

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. DATA TEKNIS BENDA UJI AWAL

Untuk melakukan analisa pada penelitian ini, maka perlu diketahui data-data teknis dari pengujian sebelumnya agar bisa mendapat perbandingan antara kondisi awal, kondisi rusak dan kondisi setelah perbaikan.

4.1.1. Kuat Tekan Beton [Ratna Restiana,2007][16]

Data kuat tekan kubus dikonversi ke silinder dengan menggunakan rumus berasal dari SNI T-15-1991-03 dimana

$$f_c' = \left[0.76 + 0.2^{10} \log \frac{f_{ck}'}{15} \right] f_{ck}'$$

A. Kuat Tekan Benda Uji Kubus

Tabel 4.1 Kuat tekan benda uji kubus

No	Kuat Tekan (MPa)			
	Beton Serat		Beton Tanpa Serat	
	28 Hari	56 Hari	28 Hari	56 Hari
1	32,889	30,667	35,556	44,889
2	30,667	38,444	33,333	51,111
3	31,111	37,000	26,222	54,444
rata-rata	31,556	35,370	31,704	50,148
Dalam silinder	23,983	22,311	24,095	38,112

Ket : Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran A hal 115

B. Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Tabel 4.2 Kuat tekan benda uji silinder

No	Kuat Tekan beton silinder (MPa) 28 hari	
	Serat	Tanpa Serat
1	24,628	27,459
2	20,665	27,034
3	22,646	28,025
4	22,080	24,911
rata-rata	22,505	26,857

Ket : Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran A hal 116

4.1.2. Modulus Elastisitas & Nisbah Poisson Beton [Ratna Restiana,2007][16]

Tabel 4.3 Modulus Elastisitas & Nisbah Poisson

No	Modulus Elastisitas (MPa)		Nisbah Poisson	
	Beton Serat	Beton Tanpa Serat	Beton Serat	Beton Tanpa Serat
1	19171	26263	0,159	0,120
2	25161	25764	0,163	0,156
3	25168	25858	0,225	0,151
Rata-rata	23166,667	25961,667	0,1822	0,1423

Ket : Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran A hal 118

Dari tabel diatas terlihat bahwa kuat tekan dalam kubus beton berserat dan tanpa serat pada usia 28 hari pada ketiga benda uji sesuai dengan perencanaan yaitu diatas 30 MPa (tabel 4.1). Meskipun begitu, kuat tekan dalam kubus diantara keduanya tidak mengalami perbedaan yang signifikan yaitu 0.469%. Bahkan kuat tekan beton tanpa serat mempunyai nilai yang lebih besar dari beton dengan serat (tabel 4.2). Hal ini diluar dari ketentuan, dimana seharusnya beton serat mempunyai kuat tekan yang lebih besar. Selain itu, beton juga tidak akan mengalami peningkatan kuat tekan yang berarti jika sudah berusia diatas 28 hari (tabel 4.1). Penyimpangan diatas kemungkinan besar terjadi karena adanya kesalahan dalam menentukan kadar air dalam campuran (fas).

4.2. GAMBARAN KERUSAKAN AWAL

Sebelum benda uji diperbaiki penulis melakukan pengamatan akan karakteristik kerusakan pada balok benda uji akibat pengujian awal. Adapun pengamatan yang dilakukan adalah :

1. Jenis kerusakan dari benda uji apakah mengalami retak atau patah
2. Lokasi retak atau patahan

Tabel 4.4. Jenis kerusakan semua benda uji hasil penelitian awal

Jenis balok	Benda uji	Jenis Kerusakan		Jenis Perbaikan	
		patah	retak	penyambungan	injeksi
Beton tanpa serat (BTS)	1	√		√	
	2	√		√	
	3	√		√	
Beton serat 1% (BS)	1	√		√	
	2	√		√	
	3	√		√	
Beton pratarik tanpa serat (BPTS)	1		√		√
	2		√		√
	3		√		√
Beton pratarik serat 1 % (BPS)	1		√		√
	2		√		√
	3		√		√

4.2.1 Rekapitulasi lokasi kerusakan pada balok Ratna R, 2007 [16]

Gambar-gambar dibawah ini adalah merupakan rekapitulasi dari kondisi balok Ratna setelah dilakukan uji tumbukan pada pengujian awal.

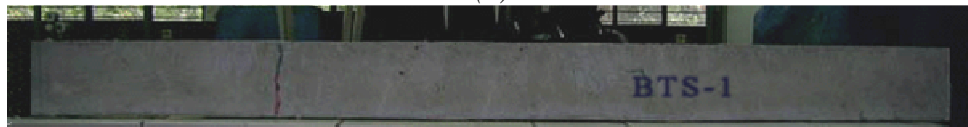
A. Balok Tanpa Serat (BTS)

Pada umumnya benda uji jenis ini mengalami keruntuhan secara tiba-tiba sehingga kondisi akhirnya balok patah menjadi 2 bagian.

1. BTS-1 → Terjadi patah di seperempat batang



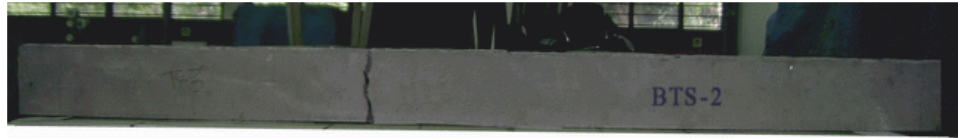
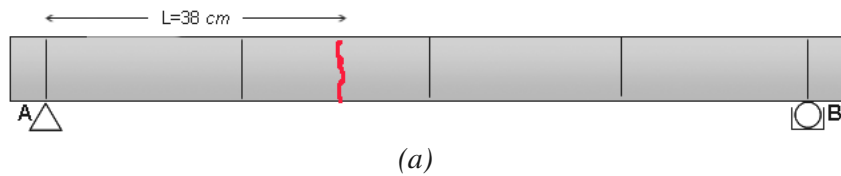
(a)



(b)

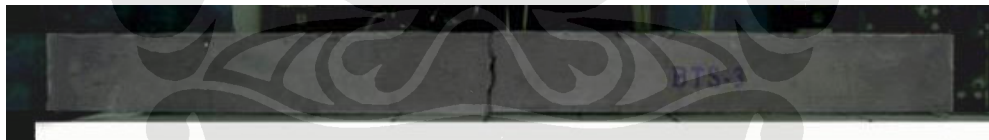
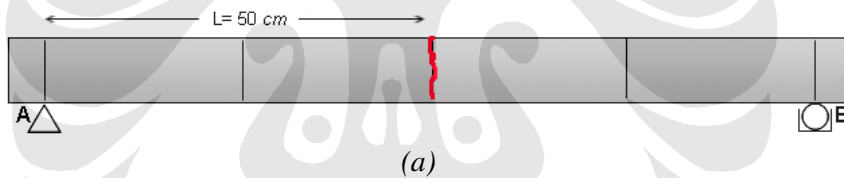
Gambar 4.2.1 (a) Sketsa lokasi patah dan (b) Keruntuhan benda uji BTS-1 pada pengujian awal

2. BTS-2 → Terjadi patah di 3/8 batang



Gambar 4.2.2. (a) Sketsa lokasi patah dan (b) Keruntuhan benda uji BTS-2 pada pengujian awal

3. BTS-3 → Terjadi patah di tengah batang

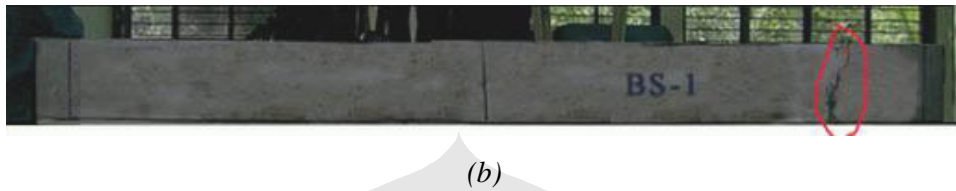
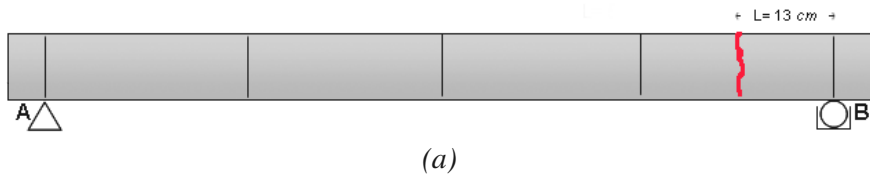


Gambar 4.2.3. (a) Sketsa lokasi patah dan (b) Keruntuhan benda uji BTS-3 pada pengujian awal

B. Balok Serat 1 % (BS)

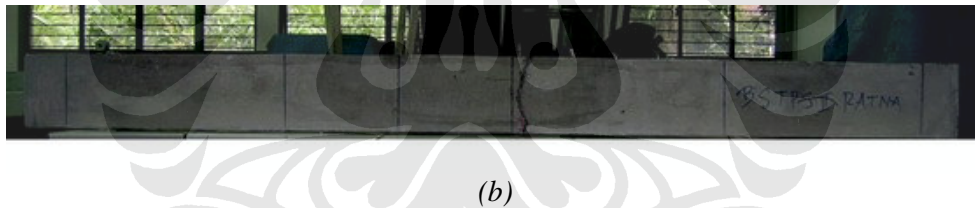
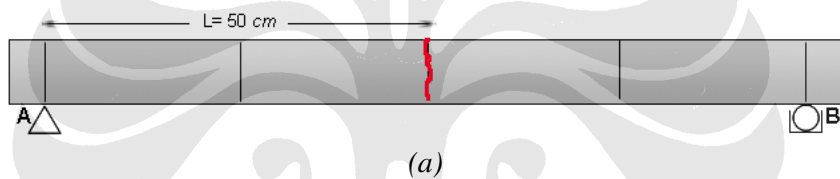
Pada umumnya benda uji jenis ini mengalami rusak akibat tegangan lentur yang awalnya benda uji mengalami retak terlebih dahulu pada bagian bawahnya lalu merambat ke atas sampai akhirnya balok patah menjadi 2.

1. BS-1 → Terjadi retak lalu patah di 7/8 bentang



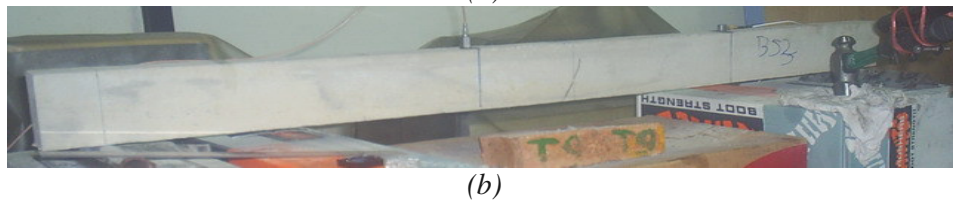
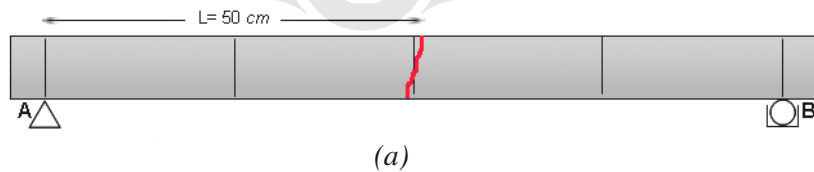
Gambar 4.2.4. (a) Sketsa lokasi patah dan (b) Keruntuhan benda uji BS-1 pada pengujian awal

2. BS-2 → Terjadi retak lalu patah ditengah batang



Gambar 4.2.5. (a) Sketsa lokasi patah dan (b) Keruntuhan benda uji BS-2 pada pengujian awal

3. BS-3 → Terjadi retak lalu patah ditengah batang

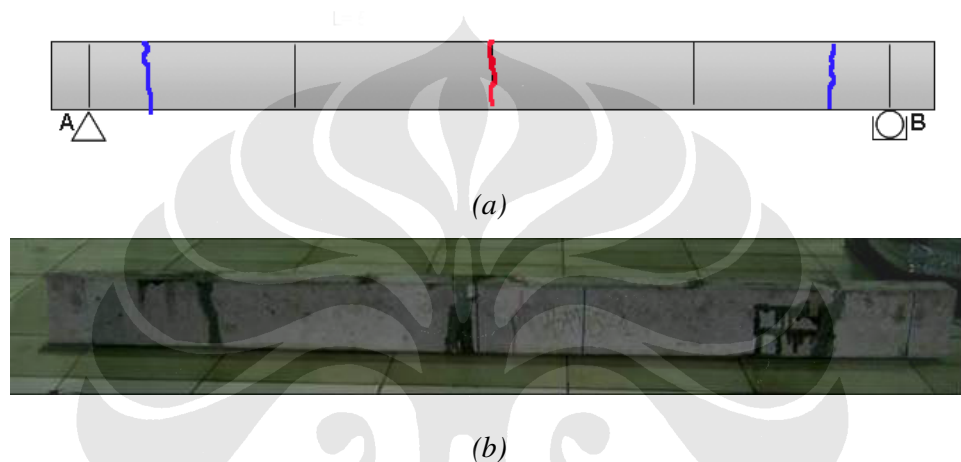


Gambar 4.2.6. (a) Sketsa lokasi patah dan (b) Keruntuhan benda uji BS-3 pada pengujian awal

C. Balok Pratarik Tanpa Serat (BPTS)

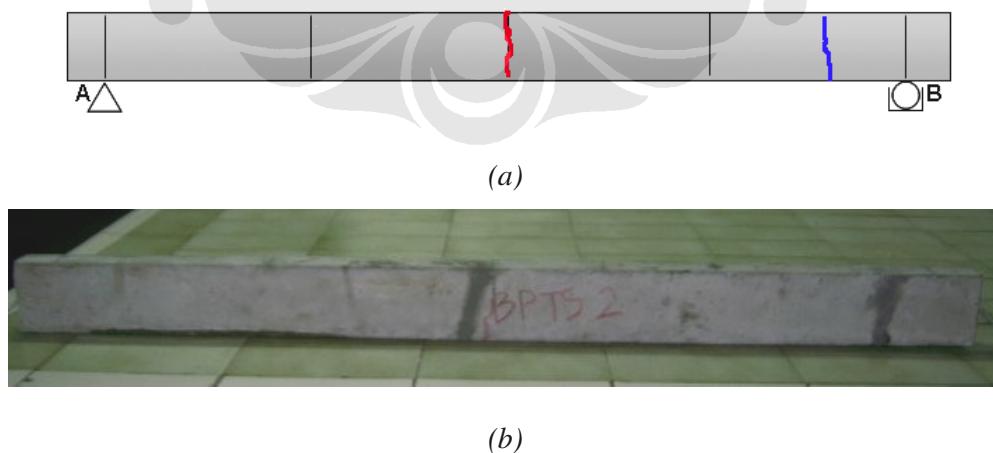
Pada umumnya benda uji jenis pratarik mengalami keretakan awal di tengah lalu karena penumbukan terus dilakukan, pada beberapa benda uji keretakan juga terjadi di daerah tumpuan. Hal ini disebabkan adanya gaya lawanan dari prategang saat dibebani di tengah bentang.

1. BPTS-1 → Terjadi retak pada tiga tempat



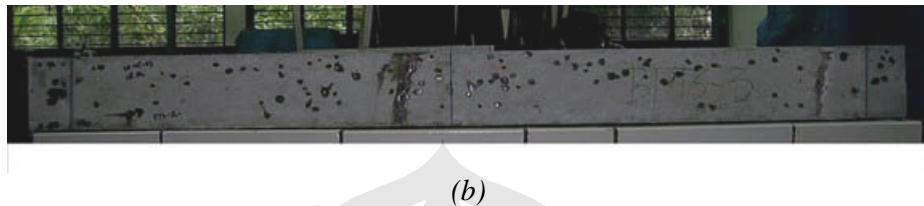
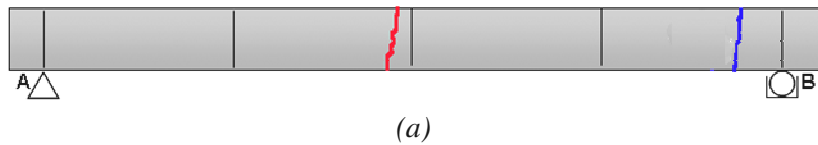
Gambar 4.2.7. (a) Sketsa lokasi retak dan (b) Retak benda uji BPTS-1 pada pengujian awal yang sudah diperbaiki

2. BPTS-2 → Terjadi retak di 2 tempat



Gambar 4.2.8. (a) Sketsa lokasi retak dan (b) Retak benda uji BPTS-2 pada pengujian awal yang sudah diperbaiki

3. BPTS-3 → Terjadi retak di 2 tempat

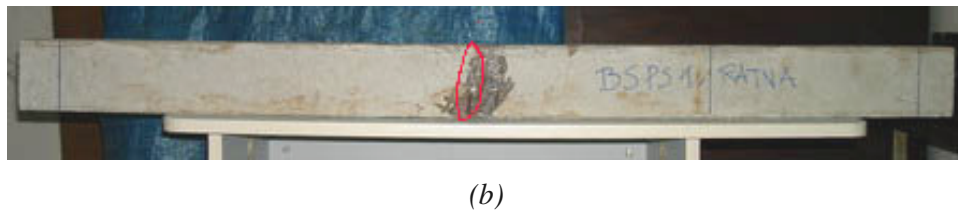
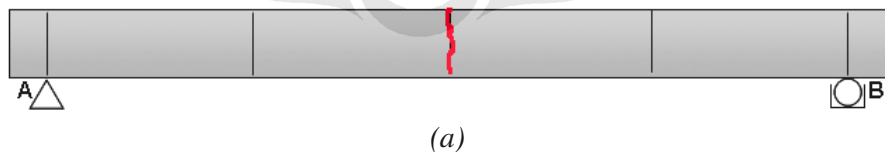


Gambar 4.2.9. (a) Sketsa lokasi retak dan (b) Retak benda uji BPTS-3 pada pengujian awal yang sudah diperbaiki

D. Balok Pratarik Serat 1 % (BPS)

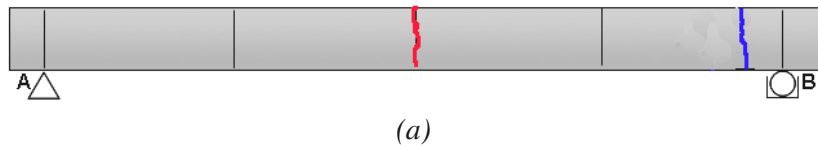
Dari hasil pengujian awal terlihat bahwa benda uji jenis pratarik serat memiliki jumlah pukulan runtuh yang lebih besar dari jenis tanpa pratarik. Hal ini dikarenakan adanya serat yang dapat menahan timbulnya propagasi retak mikroskopis. Akibat penumbukan berulang-ulang terjadi keretakan awal di tengah balok lalu karena penumbukan terus dilakukan, pada beberapa benda uji keretakan juga terjadi di daerah tumpuan. Hal ini disebabkan adanya gaya lawanan dari prategang saat dibebani di tengah bentang.

