

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Lentur Balok

Mac. Gregor (1997) mengatakan tegangan lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Apabila kekuatan tarik beton telah terlampaui, maka beton mengalami retak rambut. Beton tidak dapat meneruskan gaya tarik pada daerah retak, sehingga seluruh gaya tarik yang timbul ditahan oleh baja tulangan. kondisi ini menunjukkan, distribusi tegangan beton tekan masih dianggap sebanding dengan nilai regangannya. Teori lentur untuk beton bertulang didasarkan pada tiga anggapan, yang cukup mengizinkan untuk suatu perhitungan momen dari suatu balok. Tiga anggapan dasar teori lentur balok beton. Bagian tegak lurus pada sumbu lentur adalah bidang sebelum membengkokkan bidang sisa setelah lenturan, regangan di dalam tulangan sebanding dengan regangan di dalam beton ditingkatan yang sama atau sebatas beban sedang dan tegangan di dalam beton dan tulangan dapat dihitung dari tegangan menggunakan kurva tegangan-regangan untuk beton dan baja.

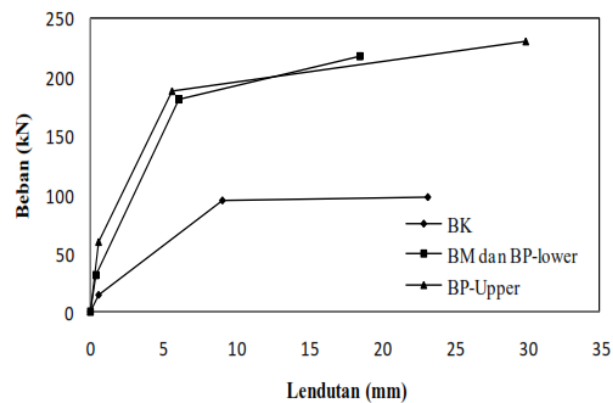
B. Pengujian Menggunakan Program *Response-2000*

Chairunnisa (2009) meneliti tentang penambahan tulangan longitudinal tarik dan tekan dengan selimut mortar mutu tinggi hasil penelitian Wancik pada tahun 2008. Benda uji terdiri dari 3 tipe yaitu balok kontrol, balok monolit dan balok perkuatan. Balok Kontrol dengan ukuran 150 x 250 mm, balok monolit dengan ukuran 190 x 330 mm sedangkan balok perkuatan adalah balok kontrol yang diperkuat dengan satu buah tulangan tekan dengan diameter 13 dan dua buah tulangan tarik dengan diameter yang sama dengan menggunakan selimut mortar mutu tinggi. Panjang bentang semua benda uji adalah 2500 mm. Tulangan tarik dicor terpisah dengan perlakuan berupa

bonding agent. Perhitungan analisis teoritis untuk balok perkuatan diasumsikan dengan *lower analyze* dan *upper analyze*. Hal ini dilakukan karena ada perbedaan mutu beton balok kontrol sebesar $f_c' = 28,514$ MPa dan mutu mortar sebagai selimut perkuatan sebesar $f_m' = 56,125$ MPa. Analisis untuk *lower analyze* digunakan mutu beton sebesar 28,514 Mpa dan pada analisis *upper analyze* digunakan mutu mortar 56,125 Mpa. Dari Tabel 2.1 terlihat bahwa balok monolit (BM) dan balok perkuatan *lower estimate* (BP) menunjukkan peningkatan beban maksimum sebesar 123,21 % terhadap balok kontrol (BK) dan balok perkuatan *upper estimate* (BP_{upper}) mengalami peningkatan beban maksimum sebesar 136,14 % terhadap balok kontrol (BK). Hubungan beban lendutan hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Hasil analisis program *Response-2000* pada Tabel 2.2 diperoleh besarnya kenaikan beban dari balok monolit (BM) dan balok perkuatan *lower estimate* sebesar 115,72 % terhadap balok kontrol (BK) dan perkuatan *upper estimate* meningkat sebesar 132,38 % terhadap balok kontrol (BK). Hubungan beban lendutan hasil perhitungan program *Response-2000* dilihat pada Gambar 2.2. Hasil penelitian menyebutkan bahwa kekuatan lentur untuk balok perkuatan meningkat, tetapi peningkatan ini tidak linier karena terjadi pelepasan selimut mortar (*debonding*). Tabel 2.3 menunjukkan perkuatan *upper estimate* (BP_{upper}) memiliki nilai kurvatur tertinggi dengan nilai 63,718 rad/m, dan yang terendah adalah balok monolit (BM) dengan nilai kurvatur 47,824 rad/m. Hubungan momen dan kurvatur bisa dilihat pada Gambar 2.3. Sejalan dengan hasil penelitian tersebut dipandang perlu untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang perkuatan balok beton bertulang dengan membandingkan hasil eksperimen dengan Analisis *Software Response-2000*. *Software Response-2000* adalah suatu program yang menganalisis balok dan kolom dengan kombinasi beban aksial, momen dan geser berdasarkan *layer method*. Tujuan analisis dengan *Software Response-2000* dalam penelitian ini adalah untuk memperluas interpretasi hasil dari eksperimen yang telah dilakukan dan memvalidasi kekuatan *Software Response - 2000* dalam menganalisis suatu struktur.

