

# Prediksi Beban Maksimum, Lendutan dan Momen Kurvatur pada Balok Beton Pracetak Menggunakan Aplikasi *Response-2000*

*Prediction of Maximum Load, Deflection and Curvature Moment on Precast Concrete Beam Using Response-2000 Software*

**Alfajir M.Sarita, Hakas Prayuda, Fanny Monika**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**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:** balok, defleksi, beban maksimal, lendutan, momen, curvature, aplikasi *Response-2000*.

**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 software is in the form of deflection values, maximum loads, and moments of curvature. This research was conducted 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 of 150 mm, upper wing height of 160 mm, lower wing height of 150 mm upper wing width of 300 mm and lower wing height of 450 mm has a deflection of at least -95,248 mm and BU6 beam of 1080 mm, width 152 mm, upper wing height of 100 mm, lower wing height of 130 mm, upper wing width of 381 mm and lower wing width of 508 mm having a deflection of at most -114,471 mm. BU2 beam with a height of 1000 mm, width of 150 mm, wing height of 240 mm, wing height of 150 mm, wingspan of 300 mm and wingspan of 450 mm has the maximum maximum load of 81,265 kN / m and beam BU6 has the maximum maximum load 93,224 kN / m. BU2 beam has the smallest nominal moment of 1821,036 kNm and the BU6 beam has the largest nominal moment value of 2093,920 kNm.

**Keywords:** beam, deflection, maximum load, deflection, moment, curvature, *Response-2000* software.

## 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 diselimuti 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 cm<sup>3</sup>. 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.

Lubis dan Karolina (2017) melakukan perbandingan pada jenis – jenis girder, untuk mendapatkan jenis girder yang paling efektif maka tersebut, perbandingan yang dilakukan pada struktur atas jembatan yakni *slab* lantai jembatan, *deck slab*, *diafragma*, *Dapped End* serta *End Block*, hasil penelitian ini disimpulkan bahwa Jembatan U girder yang ditinjau dari lendutan, momen, dan tegangan mempunyai tingkat keefektifan lebih tinggi dibandingkan dengan I girder, pada penampang U girder membutuhkan jumlah tendon yang lebih banyak yakni 10 buah, sehingga memiliki gaya prategang yang lebih.

Sukarno dan Sulistyio (2011) menyatakan bahwa balok penampang T berlubang memanjang dengan memodelkan dua jenis balok benda uji yaitu balok beton bertulang. Pada pemodelan elemen hingga non linier tersebut hanya dibuat dua buah model yang mewakili sebagai pembanding, yakni sebuah model balok berlubang (BB) dan balok kontrol (BK), dari analisis disimpulkan bahwa analisis dengan program ATENA untuk balok berlubang (BB), balok control (BK) memberikan hasil hubungan beban lendutan yang hampir sama baik, kurva hubungan beban–lendutan, beban ultimit model numerik balok BB 96,71 % dari model eksperimen, sedangkan lendutan 135,96 % dari model eksperimen.

Haryanto (2011) melakukan pengujian pada 3 buah balok tampang T, yang masing-masingnya 1 balok tanpa perkuatan (BK), 1 balok diperkuat dengan 2 *wire rope* (BP1), dan 1 balok dipekuat dengan 4 *wire rope* (BP2). Dari penelitian ini disimpulkan benda uji BK mengalami keruntuhan lentur dengan kerusakan beton serat tekan terluar mulai terjadi pada saat mendekati beban maksimum, pada benda uji BP1 terjadi spalling pada saat tercapai beban maksimum sedangkan pada benda uji BP2 retak rambut antara lapisan mortar dan beton lama mulai terbentuk pada capaian beban rendah.

Amir dkk. (2011) melakukan penelitian dengan menggunakan beton jadi dan baja tulangan KS berdiameter S13 dan JKS berdiameter P6, tripleks dan kayu reng yang digunakan untuk bekisting serta *polyfoam* digunakan sebagai pengisi lubang. Dari hasil pengujian pada tiga silinder beton memperoleh

kuat tekan yang rata-rata sebesar 33,786 MPa dan kuat tarik baja tulangnya D13 dan P6 sebesar 428,532 MPa dan 340,179 MPa.

