Sebagian besar tulangan yang ada di Indonesia adalah produksi Krakatau Stell, yang umumnya berupa tulangan polos untuk baja lunak dan tulangan ulir untuk baja keras.

Kekuatan tarik beton besarnya hanya kira-kira 10 persen dari kekuatan tekan. Oleh karena itu hampir semua konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Tulanganlah yang direncanakan memikul gaya tarik tersebut, yang dipindahkan oleh pelekatan diantara bidang singgung dari kedua bahan tersebut. Apabila pelekatan ini tidak mencukupi, batang baja tulangan akan tergelincir didalam beton dan disitu tidak akan terjadi aksi komposit. Disamping itu ditempat dimana terjadi tarikan mungkin akan retak-retak pada beton. Akan tetapi retak-retak ini tidak mengurangi keamanan konstruksi yang diperlengkapi dengan pelekatan tulangan yang baik untuk menjamin bahwa retak-retak tersebut tertahan tidak menganga sehingga baja yang terbungkus tetap terlindungi terhadap korosi. (Mosley, 1989).

Tulangan merupakan material yang berkekuatan tinggi. Baja penguat atau baja tulangan memikul tarik maupun tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tarik beton, (Winter, 1993)

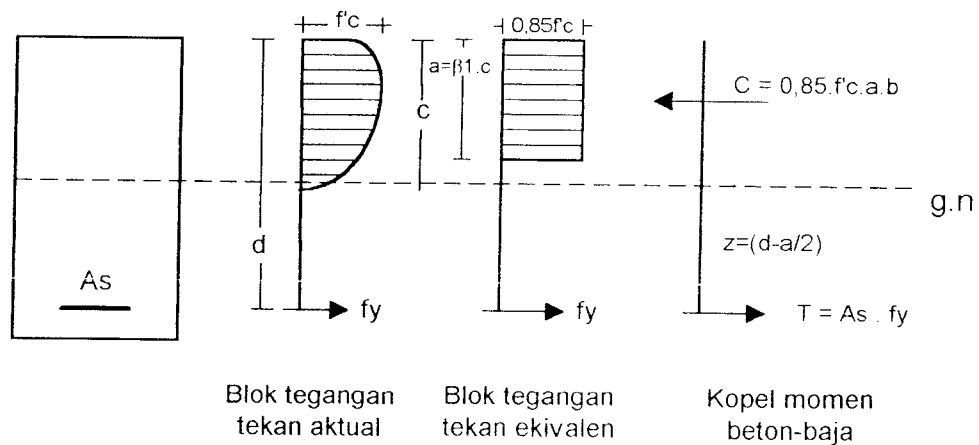
3.1.2 Kuat Lentur Balok Persegi

Lentur pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar, Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Tarap pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus

mendisain penampang elemen balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan. (Edward G. Nawy, 1990).

Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada satu sisi pada sumbu netral dan tekan pada sisi lainnya). Komponen-komponen yang menyinggung penampang dikenal sebagai tegangan-tegangan geser, dan komponen-komponen tersebut disebut gaya geser atau transversal. (Goerge Winter, 1993).

Kuat lentur balok tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul dalam balok pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti terlihat pada gambar 3.1, C adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah diatas garis netral, sedangkan T adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah dibawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar tetapi berlawanan arah, dan dipisahkan dengan jarak sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam, dimana nilai maksimum disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.



Gambar 3.1 Blok tegangan *Ekuivalen Whitney*. (Istimawan Dipohusudo, 1994)

3.2 Perilaku Lentur Pada Pembebanan

Beton murni (tanpa tulangan) tidak efisien sebagai batang-batang lentur karena kekuatan tarik pada lentur adalah sangat kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Sebagai akibatnya, beton tersebut mengalami kegagalan pada sisi tariknya pada pembebanan yang rendah, jauh sebelum kekuatan beton pada sisi tekan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Berdasarkan hal ini, maka dipakai tulangan yang ditempatkan pada sisi tarik didekat serat paling luar, namun tulangan tersebut masih mendapat perlindungan yang cukup baik terhadap api dan karat. Pada balok beton bertulang, tarik yang disebabkan oleh momen lentur terutama sekali dipikul oleh tulangan, sedang beton biasanya hanya dapat memikul tekan yang terjadi. Aksi komposit dari dua material tersebut hanya dapat berjalan dengan baik apabila bisa dicegah terjadinya slip antara beton dan tulangan. Hal ini bisa dicapai antara lain dengan memakai tulangan ulir yang mempunyai daya lekat yang tinggi pada permukaan tulangan beton.

Apabila pembebanan pada balok tersebut ditambah secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai mencapai suatu harga yang dapat menyebabkan hancurnya balok, maka dapat dibedakan dengan jelas adanya beberapa tingkat perilaku yang berbeda.

Pada pembebanan yang kecil, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan, tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi yang lain. Tulangan juga mengalami deformasi yang sama seperti beton dan mengalami tegangan tarik.

Apabila beban ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai, dan pada tingkatan ini mulai tercapai retak-retak akibat tarik. Retak-retak ini akan menjalar cepat keatas dan bergeser diikuti menjalarnya retak-retak. Retak-retak ini, cukup banyak mempengaruhi perilaku balok yang mengalami pembebanan. Sesungguhnya, pada suatu penampang retak, yaitu suatu penampang yang terletak pada tempat terjadinya retak, beton tidak menyalurkan tegangan-tegangan tarik, dengan demikian seperti juga pada batang-batang tarik maka tulanganlah yang harus memikul semua tarik yang terjadi.

Apabila dipakai jumlah tulangan yang relatif sedikit (*Underreinforced*) pada suatu besar pembebanan tertentu, tulangan akan mencapai tegangan leleh. Pada besar tegangan tersebut tulangan akan meleleh secara tiba-tiba dan akan mengalami deformasi yang besar, dan retak-retak akibat tarik pada beton akan melebar sehingga menjalar keatas, diikuti secara serentak dengan terjadinya lentur yang besar pada balok. Apabila ini terjadi, regangan pada daerah tekan akan

bertambah sedemikian rupa sehingga dapat menghancurkan beton, kehancuran tekan sekunder terjadi pada besar pembebanan yang sedikit lebih besar dari beban yang menyebabkan tulangan meleleh. Dengan demikian, secara efektif tercapainya tegangan leleh berlangsung secara berangsur-angsur dan didahului dengan tanda-tanda yang cukup jelas, seperti melebar dan memanjangnya retak, dan tanda-tanda yang menunjukkan besarnya lendutan yang terjadi.

Sebaliknya apabila dipakai jumlah tulangan yang banyak (*Overreinforced*) atau jumlah tulangan yang normal dari tulangan yang mempunyai kekuatan tinggi, maka kekuatan beton akan dicapai sebelum tulangan mulai meleleh. Beton mengalami regangan yang terjadi menjadi sangat besar sehingga dapat merusak keutuhan beton. (winter, 1993).

3.3 Batasan Daktilitas Suatu Tampang Balok

Pada suatu kondisi balok menahan beban sedemikian sehingga regangan lentur beton maksimum (ϵ_c' max) mencapai harga $\epsilon_c = 0.003$ bersamaan dengan dicapainya regangan luluh baja $\epsilon_y = f_y / E_s$ yang berarti juga tegangan luluhnya. Hal demikian, penampang dinamakan mencapai keadaan berimbang (gambar 3.2.b).

Apabila luas tulangan baja tarik yang ada (A_s) lebih besar dari luas baja tulangan tarik untuk mencapai keadaan berimbang (A_{sb}), maka keseimbangan dari gaya dalam $C = T$ akan mengakibatkan kedalaman blok tegangan tekan ekuivalen α naik (membesar). Dengan naiknya nilai α akan naik pula nilai C melampaui C_b (jarak garis netral dari serat tepi tekan untuk mencapai keseimbangan regangan), sehingga regangan tarik baja ϵ_s lebih kecil dari regangan luluh baja ϵ_{ys} saat $\epsilon_{cu} =$

0,003, atau dengan kata lain bahwa beton mendahului mencapai regangan maksimum $\varepsilon_{cu} = 0,003$ sebelum tulangan baja tarik luluh (gambar 3.2 c). Keadaan demikian akan mengakibatkan getas, yakni kehancuran mendadak yang tidak diawali tanda-tanda melunahnya elemen struktur tersebut.

Kondisi yang lain, yakni A_s lebih kecil dari A_{sb} . Kondisi ini mengakibatkan T mengecil, sehingga keseimbangan gaya dalam akan mengurangi ketinggian atau kedalaman blok tegangan tekan ekuivalen α dan $C' < C_b$ yang akan memberikan nilai $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ sebelum regangan tekan beton mencapai nilai $\varepsilon_{cu} = 0,003$. Keadaan demikian akan memberikan kehancuran liat atau kehancuran daktail, yakni kehancuran yang diawali dengan melendutnya elemen struktur tersebut (gambar 3.2 a)

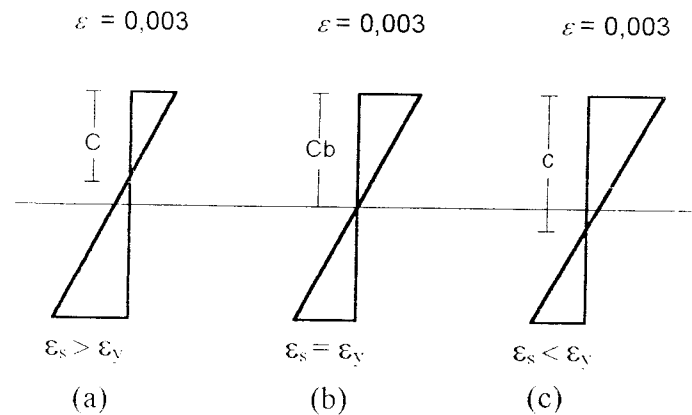
Dua macam kehancuran diatas, adalah kehancuran yang diawali dengan melendutnya elemen struktur (hancur liat atau hancur daktail), dan kehancuran getas yakni kehancuran mendadak tanpa diawali dengan tanda-tanda melendutnya elemen struktur. Untuk menjamin pola kehancuran yang daktail atau liat maka SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 dan *ACI Building CODE* pasal 10.3.3 membatasi jumlah tulangan tarik A_s tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah baja tarik untuk mencapai keseimbangan regangan A_{sb} .

$$A_s \leq A_s \text{ max dengan } A_s \text{ max} = 0,75 A_{sb} \quad (3.1)$$

Rasio penulangan maksimum $\rho \text{ max} = 0,75 \rho_b$

Persyaratan ini sekaligus sebagai batasan dari daktilitas minimum yang disarankan, atau merupakan level terendah dari daktilitas yang disarankan oleh

kedua standard tersebut. Selain dari daktilitas yang disyaratkan oleh SK SNI T-15-1991-03 dan *ACI Building CODE*, persyaratan lain yang harus dipenuhi dalam mengacu pada sifat kelayanan (*serviceability*) adalah membatasi lendutan yang berlebihan.



Gambar 3.2 Distribusi regangan saat runtuh

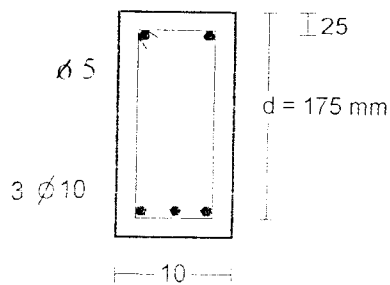
- (a). Keruntuhan tarik.
- (b). Keruntuhanimbang.
- (c). Keruntuhan tekan.

3.4 Perencanaan Balok Terlentur Bertulangan Sebelah

Dalam proses perencanaan balok persegi penampang terlentur untuk f_y dan f_c tertentu, yang harus ditetapkan lebih lanjut adalah dimensi lebar balok, tinggi balok dan luas penampang tulangan. Perlu diketahui bahwa tiga besaran perencanaan tersebut didapatkan banyak sekali kemungkinan kombinasi antar ketiganya yang dapat memenuhi kebutuhan kapasitas momen (M_R) Untuk penggunaan tertentu. Secara teoritis dapat dikatakan bahwa balok lebar tetapi pendek kemungkinan mempunyai M_R yang sama dengan balok sempit tapi tinggi.

Perhitungan benda uji yang dipakai pada penelitian ini adalah balok persegi dengan lebar (b) = 100 mm, tinggi efektif (d) = 175 mm dan panjang (L) = 2000 mm. Dari hasil pengujian kuat tarik baja tulangan didapat tegangan luluh rata-rata = 3452,35 kg/cm² (dikonversikan menjadi f_y = 345,235 MPa), dan mutu beton f_c' = 17,5 MPa. Perencanaan didasarkan pada tulangan sebelah. Perhitungan momen nominal dan beban yang mampu ditahan oleh balok dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Underreinforced.



