

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian bahan – bahan pembuatan beton

4.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah PPC (*Portland Pozzoland Cement*) jenis IP-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik yang umum digunakan. Pengujian tidak dilakukan namun semen PPC telah memenuhi standar sesuai dengan SNI 15 – 0302 – 2004, serta telah memenuhi syarat pengujian kimia dan fisika sesuai dengan SNI 15 – 2049 – 2004.

4.1.2 Air

Air untuk campuran pembuatan beton yaitu air PDAM kota Malang yang sudah dikenal sesuai standar yang sudah ditetapkan peraturan yaitu

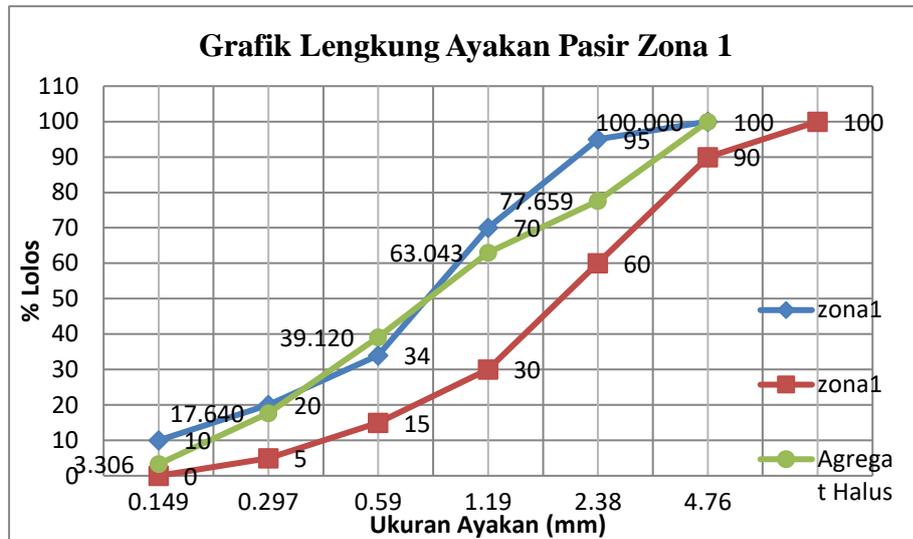
1. kadar keasaman 6.0 sampai 8.0
2. rasanya tidak payau;
3. air bersih, tidak mengandung minyak, asam, serta bahan yang dapat merusak tulangan.

Kualitas air harus diperhatikan sebab :

1. Dapat mempengaruhi / menghambat proses setting semen.
2. Menimbulkan efek negative pada kekuatan beton
3. Mengakibatkan noda – noda pada permukaan beton
4. Menimbulkan korosi pada tulangan

4.1.3 Agregat Halus

4.1.3.1 Pengujian Gradasi Agregat Halus



Gambar 4.1 Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat halus

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir Lumajang, Hasil uji pemeriksaan gradasi agregat halus seperti pada gambar 4.1 menunjukkan pasir Lumajang ini termasuk dalam Zona 1 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 3,066% yang memenuhi syarat modulus halus butir sesuai ASTM C-33 yaitu 2,20% – 3,10%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian pada agregat halus ini sehingga lumpr yang melekat pada agregat halus menjadi hilang.

4.1.3.2 Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus

Tabel 4.1

Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus

Kadar air rata - rata	0,05	%
Berat isi rata - rata	1,63	gr/cc

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pemeriksaan kadar air berfungsi untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berat isi agregat kasar adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Data yang didapatkan dari pengujian agregat halus yakni diperlihatkan pada tabel 4.1 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.

4.1.3.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tabel 4.2
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,5068
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	2,5201
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	2,5407
Penyerapan (%) (Absorption)	0,5258

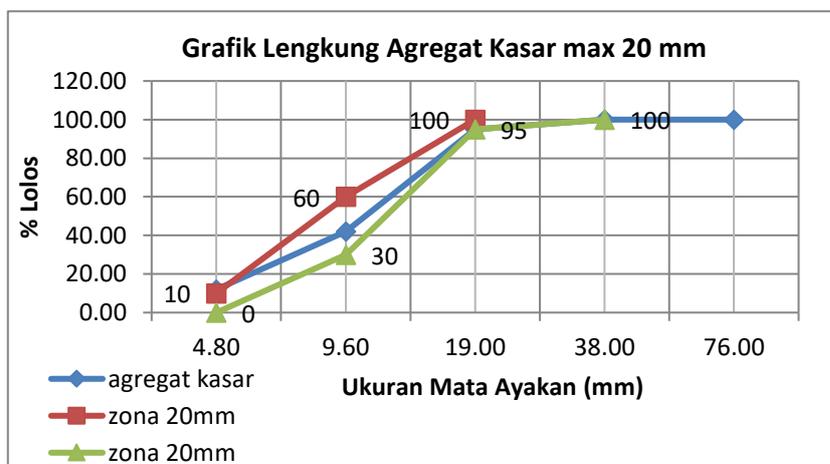
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Berat jenis yaitu adalah perbandingan berat pasir dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan pasir. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan persentase penyerapan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel 4.2.

Dari tabel 4.2 didapatkan hasil berat jenis kering permukaan jenuh yaitu sebesar 2,5201 sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20. Dan penyerapan air sebesar 0,5258% memenuhi syarat yaitu 0,2%-2,0%.

4.1.4 Agregat Kasar Kerikil

4.1.4.1 Pengujian Gradasi Agregat Kerikil



Gambar 4.2 Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat kasar normal

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian untuk pembuatan balok beton bertulang normal merupakan batu pecah dari kota Malang. Hasil uji pemeriksaan gradasi agregat kasar menunjukkan gradasi agregat maksimum 20 mm seperti yang akan ditunjukkan pada gambar 4.2 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 6,26% memenuhi syarat sesuai pada ASTM C-33 yaitu 5,5%-8,5%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian pada agregat kerikil ini sehingga lumpur yang melekat pada agregat kasar menjadi hilang.

4.1.4.2 Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Keikil

Tabel 4.3
Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kerikil

Kadar Air rata-rata	0,00548	%
Berat isi agregat kasar rata-rata	1,6	gr/cc

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pemeriksaan kadar air berfungsi untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berat isi agregat halus adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Data yang didapatkan dari pengujian agregat kasar batu pecah yakni diperlihatkan pada tabel 4.3 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.

4.1.4.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kerikil

Tabel 4.4
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kerikil

Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,702
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	2,727
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	2,772
Penyerapan (%) (Absorption)	0,933

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

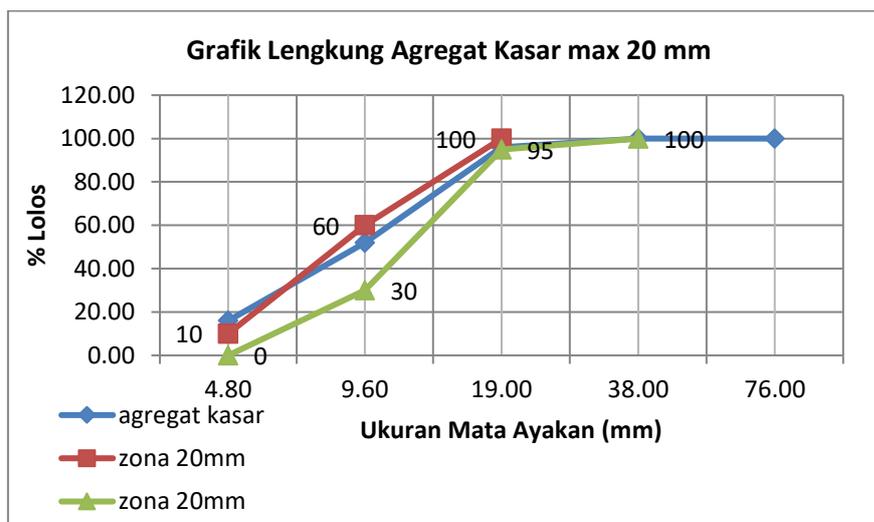
Berat jenis yaitu adalah perbandingan berat agregat kasar normal dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan kerikil. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui

berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan persentase penyerapan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel 4.4.

Dari tabel 4.4 didapatkan hasil berat jenis kering permukaan jenuh agregat kasar normal yaitu sebesar 2,727 sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20. Dan penyerapan air sebesar 0,933% memenuhi syarat yaitu kurang dari 1%.

4.1.5 Agregat Kasar *Onyx*

4.1.5.1 Pengujian Gradasi Agregat *Onyx*



Gambar 4.3 Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat kasar *Onyx*

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian untuk pembuatan balok beton bertulang *Onyx* merupakan limbah pecahan batu *Onyx* berasal dari Campurdarat, Tulungagung. Hasil uji pemeriksaan gradasi agregat kasar limbah *Onyx* menunjukkan gradasi agregat maksimum 20 mm seperti yang akan ditunjukkan pada gambar 4.3 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 5,96% telah memenuhi syarat ASTM C-33 yaitu 5,5%-8,5%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian pada agregat kasar *Onyx* ini sehingga lumpur yang melekat pada agregat kasar menjadi hilang.

4.1.5.2 Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat *Onyx*

Tabel 4.5
Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat *Onyx*

Kadar Air rata-rata	0,0091	%
Berat isi agregat <i>Onyx</i> rata-rata	1,48	gr/cc

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pemeriksaan kadar air berfungsi untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berat isi agregat kasar adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Data yang didapatkan dari pengujian agregat kasar batu pecah yakni diperlihatkan pada tabel 4.5 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.

4.1.5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat *Onyx*

Tabel 4.6
Berat Jenis *dan* Penyerapan Agregat *Onyx*

Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,598
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	2,607
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	2,622
Penyerapan (%) (Absorption)	0,341

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Berat jenis yaitu adalah perbandingan berat agregat kasar *onyx* dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan agregat kasar *onyx*. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan persentase penyerapan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel 4.6.

Dari tabel 4.6 didapatkan hasil berat jenis kering permukaan jenuh agregat kasar normal yaitu sebesar 2,607 sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20. Dan penyerapan air sebesar 0,341% memenuhi syarat yaitu kurang dari 1%.

4.2 Mix Desain

Perencanaan campuran (Mix design) bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis pengujian.

Tabal 4.7
Perhitungan Mix Desain

URAIAN	AGREGAT <i>ONYX</i>		AGREGAT KERIKIL	
Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	20	Mpa	20	Mpa
Deviasi standar	-		-	
Nilai Tambah (Margin)	12	Mpa	12	Mpa
Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	32	Mpa	32	Mpa
Jenis Semen	PPC		PPC	
Jenis Agregat Kasar	Batu <i>Onyx</i>		Batu pecah	
Jenis Agregat Halus	Pasir Lumajang		Pasir Lumajang	
Faktor Air semen Bebas	0,4		0,4	
Faktor air semen Maksimum	0,6		0,6	
Slump	60 - 180 mm		60 - 180 mm	
Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	20	mm
Kadar Air Bebas	205	kg/m ³	205	kg/m ³
Jumlah semen	512,5	kg/m ³	512,5	kg/m ³
Jumlah Semen Maksimum	-		-	
Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³	275	kg/m ³
FAS yg disesuaikan	-		-	
Susunan besar butir agregat halus	Zona 1		Zona 1	
Persen agregat halus	0,44		0,44	
Berat jenis relatif agregat (SSD)	2,569	kg/m ³	2,636	kg/m ³
Berat isi beton	2310	kg/m ³	2360	kg/m ³
Kadar agregat gabungan	1592,5	kg/m ³	1642,5	kg/m ³
Kadar agregat halus	700,7	kg/m ³	722,7	kg/m ³
Kadar agregat kasar	891,8	kg/m ³	919,8	kg/m ³

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

4.3 Campuran Beton

Tabel 4.8
Campuran Beton Normal

Banyaknya Bahan	Semen (kg)	Air (kg/lit)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	512,50	205,00	722,70	919,80
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	20,50	72,27	91,98
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	512,50	216,52	719,26	911,72
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	21,65	71,93	91,17

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.9
Campuran Beton *Onyx*

Banyaknya Bahan	Semen (kg)	Air (kg/lit)	Pasir (kg)	<i>Onyx</i> (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	512,50	205	700,70	891,80
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	20,50	70,07	89,18
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	512,50	211,29	697,37	888,84
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	21,13	69,74	88,88

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Campuran beton normal yang digunakan pada penelitian ini dengan perbandingan semen : air : pasir : kerikil adalah 1 : 0,42 : 1,4 : 1,78 dengan faktor air semen (FAS) 0,4. Sedangkan untuk pembuatn beton agregat batu *onyx* menggunakan perbandingan semen : air : pasir : agregat batu *onyx* adalah 1 : 0,41 : 1,36 : 1,73 dengan faktor air semen (FAS) 0,4. Dasar penentuan campuran sesuai dengan mix desain diatas.

4.4 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slum. Pengujian slump menggunakan kerucut abrams yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan serta kemudahan dalam pengerjaan campuran beton (*workability*). Benda uji untuk beton dengan agregat kasar batu kerikil yang diberi nama N (*Normal*) dan agregat kasar limbah *onyx* diberi nama O (*Onyx*). Hasil dari pengujian slum beton normal dan *onyx* sebagai berikut :

Tabel 4.10
Tabel Pengujian Slum Beton Normal dan *Onyx*

No	Beton Normal	Slump (cm)	Rata - rata (cm)	Beton <i>Onyx</i>	Slump (cm)	Rata - rata (cm)
1	N1	16		O1	15,6	
2	N2	20		O2	15	
3	N3	18,3		O3	16	
4	N4	15		O4	14,5	
5	N5	15	15,83	O5	16	15,39
6	N6	13,5		O6	15	
7	N7	15,5		O7	15,2	
8	N8	15		O8	15,6	
9	N9	14,8		O9	16	
10	N10	15,2		O10	15	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.10 slump rata -rata beton agregat normal 15,83 cm dan beton agregat limbah *onyx* 15,39 memenuhi syarat yang telah ditetapkan yaitu 60 – 180 mm.

