

BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 Studi Eksperimental

4.1.1 Pendahuluan

Model dari eksperimen ini diasumsikan sesuai dengan kondisi di lapangan, yaitu berupa balok beton bertulang untuk balkon yang akan dirubah menjadi kamar ataupun gudang. Diharapkan dari hasil eksperimen didapatkan yang lebih efektif dan efisien untuk perubahan fungsi tersebut di atas. Pada kenyataannya dimensi dari balok beton bertulang masih harus dikondisikan dengan dimensi frame yang digunakan selama ini, yaitu balok 175 mm x 225 mm dan kolom 225 mm x 225 mm serta panjang 1500 mm. Untuk menjamin tidak terjadinya kegagalan geser pada *beam-colum joint*, maka pada *beam-colum joint* ini dibuat suatu tonjolan sebesar 150 mm untuk panjang penyaluran tulangan lentur balok. Mengingat dasar tersebut, perbandingan skala dalam eksperimen ini adalah 1 : 1.

Eksperimen dilakukan untuk membandingkan kinerja balok kantilever sebelum diperbaiki dengan kondisi sesudah diperbaiki. Ada 3 (tiga) jenis Model perbaikan yaitu balok kantilever dengan perkuatan CFRP, CFRP+ dan CFRP-Plat. Masing-masing akan dibandingkan dengan kinerja balok kantilever sebelumnya sehingga disini dilakukan pengkodean sebagai berikut :

- Balok kantilever (BK) : balok kantilever sebelum diperkuat yang akan dites sampai runtuh
- Balok kantilever (Model-1) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan CFRP saja, lalu dites sampai runtuh kembali.
- Balok kantilever (Model-2) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan CFRP+, lalu dites sampai runtuh kembali.

- Balok kantilever (Model-3) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan CFRP-Plat, lalu dites sampai runtuh kembali.

Studi yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian Model balok kantilever dengan balok kantilever sebelum diperbaiki dan yang sesudah diperbaiki dan diperkuat dengan CFRP lalu dites sampai runtuh. Adapun dasar dalam pemilihan material adalah karena saat ini material CFRP makin banyak digunakan dan makin banyak model, macam maupun kegunaannya, termasuk berfungsi untuk perkuatan kolom, dinding, lantai maupun balok, dan lain-lain. Khusus untuk balok sudah cukup banyak digunakan terutama untuk balok menerus maupun balok diatas dua perletakan, sedangkan khusus balok kantilever atau pada tumpuan belum ada yang melakukan eksperimen, karena banyaknya kendala dalam hal pemasangan maupun solusinya belum ditemukan. Dalam hal ini, dibantu arahan dari pembimbing maka dicoba melakukan eksperimen ini mudah-mudahan menjadi cikal bakal penelitian selanjutnya yang lebih baik lagi.

Pada bab ini akan disajikan data hasil pengujian, pengolahan, dan analisa data yang diperoleh dari pengujian.

4.1.2 Data Properti Material

Pada Tesis ini Model balok kantilever dites sampai mengalami keruntuhan. Berikut ini adalah data properti material pengujian Model balok kantilever yang digunakan :

4.1.2.1 Material Beton

Material beton yang dipergunakan adalah *concrete mix design* yang dibuat oleh Adhi Mix (data terlampir) dengan $f_c' = \pm 30$ MPa. Pengujian tekan dilakukan pada sampel silinder beton.

Tabel 4.1 Hasil Uji Rata-rata Material Beton

UJI	Balok Kantilever
<i>Mix Design</i> , per m ³	
Semen	378 kg
Pasir	717 kg
Agregat kasar	1000 kg
Air	196 kg
Fly ash	42 kg
Additives	1,13 ltr
<i>Slump</i>	12±2 cm
Kuat tekan silinder, fc'	24 & 30 MPa
Massa silinder, m	12.17 kg

4.1.2.2 Baja Tulangan dan Plat

Baja tulangan yang dipergunakan adalah BJTD-30 produk KS JIS 13 untuk tulangan utama dengan diameter 13 mm, dan BJTD-40 produk IS S10 untuk sengkang dengan diameter 10 mm. Sedangkan pelat 50x5 mm yang dipergunakan menggunakan BJTD-30.

Pengujian tarik dilakukan di laboratorium uji metal *Center For Material Processing and Failure Analysis* Departemen Teknik Metalurgi & Material Universitas Indonesia (data terlampir) pada sampel tulangan baja dan plat.



Gambar 4.1 Baja Tulangan

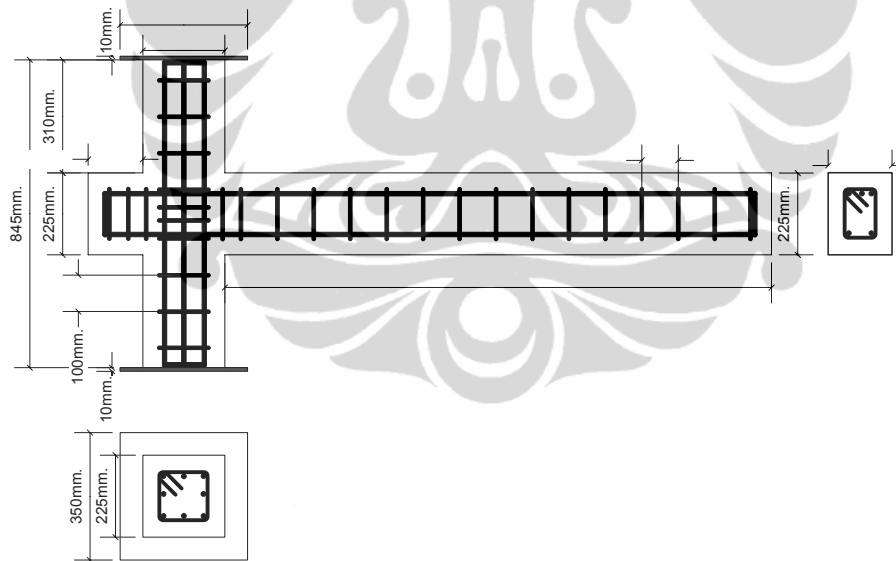
Tabel 4.2 Hasil Uji Rata-rata Material Baja Tulangan dan Plat

JENIS BESI	σ_u		σ_v		GOL
	(kg/mm ²)	(MPa)	(kg/mm ²)	(MPa)	
D-10	70,29	689,31	42,65	418,29	BJTD-40
D-13	47,42	465,05	34,47	338,02	BJTD-30
Plat 50x5	52,46	514,45	38,52	377,80	BJTD-30

4.1.3 Pengujian Pembebanan

4.1.3.1 Detail Balok Kantilever

- $f'_c = 30$ MPa,
- $W_c = 2296$ kg/m³
- $f_y = 338$ MPa (D-11)
- $f_y = 418$ MPa (D-10)
- Penulangan (seperti tergambar)



Gambar 4.2 Penulangan Balok Kantilever

4.1.3.2 Gambaran Umum

Pengujian yang dilakukan terhadap Model balok kantilever adalah sistem monotonik, yaitu 1 buah beban terpusat diposisikan pada ujung bentang balok kantilever. Pengujian ini dilakukan setelah umur perbaikan serta perkuatan sudah lebih dari 7 hari agar material perbaikan dan perkuatan sudah mencapai kondisi

350mm.

225mm.

setting time dan telah menyatu dengan permukaan balok beton. Pengujian menggunakan sistem monotonik dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi lentur murni pada balok kantilever, merupakan daerah tarik balok kantilever yang diamati, seperti terlihat pada gambar berikut ini :



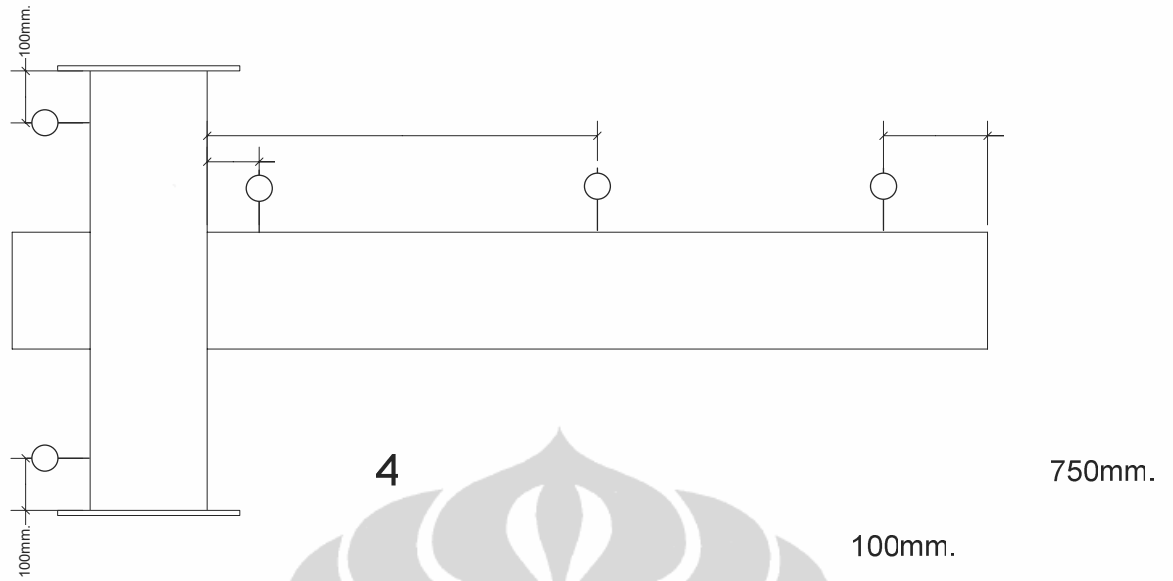
Gambar 4.3 Posisi *Loading Test*

4.1.3.3 Peralatan yang digunakan :

- 1 set HI-TECH Magnus Frame
- 1 set *hydraulic jack*, kapasitas 200 kN
- 5 buah *dial gauge*, ketelitian 0.01 mm
- 2 set *Strain Gages*
- lembar pencatatan data
- spidol

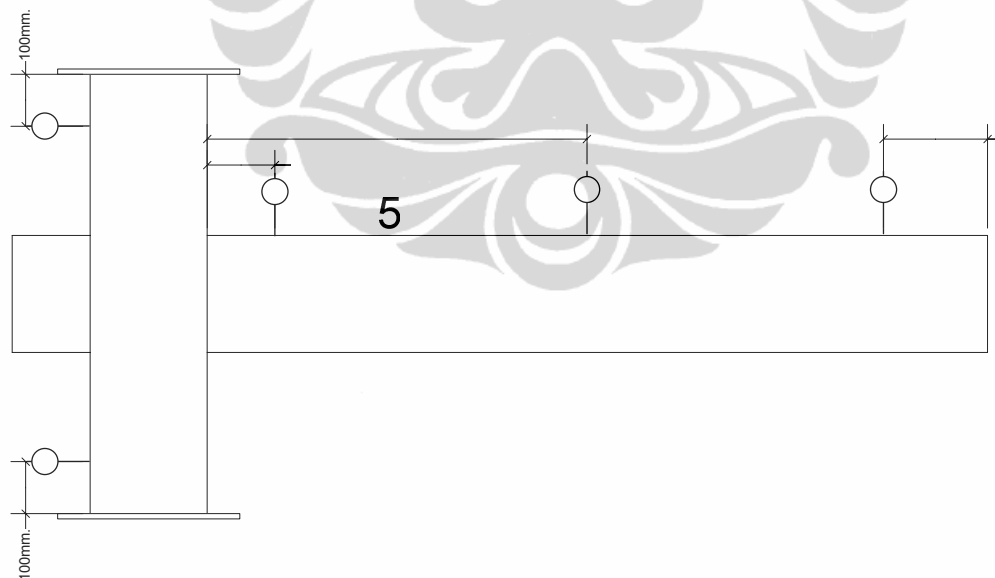
4.1.3.4 Prosedur pengujian Model

- Persiapan alat *HI-TECH MAGNUS* berkapasitas 200 kN.
- Benda uji Model balok kantilever diposisikan pada *frame* yang diidealisasikan sebagai perletakan sendi.
- Alat ukur lendutan *dial gauge* dipasang sebanyak 5 (lima) set seperti tergambar, hal tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan perbandingan. *Dial gauge* ditempatkan pada kedudukan yang telah ditempel pada balok dan kolom guna mendapatkan kondisi data lendutan sesuai dengan yang terjadi pada Model balok kantilever.



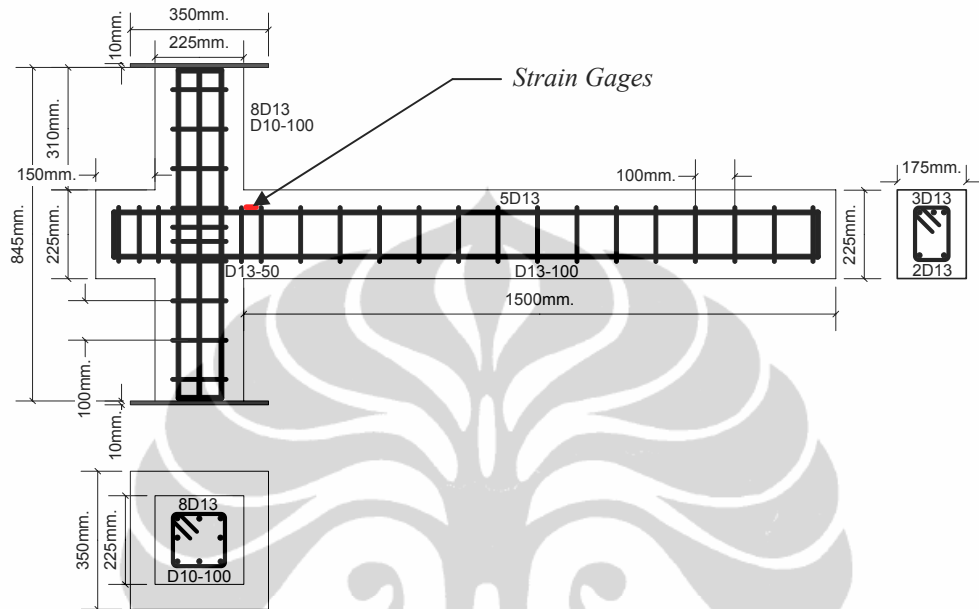
Gambar 4.4 Posisi *Dial Gauge* Sebelum Perbaikan

- Setelah perbaikan, posisi *dial gauge* no. 2 dan 3 mengalami pergeseran karena terganggu CFRP maupun plat yang terpasang tetapi masih relevan dengan kondisi sebelumnya dan disesuaikan dengan analisa data (seperti gambar di bawah ini).

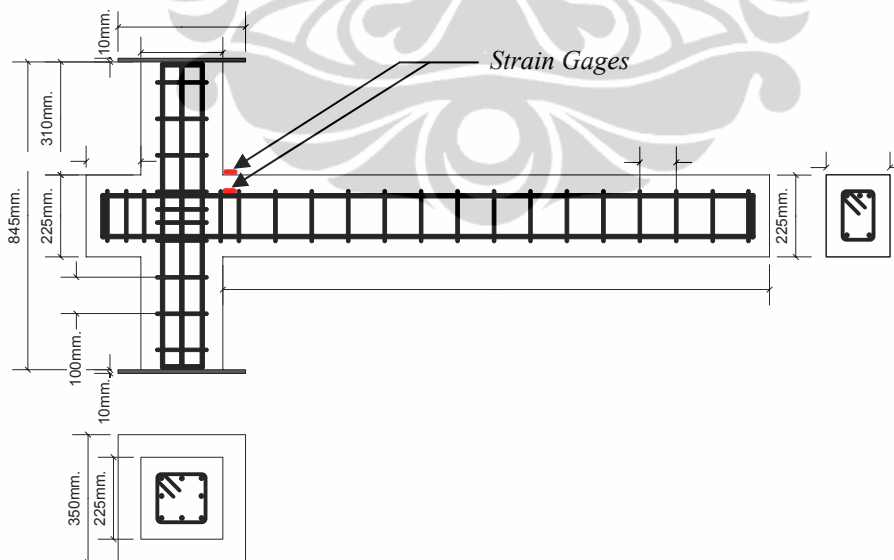


Gambar 4.5 Posisi *Dial Gauge* Sesudah Perbaikan

- Alat ukur regangan *strain gages* dipasang pada tulangan tarik sebanyak satu buah sebelum perbaikan dan ditambah satu buah pada CFRP setelah perbaikan seperti tergambar di bawah ini.

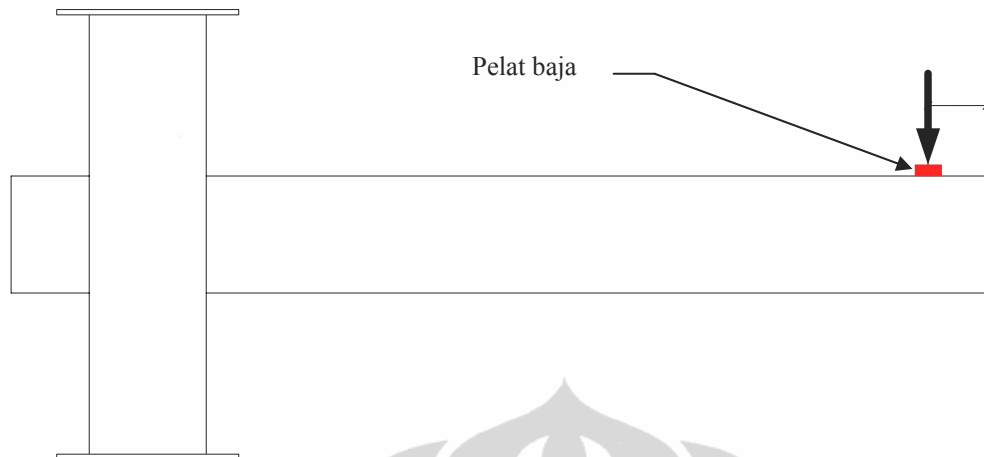


Gambar 4.6 Posisi *Strain Gages* Sebelum Perbaikan



Gambar 4.7 Posisi *Strain Gages* Sesudah Perbaikan

- Pelat baja dipasang pada titik-titik dimana beban akan ditaruh, dimaksudkan untuk mendapatkan permukaan yang rata pada titik-titik pembebanan.