1. BPS-1 → Terjadi retak di 1 tempat



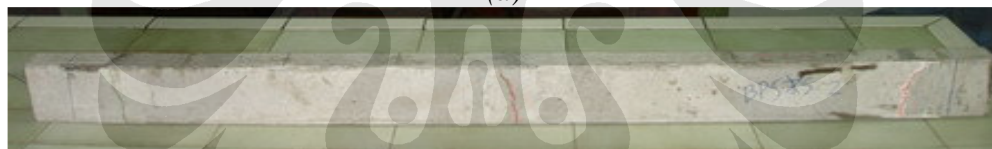
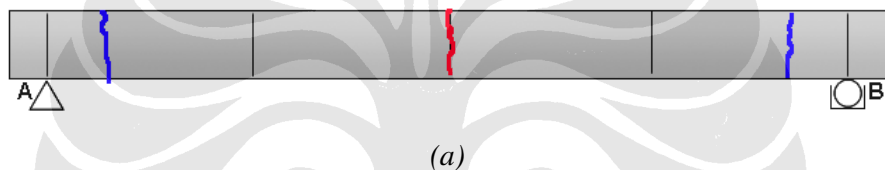
Gambar 4.2.10. (a) Sketsa lokasi retak dan (b) Retak benda uji BPS-1 pada pengujian awal yang sudah diperbaiki

2. BPS-2 → Terjadi retak di 2 tempat



(b)
Gambar 4.2.11. (a) Sketsa lokasi retak dan (b) Retak benda uji BPS-2 pada pengujian awal yang sudah diperbaiki

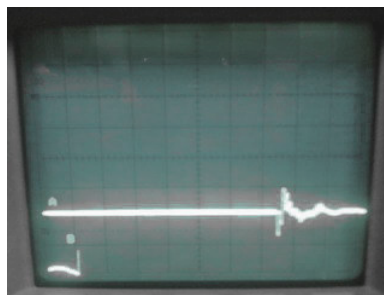
3. BPS-3 → Terjadi retak di 3 tempat



(b)
Gambar 4.2.12. (a) Sketsa lokasi retak dan (b) Retak benda uji BPS-3 pada pengujian awal yang sudah diperbaiki

4.3. PERHITUNGAN MOMENTUM [Ratna Restiana,2007][16]

Momentum adalah massa dikalikan dengan kecepatan, untuk itu perlu dicari kecepatan palu saat menumbuk balok.



Gambar 4.3.1 Waktu tempuh palu penumbuk ke benda uji
Tabel 4.5. Perhitungan momentum

Massa :: 0,66 Kg (palu)
 g :: 9,81 m/det²

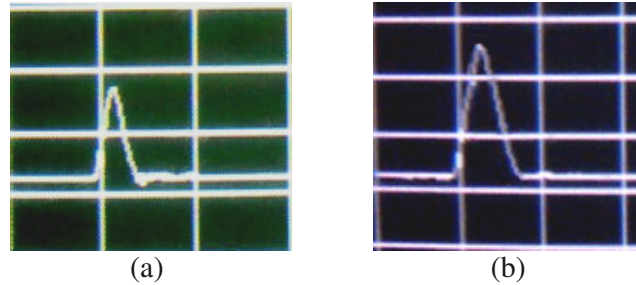
h (cm)	Tinggi	Kecepatan (v)	Uji Waktu Jatuh	Kecepatan (v)	Kec Rata2 (\bar{v})	Momentun (p)
	m	m/det	det	m/det	m/det	kg.m/det
	a	b	c	d	(b+d)/2	massa x \bar{v}
3	0,03	0,77	0,063	0,48	0,62	0,41
4	0,04	0,89	0,067	0,60	0,74	0,49
5	0,05	0,99	0,071	0,70	0,85	0,56
6	0,06	1,08	0,074	0,81	0,95	0,63
7	0,07	1,17	0,076	0,92	1,05	0,69
8	0,08	1,25	0,077	1,04	1,15	0,76
9	0,09	1,33	0,080	1,13	1,23	0,81
10	0,10	1,40	0,084	1,19	1,30	0,86
11	0,11	1,47	0,088	1,25	1,36	0,90
12	0,12	1,53	0,092	1,30	1,42	0,94
13	0,13	1,60	0,096	1,35	1,48	0,97
14	0,14	1,66	0,101	1,39	1,52	1,01
15	0,15	1,72	0,105	1,43	1,57	1,04
16	0,16	1,77	0,110	1,46	1,62	1,07
17	0,17	1,83	0,114	1,49	1,66	1,09
18	0,18	1,88	0,119	1,52	1,70	1,12
19	0,19	1,93	0,123	1,54	1,74	1,15
20	0,20	1,98	0,128	1,56	1,77	1,17

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. Dari tabel 4.5 terlihat bahwa peningkatan ketinggian jatuh menyebabkan momentum yang

dihasilkan menjadi lebih besar.

4.3.1. Durasi Pembebanan

Untuk menghitung *impuls* maka perlu diketahui berapa waktu atau lamanya palu menyentuh balok ketika penumbukan. *Impuls* adalah gaya yang bekerja pada selang waktu yang singkat. Berbeda dengan pengujian sebelumnya, pada pengujian ini palu diberi penambahan karet setebal 0,5 mm, sehingga durasi pembebanannya menjadi lebih besar.



Gambar 4.3.2 *Impuls* dari tumbukan palu Ratna (a) dan Indra (b)
 Dari gambar 4.3.2.b skala 1 divisi adalah 50 mili detik, maka lamanya waktu gaya impuls bekerja adalah $0.83 \text{ div} \times 50 \text{ mdet} = 43 \text{ mdet} = 0,043 \text{ detik}$. Maka besarnya gaya impuls yang bekerja pada tiap-tiap tinggi jatuh dengan $t = 0,043 \text{ detik}$. Tabel 4.6 memperlihatkan perbandingan gaya dari hasil studi Ratna (2007) dengan penulis.

Tabel 4.6 Gaya Impuls

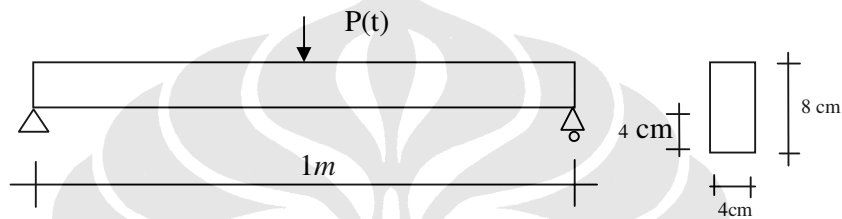
h (cm)	Momentun (p) kg.m/det	Waktu Sentuh Δt	Gaya N	Gaya *
	a	b	a / b	N
3	0,41	0,0430	9,54	80,093
4	0,49	0,0430	11,38	100,415
5	0,56	0,0430	13,01	118,448
6	0,63	0,0430	14,55	136,375
7	0,69	0,0430	16,06	154,917
8	0,76	0,0430	17,59	174,749
9	0,81	0,0430	18,83	189,220
10	0,86	0,0430	19,89	200,233
11	0,90	0,0430	20,87	210,245
12	0,94	0,0430	21,79	219,386
13	0,97	0,0430	22,65	227,765
14	1,01	0,0430	23,40	233,143
15	1,04	0,0430	24,12	240,280
16	1,07	0,0430	24,80	244,648
17	1,09	0,0430	25,44	250,818
18	1,12	0,0430	26,05	254,414
19	1,15	0,0430	26,64	259,815
20	1,17	0,0430	27,21	262,806

Ket : * merupakan gaya hasil dari hitungan Ratna dengan $t = 0,004 \text{ detik}$

Dari tabel 4.6 terlihat bahwa karena durasi pembebanan pada pengujian oleh penulis adalah lebih besar maka gaya aproksimatif F yang ada menjadi lebih kecil.

4.4. PERHITUNGAN FREKUENSI ALAMI

Akibat pengujian sebelumnya, benda uji telah mengalami kerusakan karena diberi beban tumbukan secara terus-menerus. Walaupun sudah dilakukan perbaikan sedemikian rupa, tetap saja kondisinya tidak bisa kembali 100 % karena telah terjadi perubahan kekakuan balok. Untuk itu dalam perhitungan frekuensi alami dari balok hasil perbaikan modulus elastisitas (E) diasumsikan telah mengalami penurunan 50 %. Untuk perhitungan frekuensi alami balok utuh dapat dilihat pada lampiran A hal 121



Gambar 4.4.1. Permodelan struktur

$$E \text{ beton tanpa serat} = 25961,667 / 2 = 12980,83 \text{ MPa}$$

$$E \text{ beton serat} = 23166,667 / 2 = 11583,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat isi beton tanpa serat} = 23044,938 \text{ N/m}^3$$

$$\text{Berat isi beton serat} = 23336,96 \text{ N/m}^3$$

$$\text{Volume beton} = 0,04\text{m} \times 0,08\text{m} \times 1\text{m} = 0,0032\text{m}^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 40\text{mm} \times (80\text{mm})^3 = 1706667\text{m}^4$$

$$\text{massa beton tanpa serat} = \frac{23044,938\text{N/m}^3 \times 0,0032\text{m}^3}{9800\text{mm/s}^2} = 0,00752488\text{Ns}^2/\text{mm}$$

$$\text{massa beton serat} = \frac{23336,96\text{N/m}^3 \times 0,0032\text{m}^3}{9800\text{mm/s}^2} = 0,00762\text{Ns}^2/\text{mm}$$

$$K_{\text{beton tanpa serat}} = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \times 12980,83 \text{ MPa} \times 1706667\text{m}^4}{(1000\text{mm})^3} = 1063,389 \text{ N/mm}$$

$$K_{\text{beton serat}} = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \times 11583,33 \text{ MPa} \times 1706667\text{m}^4}{(1000\text{mm})^3} = 948,907 \text{ N/mm}$$

$$f_n \text{ beton tanpa serat} = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{1063,389\text{N/mm}}{0,0075\text{Ns}^2/\text{mm}}}}{2 \times 3,14} = 59,859 \text{ put/det}$$

$$f_n \text{ beton serat} = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{948,907\text{N/mm}}{0,0076\text{Ns}^2/\text{mm}}}}{2 \times 3,14} = 56,26 \text{ put/det}$$

4.5. PENGOLAHAN DATA FREKUENSI

4.5.1. Frekuensi Alami

Terdapat 3 cara untuk mencari frekuensi alami benda uji yaitu :

1. Melakukan eksperimen menggunakan palu elektrik
2. Modelisasi menggunakan program SAP 2000,
3. Perhitungan analitis oleh Ratna,2007 [16]

4.5.1.1. Pengujian Awal [Ratna Restiana,2007][16]

Sebelum dilakukan penumbukan pada benda uji balok, dilakukan eksperimen untuk mencari frekuensi alami dari setiap benda uji menggunakan palu elektrik dan dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan program SAP 2000. Setelah itu, dilakukan uji tumbukan sampai retak dan dicatat pula frekuensinya. Dari ketiga benda uji dari tiap sampel , diambil frekuensi benda uji yang mewakili untuk dibandingkan dengan keempat jenis sampel. Tabel berikut memperlihatkan frekuensi alami benda uji pada pengujian sebelumnya

Tabel 4.7 Frekuensi alami benda uji pada pengujian awal

No	Jenis Benda Uji	Frekuensi (Hz)			
		Keadaan utuh			Retak
		Eksperimen	Sap	Analitis	Ekperimen
1	Beton Tanpa Serat (BTS)	87,891	83,098	84,655	-
2	BetonSerat (BS)	78,125	78,763	79,466	29,296
3	Beton Pratarik Tanpa Serat (BPTS)	87,891	87,221	-	19,531
4	Beton Pratarik Berserat (BPS)	85,359	82,523	-	19,531

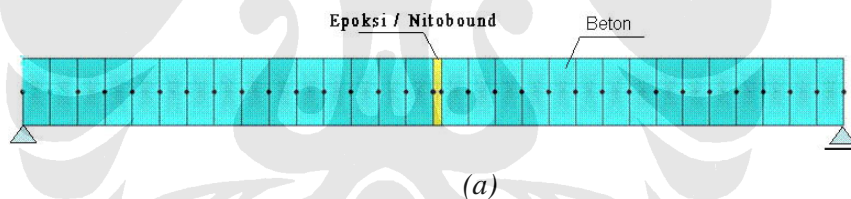
4.5.1.2. Pengujian sesudah perbaikan

Digunakan 2 cara berbeda untuk mencari frekuensi alami benda uji sesudah perbaikan, pertama menggunakan palu elektrik dan yang kedua menggunakan program SAP 2000, untuk perhitungan secara analitis kurang bisa mewakili karena pada benda uji perbaikan, Kekakuan balok telah berubah baik karena material komposit antara beton dan epoksi dan juga karena telah menurunnya kekuatan balok akibat tumbukan.

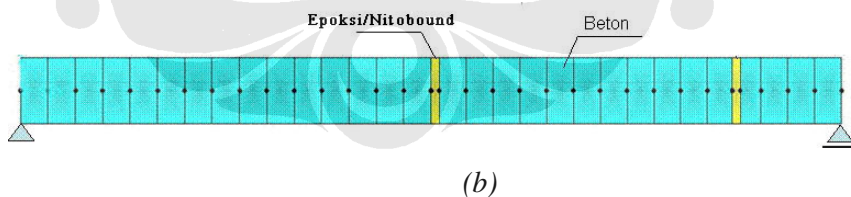
A. Perhitungan SAP 2000

Terdapat berbagai macam bentuk kerusakan balok, dimana untuk permodelan di dalam SAP tentunya harus sesuai dengan kondisi sebenarnya dari balok. Dalam modelisasi balok dibagi menjadi beberapa segmen. Pada segmen tipis berwarna kuning adalah untuk mewakili dari lokasi perbaikan dimana properti materialnya yang untuk benda uji tanpa pratarik menggunakan *nitobound* sedangkan benda uji dengan pratarik menggunakan Epoksi.

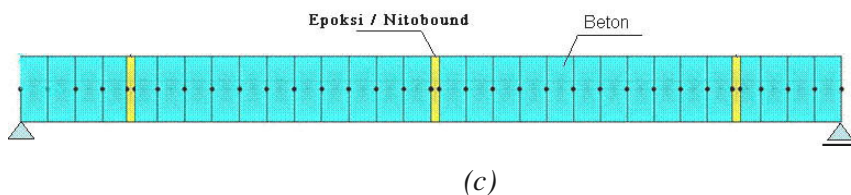
→ Modelisasi balok dengan kerusakan di tengah (model 1)



→ kerusakan di tengah dan di sisi kiri tumpuan (model 2)



→ kerusakan di tengah dan di sisi kiri dan kanan tumpuan (model 3)



Gambar 4.4.2. (a) Modelisasi perbaikan pada balok yang retak atau patah pada satu lokasi, (b) dua lokasi, (c) tiga lokasi.

