

TINGKAT KEKAKUAN PADA BETON BERTULANG MENGGUNAKAN APLIKASI RESPONSE-2000

Fanny Monika¹, Hakas Prayuda², Al Fajir M Sarita³

¹*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55183*

Email: fanny.monika.2007@ft.umy.ac.id

²*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55183*

Email: hakasprayuda@umy.ac.id

³*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55183*

Email: alfajirms97@gmail.com

ABSTRACT

The behavior of precast concrete beams can be seen in the magnitude of the value of maximum load, deflection, moment and curvature. To facilitate analyzing these parameters using the Response-2000 software. The software is used to analyze beams with evenly distributed loads. The output of the application is in the form of deflection values, maximum load, and moment of curvature. This research was carried out by varying the dimensions of the beam and the position of the flexural reinforcement with a span length of 10 m. BU3 beam with a height of 1000 mm, width 150 mm, upper wing height 160 mm, lower wing height 150 mm upper wing width 300 mm and lower wing height 450 mm has a deflection of at least -95,248 mm and BU6 beam with a height of 1080 mm, width 152 mm, wing height 100 mm, wing height 130 mm, wingspan 381 mm and wing width 508 mm having a deflection of at most -114,471 mm. BU2 beam with a height 1000 mm, width 150 mm, upper wing height 240 mm, wing height 150 mm, wingspan 300 mm and wingspan 450 mm has the smallest maximum load 81,265 kN/m and BU6 beam has maximum load 93,224 kN/m. BU2 beam has the smallest nominal moment of 1821,036 kNm and BU6 beam has the largest nominal moment value of 2093,920 kNm

Keywords: Deflection, moment-curvature, stiffness, response-2000

ABSTRAK

Perilaku balok beton pracetak dapat dilihat pada besarnya nilai beban maksimum, lendutan, momen dan kurvatur. Untuk memudahkan menganalisis parameter tersebut dengan menggunakan aplikasi Response-2000. Aplikasi tersebut digunakan untuk menganalisis balok dengan beban merata, hasil output dari aplikasi tersebut berupa nilai defleksi, beban maksimum, dan momen kurvatur. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan dimensi balok dan posisi tulangan lentur dengan panjang bentang 10 m. balok BU3 dengan tinggi 1000 mm, lebar 150 mm, tinggi sayap atas 160 mm, tinggi sayap bawah 150 mm lebar sayap atas 300 mm dan tinggi sayap bawah 450 mm memiliki defleksi paling kecil -95,248 mm dan balok BU6 dengan tinggi 1080 mm, lebar 152 mm, tinggi sayap atas 100 mm, tinggi sayap bawah 130 mm, lebar sayap atas 381 mm dan lebar sayap bawah 508 mm memiliki defleksi paling besar -114,471 mm. balok BU2 dengan tinggi 1000 mm, lebar 150 mm, tinggi sayap atas 240 mm, tinggi sayap bawah 150 mm, lebar sayap atas 300mm dan lebar sayap bawah 450 mm memiliki beban maksimal paling kecil 81,265 kN/m dan balok BU6 memiliki beban maksimal paling besar 93,224 kN/m. balok BU2 memiliki momen nominal yang paling kecil 1821,036 kNm dan balok BU6 memiliki nilai momen nominal yang paling besar 2093,920 kNm

Kata kunci: Defleksi, momen-curvature, kekakuan, response-2000

1. PENDAHULUAN

Balok merupakan elemen lentur dan sebagai elemen struktur yang sangat penting dalam sebuah konstruksi. Dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya. Banyak faktor yang harus diperhatikan dalam mendesain suatu balok, salah satunya deformasi atau lendutan. Pada perilaku balok beton pracetak dapat dilihat pada besarnya nilai beban maksimum, lendutan, momen dan kurvatur. Untuk memudahkan menganalisis parameter

tersebut adalah dengan menggunakan aplikasi Response-2000. Aplikasi tersebut digunakan untuk menganalisis balok dengan beban merata, hasil output dari aplikasi tersebut berupa nilai defleksi, beban maksimum, dan momen kurvatur.

Penelitian menggunakan aplikasi Response-2000 untuk pengaruh dari variasi tebal terhadap kekuatan lentur pada balok komposit telah diteliti oleh Cahyati (2016) yang mengkaji kekuatan lentur struktur balok komposit baja IWF yang diselidiki oleh beton dengan variasi tebal badan pada penampang IWF. Benda uji yang dimodelkan terbuat dari material beton dan baja IWF 200x200. Material beton memiliki kuat tekan sebesar 20 MPa dan modulus elastisitas sebesar 21019,04 MPa. Berdasarkan analisis software Response 2000 didapat nilai kapasitas momen lentur benda uji A sebesar 236,40 kNm, benda uji B sebesar 244,63 kNm, dan benda uji C sebesar 252,83 kNm. Rata-rata peningkatan momen balok komposit dengan ketebalan 8 mm, 10 mm, dan 12 mm sebesar 3,3%.

Nurlina dkk. (2016) melakukan perbandingan pengaruh perkuatan CFRP terhadap daktilitas balok beton bertulang, mengetahui pengaruh perkuatan GFRP terhadap daktilitas balok beton bertulang, dan juga mengetahui perbandingan daktilitas dengan menggunakan perkuatan CFRP dan GFRP. Benda uji dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran 10x15x120 cm³. Hasil penelitian balok yang diperkuat dengan CFRP memiliki daktilitas yang lebih besar daripada balok tanpa perkuatan. Balok yang diperkuat dengan CFRP mengalami peningkatan daktilitas yang signifikan terhadap balok tanpa perkuatan. Syamsuddin dkk. (2015) menyatakan bahwa pengaruh adukan beton dengan campuran dari bottom ash pada semen sebanyak 0%, 10%, 20%, 25% selama perendaman dengan air laut durasi 7, 14 serta 28 hari pada beton. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa adanya pengaruh yang nyata dari pemanfaatan bottom ash sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton silinder, penambahan dari bottom ash pada balok dengan tulangan geser serta lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara signifikan, hal ini disimpulkan berdasarkan uji statistik anova 2 arah untuk variasi presentase dari bottom ash 0%, 10%, 20% dan 25% dan perendaman balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai dari lendutan secara signifikan.

Pada penelitian ini akan di analisis beberapa specimen balok yang terbuat dari beton bertulang. Tujuan nya untuk mengetahui berapa beban yang dapat diterima ketika retak pertama kali, lendutannya serta hubungan momen dengan curvature. Balok beton yang di rancang memiliki luas area yang hamper sama, hanya saja masing-masing variasi nya memiliki momen inersia yang berbeda-beda. Penelitian sebelumnya oleh (Prayuda dkk, 2018) merupakan salah satu acuan untuk dilaksanakan nya penelitian ini.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Momen

Momen merupakan hasil kali dari gaya dengan jaraknya. Jarak adalah jarak tegak lurus dengan garis kerja gayanya. Bidang momen diberi tanda positif apabila bagian bawah atau bagian dalam yang mengalami tarikan. Bidang momen positif diarsir tegak lurus sumbu batang yang mengalami momen dan sebaliknya, apabila yang mengalami tarikan pada bagian atas maka diberi dengan tanda negatif. Bidang momen negatif diarsir sejajar dengan sumbu batang terjadi (Ishak dkk., 2014).

2.2 Kelengkungan

Nilai kelengkungan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya regangan pada saat terjadi lendutan (Popov, 1996) lendutan yang terjadi akan membentuk cekungan pada balok yang menerima beban. Rahmat dan Satmoko (2012) balok melentur merupakan suatu batang yang dikenakan oleh beban-beban yang bekerja secara transversal terhadap sumbu pemanjangannya. Beban melentur ini menciptakan aksi internal, atau resultan tegangan dalam bentuk tegangan normal, tegangan geser dan momen lentur.

2.3 Lendutan dan Deformasi

Pada umumnya lendutan/defleksi balok perlu ditinjau agar tidak melampaui nilai tertentu, karena dapat terjadi dalam perancangan ditinjau dari segi kekuatan balok masih mampu menahan beban, namun lendutannya cukup besar sehingga tidak nyaman lagi. Deformasi adalah salah satu kontrol kestabilan suatu elemen balok terhadap kekuatannya (Zacoeb, 2014).

2.4 Pola Retak

Retak diakibatkan penurunan yang tidak seragam, susut, beban bertukar arah, perbedaan suhu unsur kimia dan unsur kimia. Pada kondisi di lapangan, variasi pola retak berbeda satu dengan lainnya. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban, geser dan momen (Malini, 2008).

2.5 Aplikasi Response-2000

Aplikasi Response-2000 merupakan suatu aplikasi yang dibuat berdasarkan Modified Compression Field Theory (MCFT) untuk elemen beton bertulang prismatik. Aplikasi Response-2000 adalah aplikasi untuk menganalisis sifat-sifat balok dan kolom hasil yang didapat adalah momen, kelengkungan (curvature), lendutan (defleksi), tegangan geser (shear strain), gaya geser (shear force), beban aksial (aksial load) dan pola retak (crack). Dalam penelitian yang dilakukan adalah pengujian beban, lendutan dan momen lengkungan pada pengujian balok beton pracetak menggunakan aplikasi Response-2000. Dari hasil pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa aplikasi Response-2000 cukup akurat dalam menampilkan respon dari balok berupa prediksi (Bentz, 2000).

3. MODEL BALOK BETON BERTULANG

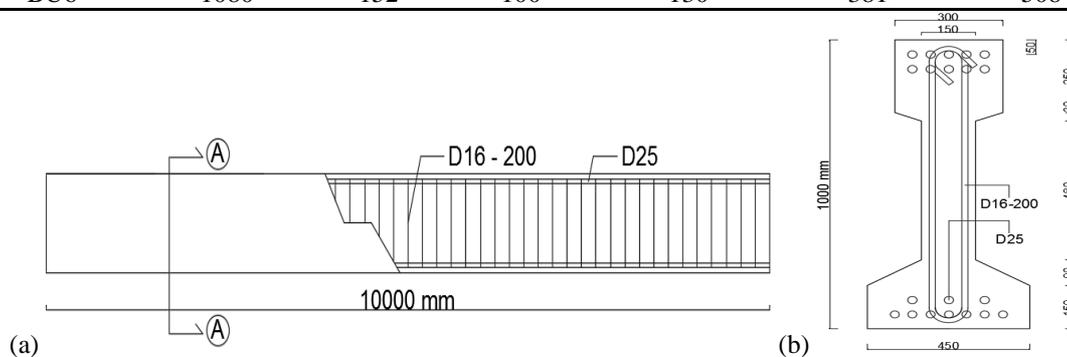
Pemodelan balok dalam penelitian ini menggunakan balok beton pracetak berbentuk I dengan mutu baja $f_y = 240$ MPa untuk tulangan lentur dan $f_y = 210$ MPa untuk tulangan geser, sedangkan mutu beton ($f_c' = 30$) MPa dengan variasi dimensi dan posisi tulangan lentur yang berbeda-beda, serta menggunakan tulangan D25 mm untuk tulangan lentur dan tulangan D16 mm untuk tulangan geser dengan jarak sengkang 200 mm. Detail masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Gambar 1 sampai Gambar 6 merupakan detail potongan memanjang dan melintang benda uji yang akan di teliti. Pada Tabel 1 menunjukkan hasil analisis luas penampang dan momen inersia yang di hasilkan dalam pembuatan model di program response 2000. Hasil analisis tersebut sudah tersedia melalui aplikasi. Berdasarkan analisis menunjukkan bahwa nilai momen inersia tertinggi pada balok BU6 sedangkan yang terkecil pada BU2. Sedangkan berdasarkan luas area nya, BU1 memiliki nilai terbesar dan BU2 memiliki nilai luar aseas terkecil.

Tabel 1. Hasil Analisis Luas Penampang dan Momen Inersia

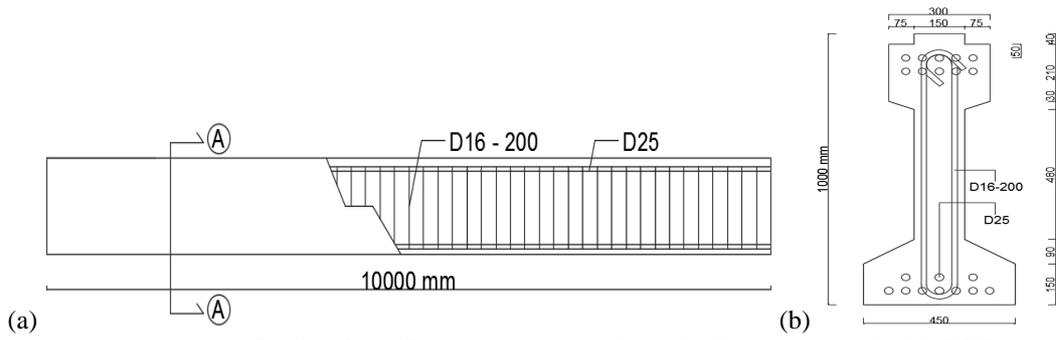
Model Balok	Luas Penampang (mm ²)	Momen Inersia (mm ⁴)
BU1	316,6 x 10 ³	40112,0 x 10 ⁶
BU2	310,6 x 10 ³	37307,1 x 10 ⁶
BU3	313,6 x 10 ³	38680,8 x 10 ⁶
BU4	310,9 x 10 ³	47432,6 x 10 ⁶
BU5	312,8 x 10 ³	48241,8 x 10 ⁶
BU6	314,8 x 10 ³	49053,3 x 10 ⁶

Tabel 2. Dimensi pemodelan balok beton pracetak

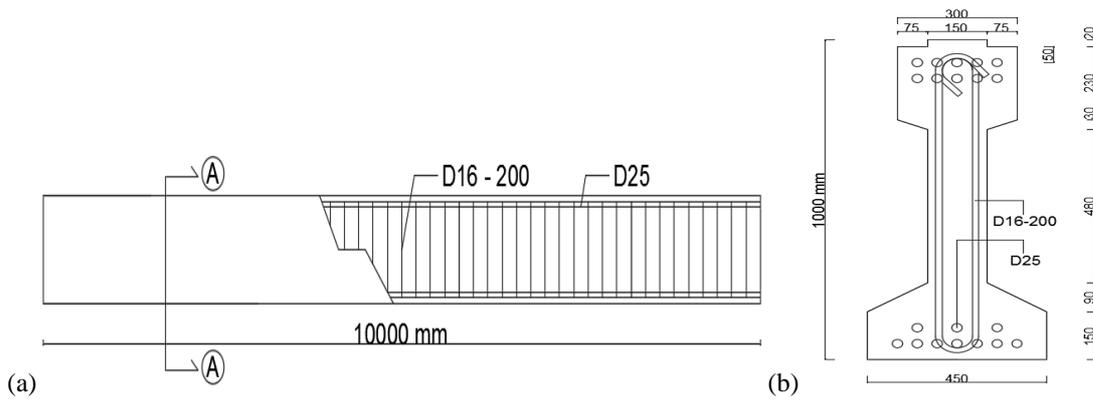
Model Balok	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tinggi sayap atas (mm)	Tinggi bawah (mm)	Lebar sayap atas (mm)	Lebar Bawah (mm)
BU1	1000	150	280	150	300	450
BU2	1000	150	240	150	300	450
BU3	1000	150	160	150	300	450
BU4	1070	152	90	130	381	508
BU5	1075	152	95	130	381	508
BU6	1080	152	100	130	381	508