Nur (2009) meneliti pengaruh dari penambahan tulangan tekan pada daktilitas kurvatur balok beton bertulang dengan menggunakan 20 model balok beton bertulang rangkap dengan memvariasikan luas tulangan tekan serta luas tulangan tarik. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan disimpulkan bahwa enam bahan tulangan tekan pada balok beton bertulang tersebut, tidak banyak memberikan kontribusi pada peningkatan kekuatan balok namun sangat membantu dalam meningkatkan daktilitas kurvatur penampang.

Putra dkk. (2017) meneliti balok semi pracetak satu lapis dan dua lapis yang dibebani dengan metode dua beban (*two point loading*) di sepertiga panjang bentang balok. Berdasarkan dari hasil analisisnya dapat disimpulkan bahwa balok semi pracetak 1 lapis dan 2 lapis yang dianalisis mengalami retak yang diakibatkan oleh lentur, dikarenakan posisi terjadinya retak berada di daerah bidang lentur yang mengalami tegangan tarik, kekakuan balok semi pracetak meningkat seiring dengan penambahan dimensi tinggi balok semi pracetak.

Leo dan Agung (2017) akan membandingkan salah satu sistem girder prategang yang dinamakan sistem BH girder (*Bulb-Tee shape and Half-slab girder*) yang telah dikembangkan negara Korea dengan gelagar I (PC-I girder) yang umumnya digunakan di Indonesia. Dari hasil perhitungan, berat strand yang diperlukan BH-girder lebih kecil dibandingkan berat strand yang diperlukan oleh PC-I girder per jembatan untuk balok gelagar dengan tinggi yang sama. Persentase efisiensi tersebut cenderung meningkat sebanding dengan bentang girder dari 30,60 meter sampai dengan 35,60 meter.

### **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).

### **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.

### **Balok Melentur**

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.

### **Tegangan Lentur**

Wibowo dkk. (2011) menyatakan tegangan lentur merupakan suatu batang yang dikenakan oleh beban yang bekerja secara transversal pada sumbu pemanjangannya. Beban-beban tersebut menciptakan aksi internal atau resultan tegangan. Beban samping yang bekerja pada sebuah balok dapat menyebabkan balok melengkung atau melentur dengan demikian mendeformasikan sumbu balok menjadi suatu garis lengkung

### **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).

### **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).

### Aplikasi Response-2000

Aplikasi *Response-2000* merupakan suatu aplikasi yang dibuat berdasarkan *Modified Compression Field Theory* (MCFT) untuk elemen beton bertulang prismatic. 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).

## 2. Model Balok Beton Pracetak

Pemodelan balok dalam penelitian ini menggunakan balok beton pracetak berbentuk I dengan mutu baja ( $f_y = 240 - 210$ ) MPa dan mutu beton ( $f_c' = 30$ ) MPa dengan variasi dimensi dan posisi tulangan lentur yang berbeda-beda, serta menggunakan rasio tulangan 25 mm untuk tulangan lentur dan rasio tulangan 16 mm untuk tulangan geser dengan jarak sengkang 200 mm, dengan panjang bentang 10 meter.

Tabel 1. 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

Tabel 2. Penulangan dan panjang balok beton pracetak

Model Balok	Diameter Tulangan Pokok (mm)	Diameter Tulangan Sengkang (mm)	Panjang Bentang (mm)
BU1	10D25-10D25	D16-200	10
BU2	10D25-10D25	D16-200	10
BU3	10D25-10D25	D16-200	10
BU4	10D25-10D25	D16-200	10
BU5	10D25-10D25	D16-200	10
BU6	10D25-10D25	D16-200	10

## 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

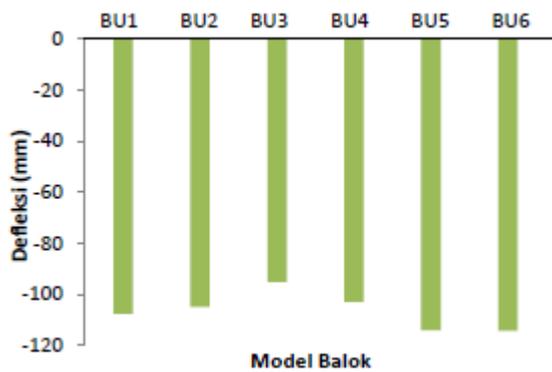
### Hasil pengujian defleksi

Dari hasil analisis aplikasi *Response-2000* dapat membandingkan nilai defleksi dari model balok dengan variasi dimensi dan posisi tulangan lentur dengan panjang bentang 10 meter.