4.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian beton keras yaitu kuat tekan benda uji silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan setelah beton berusia 28 hari, dengan menggunakan alat “*Compression Testing Machine*”. Pada pengujian kuat tekan beton digunakan total 40 benda uji silinder, dengan masing – masing 20 buah benda uji untuk beton normal dan *onyx*. Rinciannya adalah pada masing – masing benda uji balok beton bertulang terdiri dari 2 silinder beton. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil seperti pada table berikut :

Tabel 4.11
Kuat Tekan Beton Normal

No	Kode Beton	Umur (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	N1-S1	28	13,25	30,80	
2	N1-S2	28	13	25,77	
3	N2-S1	28	13,15	30,91	
4	N3-S1	28	13,05	23,11	
5	N4-S1	28	13	31,78	
6	N5-S1	28	13	40,16	
7	N5-S2	28	13,25	43,68	
8	N6-S1	28	13,65	41,78	
9	N6-S2	28	13,3	30,11	35,72
10	N7-S1	28	13,2	38,77	
11	N7-S2	28	13,15	37,67	
12	N8-S1	28	13,1	37,56	
13	N8-S2	28	13,6	39,87	
14	N9-S1	28	13,25	38,71	
15	N10-S1	28	13,05	41,03	
16	N10-S2	28	13	39,87	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.12
Kuat Tekan Beton *Onyx*

No	Kode Beton	Umur (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	O1-S1	28	12,5	31,78	
2	O1-S2	28	13,15	37,56	
3	O2-S1	28	13,05	32,94	
4	O2-S2	28	12,9	27,56	
5	O3-S1	28	13,15	35,02	
6	O3-S2	28	13,1	31,20	
7	O4-S1	28	13,35	34,67	
8	O5-S1	28	13,2	32,94	
9	O6-S1	28	12,9	32,36	
10	O6-S2	28	13	32,94	32,92
11	O7-S1	28	12,9	37,27	
12	O7-S2	28	13,05	31,72	
13	O8-S1	28	13,25	33,86	
14	O8-S2	28	13,25	27,79	
15	O9-S1	28	13,2	32,53	
16	O9-S2	28	13	31,49	
17	O10-S1	28	13	32,99	
18	O10-S2	28	13,2	35,88	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.11 dan 4.12 didapat hasil nilai perbandingan antara kuat tekan beton normal dan *onyx*, dimana kuat tekan beton normal rata – rata yaitu sebesar 35,72 Mpa dan untuk beton dengan agregat limbah *onyx* nilai kuat tekan rata – rata sebesar 32,92 Mpa. Menunjukkan kuat tekan rata – rata beton agregat *onyx* lebih kecil dari beton agregat normal namun masih memenuhi kuat tekan rencana yaitu 32 Mpa.

Untuk membuktikan kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar daripada beton *onyx* dilakukan uji statistik berupa uji T.

Hipotesa : $H_0 = X_1 \leq X_2$, Kuat tekan beton *onyx* tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal

$H_a = X_1 > X_2$, Kuat tekan beton *onyx* lebih baik dari kuat tekan beton normal

Uji t (perhitungan nilai t), tolak H_0 apabila harga thitung(t_0) sama atau lebih besar dari harga ttabel ($t(1-\alpha)(db)$)

Uji Homogenitas

Hipotesis : $H_0 = X_1 \geq X_2$ Kedua varians homogen

$H_a = X_1 < X_2$ Kedua varian tidak homogen (heterogen)

Uji F (perhitungan nilai F), tolak H_0 apabila harga Fhitung(F_0) sama atau lebih besar dari harga Ftab ($F(\alpha)(n_1-1, n_2-1)$)

Tabel 4.13

Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton *Onyx*

No	Kode	X	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt) ²
1	O1-S1	31,78		-1,14	1,29
2	O1-S2	37,56		4,64	21,56
3	O2-S1	32,94		0,02	0,0004
4	O2-S1	27,56		-5,36	28,69
5	O3-S1	35,02		2,10	4,42
6	O3-S2	31,2		-1,72	2,95
7	O4-S1	34,67		1,75	3,07
8	O5-S1	32,94		0,02	0,0004
9	O6-S1	32,36	32,92	-0,56	0,31
10	O6-S2	32,94		0,02	0,0004
11	O7-S1	37,27		4,35	18,95
12	O7-S2	31,72		-1,20	1,43
13	O8-S1	33,86		0,94	0,89
14	O8-S2	27,79		-5,13	26,28
15	O9-S1	32,53		-0,39	0,15
16	O9-S2	31,49		-1,43	2,04
17	O10-S1	32,99		0,07	0,014
18	O10-S2	35,88		2,96	8,78
Jumlah					120.83

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - X_{rt})^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Onyx} = \sqrt{\frac{120,83}{(18 - 1)}}$$

$$Sd \text{ onyx} = 2,66603$$

$$S^2 \text{ onyx} = 7,10769$$

Tabel 4.14

Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton Normal

No	Kode Beton	X	X _{rt}	X-X _{rt}	(X-X _{rt}) ²
1	N1-S1	30,8		-4,92	24,24
2	N1-S2	25,77		-9,95	99,08
3	N2-S1	30,91		-4,81	23,17
4	N3-S1	23,11		-12,61	159,11
5	N4-S1	31,78		-3,94	15,55
6	N5-S1	40,16		4,44	19,68
7	N5-S2	43,68		7,96	63,30
8	N6-S1	41,78	35,72	6,06	36,68
9	N6-S2	30,11		-5,61	31,51
10	N7-S1	38,77		3,05	9,28
11	N7-S2	37,67		1,95	3,79
12	N8-S1	37,56		1,84	3,37
13	N8-S2	39,87		4,15	17,19
14	N9-S1	38,71		2,99	8,92
15	N10-S1	41,03		5,31	28,16
16	N10-S2	39,87		4,15	17,19
Jumlah					560,22

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - X_{rt})^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Normal} = \sqrt{\frac{560,22}{(16 - 1)}}$$

$$Sd \text{ normal} = 6,11132$$

$$S^2 \text{ normal} = 37,3482$$

Tabel 4.15
Perbandingan Nilai *Onyx* dan Normal

Dicari	<i>Onyx</i>	Normal
Jumlah sampel (n)	18	16
Rata - rata (x)	32,92	35,72
Simpangan baku (Sd)	2,6660	6,1113
Varians (S ²)	7,1077	37,3482

$$F \text{ hitung} = \frac{S^2 \text{Onyx}}{S^2 \text{Normal}}$$

$$F \text{ hitung} = \frac{7,1077}{37,3482}$$

$$F \text{ hitung} = 0.19031$$

$$F_{0,05(17,15)} = 2.36827$$

$F \text{ hit} < F \text{ tab}$, H_0 diterima kedua Variasi homogen

Perhitungan T

$$S = \sqrt{\frac{(n1 - 1)S1^2 + (n2 - 1)S2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(18 - 1)7,10769 + (16 - 1)37,3482}{18 + 16 - 2}}$$

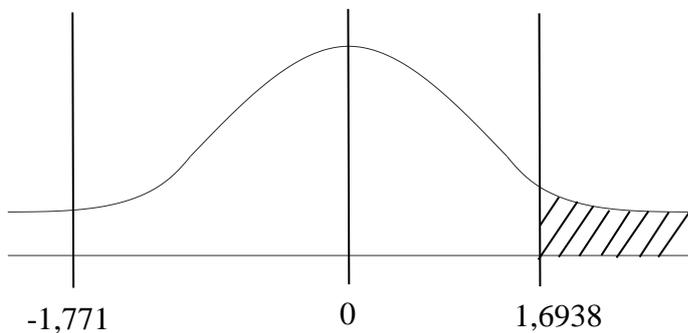
$$S = 4.6133$$

$$T \text{ hit} = \frac{x1 - x2}{s \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}}$$

$$T \text{ hit} = \frac{32,92 - 35,72}{4,61334 \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{16}}}$$

$$T \text{ hit} = -1,771$$

$$t \text{ tabel } T_{0,05(32)} = 1,69389$$



Gambar 4.4 Distribusi T satu arah uji tekan

Tolak H_0 apabila harga $t_{hitung}(t_0)$ sama atau lebih besar dari harga $t_{tabel}(T(\alpha)(db))$, H_0 diterima kuat tekan beton *onyx* tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal.

4.6 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan sebenarnya dari tulangan yang digunakan dalam penelitian ini. Tulangan baja yang digunakan terdiri dari tulangan Ø12 mm sebagai tulangan utama, dan tulangan Ø8 sebagai sengkang. Tiap – tiap tulangan diberi 4 sampel benda uji, yang masing – masing diukur diameter, panjang awal dan beratnya.

Tabel 4.16
Mutu baja Ø8

Nama Pengukuran	Ø 8-1	Ø 8-2	Ø8-3	Ø8-4	Rata - Rata	Satuan
Diameter	7,67	7,69	7,45	7,45	7,565	mm
Panjang Awal	80	80	80	80	80,000	mm
Berat	362	364	342	342	352,500	gr/m
Luas Awal	46,16	46,42	43,61	43,61	44,950	mm ²
Beban Leleh	17,5	17,6	17,5	17,4	17,500	KN
Pertambahan Panjang Leleh	3,5	3,75	3	3,5	3,438	mm
Beban Putus	19	19,2	19,2	18,8	19,050	KN
Pertambahan Panjang Putus	33,5	32	33	36,75	33,813	mm
Py	17500	17600	17500	17400	17500	N
εy	4,375	4,688	3,750	4,375	4,297	%
fy	379,116	379,147	401,284	398,991	389,635	MPa
Pu	19000	19200	19200	18800	19050	N
εu	41,875	40,000	41,250	45,938	42,266	%
fu	411,612	413,615	440,266	431,094	424,147	MPa

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Perhitungan

Tabel 4.17
Mutu baja Ø12

Nama Pengukuran	Ø12-1	Ø12-2	Ø12-3	Ø12-4	Rata - Rata	Satuan
Diameter	11,770	11,790	11,840	11,830	11,808	mm
Panjang Awal	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	mm
Berat	853,330	855,830	863,330	861,600	858,523	gr/m
Luas Awal	108,847	109,140	110,100	109,890	109,494	mm ²
Beban Leleh	36,700	37,000	37,300	37,200	37,050	KN
Pertambahan Panjang Leleh	7,000	5,000	6,000	6,000	6,000	mm
Beban Putus	38,500	39,000	39,200	39,300	39,000	KN
Pertambahan Panjang Putus	53,000	50,000	56,000	47,000	51,500	mm
Py	36700	37000	37300	37200	37050	N
εy	5,833	4,167	5,000	5,000	5,000	%
fy	337,170	339,014	338,783	338,520	338,372	MPa
Pu	38500	39000	39200	39300	39000	N
εu	44,167	41,667	46,667	39,167	42,917	%
fu	353,707	357,339	356,040	357,630	356,179	MPa

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Perhitungan

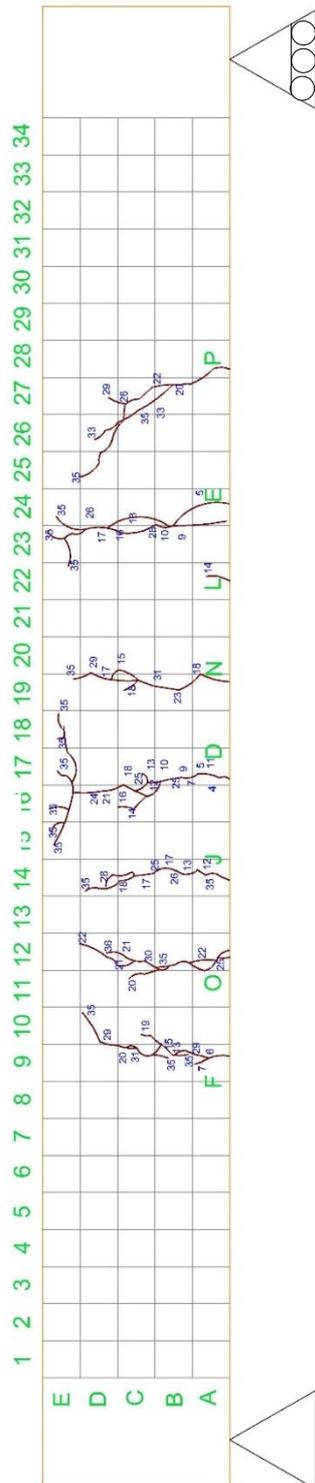
Dari hasil pengujian kuat tarik baja didapatkan nilai rata – rata tegangan leleh baja f_y Ø8 adalah sebesar 389,635 MPa, sementara untuk baja dengan Ø12 yang digunakan sebagai tulangan utama memiliki tegangan leleh rata – rata rata f_y Ø12 sebesar 338,372 MPa.

4.7 Pola Retak Balok Normal RC-N1 – RC-N10

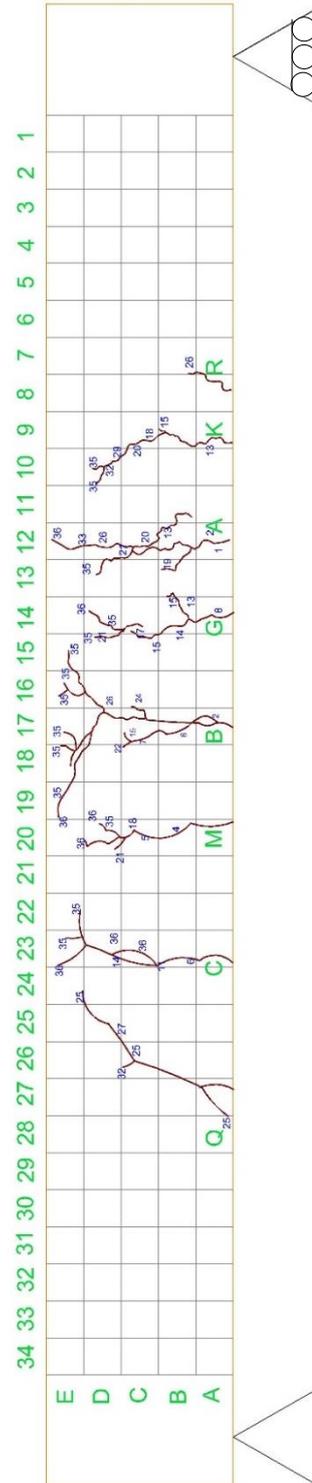
Benda uji untuk beton dengan agregat kasar batu kerikil yang diberi nama RC – N (*Reinforced Concrete Normal*) dengan tiap titik retak diberi nama dengan huruf abjad mulai dari retak pertama dengan huruf A, B, C, dan seterusnya. Hasil pengamatan balok beton bertulang dengan menggunakan agregat kerikil percah RC-N1 sampai dengan RC-N10 seperti yang disajikan pada gambar dibawah berikut ini :

4.7.1 Pola Retak RC – N1

RC-N1 Depan



RC-N 1 Belakang



Gambar 4.5 Pola Retak Balok RC-N1

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

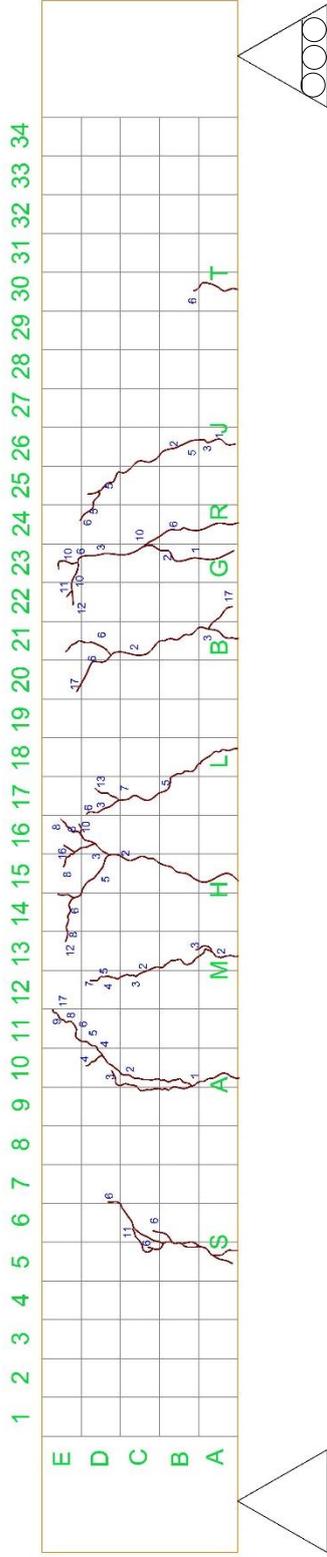
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N01, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Juga terjadi retak cabang pada tengah bentang pada daerah yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N01 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 5600 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah atas beton bertulang.

