Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru
ISBN: 978-979-792-636-6

FAKTOR DAKTILITAS KURVATUR BALOK BETON BERTULANG MUTU NORMAL (PEMANFAATAN *OPEN SOURCE RESPONSE2000*)

Heru Satiadi[1], Zulfikar Djauhari[2], dan Reni Suryanita[3]

[1] Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
[2 dan 3] Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
herusatiadi@gmail.com

ABSTRAK

Perilaku daktail suatu balok beton bertulang salah satunya dapat dilihat dari nilai daktilitas kurvatur. Parameter yang digunakan untuk menentukan nilai daktilitas kurvatur adalah momen dan kurvatur. Salah satu alat bantu yang memudahkan untuk menganalisis parameter tersebut adalah *Response2000*. Program *Response2000* merupakan salah satu program yang dapat digunakan untuk menganalisis berbagai perilaku balok beton bertulang, salah satu output yang dapat dihasilkannya adalah kurva hubungan momen dan kurvatur. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji output dari *Response2000* tersebut. Oleh karena itu untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan pemodelan balok beton bertulangan tunggal tanpa sengkang, dengan pemberian variasi pada mutu beton, mutu baja tulangan longitudinal, dan diameter tulangan longitudinal. Model yang dianalisis berjumlah 12 model. 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.

Kata kunci: *balok, daktilitas, kurvatur, momen-kurvatur, Response2000*

1. PENDAHULUAN

Perencanaan elemen atau komponen struktur beton pada daerah yang memiliki resiko kegempaan, haruslah memperhatikan kemampuan deformasi elemen struktur tersebut. Deformasi elemen struktur harus melampaui batas deformasi elastiknya tanpa kehilangan kemampuan untuk memikul beban-beban yang telah direncanakan. Dengan kata lain, elemen struktur beton harus direncanakan memiliki perilaku yang daktail.

Perencanaan seismik komponen struktur beton mengharapkan bahwa meskipun telah terjadi pembentukan sendi plastis pada penampang kritis, penampang tersebut dalam beberapa siklus masih mampu menahan deformasi inelastik tanpa kehilangan kemampuan yang signifikan untuk memikul beban rencana. Sifat penampang elemen struktur beton yang memiliki kemampuan ini dikenal sebagai penampang yang daktail, sedangkan kemampuannya disebut sebagai kapasitas daktilitas.

Daktilitas dikenal juga sebagai kemampuan deformasi suatu elemen (*members*) / struktur (*structures*) setelah leleh pertama. Daktilitas juga merupakan ukuran kapasitas disipasi energi dari elemen atau struktur. Istilah daktilitas dapat dikenakan pada suatu bahan (*material ductility*), penampang (*section ductility*), komponen (*member ductility*), dan struktur (*structure ductility*). Secara berurutan, bahan memiliki sifat daktilitas yang terkecil, hingga struktur yang memiliki sifat daktilitas terbesar.

Pada struktur beton, semua hal di atas diharapkan memberikan kontribusi bagi daktilitas struktur beton tersebut. Meskipun demikian, makalah ini membatasi kajian pada penampang yang bersifat lentur saja, yakni penampang balok beton bertulang yang memiliki mutu material normal. Kajian literatur menunjukkan bahwa daktilitas penampang beton bertulang dipengaruhi oleh karakteristik beton, karakteristik baja tulangan longitudinal, karakteristik tulangan transversal, karakteristik penampang, dan karakteristik pembebanannya.

Oleh karena untuk menganalisis daktilitas penampang beton bertulang sangat dipengaruhi oleh karakteristik-karakteristik di atas, maka analisis menggunakan cara konvensional (*hand calculation*) biasanya rumit dan membutuhkan waktu yang lama. Selanjutnya oleh beberapa peneliti telah dikembangkan program-program

ISBN: 978-979-792-636-6

untuk menghitung daktilitas penampang beton bertulang, akan tetapi program-proram tersebut umumnya masih memiliki keterbatasan. Misalnya program tersebut didesain hanya untuk penampang persegi atau bulat saja, atau output dari program belum interaktif sehingga sulit difahami, atau program-program yang tersedia merupakan program berbayar.