Gambar 4.8 Posisi Pelat Baja pada Titik Pembebanan

- Pembebanan dilakukan dengan *loading test*, yaitu pembebanan bertahap dengan nilai tertentu secara bertahap sampai mencapai nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh Model balok. Hal ini dimaksudkan untuk mengkondisikan keadaan riil di lapangan. Besar beban maksimum yang direncanakan pada pengujian Model, mengacu pada beban maksimum balok kantilever secara teori perhitungan.
- Pendataan pola retak yang terjadi dilakukan pada saat tahap pembebanan dilakukan lalu diperhatikan pola retak yang terjadi kemudian diperjelas dengan menggunakan alat tulis berupa spidol.
- Pengujian dihentikan apabila sudah mencapai beban maksimum, yaitu ketika *hydraulic-jack* sudah tidak mampu lagi menekan Model balok.

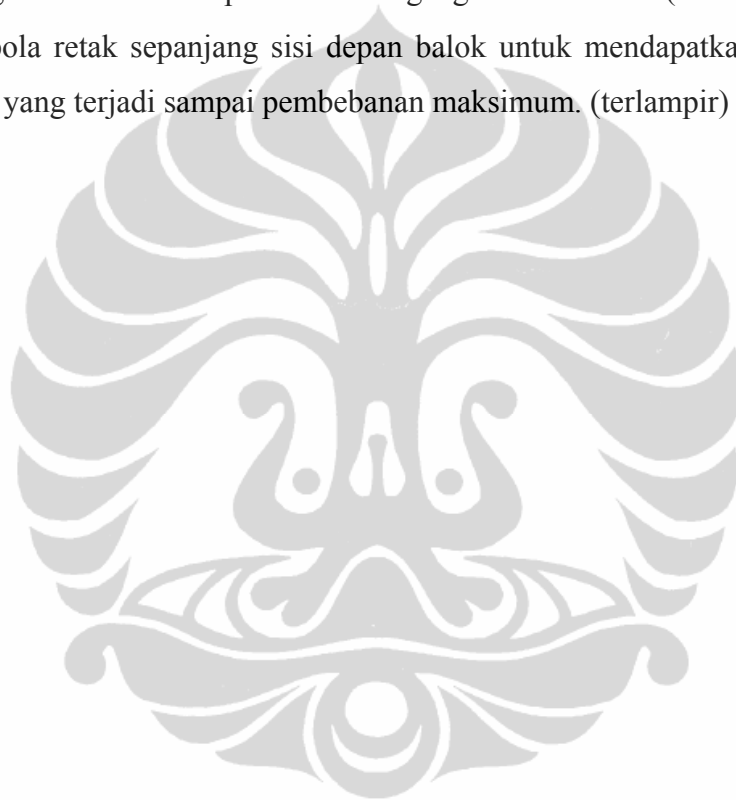
4.1.3.5 Hal yang diamati dalam pengujian

- Pendataan lendutan pada titik-titik tertentu yang diukur dengan *dial gauge*
- Pendataan regangan yang terjadi pada tulangan lentur tarik dengan *Strain Gages*.
- Pengamatan pola retak sepanjang sisi depan balok

4.1.3.6 Hasil Pengujian

Data yang didapatkan berupa :

- Lendutan pada posisi *dial gages* pada tiap tahap pembebanan sampai pada kondisi dimana *hidraulic jack* tidak dapat menekan lagi. Dengan demikian didapatkan nilai beban luar maksimum dan lendutan maksimum. (terlampir)
- Regangan pada posisi *strain gages* (pada tulangan tarik atas tengah) tiap tahap pembebanan sampai pada kondisi dimana *hidraulic jack* tidak dapat menekan lagi. Dengan demikian didapatkan nilai tegangan maksimum. (terlampir)
- Gambar pola retak sepanjang sisi depan balok untuk mendapatkan alur/pola keretakan yang terjadi sampai pembebanan maksimum. (terlampir)



4.1.3.7 Beban luar maksimum pada siklus pengujian :

Tabel 4.3 Pembebanan Maksimum Tiap Siklus

SIKLUS	BEBAN P (kN)			
	BK	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3
0	0	0	0	0
1	2	2	2	2
2	3	3	3	3
3	4	4	4	4
4	5	5	5	5
5	6	6	6	6
6	7	7	7	7
7	8	8	8	8
8	9	9	9	9
9	10	10	10	10
10	11	11	11	11
11	12	12	12	12
12	13	12.4	13	13
13	14	12.8	13.6	14
14	15	13	13.8	15
15		13.2	14	16
16		13.4	14.2	16.2
17		13.6	14.4	16.4
18		13.8	14.6	16.6
19		14	14.8	16.8
20		14.2	15	17
21		14.4	15.2	17.2
22		14.6	15.4	17.4
23		14.8	15.8	18
24			16	18.2
25			16.2	18.4
26			16.4	18.6
27			16.6	18.8
28				19
29				19.2
30				19.4
31				19.6
32				19.8
33				20

4.1.3.8 Lendutan

Data defleksi vertikal dan horisontal didapat dengan menggunakan *dial gauge* yang telah di posisikan seperti pada gambar 4.4 dan 4.5. Penempatan *dial gauge* berada pada bagian atas balok dan samping kolom dimaksudkan untuk mendapatkan data defleksi akibat pembebanan yang dilakukan sebagai perbandingan. (data terlampir)

Tabel 4.4 Pembacaan *Dial Gauge* Sebelum Perbaikan

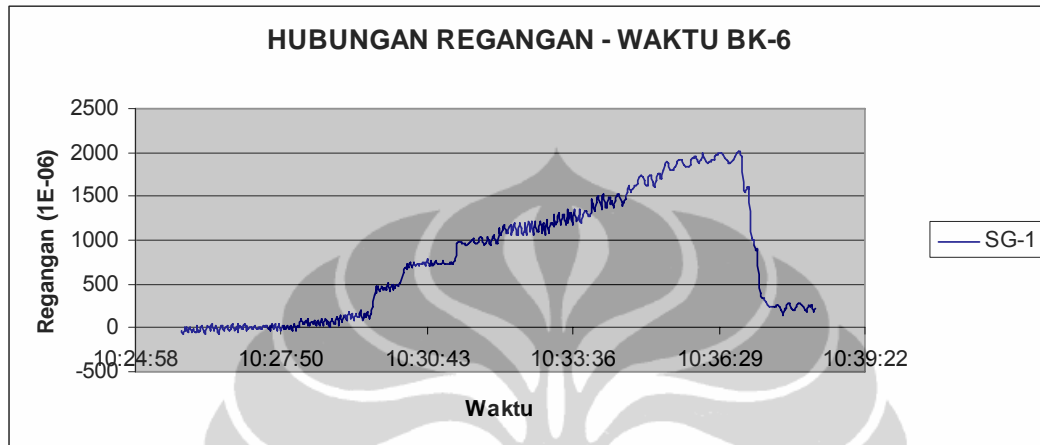
BEBAN (kN)	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	DIAL 4	DIAL 5
0	24.00	19.00	17.00	10.00	15.00
2	23.48	18.65	16.95	9.91	15.06
3	22.58	18.05	16.87	9.81	15.15
4	21.90	17.79	16.80	9.76	15.20
5	20.10	16.71	16.64	9.65	15.28
6	17.60	15.40	16.45	9.51	15.40
7	15.20	14.70	16.28	9.39	15.56
8	13.60	13.30	16.15	9.32	15.69
9	12.40	12.65	16.05	9.28	15.79
10	10.45	11.66	15.90	9.20	15.94
11	8.50	10.60	15.75	9.11	15.96
12	6.30	8.48	15.56	9.02	15.97
13	4.82	6.80	15.32	9.01	15.98

Tabel 4.5 Pembacaan *Dial Gauge* Sesudah Perbaikan

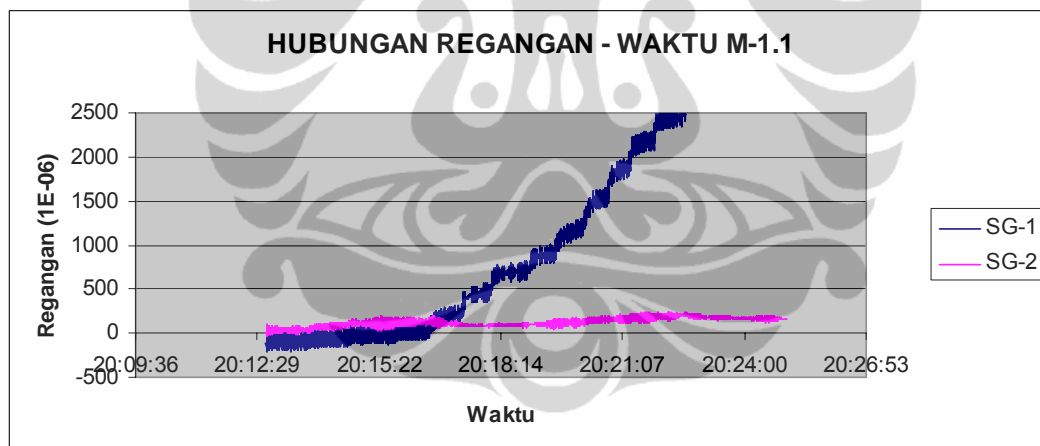
BEBAN (kN)	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	DIAL 4	DIAL 5
0	24.00	24.00	27.00	7.00	7.00
2	23.39	23.74	26.96	6.91	7.00
3	22.52	23.32	26.90	6.81	7.01
4	21.68	22.85	26.85	6.72	7.02
5	20.54	22.23	26.75	6.65	7.02
6	19.07	21.55	26.64	6.57	7.02
7	17.60	20.79	26.52	6.47	7.02
8	16.50	20.20	26.43	6.41	7.02
9	15.20	19.50	26.35	6.34	7.02
10	14.65	18.75	26.24	6.22	7.02
11	12.30	18.12	26.14	6.13	7.02
12	10.90	17.40	26.05	6.05	7.03
13	9.45	16.73	25.95	5.95	7.03
14	1.50	13.40	25.35	5.90	7.05
14.2	-2.25	11.81	25.16	5.90	7.05

4.1.3.9 Regangan

Regangan dilihat dengan bantuan *strain gages* yang dipasang sebanyak 2 set, dimana posisi tulangan atas tengah berada pada serat tarik tulangan. Penempatan *strain gages* pada balok kantilever sebelum perbaikan hanya satu dan sesudah perkuatan ditambah satu lagi. (data terlampir)



Gambar 4.9 Grafik Pembacaan *Strain Gages* Sebelum Perbaikan

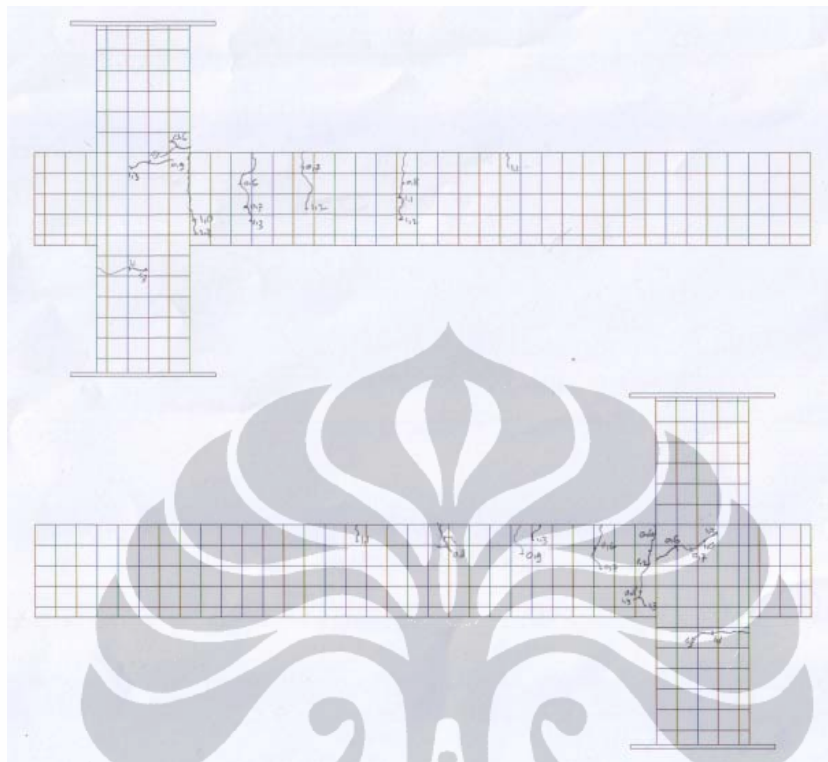


Gambar 4.10 Grafik Pembacaan *Strain Gages* Sesudah Perbaikan

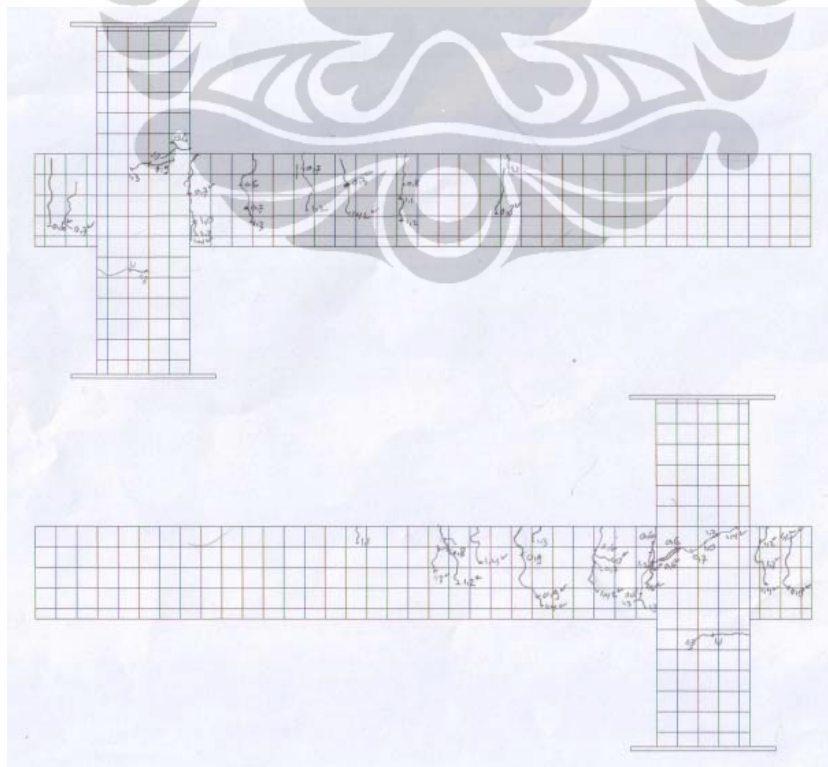
4.1.3.10 Pola retak

Pengamatan pola retak dilakukan untuk menganalisa jenis keruntuhan yang terjadi pada Model balok yang diuji. Pengamatan dilakukan dengan membuat plot keretakan yang terjadi pada sisi balok yang telah diberi cat warna putih dan kotak-kotak berjarak 5 cm guna memperjelas dan untuk mengetahui jarak antar keretakan yang terjadi. Pola retak diamati pada tiap siklus pembebanan sampai maksimum. (data terlampir)

Berikut ini adalah pola retak yang dihasilkan pada kondisi pembebanan maksimum sebelum dan sesudah perbaikan.