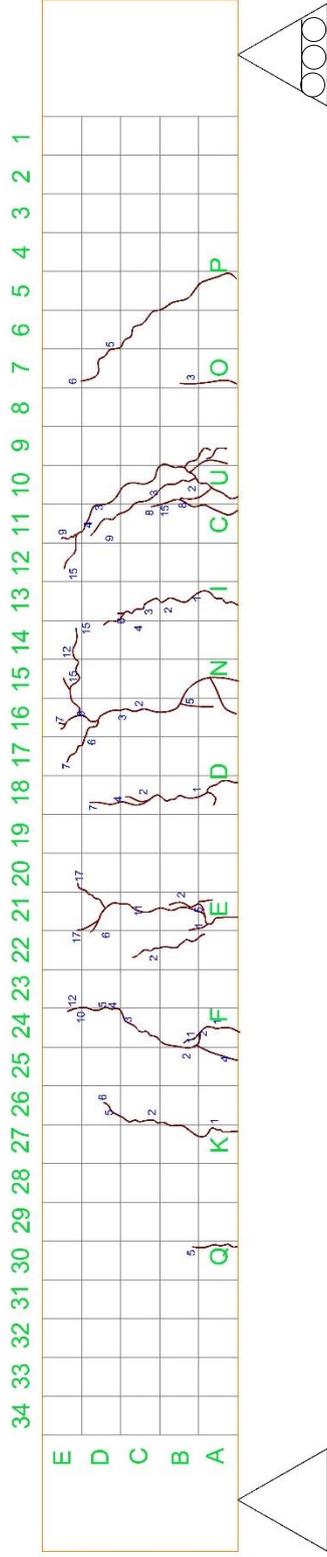
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N01 yaitu pada daerah depan terdapat 7 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 8 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N01 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 200 kg retak yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 8 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.2 Pola Retak RC – N2

RC-N 2 Depan



RC-N 2 Belakang



Gambar 4.6 Pola Retak Balok RC-N2

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

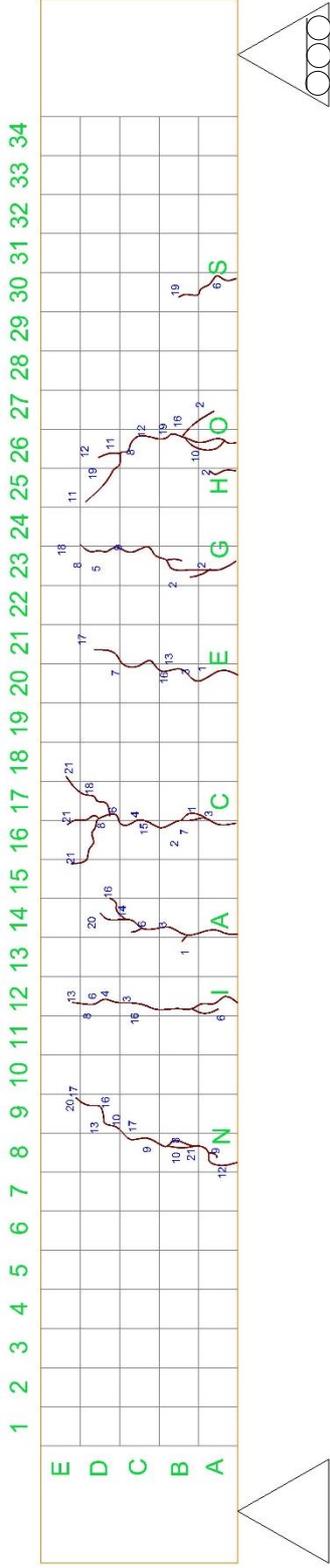
Hasil dari pengamatan balok beton bertulang normal RC – N02, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1500 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Selanjutnya mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Juga terjadi retak cabang pada tengah bentang serta samping yakni pada daerah yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N02 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6100 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah atas beton bertulang.

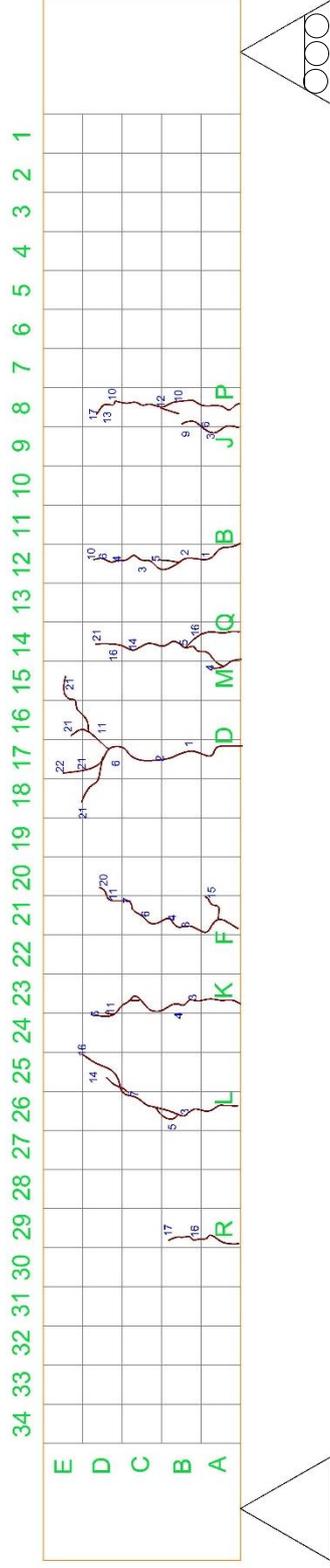
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N02 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N02 beban diberikan secara berangsur sebesar 300 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 8 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang diikuti dengan retak geser lentur. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.3 Pola Retak RC – N3

RC-N 3 Depan



RC-N 3 Belakang



Gambar 4.7 Pola Retak Balok RC-N3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

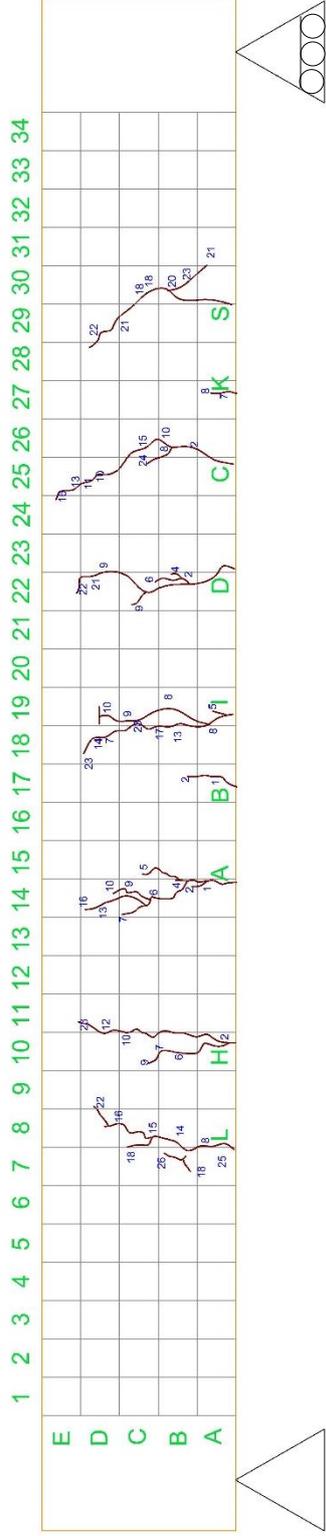
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N03, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Juga terjadi retak cabang pada tengah bentang pada daerah yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N03 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6100 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah atas beton bertulang.

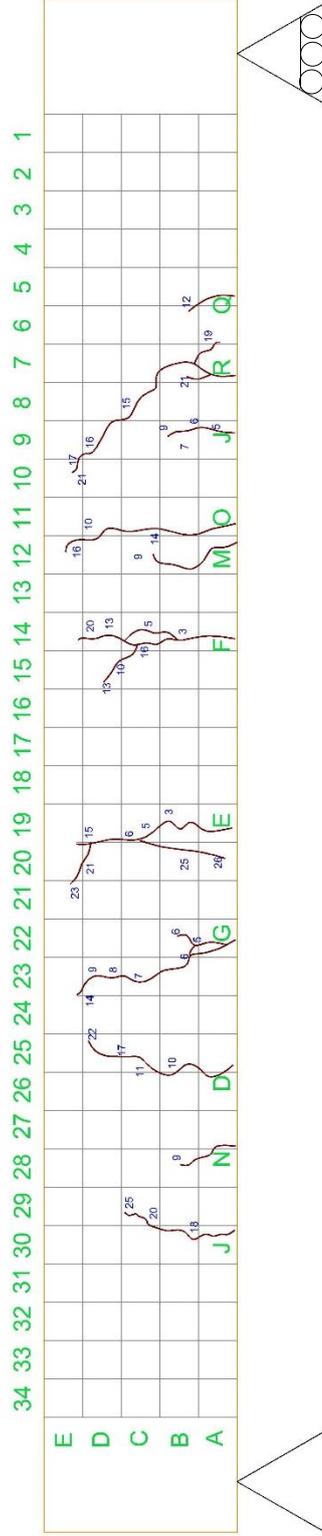
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N03 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N03 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.4 Pola Retak RC – N4

RC-N 4 Depan



RC-N 4 Belakang



Gambar 4.8 Pola Retak Balok RC-N4

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

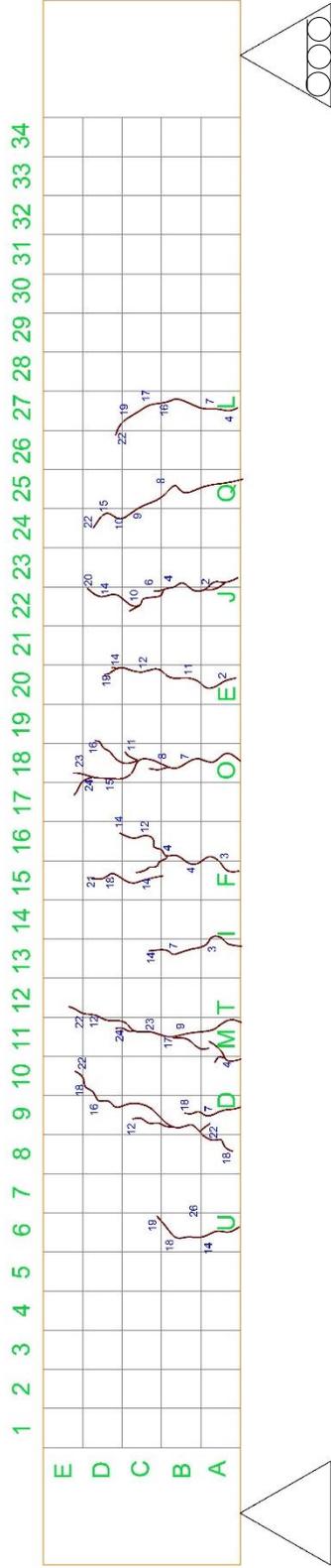
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N04, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Terjadi retak cabang yaitu daerah yang mengalami momen maksimum pada bagian yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N04 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6800 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

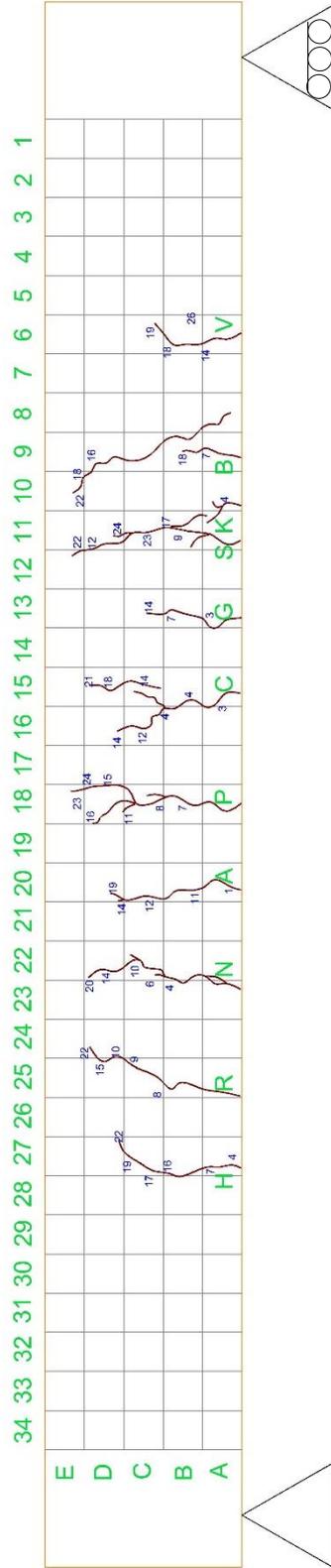
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N04 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 11 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N04 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 15 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.5 Pola Retak RC – N5

RC-N 5 Depan



RC-N 5 Belakang



Gambar 4.9 Pola Retak Balok RC-N5

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

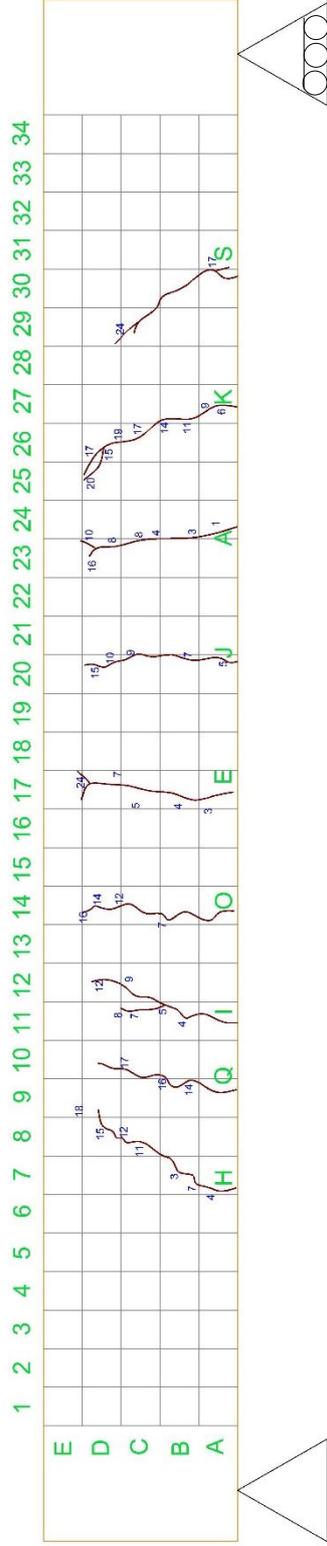
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N05, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Terjadi retak cabang pada tengah bentang serta bagian yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N05 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6300 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

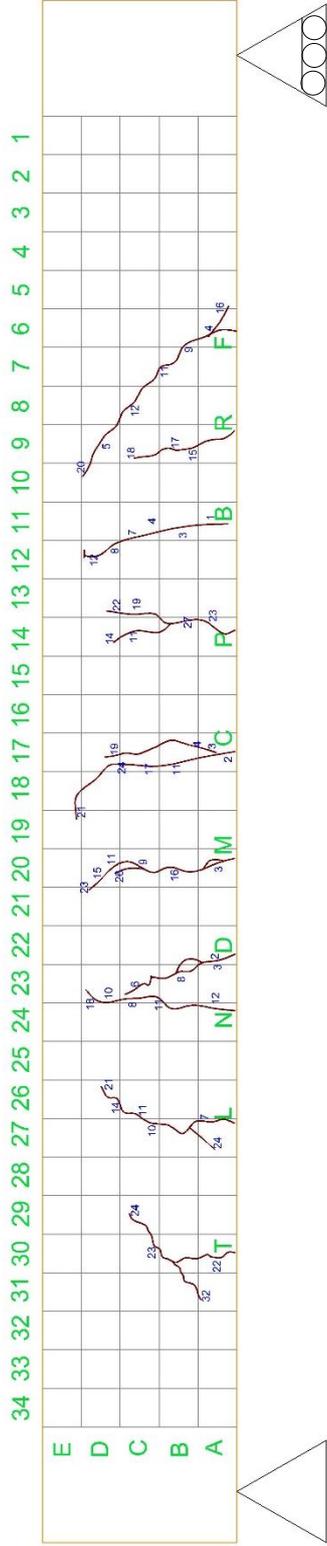
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N05 yaitu pada daerah depan terdapat 10 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N05 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 7 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.6 Pola Retak RC – N6

RC-N 6 Depan



RC-N 6 Belakang



Gambar 4.10 Pola Retak Balok RC-N6

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

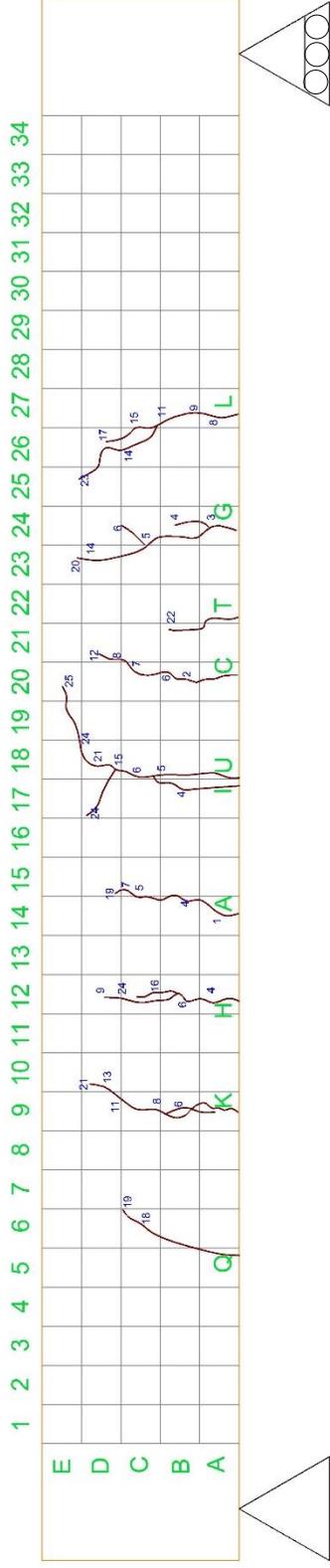
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N06, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N06 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 7300 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

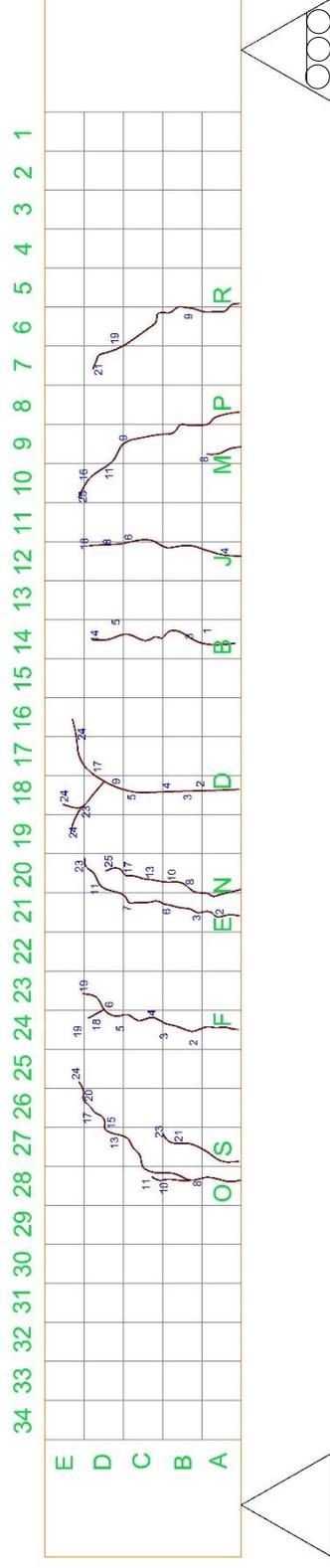
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N06 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N06 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.7 Pola Retak RC – N7

RC-N 7 Depan



RC-N 7 Belakang



Gambar 4.11 Pola Retak Balok RC-N7

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

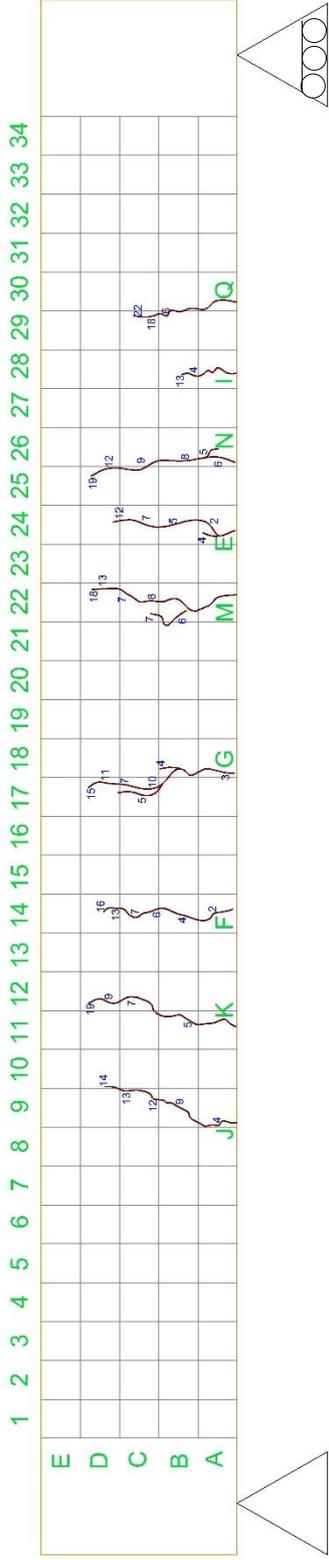
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N07, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Terjadi retak cabang pada tengah bentang pada bagian yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N07 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6600 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

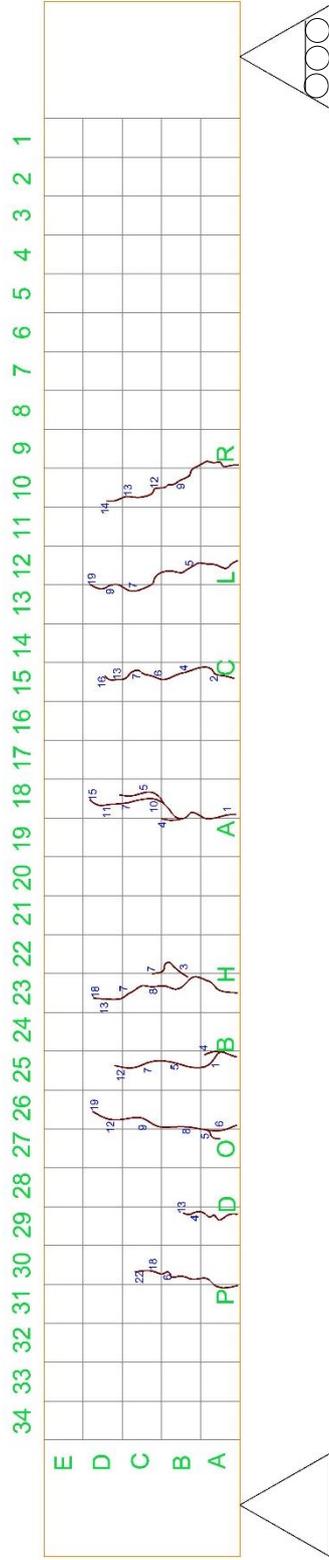
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N07 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 11 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N07 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.8 Pola Retak RC – N8

RC-N 8 Depan



RC-N 8 Belakang



Gambar 4.12 Pola Retak Balok RC-N8

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

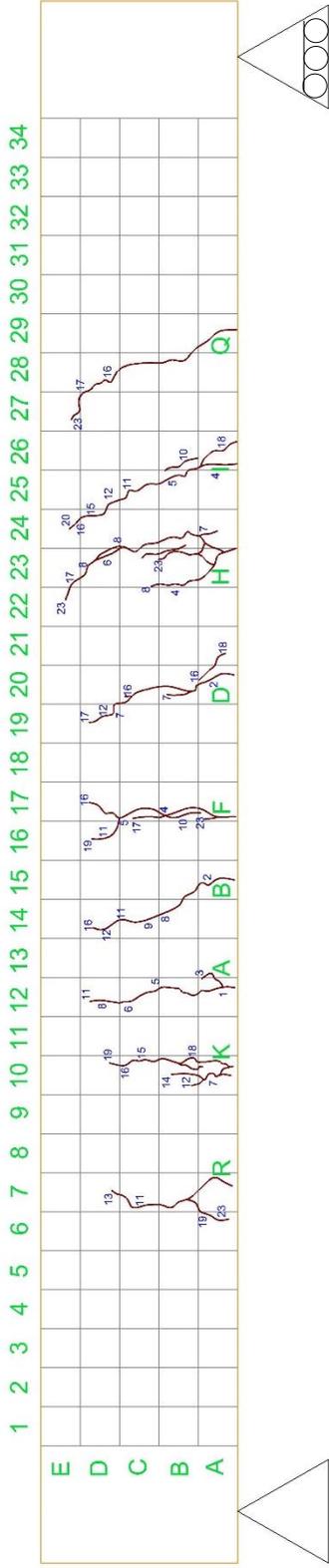
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N08, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N08 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6200 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok.

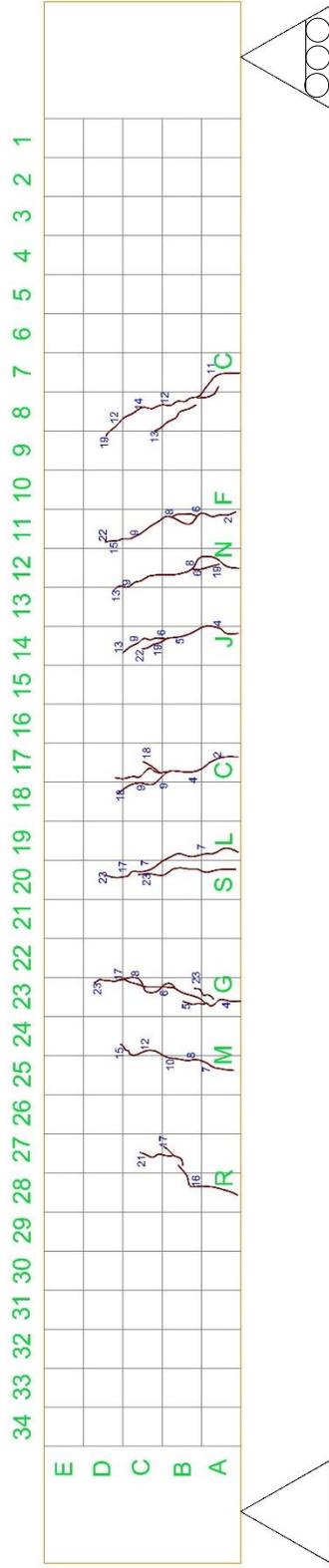
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N08 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 9 retakan. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N08 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 7 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi, dan geser lentur.

4.7.9 Pola Retak RC – N9

RC-N 9 Depan



RC-N 9 Belakang



Gambar 4.13 Pola Retak Balok RC-N9

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

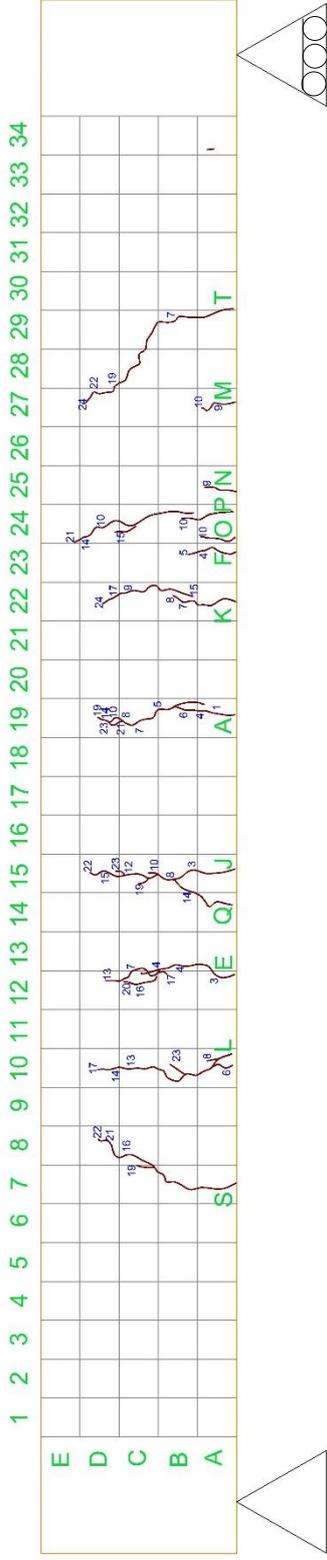
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N09, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Terjadi retak cabang ujung retak lentur tengah bentang serta daerah yang mengalami momen maksimum pada bagian yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N09 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6400 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya terjadi di ujung bentang, serta retak cabang kecil pada daerah momen maksimum.

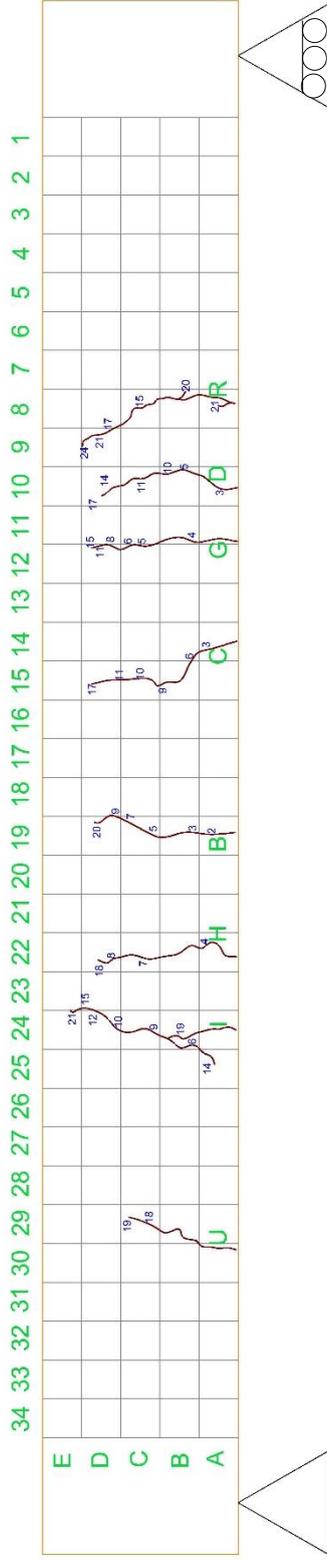
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N09 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 9 retakan. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N09 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 8 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.7.10 Pola Retak RC – N10

RC-N 10 Depan



RC-N 10 Belakang



Gambar 4.14 Pola Retak Balok RC-N10

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N10, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N10 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6400 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.

Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – N10 yaitu pada daerah depan terdapat 12 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 8 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih lemah. Panjang retak yang terjadi bertamah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N10 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 9 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dan mendominasi. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

Dominasi pengamatan balok beton bertulang normal

Dari hasil pengamatan RC – N01 sampai dengan RC – N10 menunjukkan retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban antara 1200 kg hingga 2200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Kemudian mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Terjadi retak cabang ujung retak lentur tengah bentang serta daerah yang

mengalami momen maksimum pada bagian yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – N01 sampai dengan RC – N10 pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate antara 5600 kg hingga 6600 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya terjadi di ujung bentang, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

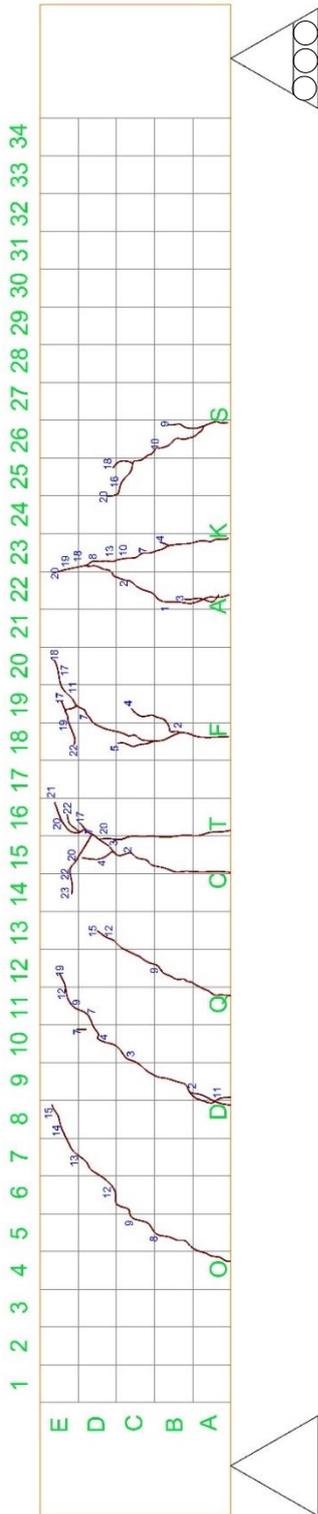
Jumlah rata – rata retak yang terjadi pada balok RC – N01 sampai dengan RC – N10 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih lemah. Panjang retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N10 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 9 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dan mendominasi diikuti retak geser lentur kemudian retak cabang. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.8 Pola Retak Balok *Onyx* RC-O1 – RC-O10

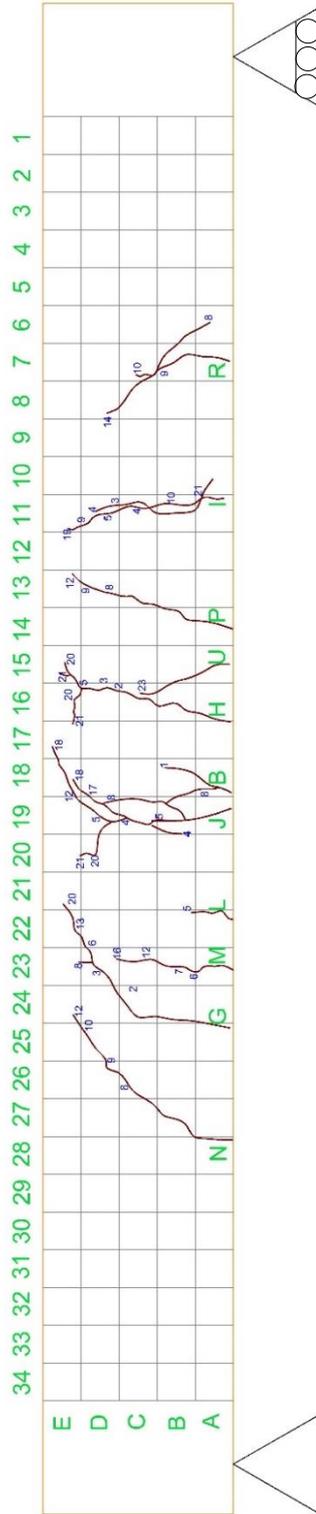
Pada penelitian ini balok dengan agregat kasar limbah *onyx* dinamai RC – O (*Reinforced Concrete Onyx*) dengan tiap titik retak diberi nama dengan huruf abjad mulai dari retak pertama dengan huruf A, B, C, dan seterusnya. Hasil pengamatan balok beton bertulang dengan menggunakan agregat *Onyx* RC-O1 sampai dengan RC-O10 seperti yang disajikan pada Gambar dibawah berikut ini :

4.8.1 Pola Retak RC – O1

RC-O 1 Depan



RC-O 1 Belakang



Gambar 4.15 Pola Retak Balok RC-O1

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

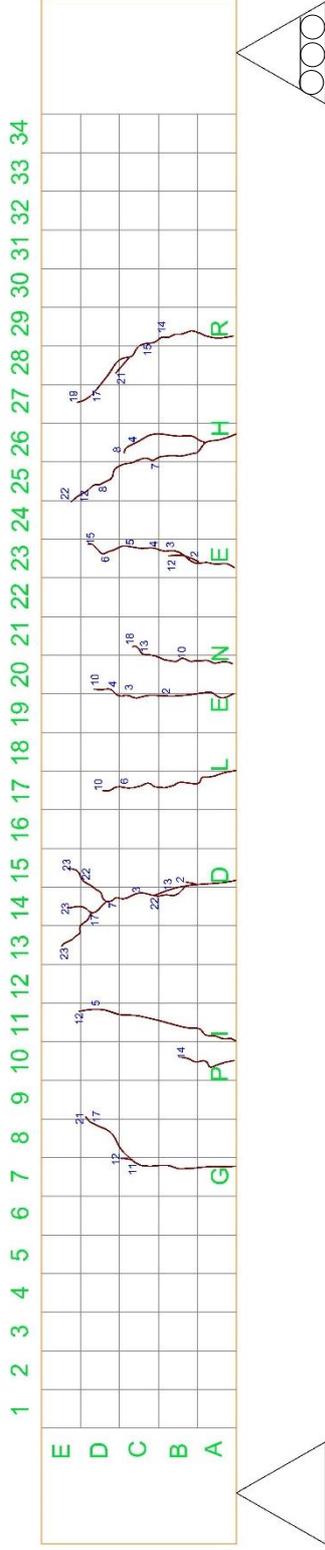
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O01, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada tengah bentang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O01 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6350 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

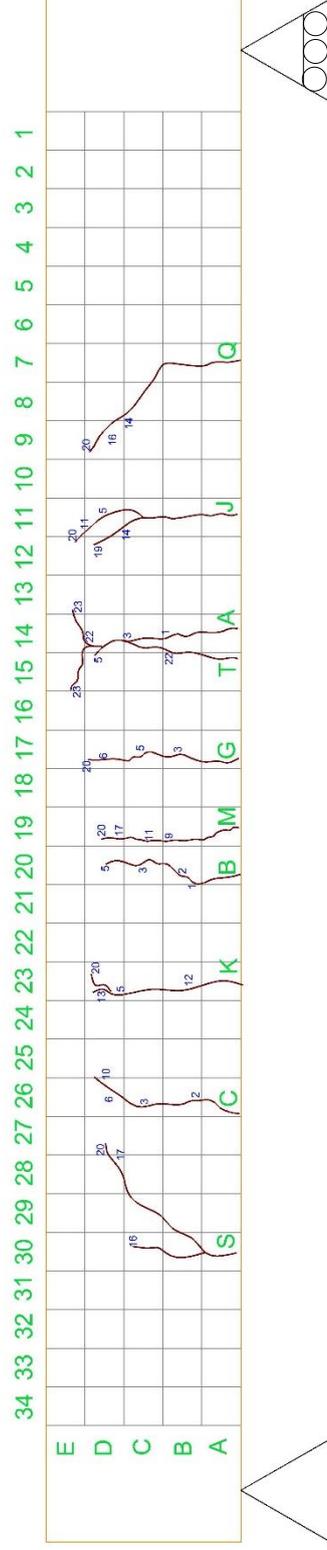
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O01 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 11 retakan hal tersebut menunjukkan bagian depan balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O01 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 13 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur geser yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang terjadi sedikit retak torsi pada retak ujung.

4.8.2 Pola Retak RC – O2

RC-O 2 Depan



RC-O 2 Belakang



Gambar 4.16 Pola Retak Balok RC-O2

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

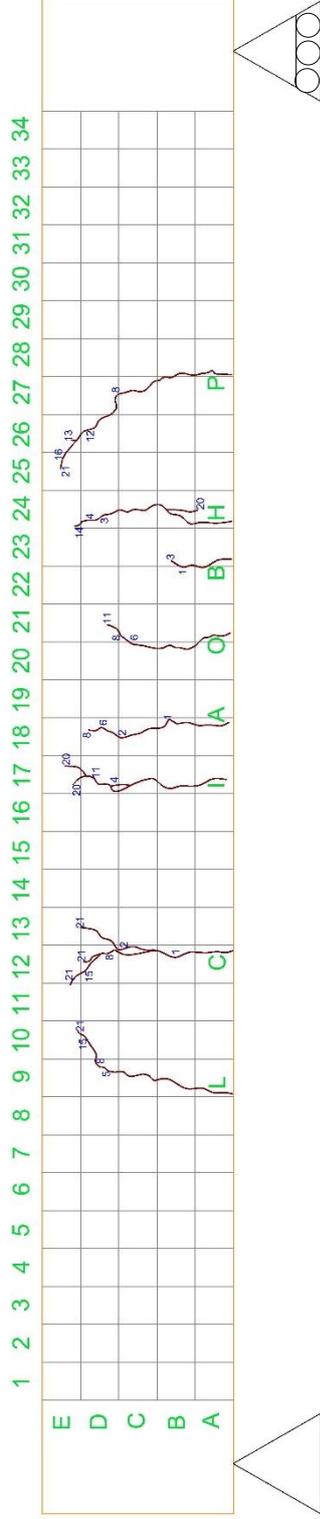
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O02, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur pada saat diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada tengah bentang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O02 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6650 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

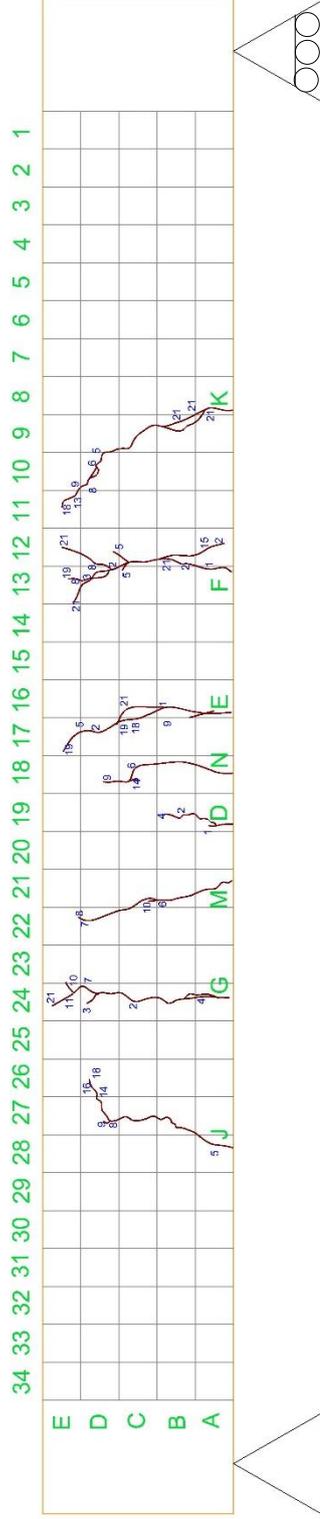
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O02 yaitu pada daerah depan terdapat 10 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O02 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang terjadi sedikit retak torsi pada retak ujung.

4.8.3 Pola Retak RC – O3

RC-O 3 Depan



RC-O 3 Belakang



Gambar 4.17 Pola Retak Balok RC-O3
 Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

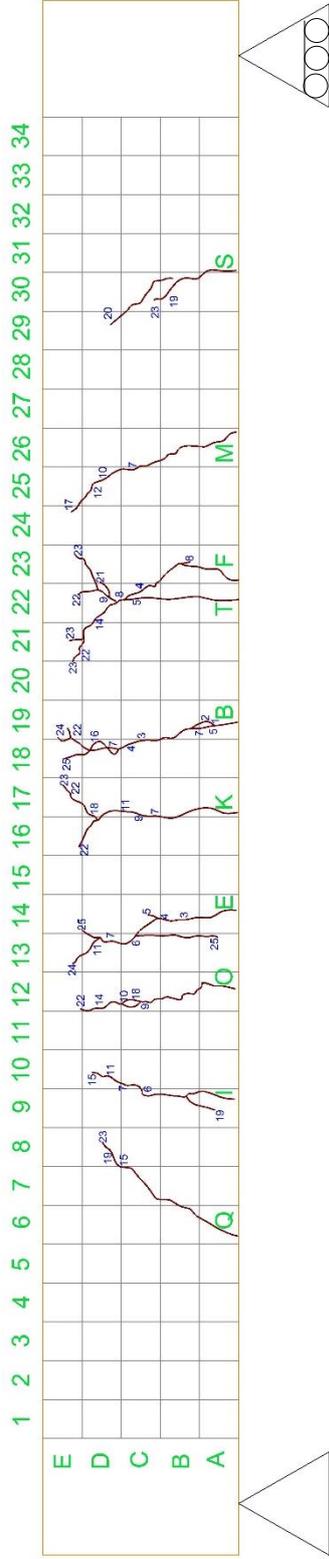
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O03, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang kecil pada ujung daerah momen maksimum mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O03 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6475 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

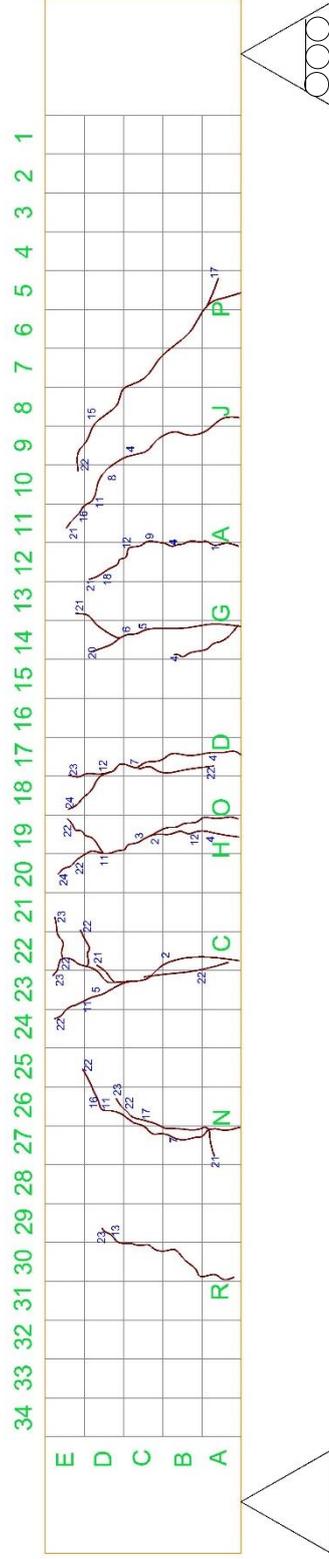
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O03 yaitu pada daerah depan terdapat 8 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 8 retakan. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O03 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 8 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.8.4 Pola Retak RC – O4

RC-O 4 Depan



RC-O 4 Belakang



Gambar 4.418 Pola Retak Balok RC-O4
 Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

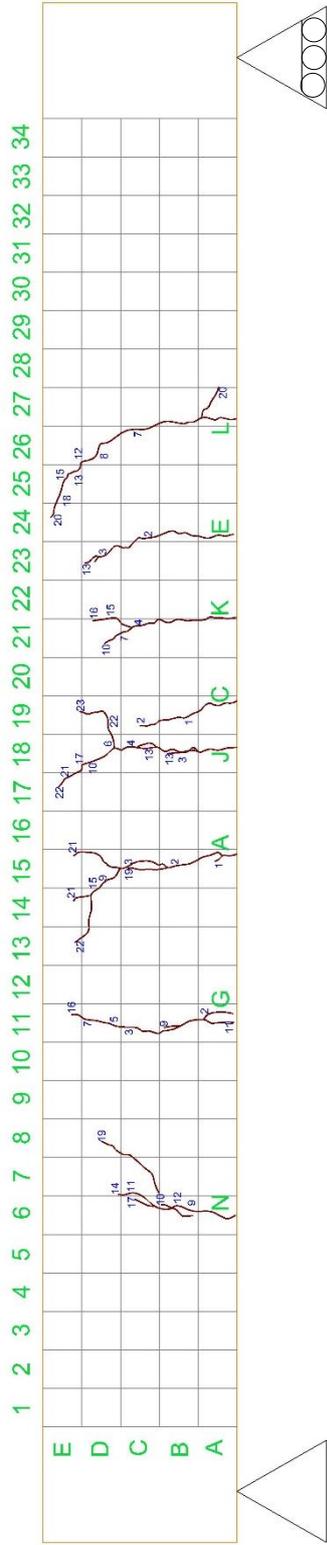
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O04, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada tengah bentang dan momen maksimum mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O04 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6250 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

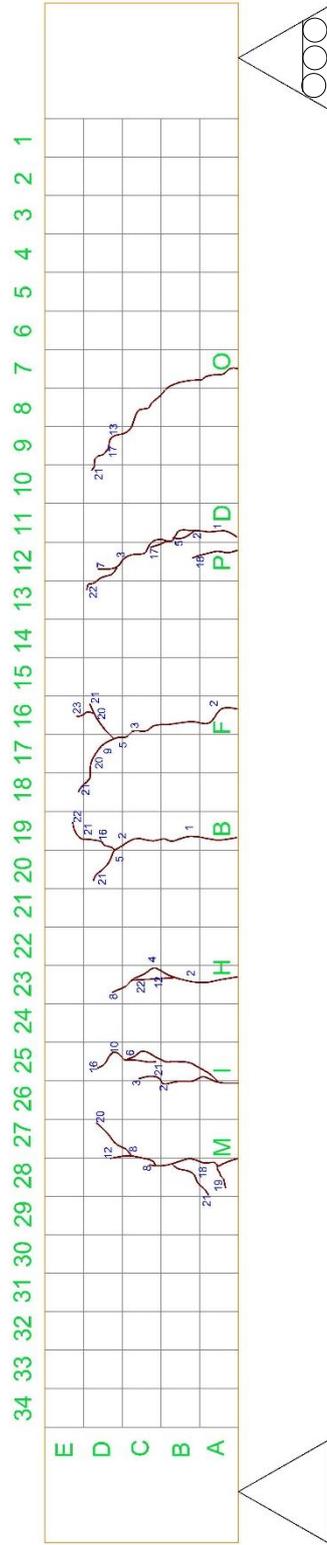
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O04 yaitu pada daerah depan terdapat 10 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O04 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 11 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur geser yang paling panjang serta retak lentur geser. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.8.5 Pola Retak RC – O5

RC-O 5 Depan



RC-O 5 Belakang



Gambar 4.19 Pola Retak Balok RC-O5

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

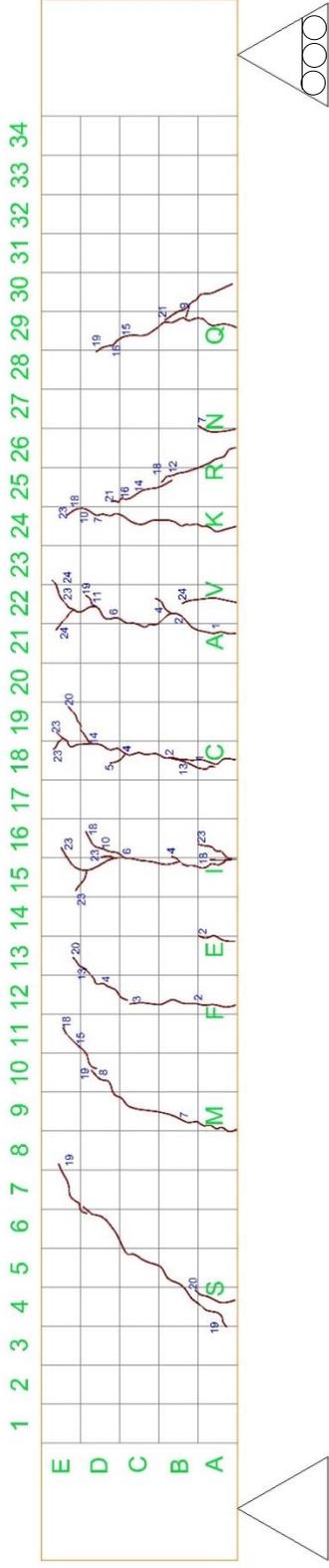
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O05, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada tengah bentang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O05 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6230 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

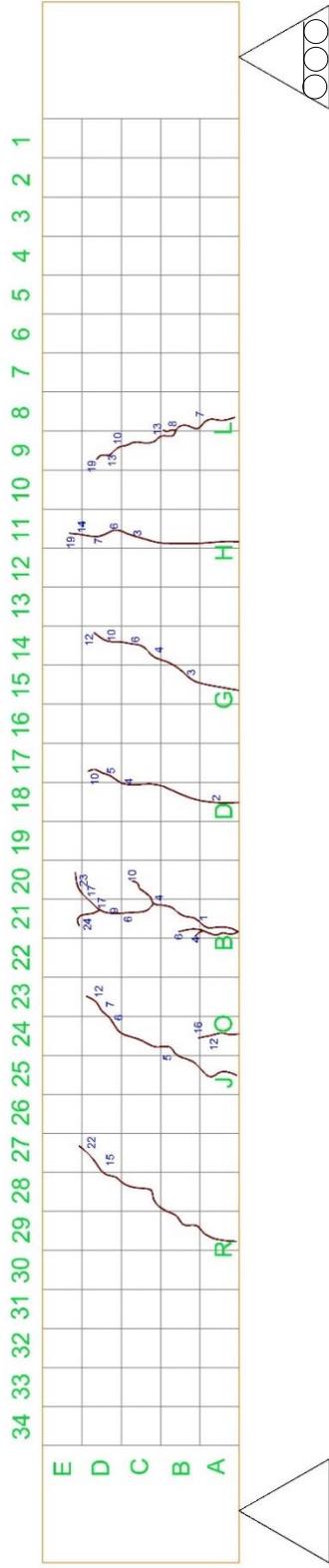
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O05 yaitu pada daerah depan terdapat 8 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 8. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O05 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 11 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.8.6 Pola Retak RC – O6

RC-O 6 Depan



RC-O 6 Belakang



Gambar 4.20 Pola Retak Balok RC-O6
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

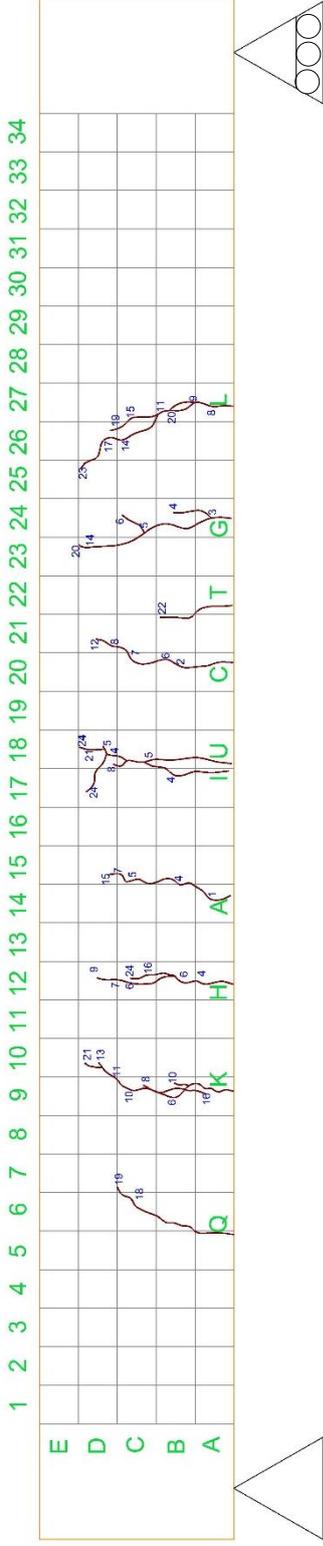
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O06, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada daerah momen maksimum mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O06 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6200 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

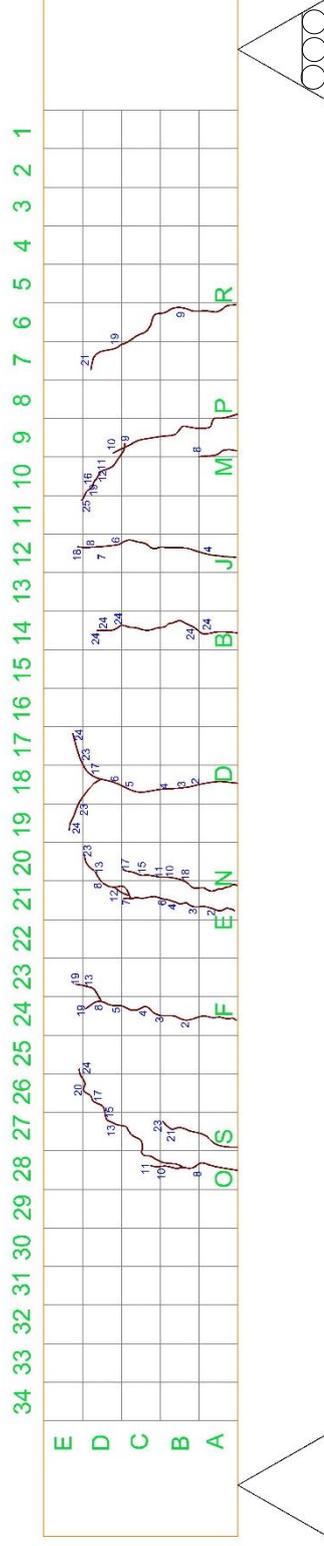
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O06 yaitu pada daerah depan terdapat 12 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 8 retakan hal tersebut menunjukkan bagian belakang balok lebih kuat. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O06 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang diikuti retak geser lentur. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang terjadi sedikit retak torsi pada retak ujung.