Tabel 2.1 Hasil pengujian balok (Chairunnisa, 2009)

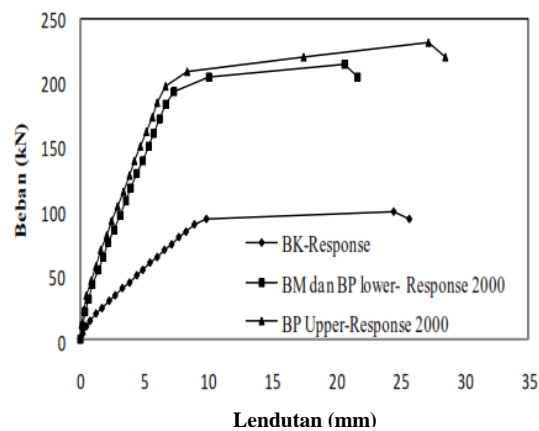
No	Benda Uji	Beban (kN)			Lendutan (mm)			Peningkatan P_{maks} (%)
		retak1	Leleh	Maks	retak1	Leleh	Maks	
1	BK	14,302	94,249	97,50	0,515	9,08	23,20	0
2	BM	31,377	180,56	217,63	0,384	6,09	18,50	123,21
3	BP _{lower}	31,377	180,56	217,63	0,384	6,09	18,50	123,21
4	BP _{upper}	58,85	188,83	230,24	0,534	5,61	29,93	136,14



Gambar 2.1 Hubungan beberapa lendutan rata-rata benda uji (Chairunnisa, 2009)

Tabel 2.2 Hasil analisis lentur balok uji (Chairunnisa, 2009)

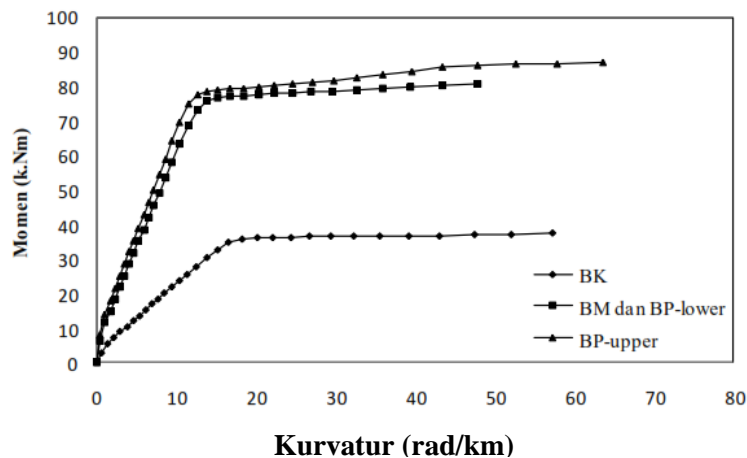
No	Benda Uji	Beban (kN)			Lendutan (mm)			Lebar retak (mm)			Peningkatan P_{maks} (%)
		retak1	Leleh	Maks	retak1	Leleh	Maks	retak1	leleh	maks	
1	BK	11,65	95,76	99,90	0,529	12,33	24,47	0,02	0,45	1,07	0
2	BM	24,34	192,69	215,53	0,399	7,26	20,65	0,03	0,63	1,21	115,72
3	BP _{lower}	24,34	192,69	215,53	0,399	7,26	20,65	0,03	0,63	1,21	115,72
4	BP _{upper}	34,95	199,86	232,15	0,490	7,00	27,15	0,04	0,63	1,75	132,38



Gambar 2.2 Hubungan beban lendutan rata-rata benda uji (Chairunnisa, 2009)

Tabel 2.3 Momen-kurvatur benda uji berdasarkan program *Response-2000* (Chairunnisa, 2009)

No	Benda uji	Momen (kNm)			Curvature (rad/km)		
		Retak 1	Leleh	Maks	Retak 1	Leleh	Maks
1	BK	4,37	35,91	37,46	0,905	17,710	57,388
2	BM	9,13	72,26	80,82	0,672	12,125	47,824
3	BP _{lower}	9,13	72,26	80,82	0,672	12,125	47,824
4	BP _{upper}	13,11	74,95	87,01	0,886	11,445	63,718



Gambar 2.3 Hubungan momen – kurvatur balok benda uji (Chairunnisa, 2009)