Dari semua benda uji akan dimodelisasi sesuai dengan kondisi kerusakannya
(lihat gambar 4.4.2)

Model 1 : BTS-1, BTS-2, BTS-3, BS-1, BS-2, BS-3, BPS-1 (7 benda uji)

Model 2 : BPTS-2, BPTS-3, BPS-2 (3 benda uji)

Model 3 : BPTS-1, BPS-2 (2 benda uji)

A.1 . Modelisasi struktur balok tanpa pratarik

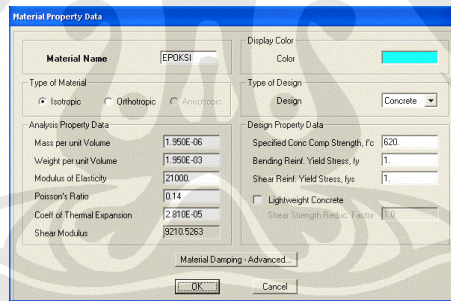
➔ Properti dari material perbaikan

Epoksi	<i>Nitobound</i>
Compressive Strength (ASTM D-695)	Compressive Strength (ASTM D-695)
7 days 620 kg/cm ²	7 days 505 kg/cm ²
28 days 640 kg/cm ²	28 days 570 kg/cm ²
Modulus Of Elasticity 21,000 kg/cm ²	Modulus Of Elasticity 43,000 kg/cm ²
Coefficient of thermal expansion (-20^oC to +40^o C) 89 x 10 ⁻⁶ per ° C	Coefficient of thermal expansion (-20^o C to +40^o C) 50 x 10 ⁻⁶ per ° C

Ket :Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran B

(a)

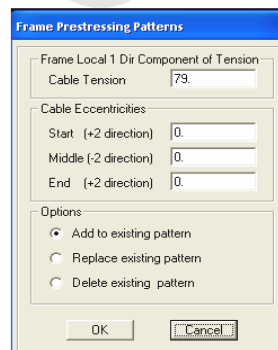
➔ input ke SAP --> Define / Material / Epoksi atau *Nitobound*



(b)

A.2 Modelisasi struktur balok pratarik

Pada balok pratarik, gaya kabel dimasukkan sebesar 79,158 kg [Ratna,2007,16]



(c)

Gambar 4.4.3 Input kabel pratarik pada SAP 2000

A.3. Frekuensi Hasil Modelisasi Struktur

Pengaruh keretakan struktur terhadap modulus elastisitas beton (E) menurut SNI Gempa-1726-2002 [21] yaitu dapat ditentukan dengan mengalikan nilai E tersebut dengan suatu presentase efektifitas sebesar 50 %. Maka dari itu input dari modulus elastisitas semua modelisasi pada SAP pada BTS nilai E sama dengan 12980,83 MPa sedangkan pada BS nilai E nya adalah 11583,33 MPa.

Tabel 4.8. Frekuensi alami benda uji BTS dan BS yang telah diperbaiki dihitung dengan SAP 2000

Ragam Getar	Frekuensi (Hz)					
	Beton tanpa serat			Beton serat		
	BTS 1	BTS 2	BTS 3	BS 1	BS 2	BS 3
Mode 1	67,15	67,322	67,594	63,667	63,284	63,284
Mode 2	97,905	97,594	97,289	96,32	95,723	95,723
Mode 3	264,11	265,62	267,35	260,88	261,85	261,85
Mode 4	266,5	266,66	267,47	264,89	264,87	264,87
Mode 5	510	516,64	511,7	510,7	501,6	501,6
Mode 6	581,8	588,27	588,37	559,41	559,73	559,73
Mode 7	587,4	596,36	598,16	597,36	589,32	589,32
Mode 8	828,18	832,3	839,89	824,29	831,1	831,1
Mode 9	1008,5	1015	1019,4	980,17	984,28	984,28
Mode 10	1222,2	1228,4	1221,1	1202,4	1197	1197
Mode 11	1524,8	1529,4	1531,4	1486	1487	1487
Mode 12	1679,5	1676,9	1681	1644,4	1660,1	1660,1
Mode 13	1787,2	1805,5	1791,8	1777,1	1767,8	1767,8
Mode 14	2111,6	2121,3	2124,1	2037,5	2038	2038
Mode 15	2175,8	2172,8	2173,1	2145,3	2129,9	2129,9
Mode 16	2708,5	2736,4	2734,3	2693	2695,3	2695,3
Mode 17	2756,4	2774,5	2783	2709,3	2716,9	2716,9
Mode 18	3011,9	2968,4	2993,9	2925,5	2945,8	2945,8
Mode 19	3288	3312	3312,2	3273,3	3247,2	3247,2
Mode 20	3452	3461,2	3464	3306,2	3310	3310

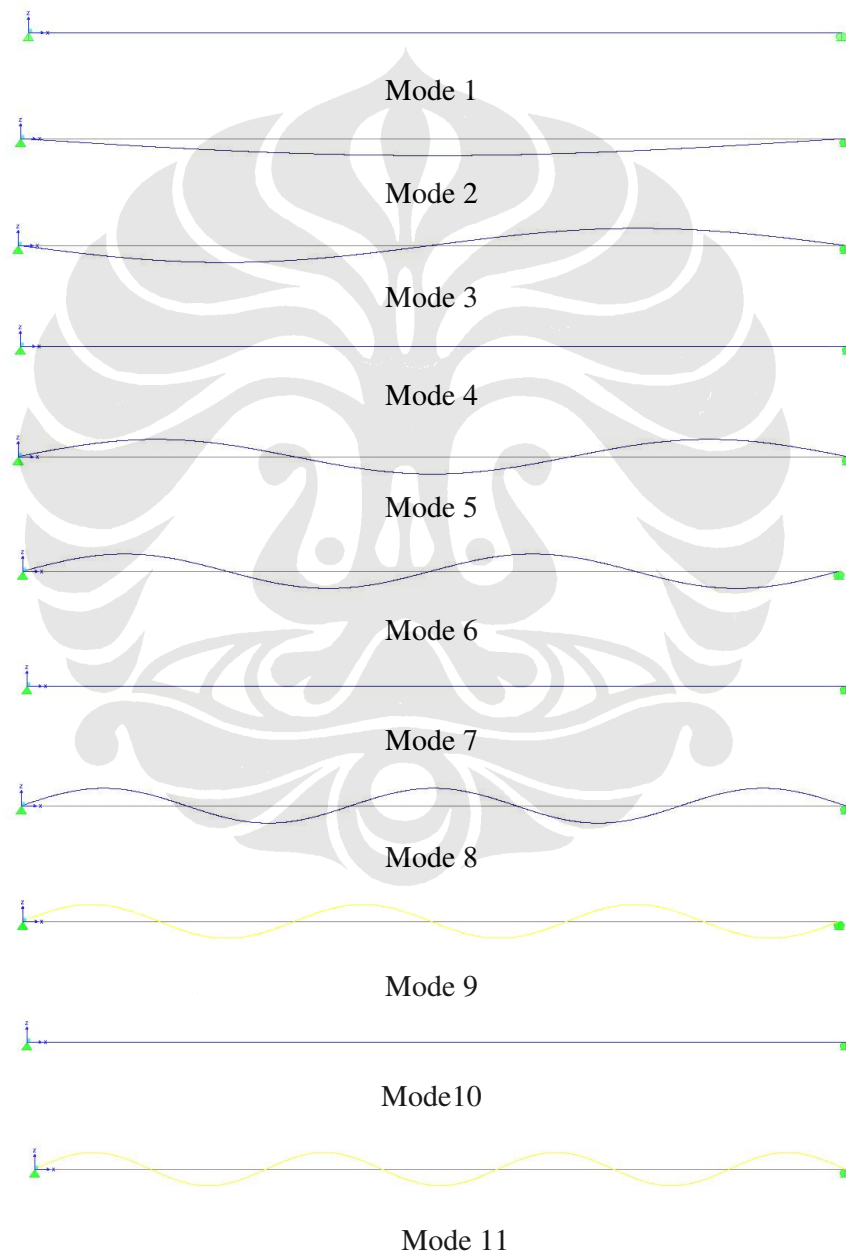
Tabel 4.9 Frekuensi alami benda uji BPTS dan BPS yang telah diperbaiki dihitung dengan SAP 2000

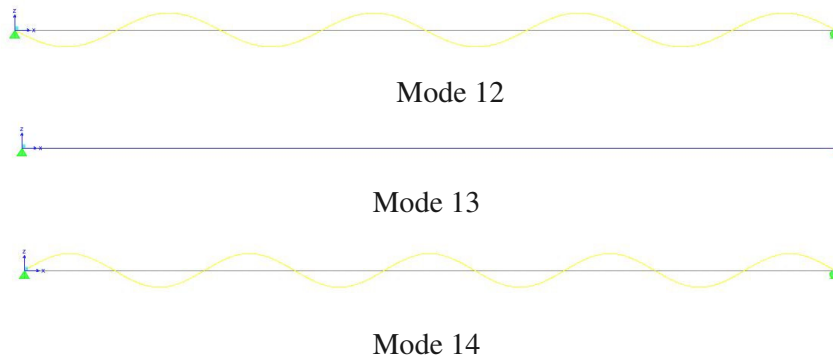
Ragam Getar	Frekuensi (Hz)					
	Beton pratarik tanpa serat			Beton pratarik serat		
	BPTS 1	BPTS 2	BPTS 3	BPS 1	BPS 2	BPS 3
Mode 1	79,645	79,901	79,901	75,53	75,32	74,907
Mode 2	84,937	89,308	89,308	86,829	83,138	80,889
Mode 3	253,88	259,71	259,71	244,75	239,97	238,75
Mode 4	321,53	325,56	325,56	310,01	306,62	300,6
Mode 5	476,36	481,46	481,46	453,41	449,39	448,07
Mode 6	542,04	573,28	573,28	536,98	537,87	512,27
Mode 7	655,69	670,45	670,45	649,07	636,45	617,08
Mode 8	808,66	814,21	814,21	766,92	762,8	753,64
Mode 9	1129,9	1140	1140	1086,6	1078,9	1056,7
Mode 10	1138,8	1173,1	1173,1	1138,1	1107,9	1071,1
Mode 11	1573,4	1595,4	1595,4	1528,9	1510,1	1472,5
Mode 12	1612,3	1704,8	1704,8	1611,1	1606,4	1540
Mode 13	1654,7	1711	1711	1654,6	1608,2	1559,6
Mode 14	1982,2	2022,1	2022,1	1939,4	1908	1864,2
Mode 15	2296,8	2366,6	2366,6	2276,2	2217,4	2164,2
Mode 16	2535,3	2590,5	2590,5	2475,8	2428,3	2386,1
Mode 17	2691,8	2764	2764	2685,5	2641,5	2599,7
Mode 18	2961,9	3041,5	3041,5	2909,6	2842,8	2777,4
Mode 19	3047,4	3116,5	3116,5	2964	2909,2	2865,1
Mode 20	3610	3692,9	3692,9	3553,5	3485	3397

Dari tabel 4.9 terlihat bahwa dari mode 1 sampai ke mode 20 frekuensinya yang terjadi yaitu makin besar sedangkan apabila frekuensi diantara jenis beton serat dan beton tanpa serat dibandingkan, maka penambahan serat pada balok menyebabkan frekuensi yang terjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan karena input nilai elastisitas dari beton serat yang memang lebih kecil dari beton tanpa serat, yaitu sesuai dengan hasil percobaan dan pengujian Ratna R 2007 [16].

A.4. Ragam getar

Untuk mengetahui ragam getar yang terjadi atau untuk menghasilkan *mode shape* lebih dari 2 maka pada modelisasi di dalam SAP elemen dari balok harus dibagi-bagi menjadi 40 bagian setelah itu di *Run Modal analysis* maka pada *analysis result* dapat dilihat frekuensi alami balok.





Gambar 4.4.4 Ragam getar balok awal hasil dari SAP 2000

B. Uji Palu Elektrik

Tabel 4.10 Perbandingan frekuensi alami hasil dari uji palu elektrik dan perhitungan SAP antara benda uji Ratna dan Indra.

Penelitian	Cara perhitungan	Benda uji	Frekuensi (Hz)			
			BTS	BS	BPTS	BPS
Ratna, 2007	Uji palu elektrik		83.098	78.763	87.221	82.523
	SAP 2000		87.891	78.125	87.891	85.359
Indra	Uji palu elektrik	1	58.059	68.359	78.125	68.359
		2	68.359	78.125	68.359	68.359
		3	58.059	68.359	68.359	58.059
	SAP 2000	1	67,15	63,667	79,645	75,53
		2	67,332	63,284	79,901	75,32
		3	67,594	63,284	79,901	74,907

Mengacu pada tabel 4.8 dan 4.9, tabel 4.10 merupakan nilai frekuensi dari ragam getar pertama hasil modelisasi SAP pada semua benda uji Indra dimana mengalami penurunan terhadap benda uji Ratna sebesar 18%. Walaupun penurunan E sebesar 50 % telah mengacu pada SNI Gempa-1726-2002 [21] hal itu hanyalah suatu cara pendekatan dimana seharusnya dilakukan uji non destruktif untuk mendapatkan nilai E sesungguhnya namun hal ini tidak dilakukan. Disamping itu dapat dilihat pula (tabel 4.10) pada BTS,BS,BPTS penurunan nilai E tersebut adalah cukup baik dimana frekuensi hasil SAP 2000 cukup mendekati nilai frekuensi hasil uji palu elektrik kecuali untuk BPS. Hal ini disebabkan karena pada penampang balok BPS gaya pratarik sudah sebagian besar hilang.

4.5.2. FREKUENSI DARI UJI BEBAN TUMBUKAN

Terdapat beberapa perbedaan antara pengujian awal Ratna dengan pengujian pada penelitian ini. Pada pengujian awal, tinggi jatuh dari palu bervariasi yaitu naik sebesar 1 cm tiap siklus 100 pukulan dan perekaman data frekuensi dilakukan tiap 20 pukulan. Selain itu kondisi palunya hanya menggunakan 1 lapisan karet. Hal ini menyebabkan timbulnya retak dini yang lebih cepat terutama pada pukulan diatas 6 cm dimana terjadi fluktuasi tegangan lentur yang cukup besar. Sedangkan pada pengujian benda uji hasil perbaikan, tinggi jatuh dari palu konstan 4 cm selain itu lapisan karetnya ditambah sehingga ketebalannya menjadi 6 mm dimana perekaman frekuensi dilakukan tiap 100 pukulan. Serupa dengan pengujian awal, digunakan 2 buah akselerometer. Akselerometer pertama berada pada jarak 6/8 bentang, digunakan untuk mencatat frekuensi dalam jangkauan 10-100 Hz (F1). Sedangkan akselerometer kedua berada pada jarak 3/8 bentang yang berfungsi untuk mencatat frekuensi 2 dalam jangkauan 100-200 Hz (F2).

4.5.2.1. Frekuensi Balok Tanpa Serat (BTS)

Dari pengujian awal terlihat bahwa semua balok benda uji jenis tanpa serat mengalami keruntuhan secara tiba-tiba tanpa terdeteksinya suatu keretakan sementara nilai frekuensinya cenderung stabil.

A. Balok Tanpa Serat 1 (BTS-1)

Benda uji BTS-1 pada pengujian awal mengalami keruntuhan berupa patah pada awal-awal pukulan. Lokasi patah yaitu pada jarak ± 25 cm dari perletakan A. Oleh karena itu metode yang digunakan untuk memperbaiki yaitu penyambungan beton menggunakan *nitobound EP*.



(a)



(b)

Gambar 4.5.1.(a) Kondisi patah BTS-1 akibat pengujian awal dan (b) kondisi yang telah diperbaiki.

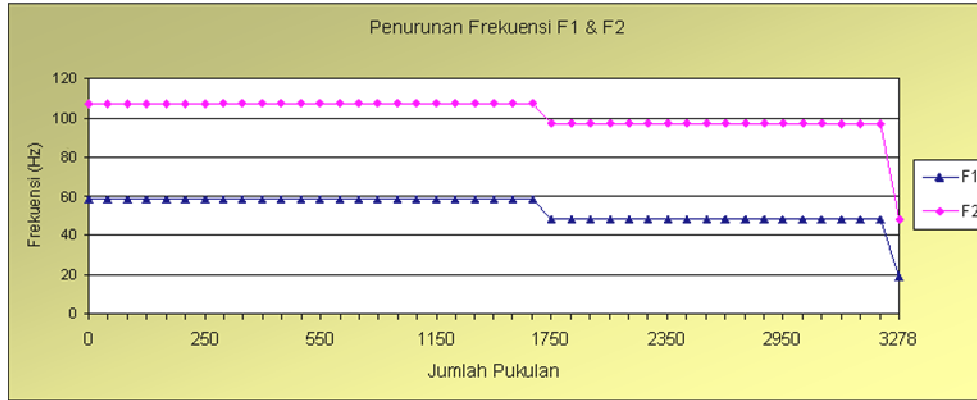
Tampilan grafik dari frekuensi pada pengujian awal dapat dilihat pada gambar 4.5.3.a. dimana frekuensinya tidak banyak tercatat karena benda uji patah ketika hampir mencapai pukulan ke 10.



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Sedangkan pada pengujian kedua, frekuensi akselerometer 1 & 2 pada awalnya menunjukkan nilai yang konstan yaitu 58,597 Hz dan 107,229 Hz lalu menurun pada pukulan ke 1800, tetapi tidak ada tanda-tanda retak lalu tumbukan terus dilakukan hingga benda uji BTS-1 mengalami keruntuhan tiba-tiba pada siklus pukulan ke 3256.

