

## PERBANDINGAN ENERGI PADA PERCOBAAN BETON BERTULANG AKIBAT PEMBEBANAN SIKLIK DAN MONOTONIK

Raja Marpaung <sup>1)</sup>  
Suhadi <sup>2)</sup>  
Lina Flaviana Tilik <sup>3)</sup>

### ABSTRAK

Dalam perencanaan struktur disyaratkan bahwa struktur harus berperilaku baik sehingga struktur tersebut tidak mengalami kerusakan, baik kerusakan struktural maupun kerusakan non struktural. pada saat beban maksimum terjadi. Salah satu ragam perilaku struktur beton yang harus dipahami adalah perilaku struktur pada saat pembebanan yang bersifat monotonik maupun siklik seperti pada saat gempa menimpa struktur tersebut. Dengan pemahaman perilaku struktur terhadap ragam pembebanan yang terjadi akan memberi jaminan terhadap kekuatan struktur yang didesain tersebut.

Dalam percobaan spesimen ini pemodelan struktur dibuat dalam bentuk sedemikian rupa hingga mendekati yang sebenarnya di lapangan. Sedangkan pembebananan spesimen dilakukan dengan sistem pembebanan siklik dan monotonik. Pembebanan ini dilakukan pada spesimen secara terus menerus sampai spesimen mencapai keruntuhannya hingga dapat diketahui besarnya disipasi energi untuk berbagai kondisi.

Dari hasil percobaan ini terlihat energi kumulatif yang terdisipasi pada pembebanan siklik jauh lebih besar dari pada energi kumulatif yang terdisipasi pada pembebanan monotonik. Sedangkan pada kondisi leleh perbedaan energi pada percobaan siklik dan monotonik relatif kecil, hal ini disebabkan oleh pola pembebanan yang diberikan pada spesimen dan perbedaan defleksi leleh yang dicapai spesimen. Pada kondisi ultimate dan failure perbedaan energi pada percobaan siklik dan monotonik relatif kecil, hal ini disebabkan pada pembebanan siklik selalu mengalami pengulangan yang menguntungkan spesimen

**Kata Kunci : Siklik, Monotonik, Pembebanan, Disipasi Energi, Pemodelan**

### PENDAHULUAN.

Sebagian besar wilayah di Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa. Hal ini dapat dilihat dari kejadian-kejadian gempa yang melanda beberapa daerah di Indonesia dan menyebabkan kerusakan sarana dan prasarana di daerah yang terkena dampak bencana tersebut. Kondisi ini mendorong para ahli struktur untuk lebih memahami perilaku-perilaku struktur dalam mendesain sistem struktur tahan gempa, khususnya yang dibangun di wilayah dengan risiko gempa yang tinggi.

Salah satu upaya yang dilakukan adalah berupa pengujian-pengujian di laboratorium dengan simulasi beban yang mendekati kenyataan untuk mengetahui perilaku struktur serta melakukan kajian-kajian struktur sehingga pada saat gempa terjadi bangunan dapat bertahan dan melindungi penghuninya dari resiko bahaya gempa.

Untuk itu, perlu diketahui dengan baik mekanisme kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur akibat beban-beban yang terjadi. Perilaku struktur ini sangat dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur, seperti misalnya pembebanan yang ditimbulkan oleh gempa (siklik), kekuatan dan mekanisme keruntuhan struktur berbeda dengan mekanisme

keruntuhan yang ditimbulkan oleh beban gravitasi (monotonik).

Dari uraian di atas, perilaku struktur beton tersebut sangat kompleks, yaitu mencakup kekuatan struktur yang menyebabkan runtuhnya struktur tersebut. Salah satu perilaku struktur yang penting untuk diketahui yaitu kemampuan struktur untuk meredam energi yang disebabkan beban yang dapat menyebabkan keruntuhan struktur beton tersebut.

Beton merupakan material komposit yang terbuat dari agregat halus dan kasar yang saling terikat secara kimiawi oleh produk hidrasi semen portland.