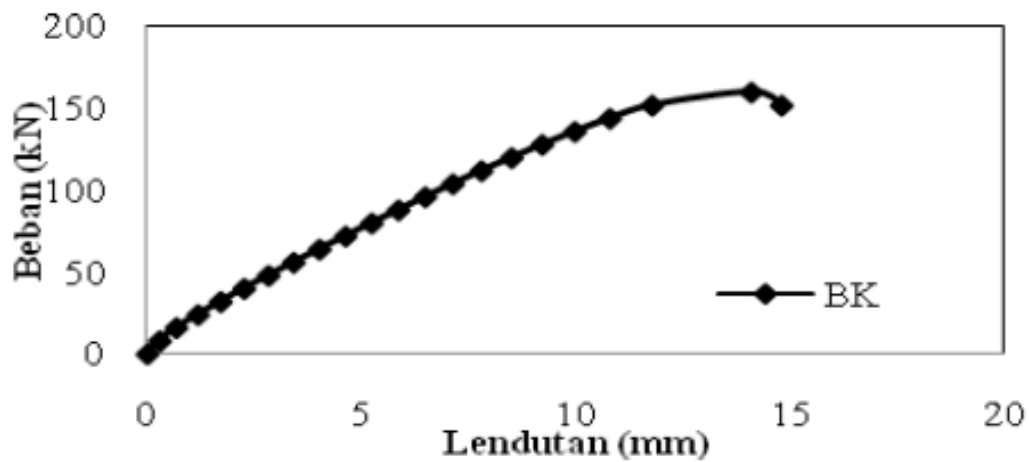
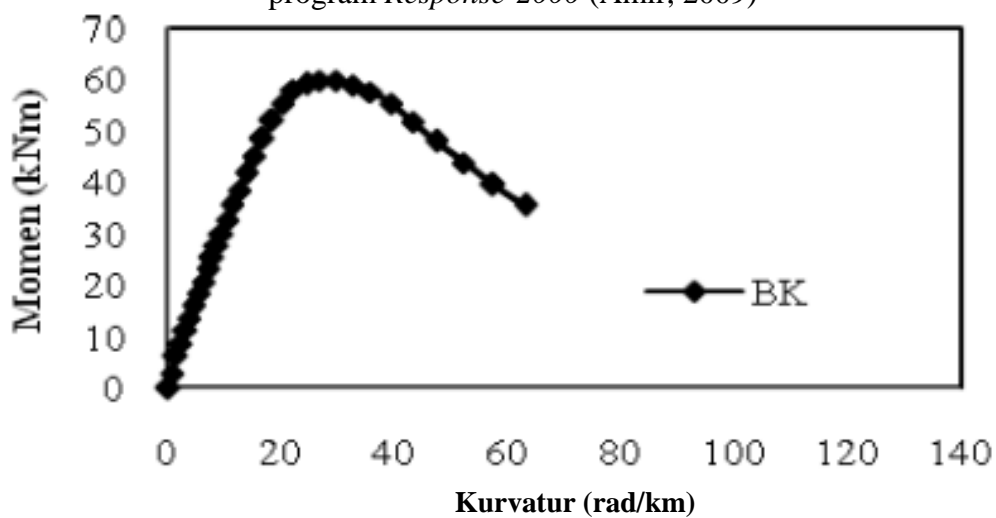
Amir (2009) melakukan penelitian pengujian lentur terhadap balok tampang persegi di laboratorium dan sebagai pembandingnya digunakan program *Response-2000*, kedua hasil pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa program *Response-2000* cukup akurat dalam menampilkan respon dari balok berupa prediksi respon beban-lendutan, gaya geser dan beban aksial dari balok beton bertulang yang diuji. Hubungan momen dan kelengkungan, serta hubungan momen dan regangan tulangan tarik dapat ditampilkan, sehingga dapat diketahui tingkat kekuatan dan daktilitas balok. Spesifikasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 2.4. Pengujian lentur terhadap balok tampang persegi di laboratorium dapat dilihat hasilnya pada Tabel 2.6 dan hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Gambar 2.6. Hasil uji laboratorium kemudian dibandingkan dengan analisis menggunakan program *Response-2000*. Hasil analisis menggunakan program *Response-2000* dapat dilihat pada Tabel 2.5. Hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan grafik hubungan momen dan kurvatur dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Tabel 2.4 Spesifikasi benda uji (Amir, 2009)

kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Tulangan pokok		Tulangan Sengkang
				Bawah	atas	
BK	2500	150	250	2D13	6D13	P8-40