4.8.7 Pola Retak RC – O7

RC-O 7 Depan



RC-O 7 Belakang



Gambar 4.21 Pola Retak Balok RC-O7
 Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O07, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada tengah bentang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O07 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6310 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

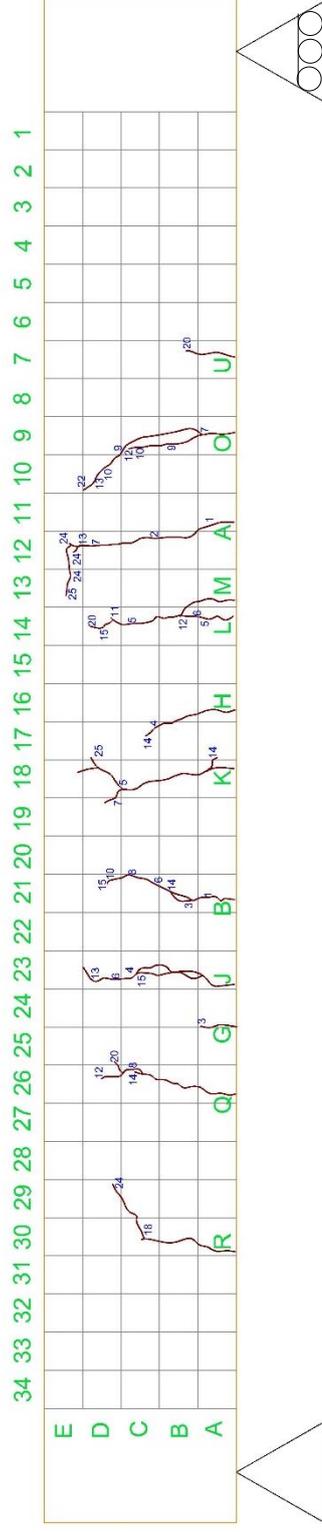
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O07 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 11 yang menunjukkan bagian depan lebih kuat. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O07 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang terjadi sedikit retak torsi di ujung.

4.8.8 Pola Retak RC – O8

RC-O 8 Depan



RC-O 8 Belakang



Gambar 4.22 Pola Retak Balok RC-O8

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

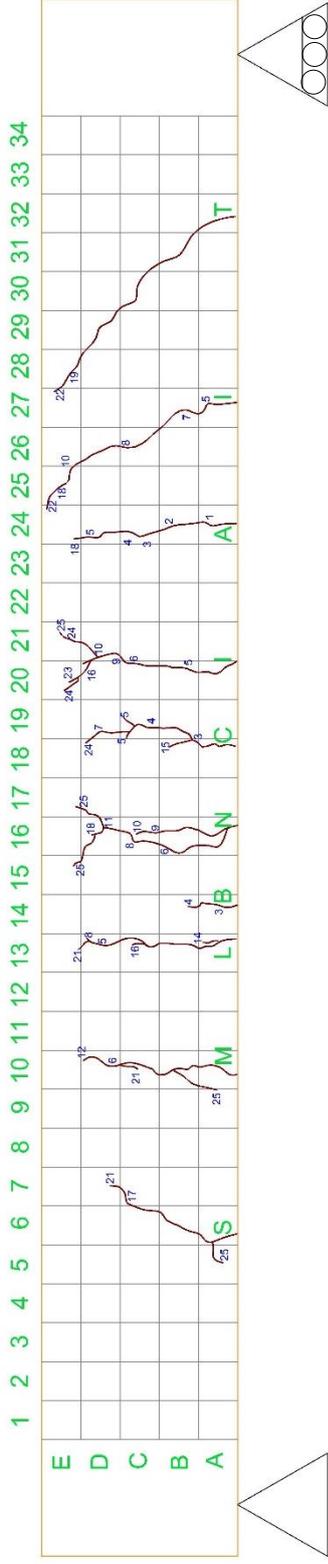
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O08, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada daerah momen maksimum mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O08 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6320 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

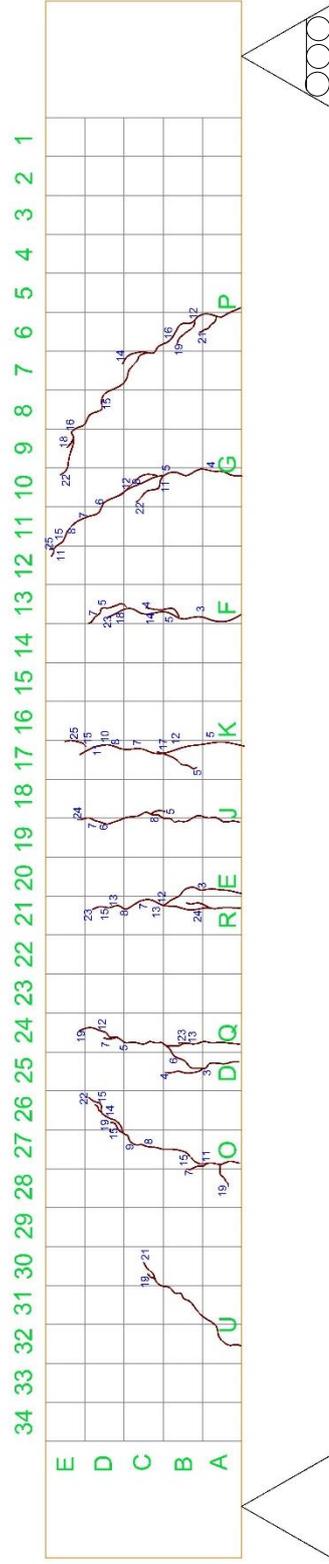
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O08 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 hal tersebut menunjukkan bagian depan lebih kuat. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O08 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 9 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.8.9 Pola Retak RC – O9

RC-O 9 Depan



RC-O 9 Belakang



Gambar 4.23 Pola Retak Balok RC-O9
 Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

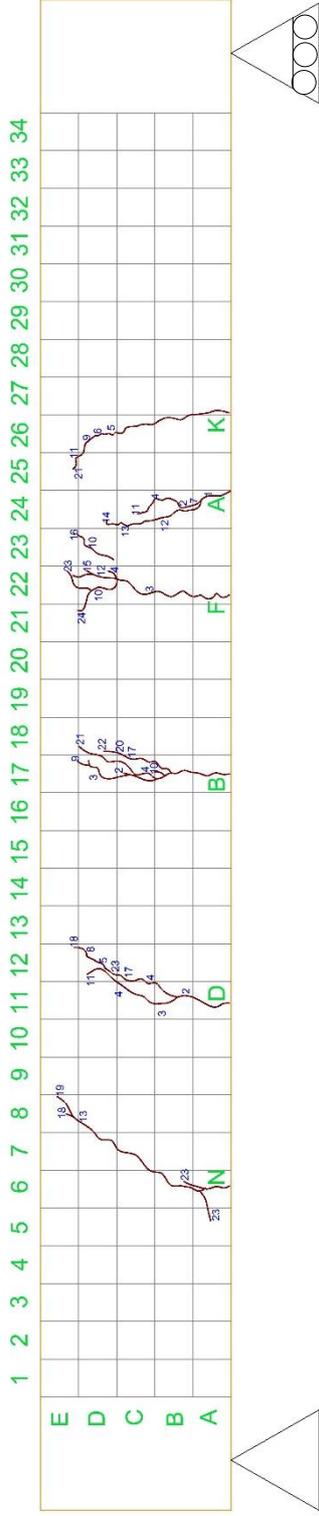
Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O09, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada daerah momen maksimum mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton, serta terjadi retak cabang pada bagian tengah menuju atas beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O09 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6350 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

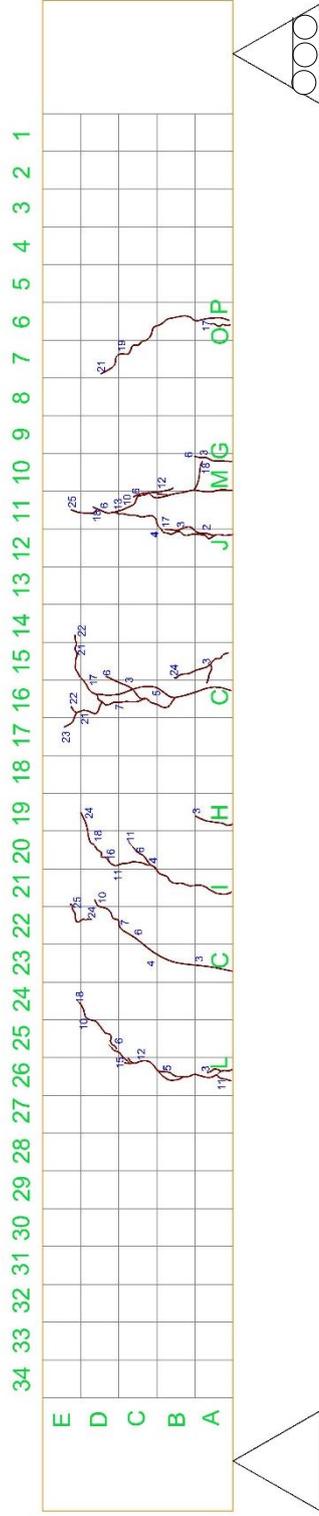
Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O09 yaitu pada daerah depan terdapat 10 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 11 hal tersebut menunjukkan bagian depan lebih kuat. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O09 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 9 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dibanding retak yang lainnya diikuti retak lentur geser. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.8.10 Pola Retak RC – O10

RC-O 10 Depan



RC-O 10 Belakang



Gambar 4.24 Pola Retak Balok RC-O10
 Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Hasil pengamatan dari balok beton bertulang *onyx* RC – O10, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban mencapai 1800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang cukup panjang diakibatkan oleh lentur serta lentur geser diberikan penambahan beban secara berangsur. Retak bergerak menuju garis netral balok. Dengan bertambahnya beban retak semakin memanjang hingga mencapai serat atas. Arah rambat retak setelah melewati garis netral menuju arah beban diberikan. Terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat dari luar daerah momen maksimum. Terjadi retak cabang pada daerah momen maksimum mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O10 dengan pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu sebesar 6495 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Selanjutnya terjadi retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

Jumlah retak yang terjadi pada balok RC – O10 yaitu pada daerah depan terdapat 6 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 8 hal tersebut menunjukkan bagian depan lebih kuat. Panjang retak yang terjadi saat awal langsung memanjang hingga tengah balok kemudian bertambah sedikit demi sedikit. Pada penelitian beton RC – O10 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur geser yang paling panjang dibanding retak yang lainnya. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

Dominasi pengamatan balok beton bertulang agregat *onyx*

Dari hasil pengamatan RC – O01 sampai dengan RC – O10 menunjukkan retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yakni pada saat beban antara 1600 sampai dengan 2600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak berupa retak halus rambut vertikal yang diakibatkan oleh lentur serta diberikan penambahan beban secara berangsur. Kemudian

mendekati beban runtuh terjadi retak lentur geser yaitu diagonal dari tumpuan menuju beban terpusat. Terjadi retak cabang ujung retak lentur tengah bentang serta daerah yang mengalami momen maksimum pada bagian yang mendekati daerah tekan akibatnya retak berbelok ke kanan dan ke kiri dimana masih merupakan daerah tarik beton.

Dari hasil pengamatan retak yang dilakukan pada balok beton bertulang normal RC – O01 sampai dengan RC – O10 pembebanan yang diberikan hingga mencapai batas ultimate yaitu antara 6000 kg sampai dengan 6600 kg, menunjukkan terjadinya retak lentur (*flexure crack*) dengan arah retak hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Retak geser lentur (*flexure shear crack*) yang merupakan retak dengan arah miring yang merupakan lanjutan dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya terjadi di ujung bentang, serta retak cabang pada daerah momen maksimum.

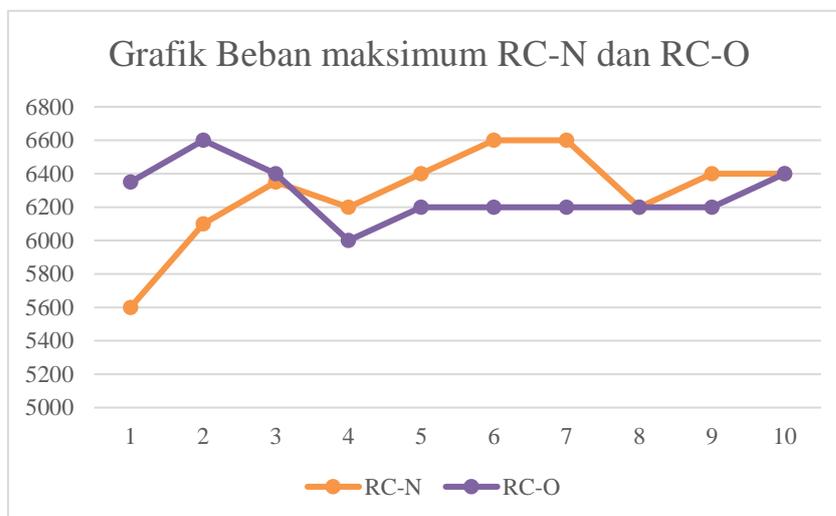
Jumlah rata – rata retak yang terjadi pada balok RC – O01 sampai dengan RC – O10 yaitu pada daerah depan terdapat 9 retakan sedangkan pada bagian belakang terdapat 10 retakan. Panjang retak yang terjadi bertamah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O10 beban diberikan secara berangsur sebesar 200 kg, pola retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur yang terjadi pada retak maksimum di tengah bentang yaitu sebanyak 10 retak hingga beban ultimate. Dengan retak lentur yang paling panjang dan mendominasi diikuti retak geser lentur kemudian retak cabang. Dari pengamatan penomoran bagian depan dan belakang tidak terjadi retak torsi.

4.9 Perbandingan Pola Retak Balok Normal dan Balok *Onyx*

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan diperoleh data – data yang digunakan sebagai perbandingan balok beton bertulang normal (RC – N01 sampai dengan RC – N10) dengan balok beton bertulang *onyx* (RC – O01 sampai dengan RC – NO10) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.18
Beban pada saat Terjadi Retak

No	Normal	Mulai retak (kg)	Ultimate (kg)	<i>Onyx</i>	Mulai retak (kg)	Ultimate (kg)
1	RC-N01	1200	5600	RC-O01	2200	6350
2	RC-N02	1600	6100	RC-O02	2200	6600
3	RC-N03	2200	6350	RC-O03	2600	6400
4	RC-N04	1800	6200	RC-O04	2000	6000
5	RC-N05	1800	6400	RC-O05	2200	6200
6	RC-N06	1800	6600	RC-O06	2000	6200
7	RC-N07	1600	6600	RC-O07	1800	6200
8	RC-N08	2000	6200	RC-O08	1800	6200
9	RC-N09	2000	6400	RC-O09	1600	6200
10	RC-N10	1800	6400	RC-O10	1800	6400
	min	1200	5600		1600	6000
	max	2200	6600		2600	6600



Gambar 4.25 Grafik beban maksimum RC – N dan RC – O

Dari tabel 4.18 retak pertama yang terjadi pada balok beton bertulang normal (RC – N) yaitu 1200 kg sampai dengan 2200 kg, sedangkan untuk balok beton bertulang *onyx* (RC – O) yaitu 1600 kg sampai 2600 kg. Balok beton bertulang normal (RC – N) lebih cepat terjadi retak pertama dibandingkan dengan balok beton bertulang *onyx* (RC – O), hal tersebut dikarenakan balok beton bertulang *onyx* (RC – O) lebih plastis daripada balok beton

bertulang normal (RC – N), sehingga untuk mencapai retak pertama dibutuhkan gaya tarik yang lebih besar pada balok beton bertulang *onyx* (RC – O).

Beban maksimum yang hingga pengamatan retak selesai dilakukan untuk balok beton bertulang normal (RC – N) yaitu 5600 kg sampai dengan 6600 kg, untuk balok beton bertulang *onyx* (RC – O) yaitu 6000 sampai dengan 6600 kg.

Untuk membuktikan P maksimum rata – rata balok beton bertulang normal (RC – N) lebih besar daripada balok beton bertulang *onyx* (RC – O) dilakukan uji statistik berupa uji T.

Hipotesa : $H_0 = X_1 \leq X_2$, P maksimum balok beton bertulang *onyx* (RC – O) tidak lebih kuat dari P maksimum balok beton bertulang normal (RC – N)

$H_a = X_1 > X_2$, P maksimum balok beton bertulang *onyx* (RC – O) lebih kuat dari P maksimum balok beton bertulang normal (RC – N)

Uji t (perhitungan nilai t)

Tolak H_0 apabila harga thitung(t_0) sama atau lebih besar dari harga ttabel ($t(1-\alpha)(db)$)

Uji Homogenitas

Hipotesis : $H_0 = X_1 \geq X_2$ Kedua varians homogen

$H_a = X_1 < X_2$ Kedua varian tidak homogen (heterogen)

Uji F (perhitungan nilai F)

Tolak H_0 apabila harga Fhitung(F_0) sama atau lebih besar dari harga Ftab ($F(\alpha)(n_1-1, n_2-1)$)

Tabel 4.19
Perhitungan Nilai Rata – rata P Maksimum *Onyx*

No	<i>Onyx</i>	Ultimate (kg)	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt) ²
1	RC-O01	6350		75	5625
2	RC-O02	6600		325	105625
3	RC-O03	6400		125	15625
4	RC-O04	6000		-275	75625
5	RC-O05	6200	6275	-75	5625
6	RC-O06	6200		-75	5625
7	RC-O07	6200		-75	5625
8	RC-O08	6200		-75	5625
9	RC-O09	6200		-75	5625
10	RC-O10	6400		125	15625
		Jumlah			246250

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}} \quad Sd \text{ Onyx} = \sqrt{\frac{246250}{(10 - 1)}}$$

$$Sd \text{ onyx} = 165,412 \quad S^2 \text{ onyx} = 27361,11$$

Tabel 4.20
Perhitungan Nilai Rata – rata P Maksimum Normal

No	Normal	Ultimate (kg)	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt) ²
1	RC-N01	5600		-685	469225
2	RC-N02	6100		-185	34225
3	RC-N03	6350		65	4225
4	RC-N04	6200		-85	7225
5	RC-N05	6400	6285	115	13225
6	RC-N06	6600		315	99225
7	RC-N07	6600		315	99225
8	RC-N08	6200		-85	7225
9	RC-N09	6400		115	13225
10	RC-N10	6400		115	13225
		Jumlah			760250

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}} \quad Sd \text{ normal} = \sqrt{\frac{760250}{(10 - 1)}}$$

$$Sd \text{ normal} = 165,412 \quad S^2 \text{ normal} = 27361,11$$

Tabel 4.21
 Nilai *Onyx* dan Normal

Dicari	<i>Onyx</i>	Normal
Jumlah sampel (n)	10	10
Rata - rata (x)	6275	6285
Simpangan baku (sd)	165,4119	290,6411
Varians (S ²)	27361,11	84472,22

$$F \text{ hitung} = \frac{S^2 \text{Onyx}}{S^2 \text{Normal}}$$

$$F \text{ hitung} = \frac{27361,11}{84472,22}$$

$$F \text{ hitung} = 0,3239$$

$$F_{0,05(9,9)} = 3,178893$$

F hit < F tab , Ho diterima kedua Variasi homogen

Perhitungan T

$$S = \sqrt{\frac{(n1 - 1)S1^2 + (n2 - 1)S2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(10 - 1)27361,11 + (10 - 1)84472,22}{10 + 10 - 2}}$$

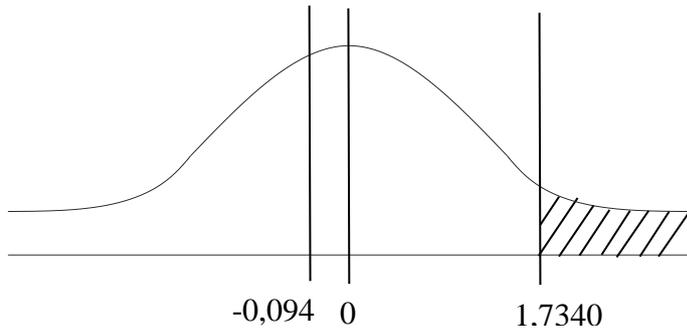
$$S = 236,467$$

$$T \text{ hit} = \frac{x1 - x2}{s \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}}$$

$$T \text{ hit} = \frac{6275 - 6285}{236,467 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}}$$

$$T \text{ hit} = -0.09456$$

$$t \text{ tabel } T_{0,05(32)} = 1.73406$$



Gambar 4.26 Distribusi T satu arah P maksimum

Tolak H_0 apabila harga thitung(t_0) sama atau lebih besar dari harga t_{tabel} ($T(\alpha)(db)$), H_0 diterima P maksimum rata – rata balok beton bertulang *onyx* (RC – O) tidak lebih kuat dari P maksimum rata – rata balok beton bertulang normal (RC – N).

Tabel 4.22

Retak Sepanjang Bentang

No	Normal	Depan	Belakang	<i>Onyx</i>	Depan	Belakang
1	RC-N01	7	8	RC-O01	9	11
2	RC-N02	9	10	RC-O02	10	10
3	RC-N03	9	10	RC-O03	8	8
4	RC-N04	9	11	RC-O04	10	10
5	RC-N05	10	10	RC-O05	8	8
6	RC-N06	9	10	RC-O06	12	8
7	RC-N07	9	11	RC-O07	9	11
8	RC-N08	9	9	RC-O08	9	10
9	RC-N09	9	9	RC-O09	10	11
10	RC-N10	8	8	RC-O10	6	8

Retak yang terjadi sepanjang bentang seperti yang terlihat pada tabel 4.19 dengan hasil rata – rata jumlah retak sepanjang balok beton bertulang normal (RC-N) bagian depan sebanyak 9 retakan dan untuk bagian belakang 10 retakan, sama dengan balok beton bertulang *onyx* (RC-O) juga terjadi rata – rata 9 retakan di bagian depan dan 10 retakan di bagian belakang. Hal tersebut menunjukkan kecenderungan jumlah retak yang sama antara beton bertulang normal (RC-N) dan balok beton bertulang *onyx* (RC-O).

Tabel 4.23

Retak menjalar ke atas pada retak maksimum

No	Normal	Retak	<i>Onyx</i>	Retak
1	RC-N01	8	RC-O01	13
2	RC-N02	8	RC-O02	10
3	RC-N03	10	RC-O03	8
4	RC-N04	11	RC-O04	11
5	RC-N05	7	RC-O05	11
6	RC-N06	8	RC-O06	10
7	RC-N07	10	RC-O07	10
8	RC-N08	7	RC-O08	9
9	RC-N09	8	RC-O09	9
10	RC-N10	9	RC-O10	10

Pada tabel 4.20 menunjukkan berapa kali retak yang terjadi pada retak paling besar hingga beban mencapai ultimate. Balok beton bertulang normal (RC-N) mengalami rata – rata 9 kali retakan hingga mencapai beban ultimate, sedangkan balok beton bertulang *onyx* (RC-O) mengalami 10 kali retakan hingga mencapai beban ultimate. Dari jumlah retakan yang terjadi menunjukkan lebih banyak retak pada *onyx* daripada normal.

Tabel 4.24

Daerah Bebas Retak Depan

No	Normal	kiri (cm)	kanan (cm)	<i>Onyx</i>	kiri (cm)	kanan(cm)
1	RC-N01	40	30	RC-O01	15	40
2	RC-N02	20	20	RC-O02	30	25
3	RC-N03	35	20	RC-O03	40	30
4	RC-N04	30	20	RC-O04	25	20
5	RC-N05	25	35	RC-O05	25	35
6	RC-N06	30	20	RC-O06	15	20
7	RC-N07	20	35	RC-O07	25	35
8	RC-N08	40	20	RC-O08	40	15
9	RC-N09	25	25	RC-O09	20	10
10	RC-N10	30	25	RC-O10	20	35

Tabel 4.25
Daerah Bebas Retak Belakang

No	Normal	kiri (cm)	kanan (cm)	<i>Onyx</i>	kiri (cm)	kanan(cm)
1	RC-N01	35	30	RC-O01	25	30
2	RC-N02	20	20	RC-O02	30	20
3	RC-N03	35	25	RC-O03	35	30
4	RC-N04	20	20	RC-O04	20	20
5	RC-N05	25	35	RC-O05	30	30
6	RC-N06	25	15	RC-O06	25	35
7	RC-N07	25	30	RC-O07	25	30
8	RC-N08	40	15	RC-O08	30	20
9	RC-N09	30	30	RC-O09	25	10
10	RC-N10	35	20	RC-O10	25	40

Daerah bebas retak pada tabel 4.21 dan 4.22 dinyatakan secara panjang yaitu menunjukkan daerah bebas retak rata – rata balok beton bertulang normal (RC – N) sisi kiri sepanjang 29 cm dan sisi kanan 25 cm. Sedangkan daerah bebas retak rata – rata balok beton bertulang *onyx* (RC – O) sisi kiri sepanjang 26 cm dan sisi kanan 26,5 cm. Maka daerah bebas retak balok bertulang normal lebih panjang dari balok beton bertulang *onyx*.

Tabel 4.26
Sudut retak geser RC – N

No	Balok	Kode retak	depan	samping	θ (°)	Rata -rata θ (°)
1	RC-N01	K	1,7	1,2	54,8	54,9
		Q	3	2,2	53,7	
		P	3	2	56,3	
2	RC-N02	A	1,7	1,7	45	48,7
		J	2,1	1,3	58,2	
		P	3	2,8	47	
		S	1	1	45	
		U	1,9	1,7	48,2	
3	RC-N03	L	1	1	45	48
		N	1,1	0,8	54	
		O	0,9	0,9	45	
4	RC-N04	L	1,8	1,2	56,3	47,9
		R	2,2	2,4	42,5	
		S	1,5	1,5	45	
5	RC-N05	B	0,7	0,7	45	46,7
		D	0,7	0,7	45	
		H	0,9	0,8	48,4	
		L	0,9	0,8	48,4	
6	RC-N06	F	3	3,4	41,4	42,3
		H	3	3,3	42,3	
		S	1,2	1,3	42,7	
		T	1,2	1,3	42,7	
7	RC-N07	L	1,8	1,2	56,3	46,7
		O	1,4	1,7	39,5	
		P	1,1	1,5	36,3	
		Q	1	0,7	55	
		R	1,8	1,7	46,6	
8	RC-N08	-	-	-	-	
9	RC-N09	C	0,8	0,8	45,0	46,7
		H	1,4	1,3	47,1	
		Q	1	0,9	48,0	
10	RC-N10	R	1,5	0,9	59	53,1
		S	1,6	1	58	
		T	1,9	2,1	42,1	

Tabel 4.27
Sudut retak geser RC – O

No	Balok	Kode retak	depan	samping	θ (°)	Rata -rata θ (°)
1	RC-O01	D	2,5	2,4	46,16	41,78
		G	1,8	2,8	32,73	
		N	2,7	3	41,98	
		O	2,8	3,1	42,08	
		R	1,2	1,2	45	
		S	1,2	1,3	42,7	
2	RC-O02	C	1,1	0,9	50,71	47,48
		H	1,1	0,9	50,71	
		G	1,2	1,1	47,48	
		Q	1,9	2	43,53	
		R	1,7	1,5	48,57	
		S	2,5	2,6	43,87	
3	RC-O03	J	0,4	1	21,8	35,02
		K	1,1	1,2	42,51	
		L	0,5	1,1	24,44	
		P	1,5	1,2	51,34	
4	RC-O04	J	2,4	2	50,19	48,09
		M	1,3	1,1	49,76	
		N	1,7	1,4	50,52	
		P	3,2	4	38,65	
		Q	2,5	2	51,34	
5	RC-O05	L	1,8	2	41,98	44,24
		M	0,9	0,9	45	
		N	1,5	1,5	45	
		O	1,9	1,9	45	
6	RC-O06	F	1,3	1	52,43	48,97
		J	3	2	56,30	
		M	1,5	1,8	39,80	
		R	3	2,4	51,34	
		S	3,5	3,5	45	
7	RC-O07	L	2	1,2	59,03	53,29
		O	1,8	2	41,98	
		P	2	1,5	53,13	
		R	1,5	0,9	59,03	
8	RC-O08	O	1	1	45	43,45
		P	1,3	1,4	42,87	
		R	0,8	0,8	45	
		S	3,3	2,2	56,31	
		T	0,8	1,5	28,07	
9	RC-O09	G	2,1	2	46,39	47,88
		I	3,3	2,4	53,97	
		O	1,2	1,2	45	
		P	3,5	4	41,18	
		S	1,3	0,8	58,39	
		T	3,5	4	41,18	
10	RC-O10	K	1	1	45	51,91
		L	2	1,4	55,01	
		N	3	2,4	51,34	
		O	1,5	1	56,31	

Sudut dari retak geser lentur dari kedua balok bermacam – macam dengan sudut terkecil pada balok beton bertulang normal (RC – N) sebesar $36,3^\circ$ dan balok beton bertulang *onyx* (RC – O) sebesar $21,8^\circ$ sedangkan untuk sudut terbesar keduanya sama yaitu 59° dengan sudut rata – rata (RC – N) $48,3^\circ$ dan (RC – O) $46,2^\circ$. Balok beton bertulang *onyx* memiliki sudut geser yang lebih kecil karena agregat *onyx* memiliki kekuatan tarik yang lebih kecil daripada normal sehingga menimbulkan retak geser lentur yang lebih besar.

Dari pola retak kedua balok beton bertulang baik normal (RC – N) dan *onyx* (RC – O) memiliki kecenderungan mengalami retak lentur, dan sedikit retak lentur geser pada balok beton bertulang normal dan lebih banyak retak lentur geser terjadi pada balok beton bertulang *onyx*. Serta keruntuhan lentur yang terjadi cenderung sama yaitu *under reinforced* dengan ditandai retak pada daerah tarik.

Terjadinya retak pertama RC – N pada beban yang lebih kecil dengan retak rambut pendek, sedangkan pada RC – O retak pertama pada beban yang lebih besar namun juga diikuti retak rambut yang langsung memanjang, hal tersebut dikarenakan balok beton bertulang *onyx* (RC – O) lebih plastis daripada balok beton bertulang normal (RC – N), sehingga untuk mencapai retak pertama dibutuhkan gaya tarik yang lebih besar pada balok beton bertulang *onyx* (RC – O). Sehingga RC – N lebih getas daripada RC – O, maka RC – O memiliki daktilitas lebih baik dari RC – N.