Beton mempunyai kuat tekan yang besar sementara kuat tariknya kecil. Oleh karena itu untuk struktur bangunan, beton selalu dikombinasikan dengan tulangan baja untuk memperoleh kinerja yang tinggi. Kuat tekan beton didapat melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Penggunaan beton sangat luas karena beton mempunyai keunggulan seperti dari segi pelaksanaan beton dapat dibuat dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk-bentuk khusus 3 dimensi.

**Disipasi Energi Struktur**

Salah satu bentuk energi yang dapat dimiliki oleh sebuah benda adalah energi yang berhubungan dengan gerak. Energi dapat didefinisikan sebagai usaha yang dilakukan oleh gaya untuk memindahkan suatu benda dalam jarak tertentu.

$$W = F \times S$$

dimana :

- W = Energi
- F = Gaya (KN)
- S = Jarak perpindahan (mm)

Konsep energi di atas dapat juga diterapkan pada konstruksi beton yang dibebani dengan beban terpusat. Gaya P mengakibatkan struktur berdeformasi sebesar  $\delta$ . Energi yang terjadi akibat gaya tersebut sama dengan gaya kali defleksi yang terjadi ( $W = P \times \delta$ ) dan energi ini disebut sebagai energi regangan. Selama proses struktur mengalami deformasi dari awal sampai mencapai defleksi maksimum, struktur tersebut akan mengalami perlawanan untuk mempertahankan bentuk (prinsip pegas) disebut energi kinetik struktur. Sesuai dengan hukum kekekalan energi, jumlah energi regangan dan energi kinetik selalu konstan yang disebut sebagai energi potensial struktur.

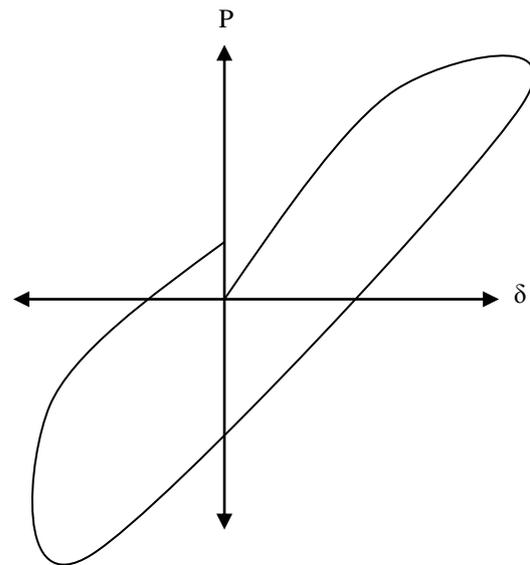
Persamaan keseimbangan energi dalam struktur akibat gempa dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$E = W_e + W_h + W_p$$

dimana :

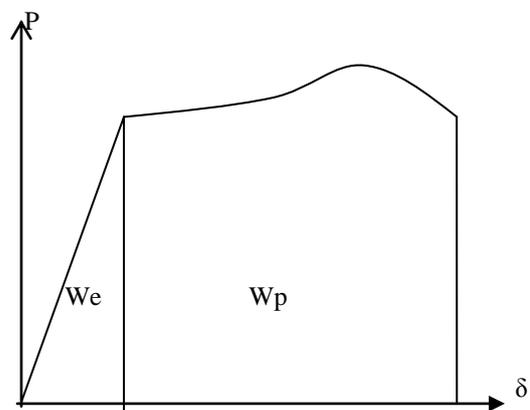
- E = energi total akibat gempa terhadap struktur
- $W_e$  = energi elastik, yaitu jumlah energi kinetik dan energi elastik
- $W_h$  = energi yang diserap oleh sistem redaman
- $W_p$  = energi regangan plastik kumulatif

Pada struktur yang dibebani dengan beban siklik, energi yang diserap dalam satu siklus pembebanan adalah jumlah dari energi yang diserap pada saat struktur menerima beban tekan dan energi yang diserap pada saat menerima beban tarik sehingga total energi yang terdisipasi selama pembebanan siklik berlangsung merupakan luas daerah dalam loop kurva beban – defleksi seperti terlihat pada gambar 1



Gambar1. Kurva Beban – Deformasi pembebanan Siklik (satu siklus)