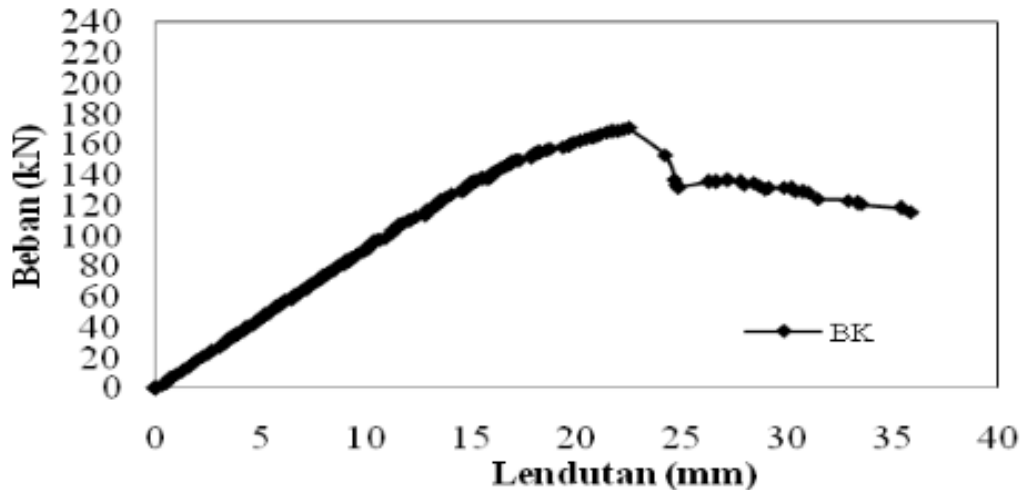
Tabel 2.5 Perhitungan teoritis uji berdasarkan program *Response-2000* (Amir, 2009)

No	Benda Uji	Kapabilitas Beban (kN)			Lendutan yang terjadi (mm)			Lebar retak (mm)		Peningkatan Pmaks (%)
		Retak I	Leleh	Maks	Retak I	Leleh	Maks	Retak I	Maks	
		1	BK	15,930	119,478	159,304	0,674	8,507	14,810	0,020

Gambar 2.4 Hubungan beban dan lendutan benda uji balok berdasarkan program *Response-2000* (Amir, 2009)Gambar 2.5 Hubungan momen dan kurvatur benda uji balok berdasarkan program *Response-2000* (Amir, 2009)

Tabel 2.6 Balok uji eksperimen di laboratorium (Amir, 2009)

No	Benda Uji	Kapasitas Beban (kN)		Lendutan yang terjadi (mm)		Lebar Retak (mm)		Peningkatan P_{maks} (%)
		Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	
1	BK	22,8	171,1	2,51	35,86	0,02	1,80	0

Gambar 2.6 Hubungan beban dan lendutan benda uji balok.
(Amir, 2009)

Hartono (2009) meneliti tentang perkuatan lentur dilakukan dengan menambahkan tulangan tarik dan komposit mortar menggunakan perekat *epoxy*. Penelitian menggunakan empat buah pelat beton bertulang yang terdiri dari satu buah pelat beton bertulang, yang terdiri dari satu buah pelat kontrol (PK), 1 buah plat monolit (PM) dan 2 buah pelat perkuatan yaitu pelat perkuatan tanpa *epoxy* (PPTE) dan menggunakan perekat *epoxy* (PPE). Dimensi benda uji untuk plat kontrol (PK) adalah lebar 700 mm, panjang 1000 mm dan tinggi 60 mm, sedangkan untuk pelat monolit (PM), pelat perkuatan dengan *epoxy* (PPE) dan tanpa *epoxy* (PPTE) adalah lebar 700 mm, panjang 1000 mm dan tinggi 100 mm, dibuat untuk mengetahui perbedaan perilaku yang terjadi dengan adanya peningkatan kekuatan. Spesifikasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 2.7. Benda uji yang ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi dan rol pada kedua ujungnya yang diberi beban statik ditengah bentang. Pendekatan secara numerik menggunakan program *Response-2000* dilakukan untuk memberikan perbandingan terhadap hasil penelitian. Parameter yang di ukur dalam pengujian

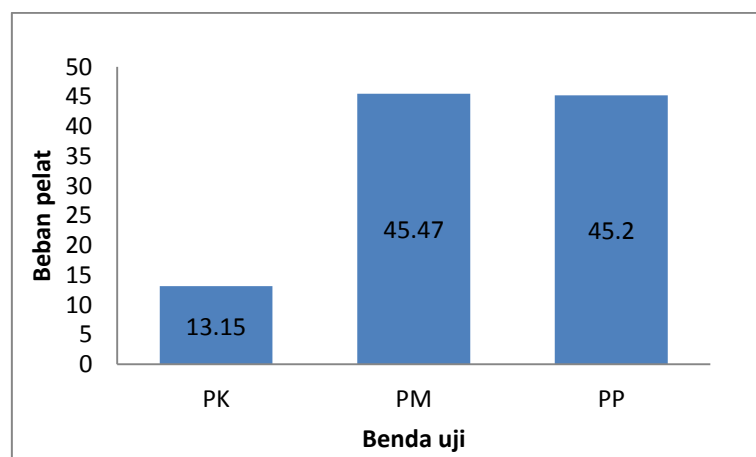
ini adalah beban, lendutan, regangan baja dan pola retak yang terjadi, hasil analisis teoritis kemudian dibandingkan dengan analisis menggunakan program *Response-2000*. Hasil analisis teoritis dapat dilihat pada Tabel 2.9 dan grafik peningkatan beban pelat benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.8. Hasil analisis menggunakan *Response-2000* dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan peningkatan beban pelat dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi benda uji (Hartono, 2009)

NO	Jenis pelat	Dimensi plat (mm)			Jumlah tulangan (buah)		
		Panjang	lebar	tebal	Utama p10	Susut p10	Perkuatan p10
1	PK	1500	700	600	5	7	-
2	PPE	1500	700	100	5	7	3
3	PSTE	1500	700	100	5	7	3
4	PM	1500	700	100	5	7	3

Tabel 2.8 Perhitungan teoritis kapasitas beban dan lendutan benda uji berdasarkan program *Response-2000* (Hartono, 2009)

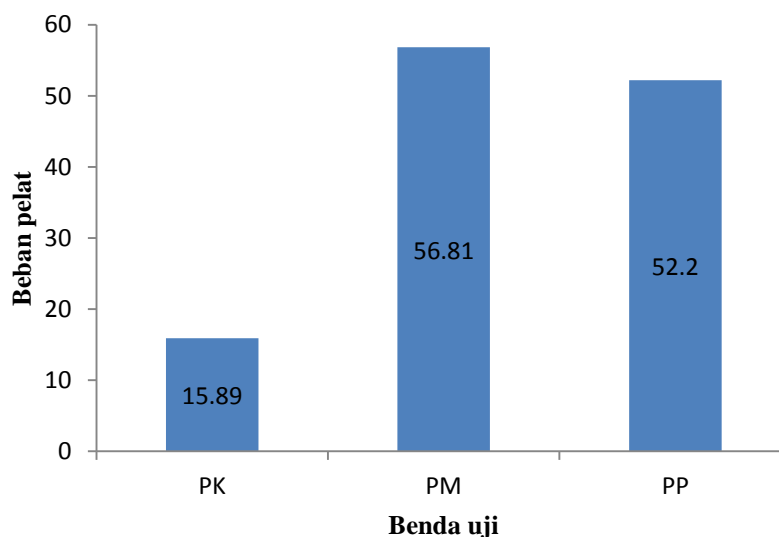
No	Benda Uji	Kapasitas beban (KN)			Lendutan yang terjadi (mm)			Lebar retak (mm)		Peningkatan Pmaks (%)
		Retak	Leleh	maxks	retak	leleh	Maks	retak	Retak	
1	Pk	2,46	12,32	13,15	0,53	7,58	7,94	0,01	0,90	0
2	Pm	7,94	37,80	37,80	0,54	11,24	22,69	,02	0,96	245,779
3	Pp	9,31	38,08	38,08	0,58	10,41	17,96	0,97	0,97	243,726



Gambar 2.7 Peningkatan beban pelat (Hartono, 2009)

Tabel 2.9 Perhitungan teoritis kapasitas beban dan lendutan benda uji (Hartono, 2009)

No	Benda Uji	Kapasitas beban (KN)			Lendutan yang terjadi (mm)			Peningkatan Pmaks (%)
		Retak	leleh	maxks	retak	leleh	Maks	
1	BK	3,36	13,09	15,89	0,69	2,68	3,25	0
2	BM	9,28	50,21	56,81	0,41	0,41	11,61	257,52
3	BP	13,50	43,32	52,20	0,60	0,60	10,67	228,50



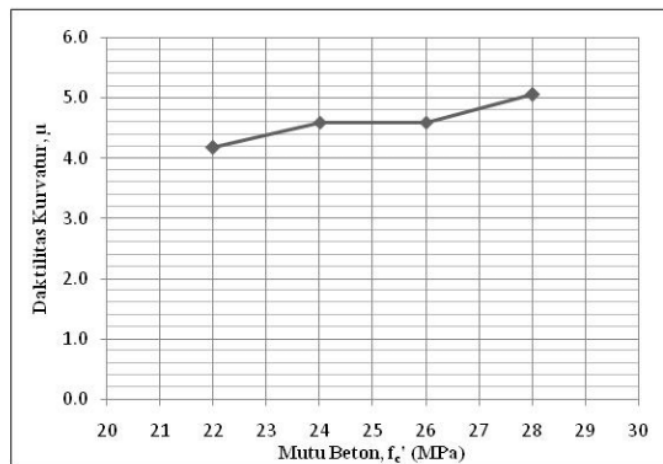
Gambar 2.8 Peningkatan beban pelat benda uji (Hartono, 2009)