$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{235,619}{100 \times 175} = 0,0135$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta_1 600}{f_y (600 + f_y)} = \frac{0,85 \times 17,5 \times 0,85 \times 600}{345,235 (600 + 345,235)} = 0,0233$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,0174$$

$\rho = 0,0135 < \rho_{\max}$, maka keruntuhan diawali oleh pelepasan tulangan tarik.

$$\text{Tinggi blok tekan } a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{235,619 \cdot 345,235}{0,85 \cdot 17,5 \cdot 100} = 54,685 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 f_c' ab \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 17,5 \times 54,685 \times 100 \left(175 - \frac{54,685}{2} \right) \\ &= 12,0111 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_R = \phi M_n = 0,8 \cdot 12,0111 = 9,6089 \text{ kNm}$$

$$M_R = M_U = \frac{1}{2} P_U \cdot 0,67 + \frac{1}{8} W_U \cdot L^2$$

dengan,

$$W_D = 100.200.10^{-6}.24 = 0,48 \frac{KN}{m}$$

$$W_L = 1,2.0,48 = 0,576 \frac{KN}{m}$$

$$9,6089 = 0,5.Pu.0,67 + \frac{0,576}{8}.2^2$$

$$Pu = 27,8236KN = 2,7824Ton$$

Terhadap geser, kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan geser adalah

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} . b w . d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{17,5} . 100 . 175 . 10^{-3} = 12,2013KN$$

Gaya geser pada muka perletakan adalah :

$$V_u = \frac{27,8236}{2} = 13,9118KN$$

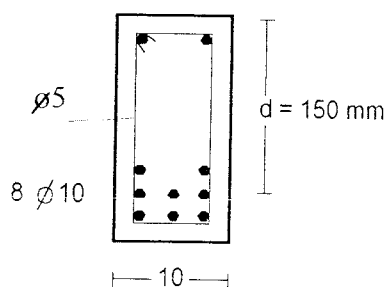
Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d=17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} . 13,9118 = 11,477KN$$

$$\phi . V_c = 0,6 . 12,2013 = 7,3208KN < V_u = 11,477KN$$

2. Overreinforced



$$\rho = \frac{628,32}{100 \times 150} = 0,0419$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta_1 600}{f_y (600 + f_y)} = \frac{0,85 \times 17,5 \times 0,85 \times 600}{345,235(600 + 345,235)} = 0,0233$$

$$\rho > \rho_b$$

$$\text{Tinggi blok tekan } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' c b} = \frac{628,32 \cdot 345,235}{0,85 \cdot 17,5 \cdot 100} = 145,83 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 f_c' a b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 17,5 \times 145,83 \times 100 \left(175 - \frac{145,83}{2} \right) \\ &= 16,72 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_R = \phi M_n = 0,8 \cdot 16,72 = 13,377 \text{ kNm}$$

$$M_R = M_U = \frac{1}{2} P_U \cdot 0,67 + \frac{1}{8} W_U \cdot L^2$$

$$13,377 = 0,335 P_U + 0,288$$

$$P_U = 39,0716 \text{ kN} = 3,9072 \text{ Ton}$$

Terhadap geser, kapasitas kemampuan beton (tanpa tulangan geser) untuk menahan geser adalah :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{17,5} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 10,4583 \text{ kN}$$

Gaya geser pada muka perletakan (beban analitis) adalah

$$V_u = \frac{39,07}{2} = 19,535 \text{ kN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d=15$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

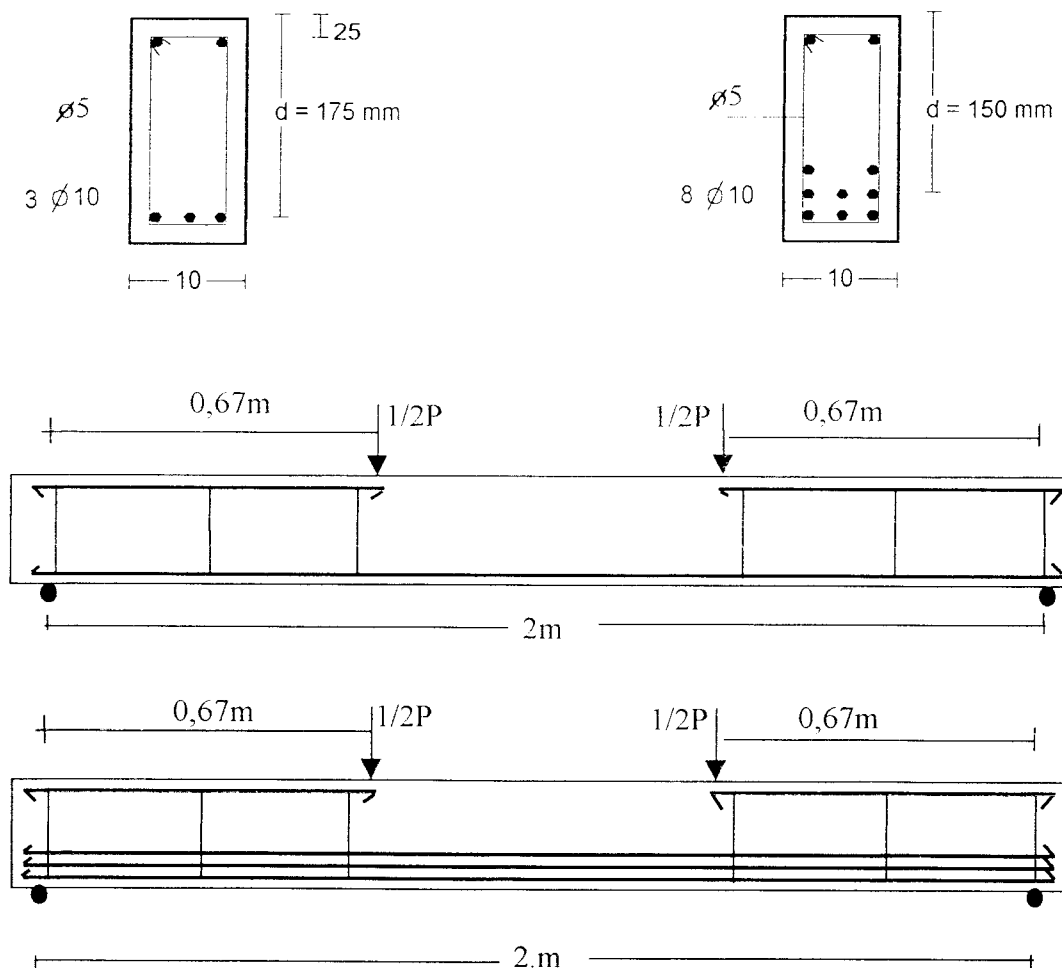
V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 19,535 = 16,6048 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 10,4583 = 6,275 \text{ kN} < V_u = 16,6048 \text{ kN}$$

Semua balok diberi penulangan baja dengan diameter 10 mm, pada balok yang mengalami lentur murni ($1/3$ bagian tengah) tulangan baja hanya diberikan pada sisi bawah saja. Maksud dari penulangan yang demikian supaya kemungkinan patah yang nantinya terjadi, benar-benar pada daerah lentur murni sehingga tidak terjadi kegagalan percobaan karena patah pada bagian lain.

Potongan melintang dan pembebanan pada pengujian dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Potongan melintang dan memanjang benda uji

3.5 Perilaku Beton Bertulang Tanpa Tulangan Geser

Bertambahnya pembebanan pada balok akan terbentuk retak tarik di daerah dimana nilai tegangan tariknya terbesar dan segera akan menyebabkan runtuhnya gelagar. Kecuali untuk balok-balok yang mempunyai proporsi $a/d > 6$ (dengan $a = MV$, $d =$ tinggi efektif balok), tegangan tarik terbesar paling luar disebabkan oleh lentur, pada penampang dengan momen lentur maksimum. Dalam kasus ini walaupun ada geser hanya mempunyai pengaruh yang kecil terhadap kekuatan balok. Namun demikian, apabila dipakai tulangan tarik situasi tersebut menjadi berubah sama sekali, walaupun terbentuk retak-retak tarik pada beton, kekuatan tarik lentur yang dibutuhkan bisa diberikan oleh tulangan, sehingga balok tersebut dapat memikul beban yang jauh lebih besar. Besar tegangan geser bertambah berbanding lurus dengan besar beban. Sebagai akibatnya, terbentuklah tegangan-tegangan tarik diagonal dan bekerjanya gaya geser yang besar, terutama di daerah perletakan.

Tulangan tersebut membantu beton yang tidak dapat memikul tarik, memikul tegangan tarik diagonal yang terjadi dimana-mana, yang disebabkan baik hanya oleh gaya-gaya geser saja maupun oleh efek kombinasi dari geser dan lentur. Tegangan-tegangan ini pada akhirnya akan cukup besar untuk menimbulkan retak tarik dalam arah tegak lurus terhadap tegangan tarik setempat. Retak ini dikenal sebagai retak diagonal untuk membedakannya dengan retak lentur vertikal. Retak lentur vertikal terjadi pada daerah-daerah dimana bekerja gaya geser yang besar. Pada balok-balok yang tidak dilengkapi dengan tulangan

yang dapat mengatasi terbentuknya retak tarik diagonal yang besar, terjadinya retak ini umumnya dapat membawa akibat yang luas dan sangat merugikan.

Berkenaan dengan persoalan tarik lentur, yang berbeda dengan tarik diagonal, bahwa retak-retak yang terjadi pada sisi tarik suatu balok dapat diizinkan karena ternyata tidak menimbulkan kerugian terhadap kekuatan batang. Berdasarkan hal ini ternyata tidaklah sesederhana ini. Retak tarik lentur menjadi tidak berbahaya karena adanya tulangan memanjang yang cukup, yang telah disediakan untuk memikul tegangan tarik lentur yang tidak lagi dapat disalurkan oleh beton yang telah mengalami retak-retak. Berlawanan dengan hal tersebut, pada gelagar yang dilengkapi dengan tulangan memanjang, tetapi tidak dilengkapi dengan tulangan lainnya yang dapat mengatasi retak diagonal, hal ini membuat retak-retak diagonal jauh lebih banyak berpengaruh terhadap kinerja dan kekuatan balok dibanding dengan pengaruh yang ditimbulkan oleh retak-retak lentur.

3.6 Rawatan Beton

Untuk memperoleh hasil pengujian yang diharapkan, maka setelah beton dikeluarkan dari cetakan harus segera dilakukan rawatan dengan menggunakan salah satu metode berikut ini.

- a. Beton dibasahi terus menerus dengan air
- b. Beton direndam didalam air lingkungan sekitar $23^{\circ} \pm 27^{\circ}$ celcius, sehari sebelum pengujian, beton tersebut diangkat dari dalam air dan ditiriskan.
- c. Beton dilindungi dengan karung basah, film plastik, atau kertas perawatan tahan air.

3.7 Pengujian Kuat Desak Beton

Kuat desak dipengaruhi oleh kuat ikat pasta semen, homogenitas campuran, perbandingan campuran, dan kemampatan.

Kuat ikat pasta semen ditentukan oleh bahan ikat dan kualitas air. Dengan digunakannya mutu bahan ikat yang tinggi dan kualitas air yang memenuhi syarat, maka akan dihasilkan beton dengan kuat desak yang tinggi.

Homogenitas campuran dalam adukan beton yaitu saling mengisi antara bahan-bahan pembentuk beton secara merata, sehingga diperoleh beton yang mampat dan tidak terjadi pengelompokan bahan pembentuk beton yang tidak menyebabkan rongga-rongga.

Perbandingan jumlah bahan pembentuk beton pada campuran yang proporsional dapat menghasilkan beton yang lebih mampat dan homogen, yaitu apabila bahan-bahan tersebut saling mengisi.

Kemampatan beton dapat dipengaruhi oleh penggunaan jumlah bahan pembentuk beton yang proporsional dan pengadukan yang merata sehingga terjadi pencampuran yang baik dan homogen. Makin mampat beton, maka makin sedikit rongga atau keropos sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian kuat desak beton terhadap mutu beton dengan benda uji balok silinder ukuran 15 x 30 cm dan diuji pada umur 28 hari.

Kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sigma'_c = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

Dengan :

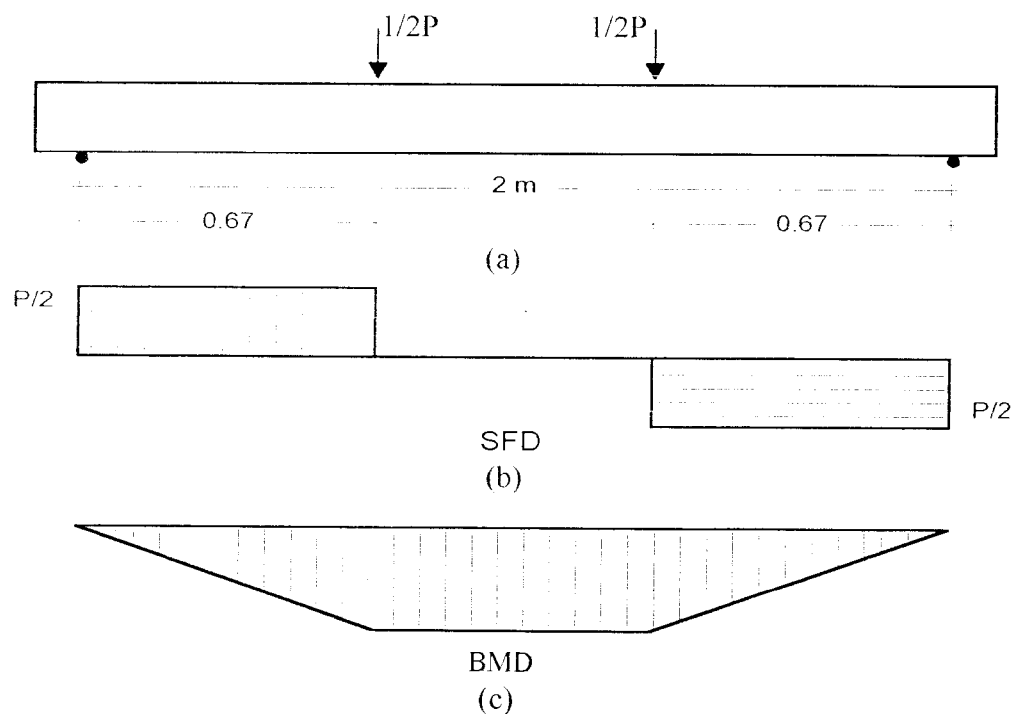
σ^c = Kuat desak beton (kg/cm^2)

P = Beban ultimit (k/g)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

3.8 Pengujian Kuat Lentur Beton

Lentur murni adalah lenturan dari sebuah balok dengan suatu momen lentur *bending moment constant*, yang dalam hal ini gaya lintangnya sama dengan nol. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.4. Balok dengan beban terpusat dalam keadaan lentur murni-

(a) Balok dengan dua buah gaya simetris ($P/2$)

(b) Diagram gaya lintang.

(c) Diagram momen.

Terlihat diantara beban $P/2$ tidak terdapat gaya lintang dan hanya bekerja suatu momen lentur (m) Konstan yang besarnya :

$$M = 1/2 P \cdot 0,67$$

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Dalam pelaksanaan penelitian ini yang dilakukan adalah membuat benda uji balok dengan tiga variasi. Pembuatan adukan beton untuk benda uji direncanakan dengan menggunakan metode **ACI** (*American Concrete Institute*) sebagai dasar pembuatan *mix design*. Mutu beton yang direncanakan adalah beton dengan kuat desak rencana 17,5 MPa.

4.2 Persiapan Bahan dan Alat

Material yang dipergunakan untuk pembuatan benda uji ini merupakan material lokal kecuali semen dan baja tulangan. Pembuatan benda uji, pengujian lentur, desak dan tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi FTSP-UII, Yogyakarta.

4.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pasir : asal sungai Krasak, Yogyakarta
2. Kerikil : asal sungai Krasak, Yogyakarta
3. Semen : tipe I merk Gresik
4. Air : asal Laboratorium, BKT-FTSP-UII, Yogyakarta

5. Baja tulangan : ϕ 10 mm untuk tulangan pokok dan ϕ 6 mm untuk sengkang

4.2.2 Alat

Daftar nama peralatan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Daftar Nama Peralatan dan Kegunaannya.

No.	Nama Alat	Kegunaan
1	Mixer Listrik (molen).	Pencampur adukan beton.
2	Mesin uji desak.	Pengujian desak beton.
3	Mesin uji lentur.	Pengujian lentur.
4	Gelas ukur.	Mengukur volume air.
5	Timbangan.	Menimbang benda uji.
6	Mistar dan Kalifer.	Mengukur benda uji.
7	Ayakan.	Menyaring agegat.
8	Bak penampung.	Menampung beton segar.
9	Kerucut Abrams.	Pengujian slump.
10	Sekop kecil.	Mengaduk agregat.
11	Talam agregat.	Wadah agregat.
12	Cetakan balok.	Cetakan benda uji.
13	Cetakan silinder.	Cetakan benda uji.
14	Tongkat penumbuk.	Memadatkan benda uji.