Gambar 4.11 Pola Retak Sebelum Perbaikan

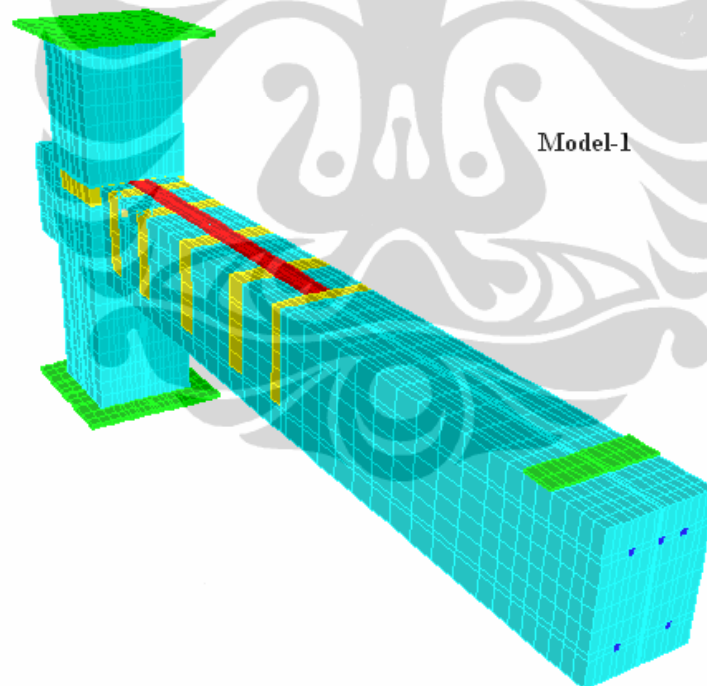


Gambar 4.12 Pola Retak Sesudah Perbaikan

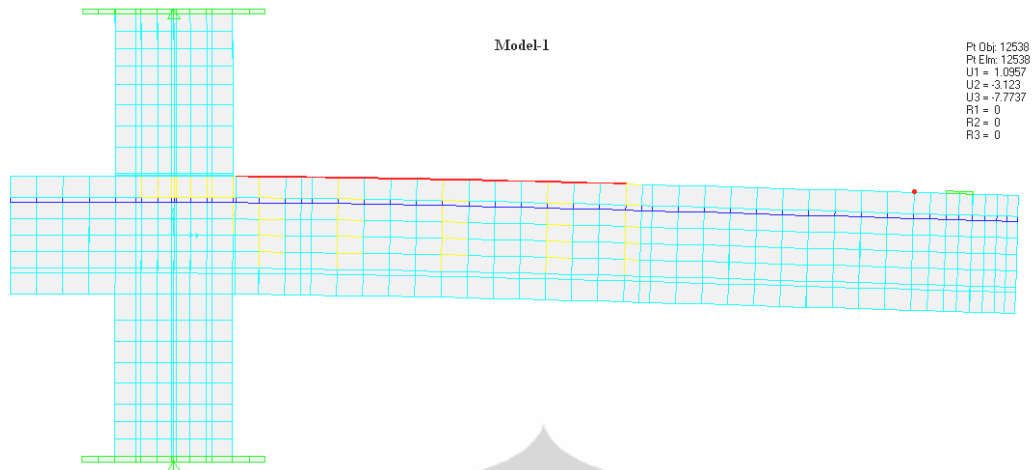
4.2 Studi Analitis

Dalam studi analitis ini dilakukan secara pendekatan dengan bantuan Metode Elemen Hingga pada Program SAP 2000 dengan mengasumsikan kondisi solid. Untuk mencari lendutan ataupun yang lainnya dilakukan hanya pada $P=10$ kN, menjadi perwakilan dari keseluruhan analisis. Ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan lendutan yang terjadi dan diharapkan tegangan-regangan yang terjadi pada tulangan maupun pada permukaan beton seperti dalam eksperimen akan mendekati. Adapun hasil lendutan dan tegangan-regangan ada dalam gambar, grafik ataupun tabel (terlampir). Di bawah ini akan diperlihatkan kondisi ketiga Model, diambil pada kondisi $P=10$ kN dan diharapkan dapat mewakili masing-masing Model :

4.2.1 Model-1

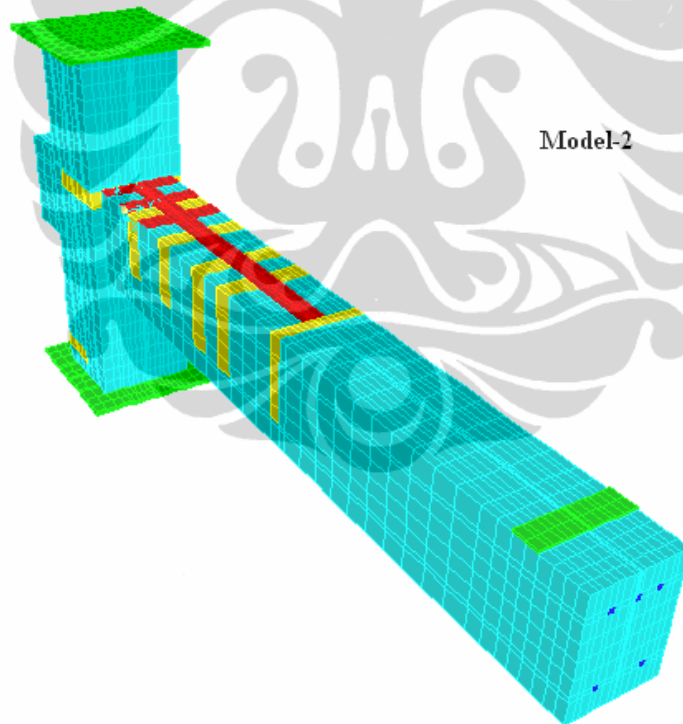


Gambar 4.13 Model-1 dengan SAP 2000

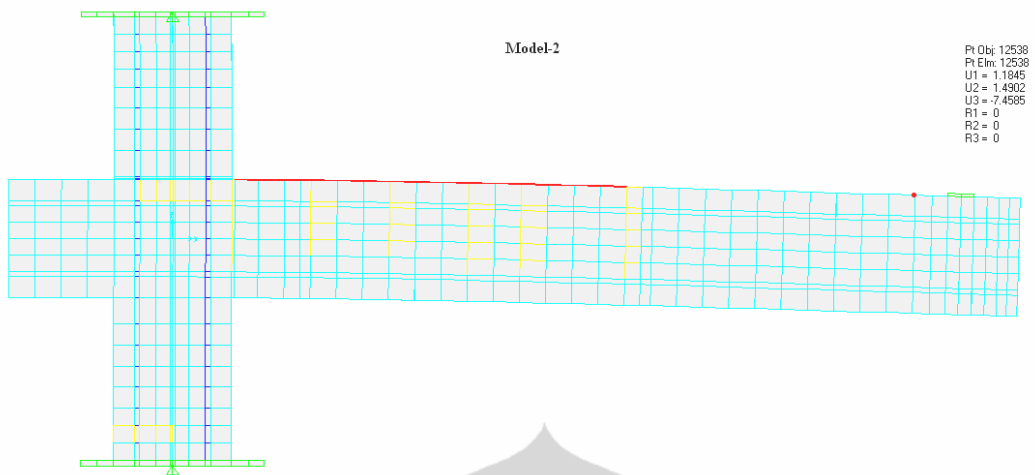


Gambar 4.14 Lendutan Model-1 dengan SAP 2000 (P=10 kN)

4.2.2 Model-2

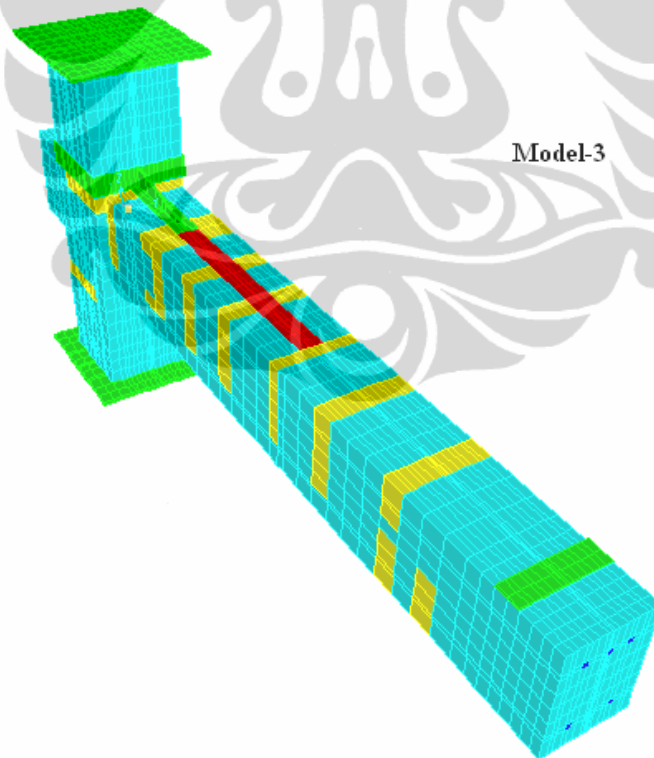


Gambar 4.15 Model-2 dengan SAP 2000

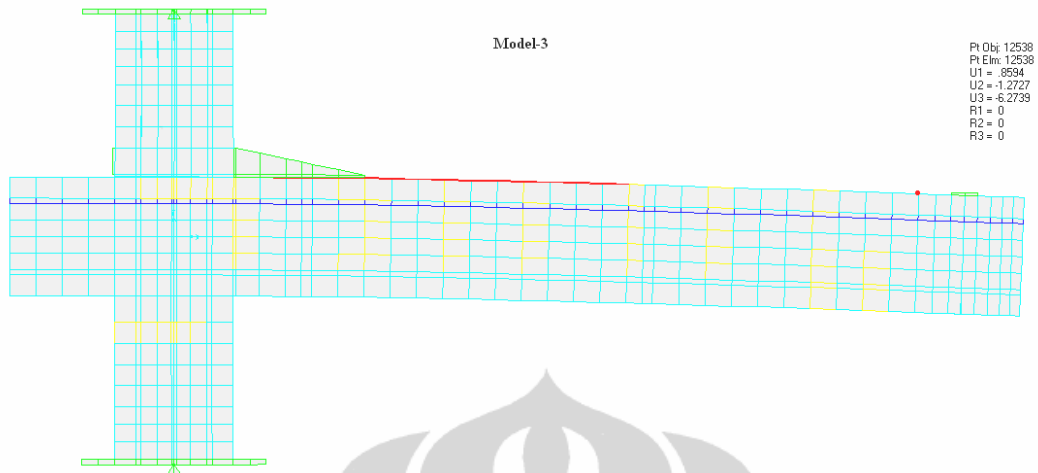


Gambar 4.16 Lendutan Model-2 dengan SAP 2000 (P=10 kN)

4.2.3 Model-3



Gambar 4.17 Model-3 dengan SAP 2000



Gambar 4.18 Lendutan Model-3 dengan SAP 2000 (P=10 kN)

Tabel 4.6 Persentasi Lendutan Eksperimen-SAP 2000 untuk P=10 kN

Model	Lendutan P=10 kN		
	Eksperimen	SAP 2000	%
1	9.5	7.77	18.21
2	8.26	7.46	9.69
3	7.18	6.27	12.67

4.3 Pengolahan dan Analisa Data

4.3.1 Beban Luar

Besar beban luar P yang dapat ditahan oleh Model balok kantilever dapat diketahui dengan perhitungan struktur balok beton bertulang dengan menggunakan data properti material f_c' , w_c , f_y serta analisis dimensi dari Model balok kantilever. Besarnya nilai *momen nominal* (M_n) merupakan kondisi momen maksimal dimana Model balok kantilever mengalami kegagalan lentur. Karena Model balok kantilever menggunakan Model yang sama maka balok kantilever mempunyai nilai yang sama. Sehingga secara teoritis Model balok akan mengalami keruntuhan lentur sebesar P .

Berikut ini adalah data beban nominal perhitungan teori dan hasil pengujian :

Tabel 4.7 Beban Nominal Perhitungan Teori dan Hasil Pengujian

MODEL	P_{TEORI} (kN)	P_{UJI} (kN)
BK	10.27	12.02
1	20.31	14.05
2	20.31	15.28
3	20.31	18.53

Besar nilai teoritis di atas adalah untuk kondisi Model balok dengan material beton kantilever pada seluruh bagian Model, sehingga untuk nilai ketiga Model tersebut di atas adalah kondisi apabila seluruh bagian Model terdiri dari beton bertulang sepenuhnya.

Nilai P yang didapatkan dari pengujian memperlihatkan nilai yang lebih besar dibanding dengan nilai P secara teoritis sebelum dilakukan perbaikan dan perkuatan. Hal ini dapat dianalisa karena ketiga Model balok kantilever ini menggunakan material perbaikan dan perkuatan yang berbeda. Selain itu pada Model-1 ditambahkan perkuatan lentur pada bagian atas dekat kolom balok kantilever. Material CFRP yang dipasang ini diharapkan dapat menambah kekuatan tarik serat atas balok beton kantilever sehingga meningkatkan nilai P yang dapat ditahan.

Untuk perbandingan antara balok kantilever Model-1, Model-2 dan Model-3 dapat dilihat bahwa pada balok mendapatkan nilai P uji makin besar. Hal ini dapat dianalisa karena faktor injeksi dan penambahan CFRP, CFRP+ serta CFRP-Plate.

4.3.2 Lendutan

Berikut ini adalah sebagian hasil pengolahan data lendutan rata-rata yang didapatkan dari pengujian sebelum perbaikan.

Tabel 4.8 Lendutan Sebelum Perbaikan

BEBAN (kN)	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	DIAL 4	DIAL 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.56	0.33	0.05	0.07	-0.18
3	1.45	0.80	0.15	0.16	-0.19
4	2.35	1.35	0.26	0.25	-0.27
5	3.84	2.15	0.40	0.37	-0.34
6	5.20	2.90	0.50	0.46	-0.42
7	6.50	3.65	0.60	0.56	-0.50
8	8.10	4.45	0.71	0.66	-0.58
9	9.65	5.28	0.85	0.75	-0.72
10	11.40	6.20	0.98	0.88	-0.85
11	13.30	7.17	1.15	0.99	-0.97
12	14.85	8.10	1.30	1.11	-1.08
13	16.80	9.85	1.45	1.25	-1.19
14	18.70	10.90	1.60	1.36	-1.30
15	20.80	11.99	1.80	1.45	-1.45

Melihat data lendutan sebelum perkuatan, seharusnya pada kolom tidak ada lendutan. Maka dilakukan suatu perhitungan faktor koreksi yang akan mengurangi hasil pembacaan data pada dial-1, -2, dan -3 dalam bentuk

$$\text{perbandingan : } \frac{y}{x1} = \frac{|dial4 - dial5|}{h}$$

dimana :

- y = Faktor koreksi
- x1 = Jarak titik yang ditinjau
- dial = Bacaan dial pada titik
- H = Jarak antara dial-4 dan dial-5

Setelah diberikan faktor koreksi didapat :

Tabel 4.9 Lendutan Terkoreksi Sebelum Perbaikan

BEBAN (kN)	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0.00	0.00	0.00
2	0.06	0.04	0.01
3	0.74	0.39	0.10
4	1.30	0.75	0.18
5	2.41	1.32	0.29
6	3.43	1.88	0.36
7	4.36	2.42	0.44
8	5.60	3.01	0.52
9	6.69	3.57	0.62
10	7.91	4.19	0.71
11	9.35	4.89	0.85
12	10.44	5.55	0.96
13	11.88	7.01	1.07
14	13.34	7.81	1.19
15	14.96	8.62	1.35

Berikut ini adalah hasil pengolahan data lendutan rata-rata yang didapatkan dari pengujian sesudah perbaikan.

Tabel 4.10 Lendutan Sesudah Perbaikan

BEBAN (kN)	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	DIAL 4	DIAL 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.68	0.34	0.04	0.06	-0.04
3	1.53	0.78	0.12	0.11	-0.12
4	2.43	1.25	0.20	0.17	-0.20
5	3.49	1.79	0.31	0.23	-0.29
6	4.30	2.79	0.47	0.29	-0.40
7	6.57	3.44	0.58	0.33	-0.49
8	7.70	4.03	0.66	0.38	-0.58
9	8.70	4.62	0.75	0.43	-0.65
10	9.95	5.48	0.86	0.50	-0.80
11	11.50	5.96	0.93	0.55	-0.87
12	13.72	7.08	1.08	0.65	-1.03
13	14.19	7.29	1.11	0.68	-1.06
14	16.56	8.36	1.27	0.79	-1.21
15	18.36	9.49	1.37	0.83	-1.25
16	22.60	12.88	1.63	0.89	-1.31
17	24.00	14.40	1.93	0.98	-1.37
18	39.00	18.50	2.39	1.06	-1.45
19	47.00	24.69	3.02	1.13	-1.47
19.2	54.00	28.40	3.34	1.18	-1.47
19.4	57.00	29.63	3.70	1.23	-1.47
19.6	61.00	35.00	3.83	1.28	-1.47
19.8	67.00	39.00	4.05	1.30	-1.47
20	74.00	42.00	4.38	1.32	-1.47

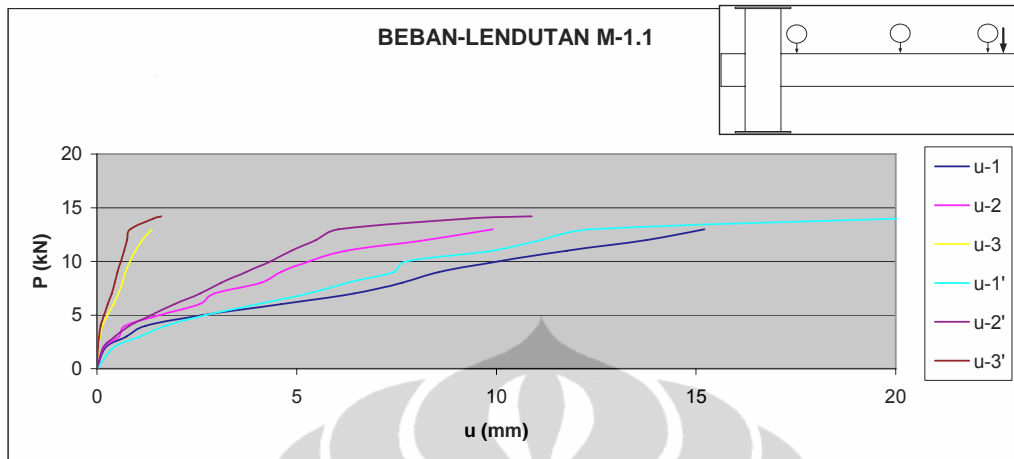
Setelah diberikan faktor koreksi didapat :

Tabel 4.11 Lendutan Terkoreksi Sesudah Perbaikan

BEBAN (kN)	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0.00	0.00	0.00
2	0.48	0.23	-0.02
3	1.07	0.52	0.07
4	1.68	0.83	0.13
5	2.44	1.20	0.21
6	2.91	2.01	0.33
7	4.92	2.51	0.41
8	5.77	2.94	0.47
9	6.52	3.40	0.53
10	7.33	4.01	0.60
11	8.64	4.35	0.64
12	10.33	5.18	0.74
13	10.68	5.32	0.76
14	12.53	6.10	0.87
15	14.17	7.14	0.95
16	18.17	10.39	1.19
17	19.26	11.74	1.46
18	33.94	15.66	1.88
19	41.76	21.75	2.50
19.2	48.66	25.40	2.81
19.4	51.56	26.57	3.16
19.6	55.46	31.89	3.28
19.8	61.42	35.86	3.49
20	68.38	38.84	3.82

Berikut gambar grafik beban-lendutan dari masing-masing model :

1. Model-1 :

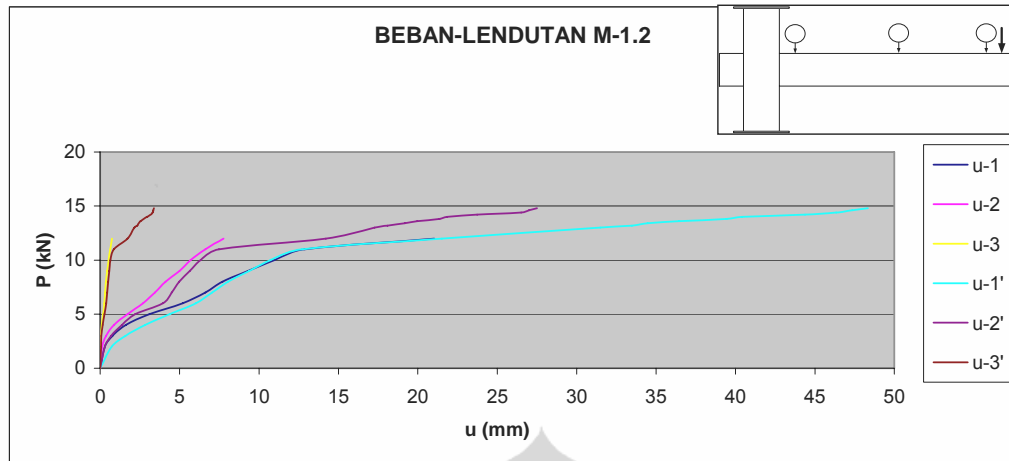


Gambar 4.19 Beban-Lendutan Model-1.1

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-1.1 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hidraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk Model-1.1, leleh terjadi pada beban kisaran 12-13 kN.