Pada struktur dengan pembebanan monotonik sampai mencapai kehancurannya, energi yang diserap oleh struktur adalah energi regangan elastik ( $W_e$ ) dan energi regangan inelastik ( $W_p$ ) sehingga total energi yang dapat diserap oleh struktur adalah jumlah energi regangan elastik dan energi regangan inelastik yang ditunjukkan sebagai luas daerah di bawah kurva beban-deformasi seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini



Gambar2. Kurva Beban - Deformasi pembebanan Monotonik

Pada tulisan ini kurva beban – deformasi pada percobaan dengan pembebanan monotonik, mengacu pada tulisan yang saya lakukan pada Jurnal Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya, “Pilar volume 8, maret 2013 halaman 22-30.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Kajian eksperimental ini dilakukan dengan pembebanan monotonik. Data hasil pengujian spesimen dengan pembebanan monotonik diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa ITB Bandung. Pada percobaan spesimen dengan pembebanan siklik dan monotonik adalah pembebanan yang dilakukan pada spesimen secara terus menerus sampai spesimen mencapai keruntuhan. Dari hasil percobaan ini didapat data beban dan defleksi pada setiap perilaku spesimen.

Dalam percobaan ini beton dirancang menggunakan mutu beton  $f'c = 35$  Mpa dan mutu baja tulangan  $f_y = 400$  Mpa. Percobaan ini dilakukan terhadap beberapa benda uji balok bertulang dengan spesifikasi sama.

**Pemodelan Struktur**

Struktur dimodelkan sebagai balok kantilever dengan tumpuan jepit dan diberi gaya terpusat di ujungnya. Dengan pemodelan seperti ini, maka balok dapat berdefleksi secara maksimal di ujung bebannya akibat beban terpusat. Pemodelan ini juga merupakan pendekatan di lapangan.

**Pembuatan Pemodelan**

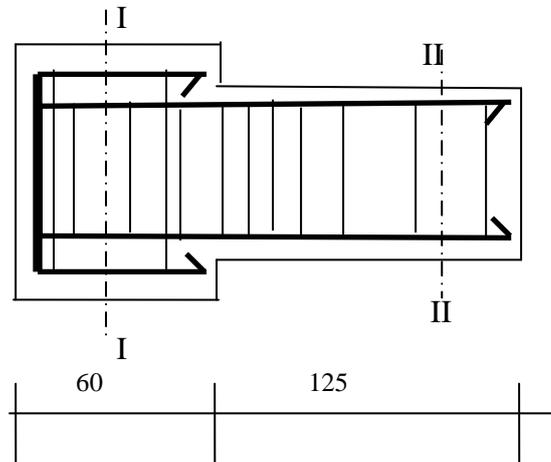
Dalam pembuatan pemodelan ini struktur tumpuan dibuat dari pelat-pelat baja tersusun membentuk profil IWF yang dijangkarkan pada strong-floor. Seluruh profil disatukan dengan menggunakan las listrik, sedangkan pelat alas dengan strong-floor dihubungkan dengan menggunakan 9 buah baut mutu tinggi diameter 25,4 mm.

Struktur tumpuan ini di desain untuk menahan beban tekan dan momen yang terjadi akibat beban yang diterima balok spesimen. Struktur penahan atas digunakan untuk menjepit bagian kolom dari spesimen. Pengikat antara struktur tumpuan IWF di sebelah bawah dengan struktur baja penahan sebelah atas, digunakan sebanyak 4 buah as baja berdiameter 25,4 mm dengan panjang masing-masing 1500 mm dan diulir pada kedua ujungnya. Strain gauge dipasang pada as baja ini untuk melihat regangan yang terjadi selama proses penjepitan spesimen sebelum percobaan dimulai.