4.3 Data Bahan Susun Beton

Perhitungan campuran beton dimasukan untuk mengetahui proporsi bahan susun beton. Perhitungan didasarkan pada data bahan susun beton sebagai berikut:

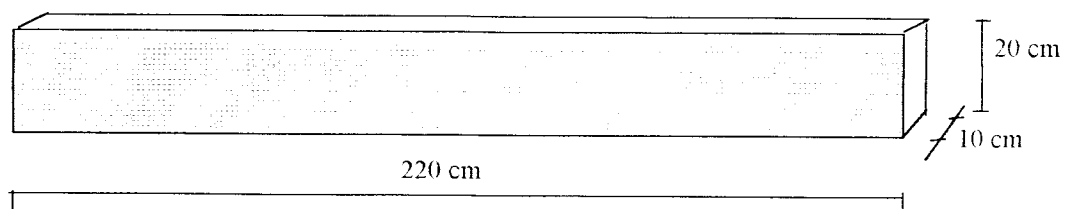
1. Diameter maksimum agregat kasar = 20 mm
2. Kuat tekan rencana (f'_c) = 17,5 Mpa
3. Modulus halus pasir = 2.62
4. Berat Jenis pasir (ssd) = 2,564 T/m³
5. Berat Jenis kerikil = 2,667 T/m³
6. Berat jenis kerikil kering tusuk (ssd) = 1,472 T/m³
7. Berat Jenis semen = 3,15 T/m³

Hasil perhitungan campuran beton dengan metode **ACI** adalah sebagai berikut:

- Semen = 350 kg
- Pasir = 817,4 kg
- Kerikil = 926,1 kg
- Air = 203 liter

4.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji sebanyak 7 buah dengan ukuran balok 10x20x220 cm, dengan kriteria benda uji *Underreinforced* tiga buah, *Overreinforced* tiga buah dan benda uji tanpa tulangan satu buah. Seperti terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Balok benda uji

Langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Setelah bahan dan alat disiapkan serta rencana campuran beton telah dibuat, dilakukan penimbangan bahan-bahan sesuai proporsi yang telah ditentukan. Pada saat penimbangan, pasir dan kerikil pada saat jenuh kering permukaan.
2. Bahan susun beton diaduk menjadi satu berturut-turut, agregat kasar, agregat halus, semen dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas mesin pengaduk yang dipakai.
3. Untuk mengetahui kelecakan adukan, beton maka dilakukan pengukuran slump dengan kerucut abrams ϕ atas 10 cm, ϕ bawah 20 cm dan tinggi 30 cm, yang dilengkapi tongkat penumbuk dari baja ϕ 16 mm. Pelaksanaan percobaan slump dilakukan dengan cara kerucut didesak kebawah pada penyokong-penyokong kakinya sambil diisi adukan beton, dibuat tiga lapis adukan dan tiap lapis ditumbuk sebanyak 25 kali. Bagian atas kerucut adukan diratakan dan didiamkan \pm 30 detik, kemudian kerucut abrams diangkat perlahan-lahan secara tegak lurus dan diletakan disamping adukan tersebut, selisih tinggi tersebut dinamakan slump.
4. Dimasukan adukan (beton segar) tersebut kedalam cetakan beton yang telah dibersihkan dan diolesi oli dan diberi tulangan untuk sampel yang menggunakan tulangan, dengan adukan yang berlapis-lapis dan tiap lapis ditumbuk dengan tongkat penumbuk sampai padat. Setelah selesai dengan pemadatan, sisi cetakan di ketuk-ketuk atau digetarkan dengan menggunakan palu kayu, sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang

terperangkap akan keluar. Adukan yang telah dicetak didiamkan dan diletakan ditempat yang terlindung dari hujan dan sinar matahari. Adukan dalam satu mesin pengaduk harus diambil dan dibuat sampel untuk mengetahui kuat desak beton tersebut.

5. Cetakan dibuka setelah pengerasan berlangsung, yaitu setelah dua minggu (PBI '71), kemudian dilakukan rawatan beton.

4.5 Rawatan Benda Uji

Rawatan benda uji adalah upaya untuk menjaga agar permukaan beton selalu lembab. Kelembaban permukaan beton untuk menjaga proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Bila rawatan ini tidak dilakukan, akan terjadi retak-retak yang menyebabkan beton kurang kuat. Rawatan dilakukan dengan menutupi sampel yang baru dibuat dengan karung goni basah dan menjaga kelembabannya dengan cara membasahi atau menyirami terus menerus karung goni tersebut. Rawatan dilakukan paling sedikit selama 2 minggu.

4.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari, dengan pengujian lentur dan desak beton.

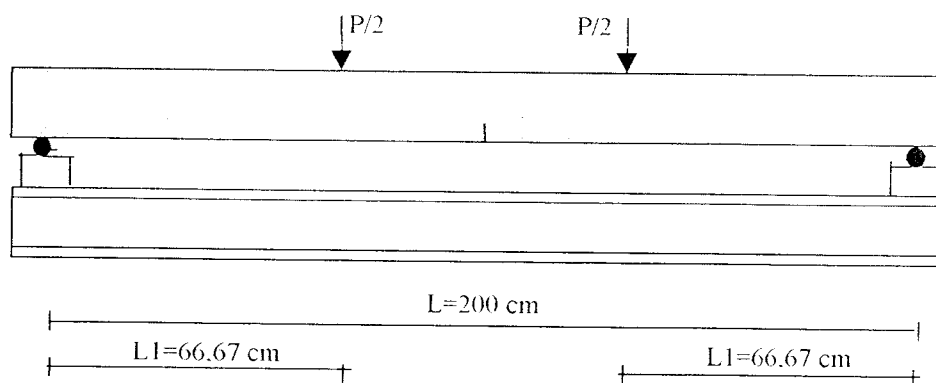
4.6.1 Pengujian Kuat Lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji ditimbang, kemudian diberi tanda sebagai titik perletakan serta titik pembebanan pada benda uji, kemudian

diletakan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan serta letak bebannya. Dibawah benda uji dipasang *dial* (alat pengukur lendutan) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak *dial* terlihat pada gambar 4.2.

2. Benda uji siap diuji. Mesin uji dihidupkan guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikan secara berangsur-angsur sehingga pada batas kekuatan tertentu sampai dengan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami retak atau patah.
3. Hasil retak ditandai dan ditulis pada saat pengujian sedang berlangsung pada benda uji yang mengalami retak tersebut.



Gambar 4.2. Perletakan benda uji

4.6.2 Pengujian Kuat Desak Beton

Langkah pengujian kuat desak beton adalah sebagai berikut:

1. Benda uji diletakan pada alas pembebanan mesin uji kuat desak beton.
2. Mesin uji desak dihidupkan, pembebanan akan diberikan berangsur-angsur, sehingga benda uji tersebut hancur pada beban maksimal, kemudian mesin dimatikan, besar beban dicatat sesuai jarum pembebanan.

4.6.3 Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum, beban patah dan batas luluh awal. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter baja tulangannya (lihat lampiran 1).

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan benda uji balok persegi, sesuai dengan prosedur yang berlaku. Diharapkan benda uji tersebut dapat mewakili sifat karakteristik beton yang diteliti dalam percobaan ini. Hasil dari penelitian adalah seperti pada tabel 5.1, 5.2 dan 5.3.

1. Hasil pengujian lentur sampel *Underreinforced* ("U").

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel *Underreinforced*

No	SAMPEL U-1			SAMPEL U-2			SAMPEL U-3		
	P (kg)	W (kg)	δ 10 ⁻² mm	P (kg)	W (kg)	δ 10 ⁻² mm	P (kg)	W (kg)	δ 10 ⁻² mm
1	250	119.5	12	250	120	32	250	119	41
2	500		47	500		64	500		77
3	7500		86	750		107	750		131
4	1000		135	1000		154	1000		138
5	1250		188	1250		206	1250		140
6	1500		280	1500		295	1500		210
7	1750		330	1750		385	1750		287
8	2000		340	2000		441	2000		382
9	2250		410	2250		520	2250		433
10	2500		488	2500		590	2500		505
11	2750		585	2750		655	2750		592
12	3000		615	3000		719	3000		680
13	3250		700	3250		790	3250		710
14	3500		755	3500		840	3500		
15	3750			3750		913	3750		3100
16	3850		3200	3900		2900			

Keterangan : δ = defleksi (x 10⁻² mm)

W = Berat sampel balok beton.

Dari hasil pengujian lentur ketiga sampel *Underreinforced* dan pengujian kuat desak beton didapatkan $f'_c = 25,084$ MPa. Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas kemampuan beton (tanpa tulangan geser) untuk menahan geser dan kapasitas momen yang dapat didukung oleh balok sebagai berikut ini.

1. Sampel U₁

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 14,6078 \text{ KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah

$P_u = 3500 \text{ kg}$ (linier pada beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ Kg} = 17,5 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} \cdot 17,5 = 14,4375 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 14,6078 = 8,7647 \text{ KN} \leq V_u = 14,4375 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah :

$$W = 119,5 \text{ kg} = 1,195 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,195}{2} = 0,5975 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P_u = 3500 \text{ kg} = 35 \text{ KN}$$

$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{35}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,5975}{8} \cdot 2^2 = 12,0238KNM$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 10,0986KNM$$

2. Sampel U₂

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 14,6078KN$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$$Pu = 3750kg(\text{linier pada beban maksimum})$$

$$Vu = \frac{1}{2} \cdot 3750 = 1875Kg = 18,75KN$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d=17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

Vu pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} \cdot 18,75 = 15,4688KN$$

$$\phi Vc = 0,6 \cdot 14,6078 = 8,7647KN \leq Vu = 15,4688KN$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 120kg = 1,2KN \quad q = \frac{1,2}{2} = 0,6 \frac{KN}{m} \quad Pu = 3750kg = 37,5KN$$

$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{37,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,6}{8} \cdot 2^2 = 12,8625KNm$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 10,0986KNM$$

3. Sampel U₃

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 14,6078KN$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$$P_u = 3250 \text{ kg (linier pada beban maksimum)}$$

$$V_u = \frac{3250}{2} = 1625 \text{ Kg} = 16,25 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} \cdot 16,25 = 13,4063 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 8,7647 \text{ KN} \leq V_u = 13,4063 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah :

$$W = 119 \text{ kg} = 1,19 \text{ KN}$$

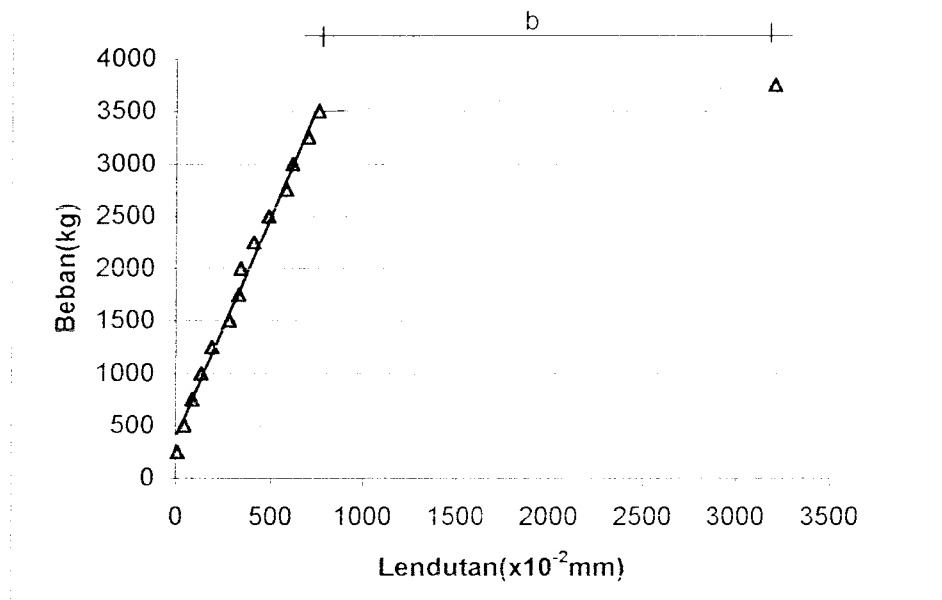
$$q = \frac{1,19}{2} = 0,595 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P_u = 3250 \text{ kg} = 32,5 \text{ KN}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{32,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,595}{8} \cdot 2^2 = 11,185 \text{ KNm}$$

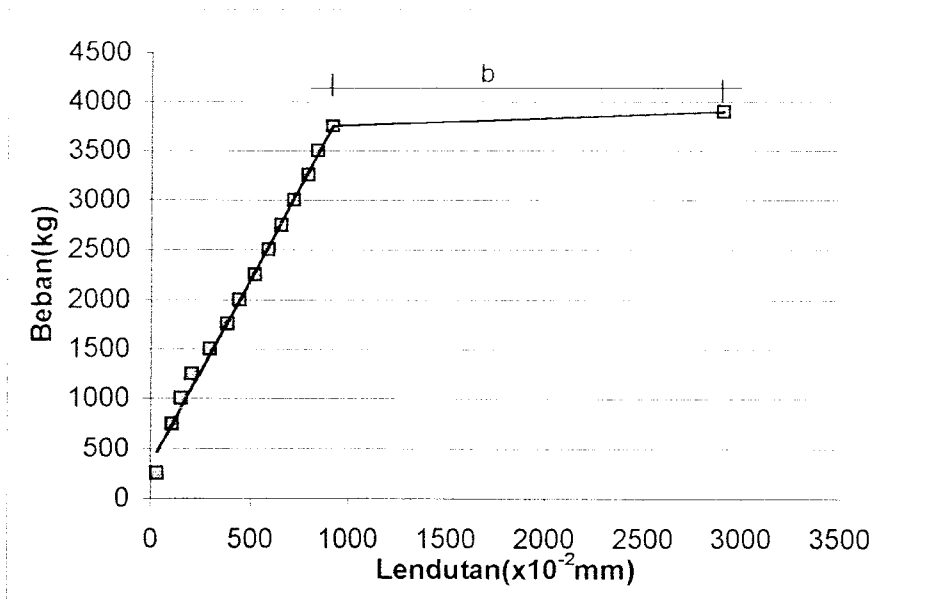
$$M_u \geq \phi M_n = 10,0986 \text{ KNm}$$

Dari ketiga sampel untuk *underreinforced*, kemudian dibuat grafik hubungan kenaikan beban dengan lendutan (gambar 5.1, 5.2, 5.3, 5.4,) dan sket pola retak dan patah dari hasil pengujian lentur (gambar 5.5, 5.6, 5.7).