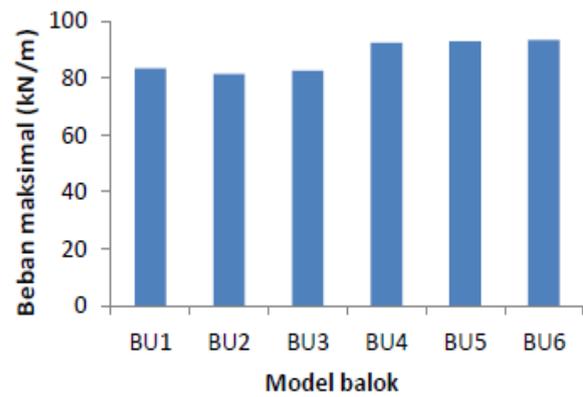
Tabel 3. Pengaruh defleksi terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter

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

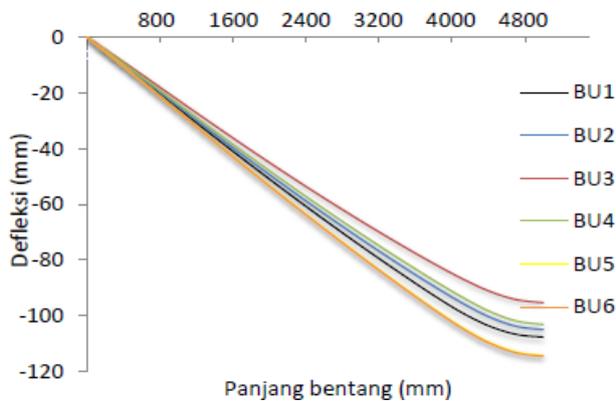
Tabel 3 menunjukkan bahwa pada balok beton pracetak dengan bentang 10 meter memiliki nilai defleksi yang berbeda-beda, hal ini disebabkan karena perbedaan dimensi dan posisi tulangan lentur dari balok tersebut yang berbeda-beda. Pada balok BU3 mempunyai nilai defleksi yang paling kecil dengan nilai defleksi sebesar -95,248 mm dan balok BU6 memiliki nilai defleksi yang paling besar dengan nilai defleksi sebesar -114,471 mm.



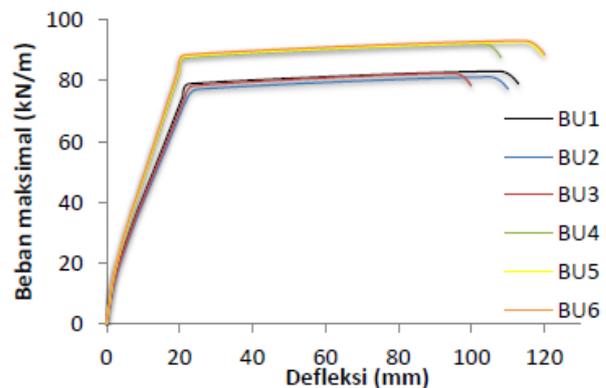
Gambar 1. Defleksi akibat variasi dimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter.



Gambar 3. Nilai beban maksimal akibat dari variasi dimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter.



Gambar 2. Hubungan panjang bentang dan defleksi balok beton pracetak.



Gambar 4. Hubungan beban maksimal dan defleksi balok beton pracetak.

### Hasil pengujian beban maksimal

Akibat dari berat balok beton pracetak itu sendiri sehingga menyebabkan terjadinya defleksi (lendutan) pada balok tersebut. Hasil analisis program *Response-2000* ditampilkan dalam bentuk data dan grafik.

Tabel 4. Pengaruh defleksi terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter

Model Balok	Beban maksimal (kN/m)
BU1	83.143
BU2	81.265
BU3	82.473
BU4	92.265
BU5	92.746
BU6	93.224

Tabel 4 serta Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa akibat dari variasi dimensi dan posisi tulangan lentur ini dapat mengakibatkan nilai beban maksimal yang berbeda-beda. Pada balok BU2 memiliki nilai beban maksimal yang paling kecil dengan nilai 81,265 kN/m dan balok BU6 memiliki beban maksimal yang paling besar dengan nilai 93,224 kN/m.