**Desain Spesimen**

Spesimen balok beton bertulang yang digunakan mempunyai bentuk persegi panjang dengan dimensi 150 mm x 300 mm dan panjang total 1250 mm. Pada percobaan ini panjang total yang menjadi perhitungan adalah 110 mm, sedangkan sisa balok sepanjang 150 mm dipakai untuk mencegah hancurnya ujung balok akibat bebanyang digunakan. Dimensi balok ditentukan dengan pertimbangan agar pengaruh geser yang

terjadi tidak terlalu besar, sehingga kehancuran balok tidak disebabkan oleh kehancuran geser tetapi didominasi oleh kehancuran lentur. Spesifikasi lengkap dari spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Balok Spesimen Benda Uji

**HASIL PEMBAHASAN**

**1. Hasil Pengujian Beton**

Pengujian tekan terhadap benda uji beton silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm dilakukan sebelum pengecoran spesimen balok beton.

Kuat tekan benda beton masing-masing benda uji ditentukan sebagai berikut :

$$f'c = P/A$$

dimana :

$f'c$  = kuat tekan beton (Mpa)

$P$  = Beban tekan (N)

$A$  = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Hasil yang didapat dari tes uji beton seperti pada table 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Beton Benda Uji

No.	Kuat Tekan $f'c$ (Mpa)
1	27,22
2	32,49
3	32,88
Rata-rata : $f'c = 30,86$ MPa	

**2. Hasil Pengujian Tarik Tulangan**

Hasil pengujian baja tulangan berdasarkan uji tarik adalah seperti pada table 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Uji Tari Tulangan

	Tes 1	Tes 2	Tes 3
Berat	0,75 kg	0,75 kg	0,75 kg
Diameter	505 mm	507 mm	503 mm
Beban leleh	98 KN	97,25 Kn	97,825 KN
Regangan leleh	2584,78 $\mu$	2555,13 $\mu$	2586,82 $\mu$
Beban Ultimate	134,286 KN	131,429 Kn	132,857 KN
<b>Rata-rata Tegangan leleh : 515,12 Mpa</b>			
<b>Rata-rata regangan leleh : 2575,58 <math>\mu</math></b>			

**3. Hasil Percobaan dengan Pembebanan Siklik**

Data hasil percobaan yang dilakukan pada 3 spesimen pembebanan siklik, kemudian dibuat dalam bentuk grafik beban – defleksi seperti terlihat pada gambar 4, gambar 5 dan gambar 6.

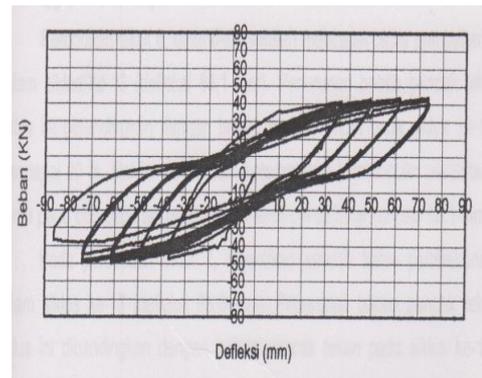
Beban leleh ( $P_y$ ) dan defleksi leleh ( $\delta_y$ ) spesimen pada percobaan ini didapat pada saat percobaan dilakukan, yaitu pada saat regangan baja tarik (pada posisi strain  $A_1$ ) memberikan harga sebesar  $\epsilon_1 = f_y/E_a = 0.0025756$ .

Daktiflitas pengamatan dalam percobaan ini yang dimaksud adalah perbandingan antara defleksi maksimum yang diberikan pada setiap siklus dengan defleksi leleh, dalam percobaan ini diambil 2, 3, 4, 5, 6, 7 kali defleksi leleh.

Beban ultimate diperoleh dari beban puncak tekan yang paling besar dari seluruh siklus pembebanan. Dari hasil percobaan siklik gambar 4, gambar 5 dan gambar 6, besar beban leleh ( $P_y$ ), beban batas ( $P_u$ ), defleksi leleh ( $\delta_y$ ) dan defleksi ultimate ( $\delta_u$ ), beban puncak pada setiap arah, dan grafik beban – defleksi dapat dilihat pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Beban dan Defleksi Hasil Percobaan Siklik

	P (KN)		$\delta$ (mm)	
	$P_y$	$P_u$	$\delta_y$	$\delta_u$
Uji 1	40,4	51,6	13,32	66,1
Uji 2	36,23	49,63	12,3	61,5
Uji 3	41,2	53,83	15,6	62,4

