

PERILAKU RETAK BETON BERTULANG AKIBAT PEMBUATAN LUBANG DI BADAN

THE BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE CRACKING DUE TO HOLE DRILLING ON ITS BODY

Muhammad Ujjianto ¹⁾

¹⁾ Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani No 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102
e-mail: uji_mad@yahoo.com

ABSTRACT

Based on service capacity of reinforced concrete and the possibility of corrosion process that lead to reinforcement deformation, cracking in reinforced concrete should be limited and only haired-cracking is allowed. This study objective is to know the crack pattern and the type of fall due to hole-drilling and up-down loading. This study used 5 samples of T-beams with 175 mm x 325 mm dimension and 2000 mm length, 60 mm thickness, and effective width 945 mm. The test was conducted by giving non-reversal cyclic load with 100000 cycle that used $P_{max} = 16$ kN and $P_{min} = 4.6$ kN, and followed by static loading using axial load on the center of span until the beam was fallen. The research result shows that the first crack was bending-crack happened at the area which had highest bending moment. The first crack happened in the tensile side of middle span at 24.78% of maximum load. The crack in the hole happened after the first crack in the center of span due to cyclic load as well as static load. Crack propagation or the highest rate of crack happened at test sample BL-01 when loaded by 16 kN load, and its crack length was 24.6 cm.

Keywords: concrete beam, crack pattern, crack propagation

PENDAHULUAN

Komponen struktur harus memenuhi kemampuan kelayakan pada tingkat beban kerja (layan), atau mampu menjamin terjadinya perilaku struktur yang cukup baik ketika beban bekerja. SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.1., memberikan ketentuan bahwa setiap struktur beserta komponennya harus mempunyai kekuatan untuk mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja dan dapat menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja. Kemampuan layan ditentukan oleh lendutan, retak, korosi tulangan, dan rusaknya permukaan beton. Berbagai pertimbangan yang diprioritaskan antara lain meliputi segi estetika, dampak pada elemen non struktur seperti dinding partisi, pintu, jendela, ataupun terjadinya getaran-getaran yang dikehendaki maupun yang tidak dikehendaki.

Retak-retak yang terjadi pada beton bertulang harus bisa dikendalikan dan dibatasi serta diberikan toleransi hanya sampai retak rambut (Dipohusodo, I., 1996). Dengan demikian pembahasan retak beton bertulang adalah bagaimana suatu komponen struktur yang telah retak masih dapat dianggap cukup baik secara estetika tanpa mengurangi keandalan dan kinerja struktur.

Struktur bangunan dengan balok berlubang di badan harus mampu menahan beban termasuk beban fatigue yang disebabkan oleh getaran mesin. Pada bangunan industri, balok-balok mendukung beban lantai yang menerima tekanan hidraulik dari pompa maupun mesin yang menyebabkan struktur menerima getaran dengan amplitudo yang tinggi serta kemungkinan adanya resonansi. Balok-balok tersebut juga banyak digunakan pada bangunan industri ringan, seperti industri chip komputer, yang sangat sensitif terhadap eksistensi getaran.

Pada umumnya retak-retak dimulai pada daerah kritis dimana bekerja momen lentur maksimum dan dimensi terlemah. Beban retak awal statik balok ini dapat dikontrol dengan perhitungan taraf praretak. Segmen praretak dari kurva beban-lendutan pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Daerah praretak berhenti pada saat dimulainya retak awal, dimana tegangan beton mencapai kekuatan modulus *rupture* (Nawy, 1985).

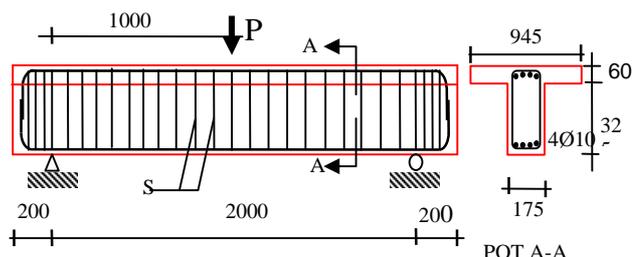
Penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh berbagai macam bentuk lubang (persegi panjang, lingkaran, *diamond* dan ellip) dan lokasi lubang pada balok beton bertulang yang memiliki penampang segi empat dan dibebani oleh beban siklik (Pool dan Lopes, 1986). Sementara penelitian terhadap balok beton bertulang berlubang

yang menggunakan tampang T akibat beban siklik yang mensimulasikan beban mesin belum diteliti.

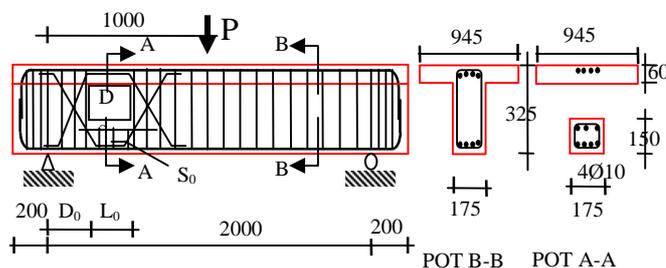
Kenyataan bahwa retak sangat penting untuk diperhatikan disertai kontrol yang cermat untuk dapat memberikan jaminan bahwa struktur mampu dan layak mendukung beban kerja dan memberikan kenyamanan bagi pengguna struktur bangunan beton bertulang. Apalagi ada perlakuan tambahan (lubang) pada beton bertulang yang menembus badan balok yang tentunya memberikan konsekuensi perlemahan akibat pengurangan luas tampang balok. Untuk menutup kelemahan ini maka dipasang tulangan tambahan disekitar lubang.

Pada penelitian ini dibuat lima buah benda uji berupa balok tampang T dengan skala geometri 1:2 dan skala bahan 1:1 bertujuan untuk mempelajari pola retak dan jenis keruntuhan akibat pengaruh ukuran dan lokasi lubang balok beton bertulang akibat pembuatan lubang pada badan balok yang mensimulasikan beban mesin (beban siklik).

silinder pada umur 28 hari adalah 22,64 Mpa dengan modulus elastis 22363,2833 Mpa. Secara keseluruhan baja tulangan bersifat daktail dan tulangan $\varnothing 6$ memiliki diameter terukur rata-rata 5,5 mm dengan kuat leleh 314,03 Mpa. Sementara tulangan $\varnothing 10$ memiliki diameter terukur rata-rata 9,72 mm dengan kuat leleh 410,4 Mpa.



Gambar 1. Detail penulangan benda uji BTL



Gambar 2. Detail penulangan benda uji BL

METODE PENELITIAN

Benda Uji

Benda uji berupa balok T berukuran 325 mm x 175 mm panjang bentang 2000 mm dengan tulangan longitudinal $4\varnothing 9,72$ untuk bagian atas dan $4\varnothing 9,72$ untuk bagian bawah. Ukuran dan detail penulangan benda uji dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1 dan gambar 2

Tabel 1. Detail benda uji

Nama benda uji	L _o (mm)	D _o (mm)	D _b (mm)	S (mm)	s _o (mm)	Pembebanan		Dia. bar
						beban	Jumlah	
BTL	-	-	-	$\varnothing 5,5-120$	-	siklik	100000	-
BL-01	100	100	150	$\varnothing 5,5-120$	$\varnothing 5,5-40$	siklik	100000	3 $\varnothing 9,72$
BL-02	200	100	150	$\varnothing 5,5-120$	$\varnothing 5,5-40$	siklik	100000	3 $\varnothing 9,72$
BL-03	100	100	400	$\varnothing 5,5-120$	$\varnothing 5,5-40$	siklik	100000	3 $\varnothing 9,72$
BL-04	200	100	400	$\varnothing 5,5-120$	$\varnothing 5,5-40$	siklik	100000	3 $\varnothing 9,72$

Benda uji dibuat menggunakan beton *ready mix* yang diproduksi oleh PT. Jaya Alam Sarana Beton Yogyakarta dengan

perbandingan bahan semen, agregat halus, dan agregat kasar adalah 1:1,45:2,44 dengan ukuran agregat maksimum 10 mm. Kuat tekan benda uji

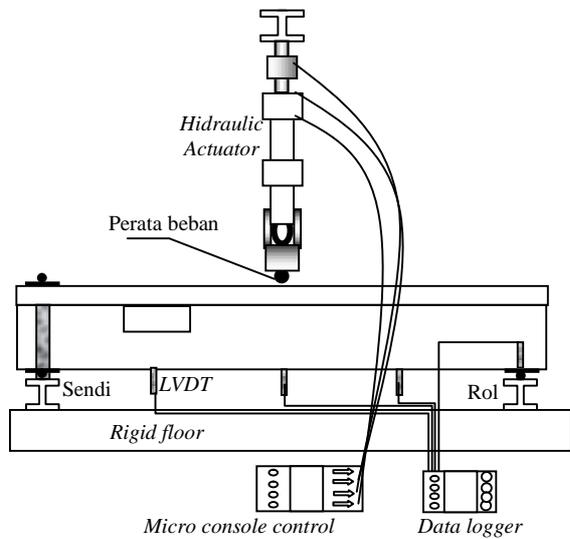
Setting Up dan Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan Ilmu Teknik Pusat Studi Ilmu Teknik (MM-IT-PSIT) UGM Yogyakarta. Pengambilan data yang dilakukan pada benda uji balok berupa pengukuran beban statik dan siklik, lebar retak dan panjang retak. *Setting Up* pengujian dan peralatan yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada gambar 3.

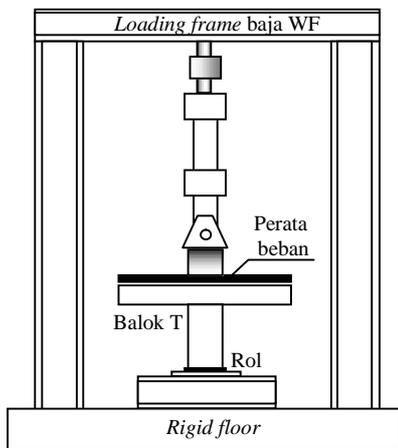
Pembebanan yang diberikan pada benda uji berupa beban siklik dengan jumlah siklus 0, 25000, 50000, 75000, 100000. Setelah siklus mencapai 100000 benda uji balok diberikan beban statik sampai runtuh dilakukan dua tahap, tahap pertama adalah *load controlled* dilakukan sampai terjadi first crack yang ditandai dengan tidak liniernya (terjadi kemiringan) kurva beban-lendutan. Tahap kedua dilakukan *displacement controlled* setelah terjadi kemiringan pada kurva beban-lendutan dengan kelipatan 1 mm sampai balok runtuh.

Pembebanan siklik tipe sinusoidal dilakukan dengan menggunakan alat *Closed Loop Dynamic Testing System* atau *Multi Purpose Testing System* (MTS). Metode yang digunakan adalah *load*

controlled, yakni dengan cara benda uji balok beton diberi beban maksimum-minimum tertentu serta jumlah siklus tertentu.

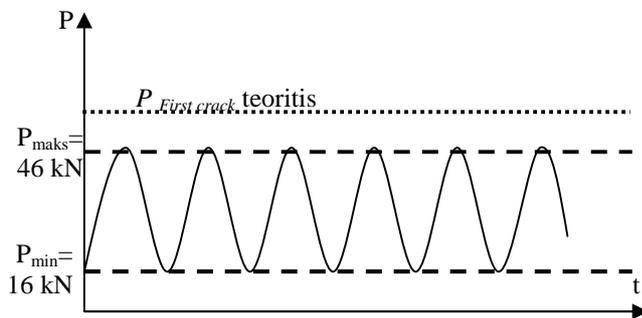


TAMPAK SAMPIING



TAMPAK DEPAN

Gambar 3. *Setting Up* pengujian laboratorium



Gambar 4. Diagram pembebanan siklik

Dan oleh keterbatasan kemampuan alat, serta modifikasi sistem pengujian yang cukup rumit, maka pengujian ini hanya dilakukan pada 100000 siklus dengan frekuensi 5 Hz dan beban minimum diambil dengan memperhitungkan pembebanan yang setara dengan berat sendiri balok sebesar 4,6 kN serta baban maksimum 16 kN diambil dari 50% beban yang menyebabkan first crack (analitis). Dalam bentuk grafik, pembebanan siklik dapat dilihat pada gambar 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Retak

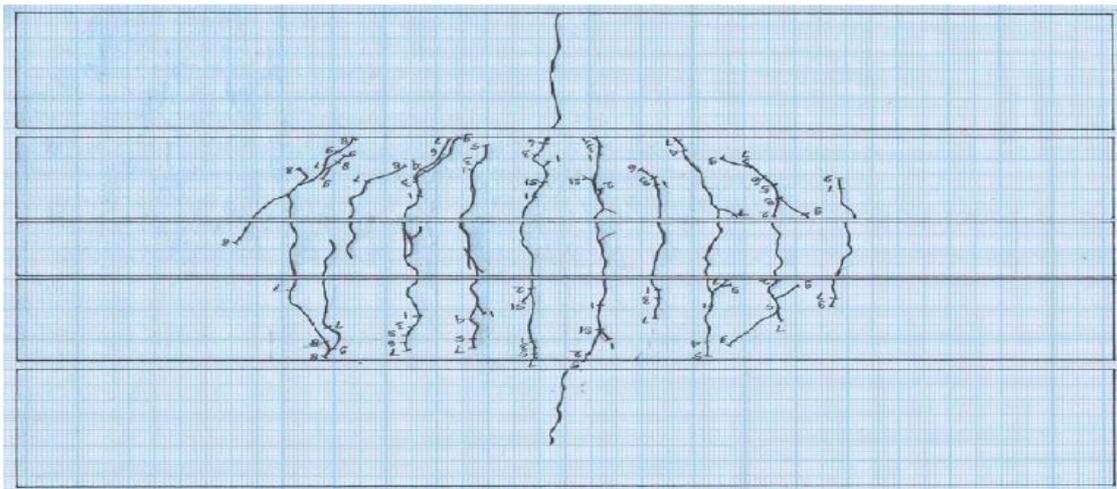
Retak yang terjadi merupakan retak lentur dan retak geser diagonal yang terjadi pada kedua sisi balok di mana arah beban aksial bekerja. Penambahan retak untuk setiap peningkatan beban tidak selalu merupakan kelanjutan dari retak sebelumnya. Peningkatan beban dapat menimbulkan retak baru di tempat lain, tetapi ada juga yang memperlebar atau memperpanjang retak sebelumnya. Retak baru timbul pada awal-awal beban retak, setelah beban ditingkatkan lagi mendekati beban maksimum, retak yang terjadi merupakan perpanjangan dan pelebaran dari retak sebelumnya. Secara umum dapat dilihat bahwa peningkatan panjang retak semakin berkurang dengan bertambahnya beban yang diberikan. Hal ini juga dapat dilihat untuk retak lentur, retak lentur pertama ditandai oleh panjang retak yang cukup besar. Pada beban yang semakin besar perpanjangan retak semakin mengecil. Retak miring yang pada awalnya merupakan kelanjutan retak lentur menunjukkan kecenderungan semakin berarah horisontal. Hal ini dapat dilihat pada arah ujung retak yang mendekati daerah tekan balok.

1a) Retak lentur awal. Retak pertama pada benda uji balok merupakan retak lentur, yang terjadi pada kedua sisi balok di mana arah beban aksial bekerja. Peningkatan beban yang bekerja pada balok dapat menimbulkan retak-retak baru atau dapat memperpanjang dan memperlebar retak yang sudah terjadi sebelumnya. Retak ini ditandai oleh arah retak yang tegak lurus sumbu balok.

Benda uji BTL terjadi retak lentur di dua tempat dalam waktu yang hampir bersamaan. Retak lentur ini akibat beban siklik bekerja pada siklus ke 83500 dan sampai proses pembebanan siklik selesai yaitu siklus 100000 tidak ada pertambahan panjang dan lebar retak. Retak lentur ini ditemukan pada daerah tengah bentang (*midspan*). Sementara retak pertama (*first crack*) yang ditandai dengan tidak liniernya kurva beban dengan lendutan akibat beban statik saat beban aksial 25,57 kN. Pada saat beban

aksial 25,57 kN tidak terjadi retak baru dan penambahan panjang retak tetapi ada penambahan lebar retak pada retak sebelumnya akibat beban

siklik. Tahap *displacement controlled* dimulai dengan beban aksial 25,57 kN.



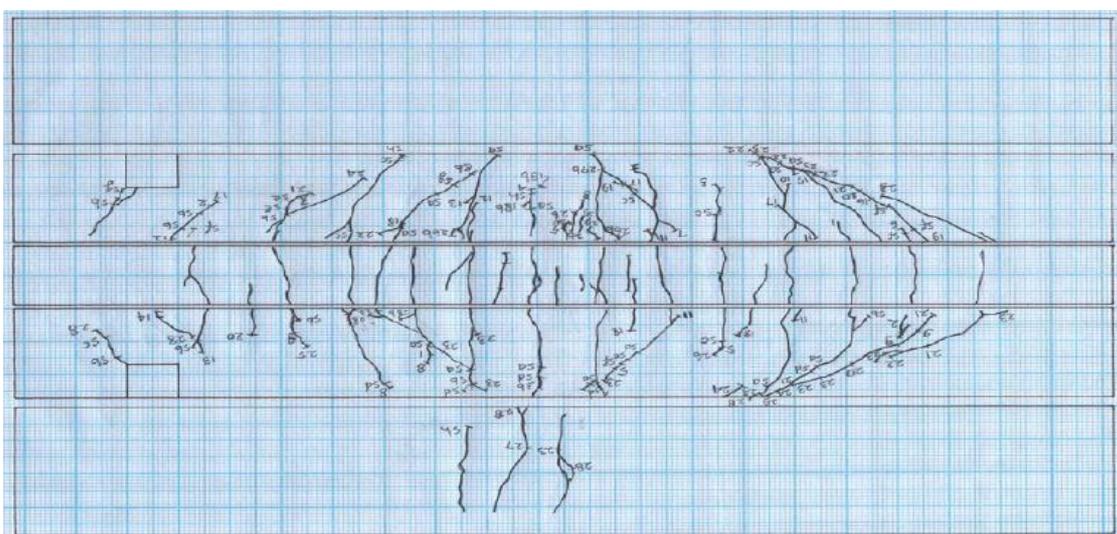
Gambar 5. Pola retak benda uji BTL

Benda uji BL-01 terjadi retak lentur akibat beban siklik pada siklus ke 83300, ada 4 buah retak antara tumpuan rol sampai dengan tengah bentang dan 3 buah retak antara tengah bentang sampai dengan tumpuan sendi. Pada siklus 84000 dan 85000 terjadi penambahan panjang retak dan ada retak baru.

lendutan akibat beban statik saat beban aksial 21,53 kN. Retak lentur akibat beban statik sebesar 21,53 kN ini merupakan penambahan panjang dari retak lentur akibat beban siklik.

Sementara retak pertama (*first crack*) yang ditandai dengan tidak liniernya kurva beban dengan

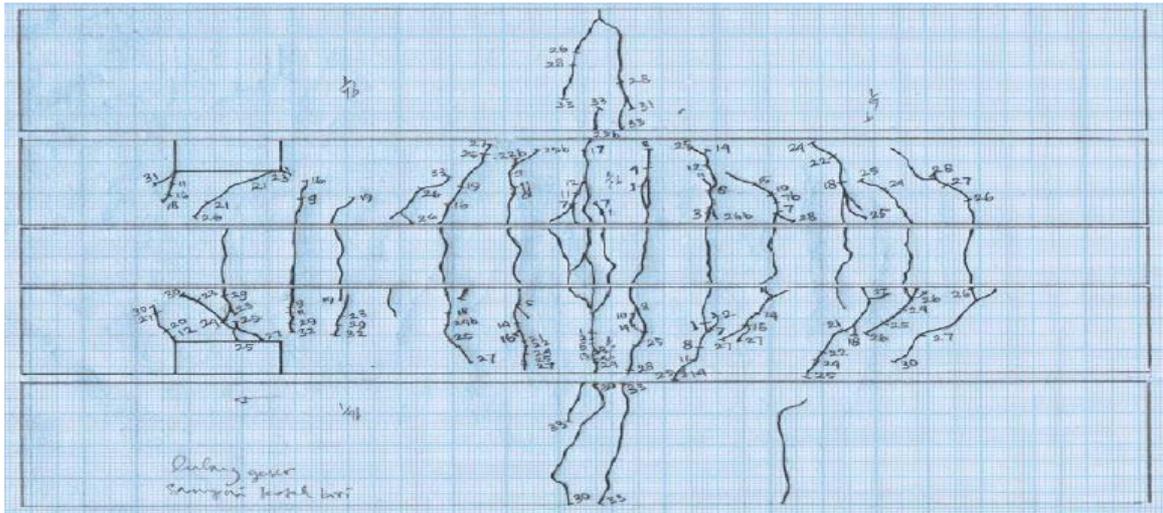
Retak yang pertama terjadi pada daerah lubang adalah retak lentur akibat pembebanan siklik dimulai pada siklus 84000. Pertambahan panjang retak didaerah lubang terjadi pada siklus 85000.



Gambar 6. Pola retak benda uji BL-01

Benda uji BL-02 tidak terjadi retak pada pembebanan siklik sampai siklus 100000. Retak pertama (*first crack*) akibat beban statik adalah retak lentur terjadi pada beban aksial 21,93 kN.

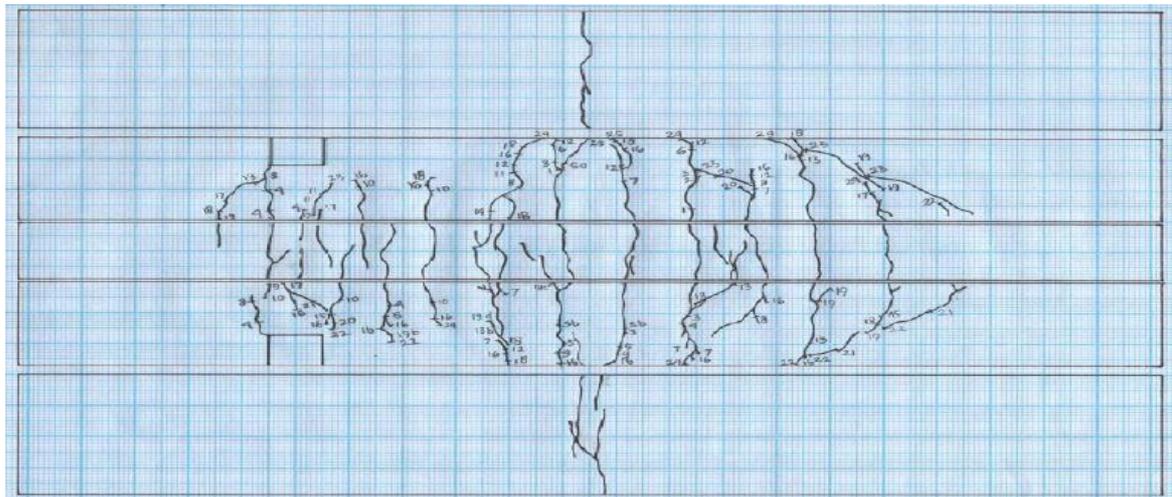
Retak yang terjadi pertama pada daerah lubang adalah retak lentur akibat beban statik sebesar 30,07 kN. Gambar pola retak benda uji BL-02 dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pola retak benda uji BL-02

Benda uji BL-03 terjadi retak lentur satu buah akibat beban siklik pada siklus ke 85500 dan sampai beban siklik selesai yaitu siklus 100000 tidak ada penambahan panjang retak. Sementara retak pertama (*first crack*) yang ditandai dengan

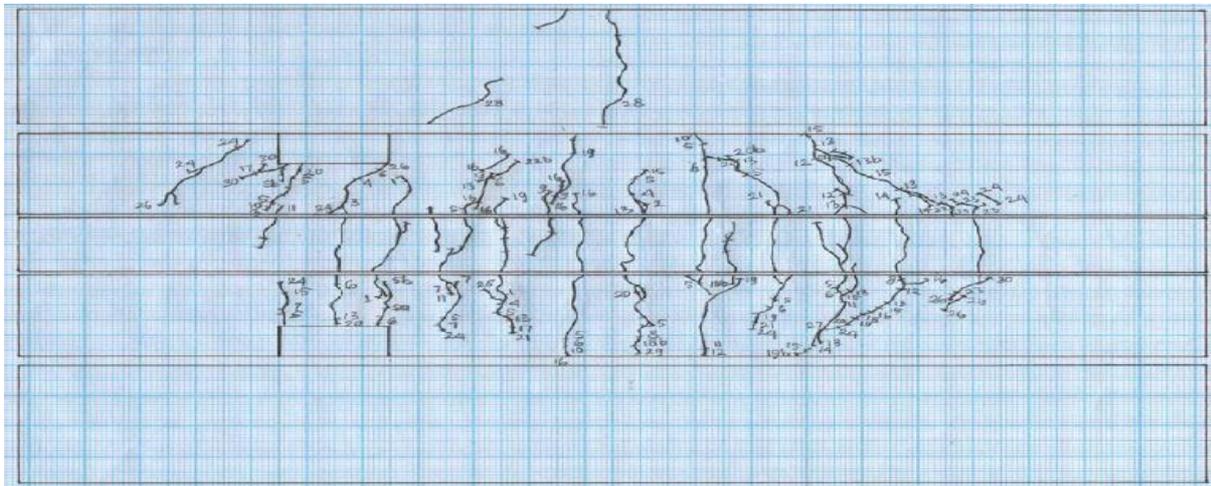
tidak liniernya kurva beban dengan lendutan akibat beban statik saat beban aksial 21,65 kN merupakan retak baru. Retak pada daerah lubang diawali retak lentur akibat beban statik sebesar 27,50 kN.



Gambar 8. Pola retak benda uji BL-3

Benda uji BL-04 terjadi retak lentur di daerah lubang akibat beban siklik pada siklus ke 86000 dibawah lubang menjalar kebagian bawah balok. Retak ini dimulai 1,5 cm dibawah lubang dengan panjang 4 cm pada saat siklus ke 93000

ada penambahan panjang retak sebesar 8,5 cm. Retak pertama (*first crack*) yang ditandai dengan tidak liniernya kurva beban dengan lendutan akibat beban statik saat beban aksial 15,95 kN.



Gambar 9. Pola retak benda uji BL-04

1b) Penyebaran pola retak. Dari pengamatan pola retak yang terjadi pada benda uji, retak dimulai dibawah balok dekat dengan beban aksial. Bersamaan dengan meningkatnya beban aksial yang diberikan, retak bertambah panjang dan lebar serta terjadi retak-retak baru disepanjang sisi badan balok menyebar ke arah tumpuan sendi rol. Retak ini berupa retak lentur karena arah retak tegak lurus sumbu balok. Setelah beban ditingkatkan sampai sekitar 70% dari beban maksimum, arah retak yang terjadi cenderung membentuk sudut 45° atau lebih terhadap sumbu balok. Retak seperti ini disebut retak miring atau retak geser, Arah retak dimulai dari tumpuan sendi maupun tumpuan rol bergerak miring ke atas badan balok berakhir mendekati beban yang bekerja. Besarnya retak miring pertama setiap benda uji dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Beban retak geser benda uji balok