Saat ini untuk membantu menghitung daktilitas penampang sejak dua dasarwarsa yang lalu telah dikembangkan suatu program sumber terbuka (*open sources*) yang bernama *Response 2000*. Program ini dapat meminimalkan kekurangan-kekurangan di atas. Program *Response2000* merupakan program yang dikembangkan oleh Evan Bentz yang dengan mudah dapat digunakan untuk menganalisis respons balok beton bertulang berupa momen lentur, gaya geser, dan kurvatur. Asumsi yang digunakan dalam program ini diantaranya adalah *plane section remain plane after bending* dan tidak adanya loncatan tegangan sepanjang penampang.

Sehingga tujuan dari makalah ini adalah untuk mengelaborasi kemampuan *Response 2000* untuk memprediksi daktilitas penampang balok beton bertulang dengan pemberian variasi terhadap karakteristiknya. Kajian dibatasi pada penampang beton bertulang tanpa tulangan transversal atau tulangan pengekangan (*confinement reinforcement*) serta material baik beton maupun baja merupakan material mutu normal (*normal strength*).

2. METODOLOGI

Metodologi pada tulisan ini dimulai dengan memodelkan balok beton bertulang yang akan dianalisis menggunakan program *Response2000*. Kemudian dilakukan analisis hubungan momen dan kurvatur yang dihasilkan program *Response2000* dan nilai daktilitas kurvatur.

Pemodelan Balok

Penelitian ini dimulai dengan memodelkan balok beton bertulangan tunggal tanpa sengkang pada *software Response2000*. Model dan variasi parameter dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Model Balok

Kombinasi	Besaran
Lebar Penampang (mm)	300
Tinggi Penampang (mm)	600
Tebal Selimut Beton (mm)	40
Jumlah Tulangan Longitudinal	3

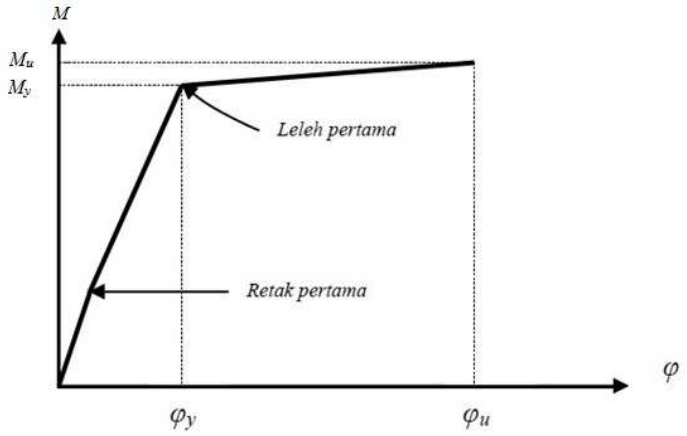
Tabel 2. Variasi Parameter

No	Mutu Beton (f_c') (MPa)	Mutu Baja Tulangan Longitudinal (f_y) (MPa)	Diameter Tulangan (D) (mm)
1	22	420	22
2	24	420	22
3	26	420	22
4	28	420	22
5	28	240	22
6	28	270	22
7	28	300	22
8	28	320	22
9	28	420	16
10	28	420	19
11	28	420	20
12	28	420	22

ISBN: 978-979-792-636-6

Defenisi Daktitias Kurvatur

Defenisi daktilitas kurvatur yang digunakan untuk menghitung hasil luaran dari Response 2000 adalah defenisi yang didasarkan kepada rasio kurvatur pada saat ultimet terhadap leleh pertama tulangan longitudinal (Park, 1991).



Gambar 1. Hubungan Trilinier Momen-Kurvatur (Park & Paulay, 1975)

Hubungan trilinier momen-kurvatur diperlihatkan pada Gambar 1. Fase pertama menuju retak, kedua hingga tegangan baja tulangan mencapai leleh, dan ketiga batas kemampuan regangan beton tercapai.