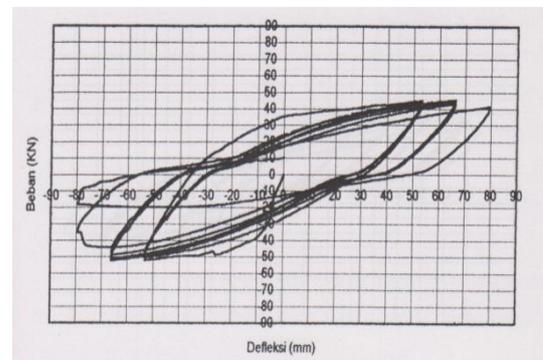


Gambar 4 . Grafik Beban – Defleksi Percobaan Siklik 1

Beban puncak pada percobaan 1 diperoleh dari gambar 4 pada setiap siklus seperti terlihat pada table 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Beban Puncak Pada Percobaan 1

Siklus	Daerah Pengamatan	Defleksi leleh	Beban Puncak (KN)	
			Tekan	Tarik
1	-53,28 mm	4 $\delta_y$	51,89	45,13
2	s.d		50,45	44,04
3	53.28 mm		49,6	43,49
4	-66,1 mm	5 $\delta_y$	51,96	45,53
5	s.d		50,91	44,58
6	66.1 mm		45,35	43,38
7	-79,32 mm	6 $\delta_y$	34,57	41,31
8	79.32 mm		17,99	-



Gambar 5 . Grafik Beban – Defleksi Percobaan Siklik 2

Beban puncak pada percobaan 2 diperoleh dari gambar 5 pada setiap siklus seperti terlihat pada table 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Beban Puncak Pada Percobaan 2

Siklus	Daerah Pengamatan	Defleksi leleh	Beban Puncak (KN)	
			Tekan	Tarik
1 2 3	-36,9 mm s.d 36.9 mm	3 $\delta_y$	47,09 44,58 44,04	41,31 40,15 39,71
4 5 6	-49,2 mm s.d 49.2 mm	4 $\delta_y$	48,4 47,26 46,75	43,24 41,68 41,13
7 8 9	-61,5 mm s.d 61.5 mm	5 $\delta_y$	49,63 48,54 47,93	43,38 42,48 41,79
10 11 12	-73,8 mm s.d 73.8 mm	6 $\delta_y$	49,53 48,25 45,09	43,53 42,22 40,01
13 14	-86,1 mm s.d 86.1 mm	7 $\delta_y$	36,88 -	- -

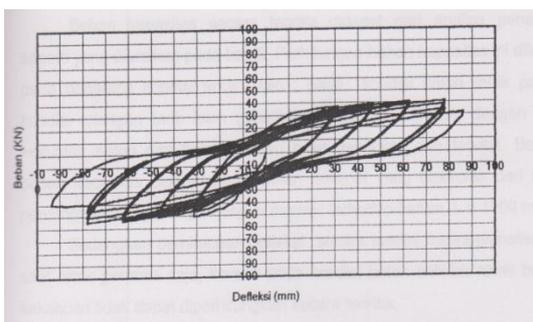
Beban puncak pada percobaan 3 diperoleh dari gambar 6 pada setiap siklus seperti terlihat pada table 6 sebagai berikut :