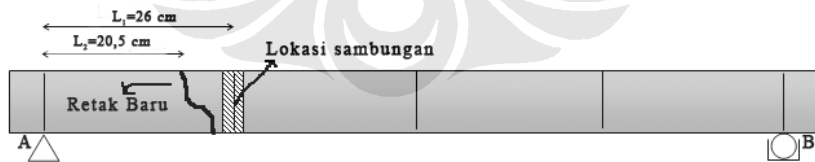


(b)

Gambar 4.5.2. (a) Frekuensi benda uji BTS-1 pada pengujian awal (b) pengujian setelah diperbaiki



(a)



(b)

Gambar 4.5.3.(a) Lokasi keruntuhan dan (b) Pola retak pada benda uji perbaikan BTS-1

Keruntuhan dari BTS-1 dimulai dari lokasi perbaikan lalu merambat ke atas ke arah kiri menjauhi lokasi perbaikan dan terjadi pola retak yang unik yaitu retak

miring. Hal ini disebabkan karena adanya *defect*/cacat atau kelemahan akibat kurang sempurnanya proses perbaikan maka akan terjadi konsentrasi tegangan dimana pemberian beban tumbukan secara berulang menyebabkan retak akan cepat timbul di titik tersebut.

Lokasi retak terjadi pada jarak 20,5 cm dari perletakan A (gambar 4.5.3.b) melainkan berdekatan dengan lokasi penyambungan balok.

Meskipun begitu dapat dilihat pada Gambar 4.5.3.a bahwa retak baru tidak sepenuhnya bersinggungan dengan lokasi penyambungan.

Hal ini membuktikan bahwa kuat ikat antara beton dengan bahan sambungan lebih baik dari pada mortar balok BTS-1.

B. Balok Tanpa Serat 2 (BTS-2)

Balok beton murni BTS-2 pada pengujian awal mengalami keruntuhan berupa patah disebelah kiri sama dengan BTS-1 tetapi berada pada jarak ± 38 cm dari perletakan A, balok mengalami runtuh berupa patah secara tiba-tiba pada pukulan ke 810 dengan ketinggian 11 cm. Oleh karna itu metode yang digunakan untuk memperbaiki yaitu penyambungan menggunakan *Nitobound*.



(a)



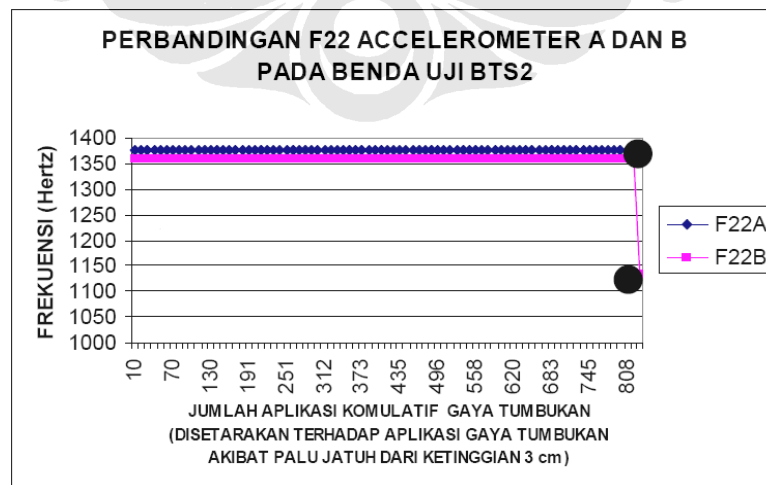
(b)

Gambar 4.5.4. (a) Kondisi patah BTS-2 akibat pengujian awal dan (b) kondisi yang telah diperbaiki

Pada pengujian pertama frekuensinya yang timbul cukup besar, F22B yaitu 1355 Hz sedangkan F22A 1375 Hz hal ini terjadi karena terdapat perbedaan dalam metode pembebanan dan juga kondisi palu. Benda uji mengalami getaran sesuai dengan ragam getar no 22.

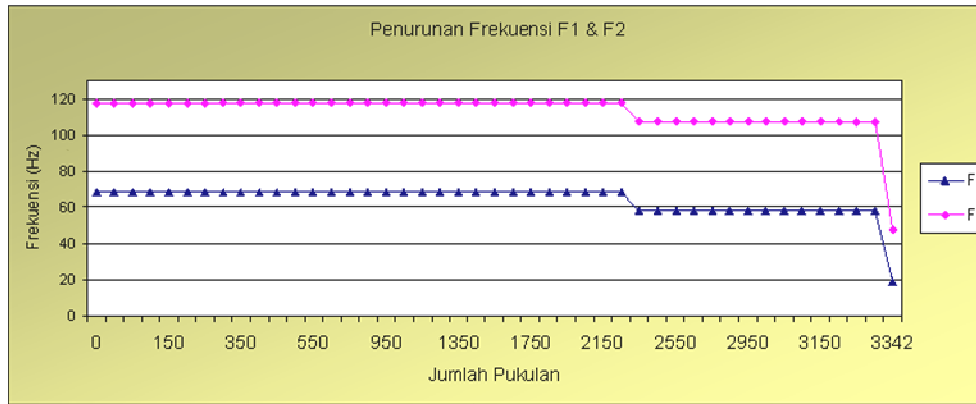


Gambar 4.5.5. Ragam getar 22



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)



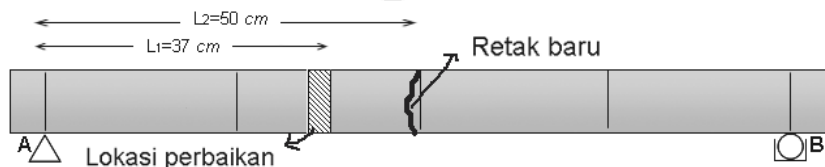
(b)

Gambar 4.5.6 (a) Frekuensi benda uji BTS-2 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Sedangkan pada pengujian setelah perbaikan pukulan pertama uji dinamik frekuensi akselerometer 1 dan 2 yaitu $68,359 \text{ Hz}$ dan $117,175 \text{ Hz}$.



(a)



(b)

Gambar 4.5.7. (a) Lokasi keruntuhan dan (b) Pola retak pada benda uji perbaikan BTS-2

Benda uji ini sesuai dengan hipotesa awal dimana benda uji runtuh pada titik pembebanan.

C. Balok Tanpa Serat 3 (BTS-3)

Pada pengujian awal, balok ini merupakan satu-satunya balok berjenis tanpa serat yang sesuai dengan hipotesa penelitian yaitu balok runtuh ditengah bentang. Dan terbukti lokasi retak yaitu 50 cm dari perletakan A dimana balok mengalami runtuh pada pukulan ke-890 tinggi 11 cm.



(a)



(b)

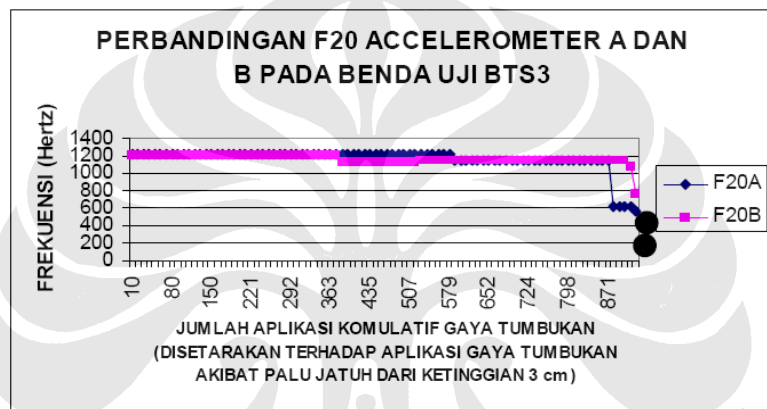
Gambar 4.5.8. Kondisi patah BTS-3 akibat pengujian awal dan (b) kondisi yang telah diperbaiki

pada pengujian pertama frekuensinya lebih besar hal ini dikarenakan kondisi balok masih baik. Ragam getarnya sesuai dengan mode 20



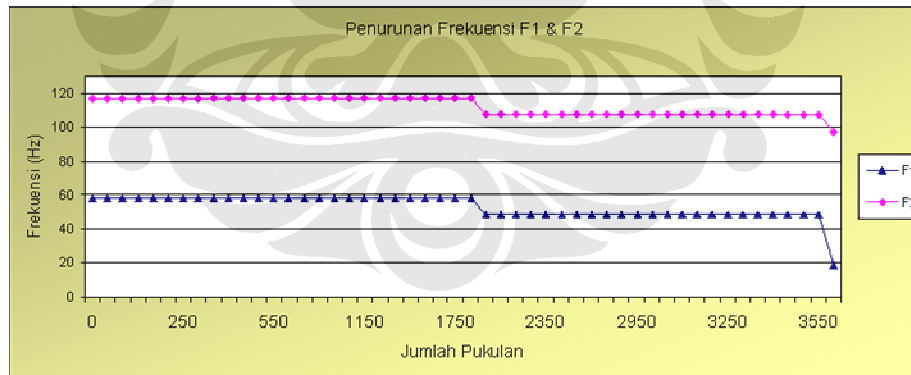
Gambar 4.5.9. Ragam getar 20

Sedangkan untuk grafik frekuensi terhadap jumlah pukulan akan disajikan pada gambar dibawah ini



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)



(b)

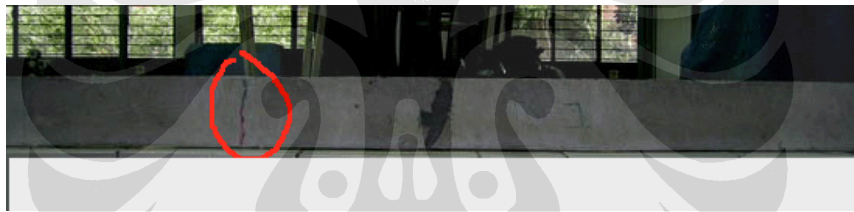
Gambar 4.5.10. (a) Frekuensi benda uji BTS-3 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Pada pengujian ini, sebelum balok mengalami runtuh, yaitu pada pukulan ke-3455 balok mengalami retak (gambar 4.5.11). Hal ini berbeda dengan kondisi BTS lainnya dimana terjadi keruntuhan secara tiba-tiba tanpa terdeteksi suatu retak sebelumnya.



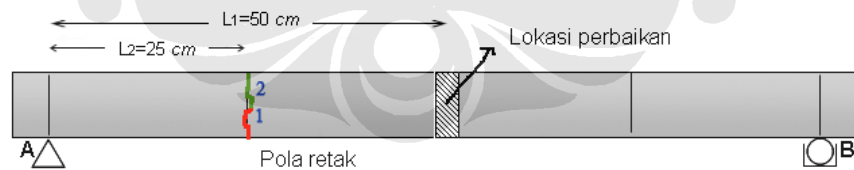
Gambar 4.5.11. Perambatan retak pada benda uji BTS-3 sebelum runtuh

Pada saat retak pertama ini, ketika hendak dibaca nilai frekuensinya yaitu dengan me-reset osiloskop dan dilakukan tumbukan, terjadi runtuh pada balok sehingga frekuensi retak tidak terekam.



(a)

Ket : - Garis yang diberi lingkaran adalah lokasi patah pada pengujian setelah perbaikan



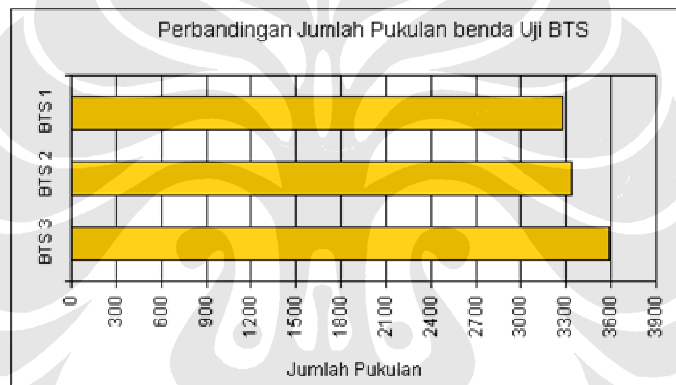
(b)

Gambar 4.5.12 (a) Lokasi keruntuhan dan (b) Pola retak pada benda uji perbaikan BTS-3

Dari pengujian sampel balok tanpa serat, dapat diamati bahwa semua balok tidak patah pada lokasi penyambungan, hal ini membuktikan bahwa material *Nitobound* cukup baik digunakan untuk penyambungan beton. Disamping itu, pada umumnya retak awal tidak terdeteksi walaupun frekuensinya menurun kecuali pada BTS-3.

Tabel 4.11. Perbandingan frekuensi benda uji BTS pada awal uji tumbukan

Pengujian Oleh	Benda uji ke	Frekuensi			
		Accelerometer A		Accelerometer B	
		Ragam Getar I (Hz)	Ragam Getar 22 (Hz)	Ragam Getar 2 (Hz)	Ragam Getar 22 (Hz)
Ratna, 2007	1	68,359	-	97,058	-
	2	78,125	1377,221	117,187	1385,331
	3	87,891	1210,398	126,953	1210,398
Indra	1	58,059	-	107,175	-
	2	68,359	-	117,187	-
	3	58,059	-	117,187	-



Gambar 4.5.13 Perbandingan jumlah pukulan benda uji BTS setelah perbaikan

Tabel 4.12 Perbandingan jumlah pukulan antara benda uji BTS

Benda Uji	Jumlah pukulan	
	Ratna	Indra
BTS 1	2	3278
BTS 2	829	3342
BTS 3	923	3550
Rata-rata	876	3400

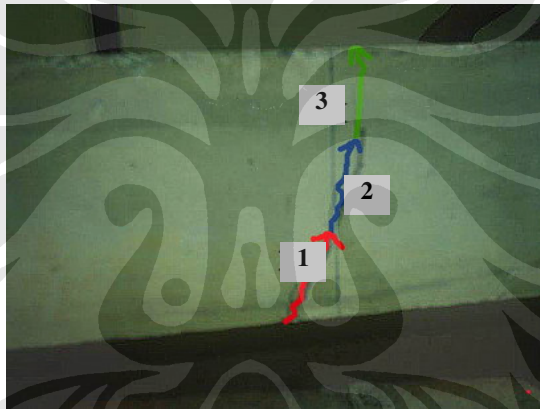
Dari gambar 4.5.13 terlihat bahwa BTS 3 mempunyai ketahanan paling kuat diantara jenisnya terhadap beban tumbukan, dimana dia mengalami keruntuhan pada saat pada siklus pukulan ke-3550, sedangkan rata-rata kemampuan menahan tumbukan benda uji jenis balok tanpa serat yaitu 3400 pukulan (Tabel 4.12).

4.5.2.2 Frekuensi Balok Serat 1% (BS 1%)

Pada pengujian awal dapat diamati bahwa pola khas keruntuhan jenis balok serat yaitu diawali dengan retak tipis pada bagian bawah balok lalu merambat keatas. Sedangkan pada sebelah bawahnya keretakan membesar sampai akhirnya runtuh. Hipotesa awal pada pengujian balok serat yaitu jumlah pukulannya lebih besar dari pada balok tanpa serat.

A. Balok Serat 1 (BS-1)

pengujian awal BS-1 , Akibat beban tumbukan pertama-tama timbul retak kecil lalu setelah tumbukan selanjutnya retak bertambah besar dan akhirnya runtuh. Letak titik patah pada jarak 25 cm dari perletakan B



Gambar 4.5.14 Pola perambatan retak pada benda uji BS-1 pengujian awal



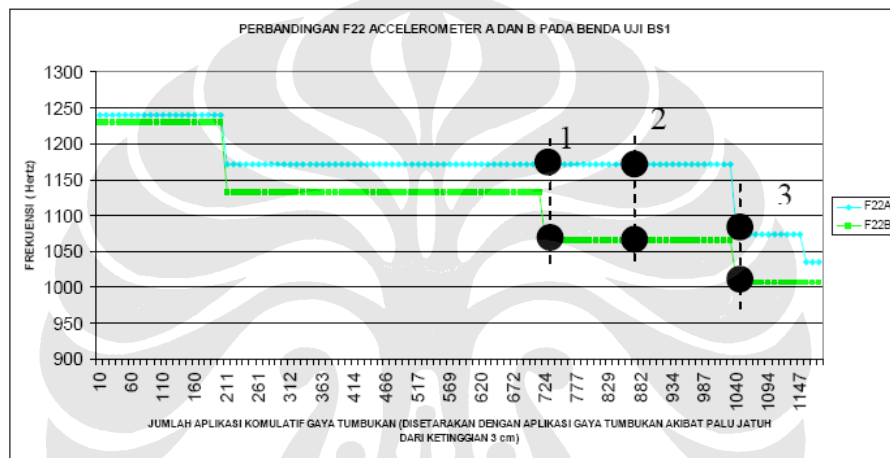
Gambar 4.5.15 . Kondisi benda uji BS-1 setelah perbaikan

Pada pengujian awal frekuensi yang muncul cukup besar yaitu 1200 hz, sehingga Ragam getar yang terjadi yaitu *mode 22*.