Tabel 5 Pengaruh nilai kekakuan terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter

Model Balok	Beban Maksimal (kN)	Defleksi (m)	Kekakuan (kN/m)
BU1	790	22,600	34,956
BU2	770	25,000	30,8
BU3	780	23,900	32,636
BU4	880	21,700	40,553
BU5	880	21,600	40,741
BU6	890	21,500	41,395

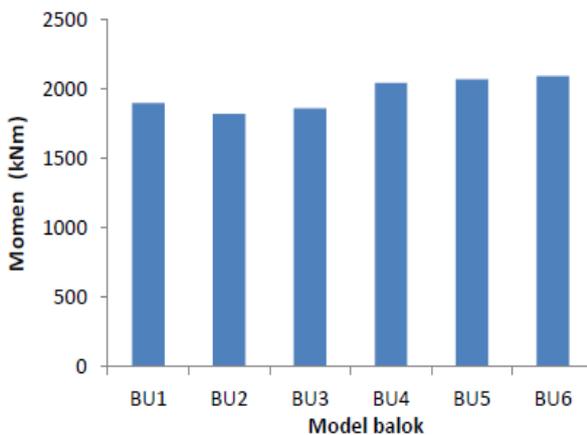
Tabel 5 menunjukkan bahwa pada pemodelan balok beton pracetak dengan variasi dimensi dan posisi tulangan lentur dengan panjang bentang 10 meter ini berpengaruh terhadap kekakuan pada masing-masing balok, dan kekakuan yang paling kecil yaitu pada balok BU2 dengan nilai kekakuan sebesar 30,8 kN/m dan pada balok BU6 memiliki nilai kekakuan yang paling besar dengan nilai sebesar 41,395 kN/m dan dapat kita ketahui bahwa selisih nilai kekakuan dari kedua balok beton pracetak tersebut cukup jauh berbeda ini disebabkan balok BU2 dan balok BU6 memiliki nilai tinggi dan lebar yang berbeda-beda.

### Hasil pengujian momen kurvatur

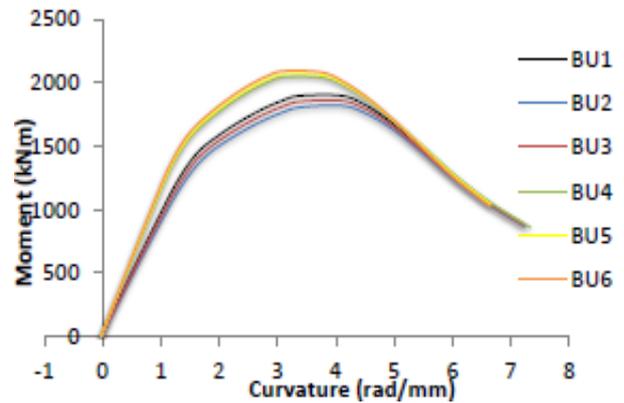
Nilai kelengkungan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya regangan pada saat terjadi lendutan akibat momen nominal pada balok beton pracetak. Hasil analisis aplikasi *Response-2000*.

Tabel 6. Pengaruh momen terhadap variasi dimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter

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



Gambar 5. Momen nominal akibat variasi deimensi dan posisi tulangan lentur balok beton pracetak bentang 10 meter.



Gambar 6. Hubungan momen dan kurvatur balok beton pracetak.

Tabel 6 serta Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa balok beton pracetak memiliki nilai momen nominal yang berbeda-beda ini disebabkan pengaruh dari variasi dimensi dan posisi tulangan lentur pada balok beton pracetak yang berbeda-beda. Pada balok BU2 memiliki momen nominal yang paling kecil dengan nilai 1821,036 kNm dan balok BU6 memiliki nilai momen nominal yang paling besar dengan nilai 2093,920 kNm.

Tabel 7. Pola retak pada balok beton pracetak

Model Balok	Pola Retak Awal (mm)	Pola 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

Dalam analisis aplikasi *Response-2000* menunjukkan pola retak pada balok beton pracetak. Bentuk pola retak pada masing-masing pemodelan balok beton pracetak memiliki pola retak yang berbeda-beda, hal ini disebabkan dari variasi dimensi dan posisi tulangan lentur pada balok beton pracetak yang berbeda-beda dengan panjang bentang 10 meter. Dapat dilihat pada Tabel 7 bahwa pola retak awal pada balok beton pracetak dengan nilai yang sama yaitu dimulai dari 0,01 sampai 0,02 namun balok BU2 memiliki pola retak awal dengan nilai sebesar 0,02 mm dan balok BU1 yang memiliki pola retak akhir yang paling kecil dengan nilai sebesar 7,00 mm lihat

gambar 4.7 ini disebabkan karena nilai tinggi dan lebar yang kecil dibandingkan dengan balok BU6 yang memiliki pola retak akhir yang paling besar dengan nilai sebesar 10,95 mm ini disebabkan nilai tinggi dan lebar.