Tabel 6. Beban Puncak Pada Percobaan 3

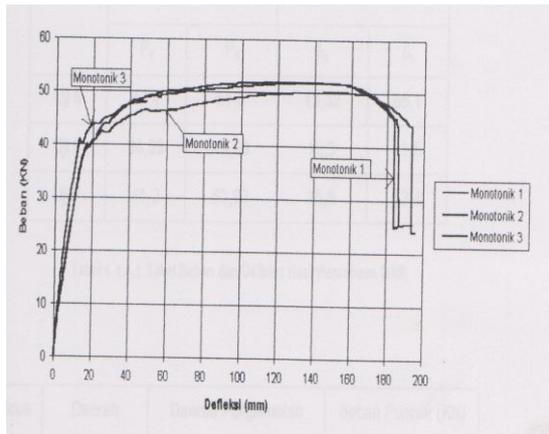
Siklus	Daerah Pengamatan	Defleksi leleh	Beban Puncak (KN)	
			Tekan	Tarik
1 2 3	-31,2 mm s.d 31,2 mm	2 $\delta_y$	50,71 42,67 45,93	35,90 35,39 35,32
4 5 6	-46,8 mm s.d 46.8 mm	3 $\delta_y$	50,91 50,11 49,37	38,98 38,22 37,89
7 8 9	-62,4 mm s.d 62.4 mm	4 $\delta_y$	53,83 53,03 52,09	40,66 39,86 38,84
10 11 12	-78 mm s.d 78 mm	5 $\delta_y$	54,5 50,94 45,82	40,99 38,62 34,66
13 14	-93,6 mm s.d 93,6 mm	6 $\delta_y$	40,22 -	31,83 -

**4. Hasil Percobaan dengan Pembebanan Monotonik**

Data hasil percobaan yang dilakukan pada pembebanan monotonik, kemudian dibuat dalam bentuk grafik beban-defleksi seperti terlihat pada gambar 7 di bawah ini. Beban kapasitas pada saat retak pertama (Pr), saat leleh (Py), saat ultimate (Pu) dan saat putus (Pf) dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini. Sedangkan defleksi saat retak pertama ( $\delta_r$ ), saat leleh ( $\delta_y$ ), saat ultimate ( $\delta_u$ ), dan defleksi pada saat putus ( $\delta_f$ ), dapat dilihat pada tabel 8.



Gambar 6 . Grafik Beban – Defleksi Percobaan Siklik 3



Gambar 7. Grafik Beban – Defleksi Percobaan Monotonik

Tabel 7. Beban Hasil Percobaan Monotonik

Spesimen	Beban Retak KN	Beban Leleh KN	Beban Ultimate KN	Beban Failure KN	Beban Putus Tulangan KN
1	7,09	39,50	52,11	45,00	25,5
2	6,65	39,00	50,18	43,83	25,6
3	8,85	40,90	51,85	44,00	24,0
Rata-rata	7,53	39,80	51,38	44,28	25,0

Tabel 8. Defleksi Hasil Percobaan Monotonik

Spesimen	Defleksi Retak Mm	Defleksi Leleh Mm	Defleksi Ultimate Mm	Defleksi Failure Mm	Defleksi Putus Tulangan mm
1	1,88	15,70	132,5	183,8	193,82
2	1,48	15,30	153,3	193,6	186,90
3	1,71	15,90	146,3	185,8	196,40
Rata-rata	1,68	15,63	144,0	187,7	192,04

**5. Hasil Perhitungan Energi Percobaan Siklik**

Perhitungan energi yang terdissipasi dilakukan pada setiap siklus pergerakan spesimen dimulai dari beban nol menuju defleksi batas tekan, kemudian menuju defleksi batas tarik dan kembali menuju defleksi nol lagi (posisi awal). Dengan demikian energi per siklus adalah luas kurva dalam satu siklus. Energi kumulatif per siklus dihitung sebagai jumlah energi yang didissipasi spesimen dari awal siklus pembebanan hingga

siklus tersebut. Energi kumulatif pada setiap percobaan 1, percobaan 2, dan percobaan 3 dapat dilihat pada tabel 9, tabel 10 dan tabel 11 sebagai berikut :

Tabel 9. Energi Kumulatif Per Siklus Percobaan 1

Siklus	Daerah Pengamatan	Daktilitas Perpindahan ( $\mu$ )	Energi (KNmm)	
			Energi	Kumulatif
1	-53,28 mm s.d 53,28 mm	4	4801,5	4801,5
2			3761,6	8563,1
3			3389,1	11952,2
4	-66,1 mm s.d 66,1 mm	5	4823,9	16776,1
5			4487,7	21163,8
6			4158,7	25422,5
7	-79,32 mm s.d 79,32 mm	6	5201	30523,5
8			1636,2	32159,7

**Energi Leleh = 247 KNmm**

Tabel 10. Energi Kumulatif PerSiklus Percobaan 2

Siklus	Daerah Pengamatan	Daktilitas Perpindahan ( $\mu$ )	Energi (KNmm)	
			Energi	Kumulatif
1	-36,9 mm s.d 36,9 mm	3	2508,4	2508,4
2			1919,2	4427,6
3			1707,6	6135,2
4	-49,2 mm s.d 49,2 mm	4	2983,1	9118,3
5			2777,9	11896,2
6			2573,5	14469,7
7	-61,5 mm s.d 61,5 mm	5	4013,2	18482,9
8			3925,0	22207,9
9			3558,9	25766,8
10	-73,8 mm s.d 73,8 mm	6	4909,9	30676,7
11			4525,7	35202,4
12			4038,9	39241,3
13	-86,1 mm s.d 86,1 mm	7	2525,4	41766,7
14				

**Energi Leleh = 207,0 KNmm**

Tabel 11. Energi Kumulatif Per Siklus Percobaan 3

Siklus	Daerah Pengamatan	Daktilitas Perpindahan ( $\mu_d$ )	Energi (KNmm)	
			Energi	Kumulatif
1	-31,2 mm s.d 31,2 mm	2	1746,2	1746,2
2			1337,0	3083,2
3			1108,1	4191,3
4	-46,8 mm s.d 46,8 mm	3	2718,5	6909,8
5			2498,7	9408,5
6			2305,5	11714,0
7	-62,4 mm s.d 62,4 mm	4	4035,9	15749,9
8			3901,4	19651,2
9			3470,2	23121,4
10	-78 mm s.d 78 mm	5	5279,4	28400,8
11			4829,8	33230,6
12			4211,0	37441,6
13	-93,6 mm s.d 93,6 mm	6	4582,7	42024,3
14				

Energi Leleh = 301 KNmm

**6. Hasil Perhitungan Energi Percobaan Monotonik**

Energi yang terdisipasi oleh spesimen percobaan monotonik didapatkan dengan menggunakan metode interpolasi *cubic spline*.

Hasil perhitungan energi regangan kumulatif yang terdisipasi pada percobaan monotonik pada kondisi leleh, kondisi ultimate dan kondisi *failure* pada setiap percobaan dapat dilihat pada table 12, table 13 dan table 14 sebagai berikut :

Tabel 12. Energi Pada Kondisi Leleh

No.	Leleh		
	$\delta y$	My	Energi
Uji 1	15,7	1,0	345,38
Uji 2	15,3	1,0	334,99
Uji 3	15,9	1,0	425,63
Rata-rata	368,67 KNmm		

Tabel 13. Energi Pada Kondisi Ultimate

No.	Leleh		
	$\delta y$	My	Energi
Uji 1	132,56	8,44	6125,00
Uji 2	153,30	9,20	6528,00
Uji 3	146,34	10,02	7256,00
Rata-rata	6636,33 KNmm		

Tabel 14. Energi Pada Kondisi Failure

No.	Leleh		
	$\delta y$	My	Energi
Uji 1	183,88	11,71	8714,00
Uji 2	193,60	12,65	8828,00
Uji 3	180,82	11,69	8838,00
Rata-rata	8793,33 KNmm		

**7. Analisa Hasil Percobaan**

Perbandingan Energi Kumulatif yang didapat pada percobaan siklik dan monotonik ditunjukkan pada tabel 15 di bawah ini :

Tabel 15. Energi Kumulatif Percobaan Siklik dan Monotonik

	Percobaan Siklik			Percobaan Monotonik
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	
Energi Kumulatif	32259,7	41766,7	42024,3	8793,3

Dari hasil percobaan terlihat bahwa energi kumulatif yang didisipasi oleh spesimen percobaan monotonik hingga mencapai kehancurannya jauh lebih kecil dari energi kumulatif yang dicapai oleh spesimen dengan pembebanan siklik.

Pada pembebanan siklik energi kumulatif yang dapat diserap oleh spesimen yang diberi beban awal dan memberikan defleksi lebih besar, memberikan angka penyerapan energi yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen yang dibebani awal dengan beban yang memberikan defleksi yang lebih kecil. Disini terlihat bahwa beban awal semakin besar dalam arti memberikan defleksi dalam kelipatan defleksi leleh yang lebih besar akan mengakibatkan degradasi kekuatan spesimen yang besar dan menimbulkan penurunan energi yang besar pula, sedangkan untuk pembebanan monotonik energi kumulatif hanya memberikan harga sebesar 8793,33 KNmm.