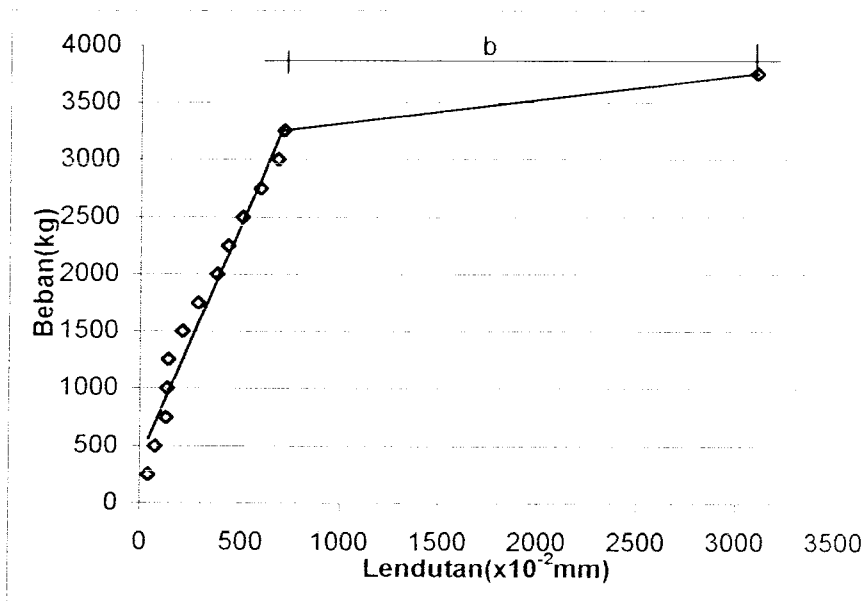
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel *Underreinforced-1*



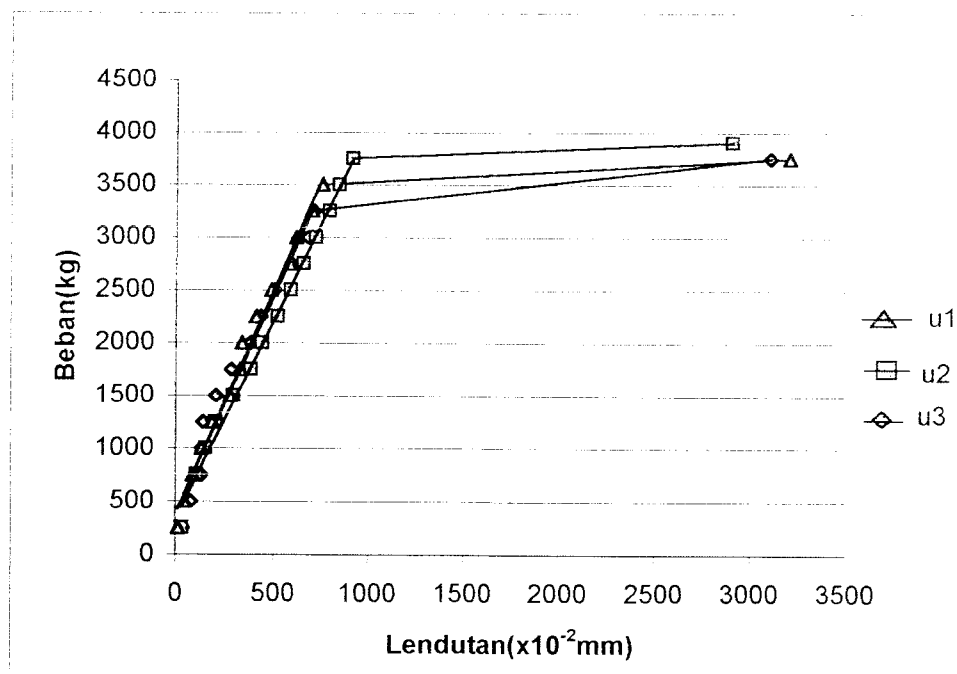
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel *Underreinforced-2*

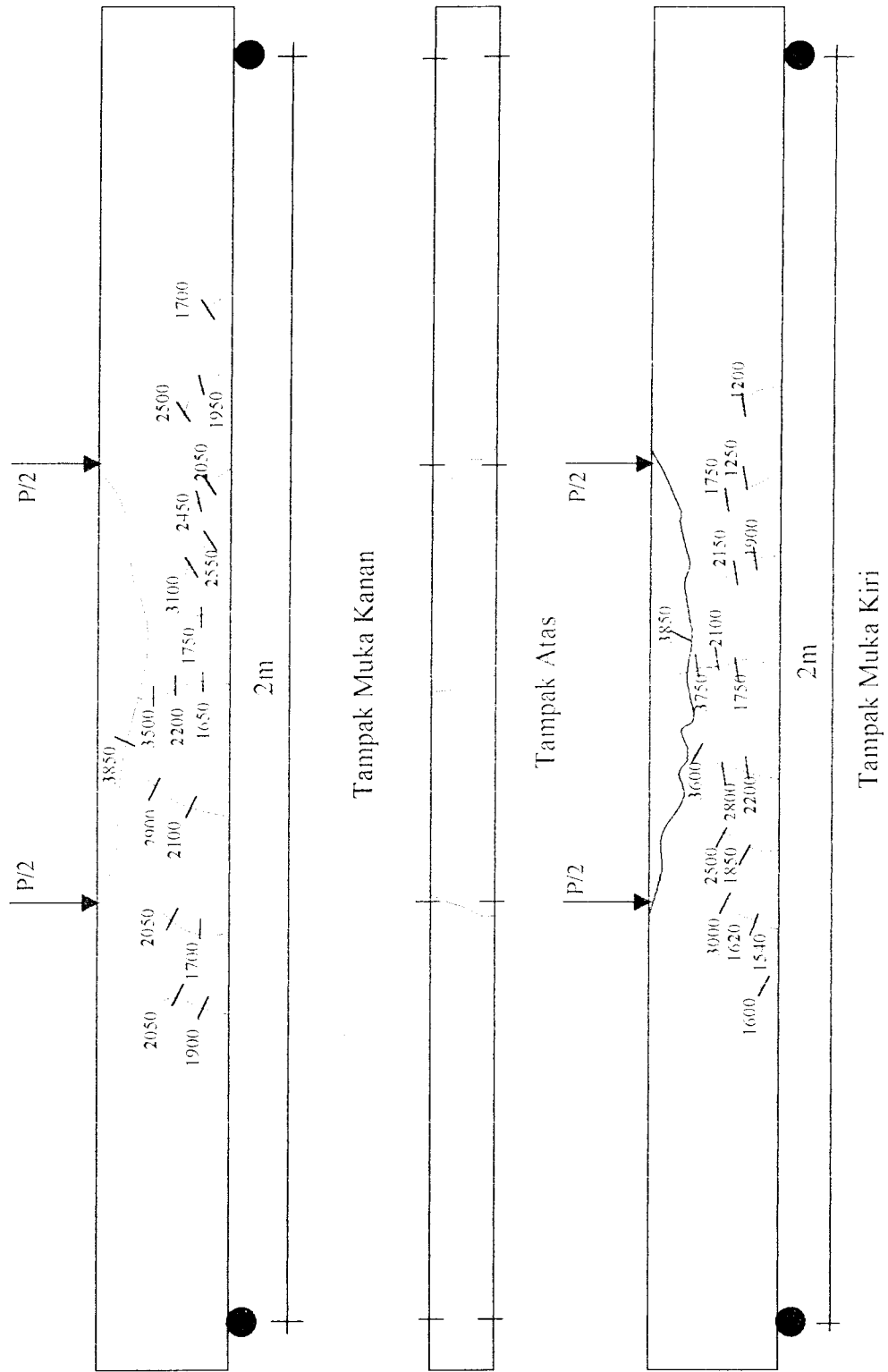


Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

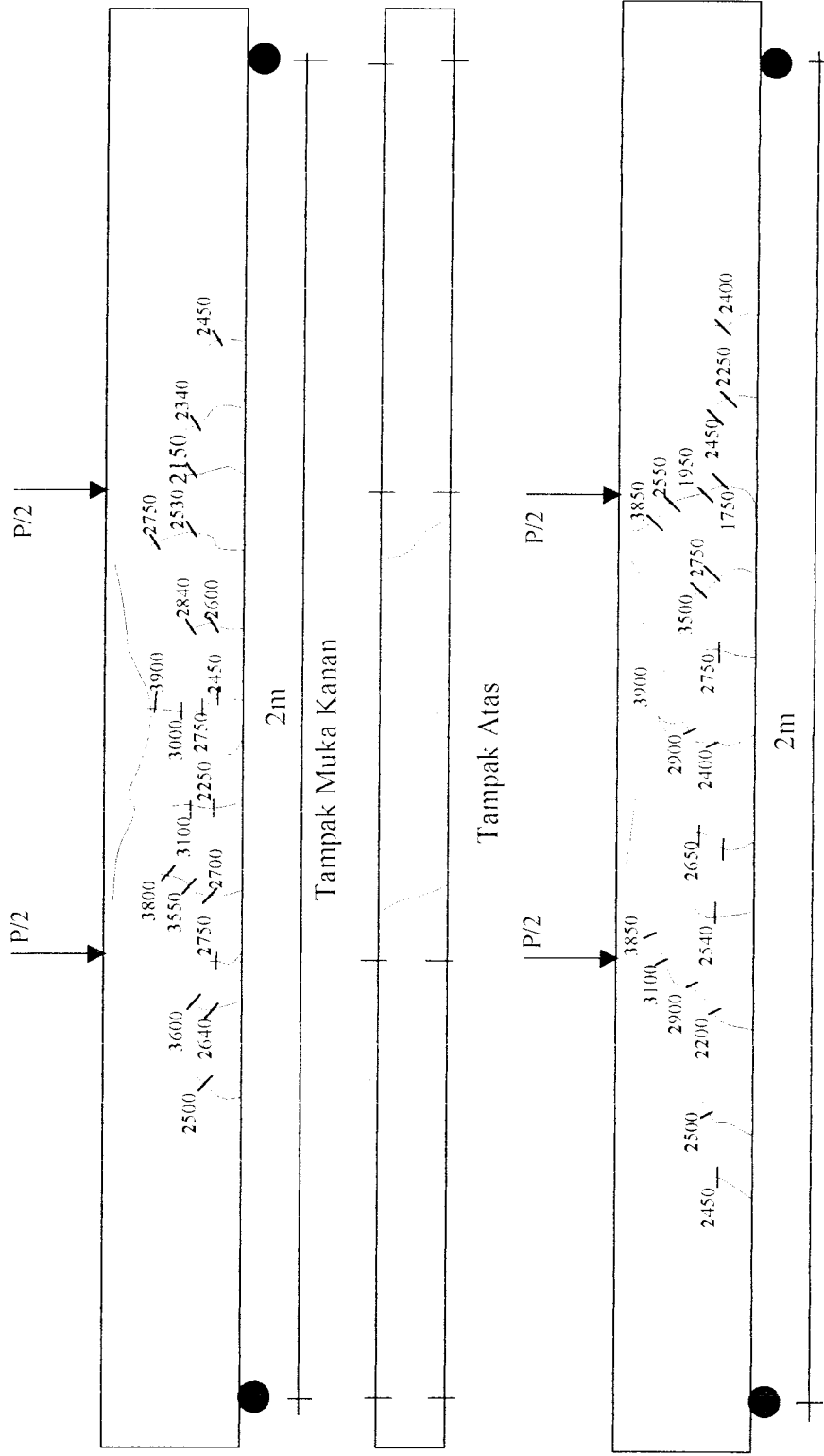
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Underreinforced-3



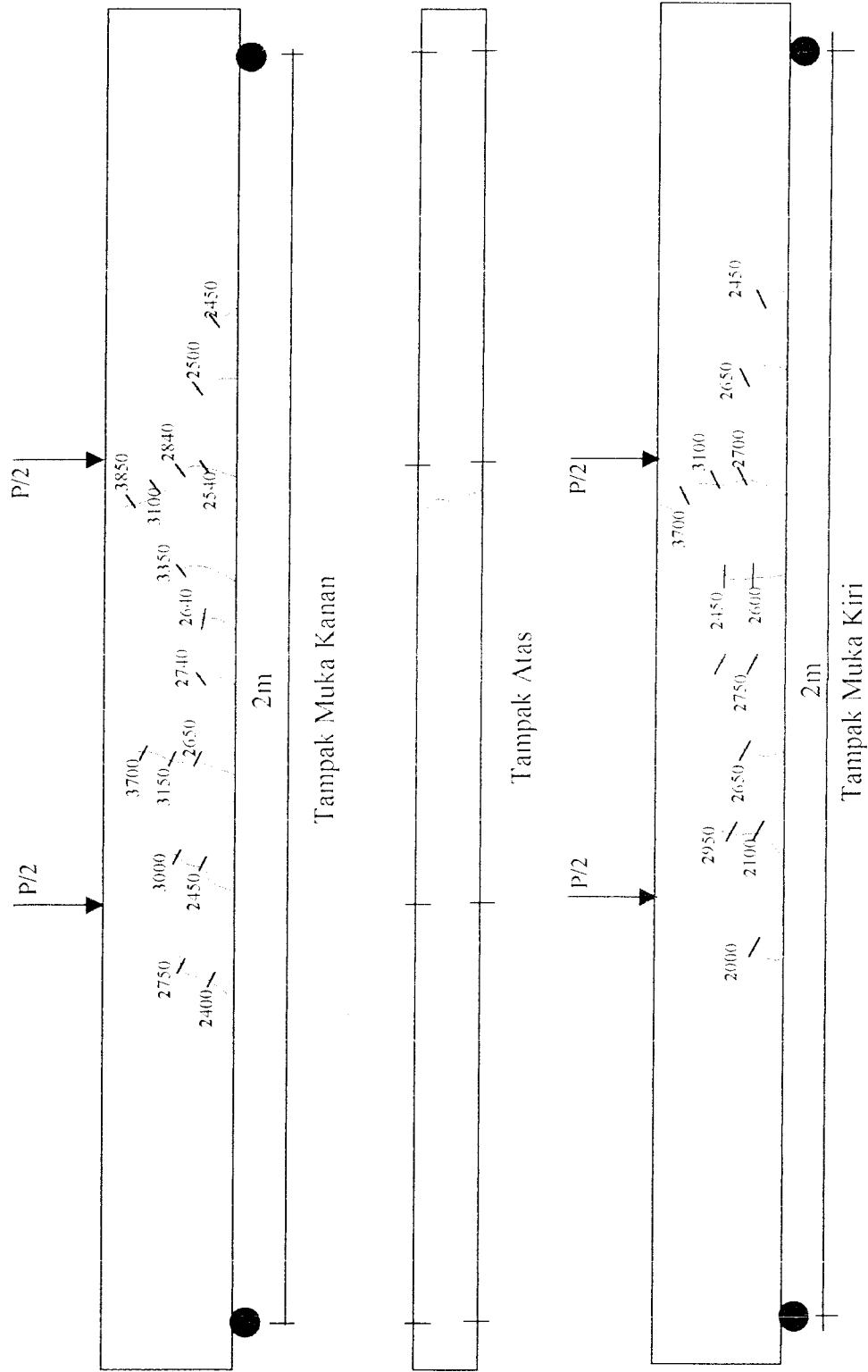
Gambar 5.4 Gabungan Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Underreinforced



Gambar 5.5 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "U1" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.6 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "U2" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.7 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "U3" Pada Kondisi Akhir

2. Hasil pengujian lentur sampel *Overreinforced* ("O").Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel *Overreinforced*.