Analisis Momen-Kurvatur menggunakan *Software Response2000*

Setelah proses pemodelan selesai, dilakukan analisis balok beton bertulang menggunakan program *Response2000.* Kemudian diperoleh *output* berupa kurva hubungan momen dan kurvatur. Dalam analisis ini, hubungan momen dan kurvatur ditampilkan dalam bentuk nilai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang akan dijabarkan pada makalah ini yaitu hasil analisis program *Response2000* berupa hubungan momen dan kurvatur dengan pemberian variasi terhadap parameter mutu beton, mutu baja tulangan longitudinal dan diameter tulangan longitudinal.

Pengaruh Variasi Mutu Beton

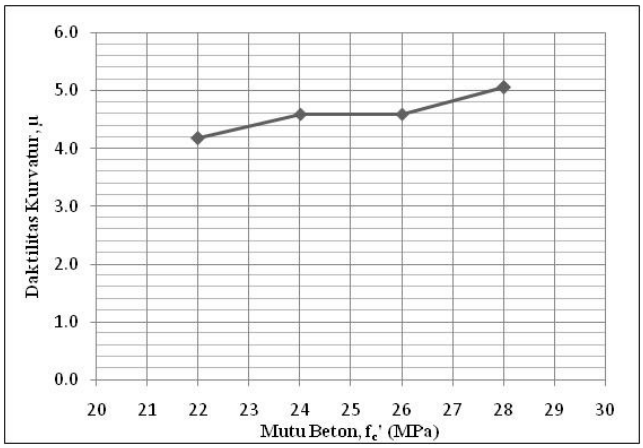
Hasil analisis program *Response2000* dengan pemberian variasi mutu beton ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Moment-Kurvatur dengan Variasi Mutu Beton

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

Tabel 3 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. Sementara untuk nilai daktilitas kurvatur, semakin meningkat mutu beton, maka semakin meningkat daktilitas kurvatur, seperti terlihat pada Gambar 2. Hal ini disebabkan karena nilai faktor garis netral dan tinggi blok tegangan tekan persegi ekivalen menurun. Sehingga lebih lanjut menyebabkan φ_y menurun, sedangkan φ_u meningkat. Bertambahnya regangan beton pada serat ekstrem saat kondisi *ultimate* juga meningkatkan daktilitas kurvatur karena nilai φ_u meningkat.

ISBN: 978-979-792-636-6



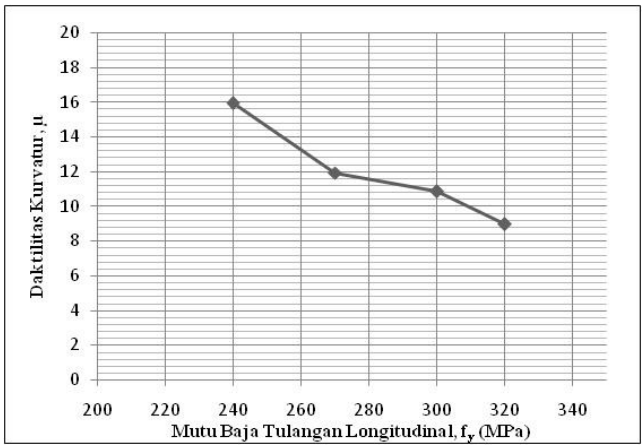
Gambar 2. Kurva Mutu Beton-Daktilitas Kurvatur

Pengaruh Variasi Mutu Baja Tulangan Longitudinal

Hasil analisis *software Response2000* dengan pemberian variasi terhadap mutu baja tulangan longitudinal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Moment-Kurvatur dengan Variasi Mutu Baja Tulangan Longitudinal

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 3. Kurva Mutu Baja Tulangan Longitudinal-Daktilitas Kurvatur

Tabel 4 memperlihatkan 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_y mengalami peningkatan dan pada φ_u mengalami penurunan. Sementara untuk nilai daktilitas kurvatur sendiri mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya mutu baja tulangan, seperti terlihat pada Gambar 3. Bertambahnya mutu baja tulangan longitudinal akan menurunkan daktilitas kurvatur karena nilai f_y/E_s dan tinggi blok tegangan tekan persegi ekivalen meningkat. Dengan demikian, nilai φ_y meningkat, sedangkan φ_u menurun.