Gambar 4.5.16. Ragam getar 22

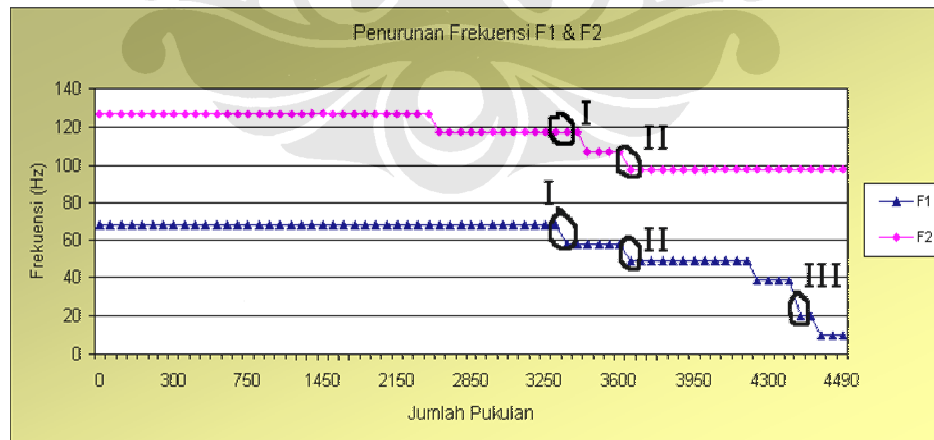
Sedangkan untuk grafik perbandingan frekuensi vs jumlah tumbukan baik pada penelitian sebelumnya maupun penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.5.17



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : - Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



(b)

Gambar 4.5.17 (a) Frekuensi benda uji BS-1 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Dari gambar 4.5.17, nilai frekuensi benda uji hasil perbaikan awalnya yaitu sebesar 68,359 Hz lalu ketika mencapai pukulan ke-3150 frekuensi dari balok menurun menjadi 58,059 Hz tetapi belum terlihat tanda-tanda retak. Sedangkan ketika memasuki pukulan ke-3400 retak telah terlihat pada bagian bawah dan terus merambat ke atas, sementara retak di bagian bawah terus melebar. Hingga pukulan ke-4490 balok patah. Untuk lebih jelasnya, tahapan retak dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.13 Tahap keretakan & lebar retak BS-1 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	766	987	1040	3400	4100	4490
Lebar retak (mm)	-	-	-	0,5	5	11

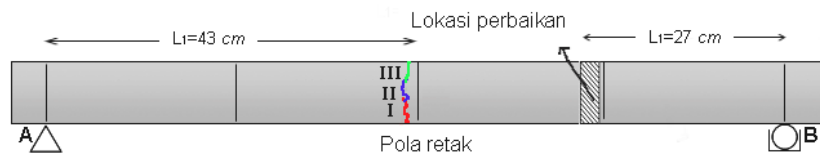
Untuk tahap keretakan pada benda uji beton serat 1 dapat dilihat pada gambar 4.5.18.



(a)



(b)

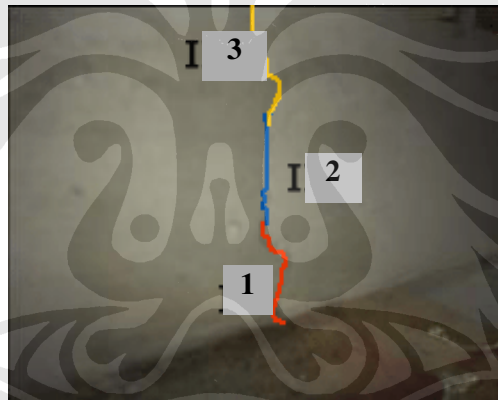


(c)

Gambar 4.5.18 Tahap keretakan benda uji BS-1 dan pola keruntuhan (a) retak awal (b) retak akhir (c) sketsa perambatan retak

B. Balok Serat 2 (BS-2)

Pada pengujian awal BS-2, akibat pemberian beban tumbukan pertama-tama timbul retak kecil lalu setelah beberapa tumbukan berikutnya, retak bertambah besar dan akhirnya runtuh. Letak titik patah berada di tengah bentang



Gambar 4.5.19 Pola perambatan retak pada benda uji BS-2 pengujian awal



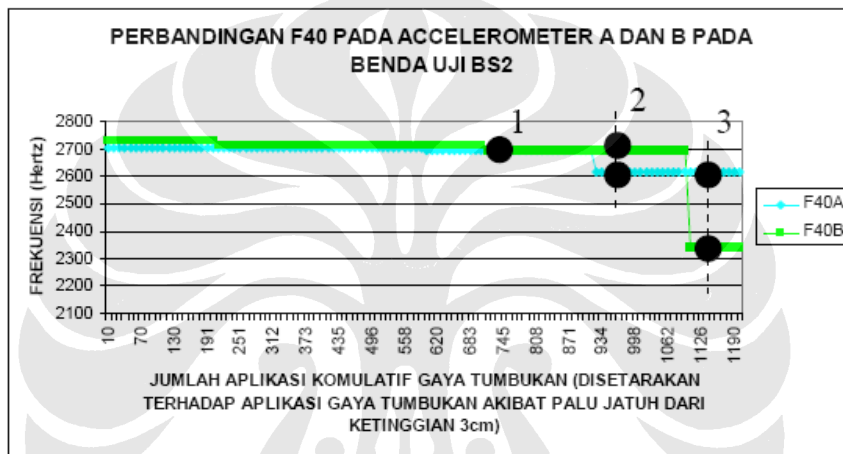
Gambar 4.5.20 Kondisi benda uji BS-2 setelah perbaikan

Pada pengujian awal, frekuensi yang muncul cukup besar yaitu 2700 hz, sehingga Ragam getar yang terjadi yaitu *mode 40*.



Gambar 4.5.21 Ragam getar 40

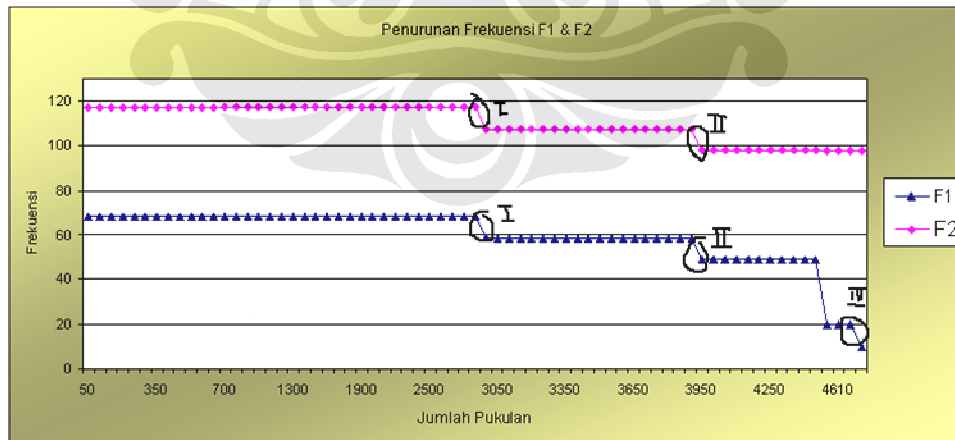
Sedangkan untuk grafik perbandingan frekuensi vs jumlah tumbukan dapat dilihat pada gambar 4.5.22



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



Gambar 4.5.22 (a) Frekuensi benda uji BS-2 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

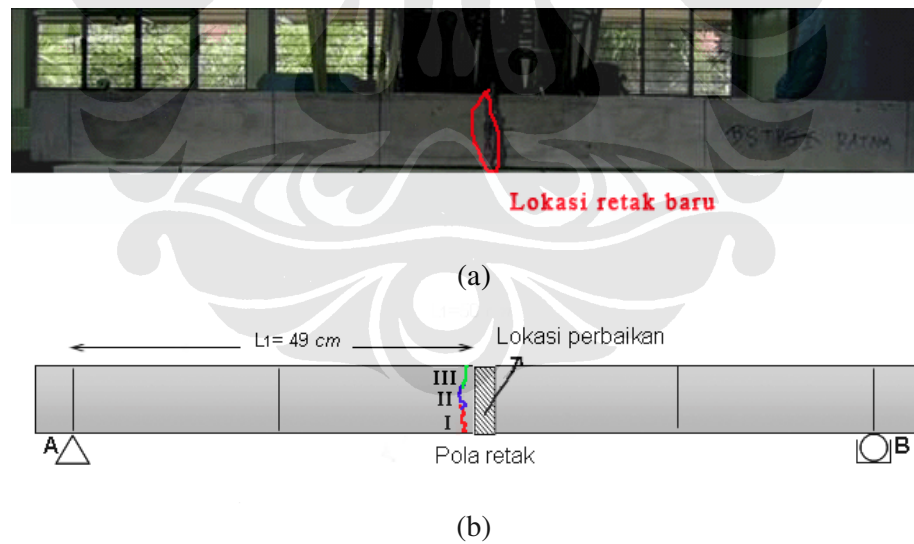
Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Pada pengujian BS-2 hasil perbaikan, ketika mencapai pukulan ke 2800 frekuensi dari balok menurun dari 68,359 Hz menjadi 58,597 Hz tetapi belum terlihat retak. Sedangkan ketika memasuki pukulan ke-3100 retak telah terlihat pada bagian bawah dan terus merambat seiring dengan bertambahnya jumlah pukulan. Hingga pukulan ke-4616 balok patah, frekuensi yang terekam saat balok patah yaitu sebesar 19,531 Hz.

Untuk lebih jelasnya, tahapan retak dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.14. Tahap keretakan & lebar retak BS-2 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	735	1009	1126	2850	3900	4616
Lebar retak (mm)	-	-	-	0,5	3	7



Gambar 4.5.23 (a) Lokasi keruntuhan benda uji BS-2 setelah diperbaiki
(b) sketsa perambatan retak

Dari gambar 4.5.23 terlihat bahwa lokasi patah berada dekat dengan lokasi perbaikan beton, tetapi tidak bersinggungan.

C. Balok Serat 3 (BS 3)

Pada pengujian awal BS-3, Akibat uji beban tumbukan pertama timbul retak-retak kecil dimana pengaruh penambahan serat dapat meredam pelebaran retak tersebut. Selanjutnya setelah tumbukan dilakukan terus-menerus menyebabkan retak bertambah besar dan akhirnya runtuh. Letak titik patah berada di tengah bentang dimana untuk pola perambatannya dapat dilihat pada gambar 4.5.24



Gambar 4.5.24 Pola retak benda uji BS-3 pada pengujian awal

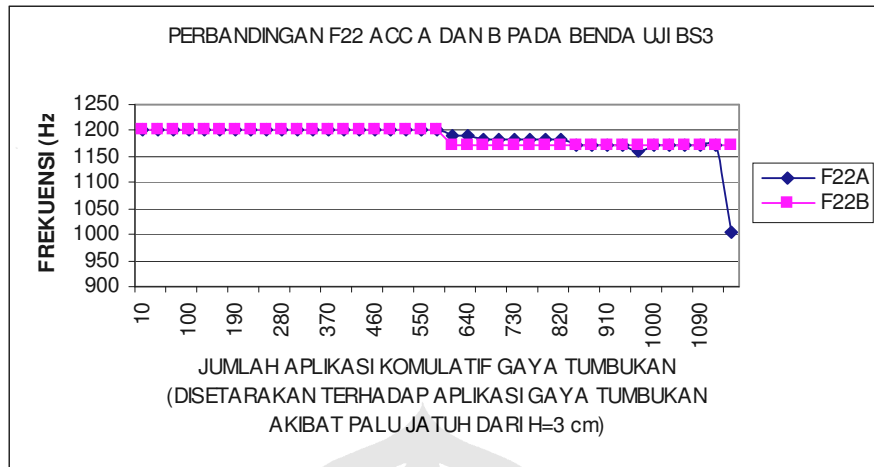


Gambar 4.5.25 Kondisi benda uji BS-3 setelah perbaikan

Pada pengujian awal frekuensi yang muncul cukup besar yaitu 1200 hz, sehingga Ragam getar yang terjadi yaitu *mode 22*.



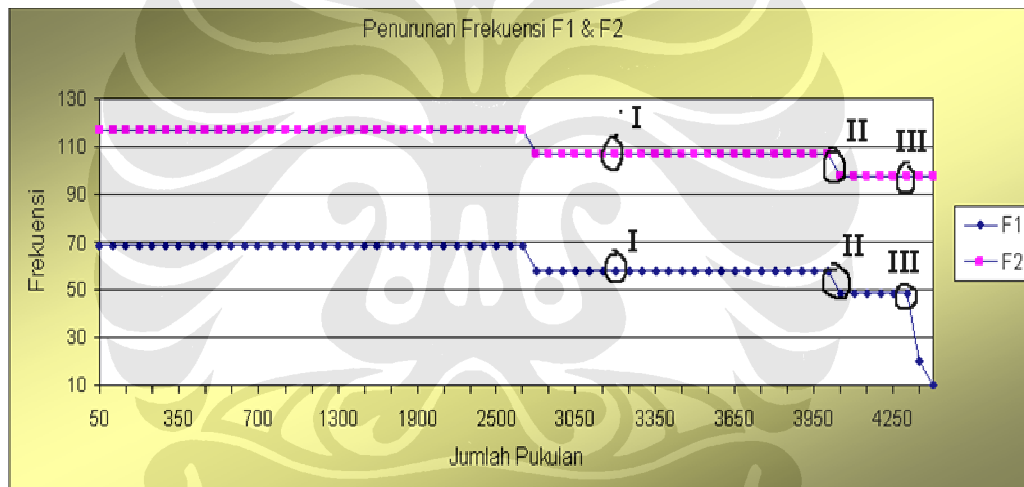
Gambar 4.5.26 Ragam getar 22



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



Gambar 4.5.27 (a) Frekuensi benda uji BS-3 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Pada pengujian BS-3 hasil perbaikan, terlihat dari gambar 4.5.27 ketika mencapai pukulan ke-3350 frekuensi dari balok menurun dari 58,597 Hz menjadi 48,828 Hz tetapi belum terlihat retak. Retak pertama terlihat pada pukulan ke-3450 dan terus merambat seiring dengan bertambahnya jumlah pukulan hingga runtuh pada pukulan ke-4305, frekuensi pada saat patah yang bisa terekam yaitu sebesar 9,766 Hz

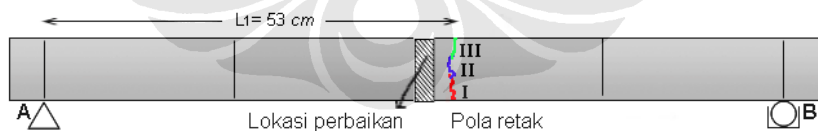
Untuk lebih jelas, tahapan retak beserta pukulannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.15 Tahap keretakan & lebar retak BS-3 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	672	934	1094	3400	4150	4305
Lebar retak (mm)	-	-	-	0,5	4	10



(a)



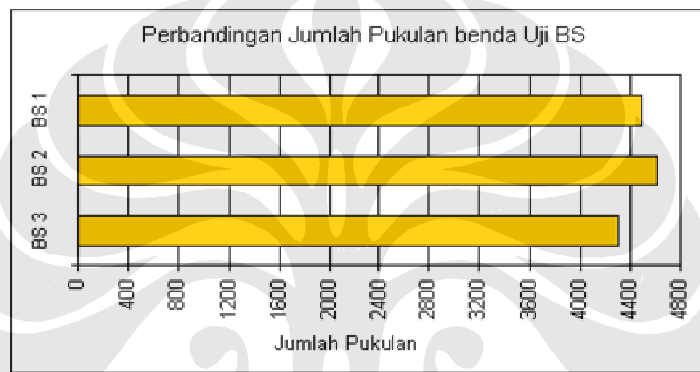
(b)

Gambar 4.5.28 (a) Lokasi keruntuhan benda uji BS-3 setelah diperbaiki
(b) sketsa perambatan retak

Dari gambar 4.5.28 dapat dilihat bahwa lokasi patah tidak terjadi pada lokasi yang telah diperbaiki.

Tabel 4.16. Perbandingan frekuensi benda uji BS pada awal uji tumbukan

Pengujian Oleh	Benda uji BS ke	Frekuensi (Hz)			
		Accelerometer A		Accelerometer B	
		Ragam Getar I	Ragam Getar 22	Ragam Getar 2	Ragam Getar 22
Ratna , 2007	1	68,359	1250,421	97,058	1250,421
	2	78,125	1250,421	117,187	1250,421
	3	87,891	1210,398	126,953	1210,398
Indra	1	68,359	-	126,953	-
	2	68,359	-	117,187	-
	3	68,359	-	117,187	-



Gambar 4.5.29 Perbandingan jumlah pukulan benda uji BS setelah perbaikan

Tabel 4.17. Perbandingan frekuensi retak antara benda uji jenis beton serat milik Ratna dan Indra

Pengujian Oleh	Benda uji BS	Frekuensi (Hz)				Jumlah Pukulan
		Awal (Belum runtuh)	Retak Pertama	Retak Kedua	Balok Patah	
Ratna , 2007	1	68,359	1125,128	1075,331	1005,212	1185
	2	78,125	2675,331	2605,523	2335,221	1200
	3	87,891	1200,115	1175,431	1125,115	1145
Indra	1	68,359	58,059	48,828	19,531	4490
	2	68,359	58,059	48,828	19,531	4616
	3	68,359	58,059	48,828	9,761	4305

Dari ketiga benda uji jenis beton serat, BS 2 mempunyai ketahanan paling kuat dimana dia mengalami keruntuhan pada pukulan ke 4620 (gambar 4.5.29), sedangkan pada pengujian indra penurunan frekuensi sewaktu benda uji retak yaitu rata-rata sebesar 10 point kecuali saat sebelum patah dimana penurunannya drastis (tabel 4.17)

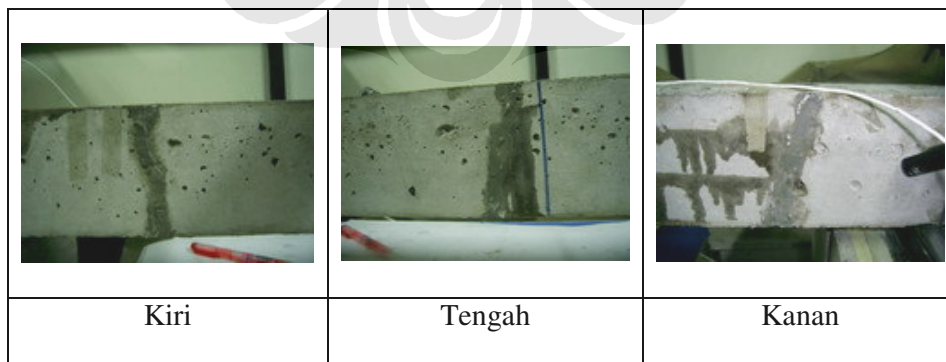
4.5.2.3 Frekuensi Balok Pratarik Tanpa Serat (BPTS)

Pada pengujian awal Ratna,2007[16] dapat diamati bahwa benda uji jenis balok pratarik tanpa serat (BPTS) tidak mengalami keruntuhan karena adanya kabel pratarik yang mempertahankan keutuhan balok. Kerusakannya berupa retak yang dimulai dari bagian bawah balok lalu merambat keatas hingga retak mengelilingi balok tersebut, keretakan juga terjadi di daerah tumpuan hal ini disebabkan oleh adanya gaya perlawanan kabel terutama saat tinggi jatuh palu diatas 8 cm.

Pada pengujian benda uji BPTS hasil perbaikan, tinggi jatuh H diubah menjadi 6 cm, hal ini dikarenakan dari pengujian-pengujian sebelumnya diketahui bahwa beton pratarik memiliki kekuatan jauh lebih besar dari pada beton polos. Untuk itu pada tampilan grafiknya akan disetarakan dengan aplikasi gaya tumbukan pada ketinggian $H = 4$ cm, sedangkan perekaman frekuensi dilakukan tiap 100 pukulan.

A. Balok Pratarik Tanpa Serat 1 (BPTS-1)

Kerusakan terjadi pada 3 sisi yaitu sebelah kiri, di tengah dan sebelah kanan, lalu balok diperbaiki dengan metode injeksi.

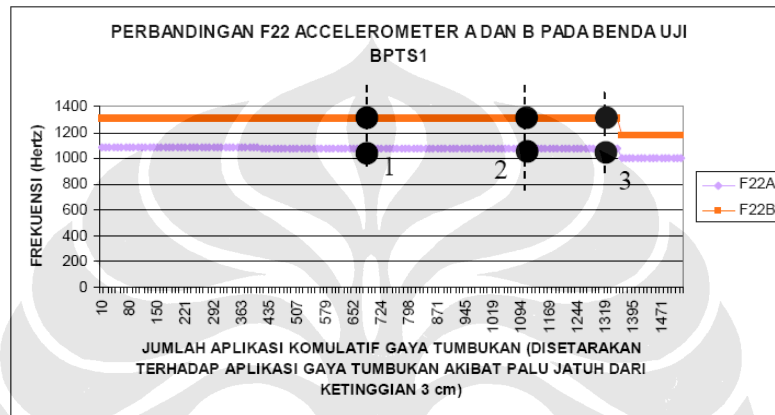


Gambar 4.5.30 Kondisi benda uji BPTS-1 setelah dilakukan injeksi

Pada pengujian pertama frekuensinya jauh lebih besar dari frekuensi alaminya. Ragam getarnya sesuai dengan mode 22.



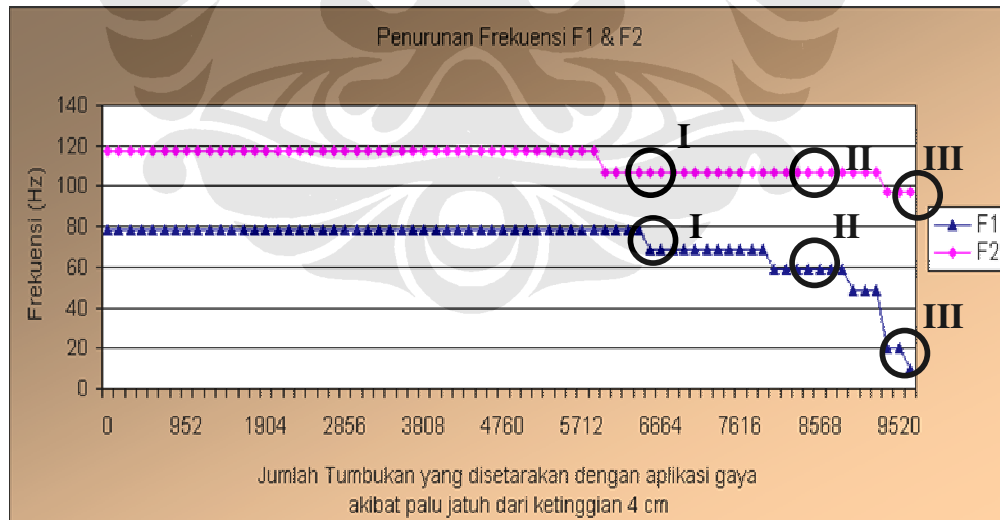
Gambar 4.5.31 Ragam getar 22



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



(b)

Gambar 4.5.32 (a) Frekuensi benda uji BPTS-1 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Pada pengujian sebelumnya, keretakan pertama muncul pada saat ketinggian tumbukan mencapai 9 cm, lalu sampai mencapai pukulan ke-1480 terjadilah retak di kedua sisi kanan dan kiri dari balok. Sedangkan pada pengujian kali ini, terlihat dari gambar 4.5.32 yaitu ketika mencapai pukulan ke-6500 frekuensi dari balok menurun dari 78,593 Hz menjadi 68,812 Hz tetapi belum terlihat tanda-tanda retak. Lalu ketika memasuki pukulan ke-6900 retak telah terlihat pada bagian bawah dan terus merambat seiring dengan bertambahnya jumlah pukulan hingga pukulan ke-9656. Frekuensi akhir yaitu saat retak mengelilingi balok adalah sebesar 19,953 Hz.

Untuk lebih jelasnya, tahapan retak dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

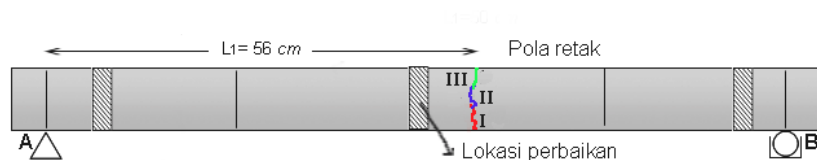
Tabel 4.18. Tahap keretakan BPTS-1 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	735	1223	1482	6528	8024	9656

Pengujian tumbukan dihentikan saat retak terlihat telah mengelilingi balok, dimana lokasi retak baru (lingkaran merah gambar 4.5.33a) tidak terjadi pada daerah yang telah diperbaiki.



(a)



(b)

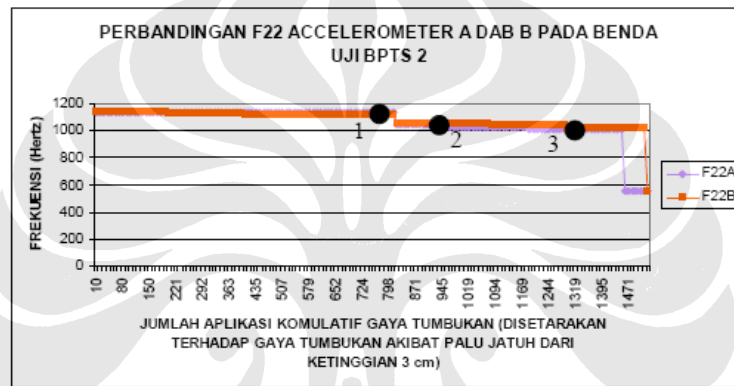
Gambar 4.5.33 (a) Lokasi retak benda uji BPTS-1 setelah diperbaiki (b) sketsa perambatan retak

B. Balok Pratarik Tanpa Serat 2 (BPTS-2)

Kerusakan terjadi pada 2 sisi yaitu di bagian tengah dan di sebelah kanan, lalu balok diperbaiki dengan metode injeksi.



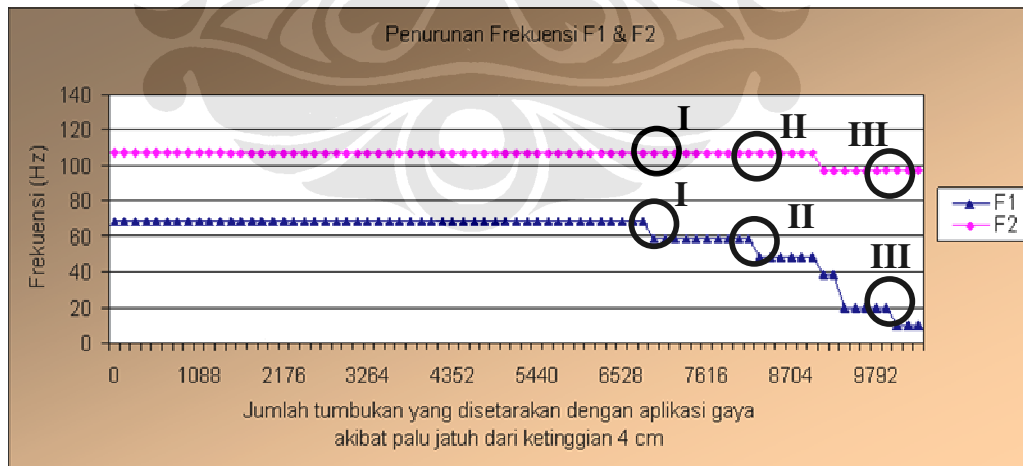
Gambar 4.5.34 Kondisi BPTS-2 hasil perbaikan dengan metode Injeksi



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



Gambar 4.5.35 (a) Frekuensi benda uji BPTS-2 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Pada pengujian awal, keretakan pertama muncul di tengah bentang pada saat ketinggian tumbukan mencapai 10 cm. Lalu sampai pukulan ke-1480 terjadilah retak di sisi kanan dari balok. Untuk lebih jelasnya, perbandingan tahapan retak antara pengujian awal dan pengujian setelah perbaikan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.19. Tahap keretakan BPTS-2 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

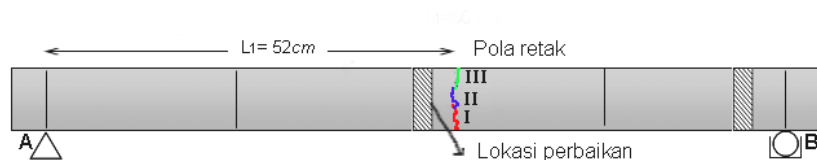
	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Pukulan ke	725	900	1300	6650	8100	10336



(a)



(b)

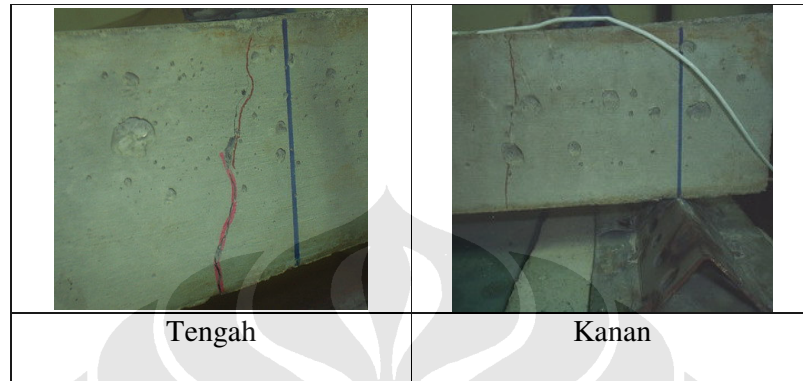


(c)

Gambar 4.5.36 (a) perambatan retak benda uji BPTS-2 setelah diperbaiki
(b) lokasi keretakan (c) sketsa perambatan retak

C. Balok Pratarik Tanpa Serat 3 (BPTS-3)

Kerusakan terjadi pada 2 sisi di sebelah tengah dan di sebelah kanan dekat tumpuan, lalu balok diperbaiki dengan metode injeksi.

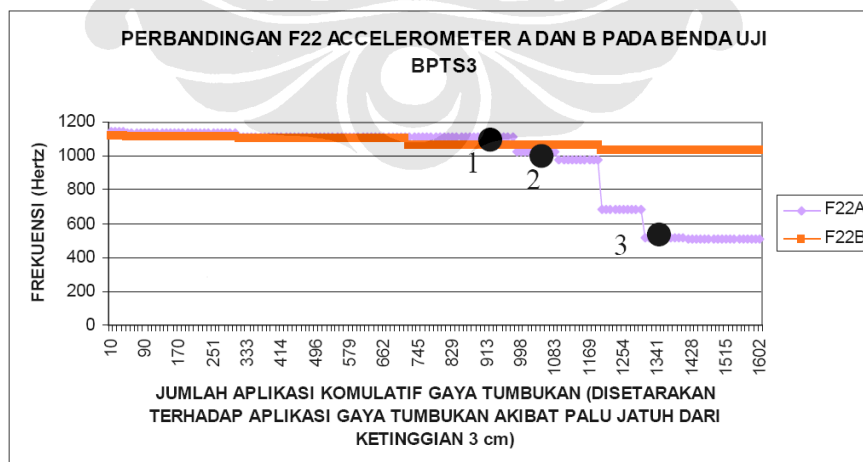


Gambar 4.5.37 Retak pada benda uji BPTS-3 pada pengujian awal

Pada pengujian pertama frekuensinya jauh lebih besar dari frekuensi alaminya. Ragam getarnya sesuai dengan mode 22.



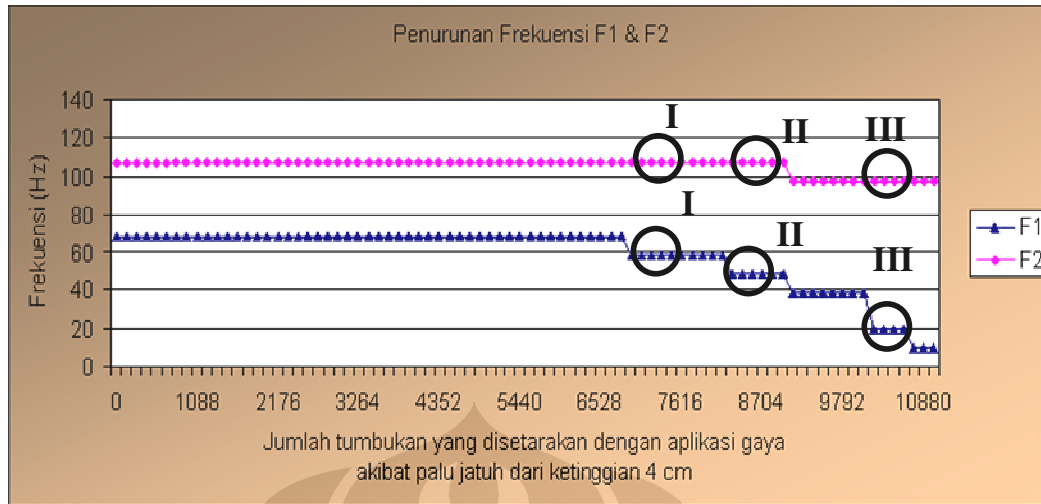
Gambar 4.5.38 Ragam getar 22



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



Gambar 4.5.39 (a) Frekuensi benda uji BPTS-3 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Pada pengujian awal keretakan pertama muncul pada saat ketinggian tumbukan mencapai 12 cm, lalu ketika sampai pukulan ke-1600 terjadilah retak di sisi kanan dekat tumpuan balok. Untuk lebih jelasnya, tahapan retak BPTS-3 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

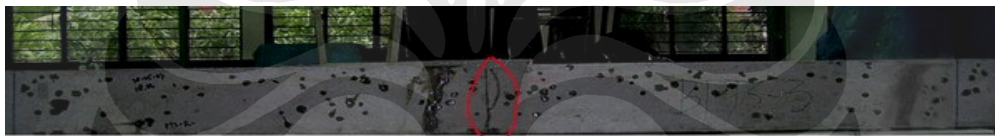
Tabel 4.20. Tahap keretakan BPTS-3 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	913	1050	1341	7100	8500	10880

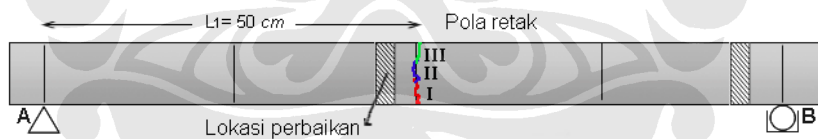
Pada pengujian benda uji hasil perbaikan ketika mencapai pukulan ke-7100 frekuensi dari balok menurun dari 68,359 Hz menjadi 58,812 Hz tetapi belum terlihat tanda-tanda retak. Sedangkan ketika memasuki pukulan ke-7250 retak telah terlihat di tengah balok pada bagian bawah dan terus merambat seiring dengan bertambahnya jumlah pukulan hingga akhirnya membelah balok yaitu pada pukulan ke-10880, frekuensi pada saat retak mengelilingi balok yaitu sebesar 9,761 Hz (gambar 4.5.39).



(a)



(b)



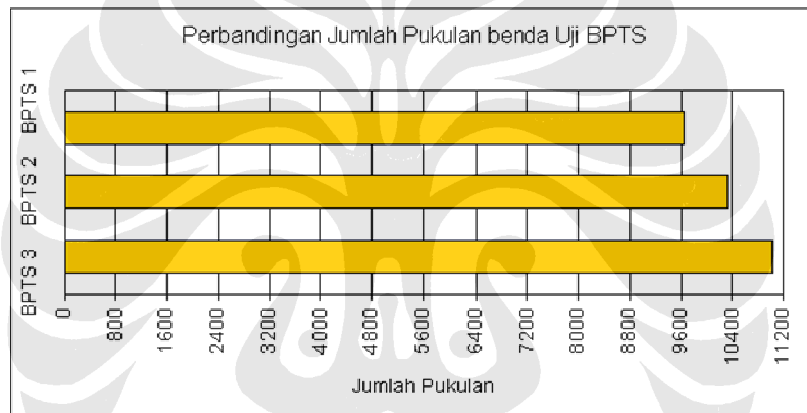
(c)

Gambar 4.5.40 (a) perambatan retak benda uji BPTS-3 setelah diperbaiki
(b) lokasi keretakan (c) sketsa perambatan retak

Dari gambar 4.5.40 terlihat bahwa keretakan akhir tidak terjadi pada lokasi perbaikan injeksi, melainkan disebelah kanannya kira-kira 3 cm. Sedangkan pada bagian tumpuan baik di kanan maupun kiri keretakan tidak terjadi. Hal ini menandakan bahwa perbaikan injeksi pada benda uji BPTS-3 cukup baik. Sedangkan untuk perbandingan frekuensi antara pengujian Ratna,2007 dan Indra disajikan pada tabel 4.21 dibawah ini.

Tabel 4.21. Perbandingan frekuensi semua benda uji BPTS pada awal uji tumbukan

Pengujian Oleh	Benda uji BPTS ke	Frekuensi (Hz)			
		Accelerometer A		Accelerometer B	
		Ragam Getar I	Ragam Getar 22	Ragam Getar 2	Ragam Getar 40
Ratna, 2007	1	87,891	1074,2	97,656	2460,9
	2	87,891	1132,81	97,656	2333,98
	3	87,891	1025,098	97,656	2089,841
Indra	1	78,125	-	117,175	-
	2	68,359	-	107,421	-
	3	68,359	-	107,421	-



Gambar 4.5.41 Perbandingan jumlah pukulan benda uji BPTS setelah perbaikan

Tabel 4.22 Perbandingan frekuensi retak benda uji BPTS Ratna dan Indra

Pengujian Oleh	Benda uji BPTS	Frekuensi (Hz)				Jumlah Pukulan
		Awal (Belum runtuh)	Retak Pertama	Retak Kedua	Balok Runtuh	
Ratna, 2007	1	1074,2	1074,2	1074,2	1005,9	1482
	2	1132,81	1074,2	1025,39	1005,9	1300
	3	1025,098	1025,098	685,46	507,81	1341
Indra	1	78,125	68,812	58,812	19,531	9656
	2	68,359	58,812	48,828	9,761	10336
	3	68,359	58,059	48,828	9,761	11016

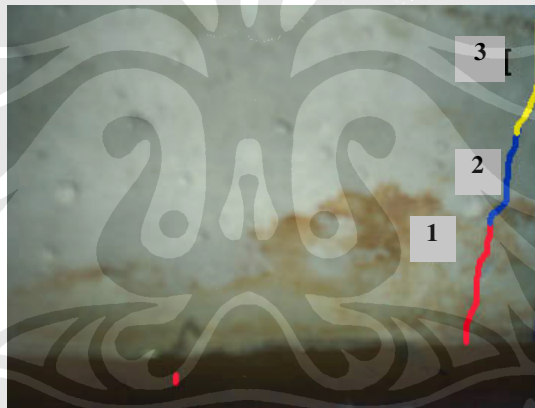
Tabel 4.22 memperlihatkan bahwa penurunan frekuensi dari ketiga jenis benda uji BPTS dari keadaan utuh sampai runtuh yaitu secara bertahap.

4.5.2.4 Frekuensi Balok Pratarik Serat 1 % (BPS 1%)

Pada pengujian awal Ratna,2007[16] dapat diamati bahwa pola khas kerusakan dari benda uji jenis balok pratarik serat (BPS) serupa dengan benda uji jenis balok pratarik serat (BPTS) namun apabila dilihat dari jumlah pukulannya pengaruh penambahan serat pada BPS dapat memberi kekuatan terhadap beban tumbukan sekitar 16 % dibandingkan tanpa serat.

A. Balok Pratarik Dengan Serat (BPS-1)

Kerusakan terjadi pada bagian tengah, lalu balok diperbaiki dengan metode injeksi. Sedangkan tahap keretakan awal dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4.5.42 Pola perambatan retak benda uji BPS-1 pada pengujian awal



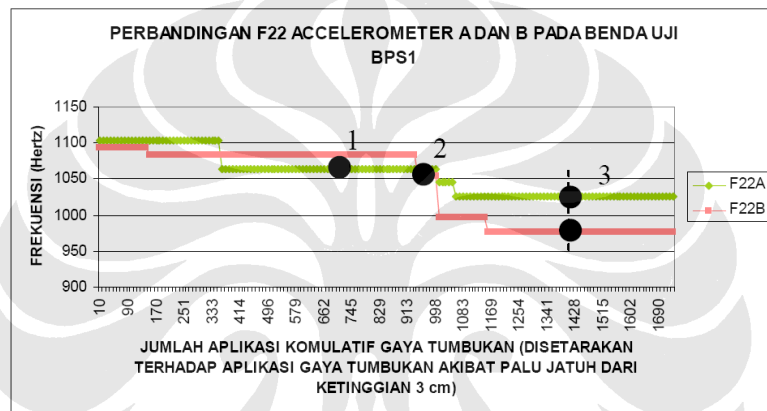
Gambar 4.5.43 Kondisi benda uji BPS-1 setelah perbaikan

Pada pengujian pertama frekuensinya jauh lebih besar dari frekuensi alaminya. Ragam getarnya sesuai dengan mode 22.



Gambar 4.5.44 Ragam getar 22

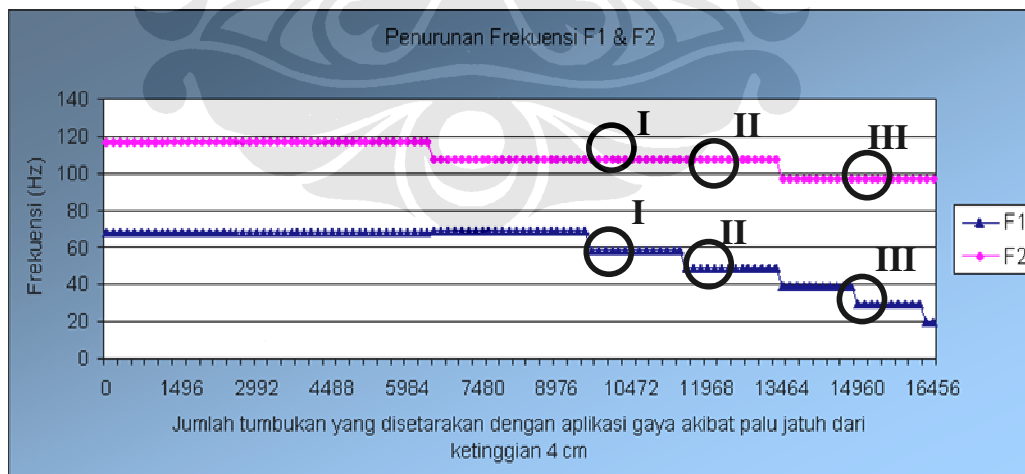
Sedangkan grafik perbandingan penurunan frekuensi benda uji BPS-1 pada pengujian awal dan pengujian setelah perbaikan dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



(b)

Gambar 4.5.45 (a) Frekuensi benda uji BPS-1 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Untuk tahap keretakan pada benda uji BPS-1 beserta jumlah pukulannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

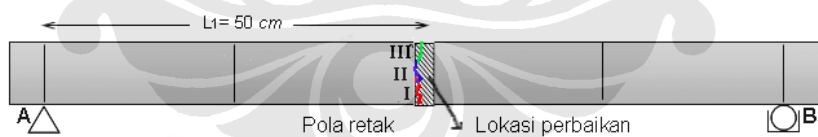
Tabel 4.23 Tahap keretakan BPS-1 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

Keterangan	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Pukulan Ke	725	970	1450	9100	12100	16400

Dari tabel 4.23 terlihat bahwa terjadi perbedaan akan jumlah pukulan yang cukup signifikan antara pengujian Ratna,2007 dan pengujian kali ini dimana jumlah pukulan dari pengujian ini lebih besar 10 kali lipat lebih dari pengujian sebelumnya. Hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan kondisi dan metode pembebanan dimana telah dijelaskan pada subbab diatas.



(a)



(b)

Gambar 4.5.46 (a) Lokasi retak benda uji BPS-1 setelah diperbaiki (b) sketsa perambatan retak

Dari gambar 4.5.46 terlihat bahwa keretakan terjadi di tengah pada bagian bawah di lokasi perbaikan injeksi balok lalu merambat keatas bergeser ke arah kanan menjauhi lokasi injeksi, hal ini menandakan bahwa perbaikan injeksi pada bagian bawah BPS-1 terdapat *defect* atau kurang baik sehingga rawan mengalami retak akibat tumbukan.

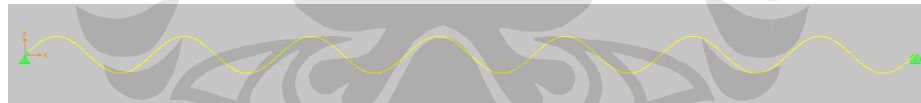
B. Balok Pratarik Serat 2 (BPS-2)

Kerusakan terjadi pada 2 sisi di bagian tengah dan kanan dekat tumpuan, lalu balok diperbaiki dengan metode injeksi.

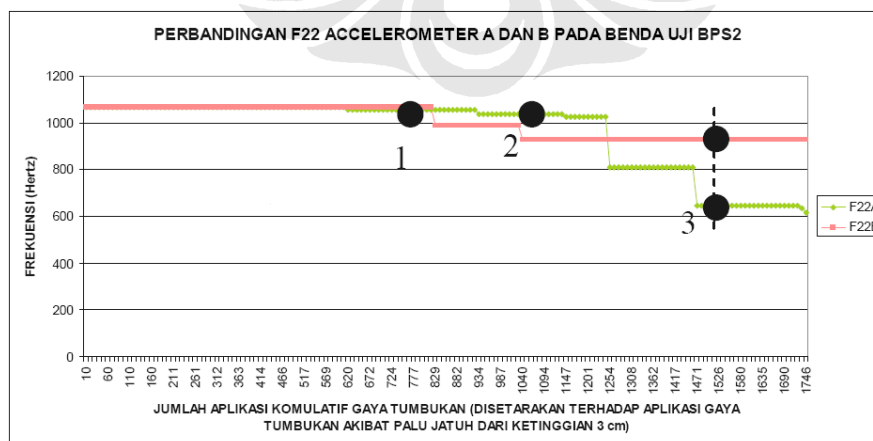


Gambar 4.5.47 Kondisi BPS-2 setelah perbaikan dengan injeksi

Pada pengujian awal dapat dilihat dari gambar 4.5.49a frekuensi yang muncul yaitu baik akselerometer A dan B yaitu diatas 1000 hz. Sehingga ragam getar yang muncul yaitu sesuai dengan mode 22.

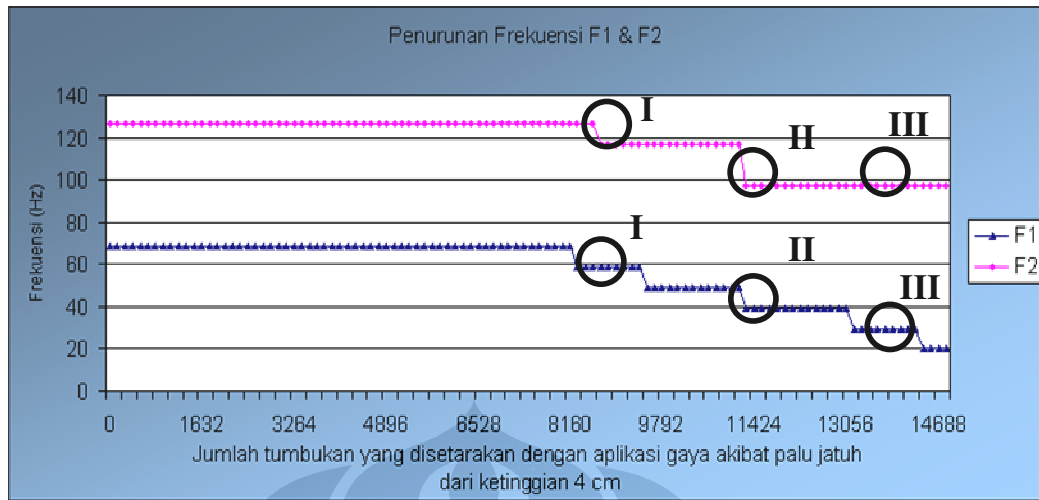


Gambar 4.5.48 Ragam getar 22



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)



Gambar 4.5.49 (a) Frekuensi benda uji BPS-2 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

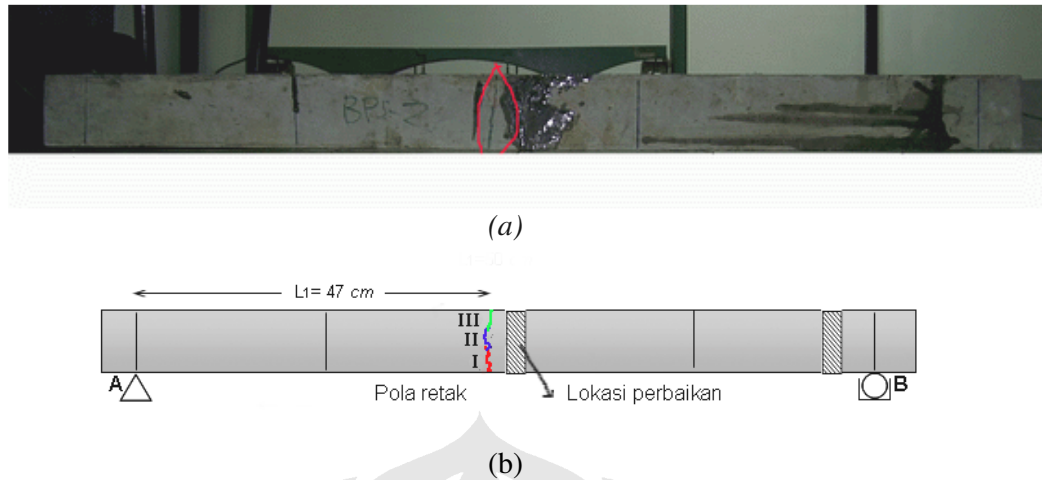
Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Tabel 4.24 Tahap keretakan BPS-2 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	775	1060	1750	8300	11350	14688

Pada pengujian awal keretakan pertama muncul pada pukulan ke-775 yaitu saat ketinggian tumbukan mencapai 10 cm, lalu sampai pukulan ke-1750 terjadilah retak di sisi sebelah kanan dekat tumpuan balok.

Sedangkan pada uji tumbukan BPS-2 hasil perbaikan, ketika mencapai pukulan ke-8150 frekuensi dari balok menurun dari 68,359 Hz menjadi 58,597 Hz dimana telah terjadi retak rambut pada bagian tengahnya. Lalu ketika memasuki pukulan ke-11000 retak telah terlihat jelas dan telah merambat vertikal sampai tengah balok dan terus ke atas seiring dengan bertambahnya jumlah pukulan hingga 14688. Frekuensi pada saat retak mengelilingi balok yaitu sebesar 19,953 Hz (Gambar 4.5.49).

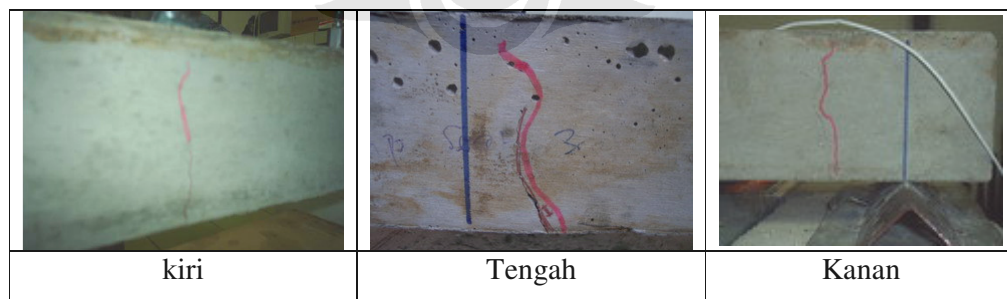


Gambar 4.5.50 (a) Lokasi retak benda uji BPS-2 setelah diperbaiki (b) sketsa perambatan retak

Dan pada pengujian ini, retak tidak terjadi pada sisi balok yang telah diperbaiki, melainkan di samping kiri sekitar 47 cm dari perletakan A sedangkan pada daerah tumpuan kanan retak tidak terjadi. Hal ini menandakan bahwa teknik injeksi cukup efektif dalam memperbaiki keretakan.

C. Balok Pratarik Serat 3 (BPS-3)

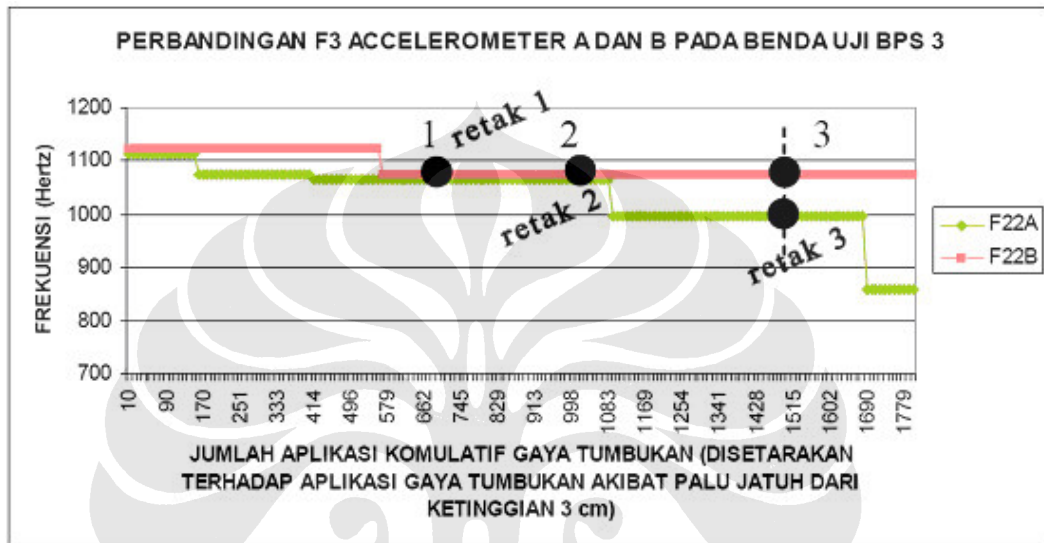
Pada pengujian awal kerusakan terjadi pada 3 lokasi yaitu di sebelah kiri, di titik beban (tengah) dan tumpuan kanan, lalu balok diperbaiki dengan metode injeksi.



Gambar 4.5.51 Kerusakan BPS-3 pada pengujian awal



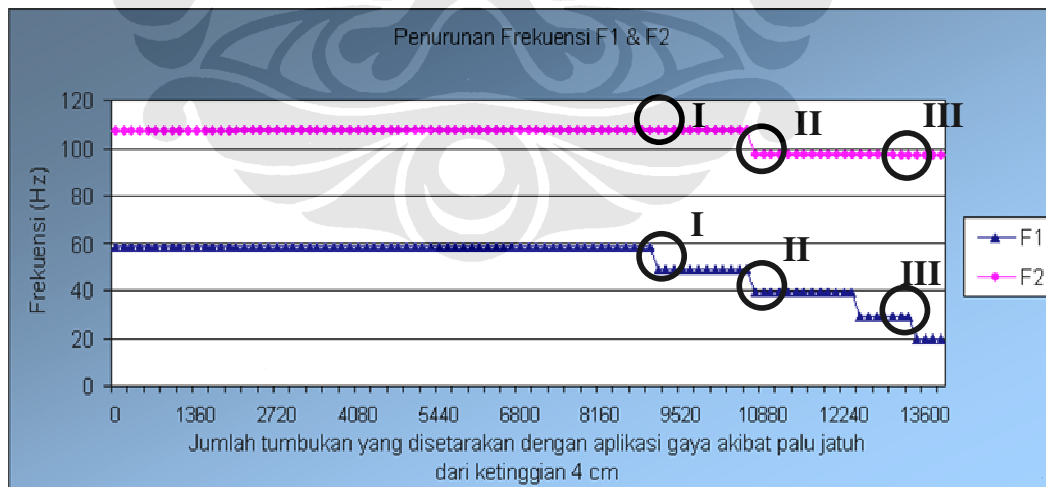
Gambar 4.5.52 Kondisi benda uji BPS-3 setelah perbaikan



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)

Ket : Titik hitam adalah siklus pukulan ketika benda uji mengalami retak.



Gambar 4.5.53 (a) Frekuensi benda uji BPS-3 pada pengujian awal dan (b) pada pengujian setelah diperbaiki

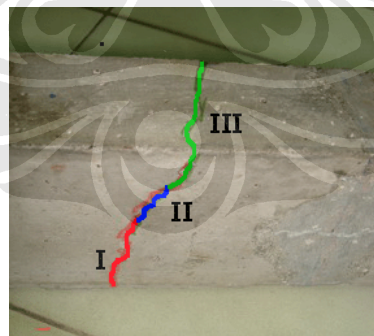
Ket : titik pada bulatan hitam adalah tahap retak pada balok

Frekuensi awal balok ketika utuh yaitu 68,359 Hz sedangkan setelah perbaikan frekuensinya yaitu 58,597 Hz, melainkan telah terjadi penurunan sebesar 10 %. Penurunan tersebut dikarenakan telah terjadi perubahan kekakuan balok akibat tumbukan.. Ragam getar yang terjadi yaitu sesuai dengan *Mode 22*

Tabel 4.25 Tahap keretakan BPS-3 pada pengujian awal dan setelah perbaikan

	Ratna, 2007			Indra		
	Retak 1	Retak 2	Retak 3	Retak I	Retak II	Retak III
Siklus pukulan	662	1050	1800	9250	10600	13600

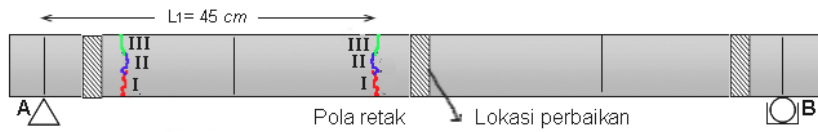
Dari gambar 4.5.53b terlihat bahwa sewaktu pengujian kedua, ketika mencapai pukulan ke-6700 frekuensi dari balok menurun dari 58,597 Hz menjadi 48,828 Hz tetapi belum terlihat tanda-tanda retak. Sedangkan ketika memasuki pukulan ke-6850 retak telah terlihat pada bagian bawah dan terus merambat seiring dengan bertambahnya jumlah pukulan. Terdapat suatu perbedaan dari benda uji BPS lainnya yaitu terjadi retak tipis sekali pada daerah tumpuan kiri pada pukulan ke-13600. Frekuensi pada saat retak mengelilingi balok yaitu sebesar 19,953 Hz



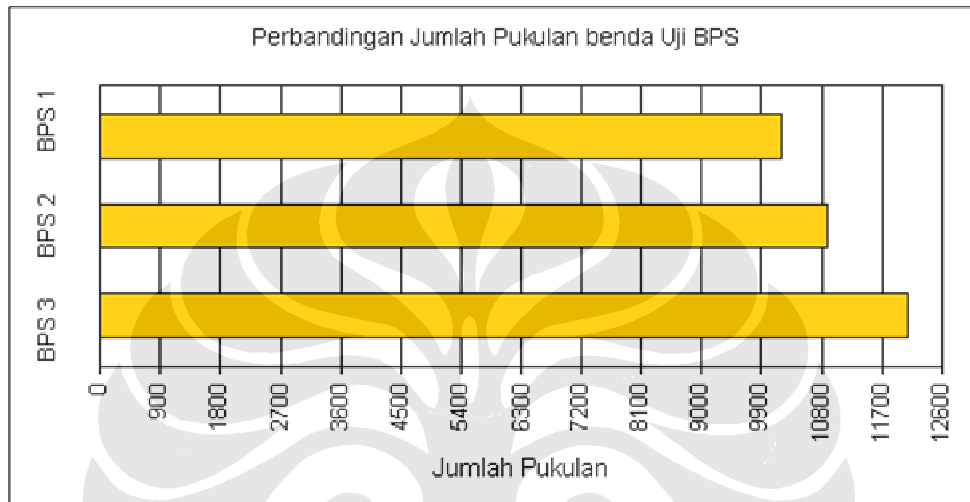
(a)



(b)



Gambar 4.5.54 (a) perambatan retak di tengah bentang pada BPS-3 setelah diperbaiki (b) Lokasi kereakan (c) sketsa perambatan retak



Gambar 4.5.55 Perbandingan jumlah pukulan benda uji BPS setelah perbaikan

Tabel 4.26 Perbandingan frekuensi retak benda uji BPS Ratna dan Indra

Pengujian Oleh	Benda uji BPS	Frekuensi (Hz)			Jumlah Pukulan	
		Awal (Belum runtuh)	Retak Pertama	Retak Kedua	Balok Patah	
Ratna , 2007	1	1074,2	1064,5	1025,4	996,1	1450
	2	1132,81	1054,7	1035,2	644,53	1750
	3	1025,098	1064,45	996,094	507,81	1800
Indra	1	68,359	58,597	39,063	19,953	16456
	2	68,359	58,597	39,063	19,953	14824
	3	58,597	48,828	39,063	19,953	13872

Dari tabel 4.26 terlihat bahwa jumlah pukulan pada pengujian Indra adalah 10 kali lipat lebih besar dari jumlah pukulan pada pengujian sebelumnya

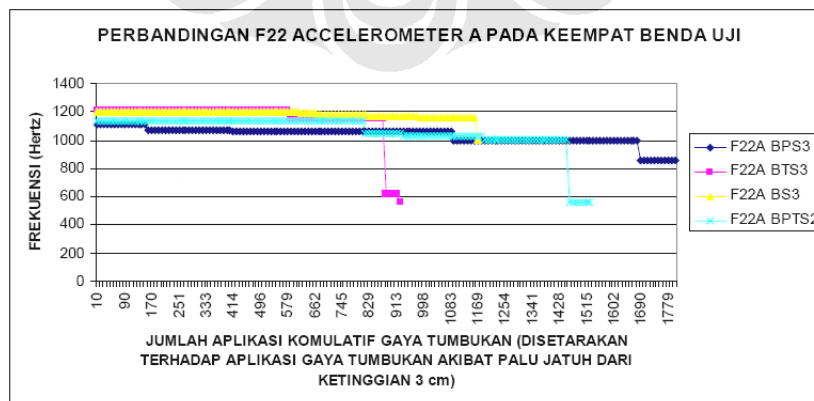
4.6. RESUME HASIL PENGUJIAN BENDA UJI PERBAIKAN

Dari semua pengujian beban tumbukan diatas berdasarkan pengamatan pola kerusakan didapat bahwa perbaikan yang dilakukan pada balok yang retak ataupun patah telah cukup baik dilakukan. Hal ini terlihat dari lokasi kerusakan dimana sebagian besar tidak terjadi pada lokasi perbaikan melainkan pada balok BTS-1. Balok tersebut mengalami keretakan awal pada bagian bawah balok tepat dimana lokasi perbaikan terjadi. Meskipun begitu retak tersebut tidak sepenuhnya merambat pada lokasi perbaikan tersebut. Dari semua jenis sampel yang diuji diambil jumlah pukulan rata-ratanya yang akan mewakili tabulasi perbandingan tahapan retak antara jenis sampel dan disajikan pada tabel 4.27. dibawah ini

Tabel 4.27. Perbandingan tahapan retak tiap jenis benda uji hasil perbaikan

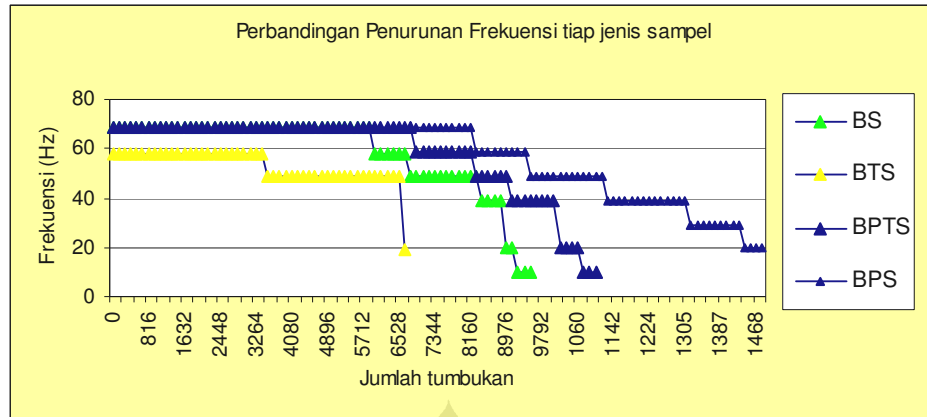
Jenis Sampel	Jumlah pukulan pada		
	Retak I	Retak II	Retak III
BTS	3256	-	-
BS	3300	4025	4555
BPTS	6725	8086	10336
BPS	8500	11300	14528

Gambar 4.6.1 a & b merupakan grafik penurunan dari perwakilan keempat jenis benda uji balok dimana apabila diurutkan dari yang paling besar sampai yang terkecil dengan kriteria jumlah pukulan terbanyak yang mampu ditahan oleh keempat benda uji tersebut hasilnya adalah jumlah pukulan BPS > BPTS > BS > BTS. Hal ini serupa juga dengan pengujian yang dilakukan oleh penulis yang dapat dilihat pada gambar 4.6.1b



Sumber : Ratna Restiana, 2007 [16]

(a)



(b)

Gambar 4.6.1. Perbandingan penurunan frekuensi vs jumlah pukulan dari perwakilan keempat jenis benda uji (a) pengujian Ratna, 2007 (b) pengujian Indra

Untuk nilai penurunan frekuensi pada retak pertama, retak kedua, dan seterusnya sampai balok mengalami patah atau runtuh pada semua benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.28 di bawah ini

Tabel 4.28. Perbandingan tahapan retak tiap jenis benda uji hasil perbaikan

Benda uji	Frekuensi (Hz)						Jumlah Pukulan
	Hitungan Manual	Hasil SAP	Awal (Blm runtuh)	Retak Pertama	Retak Kedua	Balok Patah/Runtuh	
BTS 1	59,859	67,150	58,059	-	-	-	3278
BTS 2	59,859	67,322	68,359	-	-	-	3342
BTS 3	59,859	67,594	58,059	-	-	-	3550
BS 1	56,260	63,667	68,359	58,059	48,828	19,531	4490
BS 2	56,260	63,284	68,359	58,059	48,828	19,531	4616
BS 3	56,260	63,284	68,359	58,059	48,828	9,761	4305
BPTS 1	-	79,645	78,125	68,812	58,812	19,531	9656
BPTS 2	-	79,901	68,359	58,812	48,828	9,761	10336
BPTS 3	-	79,901	68,359	58,059	48,828	9,761	11016
BPS 1	-	75,53	68,359	58,597	39,063	19,953	16456
BPS 2	-	75,32	68,359	58,597	39,063	19,953	14824
BPS 3	-	74,907	58,597	48,828	39,063	19,953	13872

Dari tabel 4.28 terlihat bahwa besarnya frekuensi dari hasil hitungan manual dibandingkan dengan hasil simulasi dengan SAP 2000 terpaut perbedaan sekitar 8% padahal nilai E yang digunakan adalah sama-sama diturunkan menjadi 50%. Untuk itu sebaiknya pada pengujian benda uji hasil perbaikan dilakukan uji non destruktif untuk menghasilkan nilai E yang mewakili kondisi sebenarnya. Disamping itu, pada jenis BS, BPTS, BPS penurunan frekuensi dari keadaan utuh lalu ke retak pertama sampai retak kedua menunjukkan penurunan yang stabil sekitar ± 8 Hz. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan serat dimana dapat menahan timbulnya retak mikroskopis. Selain itu adanya gaya kabel pratarik juga dapat menahan tegangan lentur yang menyebabkan terjadinya retak pada penampang balok yang masih utuh.

Dari benda uji jenis balok beton tanpa pratarik penambahan serat dapat meningkatkan jumlah tumbukan dari 3256 pukulan menjadi 4555, artinya bahwa dalam kasus balok dengan tumpuan sederhana yang mengalami uji tumbukan berulang, pengaruh penambahan serat dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap kelelahan atau fatik sebesar 39 %.

Sedangkan pada benda uji jenis balok beton pratarik (BPTS & BPS) dibandingkan benda uji jenis beton polos (BS & BTS) terjadi kenaikan jumlah pukulan yang cukup signifikan hampir 3 kalinya sementara itu pada jenis balok pratarik penambahan serat memberikan peningkatan ketahanan beton terhadap fatik sebesar 40,5 %