No	SAMPEL O-1			SAMPEL O-2			SAMPEL O-3		
	<i>P</i> (kg)	<i>W</i> (kg)	δ 10^{-2} mm	<i>P</i> (kg)	<i>W</i> (kg)	δ 10^{-2} mm	<i>P</i> (kg)	<i>W</i> (kg)	δ 10^{-2} mm
1	250	124	33	250	125.5	31	250	126	40
2	500		61	500		62	500		77
3	750		92	750		104	750		117
4	1000		130	1000		143	1000		208
5	1250		167	1250		188	1250		270
6	1500		210	1500		250	1500		320
7	1750		250	1750		297	1750		372
8	2000		302	2000		338	2000		420
9	2250		343	2250		398	2250		469
10	2500		390	2500		445	2500		523
11	2750		430	2750		490	2750		542
12	3000		475	3000		545	3000		605
13	3250		563	3250		604	3250		654
14	3500		614	3500		680	3500		698
15	3750		658	3750		730	3750		750
16	4000		704	4000		792	4000		805
17	4250		719	4250		862	4250		853
18	4500		761	4500		908	4500		902
19	4750		850	4750		983	4750		958
20	5000		912	5000			5000		
21	5250			5250			5250		
22	5500			5500			5500		
23	5750			5650		1300	5750		
24	6000						5800		1200
25	6150		1200						

Keterangan : δ = defleksi ($\times 10^{-2}$ mm)*W* = Berat sampel balok beton.

Dari hasil pengujian lentur ketiga sampel *Overreinforced* dan pengujian kuat desak beton didapatkan f'_c sebesar 25,084 MPa. Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan geser dan kapasitas momen yang dapat didukung oleh balok sebagai berikut ini.

1. sampel O₁

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 12,521 \text{ KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$P_u = 6150 \text{ kg}$ (beban pada saat patah)

$$V_u = \frac{P_u}{2} = \frac{6150}{2} = 3075 \text{ Kg} = 30,75 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak 15 cm dari muka perletakan balok

(setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 30,75 = 26,1375 \text{ KN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 12,521 = 7,5126 \text{ KN} \leq V_u = 26,1375 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah :

$$W = 124 \text{ kg} = 1,24 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,24}{2} = 0,62 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P_u = 6150 \text{ kg} = 61,5 \text{ KN}$$



$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{61,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,62}{2} \cdot 2^2 = 20,9125 \text{KNm}$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 22,2853 = 17,8283 \text{KNM}$$

2. Sampel O₂

Kekuatan geser yang diberikan beton adalah :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 12,521 \text{KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$Pu = 5650 \text{kg}$ (beban pada saat patah)

$$Vu = \frac{Pu}{2} = \frac{5650}{2} = 2825 \text{Kg} = 28,25 \text{KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 15 \text{ cm}$ dari muka perletakan

(setengah bentang = 100 cm).

Vu pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 28,25 = 24,0125 \text{KN}$$

$$\phi Vc = 0,6 \cdot 12,521 = 7,5126 \text{KN} \leq Vu = 24,0125 \text{KN}$$

Kapasitas momen adalah:

$$W = 125,5 \text{kg} = 1,255 \text{KN}$$

$$q = \frac{1,255}{2} = 0,6275 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$Pu = 5650 \text{kg} = 56,5 \text{KN}$$

$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{56,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,6275}{8} \cdot 2^2 = 19,24125 \text{KNm}$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 22,2853 = 17,8283 \text{KNm}$$

3. Sampel O₃

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 12,521 \text{KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$P_u = 5800 \text{kg}$ (beban pada saat patah)

$$V_u = \frac{P_u}{2} = \frac{5800}{2} = 2900 \text{Kg} = 29 \text{KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 15 \text{ cm}$ dari muka perletakan (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 29 = 24,65 \text{KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 12,521 = 7,5126 \text{KN} \leq V_u = 24,65 \text{KN}$$

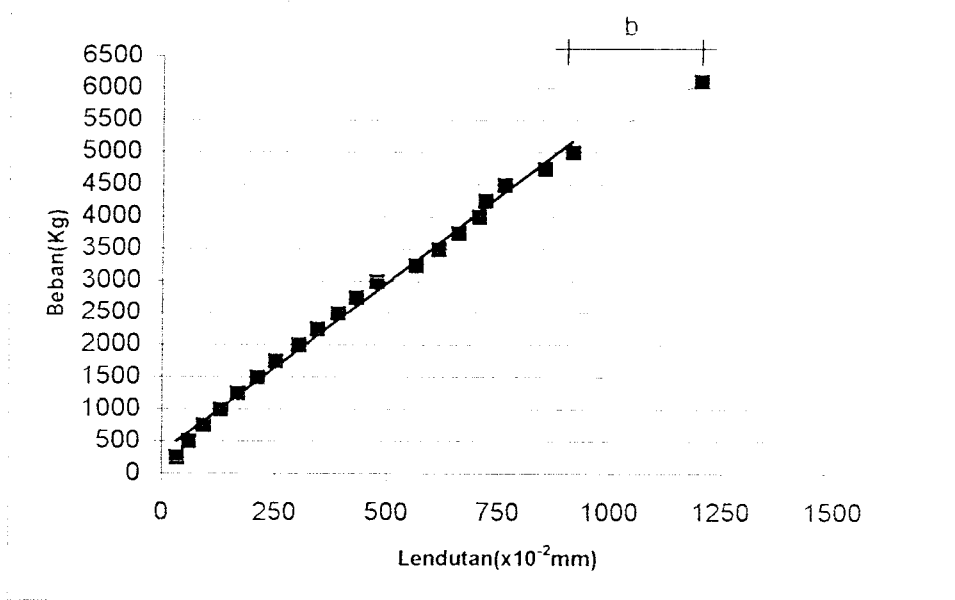
Kapasitas momen adalah:

$$W = 126 \text{kg} = 1,26 \text{KN} \quad q = \frac{1,26}{2} = 0,63 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \quad P_u = 5800 \text{kg} = 58 \text{KN}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{58}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,63}{8} \cdot 2^2 = 19,745 \text{KNm}$$

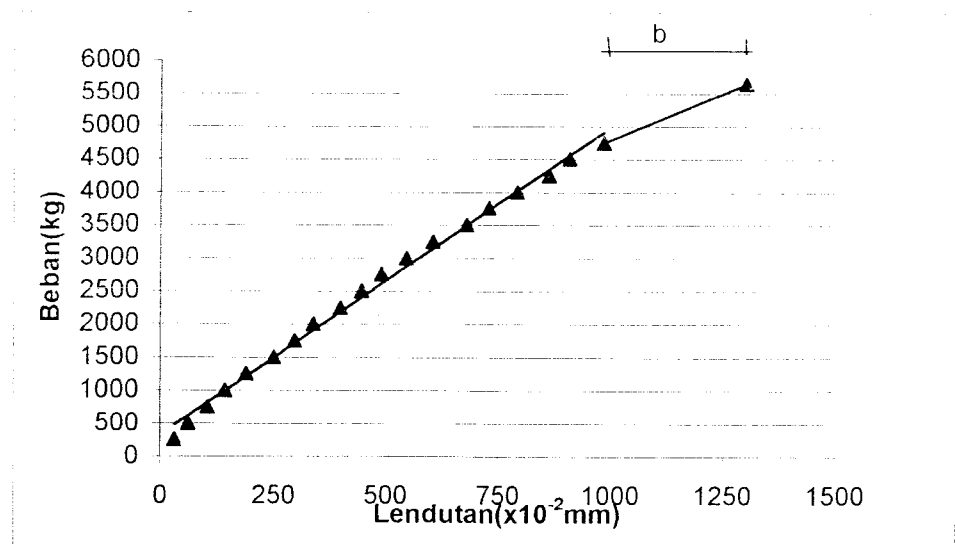
$$M_u \geq \phi M_n = 17,8283 \text{KNm}$$

Dari ketiga sampel kemudian dibuat grafik hubungan kenaikan beban dengan lendutan (gambar 5.8, 5.9, 5.10, 5.11) dan sket pola retak dan patah (gambar 5.12, 5.13, 5.14)



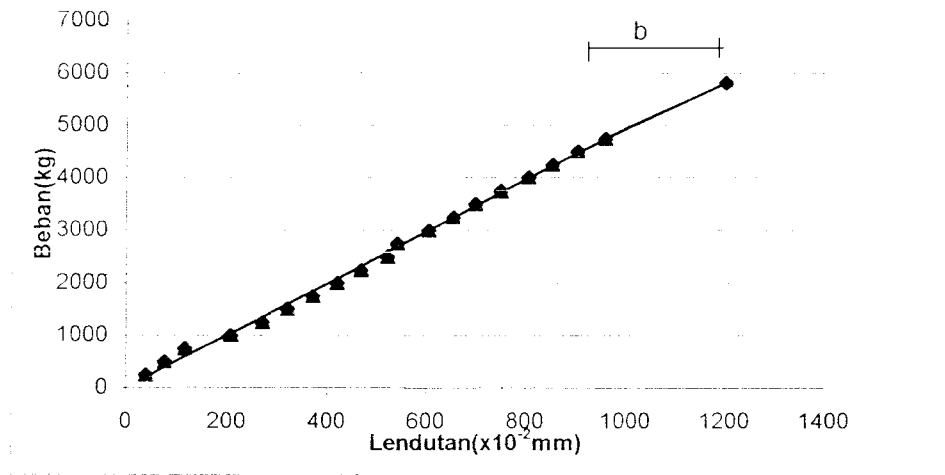
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5,8 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Sampel Overreinforced-1



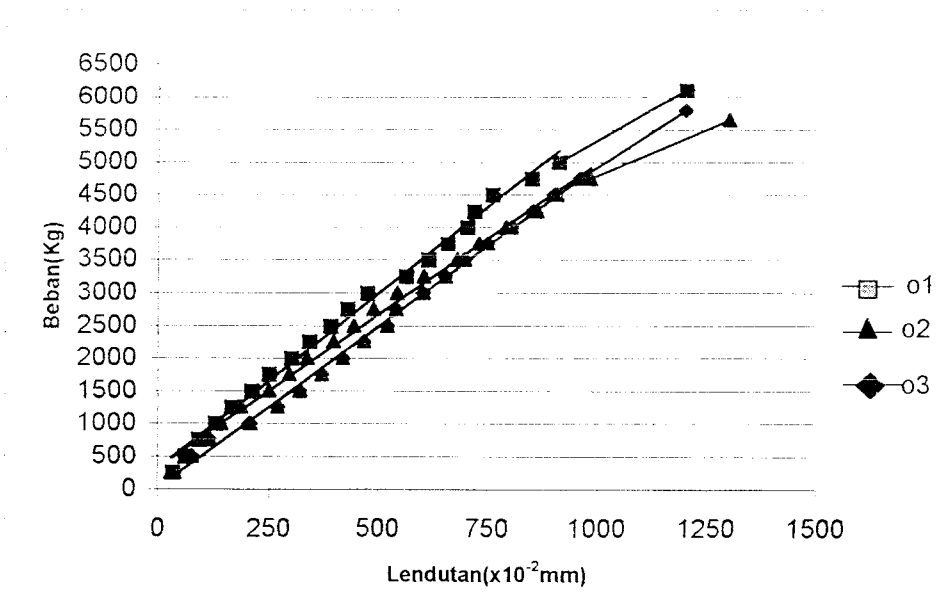
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5,9 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Sampel Overreinforced-2

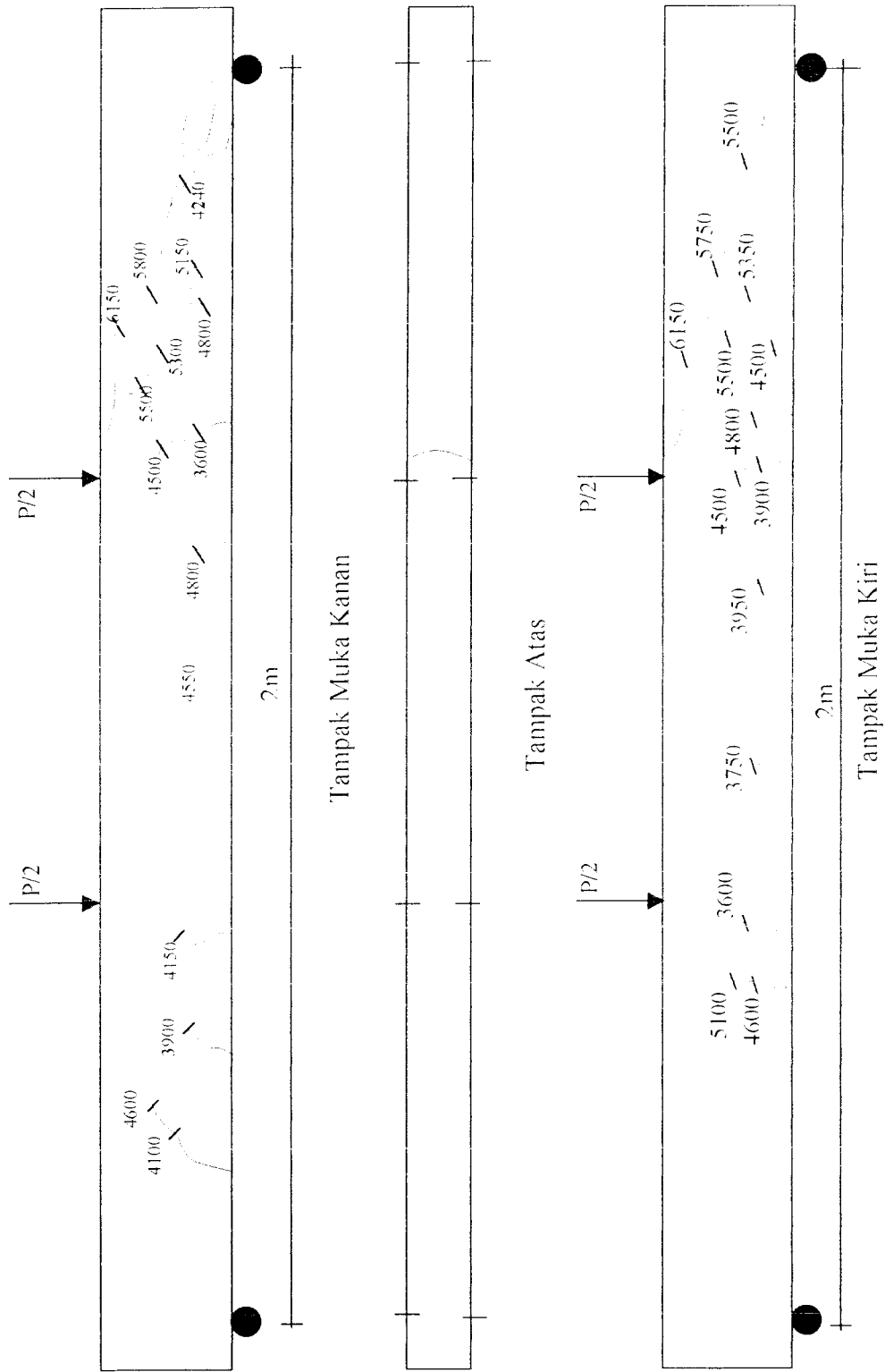


Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

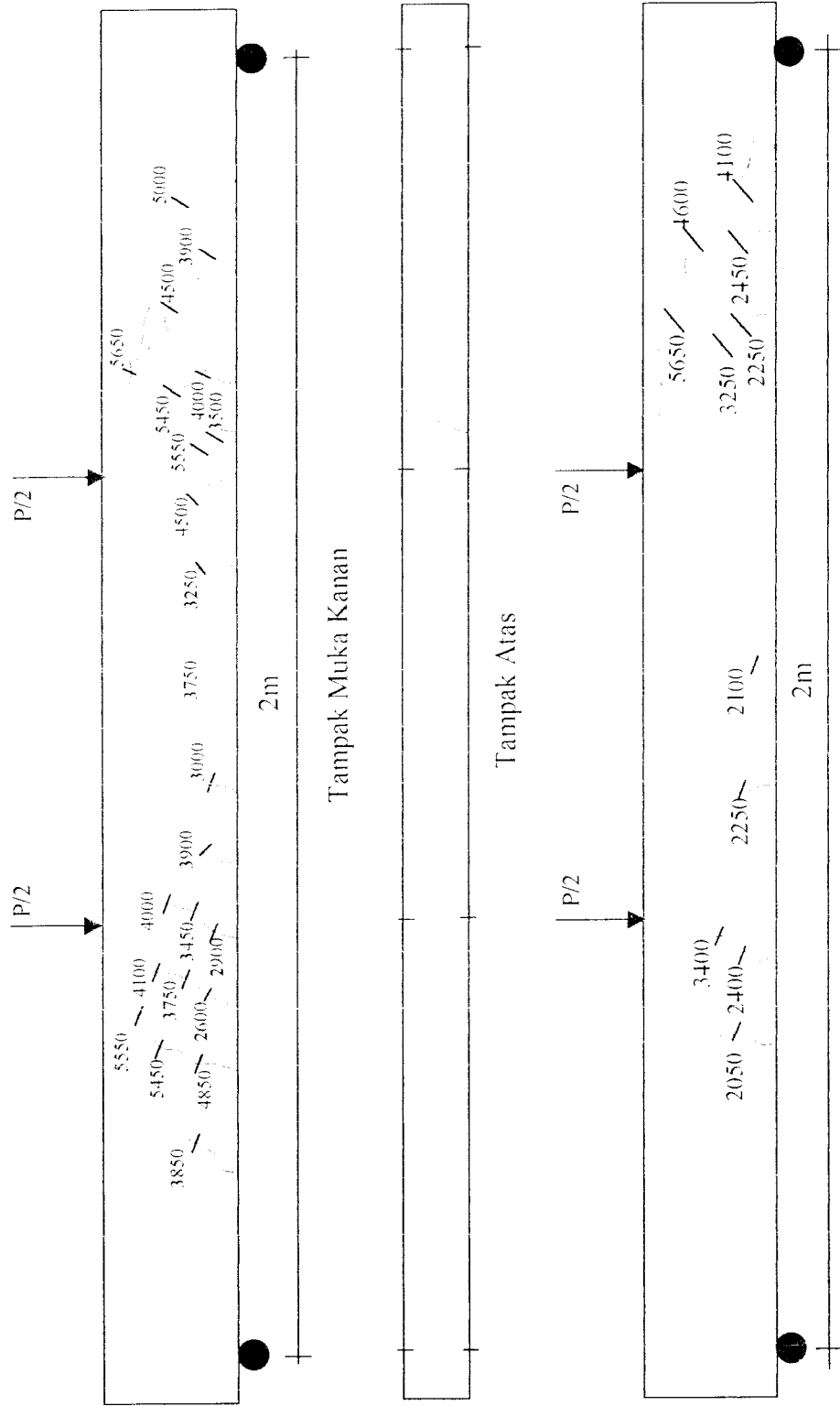
Gambar 5,10 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Sampel Overreinforced-3



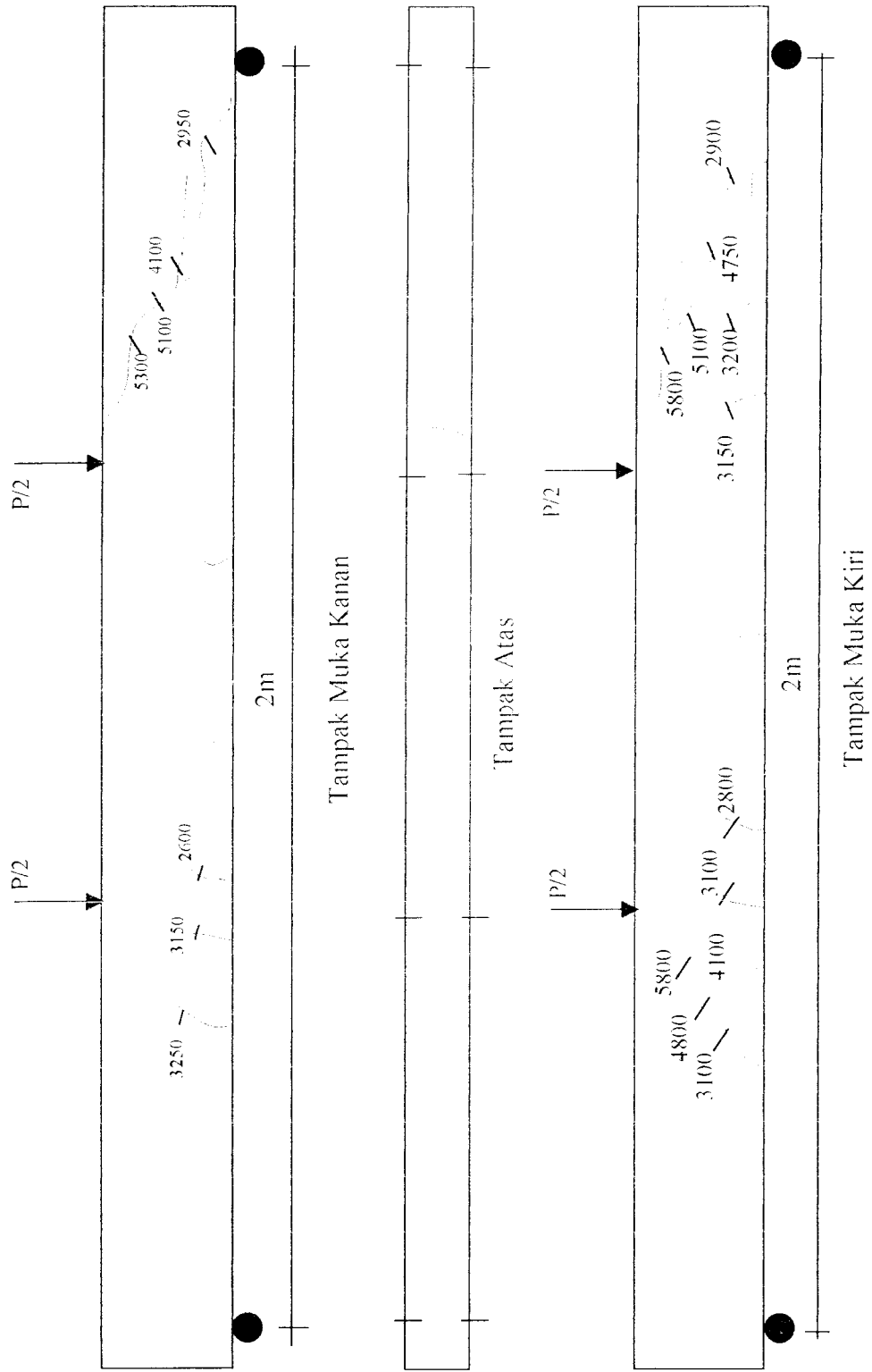
Gambar 5.11 Gabungan Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Overreinforced



Gambar 5.12 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "O1" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.13 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "O2" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.14 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "O3" Pada Kondisi Akhir

3. Hasil pengujian lentur sampel tanpa tulangan (“P”).

Tabel 5.3 Pengujian Lentur tanpa Tulangan

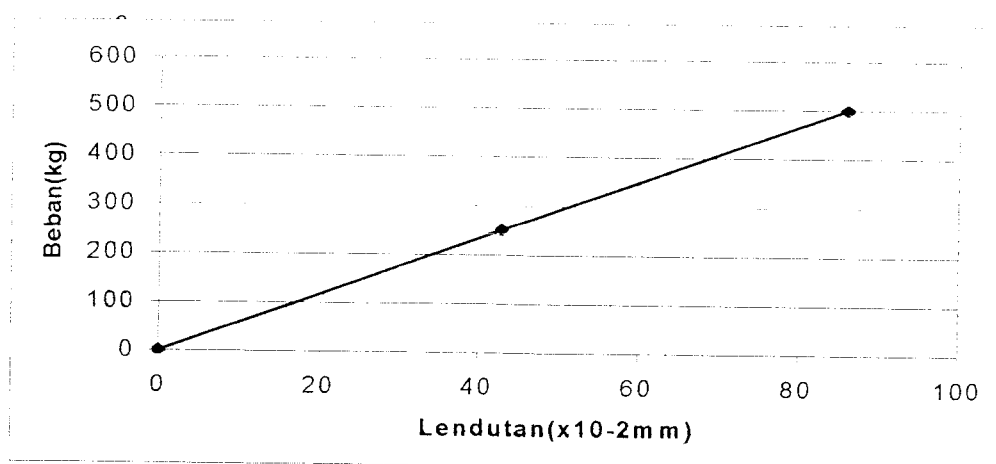
No.	P (kg)	W (kg)	δ (10^{-2} mm)
1	250	116	43
2	500		85
3	625		-

$$P_{\max} = 625 \text{ kg} = 6,25 \text{ kN}$$

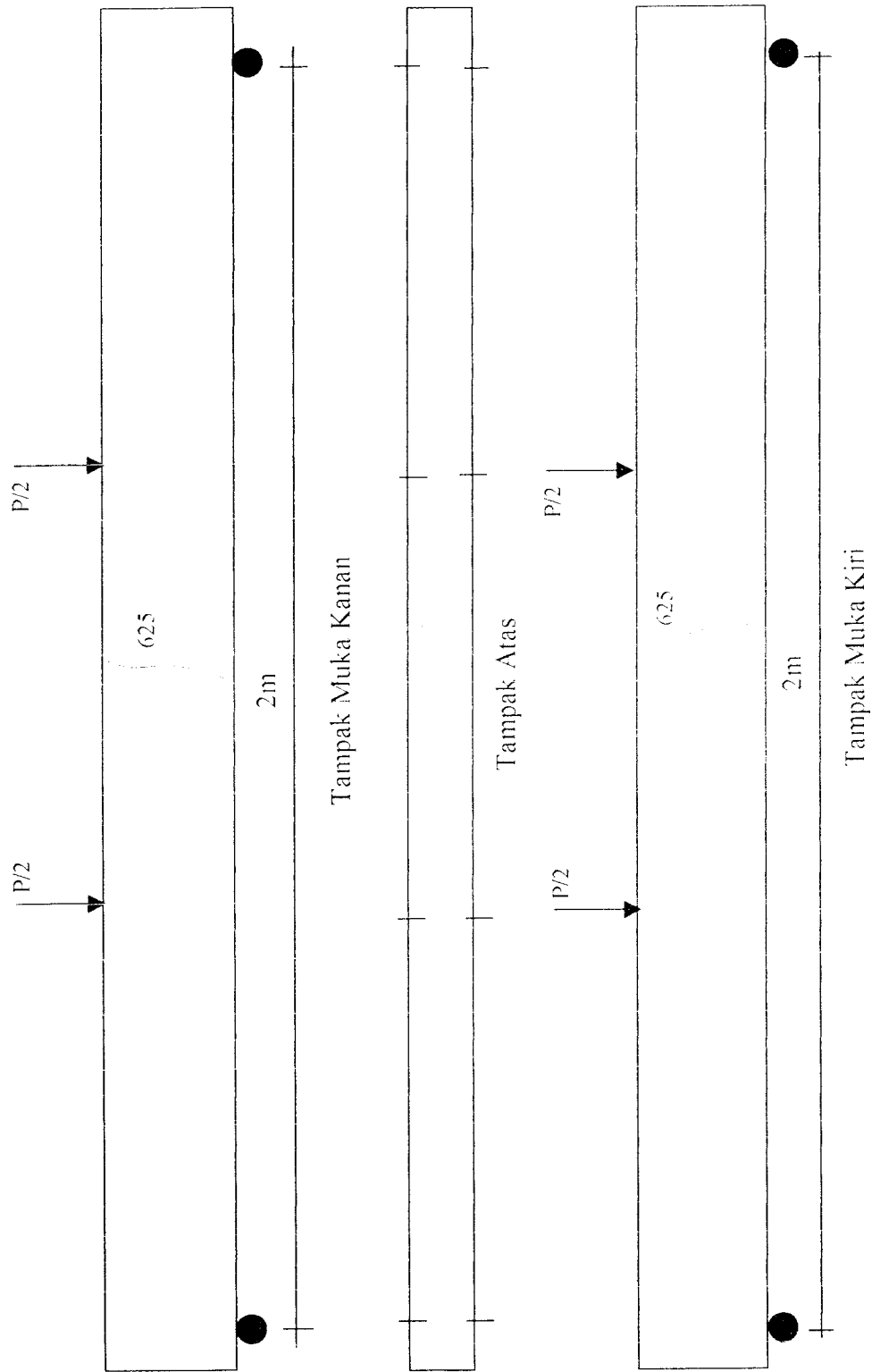
$$W = 116 \text{ kg} = 1,16 \text{ kN (berat benda uji)}, \quad q = 1,16/2 = 0,58 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot 0,58 \cdot 2^2 + \frac{1}{2} \cdot 6,25 \cdot 0,67 = 2,4675 \text{ kNm}$$

Untuk lebih memperjelas kemampuan balok dalam mendukung beban pada sampel dapat dilihat pada grafik hubungan kenaikan beban dengan lendutan dan sket pola retak dan patah (gambar 5.15, 5.16).



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Beban – Lendutan Sampel Tanpa Tulangan (“p”)



Gambar 5.16 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "P" pada Kondisi Akhir

Didalam penelitian ini setiap kali mengadakan campuran beton selalu dibuat 2 benda uji silinder untuk mengetahui kuat desak beton yang dipakai. Hasil penelitian adalah seperti pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kuat desak beton umur 28 hari

No. Samnel	Slumn	<i>P</i> max kg
1	9,5	49500
2	9	46000
3	9	48500
4	10	48700
5	12	47700
6	10,5	49800
7	9	49000
8	9,5	51700
9	11	47300
10	10,5	41200

Dari hasil pengujian desak beton, selanjunya dilakukan perhitungan kekuatan tekan benda uji silinder sebagai berikut ini.

$$f'_{cr} = \sum_{i=1}^{n-10} f'_{ci} = \frac{2712.8492}{10} = 271,2849 \frac{kg}{cm^2}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f'_{ci} - f'_{cr})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{2296,139}{9}} = 15,9727 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'_c = f'_{cr} - 1,28.S = 271,2849 - 1,38.15,9727 = 250,84 \frac{kg}{cm^2} = 25,084MPa$$

$$f'_c \geq f'_c.rencana = 17,5MPa$$

Keterangan :

f'_b = Kekuatan tekan beton yang diperoleh dari masing-masing benda uji (kg/cm^2)

f'_{cr} = Kekuatan tekan beton rata-rata (kg/cm^2)

f'_c = Kekuatan tekan benda uji silinder (kg/cm^2)

S = Deviasi standart (kg/cm^2)

N = Jumlah benda uji

5.2 Pembahasan

Pada dasarnya sifat beton yang getas (*brittle*) akan berkurang dengan adanya tulangan, sifat beton yang kurang menguntungkan tersebut berkurang dan sifat kelenturan beton akan meningkat.

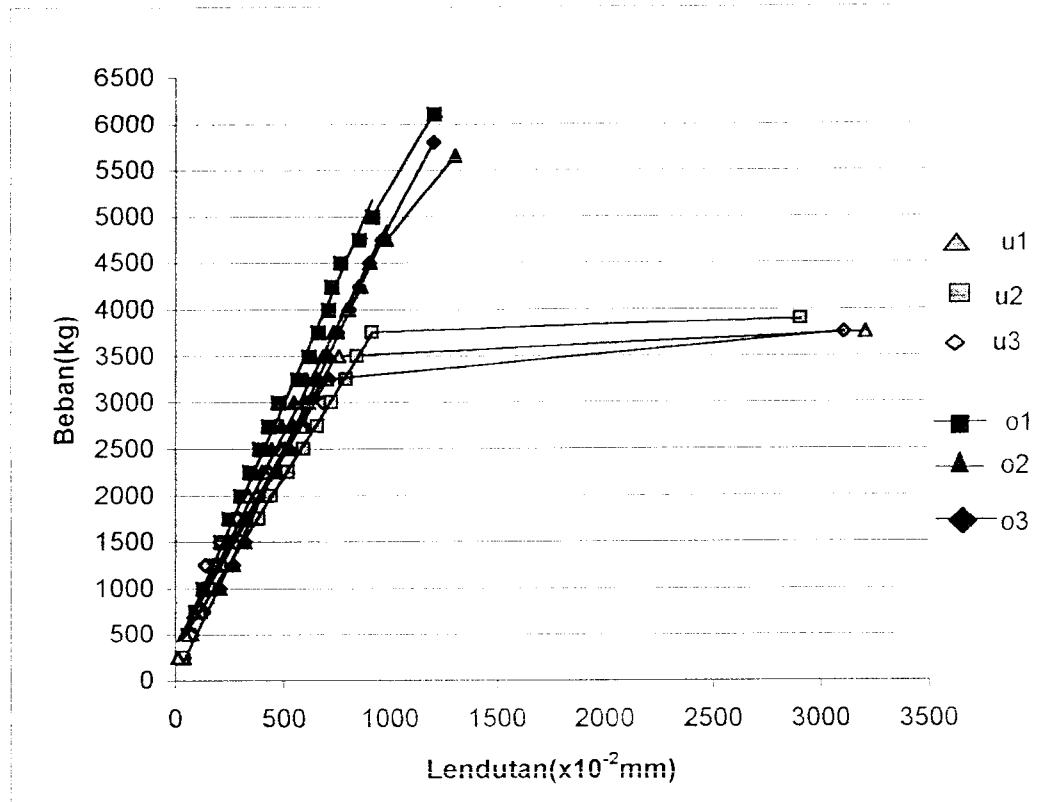
Dari hasil pengujian ini, ternyata benda uji tanpa tulangan langsung mengalami patah pada beban maksimum, serta benda uji dengan tulangan akan mengalami retak-retak terlebih dahulu sebelum akhirnya patah pada beban maksimum.

Retak-retak yang terjadi pada benda uji bertulangan akan ditahan oleh tulangan tersebut. Retak yang ditahan oleh tulangan pada beton yaitu kemampuan lekatan antara tulangan dengan pasta semen serta kekuatan dari tulangan itu sendiri.

Nilai slump yang ditetapkan dalam penelitian ini, yaitu antara 7,5 – 15 cm pada masing-masing benda uji, dengan maksud agar mutu beton sesuai dengan rencana. Sebagai mana diketahui, dalam pelaksanaan dilapangan untuk membuat campuran beton dilaksanakan berkali-kali karena kemampuan mengaduk dari mesin pengaduk (molen) terbatas, kecuali apabila ada mesin pengaduk yang lebih besar.

Pembuatan beton yang dilakukan berulang-ulang akan membuat mutu beton yang berbeda-beda, sehingga didapatkan hasil uji yang berlainan juga.

Mengacu pada data tabel dan pola retak yang terjadi, dapat dibuat grafik perbandingan kenaikan beban dan lendutan dengan membandingkan sampel “U” untuk benda uji dengan tulangan *Underreinforced*, sampel “O” untuk benda uji bertulangan *Overreinforced*, dan sampel “P” untuk benda uji tanpa tulangan, seperti terlihat pada gambar 5.17.



Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

u1=Underreinforced-1

u2=Underreinforced-2

u3=Underreinforced-3

o1=Overreinforced-1

o2=Overreinforced-2

o3=Overreinforced-3

Gambar 5.17 Gabungan Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Overreinforced dan Underreinforced

Dengan melihat grafik diatas, ternyata balok dengan tulangan lebih, yaitu sampel "O" (*Overreinforced*) mempunyai kekuatan yang paling besar dalam menahan beban, namun ditinjau dari segi retaknya, sampel dengan tulangan *Overreinforced* pola retak dan patah yang terjadi ada diluar daerah sepertiga tengah bentang, sedangkan pada sampel dengan tulangan *Underreinforced*, pola retak dan patah terjadi di sepertiga bentang tengah, ini berarti telah sesuai dengan perencanaan yang diharapkan sebelum penelitian ini dilakukan. Sedangkan pada sampel tanpa tulangan, pola retak dan patah terjadi didaerah tengah bentang dengan kekuatan paling rendah dalam menahan beban.

Dengan demikian pada penulangan liat (*Underreinforced*), ditinjau dari segi keamanannya pada penelitian-penelitian ini, memperlihatkan lenturan-lenturan yang sangat besar setelah baja mencapai titik leleh, dengan memberikan peringatan yang tepat akan gagalnya balok dalam waktu dekat. Ditunjukkan dengan kecepatan perambatan dan tinggi retak lentur yang terjadi. Baja yang sifatnya liat, tidak akan betul-betul putus bahkan pada saat balok gagal.

5.2.1 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Kuat desak beton secara umum cukup besar dan sifat inilah yang paling menonjol pada beton.

Pada pelaksanaan pengujian kuat desak beton terlihat, bahwa beton hancur dengan beban maksimum yaitu benda uji akan pecah dan pecahan beton akan saling terlepas (lihat Tabel 5.4).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ternyata kuat desak beton bervariasi tetapi tidak dibawah mutu beton yang direncanakan.

5.2.2 Kuat Lentur Beton dengan dan Tanpa Tulangan

Kuat lentur beton diketahui dengan melakukan pengujian benda uji yang diletakan pada dua sendi rol dan diberikan dua buah gaya pada sisi atas benda uji tersebut.

Dari hasil pengujian lentur, diperoleh beban maksimum pada masing-masing sampel, sehingga dapat dihitung kapasitas momen dari masing-masing benda uji seperti tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5. Kapasitas momen dari masing-masing benda uji

Benda uji	q(KN/m)	Pu(KN)	Mu=0,5q+0,335.Pu(KNm)
U1	0,5975	35	12,0238
U2	0,6	37,5	12,8625
U3	0,595	32,5	11,185
O1	0,62	61,5	20,9125
O2	0,6275	56,5	19,2413
O3	0,63	58	19,745
P	0,58	6,25	2,3838

Keterangan :

q = berat benda uji (KN/m)

Pu =beban yang didapat dari pengujian (KN)

Mu = kapasitas momen yang terjadi (KNm)

Dengan membandingkan antara hasil pengujian dengan hitungan yang telah direncanakan maka dapat ditentukan apakah penulangan itu memenuhi persyaratan atau tidak. Seperti terlihat pada tabel 5.6 dibawah ini perbandingan kapasitas tampang perencanaan dengan kapasitas tampang hasil pengujian yang diperoleh .

Tabel 5.6 Perbandingan kapasitas tampang hasil pengujian lentur dengan perencanaan

Benda uji	Vu Pengujian (KN)	Vu Rencana (KN)	Mu Pengujian (KNm)	Mu Rencana (KNm)
U1	17,5	13,9118	12,0238	9,6089
U2	18,75		12,8625	
U3	16,25		11,185	
O1	30,75	19,5358	20,9125	13,377
O2	28,25		19,2413	
O3	29		19,745	

Dari tabel 5.6 dapat dilihat bahwa kapasitas tampang benda uji *overreinforced* dan *underreinforced* mempunyai kekuatan di atas kapasitas tampang perencanaan. Sedangkan gaya geser (V_u) menunjukkan penampang *overreinforced* mempunyai gaya geser lebih besar, dibandingkan dengan penampang *underreinforced*. Terhadap keamanan penampang *underreinforced* lebih menguntungkan karena patah yang terjadi bukan patah geser.

Pada pengujian terlihat, bahwa beton bertulangan yang telah mengalami retak pertama, masih mempunyai kemampuan meningkatkan kuat lentur. Karena retakan yang terjadi ditahan oleh tulangan pada beton tersebut. Akibatnya pada batas kemampuan yang maksimum, untuk sampel dengan penulangan liat, beton tersebut tidak akan mengalami keruntuhan secara total. Sedang pada beton tanpa tulangan, pada pengujian lentur begitu terjadi retakan pertama langsung terjadi keruntuhan atau patah.

Retak miring akibat geser dibadan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur disekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya.

Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung merambat dimulai dari tepi bawah balok menjalar masuk kedalam badan balok diantara dua pembebanan yang terjadi dengan arah hampir vertikal. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai tercapainya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser diujung salah satu retak terdalam, terjadi tegangan geser cukup besar yang kemudian mengakibatkan terjadinya retak miring. Pada balok beton bertulang, tulangan baja akan bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat seiring dengan beban.

Untuk balok tanpa tulangan, retak karena tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum timbul retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

5.2.3 Perilaku Lentur Penampang Dengan Penulangan Lemah dan Kuat

Dari hasil penelitian seperti ditunjukkan dalam pada tabel 5.1 dan 5.2 dari sejumlah benda uji sampel *underreinforced* dan *Overreinforced* memperlihatkan adanya perbedaan kemampuan dalam menahan beban. Kemudian pada pola retak dan patah yang terjadi memperlihatkan suatu ragam keruntuhan.

Pada sampel yang menggunakan penulangan memanjang balok *underreinforced* terjadi keruntuhan lentur, seperti retak halus vertikal sudah mulai terbentuk di tengah bentang pada beban kira-kira 50% dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban luar, retak mulai menyebar di daerah tengah

bentang, dan retak awal mulai melebar dan merambat ke arah garis netral serta ditandai dengan meningkatnya lendutan (gambar 5.4). Hal ini sesuai dengan persyaratan pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 dan *ACI Building CODE* pasal 10.3.3 yang membatasi jumlah tulangan tarik sehingga menjamin pola kehancuran yang daktail atau liat. Pada penulangan lemah yang demikian pola kehancuran diawali oleh lelehnya tulangan lentur sehingga akan memberikan peringatan yang cukup sebelum balok runtuh.

Untuk benda uji dengan penulangan kuat, pola retak dan patah menunjukkan jenis keruntuhan tarik diagonal (lihat Gambar 5.12, 5.13, 5.14) yang akan terjadi dengan segera setelah terjadi keretakan miring tanpa peringatan yang cukup. Bila beban ditingkatkan retak lentur menyebar keseluruh penampang beton dengan momen yang lebih kecil tetapi gaya geser yang lebih besar, sehingga terjadi retak geser lentur. Meningkatnya retak geser melebar dan merambat sampai menembus sisi atas dari balok dan runtuh dengan tiba-tiba tanpa memberikan peringatan lendutan yang cukup (gambar 5.11). Keruntuhan ini disebut keruntuhan getas atau (*brittle*).

Dari hasil penelitian kuat tekan beton didapatkan f'_c sebesar 25,084 MPa, selanjutnya dihitung kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan geser sebagai berikut ini.

$$V_c = 1/6 \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \quad (5.1)$$

Perhitungan geser terhadap beban dari hasil pengujian ternyata penampang

Overreinforced perlu penulangan geser guna menahan gaya geser yang terjadi.

Demikian pula pada penampang *Underreinforced* tetapi gaya geser yang terjadi cukup kecil. Sehingga retak yang terjadi masih menunjukkan retak lentur dan retak ini cenderung merambat diluar sepertiga bentang tengah(gambar 5.5, 5.6, 5.7).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Pembuatan beton dengan campuran yang berulang-ulang akan memberikan mutu beton yang berbeda-beda.
2. Penulangan memanjang balok *underreinforced* lebih menguntungkan terhadap keamanan yang memperlihatkan adanya lendutan yang besar, serta memperlihatkan retak lentur.
3. Dari pengujian lentur benda uji balok *overreinforced* mempunyai kemampuan menahan beban besar. Ditinjau dari pola retak dan patah, terjadi keretakan geser.
4. Retak-retak yang terjadi pada benda uji ditahan oleh tulangan dengan dua cara yaitu kemampuan lekatan antara tulangan dengan pasta semen dan kekuatan dari tulangan itu sendiri.
5. Mengacu pada SK SNI T – 15 – 1991 – 03 pasal 3.3.3 dan ACI Building CODE pasal 10.3.3 membatasi jumlah tulangan tarik A_s tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah baja tarik untuk mencapai keseimbangan regangan A_{sb} .
 $A_s \leq A_{s,max}$, dengan $A_{s,max} = 0,75 A_{sb}$. Rasio penulangan maksimum $\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$, sedangkan ratio penulangan menurut Goerge Winter, 1993,

adalah $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho \frac{f'_s}{f'_y}$, maka benda uji balok *underreinforced*

menunjukkan pola kehancuran yang daktail (liat).

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang dilaksanakan, dapat memberikan saran yang berguna, antara lain diuraikan di bawah ini:

1. Untuk mendapatkan beton yang baik (tidak keropos), maka hendaknya dalam pelaksanaan pencoran dilakukan pemadatan yang baik jika memungkinkan menggunakan alat *Vibrator* ukuran kecil.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi dalam penelitian ini diusahakan menggunakan mutu beton yang sama.
3. Untuk memperoleh hasil cetakan benda uji yang baik (tepat sesuai bentuk bekesting), usahakan alas untuk pencoran dibuat rata, hal ini supaya sisi bawah benda uji untuk tumpuan, dapat menempel pada kedua ujung rol tumpuan pada waktu pelaksanaan pengujian.
4. Apabila pelaksanaan pencoran dilaksanaka di musim hujan usahakan penempatan meterial diletakkan di tempat yang terlindung dari genangan air dan hujan, sebab hal ini dapat mempengaruhi besarnya faktor air semen.
5. Perlunya ditindaklanjuti penelitian ini, mengenai jumlah tulangan, dimensi benda uji, kemudian perlu alat uji yang memadai serta alat dial (pembacaan lendutan) agar beban maksimum lendutan dapat terbaca.

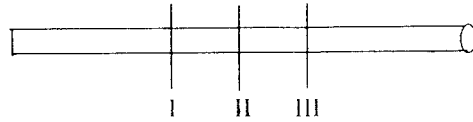
DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-89 Building CODE Requirements For Reinforced Concrete, with design Applications
- CHU-KIA Wang, Charles G. Salmon, Bisar Hariandja, Ir, M.Eng, PhD, *Desain Beton Bertulang*, Edisi Keempat, Erlangga, 1987
- Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SK SNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB, 1991
- Edward G. Nawy, *beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Eresco, Badung, 1990
- George Winter, Arthur H. Nilson, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Pradnya Paramitha, 1993
- Istimawan Dipohusodo, Ir, *Struktur Beton bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 DPU RI*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994
- Kardiyono Tjokrodimulyo, Ir, ME, *Teknologi Beton*, Universitas Gajah Mada, 1992
- Phil M. Ferguson, Budianto Sutanto, Kris Setianto, *Dasar-Dasar Beton Bertulang*, Erlangga, Edisi Keempat, 1986
- Sagel, R., Kole, P., Gideon Kusuma, Ir., *Pedoman Pengerjaan Beton*, Erlangga, 1993
- W.H . Mosley, J.H. Bungey, *Perencanaan Beton Bertulang*, Erlangga, Edisi Ketiga, 1989

LAMPIRAN

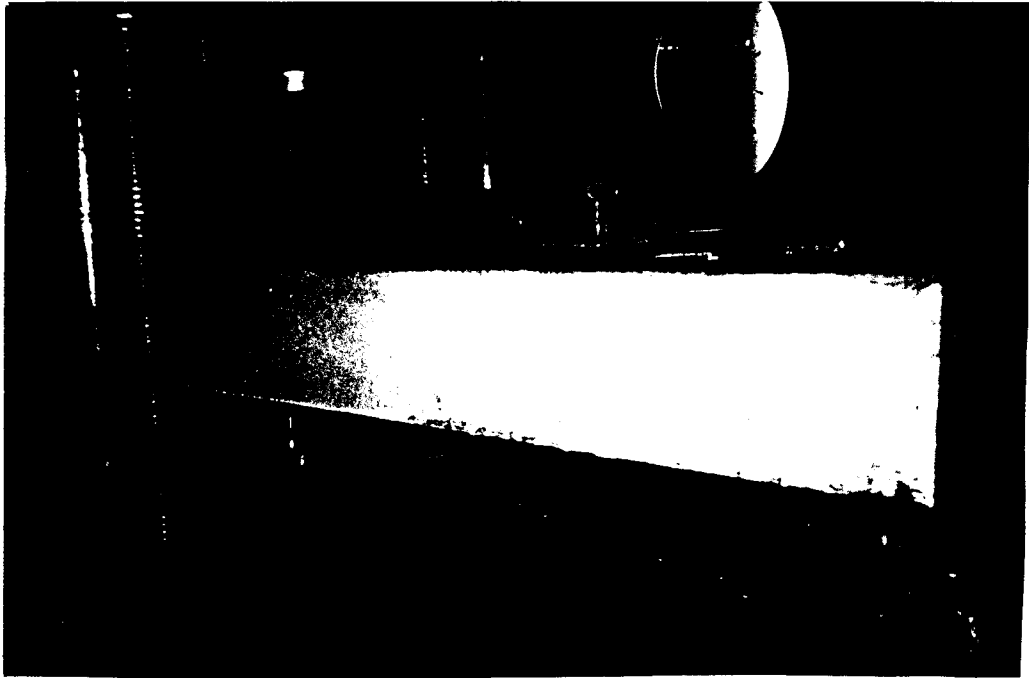
PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

$$\text{Diameter rata-rata} = \frac{0,926 + 0,925 + 0,924}{3} = 0,925\text{mm}$$

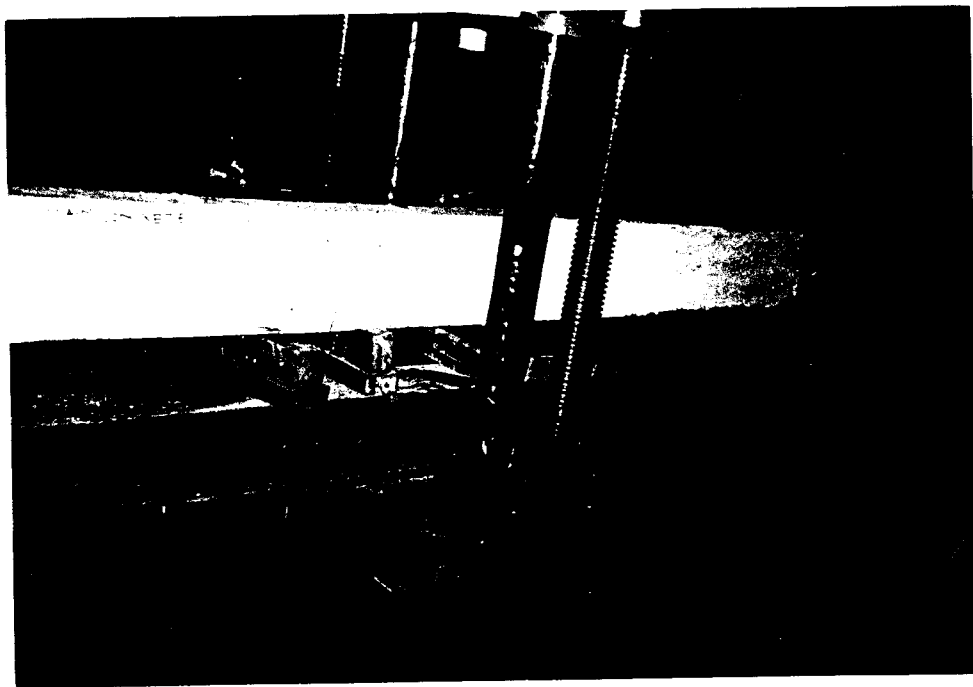


Pembacaan leleh pada mesin uji = 2320kg

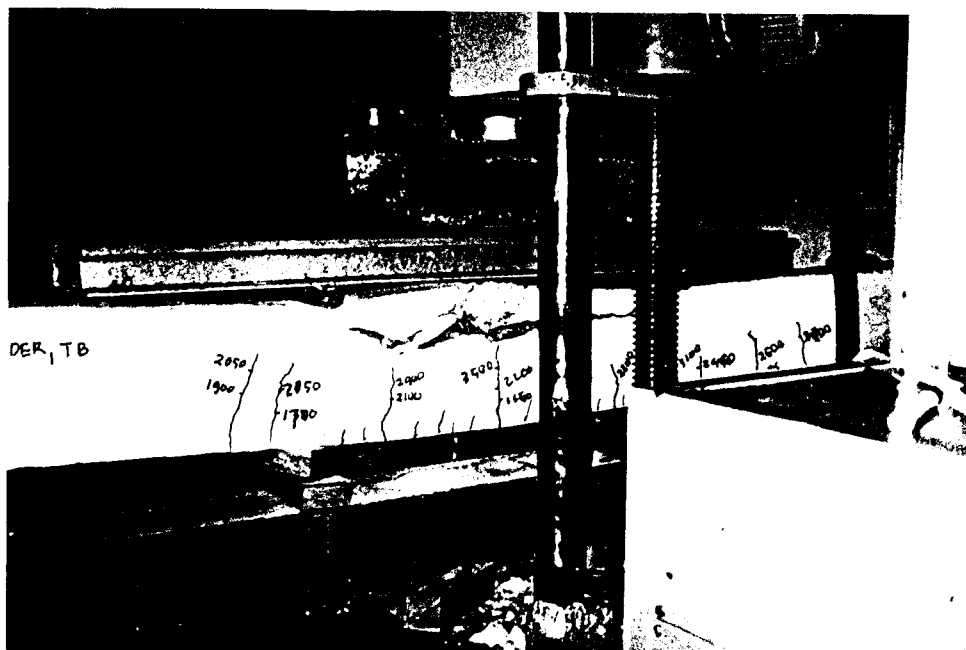
$$\text{Tegangan leleh} = \frac{P}{A} = \frac{2320}{0,672} = 3452,35 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



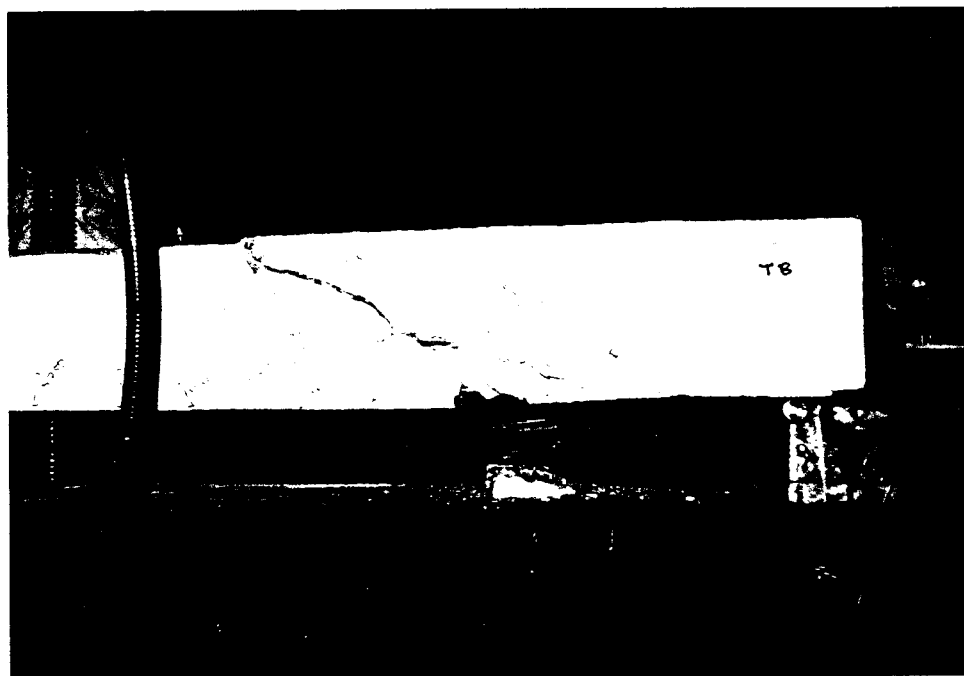
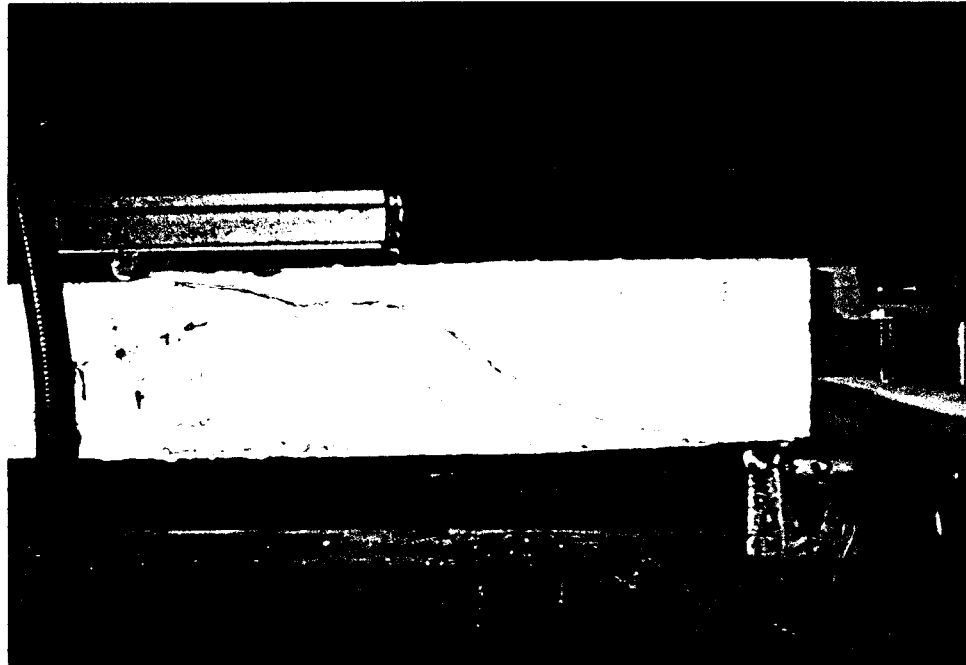
Gambar L.1. Benda uji dan dial sebelum pengujian



Gambar L.2. Retak dan patah benda uji tanpa tulangan



Gambar L.3. Retak lentur dengan penulangan *Underreinforced*



Gambar L.4. Retak geser dengan penulangan *Overreinforced*



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	MUH. PUDJI WIDODO	90 810 068		STRUKTUR
2.	SAIFUL ANWAR	90 810 188		STRUKTUR

UDUL TUGAS AKHIR : PERILAKU BALOK LENTUR DENGAN PENULANGAN.....
" OVER AND UNDER REINFORCED " BENTANG BALOK UJI 2 m

Dosen Pembimbing I : : IR. H. SUSASTRAWAN. MS
Dosen Pembimbing II : : IR. H. SUHARYATNO. MT

1



2



Yogyakarta, 21 Juni 1998

An. Dekan,

Ketua Jurusan Teknik Sipil.

IR. H. TAJUDDIN BMA.. MS

CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke :	KETERANGAN	Paraf
	2/7/98 10/7/98 14/7/98	- check gear - Perbaiki Siapkan	nyunt & lanjutkan /ART Seminar /ART	/ART
	24/7/98	ACC untuk seminar	SUS	
	2/12/98	- Perbaiki	→ buat pola retas balok	
	6/12/98	Perbaiki, check gear	/ART	
	28/12/98	Perbaiki	24/2/98 Perbaiki	/ART
	8/3/98	- lanjutkan		
	22/3/99	Dilanjutkan ke DP I	(Kursus)	
	5/4/99	Perbaiki SUS	7/4/99 ACC SUS	/ART