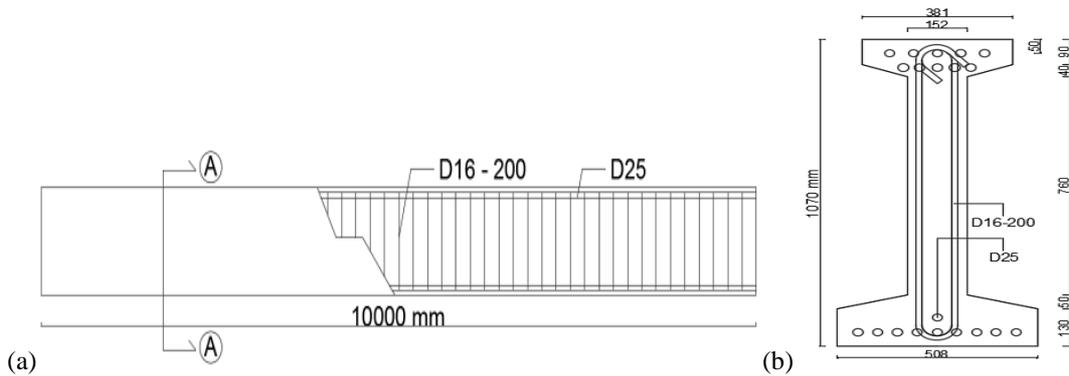
Gambar 1. (a) Penampang memanjang; (b) Potongan A-A balok BU1



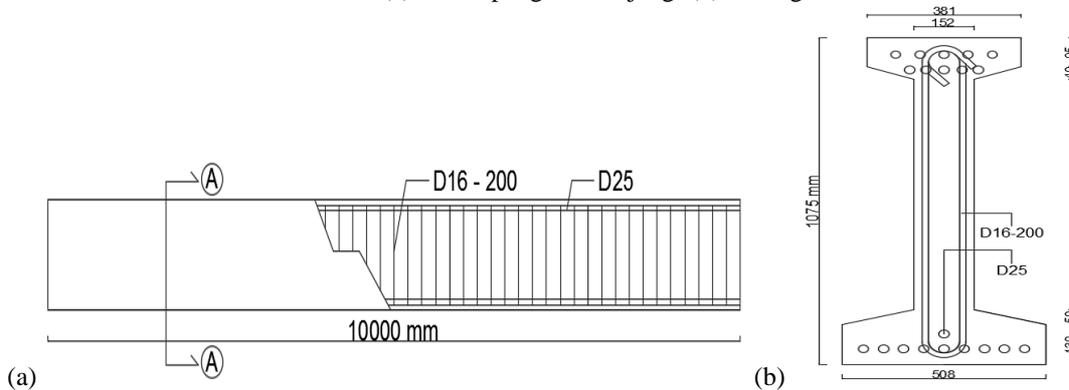
Gambar 2. (a) Penampang memanjang; (b) Potongan A-A balok BU2



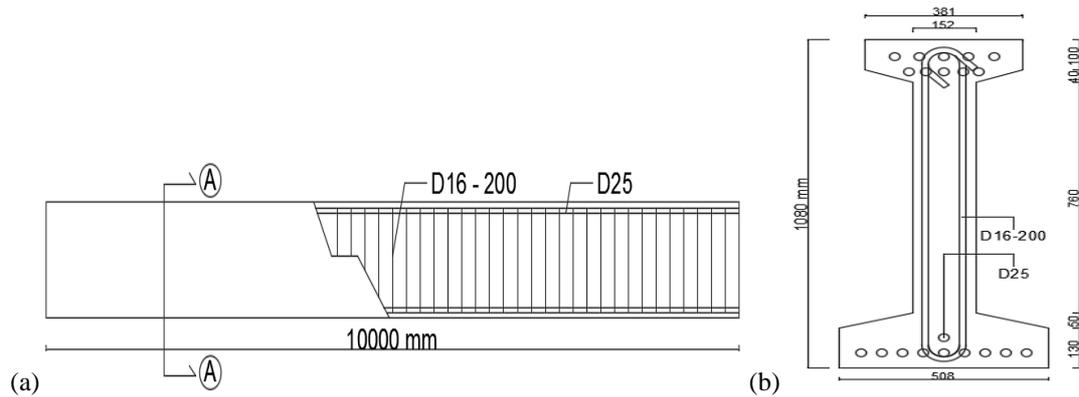
Gambar 3. (a) Penampang memanjang; (b) Potongan A-A balok BU3



Gambar 4. (a) Penampang memanjang; (b) Potongan A-A balok BU4



Gambar 5. (a) Penampang memanjang; (b) Potongan A-A balok BU5



Gambar 6. (a) Penampang memanjang; (b) Potongan A-A balok BU6

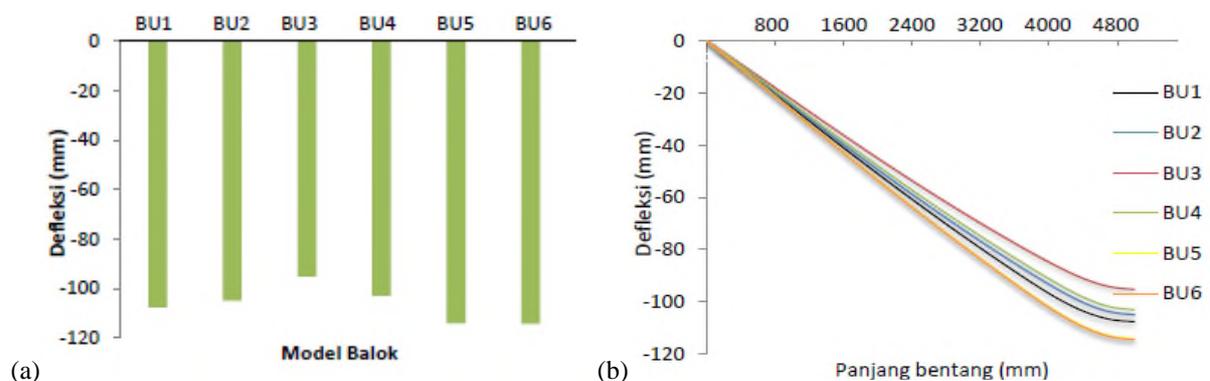
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lendutan merupakan salah satu bagian terpenting dalam menganalisis balok. Pada sebuah balok tidak diijinkan terjadi lendutan yang berlebihan sehingga terjadinya deformasi pada bentuk bangunan. Pada Gambar 7(a) dan Tabel 3 menunjukkan hasil lendutan maksimal yang terjadi pada masing-masing benda uji. Lendutan yang terjadi merupakan lendutan maksimal di tengah bentang dengan menggunakan sistem pembebanan merata. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa lendutan terbesar terjadi pada balok BU6 dengan nilai sebesar 114,471 mm sedangkan lendutan terkecil pada balok BU3 sebesar 95,248 mm. Besar atau kecilnya nilai lendutan pada balok dipengaruhi oleh beban yang di terima balok hingga benda uji mencapai nilai beban maksimal atau runtuh.

Berdasarkan nilai momen inersia yang di peroleh, BU6 memiliki nilai momen inersia tertinggi, hal ini berbanding lurus dengan nilai lendutan yang dapat di terima oleh balok dimana lendutan yang dapat di tampung menjadi lebih besar dibandingkan benda uji lainnya. Pada Gambar 7(b) menunjukkan hasil hubungan antara panjang bentang dengan perolehan lendutan. Sedangkan balok dengan momen inersia terkecil mampu menerima lendutan hingga 104,938 mm. hal ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan BU3 yang hanya mampu menerima lendutan di bawah 100 mm. Nilai lendutan yang dianalisis melalui penelitian ini merupakan pada kondisi balok sudah dinyatakan tidak dapat menerima beban lagi.

Tabel 3. Hasil Lendutan Maksimum

Model Balok	Lendutan Maksimum (mm)
BU1	-107,619
BU2	-104,938
BU3	-95,248
BU4	-103,072
BU5	-114,157
BU6	-114,471



Gambar 7. (a) Hubungan model balok dengan hasil defleksi; (b) Hubungan panjang bentang dengan hasil defleksi

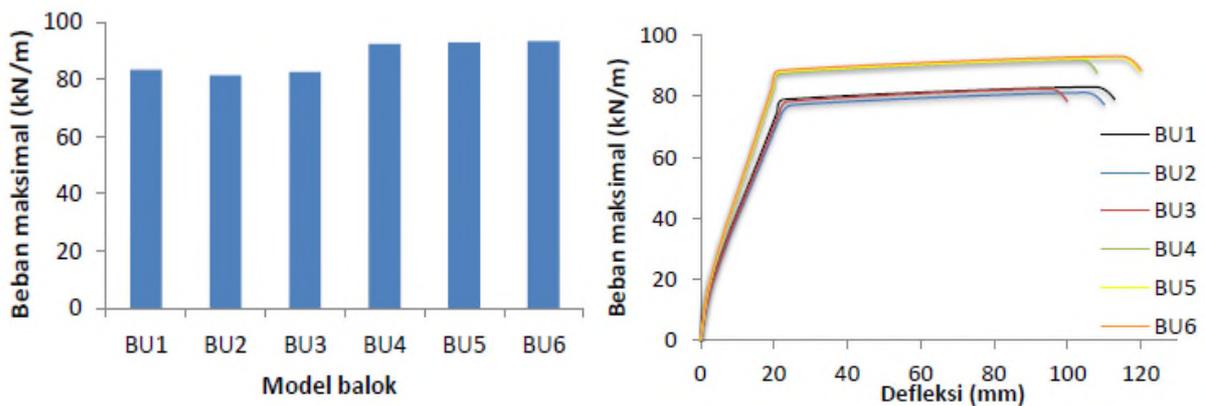
Pada penelitian ini dilakukan juga analisis untuk mengetahui berapakah beban maksimal yang dapat diterima pada masing-masing balok termasuk berat sendiri balok. Jenis pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan beban merata. Pada Gambar 8 (b) menunjukkan hubungan masing-masing model dengan beban maksimal yang dapat di terima. Pada BU1 dapat diprediksi akan mampu menerima beban terbesar yaitu 83,143 kN/m, sedangkan balok BU2 hanya mampu menerima beban sebesar 81,265 kN/m. BU2 merupakan balok dengan kemampuan menerima beban terkecil yang di susul oleh BU3 yang hanya mampu menerima beban maksimal sebesar 83.473 kN/m.

Pada BU6 memperoleh beban maksimal yang tertinggi dibandingkan benda uji lainnya yaitu sebesar 93,224 kN/m. sedangkan benda uji BU5 dan BU4 memiliki beban maksimal dengan kisaran nilai 93 kN/m. berdasarkan hasil beban yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa BU6 memang mampu menerima beban yang lebih tinggi serta menahan nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji lainnya. Pada Gambar 8 (b) menunjukkan hubungan antara beban dan lendutan yang diperoleh pada masing-masing benda uji. Pada hubungan beban dan lendutan tidak dapat dijadikan acuan sepenuhnya pada sebuah balok. Hal lain yang harus di analisis adalah nilai kekakuan balok yang dihasilkan pada saat balok masih dalam kondisi elastis.

Pada Tabel 4 menunjukkan hasil kekakuan yang di peroleh pada saat balok masih dalam kondisi elastis. BU2 memperoleh nilai kekakuan sebesar 34,956 kN/m. pada BU2 memperoleh kekakuan sebesar 30,80 kN/m, hal ini menunjukkan bahwa BU2 memang memiliki nilai kekakuan terkecil dibandingkan benda uji lainnya, sedangkan BU3 memiliki nilai kekakuan hanya sebesar 32,636 kN/m. Pada BU4 dan BU5 memiliki kekakuan berturut-turut 40,553 kN/m dan 40,741 kN/m. kedua benda uji ini memiliki selisih yang tidak cukup jauh dari segi kekakuan, beban maksimal hingga lendutan maksimum yang dapat di terima. Sedangkan kekakuan yang tertinggi terlihat pada benda uji BU6 yaitu sebesar 41.395 kN/m. hal ini dapat disimpulkan bahwa benda uji BU6 memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik pada saat balok masih dalam kondisi elastis. pada BU2 dan BU6 memiliki selisih nilai kekakuan hingga 10 kN/m.

Tabel 4. Hasil nilai Beban maksimal dan kekakuan

Model Balok	Beban maksimal (kN/m)	Kekakuan (kN/m)
BU1	83,143	34,956
BU2	81,265	30,8
BU3	82,473	32,636
BU4	92,265	40,553
BU5	92,746	40,741
BU6	93,224	41,395



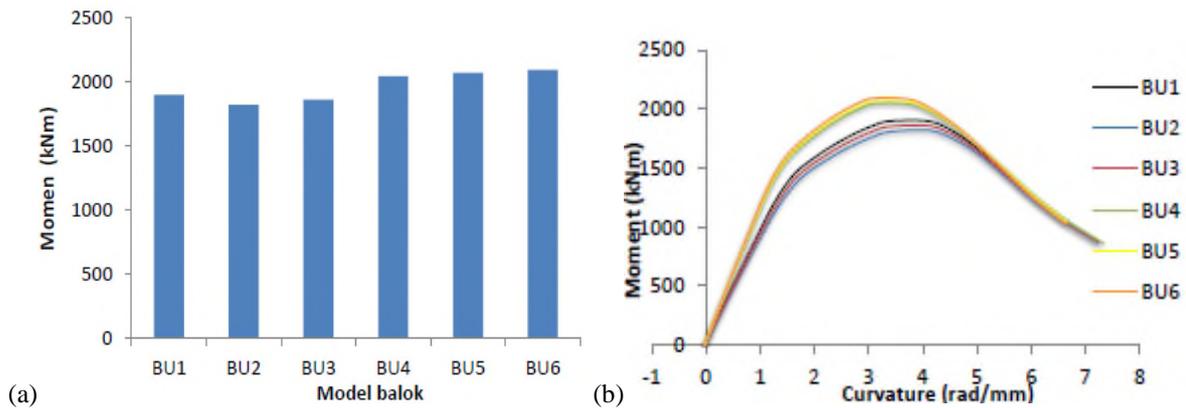
Gambar 8. (a) Hubungan model balok dengan beban maksimal; (b) hubungan antara defleksi dan beban maksimal

Selain menganalisis beban maksimal dan lendutan maksimal, pada penelitian ini juga ditampilkan hubungan antara momen dengan curvature yang di hasil kan. Pada Tabel 5 dan Gambar 9 (a) merupakan hasil momen pada masing-masing benda uji. Sedangkan pada Gambar 9 (b) merupakan hasil dari hubungan antara momen dan curvature yang diperoleh pada tiap benda uji. Pola momen yang dihasilkan terlihat sama dengan beban maksimal dimana BU6 masih memiliki momen nominal terbesar. Dengan momen nominal tertinggi artinya BU6 memiliki kemampuan atau daya tahan yang lebih besar juga dalam menahan beban.

Tabel 5. Hasil Momen Nominal

Model Balok	Momen (kNm)
BU1	1900,887
BU2	1821,036
BU3	1861,145
BU4	2046,199
BU5	2070,127
BU6	2093,920

Pada aplikasi Response 2000 juga dapat dilakukan analisis pola retak dan lebar retak yang dihasilkan akibat beban dan lendutan. Pada Tabel 6 merupakan hasil pola retak yang dapat di analisis menggunakan aplikasi Response 2000. Pola retak awal yang dapat di ukur melalui program ini berukuran antara 0,01 mm sampai 0,02 mm. pada benda uji BU1 memiliki nilai lebar retak sebesar 7,00 mm, sedangkan benda uji BU2 memiliki lebar retak terbesar yaitu 8,25 mm. Hal ini menunjukkan bahwa BU1 tidak membutuhkan lebar retak yang lebih besar dari BU2 akan tetapi mampu menerima beban lebih besar dari BU2. Benda uji BU3 memperoleh lebar retak terbesar yaitu 7,76 mm, sedangkan lebar retak terbesar diperoleh oleh benda uji BU6 yaitu sebesar 10,95 mm. nilai ini tidak jauh berbeda pada benda uji BU4 dan BU5 yang berturut turut memperoleh nilai lebar retak sebesar 10,69 mm dan 10,82 mm. melalui analisis lebar retak ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban yang dapat diterima balok dan semakin besar lendutan yang terjadi akan membuat balok memiliki lebar retak yang lebih tinggi juga. Sehingga perlu diperhatikan juga secara khusus bagai mana cara monitoring dan perbaikan pada balok apabila di aplikasikan di konstruksi sipil.

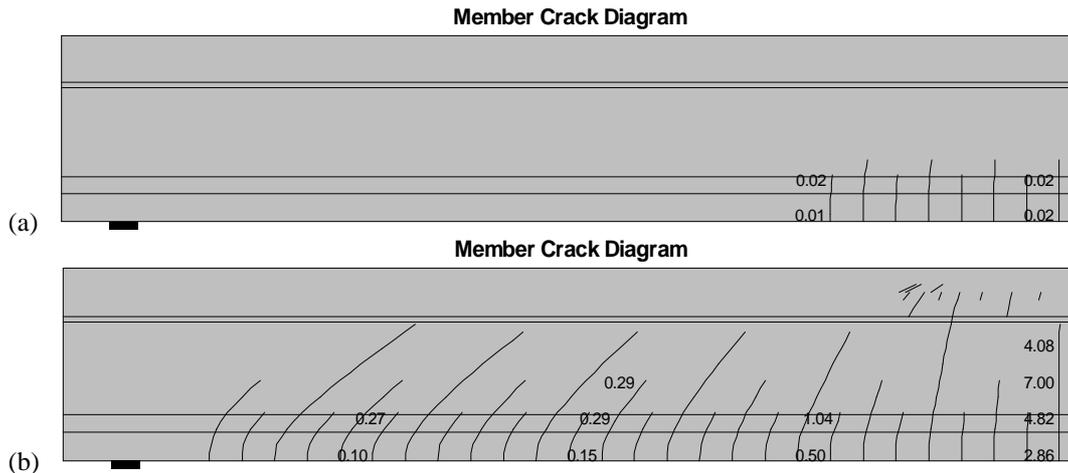


Gambar 9. (a) Hubungan model balok dengan momen nominal; (b) Hubungan nilai Curvature dan Momen Nominal

Pada Gambar 9 (a) menunjukkan pola retak pertama kali terjadi. Retak yang terjadi pada seluruh balok dapat dikategorikan retak akibat kerusakan lentur. Retak pertama kali terjadi pada tengah bentang balok bagian bawah. Hal ini menunjukkan bahwa rusak terjadi pertama kali pada wilayah tarik pada balok. Pada Gambar 9 (b) menunjukkan pola retak yang terjadi di akhir benda uji diberikan beban maksimum, retak terlihat semakin besar dan wilayah retak juga semakin mendekati tumpuan dan memasuki wilayah tekan pada beton. Pada penelitian ini tidak menganalisis jarak sengkang bada beton sehingga dari tumpuan hingga ke tengah bentang menggunakan jarak sengkang yang sama.

Tabel 6. Pola retak pada balok beton pracetak

Model Balok	Lebar Retak Awal (mm)	Lebar Retak Akhir (mm)
BU1	0,01 - 0,02 mm	7,00 mm
BU2	0,02 mm	8,25 mm
BU3	0,01 - 0,02 mm	7,76 mm
BU4	0,01 - 0,02 mm	10,69 mm
BU5	0,01 - 0,02 mm	10,82 mm
BU6	0,01 - 0,02 mm	10,95 mm



Gambar 9. (a) Pola retak yang terjadi pada saat kondisi first crack balok BU1; (b) Contoh pola retak yang terjadi saat kondisi beban maksimal balok BU1

Beban yang diterima pada saat terjadi retak pertama kali dapat dianalisis menggunakan aplikasi Response 2000. Pada Tabel 7 menunjukkan hasil beban yang diperoleh pada saat balok mengalami retak pertama kali. Benda uji BU1 terjadi retak pertama kali pada saat menerima beban 14,934 kN/m, dimana beban ini hanya 17,961% dari beban maksimal yang dapat diterima oleh BU1 atau memiliki selisih sebesar 68,211 kN/m. pada benda uji BU2 memperoleh beban pada saat retak pertama kali sebesar 14,034 kN/m atau sebesar 17,269% dari beban maksimal yang mampu di terima oleh balok, sedangkan BU3 memperoleh beban retak sebesar 14,875 kN/m atau sebesar 18,036% dari beban maksimal yang di terima balok tersebut. Pada benda uji BU4 memperoleh beban retak pertama kali sebesar 17,649 kN/m atau sebesar 19,128% dari beban maksimal yang mampu di terima oleh balok, begitu juga dengan BU5 yang memperoleh hasil tidak jauh berbeda dengan benda ujia BU4, benda uji ini memperoleh beban retak pertama kali sebesar 17,912 kN/m atau sebesar 19,313% dari beban maksimal yang mampu di terima balok. Pada Balok BU6 memiliki beban retak pertama kali tertinggi yaitu sebesar 18,158 kN/m. benda uji ini retak ketika beban yang bekerja sekitar 19,478% dari beban maksimal yang dapat di terima oleh balok. Pada benda uji BU6 memiliki selisih beban antara beban retak dengan beban maksimal tertinggi yaitu sebesar 75,066 kN/m.

Berdasarkan analisis di atas menunjukkan keseluruhan benda uji mulai retak pada saat beban bekerja mulai dari 17% hingga 19% dari beban maksimal yang dapat diterima benda uji. Selain itu selisih antara beban pertama kali retak dengan beban maksimal yang dapat diterima masing-masing benda uji berkisar mulai dari 67 kN/m sampai 75 kN/m. beban retak pertama kali cukuplah penting dalam sebuah penelitian pada balok, hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut sebagian wilayah balok tidak lagi bersifat elastis. Sifat balok yang sangat getas menjadi sata satu penyebab mudahnya terjadi retak pada balok. Pada saat balok retak pertama kali, nilai retak akan bertambah apabila beban yang diberikan semakin besar hingga struktur runtuh.

Tabel 7. Perbandingan beban pola retak awal dengan beban maksimal terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur.

Model Balok	Beban Maksimal (kN/m)	Beban Retak Awal (kN/m)	Persentase beban retak terhadap beban maksimal (%)	Selisih (kN/m)
BU1	83,145	14,934	17,961	68,211
BU2	81,265	14,034	17,269	67,231
BU3	82,473	14,875	18,036	67,598
BU4	92,265	17,649	19,128	74,616
BU5	92,746	17,912	19,313	74,834
BU6	93,224	18,158	19,478	75,066

5. KESIMPULAN

Hasil analisis menggunakan aplikasi Response-2000 dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Pada kajian ini dapat dilihat bahwa balok yang memiliki nilai defleksi yang paling kecil adalah balok BU3 dengan nilai -95,248 mm dan yang paling besar adalah balok BU6 dengan nilai 114,471 mm. Balok BU2 memiliki nilai beban maksimal yang paling kecil dengan nilai 81,143 kN/m dan balok BU6 memiliki nilai yang

- paling besar dengan nilai 93,224 kN/m. Balok BU2 memiliki momen nominal yang paling kecil dengan nilai 1821,036 kNm dan balok BU6 memiliki nilai yang paling besar dengan nilai 2093,920 kNm.
2. Variasi dimensi dan posisi tulangan lentur dengan panjang bentang 10 meter sangat berpengaruh terhadap beban maksimal, lendutan dan momen curvature pada balok beton pracetak. Defleksi balok BU2 dengan nilai -104,938 mm, beban maksimal 81,625 kN/m, momen nominal 1821,036 kNm.
 3. Nilai kekakuan sangat penting dalam mengetahui kualitas baik dan buruknya kekuatan dari balok beton pracetak. Nilai kekakuan yang paling besar yaitu pada balok BU6 dengan nilai sebesar 41,395 kN/m dan BU2 memiliki nilai kekakuan yang paling kecil dengan nilai sebesar 30,8 kN/m.
 4. Pola retak awal tidak terlalu berpengaruh terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur namun pola retak akhir sangat berpengaruh terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Bentz, E., (2000), "Sectional Analysis of Reinforced Concrete Members", Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Kanada.
- Cahyati, M. D., (2016), "Pengaruh Variasi Tebal Terhadap Kekuatan Lentur Pada Balok Komposit Menggunakan Response 2000, Semesta Teknika". 19 (2), 157-164.
- Ishak, R.A. dan Irmiyanti., 2014, Laporan Penulisan Modul Mekanika Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Malini, R.D., (2008), Analisis Pengaruh Dimensi Balok dan Kolom Portal terhadap Lebar Retak pada Bangunan, Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.
- Nurlina, S., Suseno, H., Hidayat, M.T. dan Pratama, I.M.Y., (2016), "Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP", *Rekayasa Sipil*, 10 (1), 62-69.
- Popov, E.P., 1996, Mekanika Teknik, cetakan keenam, Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Prayuda, H., Saleh, F., and Istiawan., (2018), "Studi Numerik Pengaruh Ukuran Penampang, Rasio Tulangan Lentur dan Jarak Tulangan Geser Terhadap Kekakuan Balok Beton Bertulang Menggunakan Program Response 2000", *Semesta Teknika*, 21(1), 18-32.
- Rahmat. dan Satmoko. A., (2012), "Analisis Kekuatan Landasan Aluminium pada Perangkat Brakiterapi Medium Doserate", *Prima*, 9 (1), 1-10.
- Syamsuddin, R., Hidayat, T. dan Nuralinah. D., 2015, "Pengaruh Campuran Kadar Bottom Ash dan Lama Peredam Air Laut Terhadap Kuat Tekan, Lendutan, Kapasitas Lentur, Kuat Geser dan Pola Retak Balok", *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9 (1), 9-14.
- Zacoeb, A., (2014), Analisis Struktur I Deformasi Balok Sederhana, Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.