Setiadi (2015) melakukan penelitian untuk mengkaji *output* dari *response-2000*. Dilakukan pemodelan balok beton bertulang tunggal tanpa sengkang, dengan pemberian variasi pada mutu beton, mutu baja tulangan longitudinal dan diameter tulangan longitudinal. Model yang dianalisis berjumlah 12. Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton diikuti dengan meningkatnya daktilitas kurvatur. Sementara peningkatan mutu baja tulangan dan diameter tulangan longitudinal menyebabkan penurunan daktilitas kurvatur. Hasil analisis program *Response-2000*. Tabel 2.9 memperlihatkan bahwa peningkatan mutu beton menyebabkan meningkatnya kapasitas momen retak (M_{cr}), momen leleh (M_y) dan momen *ultimate* (M_u). Sementara untuk nilai

kurvatur retak (φ_{cr}) dan kurvatur leleh (φ_y) mengalami penurunan, namun pada kurvatur *ultimate* (φ_u) mengalami peningkatan. Nilai *daktilitas* kurvatur, semakin meningkat mutu beton, maka semakin meningkat daktilitas kurvatur, seperti terlihat pada Gambar 2.9, hal ini disebabkan karena nilai faktor garis netral dan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen menurun, sehingga lebih lanjut menyebabkan φ_y menurun, sedangkan φ_u meningkat. Bertambahnya regangan beton pada serat ekstrim saat kondisi *ultimate* juga meningkatkan daktilitas kurvatur karena nilai φ_u meningkat. Hasil analisis *software Response-2000* dengan pemberian variasi terhadap mutu baja tulangan longitudinal dapat dilihat pada Tabel 2.10. Tabel 2.10 menunjukkan bahwa peningkatan mutu baja tulangan longitudinal tidak menyebabkan perubahan pada M_{cr} , hal ini dikarenakan mutu beton yang dipakai tetap, namun di sisi lain menyebabkan meningkatnya M_y dan M_u , sedangkan untuk nilai φ_{cr} tidak mengalami perubahan, namun φ_u mengalami peningkatan dan pada φ_y mengalami penurunan. Sementara untuk nilai daktilitas kurvatur sendiri mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya mutu baja tulangan, seperti terlihat pada Gambar 2.10. Bertambahnya mutu baja tulangan longitudinal akan menurunkan daktilitas kurvatur karena nilai f_y/E_s dan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen meningkat. Dengan demikian, nilai φ_y meningkat, sedangkan φ_u menurun. Hasil analisis *software Response-2000* dengan pemberian variasi terhadap diameter tulangan longitudinal dapat dilihat pada Tabel 2.11. Tabel 2.11 memperlihatkan bahwa dengan peningkatan diameter tulangan, menyebabkan meningkatnya M_{retak} , M_y dan M_u , sedangkan untuk nilai kurvatur, dengan peningkatan diameter tulangan tidak menyebabkan perubahan pada nilai φ_{retak} , namun di sisi lain menyebabkan nilai φ_y mengalami peningkatan dan pada φ_u mengalami penurunan. Seperti terlihat pada Gambar 2.11, untuk nilai daktilitas kurvatur sendiri mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya diameter tulangan. Bertambahnya diameter tulangan akan menurunkan daktilitas kurvatur secara signifikan karena nilai faktor garis netral dan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen meningkat. Dengan demikian, φ_y meningkat, sedangkan φ_u mengalami penurunan.

Tabel 2.10 Hasil analisis momen dan kurvatur dengan variasi mutu beton (Setiadi, 2015)

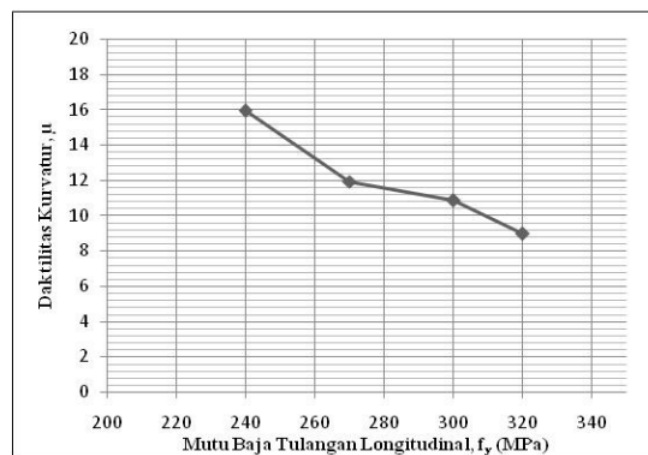
f_c' Mpa	M_{cr} kNm	ϕ_{cr} rad/km	M_y kNm	ϕ_y rad/km	M_u kNm	ϕ_u rad/km	μ
22	29.316	0.235	234.03	5.746	243.931	24.004	4.178
24	30.095	0.223	235.417	5.727	245.456	26.316	4.595
26	30.846	0.212	236.653	5.71	246.781	26.239	4.595
28	31.571	0.203	237.671	5.696	247.951	28.788	5.054



Gambar 2.9 Hubungan mutu beton dengan daktilitas kurvatur (Setiadi, 2015)

Tabel 2.11 Hasil analisis momen dan kurvatur dengan variasi mutu baja tulangan (Setiadi, 2015)

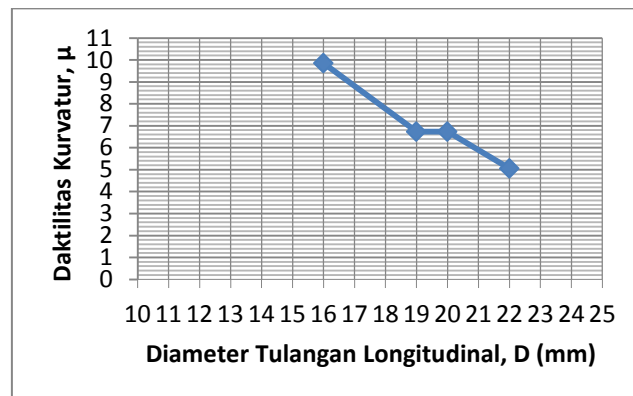
f_y MPa	M_{cr} kNm	ϕ_{cr} rad/km	M_y kNm	ϕ_y rad/km	M_u kNm	ϕ_u rad/km	μ
240	31.571	0.203	136.836	3.203	145.342	50.999	15.922
270	31.571	0.203	153.569	3.536	162.819	42.148	11.920
300	31.571	0.203	170.346	3.89	180.142	42.148	10.835
320	31.571	0.203	181.7	4.279	191.575	38.317	8.955



Gambar 2.10 Kurva mutu baja tulangan longitudinal-daktilitas kurvatur (Setiadi, 2015)

Tabel 2.12 Hasil analisis momen dan kurvatur dengan variasi diameter tulangan (Setiadi, 2015)

D Mm	M_{cr} kNm	φ_{cr} rad/km	M_y kNm	φ_y rad/km	M_u kNm	φ_u rad/km	μ
16	30.5	0.203	130.181	5.178	135.637	50.999	9.849
19	31.003	0.203	180.104	5.178	188.254	34.833	6.727
20	31.186	0.203	197.933	5.178	207.491	34.833	6.727
22	31.571	0.203	237.671	5.696	247.951	28.788	5.054



Gambar 2.11 Hubungan diameter tulangan longitudinal dengan daktilitas kurvatur (Setiadi, 2015)

Puluhulawa (2011) meneliti tentang perubahan fungsi bangunan. Salah satu metodenya adalah dengan melakukan perkuatan pada struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas lentur, kekakuan, daktilitas dan pola retak dari pelat yang diperkuat dengan penambahan kabel baja sebagai tulangan tarik, *self compacting* mortar dan *dyna bolt* sebagai penghubung geser (*stud*). Penelitian ini digunakan 2 benda uji pelat yaitu pelat perkuatan dengan menggunakan kabel baja diameter 10 mm (PP 10) dan pelat perkuatan dengan menggunakan kabel baja diameter 8 mm (PP 8) sebagai pembanding digunakan benda uji pelat kontrol (PK) tanpa perkuatan. Kedua benda uji mempunyai dimensi yang sama yaitu 1500 mm x 700 mm x 100 mm dan menggunakan tulangan utama sebelum perkuatan yaitu tulangan baja polos diameter 10 mm jarak 140 mm dengan mutu beton (f_c') = 28,5 MPa untuk PK dan $f_c' = 43,8$ MPa untuk PP 8 dan PP 10. Pengujian benda uji ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi dan rol pada kedua ujung benda uji dan diberikan beban statik di tengah bentang dengan interval sebesar 1 kN sampai benda uji mencapai runtuh. Hasil penelitian kemudian dibandingkan dengan analisis

teoritis berdasarkan SNI dan program *Response-2000*. Hasil pengujian kuat lentur benda uji PP 10 dan PP 8 secara berturut-turut 32,1 kN dan 26,7 kN. Hasil perbandingan terhadap pelat sebelum perkuatan atau pelat kontrol (PK) benda uji PP 10 dan PP 8 mengalami penurunan kapasitas lentur secara berturut-turut sebesar 34,06 % dan 17,73 %. Perbandingan kapasitas lentur hasil penelitian dan program *Response-2000* untuk benda uji PP 10 dan PP 8 secara berturut-turut 59,92 % dan 32,7 %. Peningkatan nilai kekakuan pada benda uji PP 10 dan PP 8 masing-masing sebesar 779,8 % dan 480,33 % jika dibandingkan terhadap pelat kontrol (PK). Daktilitas benda uji PP 10 dan PP 8 mengalami penurunan terhadap pelat control masing-masing sebesar 60,49 % dan 16,67 %. Secara umum pola keruntuhan yang terjadi pada PP 10 dan PP 8 adalah kegagalan *deponding/delaminasi*. pada analisis dengan program *Response-2000* dicoba menganalisis dengan beberapa pemisalan, yaitu dengan mengasumsi kabel baja sebagai baja tulangan dan kabel baja sebagai tendon. Masing-masing asumsi dibagi menjadi dua yaitu dengan variasi modulus elastisitas (E_s) 200000 MPa dan modulus elastisitas (E_s) hasil eksperimen 22607,5 MPa untuk kabel baja diameter 8 mm dan 25778,2 MPa untuk kabel baja diameter 10 mm. Hasil analisis menggunakan program *response-2000*, beban–lendutan dapat dilihat pada Tabel 2.12 dan momen *curvature* dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Beban dan lendutan hasil analisis *Response-2000*
(Puluhulawa, 2011)

Benda uji	Baja Tulangan				Tendon			
	Es 200000 MPa		Es eksp		Es 200000 MPa		Es eksp	
	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)
PP 10	43,988	24,86	33,034	53,286	26,03	9,99	33,038	59,344
PP 8	40,736	19,522	31,536	51,04	24,174	7,812	31,178	49,812

Tabel 2.14 Momen dan *curvature* hasil analisis *Response-2000*
(Puluhulawa, 2011)

Benda uji	Baja Tulangan				Tendon			
	Es 200000 Mpa		Es eksp		Es 200000 MPa		Es eksp	
	Momen (kNm)	<i>Curvature</i> (Rad/km)	Momen (kNm)	<i>Curvature</i> (Rad/km)	Momen (kNm)	<i>Curvature</i> (Rad/km)	Momen (kNm)	<i>Curvature</i> (Rad/km)
PP 10	14,126	63,548	8,685	95,952	9,424	35,352	8,621	95,189
PP 8	11,593	35,685	8,762	96,109	8,783	42,776	8,728	95,931

Tabel 2.15 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan

No	Peneliti	Tahun	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
				Terdahulu	Sekarang
1	Cairunisa	2009	Analitik	Analisis pengaruh penambahan tulangan tarik dan tulangan tekan menggunakan tulangan D13 kemudian dislimuti mortar. Hasil uji lap dibandingkan dengan analisis program <i>Response-2000</i>	Penelitian dilakukan dengan memvariasi ratio tulangan, jarak sengkang dan panjang penampang kemudian dianalisis secara manual dan analisis menggunakan program <i>response-2000</i>
2	Amir	2009	Analitik	Pengujian balok bentuk persegi di laboratorium dan dibandingkan dengan analisis menggunakan program <i>response - 2000</i>	Bentuk benda uji balok persegi dan balok T dianalisis secara manual dan dibandingkan dengan analisis program <i>response-2000</i>
3	Hartono	2009	Analitik	dalam penelitian ini kekuatan lentur dilakukan dengan menambahkan tulangan tarik dan komposit mortar menggunakan perekat <i>epoxy</i> .	Penelitian variasi rasio tulangan, jarak tulangan sengkang. dianalisis menggunakan program <i>Response-2000</i>

Tabel 2.16 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan (Lanjutan)

No	Peneliti	Tahun	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
				Terdahulu	Sekarang
4	Setiadi	2015	Analitik	Penelitian ini digunakan untuk mengkaji <i>output</i> dari <i>response-2000</i> dilakukan pemodelan balok beton bertulang tunggal tanpa sengkang, dengan variasi pada mutu beton, mutu baja tulangan longitudinal, dan diameter tulangan longitudinal.	Penelitian ini mengkaji <i>output</i> dari <i>response-2000</i> . dilakukan pemodelan balok tulangan rangkap dengan variasi <i>ratio</i> tulangan, jarak sengkang dan panjang penampang .
5	Puluhulawa	2011	Analitik	Penelitian ini mengetahui perkuatan penambahan kabel baja sebagai tulangan tarik, <i>self compating</i> mortar dan <i>dyna bolt</i> sebagai penghubung geser (<i>stud</i>).	Penelitian pengaruh variasi <i>ratio</i> tulangan, jarak sengkang dan panjang bentang. Terhadap kekakuan balok dengan analisis menggunakan program <i>response-2000</i>