No	Benda uji	Beban	
		Jenis	Besar (kN)
1	BTL	Statik	35,33
2	BL-01	Statik	25,70
3	BL-02	Statik	37,67
4	BL-03	Statik	42,65
5	BL-04	Statik	42,59

1c) Keruntuhan balok. Balok runtuh dalam pola lentur, yang ditandai dengan membesarnya retak lentur pada bagian tarik balok di bawah daerah beban kerja. Balok runtuh lentur setelah mengalami deformasi yang cukup besar yaitu dengan lendutan lebih dari 40 mm. Lebar retak lentur terakhir yang teramati adalah lebih dari 3 mm.

Pembebanan siklik sinusoidal menyebabkan terjadinya retak awal pada balok. Secara umum kerusakan yang dapat dilihat dari pola retak adalah akibat beban lentur dan kerusakan sebagian besar terjadi pada daerah tengah bentang. Kerusakan akibat beban geser ditandai dengan adanya retak diagonal terjadi pada pembebanan yang lebih besar dan umumnya terjadi didekat tumpuan. Dengan adanya pendetailan tulangan pada daerah lubang menyebabkan tidak terjadi retak awal pada daerah lubang akibat beban kerja.

Dari hasil pengamatan terhadap pola retak yang terjadi pada benda uji balok menunjukkan bahwa tulangan pokok dan tulangan sengkang vertikal dibawah lubang cukup dalam mendukung beban kerja. Hal ini dapat diketahui dari beban yang menimbulkan retak lentur dan retak geser pada daerah lubang yang besarnya relatif lebih besar dari balok tanpa lubang sebesar 37,13 kN untuk retak geser.

Adanya retak yang dimulai dari ujung lubang pada balok berlubang kecuali benda uji BL-04 menunjukkan bahwa terjadi konsentrasi tegangan akibat pembebanan. Retak ini juga menunjukkan bahwa tulangan diagonal yang dipasang belum mencukupi untuk menahan retak akibat konsentrasi tegangan.

Kejadian retak yang ditunjukkan oleh gambar-gambar pada daerah lubang, menunjukkan bahwa tulangan diagonal yang dipasang belum mampu menahan kerusakan. Sedangkan tulangan pokok dan tulangan sengkang mampu menahan kerusakan.

Hubungan beban-retak

Beban retak awal akibat beban siklik benda uji BTL terjadi pada siklus ke 83500, sedangkan beban retak awal akibat beban statik sebesar 25,57 kN terjadi pada kondisi balok mengalami tekan. Pola retakan yang terjadi pada *first crack* untuk benda uji BTL berupa retak lentur dengan arah tegak lurus sumbu utama balok pada permukaan bagian bawah balok. Kapasitas beban hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 Beberapa faktor keterbatasan alat dan set up pengujian mempengaruhi beban yang dapat diterima benda uji balok.

Tabel 3. Kapasitas beban hasil pengujian

Benda uji	Beban retak pertama (kN)	Beban maksimum (kN)
BTL	25,57	70,81
BL-01	21,23	88,01
BL-02	21,93	80,52
BL-03	21,65	84,00
BL-04	15,95	72,50

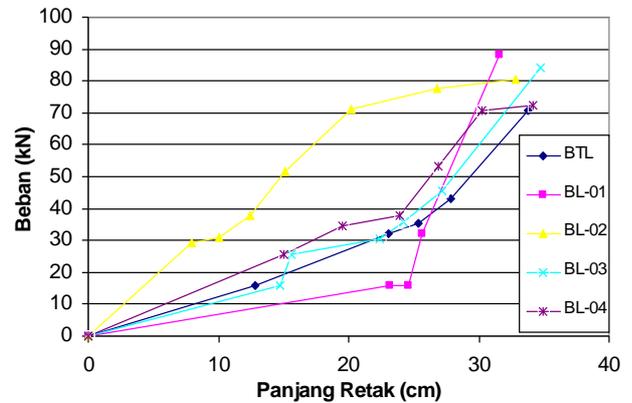
Penurunan beban retak awal akibat beban yang bekerja untuk masing-masing benda uji BL-01, BL-02, BL-03, BL-04, berturut-turut adalah sebesar 16,97%, 14,23%, 15,33%, 37,62%. Fenomena lain yang dapat dilihat dari hasil pengujian adalah kecenderungan beban maksimum yang menurun sejalan dengan besarnya lubang. Kemungkinan penurunan ini disebabkan berkurangnya luasan penampang balok, juga riwayat beban siklik sinusoidal yang diberikan.

Propagasi Retak

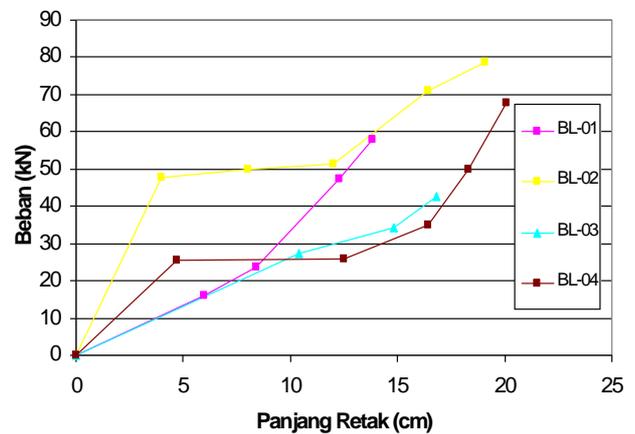
Kecepatan dan panjang retak pada balok dipengaruhi oleh banyak variabel. Propagasi retak dapat digunakan untuk mengindikasikan kecepatan perambatan retak. Semakin landai kurva hubungan panjang retak dengan beban pada balok maka dapat dikatakan balok mempunyai kecepatan retak yang tinggi. Demikian juga sebaliknya jika kurva hubungan panjang retak dan beban semakin tegak maka balok dapat dikatakan semakin lambat kecepatan retaknya

Gambar 10 secara keseluruhan dapat dilihat bahwa benda uji tanpa lubang kecepatan retak lebih tinggi dibandingkan benda uji dengan lubang. Pada beban 16 kN kecepatan propagasi retak benda uji dari kecepatan tinggi berturut-turut adalah BL-01, BL-03, BTL, BL-04, BL-02. Pada beban 32 kN kecepatan propagasi retak benda uji dari kecepatan tinggi berturut-turut adalah BL-01, BTL, BL-04, BL-02. Pada beban 70 kN kecepatan propagasi retak

benda uji dari kecepatan tinggi berturut-turut adalah BTL, BL-03, BL-04, BL-01, BL-02.



Gambar 10. Grafik propagasi retak balok



Gambar 11. Grafik propagasi retak balok pada daerah lubang

Gambar 11 menunjukkan bahwa lubang balok ukuran 100 x 100 mm lebih cepat dibandingkan lubang balok ukuran 200 x 100 mm pada jarak yang sama diukur dari tumpuan. Jadi semakin besar ukuran lubang maka daerah lubang semakin lambat kecepatan retaknya.

Pada beban 16 kN kecepatan propagasi retak benda uji dari kecepatan tinggi berturut-turut adalah BL-01, BL-03, BL-04, BL-02. Pada beban 26 kN kecepatan propagasi retak benda uji dari kecepatan tinggi berturut-turut adalah BL-04, BL-03, BL-01, BL-02. Pada beban 52 kN kecepatan propagasi retak benda uji dari kecepatan tinggi berturut-turut adalah BL-04, BL-03, BL-01, BL-02.

Pendetailan tulangan sangat berpengaruh pada laju propagasi retak pada balok. Tulangan semakin rapat serta jarak dari titik pembebanan semakin jauh maka balok mempunyai kecepatan retak yang tinggi. Karena tulangan akan memberikan sokongan

kekuatan yang lebih besar pada sistem balok secara keseluruhan terhadap beban yang diberikan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses retak selalu diawali dengan retak lentur yang terjadi pada daerah yang mengalami momen lentur terbesar.
2. Retak pertama terjadi di tengah bentang (mid span) balok pada sisi tarik, rata-rata saat beban mencapai 24,78% dari beban maksimum.
3. Retak di daerah lubang terjadi setelah retak di tengah bentang akibat beban siklik maupun beban statik saat first crack. Beban yang bekerja sebesar 37,13 kN.
4. Propagasi retak atau kecepatan perambatan retak paling tinggi terjadi pada benda uji BL-01, ketika beban 16 kN panjang retaknya 24,6 cm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya kepada staff dan Teknisi

Laboratorium Mekanika Bahan Ilmu Teknik Pusat Studi Ilmu Teknik (MM-IT-PSIT) UGM Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1991, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SK SNI T-15-1991-03, Departemen pekerjaan Umum, Bandung.
- Dipohusodo, I., 1996, *Struktur Beton Bertulang : Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Nawy, E. G., 1995, *Reinforced Concrete – A Fundamental Approach*, 3rd edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Pool, Richard B., Lopes, and Rogerio, *Cyclically Loaded Concrete Beams with Openings*, *ACI Journal*, V. 83, September – October 1986, pp. 757-763.