Disini jelas sekali bahwa dengan beban monotonik yang bekerja secara terus menerus akan menimbulkan degradasi kekuatan spesimen

yang sangat besar dan menimbulkan penurunan energi yang sangat tinggi, karena tidak ada kesempatan spesiman untuk memberikan perlawanan akibat pembebanan. Perbandingan energi pada setiap kondisi dan jenis pembebanan dapat dilihat seperti table 16 sebagai berikut :

Tabel 16. Energi pada setiap Kondisi Siklik dan Monotonik

Jenis Pembebanan	Energi leleh (KNmm)	Energi Ultimate (KNmm)	Energi Failure (KNmm)
Monotonik	268,67	6636,33	8793,33
Siklik 1	247,0	16776,1	32159,7
Siklik 2	207,0	18482,9	41766,7
Siklik 3	301,0	28400,8	42024,3

Dari tabel 16 di atas dapat diamati bahwa pada kondisi leleh, energi akibat pembebanan siklik dan monotonik perbedaannya relatif kecil. Perbedaan ini disebabkan oleh pola yang diberikan pada spesimen dan perbedaan defleksi leleh yang dicapai spesimen.

Pada kondisi ultimate dan failure terlihat bahwa disipasi energi spesimen pada pembebanan monotonik relatif kecil dibandingkan disipasi energi yang dicapai spesimen pada pembebanan siklik, sedangkan disipasi energi pada percobaan 1 lebih kecil dari percobaan 2 dan 3. Dan disipasi energi yang dicapai pada percobaan 2 lebih kecil dari percobaan 3. Hal ini disebabkan pada pembebanan siklik selalu mengalami pengulangan yang menguntungkan bagi spesimen guna memberikan perlawanan terhadap pembebanan sewaktu perubahan beban pada setiap siklus.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**KESIMPULAN**

Berdasarkan pengamatan selama percobaan dan dari analisa data yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan energi yang terdisipasi dengan pola pembebanan spesimen yang dibebani secara siklik dan monotonik, sebagai berikut:

1. Energi yang terdisipasi pada percobaan siklik lebih besar dari pada energi pada yang terdisipasi oleh percobaan monotonik

2. Pada kondisi leleh perbedaan energi pada percobaan siklik dan monotonik relatif kecil, hal ini disebabkan oleh pola pembebanan yang diberikan pada spesimen dan perbedaan defleksi leleh yang dicapai spesimen.

3. Pada kondisi ultimate dan failure perbedaan energi pada percobaan siklik dan monotonik relatif kecil, hal ini disebabkan pada pembebanan siklik selalu mengalami pengulangan yang menguntungkan spesimen.

**SARAN**

Untuk penelitian lebih lanjut spesimen sebaiknya ditinjau terhadap kerusakan-kerusakan yang lain yang menyebabkan keruntuhan balok seperti geser.

**DAFTAR PUSTAKA**

Jurnal Teknik Sipil, Maret 2013, “Pilar”, Volume 8, Politeknik Negeri Sriwijaya  
 Park, R., and Paulay, T., 1975, “*Reinforced Concrete Structures*”, John Wiley & Sons.  
 Paul Nugraha, Antoni., 2007, “Teknologi Beton”, Penerbit Andi  
 Phil M. Fergunson., “*Reinforced Concrete Fundamentals*”, Fourt Edition, New York Chichester Brisbane Toronto  
 Winter, G & Nilson, Arthur H., 1983 “*Perencanaan Struktur Beton Bertulang*”, Cetakan Pertama, Pradnya Paramita. PT.

**RIWAYAT PENULIS**

Drs. Raja Marpaung, S.T., M.T., adalah staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya

Drs. Suhadi, S.T., M.T., adalah staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya

Lina Flaviana Tilik, S.T., M.T., adalah staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya