

BAB IV

ANALISA FREKUENSI HASIL PROGRAM AKUISISI

IV.1 UMUM

Tujuan utama dari pengujian laboratorium ini adalah untuk mendapatkan data percepatan dari struktur balok sederhana yang dijadikan benda uji. Data-data percobaan tersebut akan digunakan sebagai masukan untuk program pengolahan data yang telah tersedia sebelumnya. Dimana program ini akan didapatkan parameter-parameter berupa respons dari benda uji yaitu menjadi parameter frekuensi. Parameter frekuensi tersebut akan dibandingkan antara satu dengan yang lain untuk selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik-grafik. Berdasarkan sajian grafik-grafik tersebut akan dicari kondisi fiber dalam beton yang memberikan pengaruh positif paling optimum.

Sebelum dilakukan pengujian di laboratorium, benda uji balok diperiksa dengan program struktur SAP 2000 V.10. Adapun input untuk program tersebut antara lain : kuat tekan silinder (f_c'), Modulus Elastisitas, berat jenis (Kg/m^3), dan poisson ratio.

IV.2 PENGUJIAN MATERIAL

Untuk mengetahui besarnya karakteristik dari benda uji, maka dilakukan uji tekan dan uji modulus elastisitas, dimana pada pengujian ini digunakan sampel berbentuk silinder dengan ukuran 30 cm dan berdiameter 15 cm. Benda uji didesain dengan mutu beton K-300.

Berikut hasil uji material silinder :

Tabel IV.1. Kuat Tekan dan Berat Jenis Silinder Beton

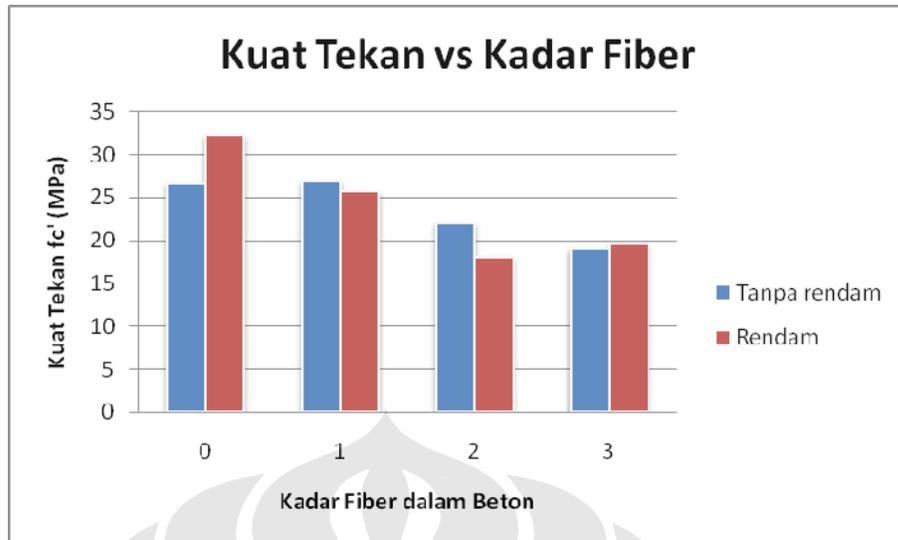
Tipe Kadar Beton	TR/R	Kuat Tekan (f_c') (MPa)	Berat Jenis (Kg/m^3)
0	TR	26.6405	2348.0593
1	TR	26.934	2343.30575
2	TR	22.037	2375.557
3	TR	19.078	2325.695
0	R	32.37749	2355.3578
1	R	25.7096	2392.3191
2	R	18.058	2423.72
3	R	19.588	2436.452

Tabel IV.2. Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

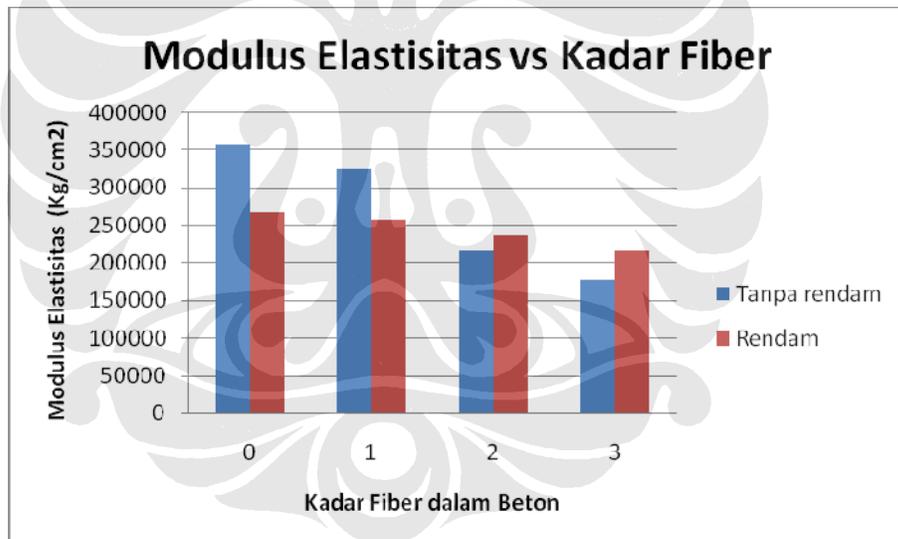
Tipe Kadar Beton	TR/R	Modulus Elastisitas (Kg/cm^2)	Poisson Ratio
0	TR	358517.8301	0.2331
1	TR	325733.8321	0.1395
2	TR	216075.1366	0.1797
3	TR	177041.515	0.199
0	R	266666.4783	0.1509
1	R	258189.8612	0.1951
2	R	236096.8102	0.1765
3	R	215787.0138	0.2288

Keterangan : R = Rendam

TR = Tanpa Rendam



Gambar IV.1. Kuat Tekan dan Berat Jenis Silinder Beton



Gambar IV.2. Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dan berat jenis beton silinder menunjukkan bahwa penambahan fiber dalam campuran beton tidak memberikan pengaruh yang berarti. Hasil uji modulus elastisitas juga menunjukkan demikian. Hal ini juga didukung oleh M.K. Lee, B.I.G. Barr dalam jurnalnya *“An overview of the fatigue behaviour of plain and fibre reinforced concrete”*.

Bahkan secara keseluruhan, fiber menurunkan kuat tekan f_c' dari beton itu sendiri. Hal ini tidak sesuai dengan yang diharapkan. Perbandingan kuat tekan antara beton fiber dengan perendaman dan tanpa perendaman juga disajikan dalam grafik di atas. Beton dengan perendaman diuji kuat tekan dalam keadaan jenuh dan diangkat dari kolam pada hari pengtesan. Hasil menunjukkan terjadi peningkatan berat jenis beton tersebut dikarenakan kandungan air dalam beton tersebut, dan adanya kandungan air tersebut menurunkan kuat tekan dari beton.

IV.3 PEMERIKSAAN STRUKTUR

Sebelum melakukan pembebanan tumbukan terbagi merata dengan beban 20 N, dilakukan pengujian frekuensi bebas alami balok dengan asumsi beban yang ada hanyalah berat sendiri balok. Balok dipukul dengan palu elektrik di tengah bentang yang mewakili kondisi simetrik dan di seperempat bentang yang mewakili kondisi asimetrik.

Berdasarkan hasil tersebut, dibandingkan dengan hasil perhitungan SAP2000 :

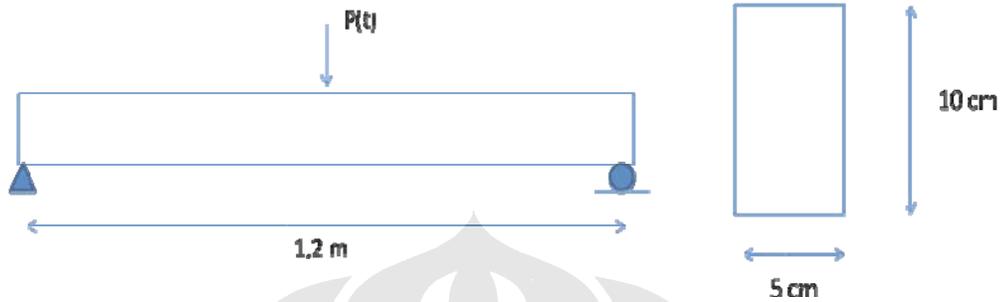
Tabel IV.3. Perhitungan Vibrasi Bebas dengan SAP2000 V.10

Kadar	TR/R	Letak Beban		Frek. Awal (Hz)	Interval 10 s/d 50 Hz		Interval 50 s/d 100 Hz (Kondisi Puncak)		Hasil SAP2000		Faktor Korensi
		1/2 L	1/4 L		Frek. Awal (Hz)	Periode (ms)	Frek. Awal (Hz)	Periode (ms)	Periode (ms)	Periode (s)	
0	TR	√		9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286	8.195	0.008195	78.50640635
0	TR		√	9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286			
1	TR	√		9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286	8.583	0.008583	70.43691017
1	TR		√	9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286			
2	TR	√		9.765625	48.828125	20.48	58.59375	17.0666667	10.613	0.010613	60.80907095
2	TR		√	9.765625	48.828125	20.48	58.59375	17.0666667			
3	TR	√		9.765625	48.828125	20.48	58.59375	17.0666667	11.602	0.011602	47.10107481
3	TR		√	9.765625	48.828125	20.48	58.59375	17.0666667			
0	R	√		9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286	9.511	0.009511	53.80717064
0	R		√	9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286			
1	R	√		9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286	9.745	0.009745	50.11390457
1	R		√	9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286			
2	R	√		9.765625	48.828125	20.48	58.59375	17.0666667	10.255	0.010255	66.42288347
2	R		√	9.765625	48.828125	20.48	58.59375	17.0666667			
3	R	√		9.765625	39.0625	25.6	68.359375	14.6286	10.759	0.010759	35.96616786
3	R		√	9.765625	48.828125	20.48	68.359375	14.6286			

Setelah dibandingkan dengan perhitungan SAP2000, terdapat perbedaan dengan maksimal koreksi 78.51 % pada balok tak terendam 0%.

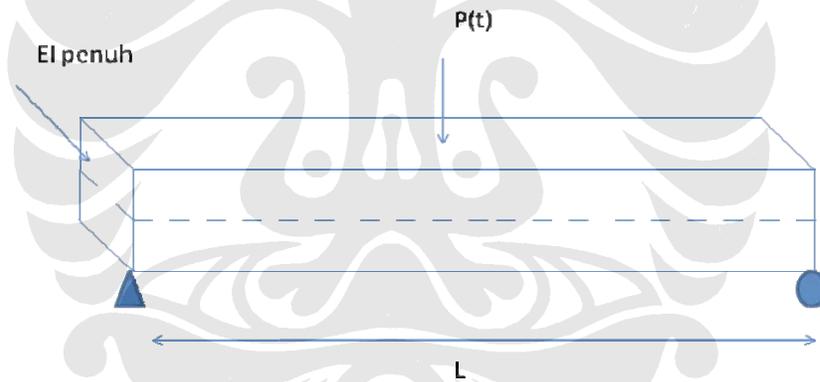
IV.4 PERHITUNGAN BEBAN IMPULS

Beban uji yang telah dibuat akan diuji dengan beban dinamik. Dalam hal ini beban dinamik yang diberikan adalah beban tumbukan.