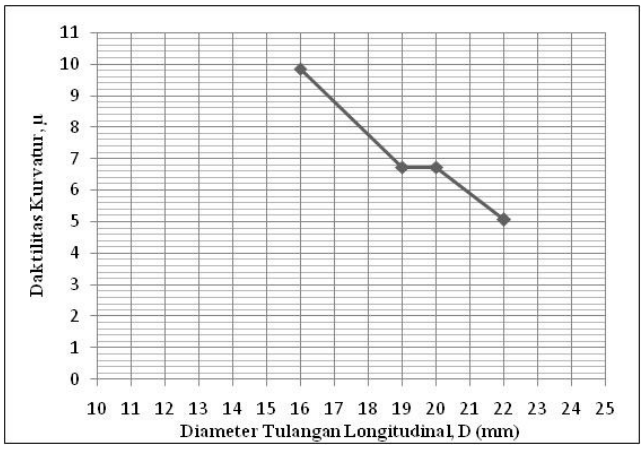
Pengaruh Variasi Diameter Tulangan Longitudinal

Hasil analisis *software Response2000* dengan pemberian variasi terhadap diameter tulangan longitudinal dapat dilihat pada Tabel 5.

ISBN: 978-979-792-636-6

Tabel 5. Hasil Analisis Moment-Kurvatur dengan Variasi Diamater Tulangan Longitudinal

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 4. Kurva Diameter Tulangan Longitudinal-Daktilitas Kurvatur

Tabel 5 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 meyebabkan nilai φ_y mengalami peningkatan dan pada φ_u mengalami penurunan. Seperti terlihat pada Gambar 4, 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 ekivalen meningkat. Dengan demikian, φ_y meningkat, sedangkan φ_u mengalami penurunan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari kajian pemanfaatan program *Response2000* ini, adalah:

a. Peningkatan mutu beton menyebabkan meningkatnya kapasitas M_{cr}, M_y dan M_u. Sementara untuk nilai φ_{cr} dan φ_y mengalami penurunan, namun pada φ_u mengalami peningkatan. Secara mekanik, semakin meningkat mutu beton, maka semakin meningkat daktilitas kurvatur.
b. Peningkatan mutu baja tulangan longitudinal tidak menyebabkan perubahan pada M_{cr}, namun di sisi lain menyebabkan meningkatnya M_y dan M_u. Untuk nilai φ_{cr} tidak mengalami perubahan, namun φ_y mengalami peningkatan dan pada φ_u mengalami penurunan. Secara mekanik, semakin meningkat mutu baja tulangan maka semakin menurun daktilitas kurvatur.
c. Peningkatan diameter tulangan, menyebabkan meningkatnya M_{cr}, M_y, dan M_u. Sedangkan untuk nilai kurvatur, dengan peningkatan diameter tulangan tidak menyebabkan perubahan pada nilai φ_{cr}, namun di sisi lain meyebabkan nilai φ_y mengalami peningkatan dan pada φ_u mengalami penurunan. Secara mekanik, semakin meningkat diameter tulangan maka semakin menurun daktilitas kurvatur.

DAFTAR PUSTAKA

Amir, F. (2012). *Analisis Perbandingan Pengujian Lentur Balok Tampang Persegi Secara Eksperimental Di Laboratorium dengan Program Response 2000*. MEKTEK, 12(3).

Bentz, E. C. (2000). *Sectional Analysis of Reinforced Concrete Members* (Doctoral dissertation, University of Toronto).

Kwak, H. G., & Kim, S. P. (2002). "Nonlinear analysis of RC beams based on moment–curvature relation". *Computers & structures*, *80*(7), 615-628.

ISBN: 978-979-792-636-6

Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced concrete structures*. John Wiley & Sons.

Park, R. (1991). Ductility of structural concrete. In *IABSE Colloquium, Stuttgart*.

Youcef, Y. S., & Chemrouk, M. (2012, November). Curvature Ductility Factor of Rectangular Sections Reinforced Concrete Beams. In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* (No. 71, p. 994). World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET).