

KAJIAN EKSPERIMENTAL MEKANISME RETAK PADA BALOK BETON BERTULANG

Disusun Oleh :

Rahayu Mointi

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo
INDONESIA
ayumointi@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa seberapa besar perbandingan antara lebar dan panjang retak yang terjadi pada elemen struktur balok beton bertulang dan menggambarkan pola pembentukan retak yang terjadi pada balok.

Dengan menggunakan benda uji balok beton bertulang tampang empat persegi panjang dengan dimensi 20 x 30 x 160 cm sebanyak 2 buah dengan tulangan tarik 3 Φ 12 dan tulangan tekan 2 Φ 8 sedangkan mutu beton yang direncanakan adalah 40 Mpa. Pembebanan dilakukan secara bertahap sampai balok mengalami keruntuhan. Setiap tahap pembebanan dilihat berapa besar retak yang terjadi pada balok.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Muslim Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gambaran pola retak yang terjadi adalah semakin panjang retak pada balok lebar retak yang terjadi semakin kecil hal ini disebabkan karena proses pengukuran retak yang bersifat non struktur cenderung dipengaruhi oleh kekuatan balok pada daerah permukaan saja, sedangkan untuk panjang retak yang pendek dengan lebar retak yang besar cenderung bersifat struktur.

Kata Kunci : *Balok beton bertulang, Mutu beton, dan Geser lentur.*

PENDAHULUAN

Penggunaan material beton sebagai material bangunan sangat dominan dibanding material lain dalam industri konstruksi. Keunggulan material beton yang mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi, murah, mudah dibentuk dan tanpa memerlukan biaya perawatan membuat pemakaian material ini sangat luas di dalam industri konstruksi. Selain memiliki keunggulan-keunggulan seperti diatas material ini mempunyai beberapa kekurangan antara lain lemah dalam menahan tarik, oleh karenanya penggunaan material beton pada struktur sering disertai dengan penggunaan material lain yang mempunyai kuat tarik tinggi. Dalam praktek beton sering dikomposisikan dengan material baja tulangan sebagai upaya untuk meningkatkan kemampuan struktur beton dalam menahan tarik.

Beton yang lemah terhadap tarik menjadi menjadi penyebab utama terjadinya retak pada struktur beton bertulang dalam kondisi beban kerja. Retak yang terjadi pada struktur beton bertulang tentu akan mempengaruhi perilaku struktur tersebut. Kondisi demikian mengakibatkan perilaku struktur beton bertulang lebih kompleks dibanding struktur lain. Untuk mendapatkan data dan informasi yang benar tentang perilaku struktur beton bertulang perlu dilakukan suatu kajian secara mendalam.

Pemahaman tentang perilaku retak pada struktur beton bertulang pada umumnya diperoleh melalui pengujian eksperimental di laboratorium. Uji eksperimental ini sangat penting untuk mendapatkan gambaran mengenai respon struktur berdasarkan keadaan nyata. Untuk mendapatkan data pengujian eksperimental secara detail harus melibatkan banyak parameter pengujian yang mempunyai konsekuensi pada

besarnya jumlah benda uji. Kendati demikian belum tentu semua informasi dapat diperoleh melalui pengujian eksperimental karena adanya keterbatasan kemampuan alat dan metode pengujian.

Fenomena penting yang perlu diperhatikan dalam hal keretakan elemen struktur beton bertulang adalah terjadinya degradasi kekuatan, dimana kekuatan aktualnya tidak bias dikembalikan lagi seperti semula meskipun retakannya sudah ditutup. Oleh karena itu retak harus dibatasi lebar dan distribusinya untuk menjaga kemungkinan terjadinya korosi pada tulangan. Pada struktur yang terlindung pengaruh retak tidak begitu cepat merusak tulangan dibandingkan dengan struktur yang tidak terlindung seperti; struktur yang terdapat di daerah lembab dan daerah di sekitar pantai serta struktur yang terletak di dalam air.

Pada umumnya elemen konstruksi yang terbuat dari beton bertulang yang lebih sering mengalami retak adalah elemen balok dibandingkan dengan elemen struktur lainnya, dimana balok beton bertulang dipandang sebagai batang yang terutama memikul beban transversal. Lebar dan distribusi retakannya dipengaruhi oleh ukuran diameter tulangan, dimana tulangan dengan diameter kecil akan menghasilkan lebar dan jarak antar retak yang relatif kecil, sedangkan tulangan dengan diameter besar cenderung menghasilkan lebar dan jarak antar retak yang relatif besar.

Untuk mengatasi fenomena retak pada elemen struktur balok beton bertulang, maka informasi penting yang menjadi input kajian solusinya adalah mekanisme terjadinya retak tersebut.

RUMUSAN MASALAH

Fenomena terjadinya keretakan pada elemen struktur balok beton bertulang merupakan fokus kajian yang akan dilakukan dalam rencana penelitian ini. Oleh karena itu unsur-unsur penting sebagai bagian dari kajian tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Bagaimana pola pembentukan retak pada elemen struktur beton bertulang akibat pembeban lentur.
- b. Seberapa besar perbandingan antara lebar dan panjang retak yang terjadi pada elemen struktur balok beton bertulang.

MAKSUD DAN TUJUAN

PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan sebagai salah satu bentuk kontribusi ilmiah penulis dalam mengungkapkan fenomena keretakan pada elemen struktur beton bertulang. Sedangkan tujuan yang ingin dicapai dari hasil kajian penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui gambaran pola retak yang terjadi pada elemen struktur balok beton bertulang.
- b. Mengetahui perbandingan antara panjang dan lebar retak yang terjadi pada elemen struktur balok
- c. Mengetahui perbandingan korelasi antara rumus empiris dan hasil penelitian.

BATASAN MASALAH

Untuk lebih memfokuskan obyek rencana penelitian ini, maka permasalahan-permasalahan yang terkait dengan kajian sebagaimana yang disebutkan di atas perlu dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

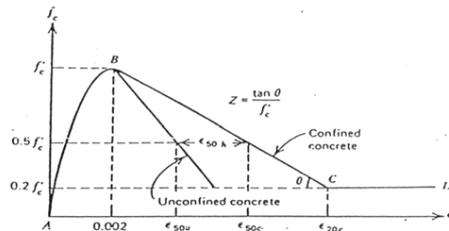
- a. Rencana penggunaan mutu beton adalah dengan $f'c = 40$ MPa
- b. Baja tulangan yang digunakan adalah baja polos dengan ukuran diameter 12 mm.
- c. Pembebanan yang diaplikasikan pada elemen struktur balok beton bertulang adalah pembebanan lentur dengan sistem pembebanan uniaksial tekan monotonik.
- d. Perancangan campuran beton menggunakan metode ACI 211.

KAJIAN PUSTAKA

Teori Beton

Beton adalah suatu material buatan manusia yang didapat dari campuran beberapa material dasar, yaitu semen, agregat halus (pasir atau kerikil halus yang lolos saringan #4), agregat kasar (batu

kerikil atau batu pecah), air dan zat *additive* (tambahan) bila diperlukan. Beton harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dapat diperoleh mutu beton yang baik. Hubungan antara tegangan dan regangan beton, dapat dilihat pada **Gambar 1**.

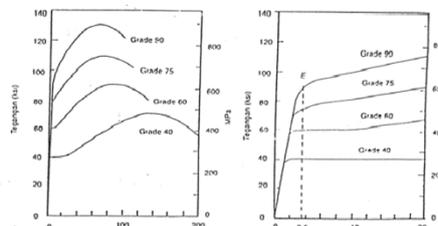


Gambar 1. Hubungan tegangan-regangan beton (Park & Paulay, 1975)

Beton merupakan sekumpulan interaksi mekanisme dan kimiawi dari bahan material pembentuknya, oleh karena itu masing – masing komponen pembentuk beton tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Dalam keadaan mengeras beton bagai batu karang dengan kekuatan yang tinggi, dalam keadaan segar beton dapat diberi bermacam – macam bentuk sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau untuk tujuan dekoratif. Beton mempunyai nilai kuat tekan yang besar namun beton tidak kuat terhadap daya tarik.

Baja Tulangan

Dibandingkan dengan beton, tulangan merupakan material berkekuatan tinggi. Baja tulangan dapat memikul tarik maupun tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tariknya. Sebaliknya baja merupakan material yang mahal harganya bila dibandingkan dengan beton. Hubungan tegangan dan regangan pada baja tulangan secara umum dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan tegangan-regangan pada baja (Park & Paulay, 1975)

Setiap jenis baja tulangan yang dihasilkan oleh pabrik – pabrik baja yang terkenal dapat dipakai. Pada umumnya setiap pabrik baja mempunyai standar mutu dan jenis baja sesuai dengan yang berlaku di negara yang bersangkutan. Namun demikian

pada umumnya baja tulangan yang terdapat dipasaran indonesia dapat digolongkan dalam mutu seperti yang tercantum pada tabel.

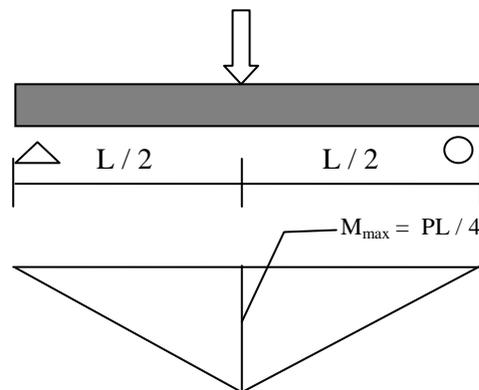
Tabel 1. Tegangan Leleh Karakteristik

Mutu	Sebutan	Tegangan leleh Karakteristik yang memberikan regangan tepat (kg/cm)
U – 22	Baja Lunak	2200
U – 24	Baja Lunak	2400
U – 32	Baja Sedang	3200
U – 39	Baja Keras	3900
U – 48	Baja Keras	4800

Lentur Pada Balok

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (berarah horizontal) atau juga

beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur yang terjadi pada balok merupakan akibat regangan yang timbul karena adanya beban luar yang bekerja pada balok tersebut



Gambar 3. Lentur pada blok

Tipe Retak Pada Balok Beton

Penampang beton bisa mengalami keretakan ketika menahan momen lentur. Sewaktu serat bawah tertarik, beton sebenarnya bisa menahan tegangan tarik tersebut, tetapi kuat tarik beton sangatlah kecil. Retak pada beton biasanya terjadi karena desain dan praktek konstruksi yang tidak benar seperti:

- Persiapan tanah dasar yang kurang tepat.
- Penggunaan beton dengan nilai *slump* yang tinggi atau penambahan air yang berlebihan pada pekerjaan pengadukan campuran beton.

- Pekerjaan *finishing* beton cor yang kurang teliti.

Faktor-faktor Penyebab Terjadinya Keretakan Pada Beton Bertulang

Sebenarnya setiap beton bertulang yang diaplikasikan pada struktur bangunan pasti akan terjadi retakan, yang harus dipertimbangkan adalah apakah retakan tersebut dapat ditolerir karena tidak berbahaya atau retakan tersebut membahayakan struktur bangunan secara keseluruhan. Keretakan pada beton bertulang ini disebabkan oleh beberapa hal,

karena pengaruh dari sifat beton itu sendiri maupun faktor lingkungan luar yang mempengaruhi beton secara langsung.

Faktor - faktor penyebab keretakan beton yang terjadi saat pembuatan beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Sifat Beton

Untuk melihat bagaimana sifat dari beton bertulang yang dapat menimbulkan keretakan kita harus melihat proses dari awal pembuatan beton bertulang tersebut. Pada saat awal pembuatan beton bertulang dengan pencampuran bahan penyusunnya seperti kerikil, pasir, air, semen, dan baja tulangan. Dalam proses pengerasannya beton akan mengalami pengurangan volume dari volume awal. Umumnya hal ini disebabkan air yang terkandung pada campuran beton akan mengalami penguapan sebagian yang mengurangi volume beton bertulang tersebut.

Sehingga apabila dikondisikan pada saat beton mengalami pengerasan dan akibat dari volume beton berkurang yang akan menyebabkan penyusutan pada beton tetapi beton tersebut dibiarkan untuk menyusut tanpa adanya pembebanan maka beton pun tidak akan mengalami keretakan. Tetapi pada kondisi sebenarnya dilapangan tidak ada beton yang tidak mengalami pembebanan. Karena tidak ada balok atau kolom pada bangunan yang berdiri sendiri melainkan akan bersambung satu sama lain dan hal ini akan membuat beton bertulang bekerja menahan beban-beban pada bangunan, sehingga apabila pada kondisi saat beton mengalami penyusutan volume kemudian terjadi pembebanan, maka retakan pun tidak dapat dihindari.

2. Suhu

Tidak dapat diabaikan suhu juga dapat menyebabkan keretakan pada beton bertulang. Maksud suhu disini adalah suhu campuran beton saat mengalami perkerasan. Karena pada saat campuran beton bertulang mengalami perkerasan

suhu yang timbul akibat reaksi dari air dengan semen akan terus meningkat. Sehingga pada saat suhu campuran beton ini terlalu tinggi, pada saat beton sudah keras sering timbul retak-retak pada permukaan beton.

3. Korosi Pada Tulangan

Sebenarnya untuk mengantisipasi retakan yang terjadi akibat dari sifat beton itu sendiri, beton diberi tulangan pada bagian dalamnya yang terbuat dari baja. Sehingga diharapkan dengan adanya baja tulangan tersebut retakan akibat dari sifat beton disebar pada keseluruhan beton menjadi bagian-bagian yang sangat kecil sehingga retakan tersebut dapat diabaikan. Tetapi apabila tulangan yang dipakai pada saat pembuatan beton sudah mengalami korosi, tulangan tersebut itu pun akan menyebabkan retakan pada saat beton mengeras.

4. Proses Pembuatan Yang Kurang Baik

Banyak sekali penyebab retak yang terjadi pada beton bertulang disebabkan oleh proses pembuatan yang kurang baik. Seperti contoh pada saat beton mengalami perkerasan dimana banyak mengeluarkan air, maka perlu adanya perawatan pada beton agar pengeluaran air dari campuran beton tidak berlebihan. Tetapi akibat tidak adanya perawatan, sehingga pada saat beton terbentuk maka terjadi banyak retakan.

5. Material Yang Kurang Baik

Banyak sekali terjadi keretakan pada struktur beton bertulang diakibatkan karena material penyusunnya yang kurang baik. Beberapa hal diantaranya yang sering ditemukan adalah agregat halus atau pasir yang kurang bersih, masih bercampur dengan lumpur sehingga ikatan antara PC dan agregat menjadi terlepas. Sehingga ketika beton mengering maka retakan-retakan akan mudah sekali terjadi.

6. Cara Penulangan

Sering sekali saya menemukan struktur beton bertulang dibuat dengan cara yang kurang tepat. Hal yang paling umum

terjadi adalah ketebalan dari tulangan sampai permukaan beton terlampau besar. Hal ini sebenarnya kurang tepat karena fungsi dari baja tulangan tersebut adalah untuk menahan gaya lintang (pada balok dan plat), deformasi akibat lendutan, serta gaya geser. Jika tebal selimut beton terlampau besar maka retakan biasa terjadi mulai dari permukaan struktur beton sampai pada bagian tulangan yang ada didalamnya. Seharusnya tulangan dibuat agak keluar, dan selimut atau kulit yang membungkus tulangan dibuat setipis mungkin (1,5 s/d 2 cm). Karena gaya tarik dan gaya tekan paling besar terjadi pada ujung permukaan beton tersebut.

METODOLOGI

Bahan/Material Yang Digunakan

Bahan atau material yang digunakan dalam rencana penelitian ini adalah semen, agregat halus, agregat kasar, air, baja tulangan, dan bahan tambah jika diperlukan. Adapun spesifikasi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Semen type PCC (Portland Composite Cement) produksi PT. Semen Tonasa
- Agregat halus berupa pasir alami yang bersumber dari sungai Bone Kabupaten Gowa
- Agregat kasar berupa batu pecah (chipping) dengan ukuran diameter maksimum 20 mm yang bersumber dari Bili-Bili Kabupaten Gowa
- Baja tulangan dengan kuat leleh $f_y = 400$ MPa produksi Krakatau Steel
- Air PDAM Makassar.

Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam rencana penelitian ini terdiri dari benda uji silinder beton berukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan. Sedangkan benda uji untuk pengujian retak adalah berupa balok persegi panjang dengan ukuran

penampang 20 cm x 30 cm, panjang 160 cm. Kedua benda uji beton tersebut direncanakan menggunakan mutu dengan $f'_c = 40$ MPa. Jumlah benda uji silinder beton direncanakan sebanyak 5 buah untuk mutu beton, sedangkan jumlah benda uji balok beton direncanakan sebanyak 2 buah untuk mutu beton dengan tulangan tarik 3Ø12 dan tulangan tekan 2Ø8.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia Makassar.

Metode Pengujian

Karena specimen yang digunakan dalam rencana penelitian ini adalah beton bertulang, sehingga pengujian awal yang dilakukan adalah meliputi uji kekuatan tarik baja tulangan dan uji kekuatan tekan beton, sesuai yang direncanakan. Adapun gambaran setiap pengujian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pengujian Tarik Baja Tulangan

Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanisme material adalah uji tarik (*tensile test*). Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Uji tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanisme dari material, sehingga diharapkan dapat digunakan untuk mempertimbangkan dalam pemilihan material yang tepat, pada pengujian tarik ini menggunakan uniaxial testing machine.

Pengujian Kuat Tekan Beton

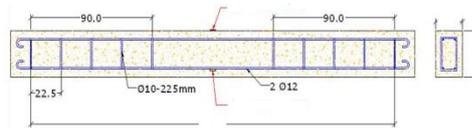
Tujuan dari pengujian kuat tekan ini adalah untuk mengetahui mutu dari beton tersebut. Pengujian dilakukan dengan cara

memberi gaya aksial terhadap benda uji silinder dengan peningkatan beban yang ditentukan sampai benda uji silinder mengalami keruntuhan. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum pada saat benda uji hancur dengan luas penampang silinder.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari, dengan menggunakan beton silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Pengujian ini dilakukan dengan pembebanan aksial terhadap benda uji beton silinder sampai mengalami kehancuran. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dimana σ adalah kuat tekan beton (MPa), P adalah beban hancur (kN), dan A adalah luas bidang sentuh beban (mm^2).



Gambar 4. Benda uji balok beton bertulang

Pengujian Kuat Lentur dan Lenturan Balok Beton Bertulang

Pengujian kuat lentur balok beton bertulang dilakukan dengan menggunakan mesin kompres yang berkapasitas 150 ton. Balok uji ditempatkan pada perletakan, balok uji diberikan beban terpusat P yang merupakan titik pembebanan membagi balok dengan jarak yang sama.

Sebelum dibebani jarum-jarum pada dial indikator ini harus pada posisi nol. Beban P pada tahap awal diberi sebesar 0 kn dan selanjutnya ditambah secara bertahap sebesar 100 kn. Besarnya beban P yang diberikan dapat dibaca pada Manometer Jack. Untuk setiap tahap pembebanan dibaca dan dicatat lenturan yang terjadi pada dial Indikator. Selama pembebanan berlangsung diperhatikan saat mulai terjadinya retak

Dimana :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Untuk mendapatkan hasil lebar retak dari pendekatan rumus empiric maka dengan ini dapat di gunakan rumus :

$$W_c = 0.000076 \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A}$$

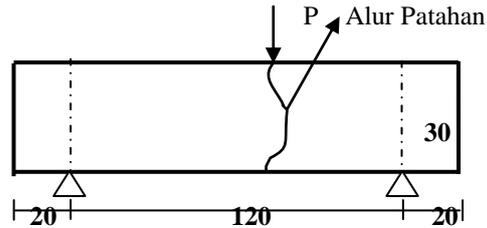
Pengujian Balok Beton Bertulang

Pengujian ini dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Adapun bentuk benda balok beton bertulang diperlihatkan seperti pada gambar 3.3.

pertama (retak kasar mata / retak yang dapat dilihat dengan mata),

Pola retakan beton yang terjadi dan beban maksimum saat terjadinya kegagalan kapasitas daya dukung dari balok uji.

Adapun kuat lentur didapat dari hasil pengujian lentur (flexural text) dengan satu titik pembebanan, pengujian terhadap lentur dilakukan dengan menggunakan benda uji balok dan setelah pembebanan terjadi maka balok akan terjadi seperti pada gambar dibawah ini.



Pengukuran Lebar Retak

Pengukuran lebar retak dilakukan dengan menggunakan alat *Microscope Crack*, dan panjang retaknya diukur dengan pendekatan benang. Retak yang diamati berada dalam 12 segmen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja

Pengujian kuat tarik tulangan baja, dengan menggunakan alat "*Tensile Machine Test*" dilakukan di Laboratorium Struktur Politeknik Negeri Ujung Pandang. Dari pengujian yang dilakukan terhadap tulangan Ø12 didapat hasil pengujian kuat tarik tulangan.

Hasil Pengujian Material Campuran Beton

Hasil pengujian Karakteristik dari campuran beton disajikan dalam bentuk tabel. Uji bahan hanya dilakukan pada agregat halus dan agregat kasar. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan kadar yang terkandung dalam agregat halus maupun agregat kasar.

Karakteristik agregat halus dan agregat kasar ini digunakan untuk mendesain komposisi campuran yang akan digunakan untuk pengujian selanjutnya, desain campuran beton dengan menggunakan metode ACI 211.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda uji yang akan diuji dikeluarkan dari bak perendaman 24 jam sebelum pengujian, setelah direndam selama umur beton dalam penelitian ini adalah 28 hari, diuji sebanyak 2 buah benda uji. Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan menggunakan mesin kompres.

Dari pengamatan terhadap pengujian tekan diatas dapat terlihat bahwa kuat tekan yang didapat yakni dari lima buah benda uji yang dilakukan didapat nilai rata-rata 41.104 Mpa. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh komposisi kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat, kuat tekan beton lebih besar bila dibandingkan dengan kuat tarik beton, karena itu sifat beton terhadap kuat tekan inilah yang paling diandalkan pada beton sebagai bahan struktur.

Hasil Pengujian Balok Beton Bertulang

Pengujian material penyusun balok beton bertulang yang telah mengalami pembebanan dapat dimodelkan dengan cara tertentu. Silinder beton dibuat retak dengan cara diberi beban tegak lurus terhadap ketinggian silinder dan pembebanan dihentikan setelah retak muncul, selanjutnya silinder diuji searah dengan ketinggiannya. Baja tulangan ditarik sampai kondisi baja mulai meleleh (dapat dilihat dari grafik saat pengujian) kemudian dihentikan pembebanannya. Secara teoritis bila kekuatan material pembentuk balok beton

tidak terjadi penurunan maka kekuatan balok beton seharusnya juga tidak akan mengalami penurunan bila diuji kembali. Namun hasil pengujian terhadap balok beton bertulang yang telah mengalami beban puncak dan retak menunjukkan penurunan kekuatan. Seperti kita ketahui balok sebagai elemen struktur yang dijumpai dalam aplikasi dilapangan merupakan elemen yang cukup besar peranannya dalam memikul beban terutama dalam memikul beban lentur.

Perhitungan Momen Retak Pada Balok

Balok dengan karakteristik :

- Tinggi balok (h) : 300 mm
- Lebar balok (b) : 200 mm
- Jarak pusat tulangan tarik ke ujung atas balok (d) : 275 mm
- Jarak pusat tulangan tekan ke ujung atas balok (d')
- Luas rata – rata beton (A) = 2. d.c. s : 3750 mm
- Jarak antara tulangan tarik (s) : 70 mm
- Koefisien (β) : 1.2
- Luas tampang tulangan (As) = $\frac{1}{4} \pi \Phi^2$: 339,12 mm²
- Rasio tulangan tarik (ρ) = $\frac{As}{bd}$: 0,00617
- Kuat tekan beton (f_c') : 41.10 Mpa
- Kuat leleh baja (f_y') : 279,699 Mpa
- Modulus elastisitas baja (Es) : 2,1x10²

Modulus elastisitas beton (Ec)

$$= 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{41.10 \times 0.83}$$

$$= 27452.32 \text{ N/mm}^2$$

Rasio modular / angka ekuivalen

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{27452.32} = 7,650$$

Pusat transformasi tapan

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{(b \cdot h \cdot \frac{h}{2}) + (n - 1) A_s d}{(b \cdot h) + (n - 1) A_s} \\ &= \frac{(200 \times 300 \times \frac{300}{2}) + (7,650 - 1) \times 339,12 \times 275}{(200 \times 300) + (7,650 - 1) \times 339,12} \\ &= 154,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\bar{y}_{dasar} = h - \bar{y}$$

$$= 300 - 153,15$$

$$= 146,85 \text{ mm}$$

Momen inersia

$$\begin{aligned} I &= \left(\frac{1}{12} b \cdot h^3 \right) + \left(b \cdot h \left(\bar{y} - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + \\ &\quad \left((n - 1) A_s (d - \bar{y})^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{12} 200 \times 300^3 \right) + \left(200 \times 300 \left(154,53 - \frac{300}{2} \right)^2 \right) + \left((7,754 - 1) 339,12 (275 - 154,53)^2 \right) \\ &= 483855262,2 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Retak akan terjadi saat modulus pecah beton dicapai pada dasar serat modulus pecah beton :

$$\begin{aligned} f_r &= K \sqrt{f_c'} \\ &= 0,62 \sqrt{41.10 \times 0.83} \\ &= 3,621 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{retak} &= \left(\frac{f_r I}{y_{dasar}} \right) \\ &= \left(\frac{3,621 \times 483855262,2}{145,47} \right) \\ &= 12.043.994,67 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Lebar Retak Dengan Pendekatan Rumus

- Tegangan baja (f_s)

$$f_s = \frac{\text{gaya tarik}}{\text{luas}}$$

$$= \frac{621.053}{\frac{1}{4} \times \pi \times 11.430^2}$$

$$= \frac{621.053}{\frac{1}{4} \times 3.14 \times 11.430^2}$$

$$= \frac{621.053}{102.556}$$

$$= 6.05574515 \text{ N}$$

- Luas rata-rata beton (A)

$$A = 2 \times d_c \times s$$

$$= 2 \times 25 \times 75$$

$$= 3750 \text{ mm}$$

- Lebar retak dengan pendekatan rumus empiric

$$W_c = 0.000076 \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

$$= 0.000076 \times 1.2 \times 6.05574515 \times \sqrt[3]{25 \times 3750}$$

$$= 0.000552284 \times \sqrt[3]{25 \times 3750}$$

$$= 0.025089166 \text{ mm}$$

Jadi dari hasil perhitungan lebar retak balok dengan pendekatan rumus yang ada didapat hasil 0.025089166 mm.

Untuk mengetahui perbandingan antara hasil kuat tekan beton dan lebar retak yang terjadi pada pengujian maka dengan ini dapat dilihat pada perhitungan dan tabel dibawah ini sebagai berikut :

$$f_r = \frac{m \cdot y}{I}$$

$$y = \frac{1}{2} h$$

$$= \frac{1}{2} \times 30$$

$$= 15$$

$$f_r = \frac{12043994.67 \times 15}{483855262.2}$$

$$= 0.3733 \text{ Nmm}$$

Untuk kuat tekan lentur (f_r)

$$\sqrt{f_r}$$

$$= \sqrt{0.3733}$$

$$= 0.610 \text{ Nmm}$$

Untuk lebar retak (W)

$$W = X \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$0.025089166 = X \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$X = \frac{0.025089166}{\sqrt{41.10}}$$

$$X = \frac{0.025089166}{6.410}$$

$$= 0.00391407 \text{ mm}$$

Tabel 2. Hubungan antara kuat tekan dan lebar retak :

No	Kuat tekan lentur (f_r) (Nmm)	Lebar Retak (W) (mm)
1	0.610	0.025089166

Pada pengukuran lebar retak pada balok benda uji tersebut dapat dijelaskan bahwa pengukuran dilakukan dengan cara menggunakan mistar sigma dan sepotong kayu kecil sebagai pengukur pada lubang retak yang ada pada balok tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bagian terdahulu, maka dapat diambil beberapa kesimpulan mengenai fenomena terjadinya keretakan pada elemen struktur balok beton bertulang yakni :

1. Pola retak yang terjadi akibat pembebanan lentur yaitu pola retak yang membelah balok beton serta adanya retak halus yang menyebar ke arah samping balok dan cenderung mengikuti pola retak geser lentur.
2. Perbandingan antara lebar dan panjang retak dapat dinyatakan dengan persamaan berpangkat (power equation's).
3. Semakin panjang retak yang terjadi lebar retak semakin kecil. Hal ini disebabkan karena proses pengukuran retak yang bersifat non struktur cenderung dipengaruhi oleh kekuatan balok pada daerah permukaan saja, sedangkan untuk panjang retak yang pendek dengan lebar retak yang besar cenderung bersifat struktur

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini pula penulis menyampaikan terima kasih banyak kepada:

1. Prof. Dr. Basri Modding, SE.,MS. Direktur Program Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia.
2. Dr. Ir. H. Iskandar BP, M.Sc selaku ketua pembimbing dan Dr. Ir. H. Hanafi Ashad. MT. selaku anggota pembimbing, atas bimbingannya dalam penyusunan artikel penelitian ini.
3. Pihak-pihak lain yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu dalam kesempatan ini.

CATATAN AKHIR

Untuk mengatasi fenomena retak pada elemen struktur beton bertulang dapat disarankan bahwa penggunaan mutu beton yang tinggi bisa mengurangi retak dan lebar retak yang terjadi pada balok beton bertulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Tata Cara Perancangan Struktur Beton Untuk Gedung, SNI 03-2847-2002.

- Fitrah Nur (2010); “ Kajian Eksperimental Pola Retak Pada Portal Beton Bertulang Akibat Beban Quasi Cyclic”, Jurnal Rekayas Sipil, Volume 6 No. 1, Pebruari 2010, ISSN : 1858-2133
- Ferdinand L. Singer, Andrew Pytel, Ir Darwin Sebayang, “ Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strength Of Materials) Edisi Ketiga “Erlangga Jakarta 1995.
- Fadil Arsyad, 2004. Kontribusi penambahan fiber/serat bambu terhadap sifat-sifat mekanik beton, laporan hasil penelitian pada mata kuliah Study Individual, tidak diterbitkan, makassar, Program Studi Teknik Sipil Sub. Program Struktur 2004.
- Istimawan Dipohusodo, 1994 “Struktur Beton Bertulang” Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta : Gramedia.
- J. Thambah Sembiring Gurki, “Beton Bertulang”, Rekayasa Bandung
- K.V. Venkatesha, K. Balaji Rao, S.V. Dinesh, B.H. Bharkumar, M.B. Anoop, Balasubramanian, and S.R., Nagesh R. Iyer (2012); “Eksperimental Investigation of Reinforced Concrete Beams With and Without CFRP Wrapping”. Slovak Journal of Civil Engineering, Vol. XX 2012, No. 3, page 15-26.
- Kurniawandy Alex, 2000 “ Kajian Eksperimental Perilaku Mekanisme Beton Berserat Baja Harex, Tesis Magister ITB Bidang Rekayasa Struktur, Tidak Dipublikasikan.
- Kardiyono Tjokrodimulyo, “Teknologi Beton” Universitas Gajah Mada, Yogyakarta 1995.
- L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, “Struktur Beton Bertulang” standar baru SNI T-15-1991-03, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 1999.
- Murdock, L.J, KM. Brook, Hendarko Stevanus 1999 “Bahan dan Praktek Beton” Edisi Ke empat.
- Naveen Hooda, Jyoti Narwal, Bhupinder Singh, Vivek Verma, and Parveen singh (2013), An eksperimental Investigation on structural Behaviour of Beam Column Joint, International Journal of Innovative Technology and Eksploring Engineering (IJITEE), Volume 3, Issue 3, August 2013, ISSN 2278-3075.
- Nuroji, Mohamad Sahari Besari, dan Iswandi Imran (2010), Pemodelan Retak Pada Struktur Beton Bertulang, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 17 No. 2, Agustus 2010, Institut Teknologi bandung, ISSN 0853-2982.
- Nawy. E,G, 1998, Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar) Terjemahan oleh Bambang Suyatmono. Cetakan ke Dua.
- Park and Paulay (1975), Reinforced Concrete Structures, A Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, London, Sidney, Toronto.
- Paulay & Priestly (1992), Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, a Wiley Interscience Publication, John Wiley & sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- SNI 03-2847-2002 : Tata Cara perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- Suhendro Bambang, 2000 “ Teori Model Struktur dan Teknik Eksperimental “ Ed.1 Yogyakarta : Beta Offset. Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Sudarmoko, “ Sifat – sifat Beton Segar Dan Keras” Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, September 2001.
- Wira Kusuma dan Besman surbakti (2009), “Penelitian Balok Beton Bertulang Dengan dan Tanpa Pemakaian sika fibre”, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.