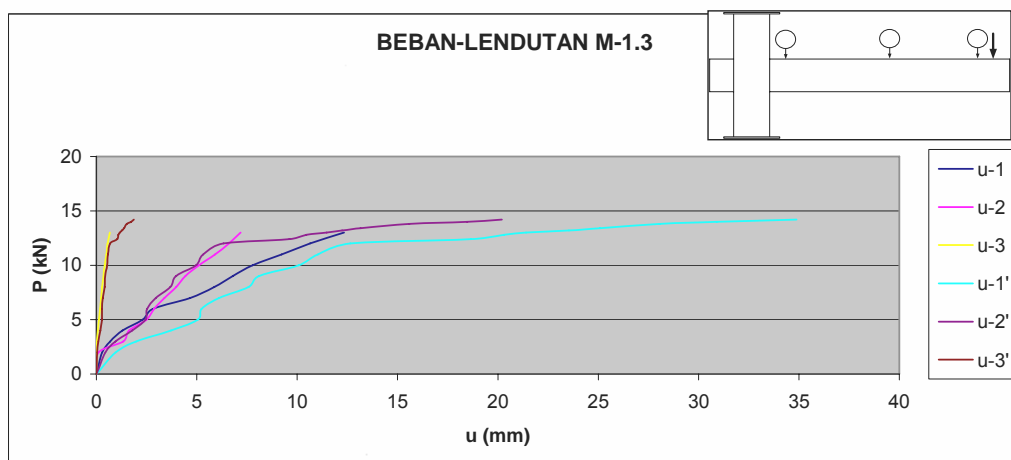


Gambar 4.20 Beban-Lendutan Model-1.2

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-1.2 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hydraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk Model-1.2, leleh terjadi pada beban kisaran 12-13 kN.



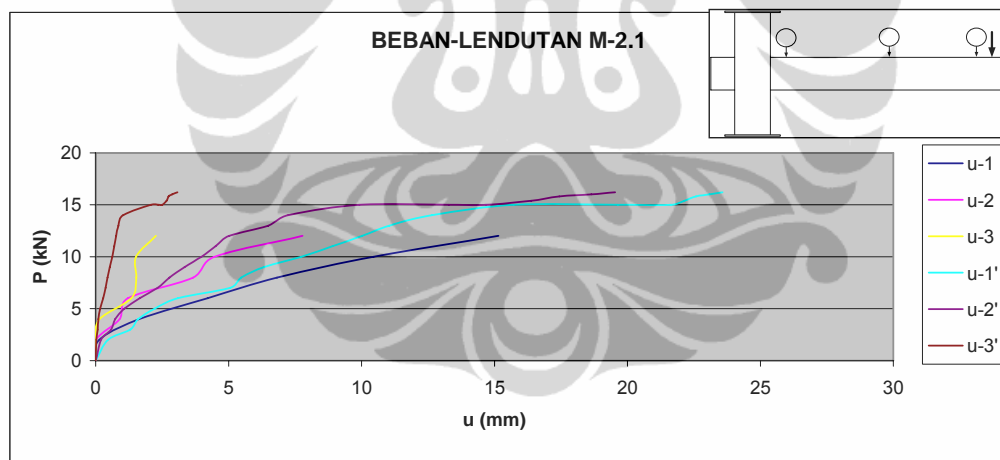
Gambar 4.21 Beban-Lendutan Model-1.3

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-1.3 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hydraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk Model-1.3, leleh terjadi pada beban kisaran 12-13 kN.

2. Model-2



Gambar 4.22 Beban-Lendutan Model-2.1

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

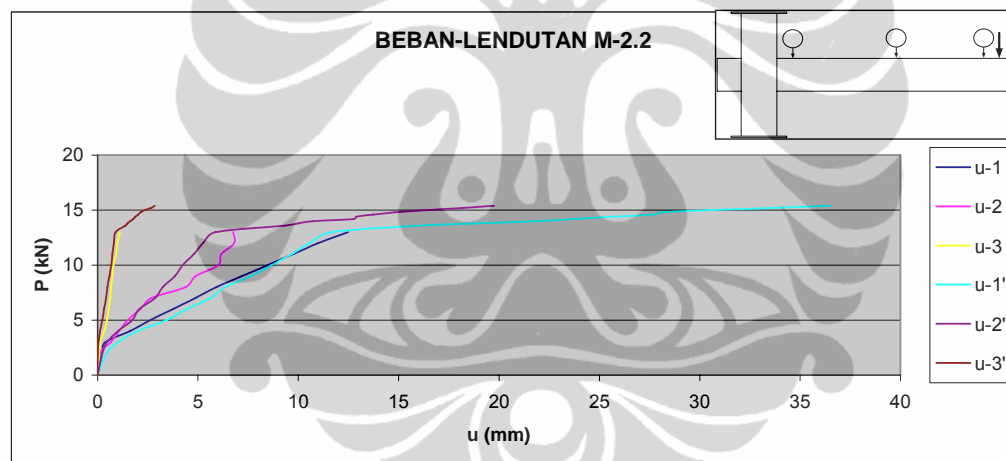
Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-2.1 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat

bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hydraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa kekakuan (*stiffness*) dari Model-2.1 lebih besar dari Model 1, walaupun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan tangen kurva pada bagian awal grafik.

Dengan adanya lendutan yang lebih kecil pada keadaan beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa Model-2.1 memiliki tingkat daktilitas yang besar, dikarenakan adanya penambahan CFRP+.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk Model-2.1, leleh terjadi pada beban kisaran 13-14 kN.



Gambar 4.23 Beban-Lendutan Model-2.2

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

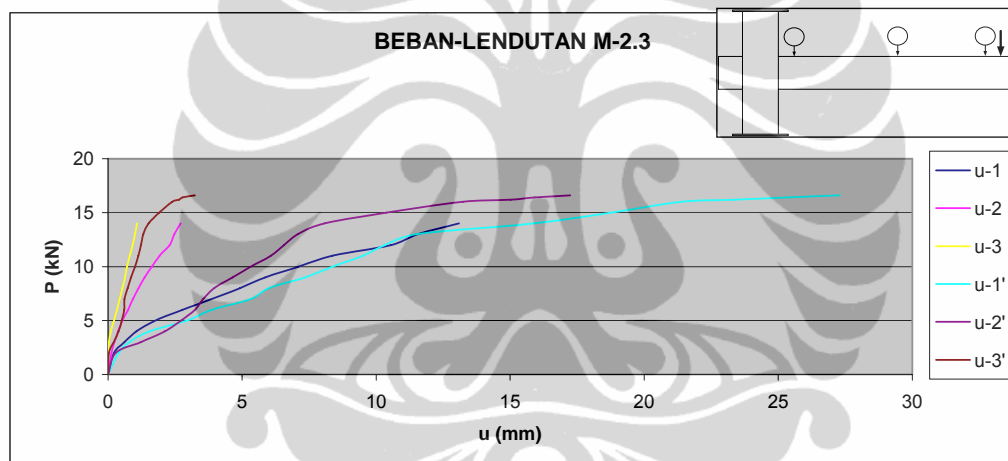
Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-2.2 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hydraulic*

jack sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa kekakuan (*stiffness*) dari Model-2 lebih besar dari Model 1, walaupun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan tangen kurva pada bagian awal grafik.

Dengan adanya lendutan yang lebih kecil pada keadaan beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa Model-2 memiliki tingkat daktilitas yang besar, dikarenakan adanya penambahan CFRP+.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk Model-2.2, leleh terjadi pada beban kisaran 13-14 kN.



Gambar 4.24 Beban-Lendutan Model-2.3

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

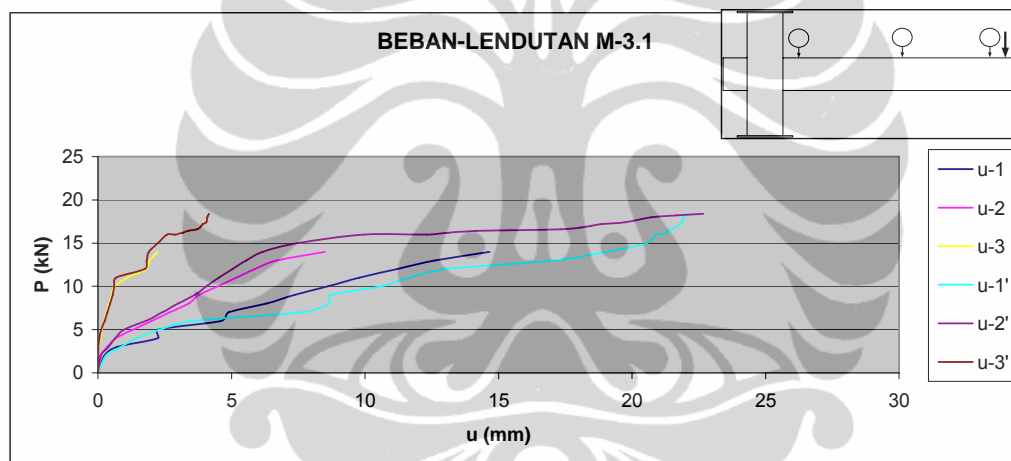
Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-2.3 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hydraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa kekakuan (*stiffness*) dari Model-2 lebih besar dari Model 1, walaupun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan tangen kurva pada bagian awal grafik.

Dengan adanya lendutan yang lebih kecil pada keadaan beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa Model-2 memiliki tingkat daktilitas yang besar, dikarenakan adanya penambahan CFRP+.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk Model-2.3, leleh terjadi pada beban kisaran 13-14 kN.

3. Model-3



Gambar 4.25 Beban-Regangan Model-3.1

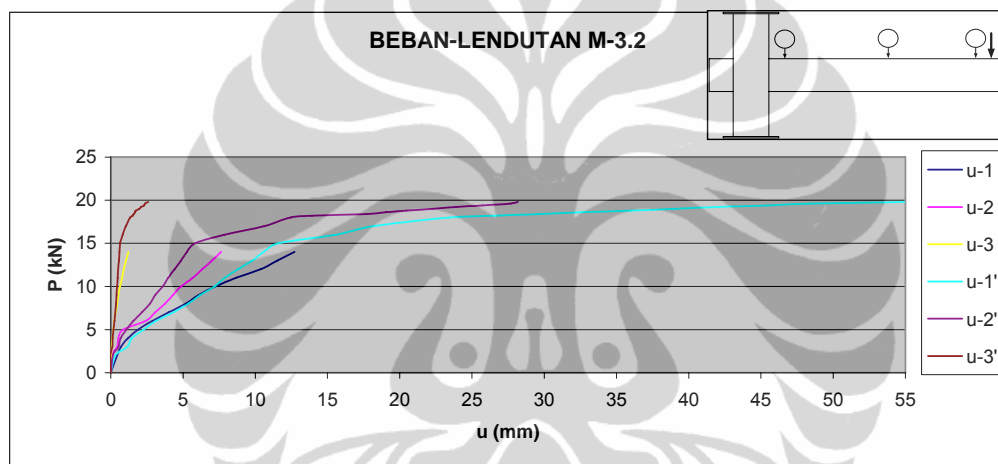
Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model-3.1 memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hidraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa kekakuan (*stiffness*) dari Model-3 lebih besar dari Model 1 , walaupun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan tangen kurva pada bagian awal grafik.

Dengan adanya lendutan yang lebih besar pada keadaan beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa Model-3 memiliki tingkat daktilitas yang besar, dikarenakan adanya penambahan CFRP dan pelat.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk ketiga Model, leleh terjadi pada beban kisaran 12-16 kN.



Gambar 4.26 Beban-Regangan Model-3.2

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

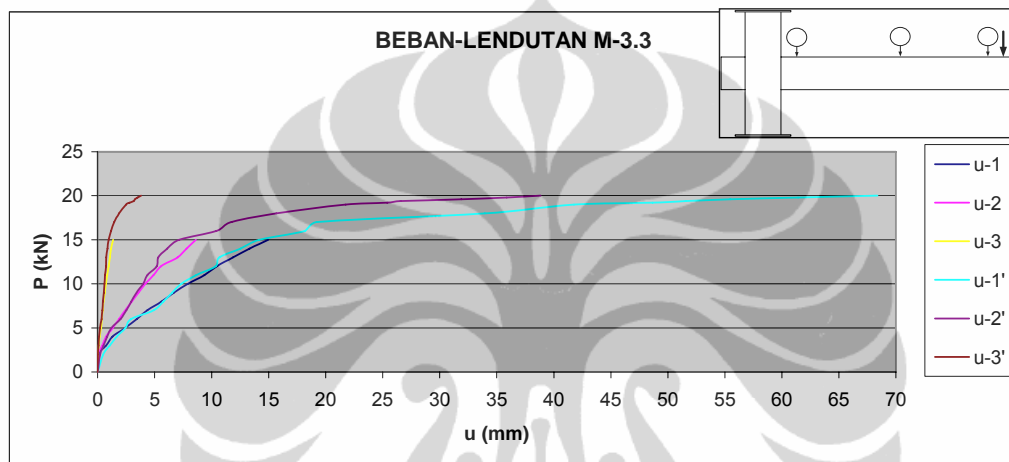
Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hidraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa kekakuan (*stiffness*) dari Model-3 lebih besar dari Model 1 , walaupun perbedaan yang ada tidak terlalu

signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan tangen kurva pada bagian awal grafik.

Dengan adanya lendutan yang lebih besar pada keadaan beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa Model-3 memiliki tingkat daktilitas yang besar, dikarenakan adanya penambahan CFRP dan pelat.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk ketiga Model, leleh terjadi pada beban kisaran 12-16 kN.



Gambar 4.27 Beban-Lendutan Model-3.3

Dari grafik beban-lendutan khususnya titik 1 dan 2 dapat diketahui kapan awal terjadinya retak. Retak dapat diidentifikasi yaitu ketika grafik mengalami perubahan dari keadaan linear menjadi non linear atau ketika grafik yang kemiringannya berubah.

Apabila dilihat dari grafik perbandingan di atas, dapat terlihat bahwa balok Model memiliki beban runtuh (P_{ult}) yang lebih besar dan memiliki lendutan yang lebih besar. Sebenarnya beban runtuh yang didapatkan masih dapat bertambah. Hal ini dikarenakan pembebanan diberhentikan pada saat *hydraulic jack* sudah tidak dapat bergerak lagi. Jika mengacu pada hal itu, bisa dianalisa bahwa beban runtuh dan lendutan yang terjadi masih mungkin bertambah besar.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa kekakuan (*stiffness*) dari Model-3 lebih besar dari Model 1, walaupun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan tangen kurva pada bagian awal grafik.

Dengan adanya lendutan yang lebih besar pada keadaan beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa Model-3 memiliki tingkat daktilitas yang besar, dikarenakan adanya penambahan CFRP dan pelat.

Selain itu dari grafik *load-deflection* tersebut dapat diidentifikasi kapan leleh tulangan baja terjadi, yaitu ketika terdapat simpangan yang cukup besar pada kurva. Untuk ketiga Model, leleh terjadi pada beban kisaran 12-16 kN.

4.3.3 Regangan

Nilai regangan adalah perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal. Pada pengujian nilai regangan yang terjadi didapat dari pembacaan *strain gages* yang ada pada tulangan atas bagian tengah yang mengalami tarik dan tertanam di dalam beton.

Besar regangan hasil pengujian sebelum dan sesudah perbaikan dapat dilihat pada lampiran.