Gambar IV.3 a) Potongan Memanjang b). Potongan Melintang

Dengan modelisasi SAP2000 :



Gambar IV.4. Modelisasi SAP2000 sebelum ada retak

Tabel IV.4. Hasil frekuensi dan periode SAP2000

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.01012	98.812	620.85	385460
MODAL	Mode	2	0.002591	385.97	2425.1	5881300
MODAL	Mode	3	0.001195	836.63	5256.7	27633000

Persamaan lendutan dinamik :

$$y(x) = \frac{2F_i}{ml} \sum_n \frac{1}{\omega_n} \left(\sin \frac{n\pi c_1}{l} \right) (DLF)_n \sin \frac{n\pi x}{l}$$

dengan $c_1 = 600$ mm, maka :

$$y_1(x) = \frac{2F_1}{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 1200 \text{ mm}} \times \frac{1}{620,83^2} \left(\sin \frac{1 \times 180 \times 600 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}} \right) (DLF)_1 \sin \frac{1\pi x}{l}$$

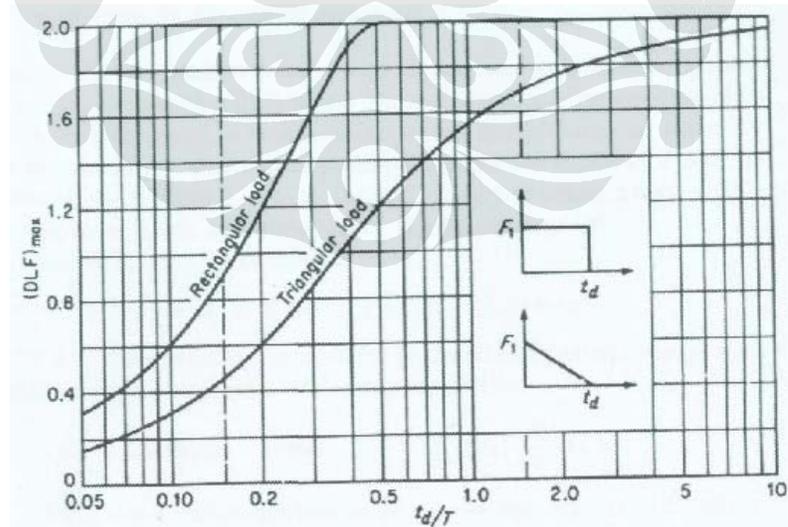
$$y_1(x) = 3,603 \cdot 10^{-7} F_1 (DLF)_1 \sin \frac{\pi x}{l}$$

$$y_2(x) = \frac{2F_2}{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 1200 \text{ mm}} \times \frac{1}{2425,1^2} \left(\sin \frac{2 \times 180 \times 600 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}} \right) (DLF)_2 \sin \frac{2\pi x}{l}$$

$$y_2(x) = 0$$

$$y_3(x) = \frac{2F_3}{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 1200 \text{ mm}} \times \frac{1}{5256,7^2} \left(\sin \frac{3 \times 180 \times 600 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}} \right) (DLF)_3 \sin \frac{3\pi x}{l}$$

$$y_3(x) = 5,026 \cdot 10^{-9} F_3 (DLF)_3 \sin \frac{3\pi x}{l}$$



Gambar IV.5. Grafik Rigorous Analysis of one degree system

Faktor beban dinamik (DLF) didapat dari grafik Rigorous Analysis of one degree system :

$$\frac{\Delta d}{T_1} = \frac{0,001}{0,01012} = 0,099 \rightarrow \text{maka } DLF = 0,58$$

$$\frac{\Delta d}{T_2} = \frac{0,001}{0,002591} = 0,385 \text{ maka } DLF = 1,82$$

$$\frac{\Delta d}{T_3} = \frac{0,001}{0,001195} = 2,81 \rightarrow \text{maka } DLF = 2$$

sehingga persamaan lendutan menjadi :

$$y_1(x) = 3,603 \cdot 10^{-7} F_1 (DLF)_1 \sin \frac{\pi x}{l} = 2,0897 \cdot 10^{-7} F_1 \sin \frac{\pi x}{l}$$

$$y_2(x) = 0$$

$$y_3(x) = -5,026 \cdot 10^{-8} F_2 (DLF)_2 \sin \frac{3\pi x}{l} = -1,0052 \cdot 10^{-8} F_2 \sin \frac{3\pi x}{l}$$

Maximum modal momen bending didapat :

$$M = -EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

$$M_1 = 2,0897 \cdot 10^{-7} F_1 \times \frac{\pi^2}{l^2} \times EI \times \sin \frac{\pi x}{l} = 0,14 F_1 \sin \frac{\pi x}{l}$$

$$M_2 = 0$$

$$M_3 = -1,0052 \cdot 10^{-8} F_2 \times \frac{9\pi^2}{l^2} \times EI \times \sin \frac{3\pi x}{l} = -0,0607 F_2 \sin \frac{3\pi x}{l}$$

dengan $x = 600$ mm, maka :

$$M_1 = 0,14 F_1 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = 0$$

$$M_3 = -0,0607 F_2 \text{ Nmm}$$

Maximum modal geser :

$$V = \frac{\partial M}{\partial x}$$

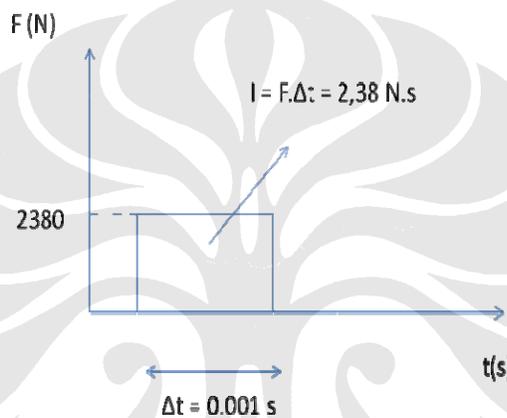
$$V_1 = 0,14 F_1 \times \frac{\pi}{l} \times EI \times \cos \frac{\pi x}{l} = 245,97 \cos \frac{\pi x}{l}$$

$$V_2 = 0$$

$$V_2 = -0,0607F_2 \times \frac{\pi^2}{l^2} \times EI \times \cos \frac{3\pi x}{l} = -106,648 \cos \frac{3\pi x}{l}$$

IV.5 PENENTUAN BEBAN TUMBUKAN

Adapun hasil yang akan didapat saat dilakukan pembebanan terhadap benda uji (balok) yang muncul di layar *Osciloscop*. Dibawah ini adalah grafik impuls akibat tumbukan oleh beban. Pengujian Tumbukan Sederhana (Spektrum Fourier)



Gambar IV.6 Grafik beban tumbukan dan Frekuensi

Penentuan beban tumbukan diawali dengan menghitung waktu yang dibutuhkan dari posisi awal hingga menumbuk benda uji pada suatu ketinggian.

Penentuan ini didapat dari perbedaan waktu pada sinyal beban dan akselerometer yang tercatat dikalikan dengan skala divisi.

Maka dengan rumus :

$$v = \frac{F}{t} \tag{4.1}$$

dimana :

- s = Jarak
- t = waktu jatuh bebas beban
- v = kecepatan jatuh benda

Selanjutnya, dengan massa beban diketahui, maka :

$$P = m \times v \quad (4.2)$$

Untuk mendapatkan gaya impuls (momentum yang bekerja pada selang waktu tertentu), maka dapat dicari lamanya beban tumbukan bekerja didapat dari sinyal jatuh beban.

$$I = F \cdot \Delta t \quad (4.3)$$

dimana :

I = Impuls (perubahan momentum)

F = Gaya (N)

Δt = waktu aplikasi (sentuh) beban pada benda uji



Gambar IV.7 Waktu jatuh beban

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapat :

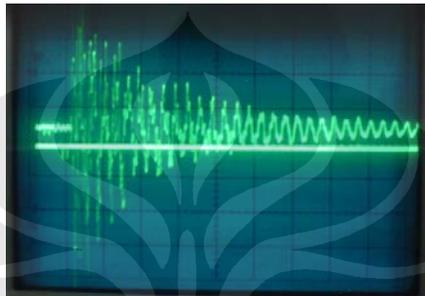
Tabel IV.5 .Waktu tempuh palu penumbuk ke benda uji

h (cm)	Tinggi (m)	Waktu jatuh (s)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s) ($\sqrt{2gh}$)	Momentum (p) Kg.m/s
6	0,06	0,074	0,81	1,08	1,62
8	0,08	0,077	1,04	1,25	2,08
10	0,1	0,084	1,19	1,40	2,38

Dari perhitungan momentum diatas bisa didapat *impuls* yang merupakan gaya yang bekerja dalam waktu singkat $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$, maka perlu dicari durasi pembebanannya.

IV.6 DURASI PEMBEBANAN

Diperlukan data waktu sentuh beban terhadap benda uji balok. Untuk itu dilakukan dengan pengujian dengan menggunakan pistol pegas dengan ketinggian 10 cm, maka didapat :



Gambar IV.8. Percepatan peluru

Dari gambar IV.8 skala 1 divisi adalah 1 mili detik, maka lamanya waktu gaya impuls yang bekerja adalah $1 \text{ div} \times 1 \text{ mdet} = 0,001 \text{ detik}$.

Tabel IV.6 Gaya Impuls

h (cm)	Momentun (p) kg.m/det	Waktu Sentuh Δt	Gaya N
6	1,62	0,001	1620
8	2,08	0,001	2080
10	2,38	0,001	2380

Dari tabel IV.6 terlihat bahwa karena durasi pembebanan pada pengujian oleh penulis yang didapat adalah kecil maka gaya aproksimatif F yang ada menjadi sangat besar.

IV.7 ANALISA FREKUENSI

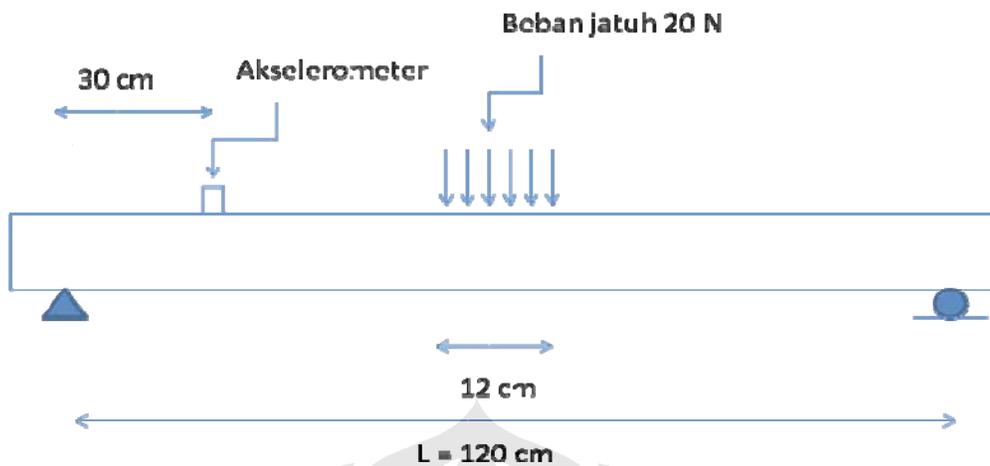
Parameter frekuensi dengan menggunakan Transformasi Fourier Cepat (FFT) yang pada awalnya bekerja pada ranah waktu akan berada dalam ranah frekuensi. Proses pencarian nilai frekuensi adalah mengambil frekuensi–frekuensi yang mempunyai titik puncak pada interval tertentu. Pada program ini berada pada interval 0 s/d 5000 Hz sehingga diperlukan pembagian interval–interval yang lebih kecil untuk mendapatkannya.

Tabel IV.7. Frekuensi Vibrasi Bebas

Kadar	NC/C	Letak Beban		Interval 10 s/d 50 Hz					Interval 50 s/d 100 Hz			
		1/2 L	1/4 L	Frek. Awal (Hz)	Frek. Awal (Hz)	Periode (ms)	Pui	Pu max	Frek. Awal (Hz)	Periode (ms)	Pui	Pu max
0	NC	√		9.765625	48.828125	20.48	0.008874	0.031805	68.359375	14.6286	0.031805	0.031805
0	NC		√	9.765625	48.828125	20.48	0.007795	0.03998	68.359375	14.6286	0.03998	0.03998
1	NC	√		9.765625	48.828125	20.48	0.0203	0.0203	68.359375	14.6286	0.030875	0.030875
1	NC		√	9.765625	48.828125	20.48	0.0107	0.01641	68.359375	14.6286	0.01641	0.01641
2	NC	√		9.765625	48.828125	20.48	0.01422	0.0308745	58.59375	17.0666667	0.030875	0.030875
2	NC		√	9.765625	48.828125	20.48	0.00967	0.027741	58.59375	17.0666667	0.027741	0.027741
3	NC	√		9.765625	48.828125	20.48	0.001936	0.03697	58.59375	17.0666667	0.03697	0.03697
3	NC		√	9.765625	48.828125	20.48	0.00149	0.03274	58.59375	17.0666667	0.03274	0.03274
0	C	√		9.765625	48.828125	20.48	0.00176	0.0699	68.359375	14.6286	0.0699	0.0699
0	C		√	9.765625	48.828125	20.48	0.0025	0.1066	68.359375	14.6286	0.1066	0.1066
1	C	√		9.765625	48.828125	20.48	0.001235	0.0575	68.359375	14.6286	0.0575	0.0575
1	C		√	9.765625	48.828125	20.48	0.0007799	0.0411	68.359375	14.6286	0.0411	0.0411
2	C	√		9.765625	48.828125	20.48	0.01018	0.0248	58.59375	17.0666667	0.0248	0.0248
2	C		√	9.765625	48.828125	20.48	0.009493	0.0175	58.59375	17.0666667	0.0175	0.0175
3	C	√		9.765625	39.0625	25.6	0.00177	0.0203	68.359375	14.6286	0.0203	0.0203
3	C		√	9.765625	48.828125	20.48	0.003974	0.038	68.359375	14.6286	0.038	0.038

Berdasarkan sajian tabel dan grafik, terlihat bahwa telah terjadi pergeseran frekuensi ke arah yang lebih kecil dari setiap benda uji.

Pada frekuensi pertama akibat palu elektik di tengah bentang (Simetrik) dan seperempat bentang (Asimetrik) terlihat hasil frekuensi yang relatif stabil. Selanjutnya, mulai diberi beban terbagi merata pada luasan tertentu di tengah bentang akibat beban jatuh terbagi merata 20 N dengan ketinggian jatuh 10 cm.