Tabel 8. 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)	Selisih (kN/m)
BU1	83,145	14,934	68,211
BU2	81,265	14,034	67,231
BU3	82,473	14,875	67,598
BU4	92,265	17,649	74,616
BU5	92,746	17,912	74,834
BU6	93,224	18,158	75,066

Tabel 8 menunjukkan selisih antara pola retak beban maksimal dan pola retak awal balok beton pracetak. Dari hasil analisis besarnya pengaruh variasi dimensi dan posisi tulangan lentur tidak terlalu berpengaruh terhadap pola retak awal dan pola retak akhir namun pola retak awal yang paling kecil yaitu pada balok BU2 dengan nilai selisih sebesar 67,231 kN/m dan pola retak akhir yang paling besar yaitu pada balok BU6 dengan nilai selisih sebesar 75,066 kN/m ini disebabkan balok BU2 dan balok BU6 yang memiliki nilai tinggi atau dimensi dari kedua balok tersebut yang berbeda-beda. Balok BU2 memiliki nilai tinggi yang lebih kecil dibandingkan dengan balok BU6 yang memiliki nilai tinggi yang lebih besar dari balok BU2.

#### 4. 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 curvatur pada balok beton pracetak. Defleksi balok BU1 dengan nilai -107,619 mm, beban maksimal 83,143 kN/m, momen nominal 1900,887 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.

#### 5. Daftar Pustaka

- Amir, M.Y., Sulisty, D. dan Supriyadi. B., 2011, Perilaku Lentur pada Keadaan Layan dan Batas Balok Beton Bertulang Berlubang Memanjang, *Semesta Teknika*, 14 (1), 41-51.
- Bentz, E., 2000, *Sectional Analysis of Reinforced Concrete Members*, Ph.D Thesis, Departement 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.
- Haryanto, Y., 2011, Efektifitas *Wire Rope* Sebagai Perkuatan pada Daerah Momen Negatif Balok Beton Bertulang Tampang T, *Dinamika Rekayasa*, 7 (2), 36-42.
- Ishak, R.A. dan Irmiyanti., 2014, *Laporan Penulisan Modul Mekanika Teknik*, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Leo, E. dan Agung, N., 2017, Kajian Efisiensi *Bulb-Tee Shape And Half Slab Girder* Dengan *Blister* Tunggal Terhadap *PC-I*

- Girder, Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 1(1), 309-317.
- Lubis, F.P. dan Karolina, R., 2017, Analisa Perbandingan Kelayakan pada Gelagar Jembatan dengan Menggunakan Precast U dan I, *Jurnal Teknik Sipil*, 6 (1), 1-8.
- Malini, R.D., 2008, *Analisis Pengaruh Dimensi Balok dan Kolom Portal terhadap Lebar Retak pada Bangunan, Laporan Skripsi*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.
- Nur, O.F., 2009, Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Daktilitas Kurvatur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5 (1), 23-34.
- 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.
- Putra, B.R., Ismeddiyanto. dan Djauhari, Z., 2017, Analisis Kuat Lentur Murni Sistem Balok Bataton Semi Pracetak, *Jurnal Teknik Sipil*, 4 (1), 1-12.
- Rahmat. dan Satmoko. A., 2012, Analisis Kekuatan Landasan Aluminium pada Perangkat Brakiterapi Medium Doserate, *Prima*, 9 (1), 1-10.
- Sukarno, P., Muslikh. dan Sulistyono, D., 2011, Analisis Lentur Balok Penampang T Berlubang Memanjang Menggunakan Metode Elemen Hingga Non-linier. *Semesta Teknika*, 14 (1), 1-14.
- 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.
- Wibowo, B., Maulanie, E. dan Hariyanto, D., 2011, *Bahan Ajar Mekanika Rekayasa 2, Institut Teknologi Sepuluh November*, Surabaya
- Zacoeb, A., 2014, *Analisis Struktur I Deformasi Balok Sederhana*, Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.