Dari hasil pengujian tarik baja tulangan pokok, didapatkan bahwa baja tulangan pokok memiliki tegangan leleh :

$$f_y = 338 \text{ MPa}$$

Maka regangan leleh baja tulangan pokok adalah :

$$\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 1.690,1 \times 10^{-6}$$

CFRP memiliki tegangan leleh :

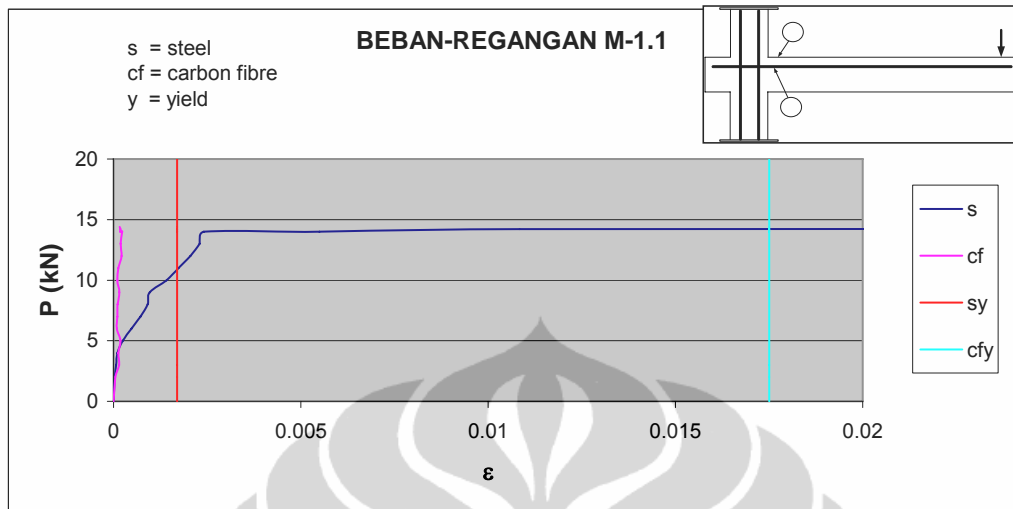
$$f_{ycf} = 2800 \text{ MPa}$$

Maka regangan leleh CFRP adalah :

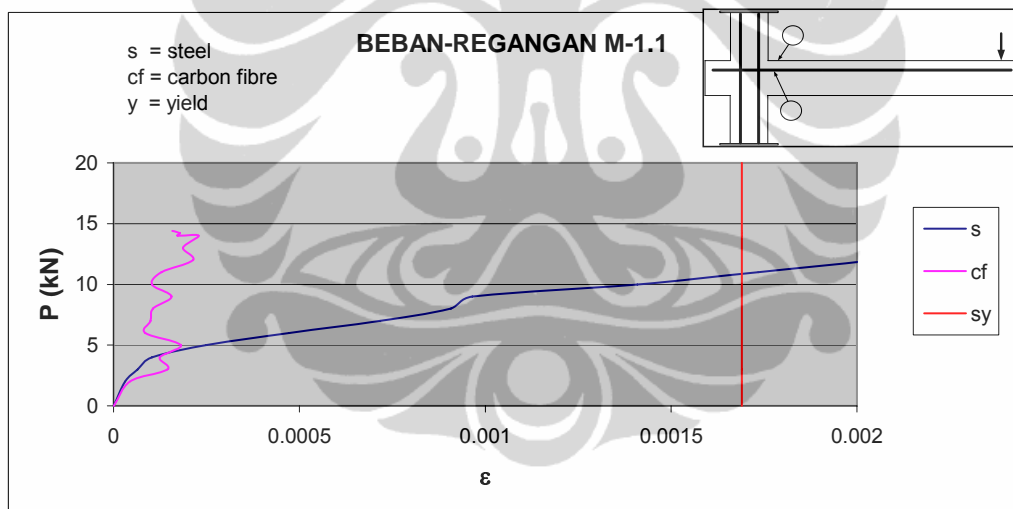
$$\varepsilon_{cf} = \frac{f_{ycf}}{E_{cf}} = \frac{2800}{160.000} = 175 \times 10^{-4}$$

Berikut gambar grafik beban-regangan dari masing-masing model :

1. Model-1 :



Gambar 4.28 Beban-Regangan Model-1.1

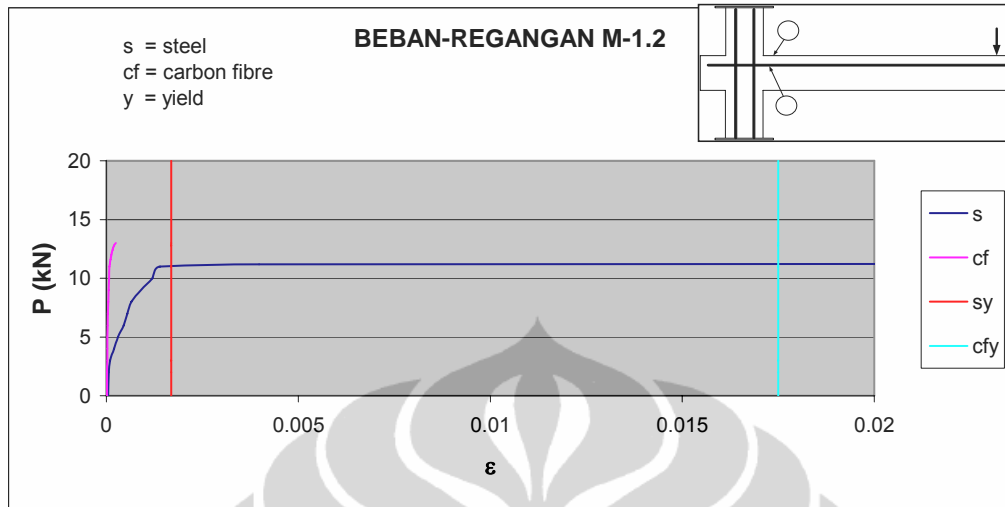


Gambar 4.29 Pembesaran Beban-Regangan Model-1.1

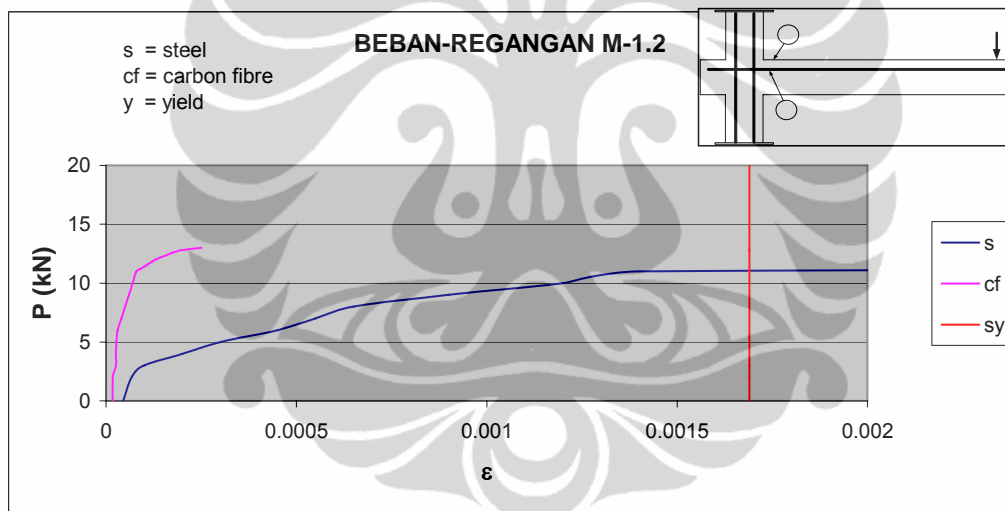
Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, nilai regangan tarik baja tulangan pokok telah mengalami kondisi *yielding*.



Gambar 4.30 Beban-Regangan Model-1.2

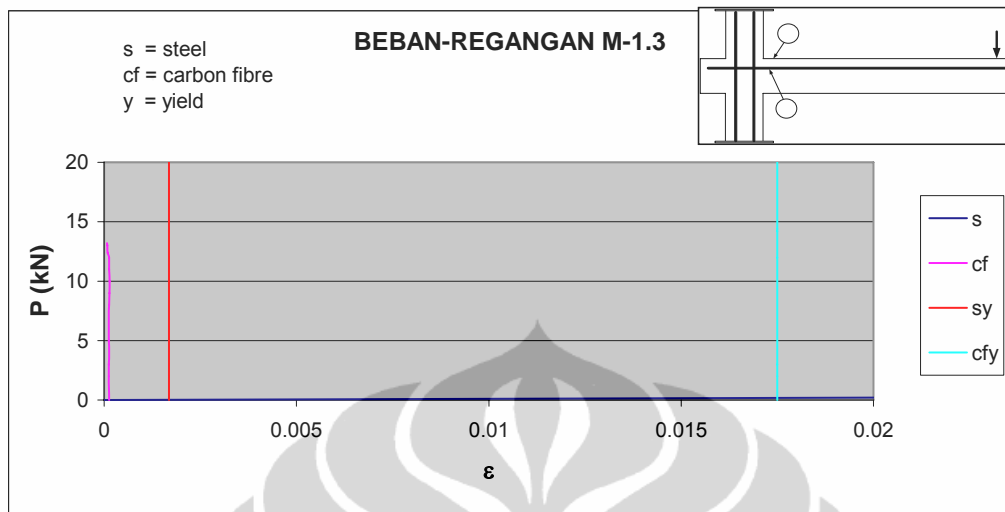


Gambar 4.31 Pembesaran Beban-Regangan Model-1.2

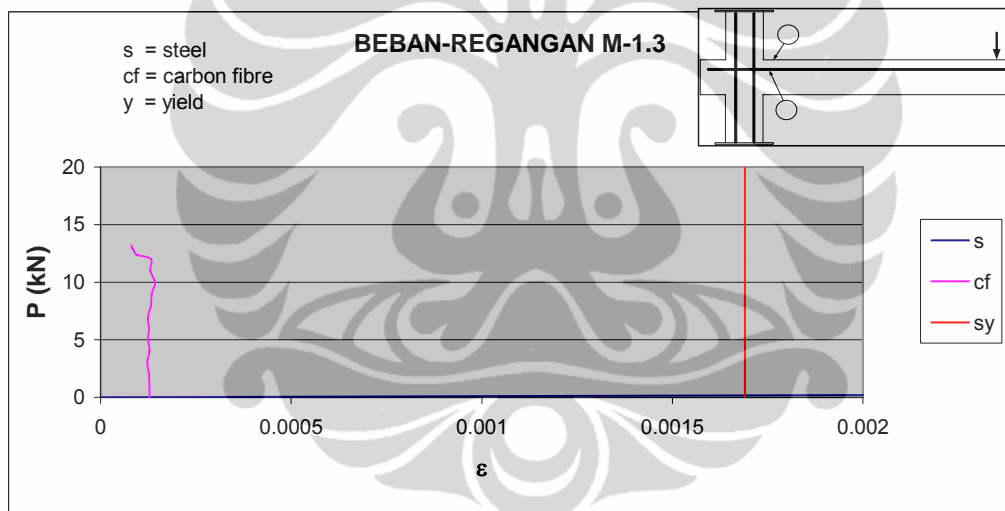
Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, nilai regangan tarik baja tulangan pokok telah mengalami kondisi *yielding*.



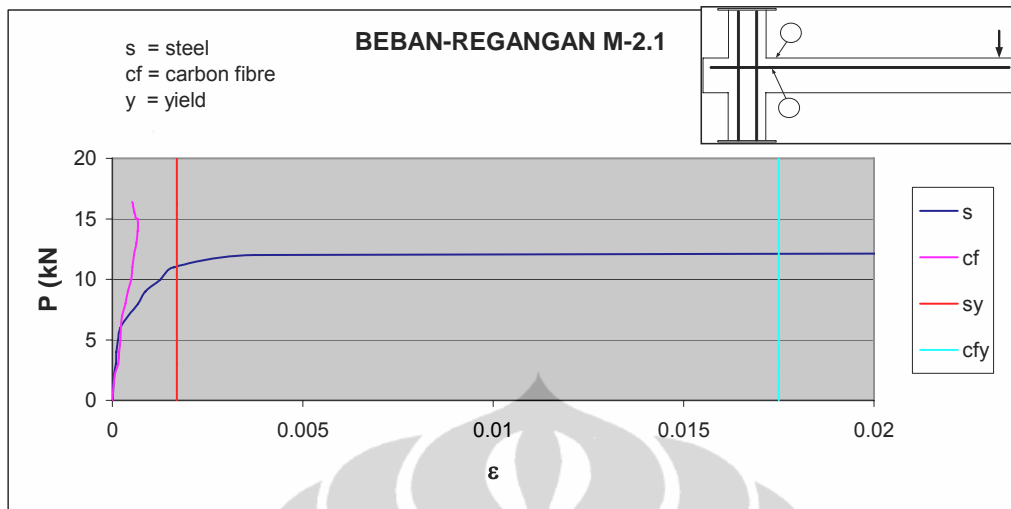
Gambar 4.32 Beban-Regangan Model-1.3



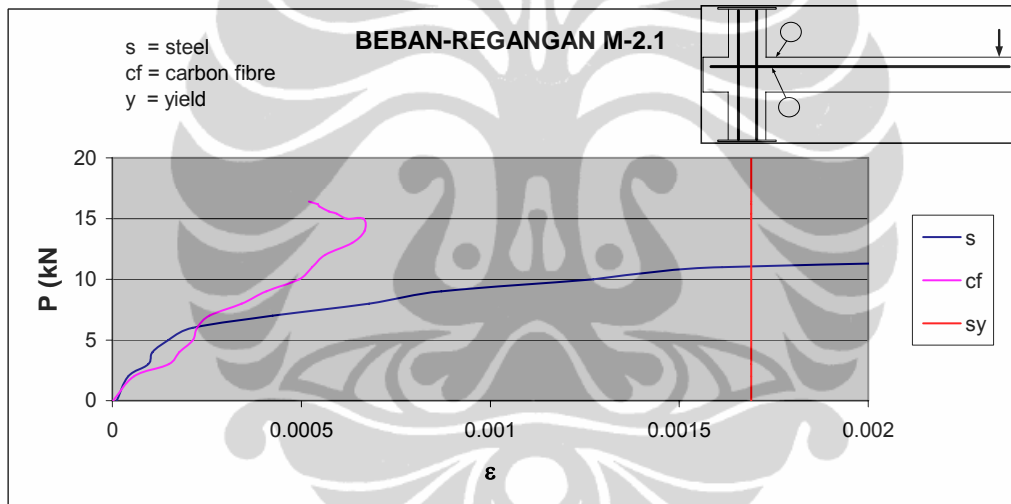
Gambar 4.33 Pembesaran Beban-Regangan Model-1.3

Khusus grafik ini data dari *strain gages* pada tulangan tidak didapat karena mengalami kerusakan pada saat dilakukan perbaikan pada balok kantilever, sedangkan pada CFRP masih terlihat pada garis warna pink.

2. Model-2



Gambar 4.34 Beban-Regangan Model-2.1

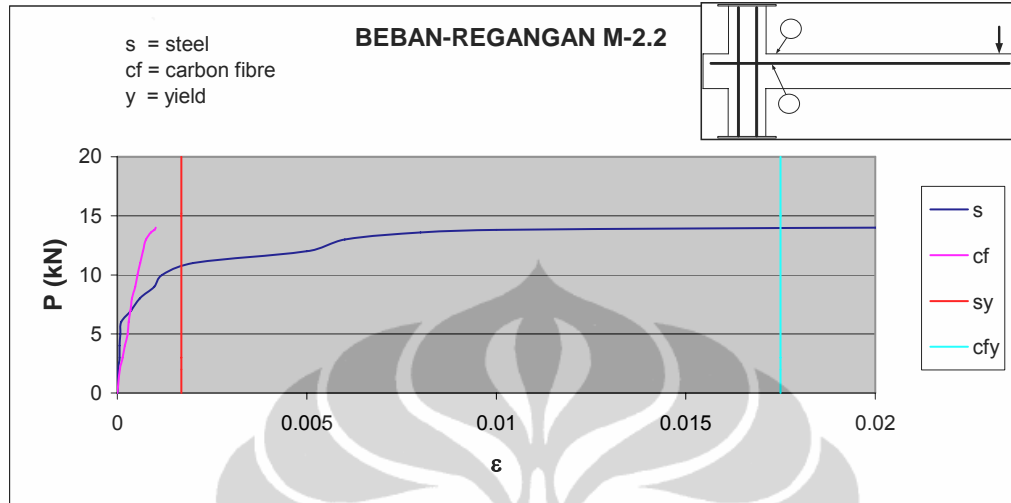


Gambar 4.35 Pembesaran Beban-Regangan Model-2.1

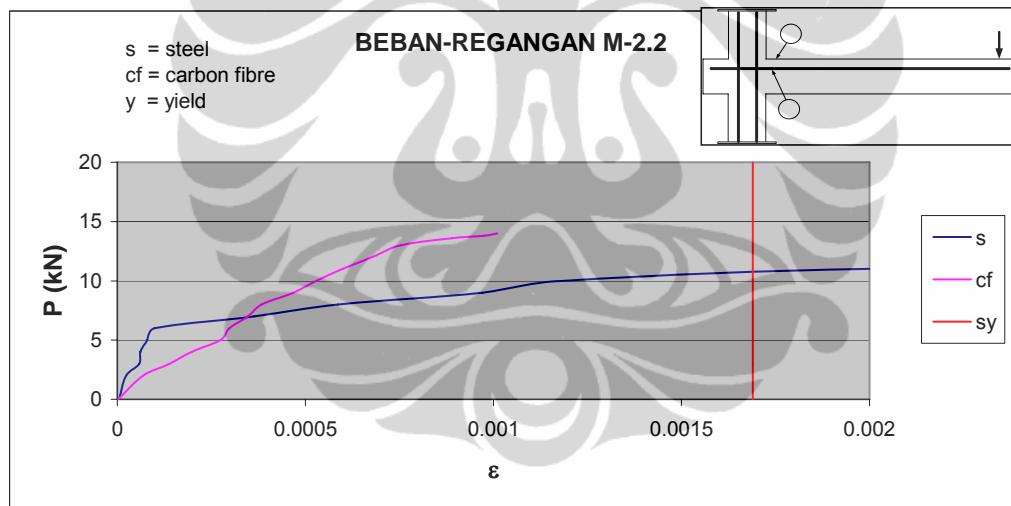
Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, terlihat bahwa nilai regangan tarik balok Model-2 lebih besar dari balok Model-1. Nilai regangan tarik baja tulangan pokok pada kedua Model telah mengalami kondisi *yielding*.



Gambar 4.36 Beban-Regangan Model-2.2

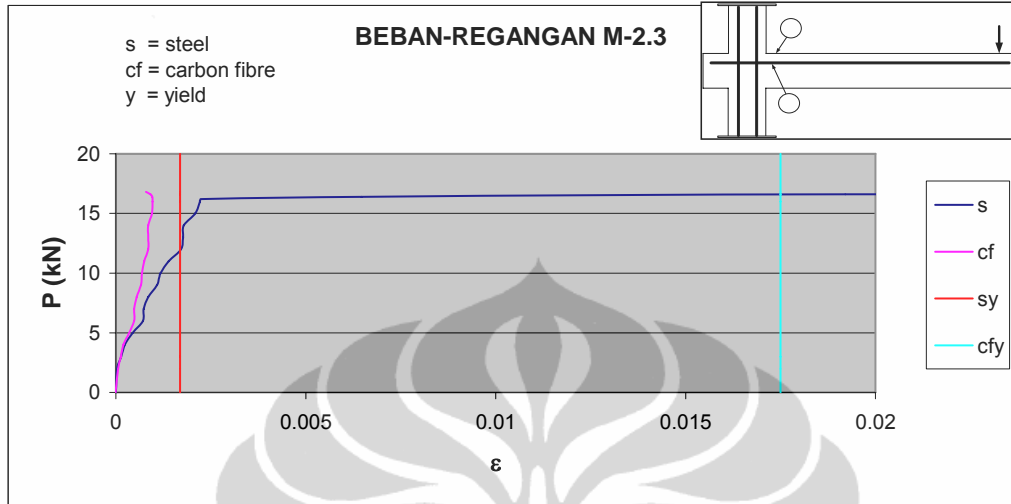


Gambar 4.37 Pembesaran Beban-Regangan Model-2.2

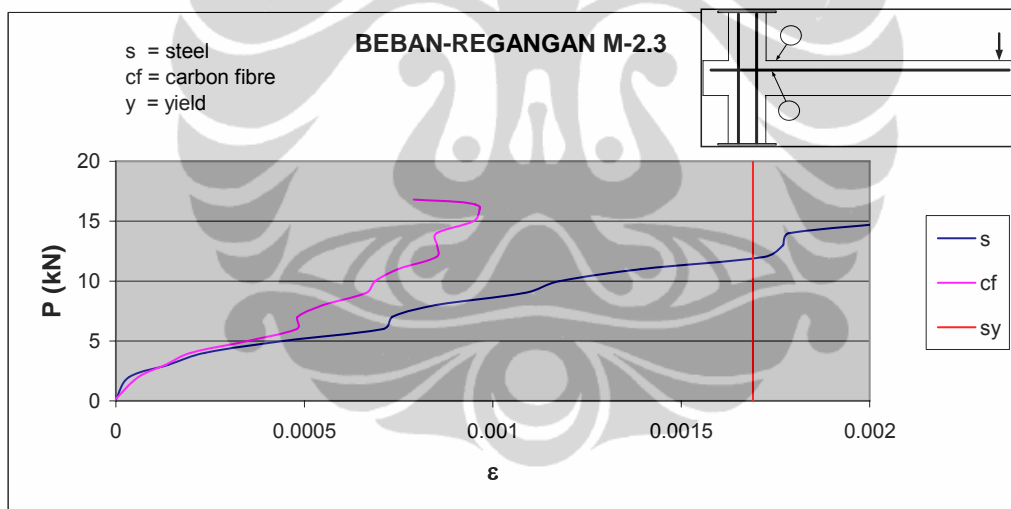
Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, terlihat bahwa nilai regangan tarik balok Model-2 lebih besar dari balok Model-1. Nilai regangan tarik baja tulangan pokok pada kedua Model telah mengalami kondisi *yielding*.



Gambar 4.38 Beban-Regangan Model-2.3



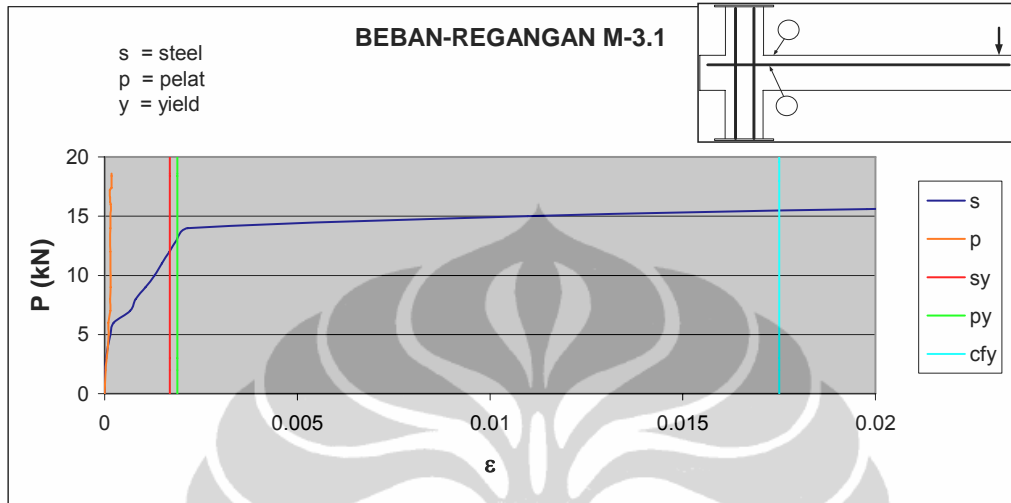
Gambar 4.39 Pembesaran Beban-Regangan Model-2.3

Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

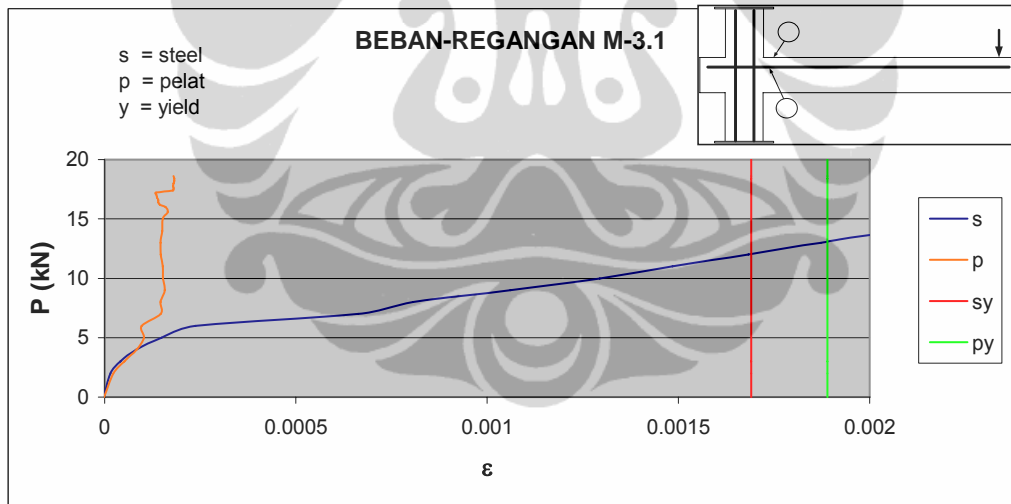
Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, terlihat bahwa nilai regangan tarik balok Model-2 lebih besar dari balok Model-1. Nilai regangan tarik baja tulangan pokok pada kedua Model telah mengalami kondisi *yielding*.

3. Model-3



Gambar 4.40 Beban-Regangan Model-3.1

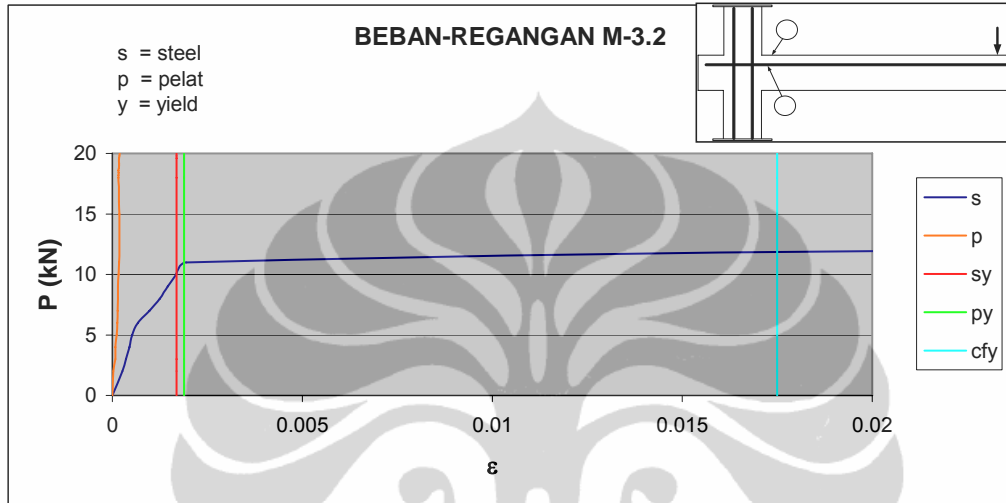


Gambar 4.41 Pembesaran Beban-Regangan Model-3.1

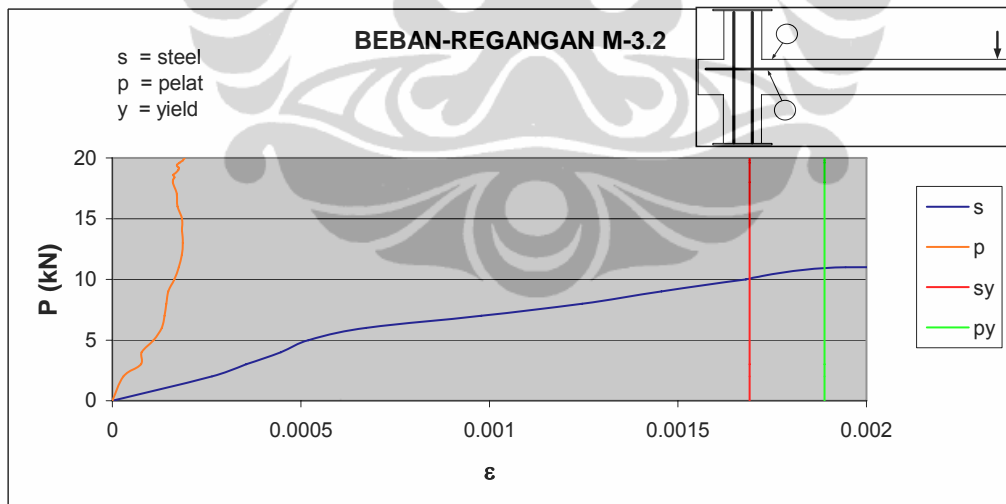
Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna hijau adalah batas leleh pelat perkuatan serta garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, terlihat bahwa nilai regangan tarik balok Model-3 lebih besar dari balok Model-1 dan Model-2. Nilai regangan tarik baja tulangan pokok pada ketiga Model telah mengalami kondisi *yielding*.



Gambar 4.42 Beban-Regangan Model-3.2



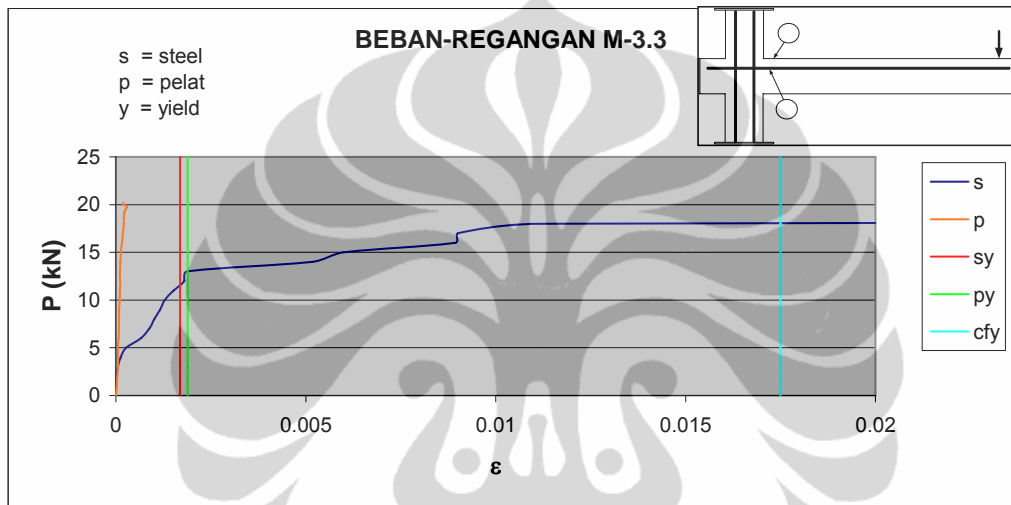
Gambar 4.43 Pembesaran Beban-Regangan Model-3.2

Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna hijau adalah batas leleh pelat

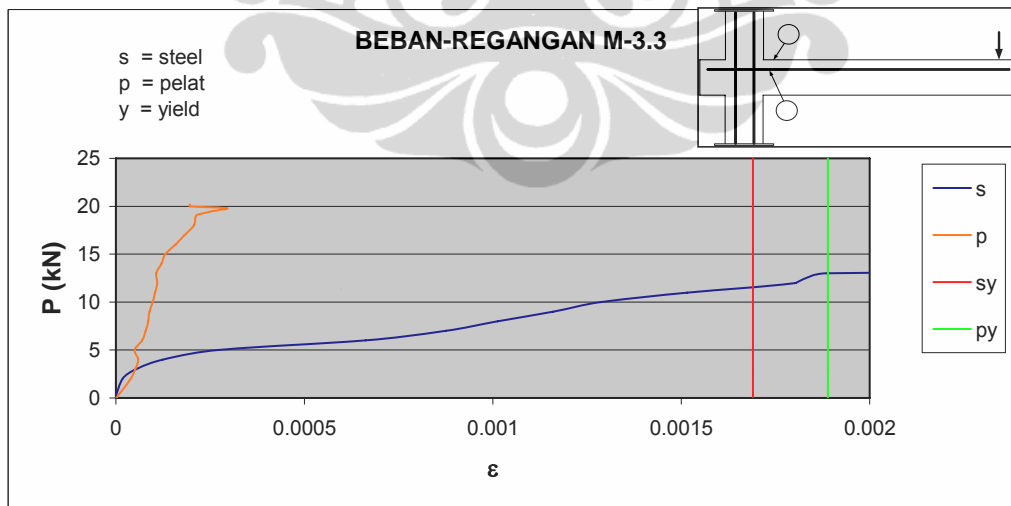
perkuatan serta garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, terlihat bahwa nilai regangan tarik balok Model-3 lebih besar dari balok Model-1 dan Model-2. Nilai regangan tarik baja tulangan pokok pada ketiga Model telah mengalami kondisi *yielding*.



Gambar 4.44 Beban-Regangan Model-3.3



Gambar 4.45 Pembesaran Beban-Regangan Model-3.3

Bila dilihat dari grafik pola regangan yang terbentuk berdasarkan pengujian terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan nilai yang wajar. Pola beban-regangan di atas dapat terlihat posisi garis warna merah adalah batas leleh

baja tulangan pokok sudah terjadi, dan garis warna hijau adalah batas leleh pelat perkuatan serta garis warna biru muda adalah batas leleh CFRP yang digunakan belum tercapai.

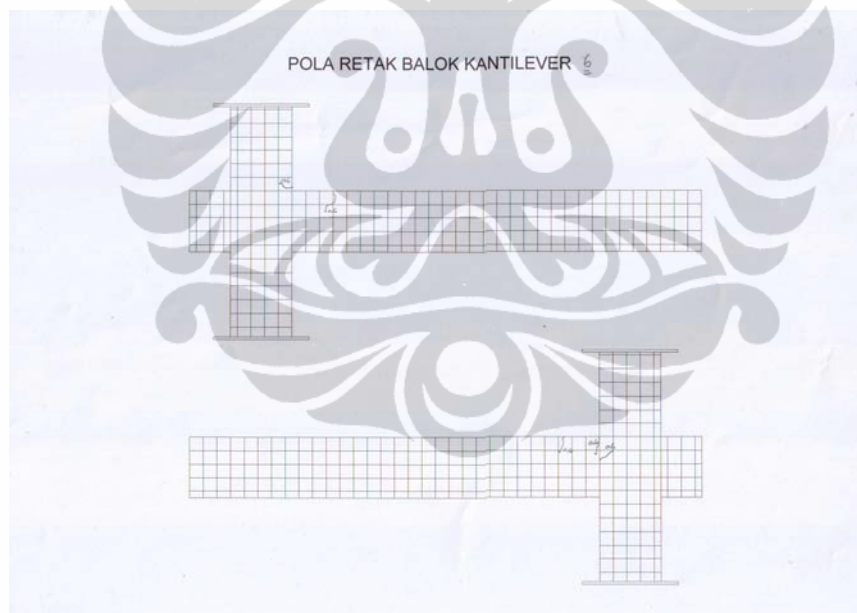
Berdasarkan hasil beban-regangan, didapatkan pula nilai regangan pada CFRP yang dipasang di atas balok kantilever. Data regangan selengkapnya ada pada lampiran.

Dari gambar, terlihat bahwa nilai regangan tarik balok Model-3 lebih besar dari balok Model-1 dan Model-2. Nilai regangan tarik baja tulangan pokok pada ketiga Model telah mengalami kondisi *yielding*.

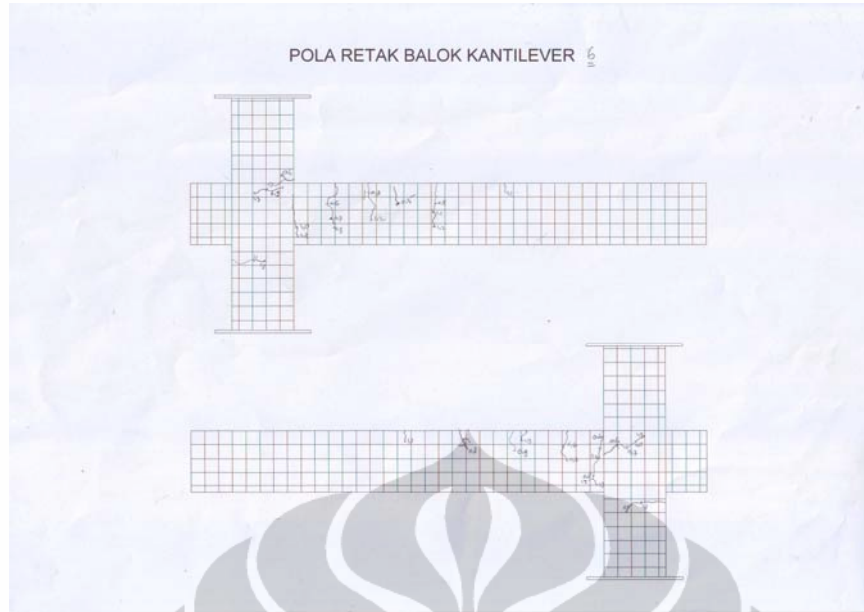
4.3.4 Pola Retak

Berikut gambar pola retak awal sebelum perkuatan serta awal dan akhir sesudah perkuatan dari masing-masing model :

1. Model-1 :



Gambar 4.46 Pola Retak M-1.1 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN



Gambar 4.47 Pola Retak M-1.1 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN



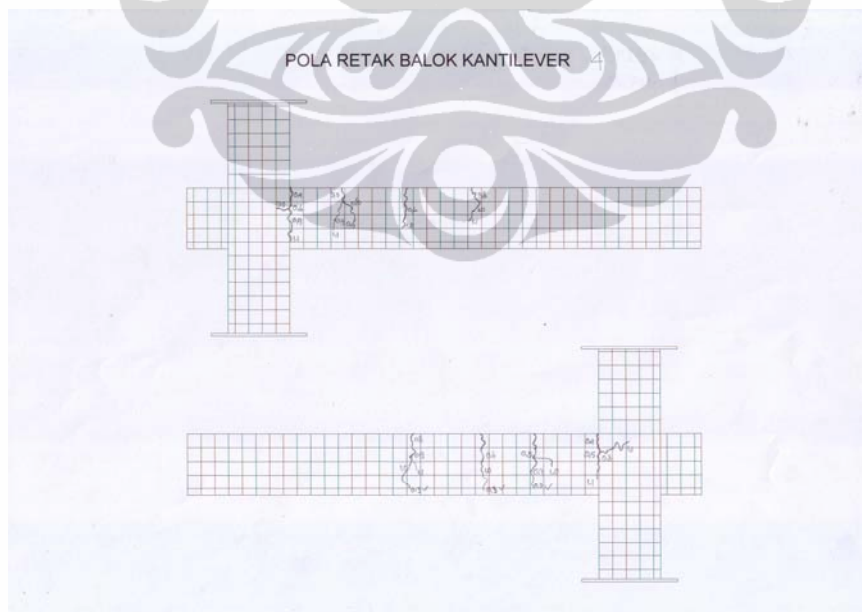
Gambar 4.48 Pola Retak M-1.1 Sesudah diperkuat : $P=1,42$ kN

Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,6 kN yaitu pada siklus ke-5, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-1.1 keretakan dimulai pada siklus ke-2 pada beban 0,3 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-1 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

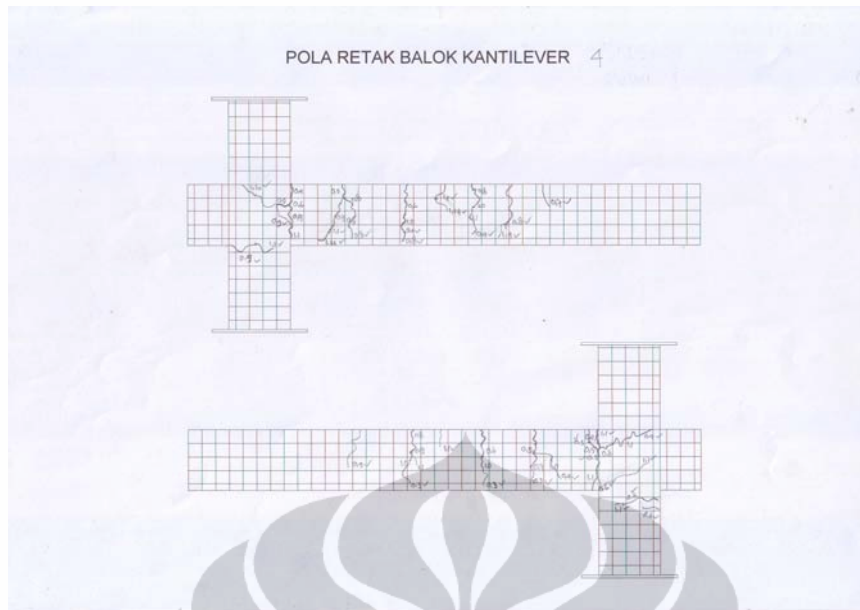
Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.



Gambar 4.49 Pola Retak M-1.2 Sebelum diperkuat : $P=0,4$ kN



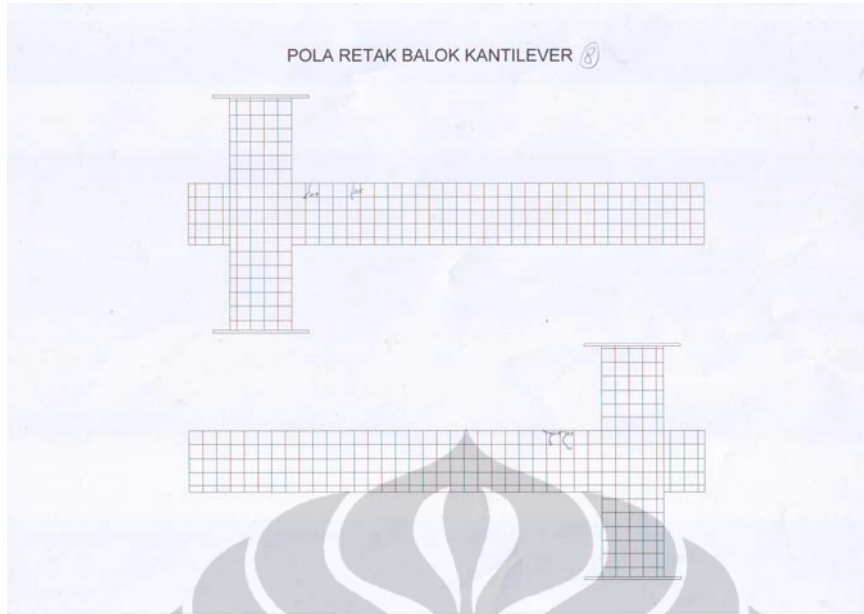
Gambar 4.50 Pola Retak M-1.2 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN



Gambar 4.51 Pola Retak M-1.2 Sesudah diperkuat : $P=1,6$ kN

Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,4 kN yaitu pada siklus ke-3, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-1.2 keretakan dimulai pada siklus ke-2 pada beban 0,3 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-1 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.



Gambar 4.52 Pola Retak M-1.3 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN



Gambar 4.53 Pola Retak M-1.3 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN



Gambar 4.54 Pola Retak M-1.3 Sesudah diperkuat : $P=1,42$ kN

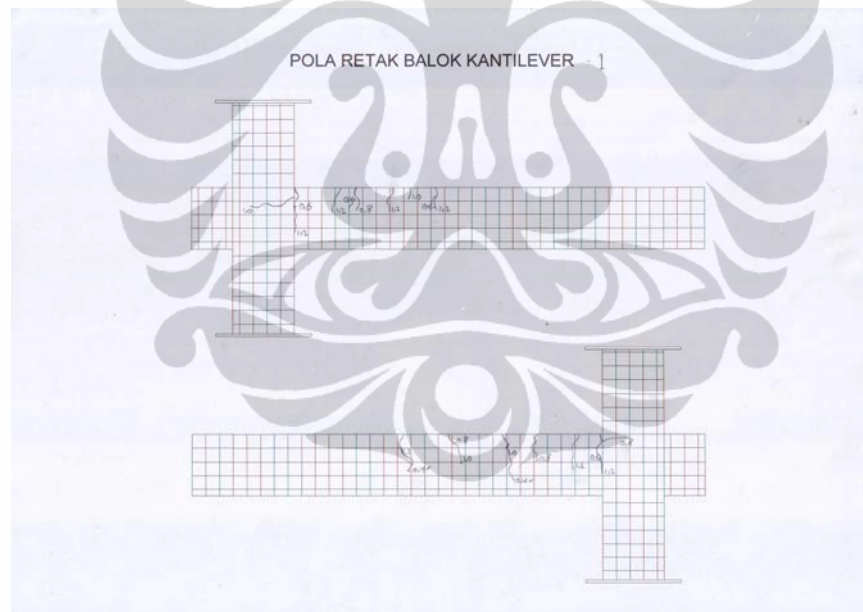
Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,5 kN yaitu pada siklus ke-4, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-1.3 keretakan dimulai pada siklus ke-2 pada beban 0,3 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-1 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.

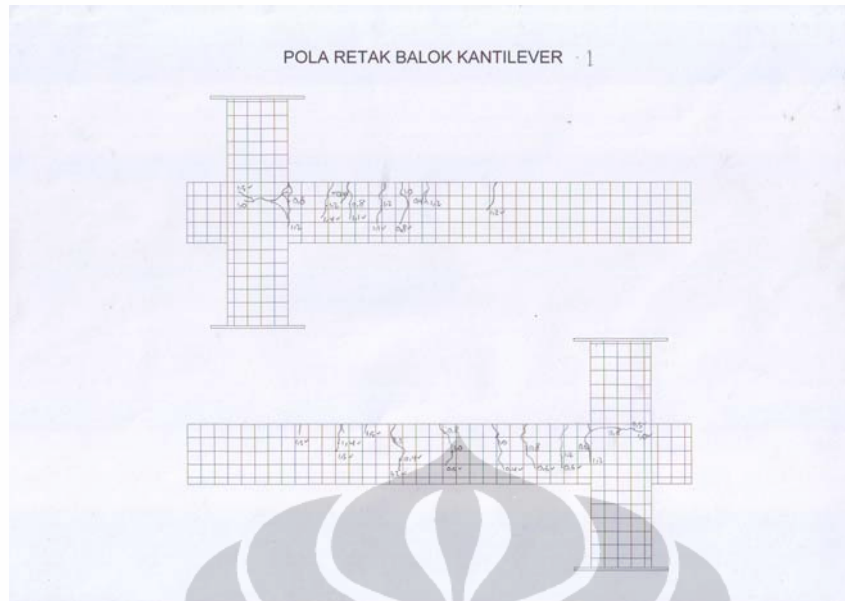
2. Model-2 :



Gambar 4.55 Pola Retak M-2.1 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN



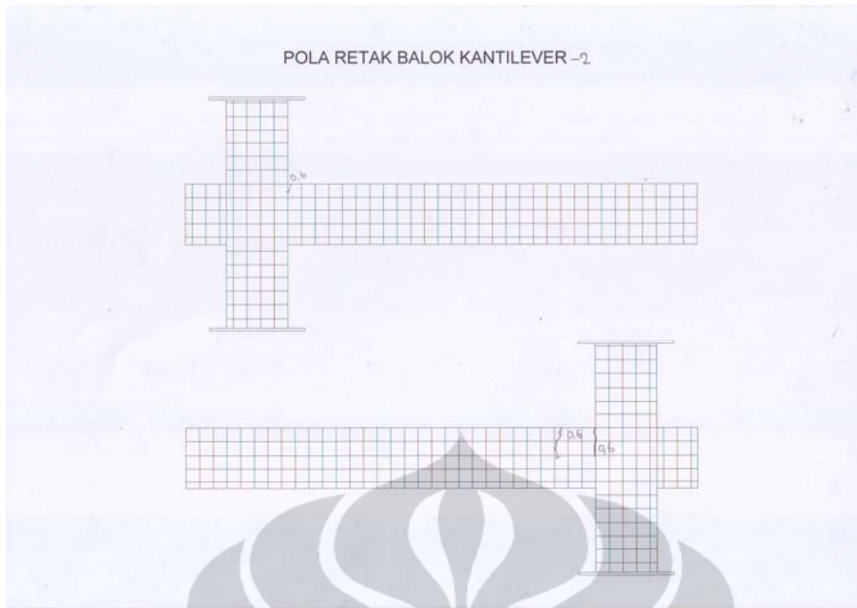
Gambar 4.56 Pola Retak M-2.1 Sesudah diperkuat : $P=0,4$ kN



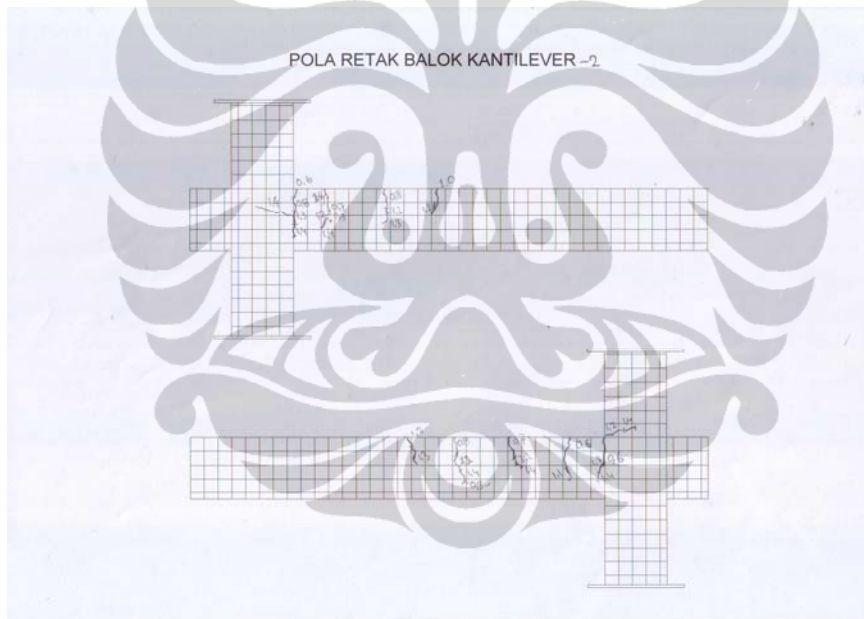
Gambar 4.57 Pola Retak M-2.1 Sesudah diperkuat : $P=1,5$ kN

Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,6 kN yaitu pada siklus ke-5, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-2.1 keretakan dimulai pada siklus ke-3 pada beban 0,4 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-2 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

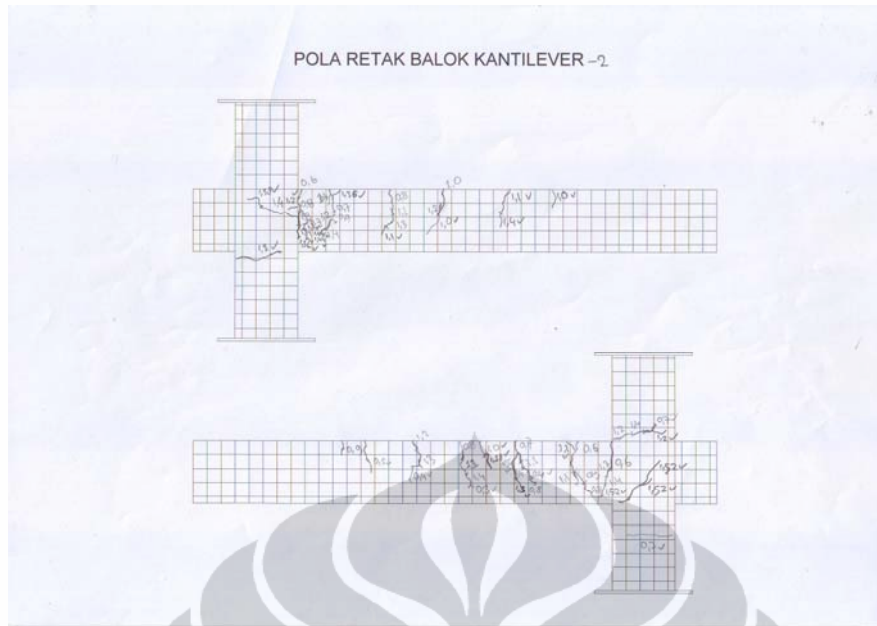
Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.



Gambar 4.58 Pola Retak M-2.2 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN



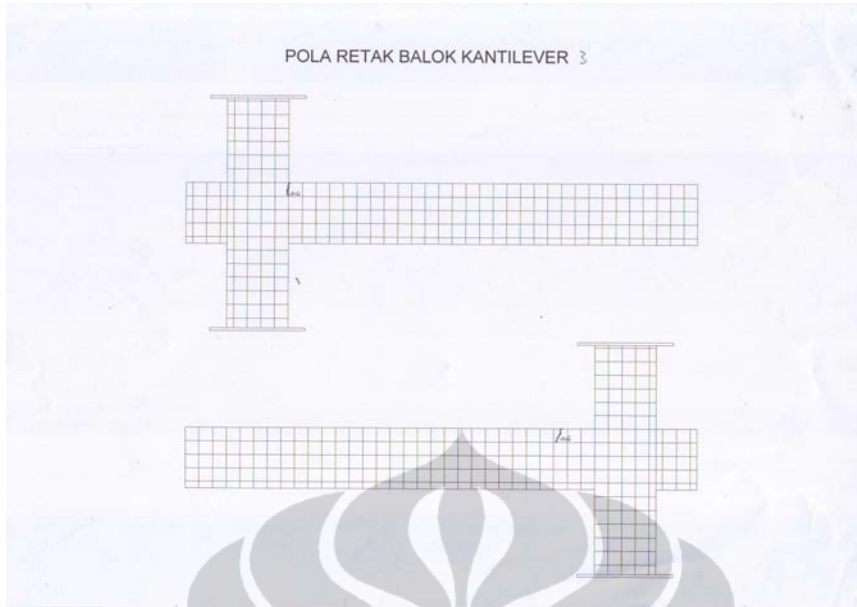
Gambar 4.59 Pola Retak M-2.2 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN



Gambar 4.60 Pola Retak M-2.2 Sesudah diperkuat : $P=1,52$ kN

Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,6 kN yaitu pada siklus ke-5, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-2.2 keretakan dimulai pada siklus ke-2 pada beban 0,3 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-2 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

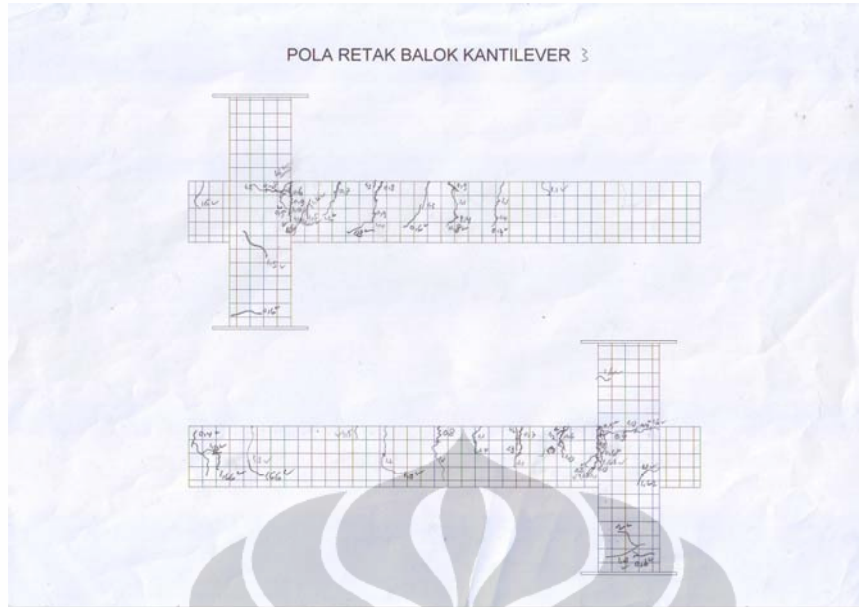
Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.