Gambar IV.9 Simulasi Penelitian

Selanjutnya, akan diuraikan hasil penelitian frekuensi dari program akuisisi :

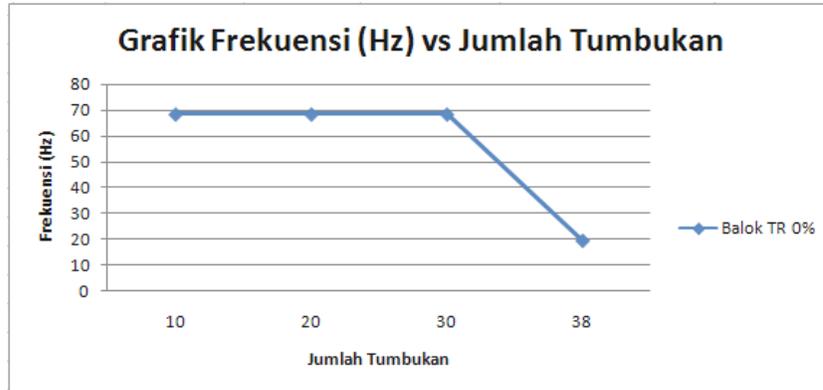
Balok Tanpa Rendam 0%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N di tengah bentang

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel IV.8. Frekuensi Balok TR 0%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.359375	14.6286	Belum terjadi retak
20	68.359375	14.6286	Belum terjadi retak
30	68.359375	14.6286	Belum terjadi retak
38	19.53125	51.2	Terjadi retak pertama
39			Patah



Gambar IV.10 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok TR 0%

Pada proses pembebanan untuk balok tak terendam 0%, relatif kuat dan tidak terjadi keretakan sama sekali pada balok sampai tumbukan ke 37. Pada tumbukan ke 38 terjadi retak rambut pada tengah bentang yang merupakan retak akibat lentur karena dibebani secara jatuh bebas dengan beban 20 N dan tinggi jatuh 10 cm. Retak rambut tersebut setinggi 5,2 cm dengan lebar retak yang sangat tipis 0,05 mm. Pada beban selanjutnya, balok patah. Tidak adanya staples menyebabkan tidak adanya penahan tarik pada beton tersebut.

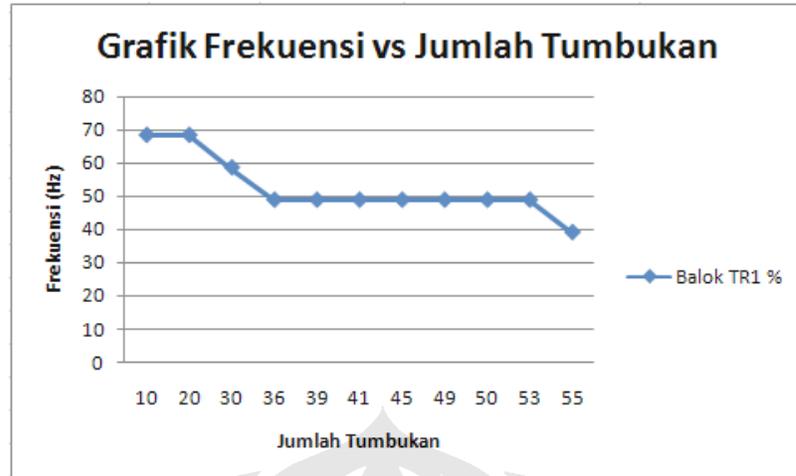
Balok Tanpa Rendam 1%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel IV.9. Frekuensi Balok TR 1%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
20	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
30	58.59375	17.06666667	Belum terjadi retak
36	48.82813	20.48	Terjadi retak pertama
39	48.82813	20.48	Tumbuh retak
41	48.82813	20.48	Tumbuh retak
45	48.82813	20.48	Tumbuh retak
49	48.82813	20.48	Tumbuh retak
50	48.82813	20.48	Tumbuh retak
53	48.82813	20.48	Tumbuh retak
55	39.0625	25.6	Tumbuh retak
57			Patah



Gambar IV.11 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok TR 1%

Pada proses pembebanan untuk balok tak terendam 1%, relatif lebih daktail dibandingkan balok tanpa rendam 0%. Hasil penelitian menunjukkan tidak terjadi keretakan sama sekali pada balok sampai tumbukan ke 35. Pada tumbukan ke 36 terjadi retak rambut pada tengah bentang yang merupakan retak akibat lentur karena dibebani secara jatuh bebas dengan beban 20 N dan tinggi jatuh 10 cm.

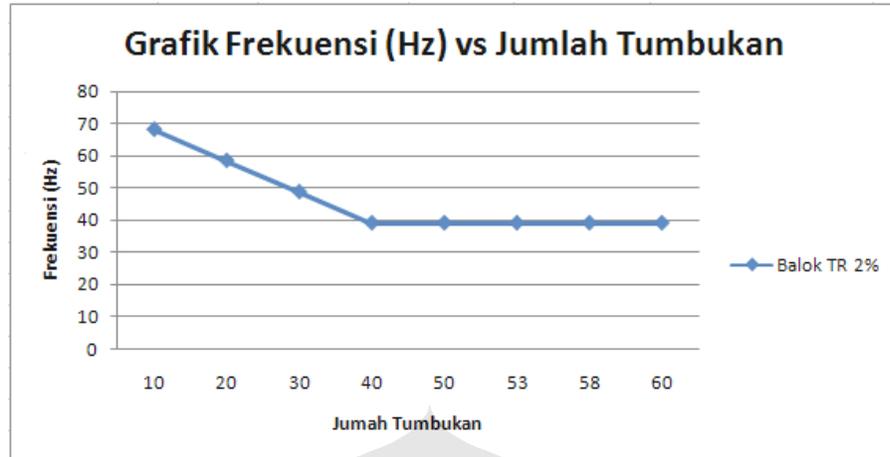
Balok Tanpa Rendam 2%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel. IV.10. Frekuensi Balok TR 2%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
20	58.59375	17.06666667	Belum terjadi retak
30	48.82813	20.48	Belum terjadi retak
40	39.0625	25.6	Belum terjadi retak
50	39.0625	25.6	Belum terjadi retak
53	39.0625	25.6	Terjadi retak pertama
58	39.0625	25.6	Tumbuh retak
60	39.0625	25.6	Tumbuh retak
65			Patah



Gambar IV.12 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok TR 2%

Pada pembebanan tipe balok ini, terlihat jelas penurunan frekuensi yang teratur sejak awal pembebanan walaupun tidak menunjukkan terjadi retak. Akhirnya, terjadi retak pertama pada tumbukan ke 53 dengan beban yang sama dengan kadar lainnya 20 N terbagi merata. Pada saat patahnya balok, frekuensi terakhir yang sempat direkam oleh penulis masih menunjukkan 39,0625 Hz yaitu stabil dengan frekuensi akibat tumbukan sebelumnya.

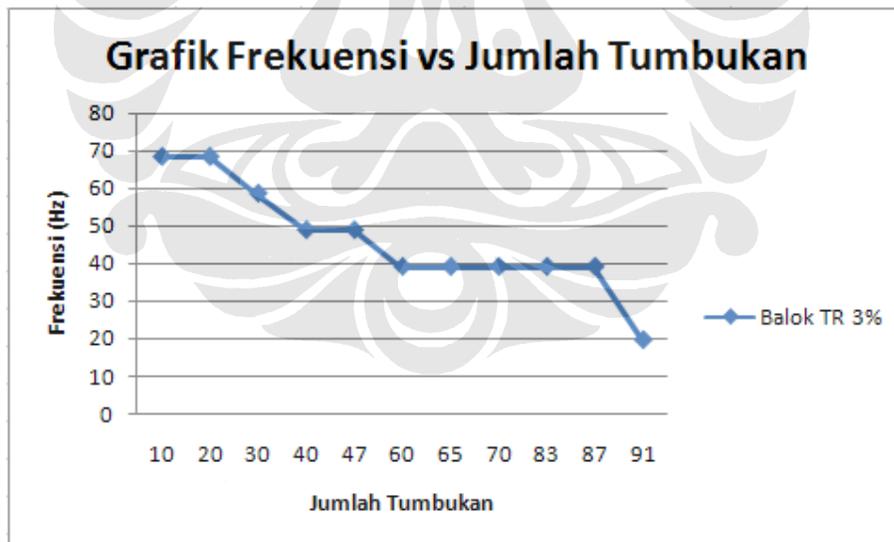
Balok Tanpa Rendam 3%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel. IV.11. Frekuensi Balok TR 3%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
20	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
30	58.59375	17.06666667	Belum terjadi retak
40	48.82813	20.48	Belum terjadi retak
47	48.82813	20.48	Terjadi retak pertama
60	39.0625	25.6	Tumbuh retak
65	39.0625	25.6	Tumbuh retak
70	39.0625	25.6	Tumbuh retak
83	39.0625	25.6	Tumbuh retak
87	39.0625	25.6	Tumbuh retak
91	19.53125	51.2	Tumbuh retak
92			Patah



Gambar IV.13 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok TR 3%

Pada pembebanan balok ini, terlihat penurunan frekuensi yang bertahap hingga terjadi retak pertama pada tumbukan ke 47, dan akhirnya patah pada tumbukan ke 92. Lebar retak terakhir yang tercatat pada tumbukan ke 91 adalah 5,98 mm. Balok beton tipe ini memberikan performa *fatigue life* yang paling panjang dibandingkan dengan balok tipe lainnya..

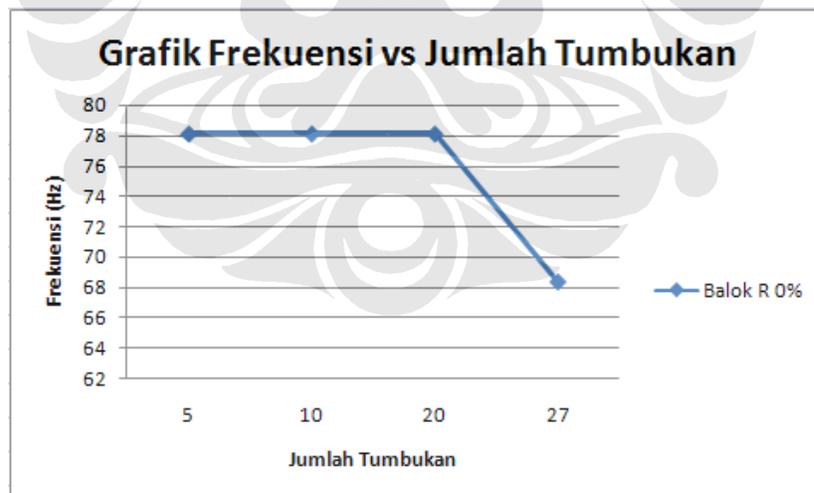
Balok Rendam 0%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N di tengah bentang

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel. IV.12. Frekuensi Balok R 0%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
5	78.125	12.8	Belum terjadi retak
10	78.125	12.8	Belum terjadi retak
20	78.125	12.8	Belum terjadi retak
27	78.125	12.8	Terjadi retak pertama
28	68.35938	14.62857143	Patah



Gambar IV.14 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok R 0%

Pada proses pembebanan untuk balok terendam 0%, relatif stabil pada awal pembebanan dan tidak terjadi keretakan sama sekali pada balok sampai tumbukan

ke 26. Pada tumbukan ke 27 terjadi retak rambut pada tengah bentang yang merupakan retak akibat lentur karena dibebani secara jatuh bebas dengan beban 20 N dan tinggi jatuh 10 cm. Terjadinya retak langsung menyebabkan *failure* pada tumbukan selanjutnya.

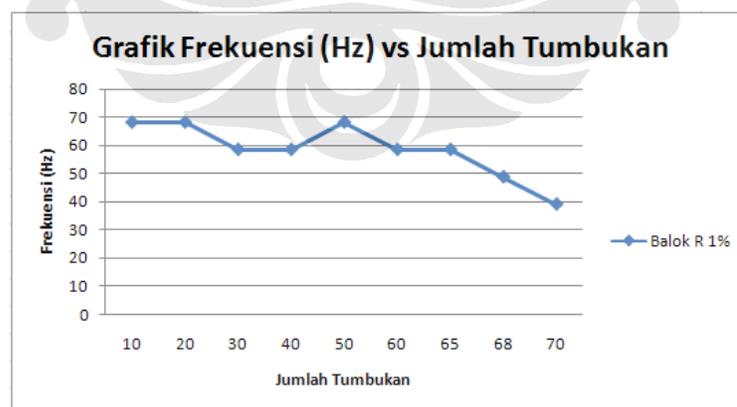
Balok Rendam 1%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel. IV.13. Frekuensi Balok R 1%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.359375	14.62857143	Belum terjadi retak
20	68.359375	14.62857143	Belum terjadi retak
30	58.59375	17.06666667	Belum terjadi retak
40	58.59375	17.06666667	Belum terjadi retak
50	68.359375	14.62857143	Belum terjadi retak
60	58.59375	17.06666667	Terjadi retak pertama
65	58.59375	17.06666667	Tumbuh retak
68	48.828125	20.48	Tumbuh retak
70	39.0625	25.6	Tumbuh retak
71			Patah



Gambar IV.15 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok R 1%

Pada pembebanan balok ini, terlihat penurunan frekuensi yang bertahap tetapi terjadi kenaikan frekuensi pada tumbukan ke 50, hal ini dapat saja terjadi dikarenakan pergeseran frekuensi dalam perekaman oleh akselerometer. Balok ini mulai terjadi retak pertama pada tumbukan ke 60, akan tetapi balok masih mampu menahan beberapa tumbukan berikutnya dan patah pada tumbukan ke 71. Balok rendam 1% ini ternyata mempunyai fatigue life yang lebih panjang daripada balok rendam 2%. Hal ini dapat saja terjadi karena kondisi perletakan yang kurang kokoh pada saat pembebanan.

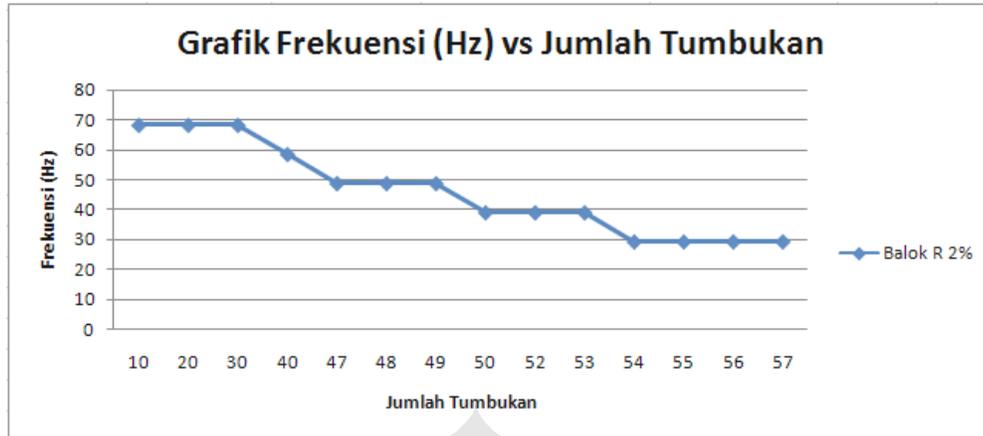
Balok Rendam 2%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel. IV.14. Frekuensi Balok R 2%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
20	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
30	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
40	58.59375	17.06666667	Belum terjadi retak
47	48.82813	20.48	Terjadi retak pertama
48	48.82813	20.48	Tumbuh retak
49	48.82813	20.48	Tumbuh retak
50	39.0625	25.6	Tumbuh retak
52	39.0625	25.6	Tumbuh retak
53	39.0625	25.6	Tumbuh retak
54	29.29688	34.13333333	Tumbuh retak
55	29.29688	34.13333333	Tumbuh retak
56	29.29688	34.13333333	Tumbuh retak
57	29.29688	34.13333333	Tumbuh retak
58			Patah



Gambar IV.16 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok R 2%

Pada pembebanan balok ini, terlihat penurunan frekuensi yang bertahap hingga terjadi retak pertama pada tumbukan ke 47, akan tetapi balok masih mampu menahan beberapa tumbukan berikutnya dan patah pada tumbukan ke 58.

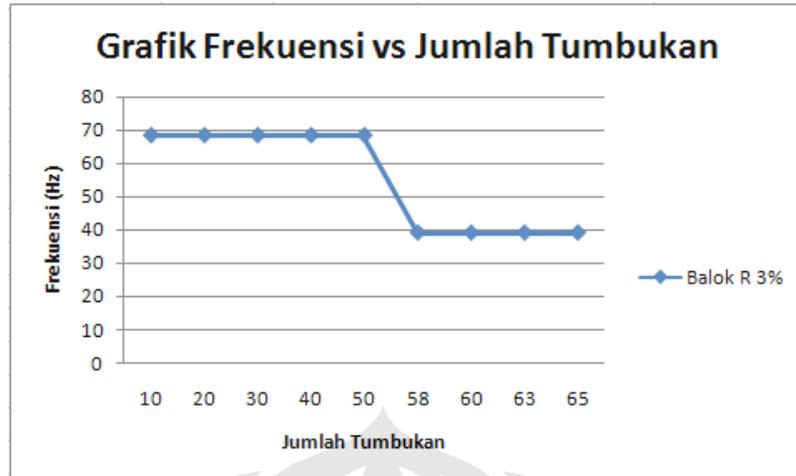
Balok Rendam 3%

Jenis beban = Beban jatuh 20 N

Tinggi jatuh = 10 cm

Tabel. IV.15. Frekuensi Balok R 3%

Tumbukan ke-	Frek. Max	Periode (ms)	Keterangan
10	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
20	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
30	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
40	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
50	68.35938	14.62857143	Belum terjadi retak
58	39.0625	25.6	Terjadi retak pertama
60	39.0625	25.6	Tumbuh retak
63	39.0625	25.6	Tumbuh retak
65	39.0625	25.6	Tumbuh retak
74			Patah

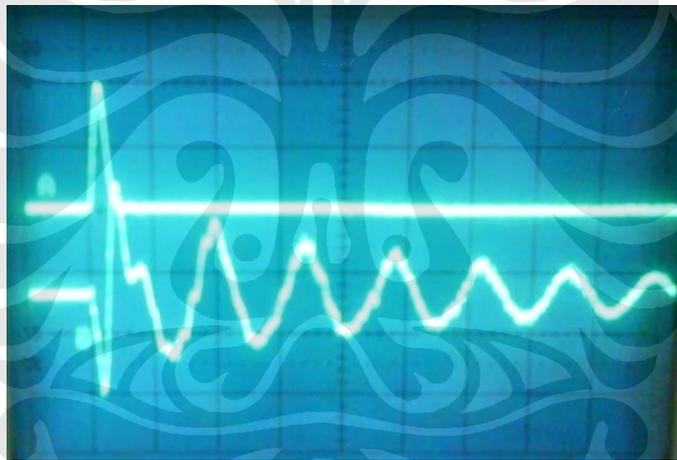


Gambar IV.17 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan Balok R 3%

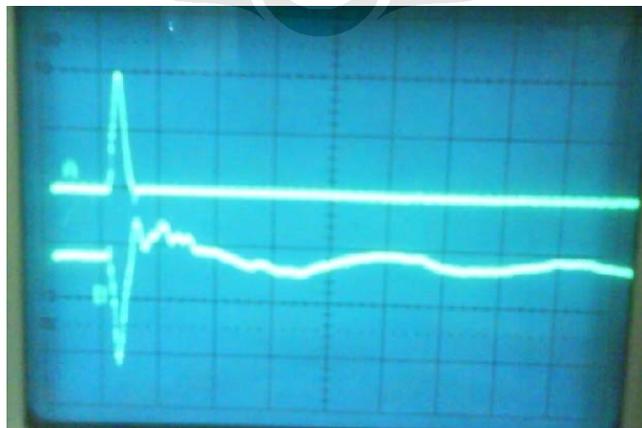
Pada pembebanan untuk balok rendam 3%, terjadi pola retak yang tidak banyak berbeda dengan sampel balok kadar yang lain. Balok tipe ini dibutuhkan 73 tumbukan di tengah bentang dengan beban merata 20 N hingga muncul retak pertama di bagian tengah bentang. Menurut analisa penulis, kadar 3% fiber ini, membuat beton lebih daktail sehingga beton masih mampu menahan retak yang awal dan memunculkan retak baru yang bukan segaris di sisi lain tanpa menimbulkan patah yang mendadak.

IV.8 PEMBAHASAN GRAFIK REKAMAN PERCEPATAN

Pembebanan pertama dilakukan terhadap hasil perhitungan frekuensi akibat beban tumbukan berulang dengan beban terbagi merata 20 N di tengah bentang. Terlihat perbedaan bentuk percepatan terhadap waktu yang terekam oleh akselerometer antara balok sebelum retak dan setelah terjadi retak. Terlihat pada gambar IV.17 frekuensi awal yang dihasilkan oleh palu elektrik menunjukkan bentuk grafik percepatan yang beraturan dengan gelombang tinggi. Di awal gelombang merupakan *force vibration* terkontrol sedangkan pada gelombang ketiga dan seterusnya merupakan *free vibration* yang semakin mengecil karena peredaman. Pada gambar IV.18, menunjukkan gelombang yang sudah semakin datar karena sudah terjadi retak yang cukup besar akibat pembebanan berulang tumbukan.



Gambar IV.18 Frekuensi awal (Benda uji belum retak)



Gambar IV.19 Frekuensi akhir (Benda uji sudah retak)

BAB V

ANALISA POLA RETAK BALOK

Secara teori, beton polos atau beton tanpa tulangan hanya akan mencapai kondisi elastis (distribusi tegangan segitiga), dan tidak akan mencapai kondisi ultimit yang diwakili dengan distribusi tegangan parabola-garis lurus. Hal ini dikarenakan kekuatan tarik dari beton yang hanya 10% dari kuat tekannya. Umumnya, beton dikompositkan dengan baja tulangan yang berperan menahan tarik. Ketika terjadi keretakan pada beton tanpa tulangan, maka beton tersebut akan *failure*.

Berbeda dengan beton tanpa tulangan, beton berserat memiliki kuat tarik yang diperoleh dengan adanya penambahan serat tersebut. Serat tersebut dalam kasus ini staples, tersebar merata di seluruh campuran beton. Hal ini memungkinkan beton berserat dapat mencapai kondisi ultimit.

Untuk lebih detailnya mengenai keretakan benda uji, disajikan analisis tiap variasi.

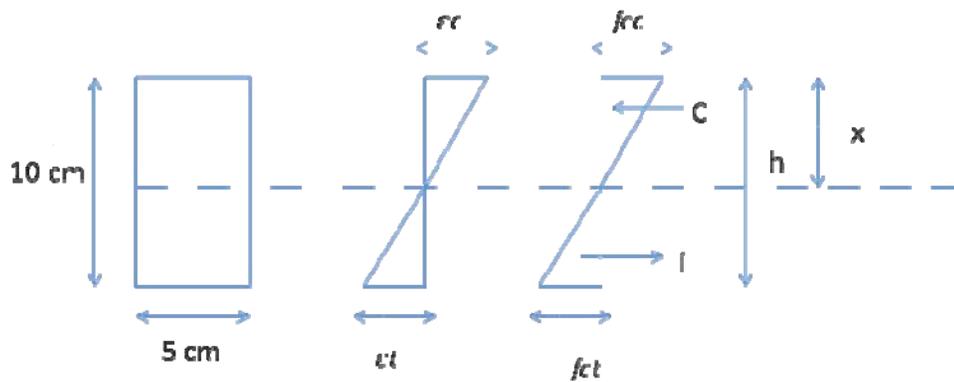
V.1 BALOK TANPA RENDAM 0%

Perhitungan Momen Nominal Balok

Ketika belum terjadi retak :



Gambar V.1 Potongan Memanjang Balok TR 0%



Gambar V.2. Distribusi tegangan regangan kondisi elastis Balok TR 0%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

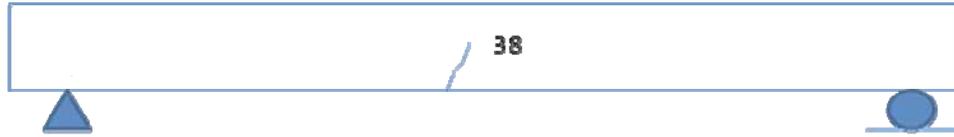
Jarak antara C dan T = 66,67 mm

Sehingga, momen nominal beton :

$$M_n = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ mm}$$

$$= 104171,875 \text{ Nmm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak}$$

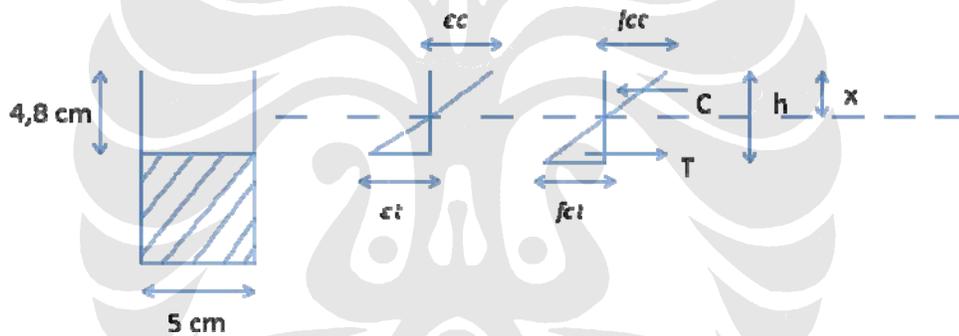
Ketika sudah retak :



Sketsa Retak Balok NC 0%

Gambar V.3. Tampak Retak Balok TR 0%

Retak pertama terjadi pada tumbukan ke 38, seperti terlihat pada gambar di atas. Maka ketika terjadi retak di tengah bentang dengan ketinggian retak 5,2 cm dari dasar balok, terjadi pengurangan luas efektif penampang, didapat momen nominal :



Gambar V.4. Distribusi Tegangan Regangan Kondisi Retak Balok TR 0%

Pada saat beton tanpa tulangan ini terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis sudah berakhir. Hal ini menunjukkan gaya tarik yang terjadi telah melebihi tegangan tarik yang mampu dipikul beton. Seperti gambar diatas, luasan efektif hanya setinggi 4,8 cm dari atas. Sehingga segitiga tarik beton membesar dan mempengaruhi luasan daerah tekannya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h - x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 32 mm

Sehingga, momen nominal beton :

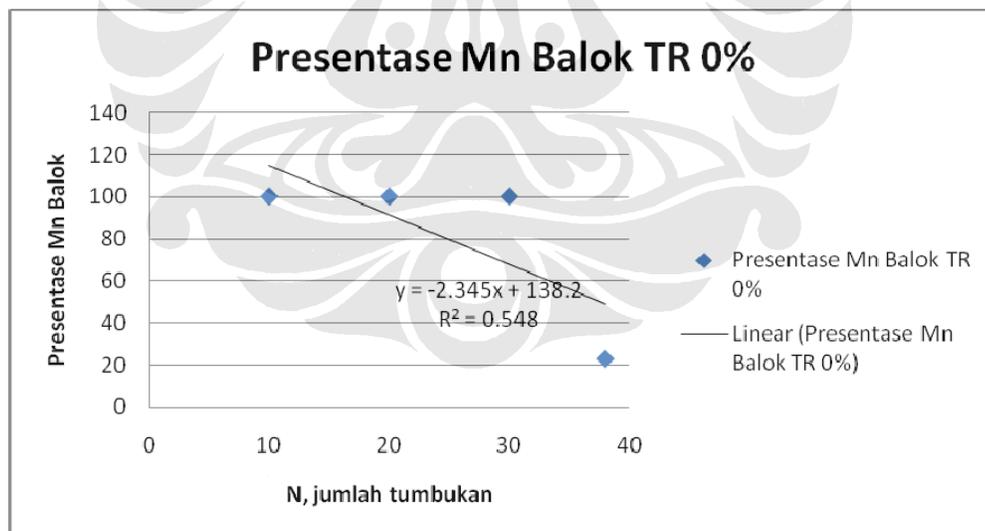
$$M_n = \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} \cdot 32 \text{ mm}$$

$$= 24000 \text{ Nmm} \rightarrow \text{setelah terjadi retak}$$

Sehingga, M_{cr} beton TR =

$$\frac{24000}{104171,875} \times 100\% = 23,04\% M_n \text{ awal}$$

Telah terjadi penurunan sebesar 76,96% dari kondisi sebelum terjadi retak. Selanjutnya, tidak ada lagi penurunan karena balok patah pada tumbukan berikutnya.

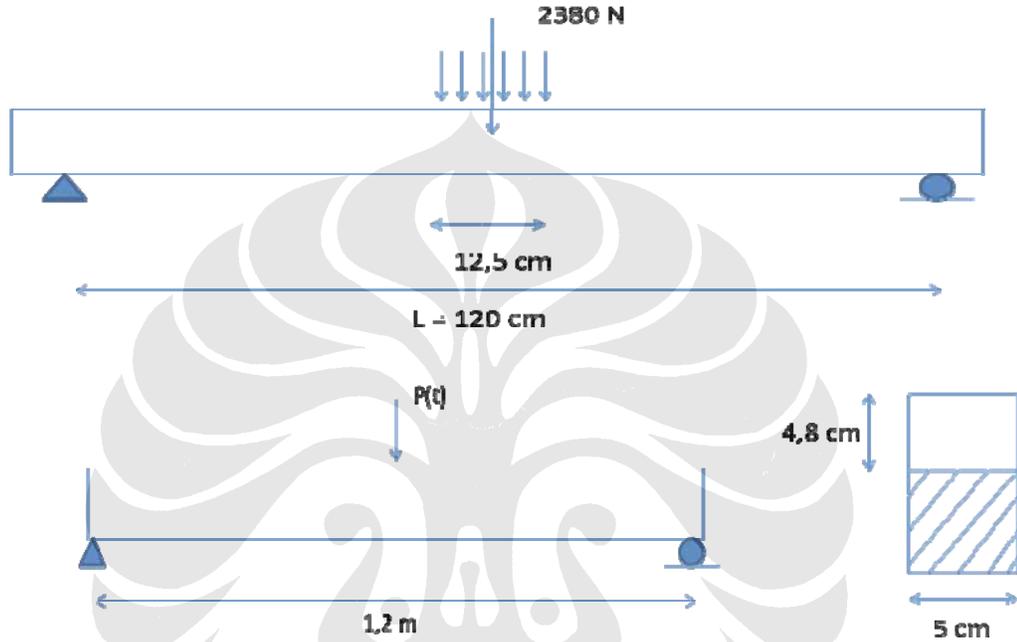


Gambar V.5. Penurunan presentase Mn balok TR 0%

Perhitungan Lendutan

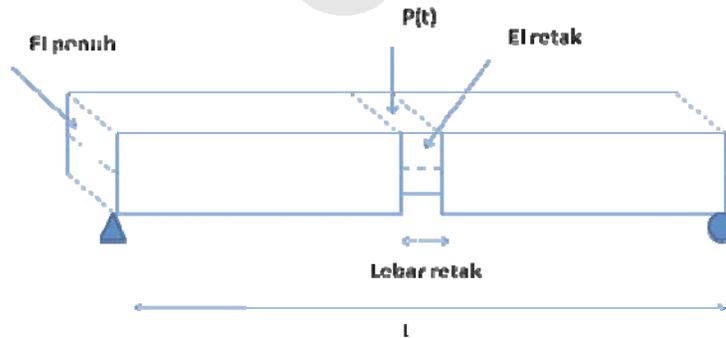
Beban uji yang telah dibuat akan diuji dengan beban dinamik. Dalam hal ini beban dinamik yang diberikan adalah beban tumbukan. Dengan pemdekatan persamaan lendutan untuk beban terpusat, maka dihitung akibat beban F resultan.

Contoh perhitungan untuk balok TR 0% dengan tinggi retak 5,2 cm :



Gambar V.6 a) F resultan jatuh beban impuls b). Potongan Memanjang
c). Potongan Melintang

Modelisasi dengan SAP2000 :



Gambar V.7. Modelisasi struktur 3D setelah retak di tengah bentang

Dari perhitungan SAP2000 didapat :

Frekuensi natural :

$$\omega_1 = 512,97 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = 4002,4 \text{ rad/s}$$

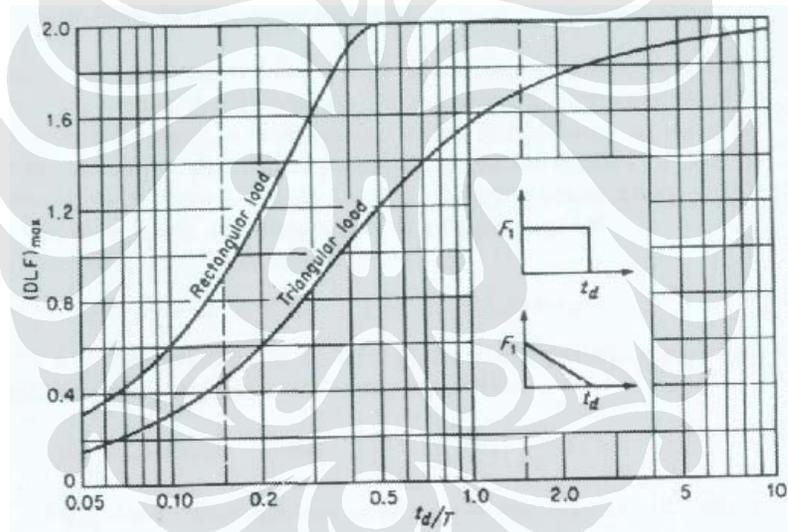
$$\omega_3 = 5923,7 \text{ rad/s}$$

maka didapat periode :

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,012249 \text{ s} \rightarrow \text{DLF} = 0,5$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,00157 \text{ s}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,001061 \text{ s} \rightarrow \text{DLF} = 2$$



Gambar V.8. Grafik Rigorous Analysis of one degree system

Faktor beban dinamik (DLF) didapat dari grafik Rigorous Analysis of one degree system :

$$\frac{td}{T_1} = \frac{0,001}{0,012249} = 0,082 \rightarrow \text{maka DLF} = 0,5$$

$$\frac{td}{T_2} = \frac{0,001}{0,00157} = 0,637 \text{ maka DLF} = 2$$

$$\frac{td}{T_3} = \frac{0,001}{0,001061} = 0,943 \rightarrow \text{maka DLF} = 2$$

Persamaan lendutan dinamik :

$$y(x) = \frac{2F_t}{ml} \sum_n \frac{1}{\omega_n} \left(\sin \frac{\pi n c_1}{l} \right) (DLF)_n \sin \frac{\pi n x}{l}$$

dengan $c_1 = 600$ mm, maka :

$$y_1(x) = \frac{2F_1}{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 1200 \text{ mm}} \times \frac{1}{512,97^2} \left(\sin \frac{1 \times 180 \times 600 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}} \right) (DLF)_1 \sin \frac{1 \pi x}{l}$$

$$y_1(x) = 0,012249 \text{ mm}$$

$$y_2(x) = \frac{2F_2}{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 1200 \text{ mm}} \times \frac{1}{4002,4^2} \left(\sin \frac{2 \times 180 \times 600 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}} \right) (DLF)_2 \sin \frac{2 \pi x}{l}$$

$$y_2(x) = 0$$

$$y_3(x) = \frac{2F_3}{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 1200 \text{ mm}} \times \frac{1}{5923,7^2} \left(\sin \frac{3 \times 180 \times 600 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}} \right) (DLF)_3 \sin \frac{3 \pi x}{l}$$

$$y_3(x) = 0,001061 \text{ mm}$$

Diambil lendutan mode 1 karena paling dominan.

Maka, didapat lendutan yang terjadi terhadap tinggi retak :

Tabel V.1 Lendutan balok TR 0%

Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 5.2 cm	0.000628103	mm	0.012249	1	38
	1.88403E-05	mm	0.001061	3	

Perhitungan Regangan

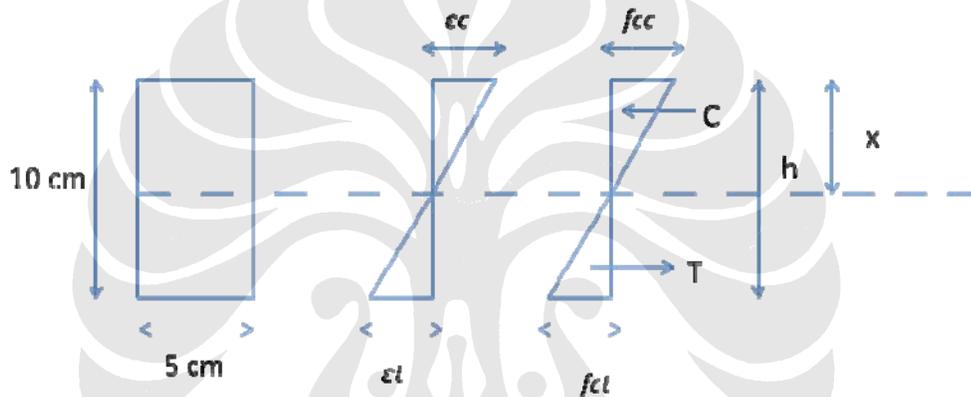
Regangan yang terjadi pada balok tanpa rendam 0% = 0,05 mm, sehingga $\Delta L/L$ didapat (berbentuk retak rambut) sebelum akhirnya patah ditumbukan berikutnya.

V.2 BALOK TANPA RENDAM 1%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.9 Model Penampang Balok TR 1%



Gambar V.10 Distribusi Tegangan Regangan Elastis Balok TR 1%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 mm

Sehingga, momen nominal beton :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm} \\ &= 104171,875 \text{ Nmm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak} \end{aligned}$$

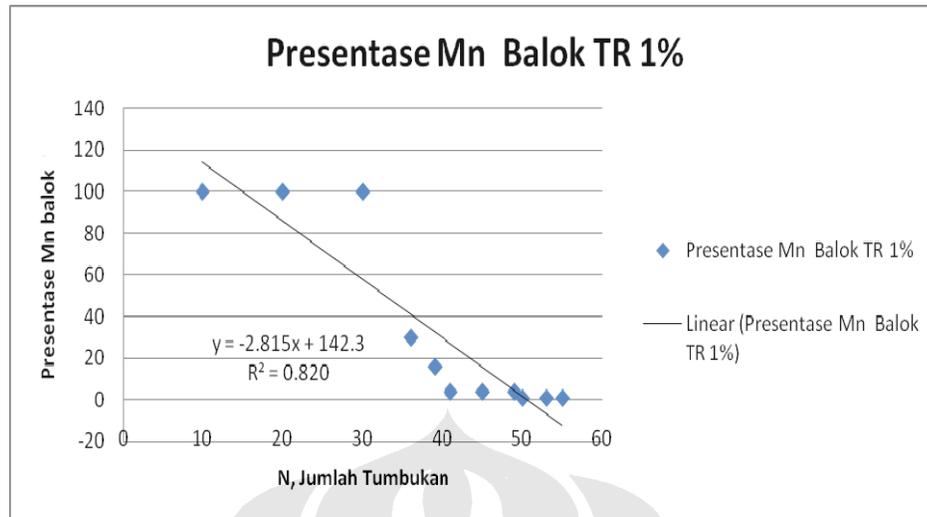


Gambar V.11. Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok TR 1%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.2 Momen nominal balok TR 1%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Moman nominal balok setelah retak
4.5	30%
6	16%
8	4%
9	0,999%



Gambar. V.12 Presentase penurunan Mn balok TR 1%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.3 Regangan balok TR 1%

Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
10,20,30	-	-
36	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$
39	0,12	10^{-4}
41	0,15	$1,25 \cdot 10^{-4}$
45	0,24	$2 \cdot 10^{-4}$
49	0,44	$3,6667 \cdot 10^{-4}$
50	1,2	10^{-3}
53	2,69	$2,242 \cdot 10^{-3}$
57	PATAH	

Perhitungan Lendutan

Dengan cara yang sama menggunakan persamaan lendutan dinamik, maka didapatkan :

Tabel V.4 Lendutan balok TR 1%

Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 4.5 cm	0.000578362	mm	0.011525	1	36
	1.82272E-05	mm	0.001043	3	
Retak 6 cm	0.000678859	mm	0.013423	1	39
	1.90824E-05	mm	0.001067	3	
Retak 8 cm	0.002057733	mm	0.026127	1	41
	2.1016E-05	mm	0.00112	3	
Retak 9 cm	0.014151998	mm	0.068519	1	50
	2.94512E-05	mm	0.001326	3	

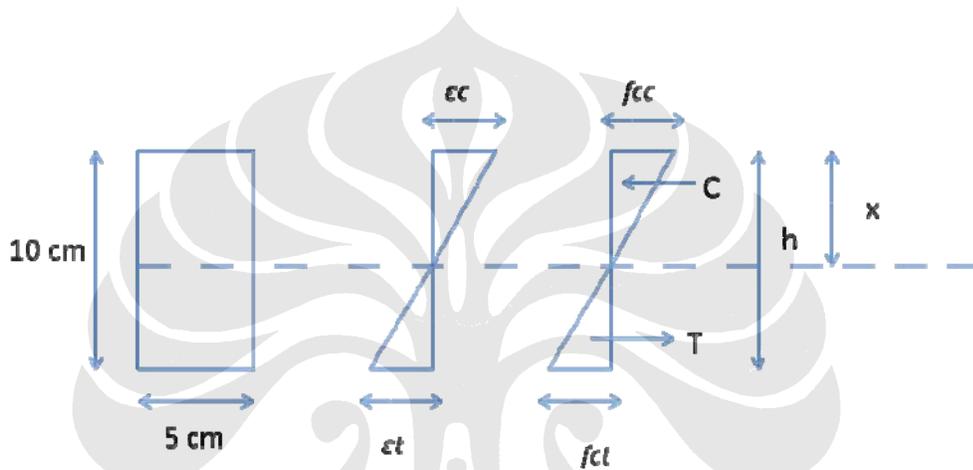


V.3 BALOK TANPA RENDAM 2%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.13 Model Penampang Balok TR 2%



Gambar V.14 Distribusi Tegangan Regangan Balok TR 2%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 cm

Sehingga, momen nominal beton :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm} \\ &= 104171,875 \text{ Nmm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak} \end{aligned}$$

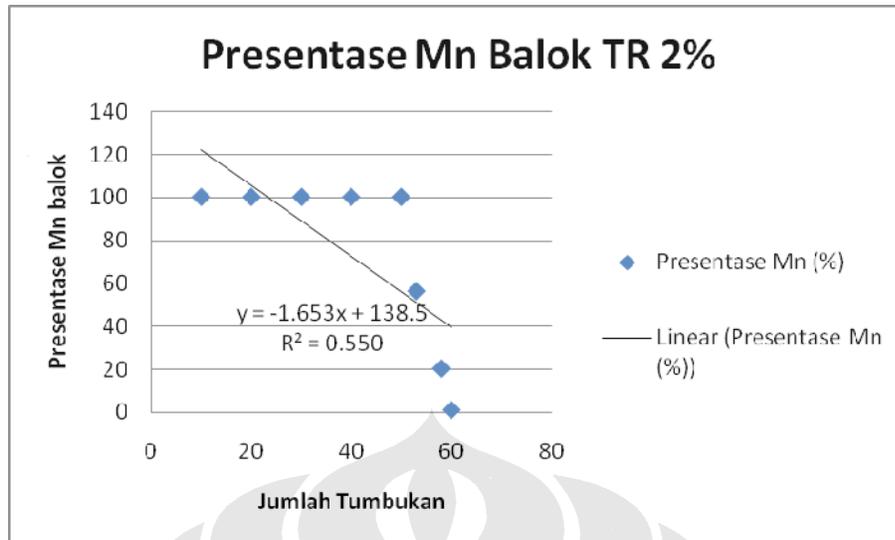


Gambar V.15. Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok TR 2%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.5 Momen nominal balok TR 2%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Moman nominal balok setelah retak
2,5	56,25%
4,5	30,25%
5,5	20,25%
7,8	4,84%
9	1%



Gambar V.16. Penurunan presentase Mn balok TR 2%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.6 Regangan balok TR 2%

Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
10,20,28	-	-
29	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$
31	0,12	10^{-4}
35	0,15	$1,25 \cdot 10^{-4}$
43	0,24	$2 \cdot 10^{-4}$
54	1,2	10^{-3}

Perhitungan Lendutan

Tabel V.7 Lendutan balok TR 2%

Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 2.5 cm	0.000542677	mm	0.010955	1	53

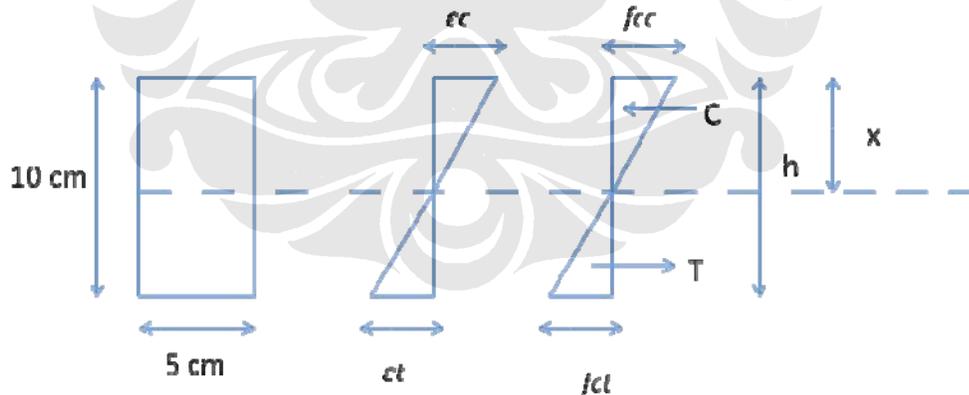
	1.84403E-05	mm	0.001049	3	
Retak 4.5 cm	0.000593175	mm	0.011672	1	55
	1.86942E-05	mm	0.001057	3	
Retak 5.5 cm	0.000651768	mm	0.012604	1	58
	1.89188E-05	mm	0.001063	3	
Retak 7.8 cm	0.001627306	mm	0.023235	1	59
	2.05873E-05	mm	0.001109	3	
Retak 9 cm	0.014151998	mm	0.068519	1	60
	2.94512E-05	mm	0.001326	3	

V.4 BALOK TANPA RENDAM 3%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.17 Model Penampang Balok TR 3%



Gambar V.18 Distribusi Tegangan Regangan Elastis Balok TR 3%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini

memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 cm

Sehingga, momen nominal beton :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm} \\ &= 104171,875 \text{ Nmm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak} \end{aligned}$$

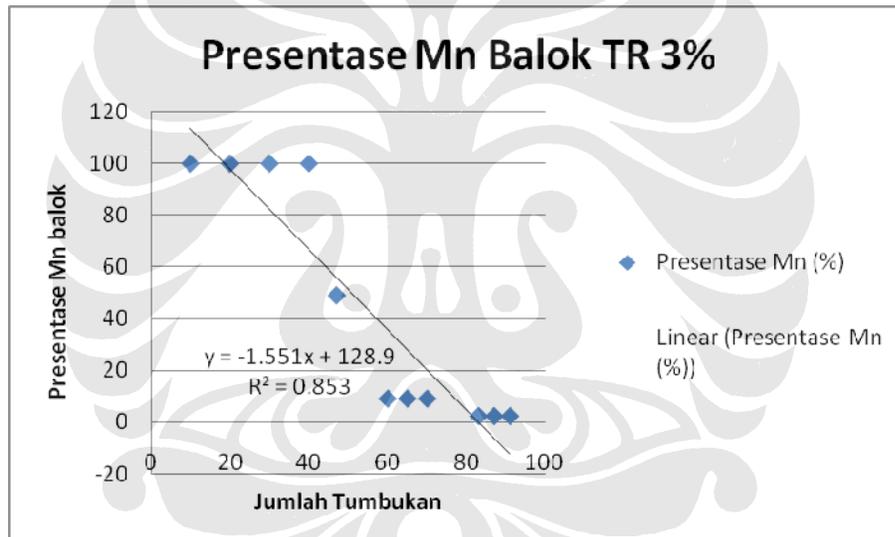


Gambar V.19. Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok TR 3%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.8 Momen nominal balok TR 3%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Moman nominal balok setelah retak
3	49%
7	9%
8,5	2,25%



Gambar V.20. Penurunan presentase Mn balok TR 3%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.9 Regangan balok TR 3%

Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
1 s/d 46	-	-

47 s/d 64	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$
65 s/d 82	0,12	10^{-4}
83	1,05	$8,75 \cdot 10^{-4}$
87	2,68	$2,233 \cdot 10^{-3}$
91	5,98	$4,9833 \cdot 10^{-3}$

Perhitungan Lendutan

Tabel V.10 Lendutan balok TR 3%

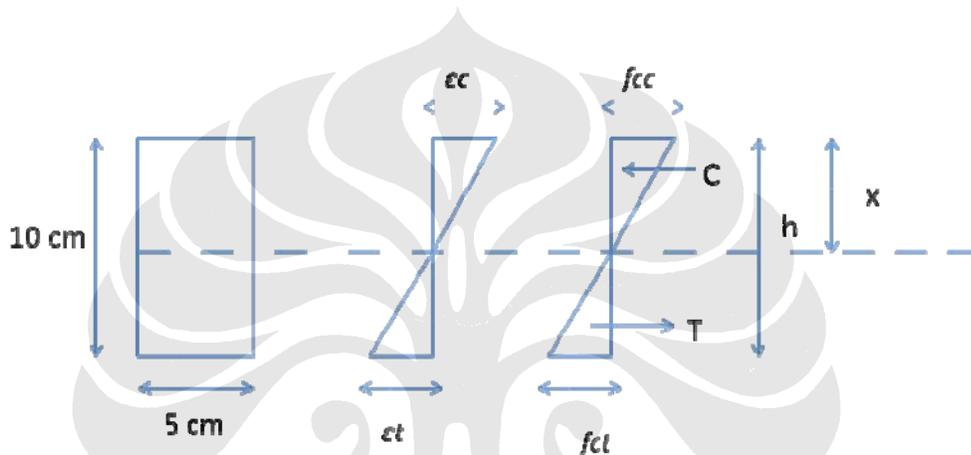
Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 3 cm	0.000573868	mm	0.0011063	1	47
	1.84885E-05	mm	0.001051	3	
Retak 7 cm	0.000886225	mm	0.016689	1	60
	1.96234E-05	mm	0.001083	3	
Retak 8.5 cm	0.004427689	mm	0.038325	1	83
	2.29832E-05	mm	0.001172	3	

V.5 BALOK RENDAM 0%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.21. Model Penampang Balok R 0%



Gambar V.22. Distribusi Tegangan Regangan Elastis Balok R 0%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,03 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 cm

Sehingga, momen nominal beton :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm} \\ &= 104171,875 \text{ Nmm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak} \end{aligned}$$

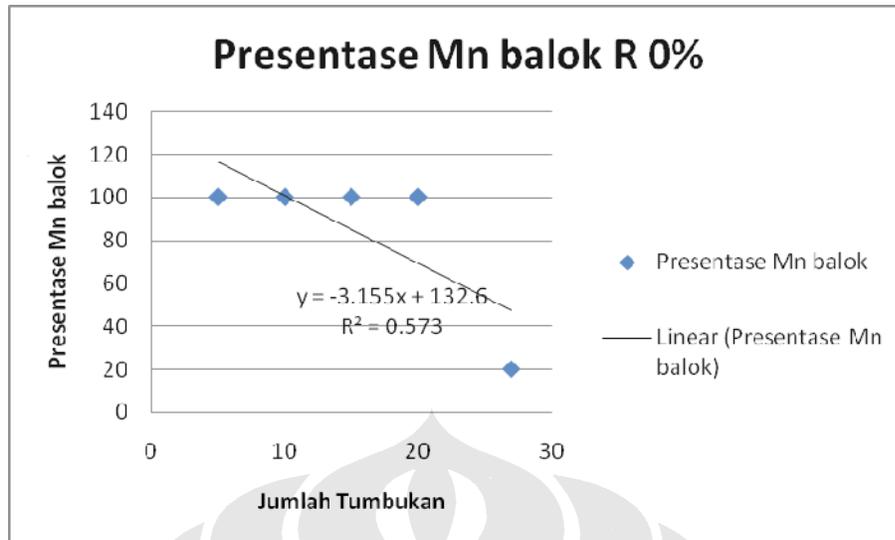


Gambar V.23. Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok R 0%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.11 Momen nominal balok R 0%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Moman nominal balok setelah retak
5,5	20,25%



Gambar V.24. Penurunan presentase Mn balok R 0%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.12 Regangan balok R 0%

Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
1 s/d 26	-	-
27	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$

Perhitungan Lendutan

Tabel V.13 Lendutan balok R 0%

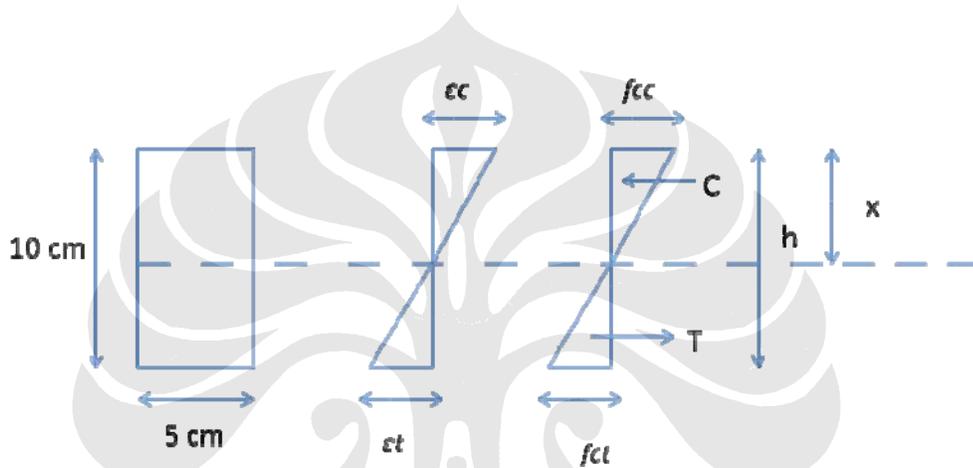
Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 5.5 cm	0.00059856	mm	0.012604	1	27
	1.8919E-05	mm	0.0010643	3	

V.6 BALOK RENDAM 1%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.25 Model Penampang Balok R 1%



Gambar V.26 Distribusi Tegangan Regangan Elastis Balok R 1%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 cm

Sehingga, momen nominal beton :

$$M_n = \frac{1}{2} b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm}$$

$$= 104171,875 \text{ Ncm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak}$$

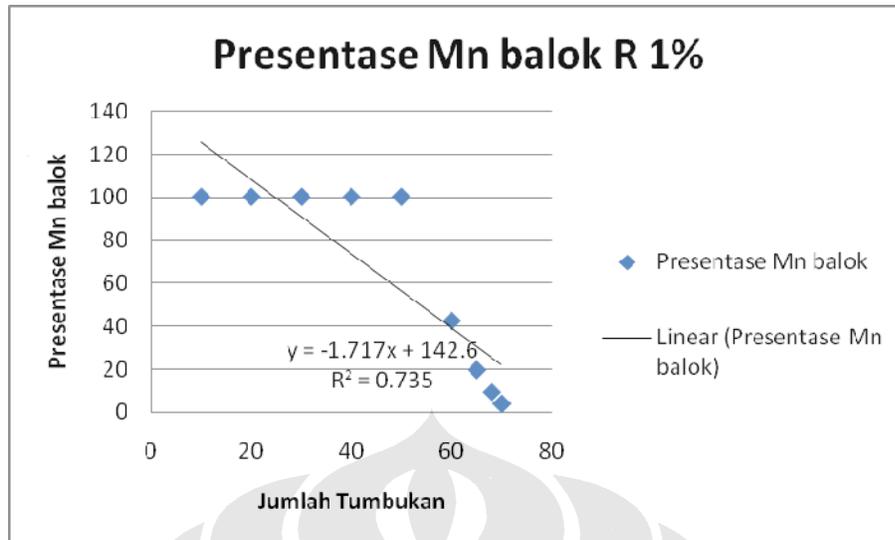


Gambar V.27. Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok R 1%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.14 Momen nominal balok R 1%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Momen nominal balok setelah retak
3,5	42,25%
5,6	19,36%
7	9%
8,1	3,61%



Gambar V.28. Penurunan presentase Mn balok R 1%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.15 Regangan balok R 1%

Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
1 s/d 59	-	-
64	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$
65	0,12	10^{-4}
66	1	$8,33 \cdot 10^{-4}$
67	2,1	$1,75 \cdot 10^{-3}$

Perhitungan Lendutan

Tabel V.16 Lendutan balok R 1%

Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 3.5 cm	0.00060992	mm	0.011207	1	60
	1.8545E-05	mm	0.001052	3	

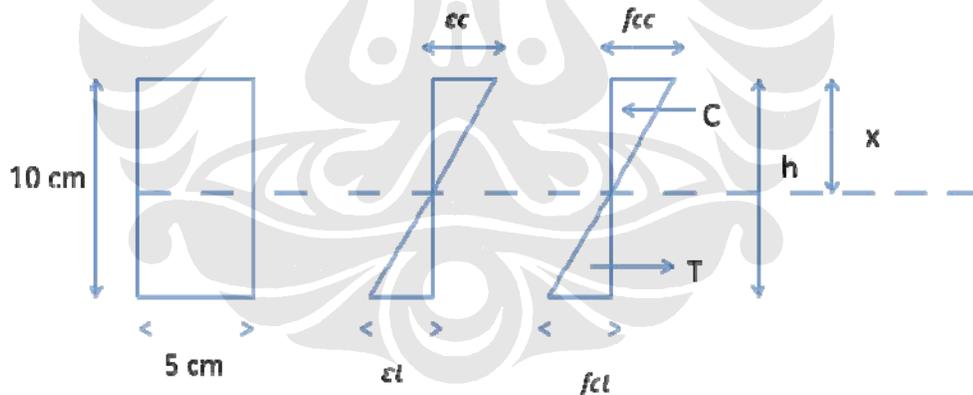
Retak 5.6 cm	0.00065255	mm	0.012742	1	65
	1.8948E-05	mm	0.001064	3	
Retak 7 cm	0.00088623	mm	0.016689	1	68
	1.9623E-05	mm	0.001083	3	
Retak 8.1 cm	0.0023454	mm	0.027895	1	70
	2.1283E-05	mm	0.001127	3	

V.7 BALOK RENDAM 2%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.29 Model Penampang Balok R 2%



Gambar V.30 Distribusi Tegangan Regangan Elastis Balok R 2%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 cm

Sehingga, momen nominal beton :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm} \\ &= 104171,875 \text{ Ncm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak} \end{aligned}$$



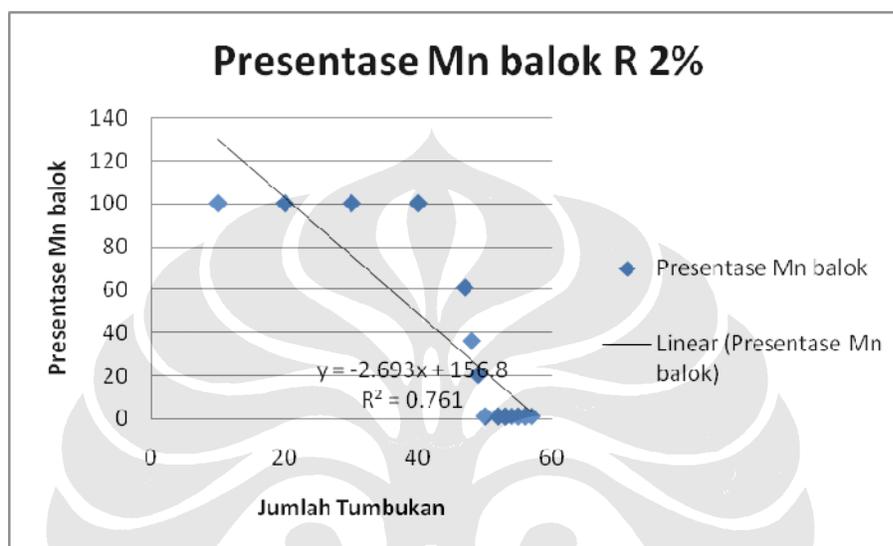
Gambar V.31 Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok R 2%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.17 Momen nominal balok R 2%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Moman nominal balok setelah retak
2,2	60,84%

4	36%
5,5	20,25%
9	1%



Gambar V.32. Penurunan presentase Mn balok R 2%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.18 Regangan balok R 2%

Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
1 s/d 46	-	-
47	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$
48	0,12	10^{-4}
49	0,24	$2 \cdot 10^{-4}$
50	1,05	$8,75 \cdot 10^{-4}$
52	1,4	$1,16667 \cdot 10^{-3}$

Perhitungan Lendutan

Tabel V.19 Lendutan balok R 2%

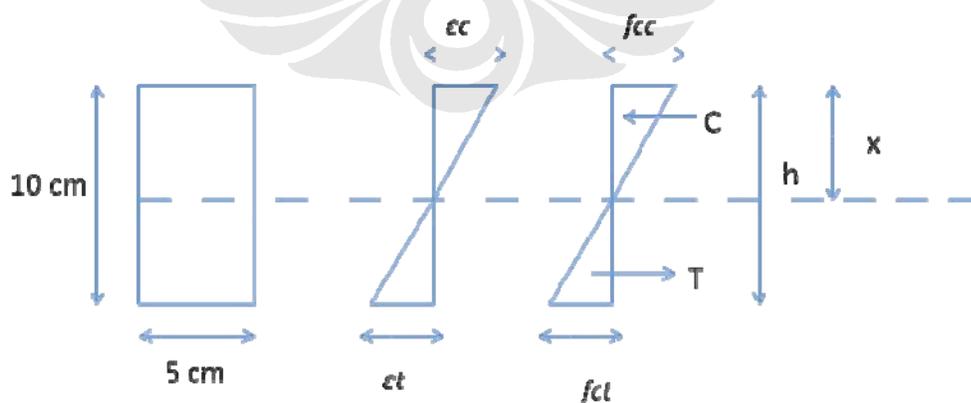
Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 2.2 cm	0.00055749	mm	0.010904	1	47
	1.8414E-05	mm	0.001049	3	
Retak 4 cm	0.00058781	mm	0.011402	1	50
	1.8613E-05	mm	0.001054	3	
Retak 5.5 cm	0.00059856	mm	0.012604	1	54
	1.8919E-05	mm	0.001063	3	
Retak 9 cm	0.014152	mm	0.068519	1	57
	2.9451E-05	mm	0.001326	3	

V. 8 BALOK RENDAM 3%

Perhitungan Momen Nominal



Gambar V.33 Model Penampang Balok R 3%



Gambar V.34 Distribusi Tegangan Regangan Elastis Balok R 3%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{cc} = \frac{x}{(h-x)} f_{ct}$$

$$f_{cc} = f_{ct} = 0,05 f_c'$$

Didapat, $f_{ct} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Gaya tekan di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot f_{cc}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton} = \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct}$$

Jarak antara C dan T = 66,67 cm

Sehingga, momen nominal beton :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} b \cdot (h-x) \cdot f_{ct} \cdot 66,67 \text{ cm} \\ &= 104171,875 \text{ Nmm} \rightarrow \text{sebelum terjadi retak} \end{aligned}$$

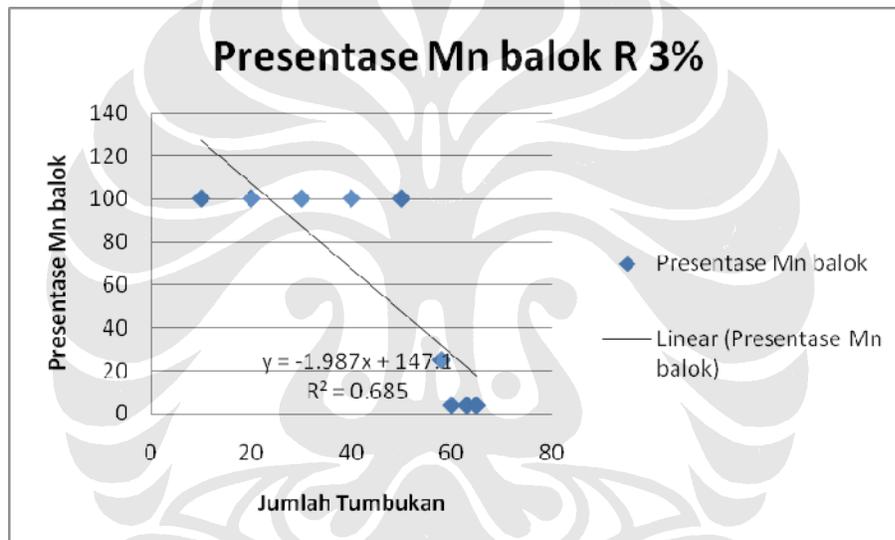


Gambar V.35. Foto keretakan dan pengukuran lebar retak Balok R 3%

Dengan cara yang sama, dalam kondisi elastis dapat dihitung Momen nominal ketika sudah terjadi retak :

Tabel V.20 Momen nominal balok R 3%

Tinggi Retak dari dasar balok (cm)	Persentase Moman nominal balok setelah retak
5	25%
8	4%



Gambar V.36. Penurunan presentase Mn balok R 3%

Perhitungan Regangan

Selain itu, dapat dihitung lebar retak setiap tumbukan :

Tabel V.21 Regangan balok R 3%

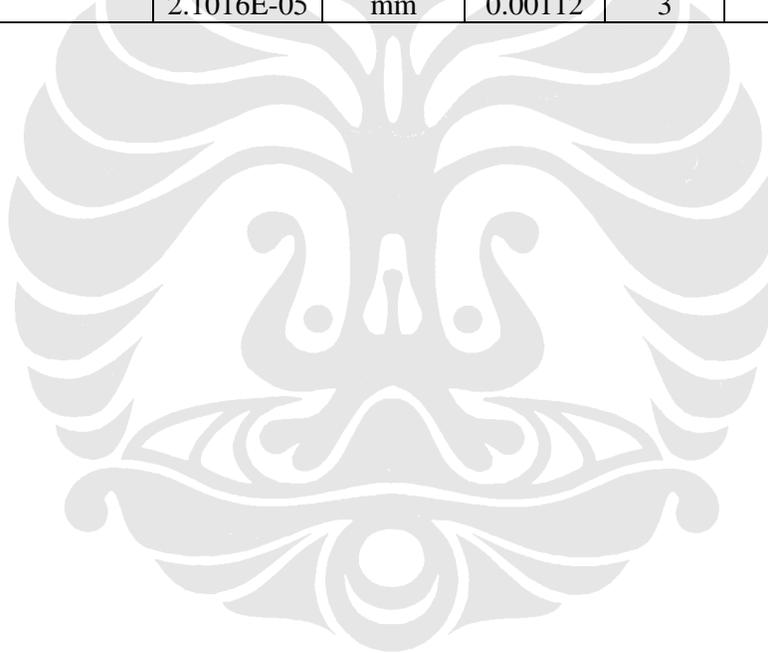
Jumlah tumbukan	Lebar Retak (mm)	Regangan $\Delta L/L$
1 s/d 57	-	-
58	0,05	$4,16667 \cdot 10^{-5}$

60	0,12	10^{-4}
63	1,04	$8,6667 \cdot 10^{-4}$
65	3,31	$2,7583 \cdot 10^{-3}$

Perhitungan Lendutan

Tabel V.22 Lendutan balok R 3%

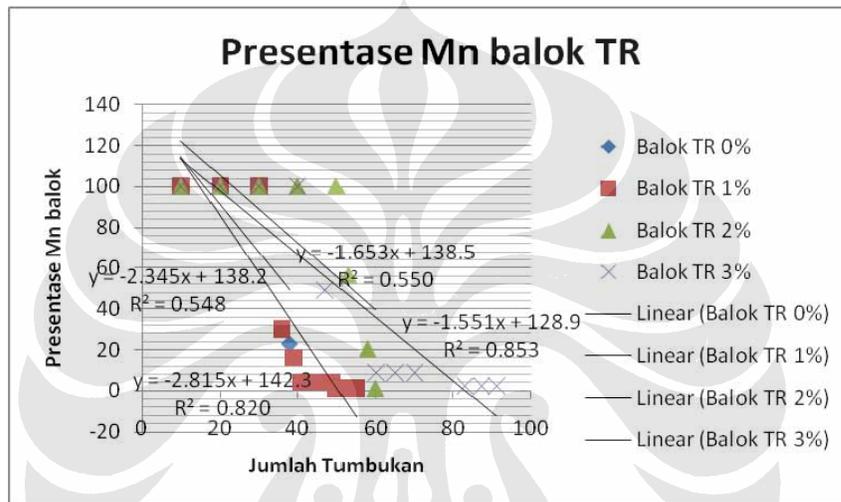
Tinggi retak (cm)	Lendutan	Satuan	Periode (s)	Mode	Tumbukan ke
Retak 5 cm	0.00060821	mm	0.012053	1	58
	1.8793E-05	mm	0.001059	3	
Retak 8 cm	0.00205773	mm	0.026127	1	60
	2.1016E-05	mm	0.00112	3	



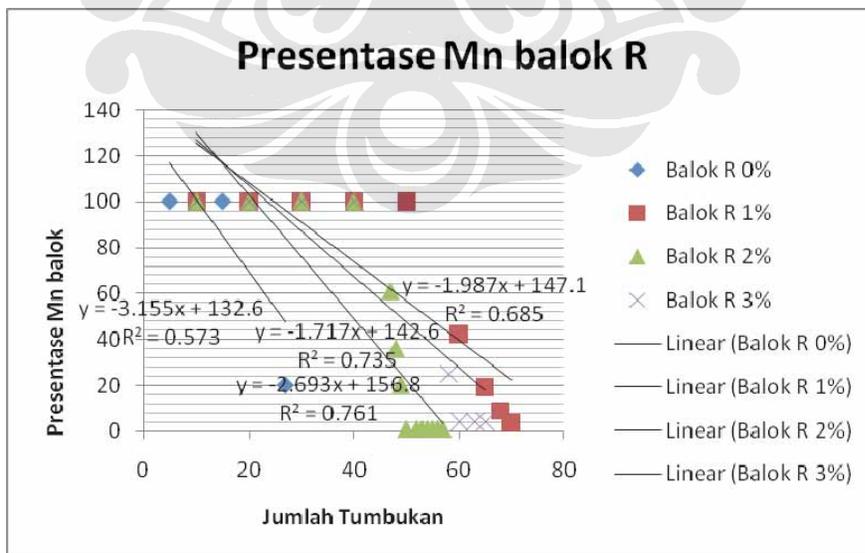
Momen nominal gabungan

Momen nominal balok beton juga semakin menurun seiring dengan banyaknya tumbukan. Fenomena ini terjadi karena semakin berkurangnya luasan efektif penampang balok beton tersebut akibat retak yang terus bertambah tinggi.

Penurunan momen nominal balok juga dapat menggambarkan umur kelelahan *fatigue life* balok tersebut. Untuk balok TR, umur terpanjang ditunjukkan oleh balok TR 3% dan untuk balok R, umur terpanjang ditunjukkan oleh balok R 3%.

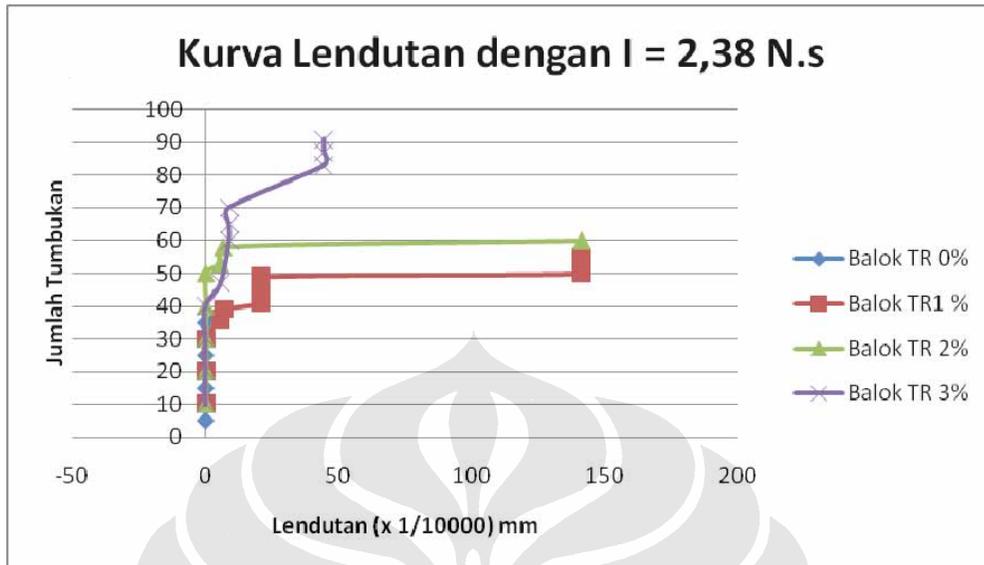


Gambar V.37. Penurunan presentase Mn balok TR

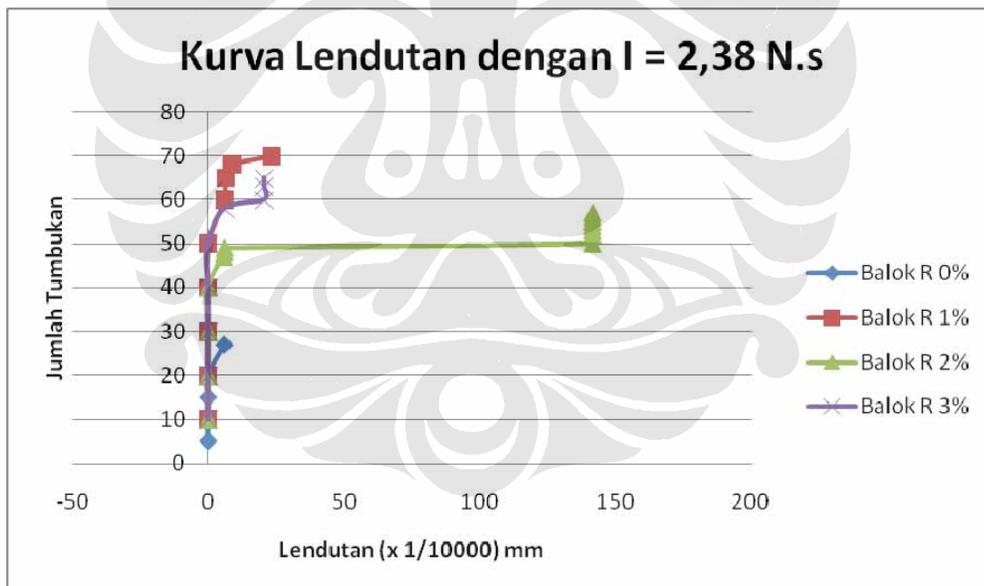


Gambar V.38. Penurunan presentase Mn balok R

Grafik gabungan lendutan vs jumlah tumbukan



Gambar V.39. Kurva lendutan balok TR



Gambar V.40. Kurva lendutan balok R

Berdasarkan grafik lendutan diatas, dapat diambil kesimpulan, bahwa balok TR 1% dan TR 2% merupakan balok yang paling daktail ditandai dengan besarnya lendutan yang terjadi pada material balok tersebut sebelum balok tersebut mengalami keruntuhan. Tetapi di lain sisi, kedua balok tersebut tidak

menunjukkan *fatigue life* yang panjang. Selanjutnya, di kelas balok rendam dapat dilihat, balok R 2% menunjukkan *fatigue life* yang tidak terlalu panjang tetapi dapat menunjukkan deformasi yang cukup besar dibandingkan variasi balok rendam lainnya.