Gambar 4.61 Pola Retak M-2.3 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN



Gambar 4.62 Pola Retak M-2.3 Sesudah diperkuat : $P=0,4$ kN

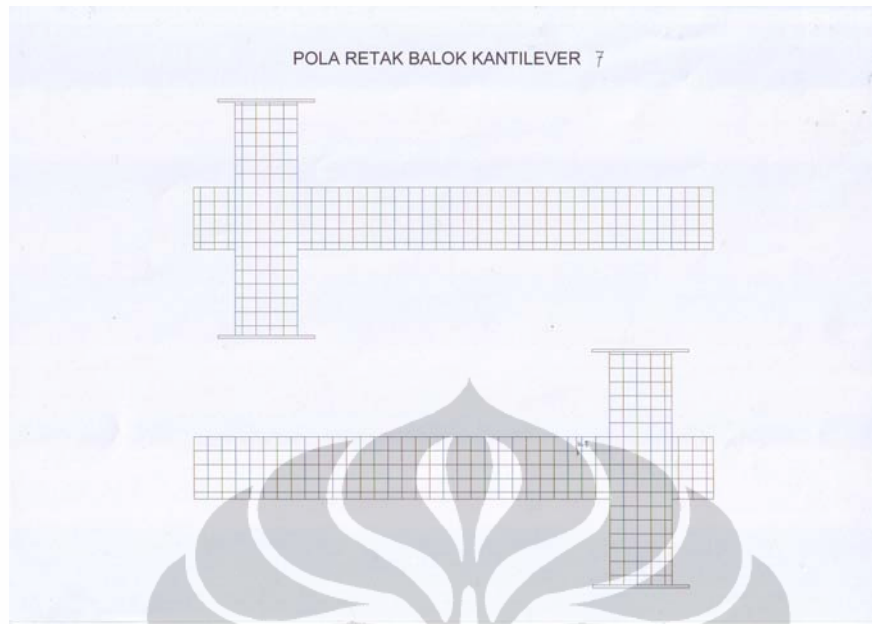


Gambar 4.63 Pola Retak M-2.3 Sesudah diperkuat : $P=1,66$ kN

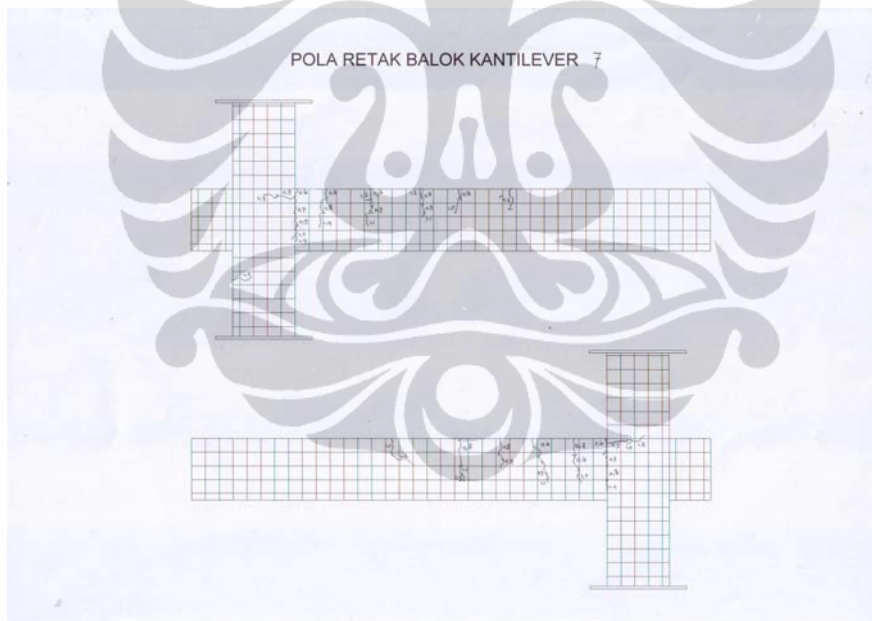
Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,6 kN yaitu pada siklus ke-5, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-2.3 keretakan dimulai pada siklus ke-2 pada beban 0,3 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-2 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.

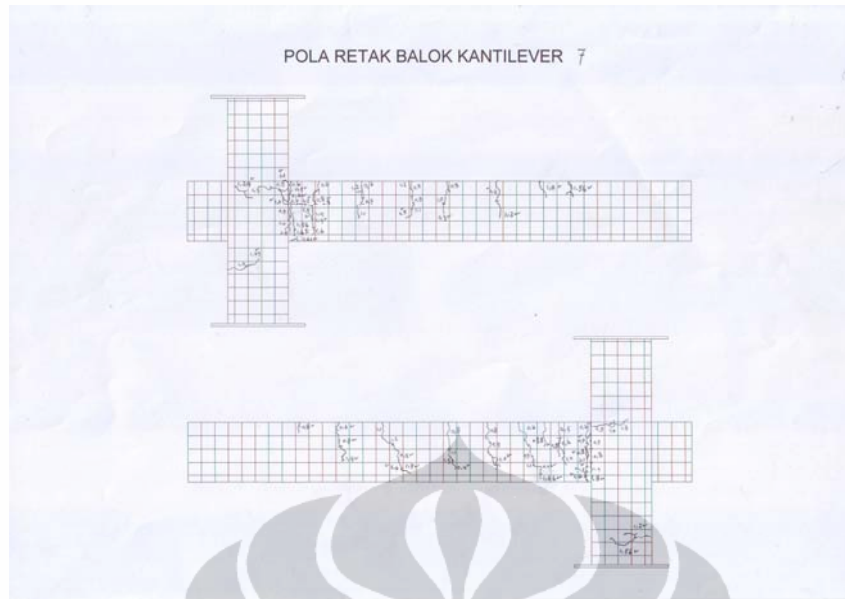
3. Model-3 :



Gambar 4.64 Pola Retak M-3.1 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN



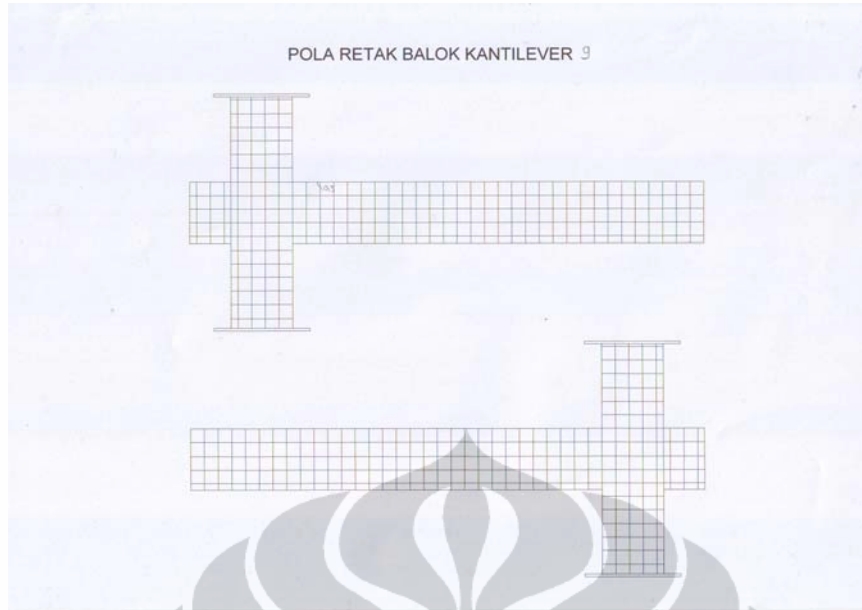
Gambar 4.65 Pola Retak M-3.1 Sesudah diperkuat : $P=0,2$ kN



Gambar 4.66 Pola Retak M-3.1 Sesudah diperkuat : $P=1,8$ kN

Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,5 kN yaitu pada siklus ke-4, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-3.1 keretakan dimulai pada siklus ke-1 pada beban 0,2 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-2 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

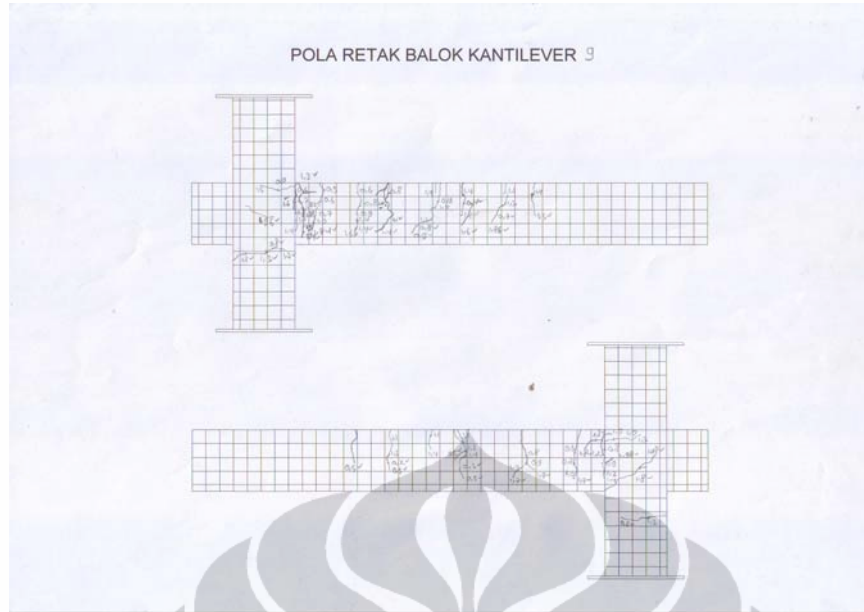
Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.



Gambar 4.67 Pola Retak M-3.2 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN



Gambar 4.68 Pola Retak M-3.2 Sesudah diperkuat : $P=0,2$ kN

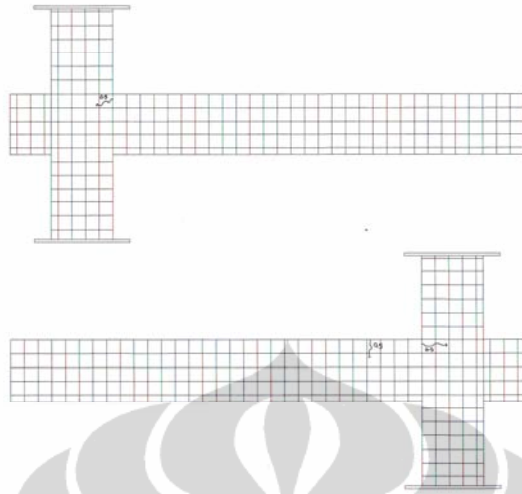


Gambar 4.69 Pola Retak M-3.2 Sesudah diperkuat : $P=1,98$ kN

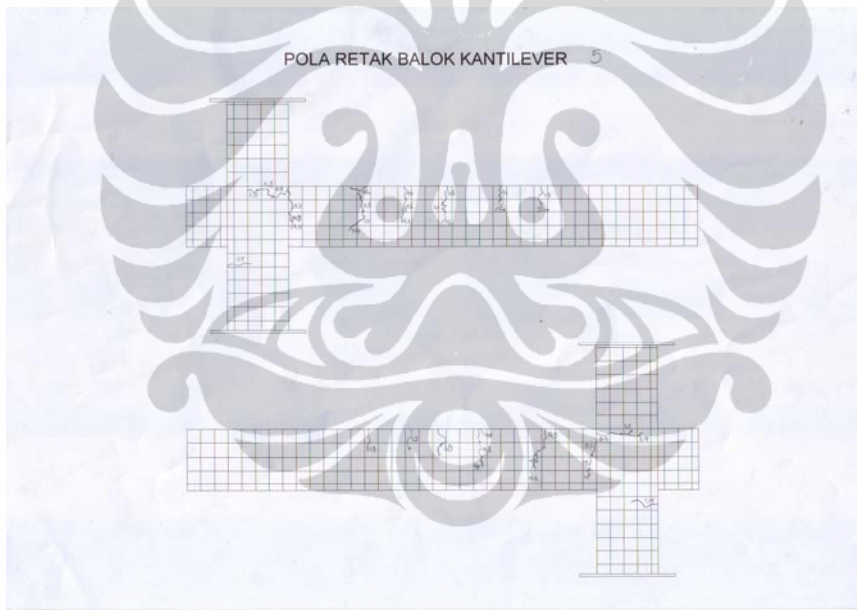
Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,5 kN yaitu pada siklus ke-4, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-3.2 keretakan dimulai pada siklus ke-1 pada beban 0,2 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-2 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.

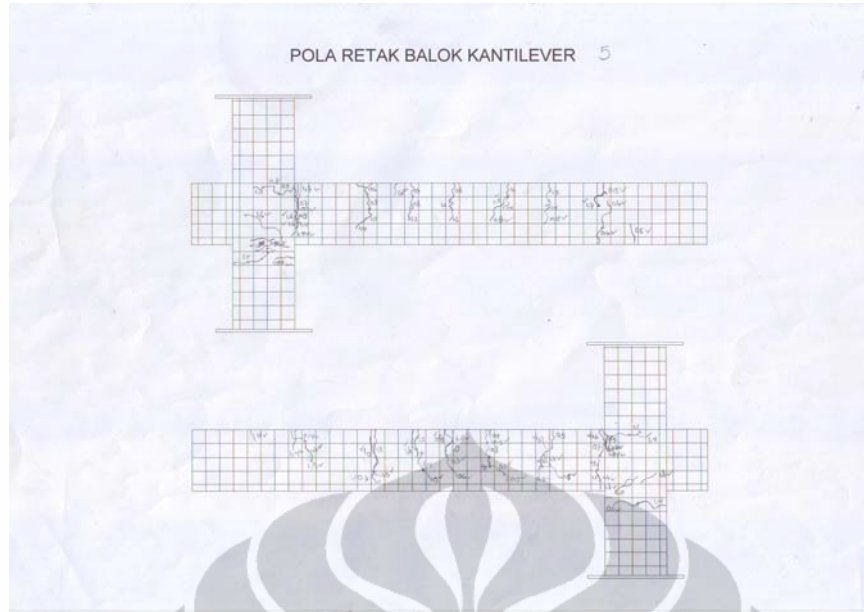
POLA RETAK BALOK KANTILEVER 5



Gambar 4.70 Pola Retak M-3.3 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN



Gambar 4.71 Pola Retak M-3.3 Sesudah diperkuat : $P=0,2$ kN



Gambar 4.72 Pola Retak M-3.3 Sesudah diperkuat : $P=2,0$ kN

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa pola retak yang terjadi dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis keruntuhan yang terjadi pada Model balok kantilever. Apabila kita perhatikan gambar pola retak di atas, dapat disimpulkan bahwa baik pada Model balok kantilever maupun perbaikan Model-1, -2 dan -3, mengalami tipe keruntuhan yaitu lentur saja. Pada Balok Kantilever, keretakan dimulai ketika beban mencapai nilai 0,5 kN yaitu pada siklus ke-4, yang menjalar ke bagian bawah Model seiring dengan bertambahnya beban-beban yang diberikan. Sedangkan pada Model-1, 2 dan 3 keretakan dimulai pada siklus ke-1 pada beban 0,2 kN pada daerah di luar daerah yang dipasang CFRP sebagai perkuatan. Hal ini berarti pada Model-1, -2 dan -3 lebih cepat mengalami keretakan tetapi pada daerah yang tidak dipasang CFRP.

Dapat dilihat pola retak yang terjadi hanya pada bagian lentur. Disini dapat dianalisa bahwa CFRP yang dipasang pada bagian atas balok dekat pertemuan kolom dan balok dapat menahan lentur yang terjadi. Dan *crack* banyak terjadi pada bagian atas balok yang tidak terpasang CFRP, hal itu dikarenakan gaya lentur yang terjadi pada bagian tersebut tidak ada yang menahan.

Pada Model-1, retak yang terjadi paling kecil dibanding Model-2, dan pada Model-3 paling besar. Hal ini disebabkan oleh karena tulangan perkuatan tarik Model-1 lebih sedikit untuk menahan beban tarik yang terjadi sehingga balok cepat mengalami keruntuhan. Sedangkan pada Model-2 dan terutama Model-3,

penambahan perkuatan masih mampu melawan beban yang lebih besar sehingga beton lebih banyak mengalami keretakan untuk mengimbangi tarik yang terjadi.

