

# **POLA RETAK LENTUR GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN ORTHOTROPIC MODEL**

**Dedi Budi Setiawan**

*Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. Soedharto, Semarang, 50275  
Email : jwahana\_tspolines@yahoo.com*

## **Abstract**

*Test the load to collapse needed to test the reliability of the structure , ie by knowing the maximum load that can be borne by the structure. The process of bending and deflection of reinforced concrete beams is also necessary for students to understand the world of construction and reinforcement due to shear or bending , through experimental studies and numerical studies. Whereas laboratory tests conducted on relatively more expensive. One solution to the numerical methods are finite element methode. The main purpose of this research is to create a simulation of bending, deflection, maximum load and cracking for reinforced concrete beam with orthotropic models. So the simulation of bending, deflection, maximum load and cracks can be represented with this program without always perform laboratory testing. Program performance is analyzed based on laboratory test results and literature. The pattern of cracked beam bending shear formed shows the influence of concentrated loads are in the area moment of pure, cracks formed experiencing slope indicating still have a shear work but further away from the location of concentrated load slope becomes increasingly erect indicating less influence concentrated load , While near the pedestal cracks experiencing tilt direction marks in those areas experiencing the combined effects of shear stress and maximum normal stresses are close to zero and the impact of support reaction. The pattern of cracked beam bending pure looks toward the crack perpendicular to the horizontal axis beam this is due to the absence of shear stress working along the span structure, in the absence of shear strain, the strain off the main drag parallel to the horizontal axis and direction cracked up to be perpendicular direction tensile strain, this corresponds to the existing reference.*

**Kata kunci** : *finite element, reinforced concrete beams, crack pattern*

## **PENDAHULUAN**

Beton bertulang merupakan bahan paduan antara beton dengan tulangan yang masih dianggap sebagai bahan bangunan yang memenuhi kehendak para ahli bangunan. Ini beralasan karena beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, bahan-bahan pembentuknya mudah didapat, tahan terhadap temperatur tinggi, tahan

korosi dan mudah dibentuk. Akan tetapi material beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga umumnya penggunaan material beton selalu ditambahkan material baja tulangan untuk mengeliminir kelemahan beton tersebut karena baja tulangan mempunyai kuat tarik yang tinggi.

Kondisi lentur, lendutan, beban maksimum dan retak pada balok beton

---

bertulang merupakan suatu permasalahan yang sangat kompleks. Hal ini yang banyak orang mengkaji untuk mengetahui perilaku struktur beton bertulang. Perilaku lendutan, beban maksimum dan retak untuk balok beton bertulang sangat diperlukan bagi mahasiswa dan dunia konstruksi untuk memahami pola kehancuran karena geser atau lentur, dan pola kehancuran karena daktail dan non daktail. Karena pada non daktail menyebabkan keruntuhan yang tiba-tiba akibat beban yang bekerja (bisa beban gempa). Dengan keruntuhan tiba-tiba menyebabkan banyak timbulnya korban jiwa bila terjadi gempa bumi. Ini diperlukan simulasi keruntuhan daktail dan non daktail.

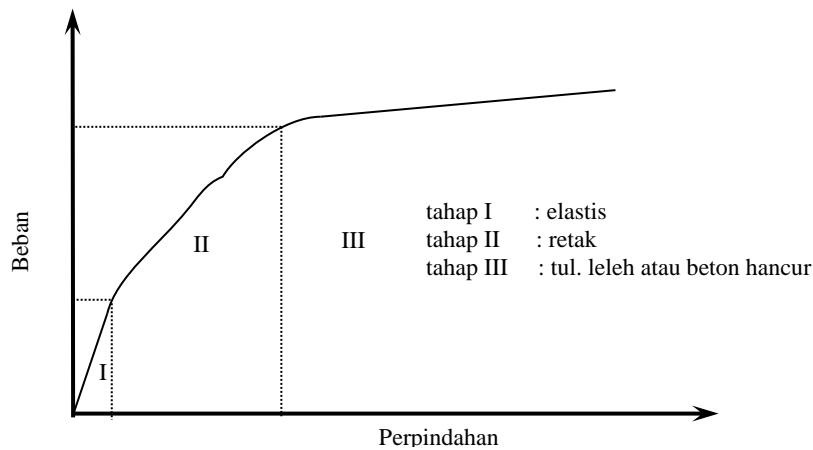
Untuk mengetahui beban batas dan perilaku struktur yang dibebani maka uji eksperimental menjadi alat utama untuk mengevaluasi keandalan metode analitis yang digunakan. Dalam perkembangannya, uji simulasi komputer dengan m.e.h dapat mengurangi jumlah materi uji yang harus dilakukan dalam uji eksperimental, sehingga biayanya dapat dikurangi. Tujuan penelitian ini adalah membuat simulasi lentur, lendutan, beban maksimum dan retak untuk balok beton bertulang dengan *orthotropic model* untuk mendapatkan model analitis *finite element* yang dapat merepresentasikan perilaku nonlinieritas material.

## METODE PENELITIAN

Bentuk respon struktur beton bertulang dapat dilihat pada gambar 1, dimana bentuk linier terjadi pada tahap awal pembebanan sampai terbentuknya retak pertama kali, setelah terjadi retak hubungan beban perpindahan menjadi *nonlinear*. Chen (1982) dan Kwak et al. (1990) membagi respon struktur beton bertulang menjadi tiga tahap, yaitu : tahap elastis (*uncrack*), perambatan retak (*crack propagation*) dan tahap dimana tulangan leleh atau terjadi kehancuran beton pada daerah tekan.

Dewobroto (2005) mengemukakan perilaku nonlinier setelah retak juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti hubungan konstitutif tegangan-regangan beton yang memang nonlinier dan berbeda antar kondisi tarik dan tekan, *bond slip* antara beton dan tulangan, ikatan antar agregat pembentuk beton, *dowel action* pada retak yang melintasi tulangan serta rangkai dan susut.

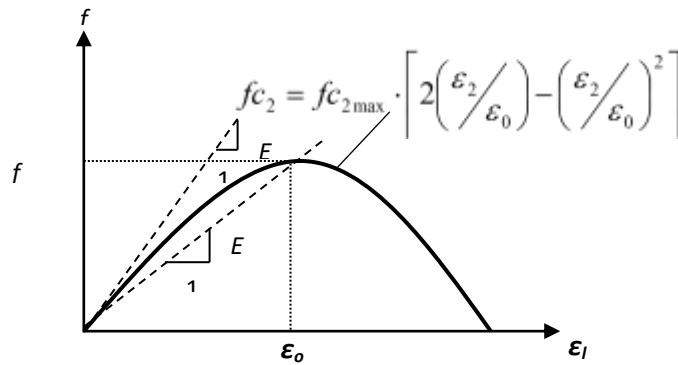
Vecchio (1989) memformulasikan bahwa tegangan utama tekan beton  $f_c$  sebagai parameter yang tidak hanya tergantung pada regangan utama tekan  $\epsilon_2$  saja tetapi juga merupakan fungsi dari regangan utama tarik  $\epsilon_1$  seperti terlihat pada gambar 2. Kurva pada gambar 2 merupakan hubungan tegangan-regangan beton pada arah utama tekan.



Gambar 1. Respon struktur beton bertulang

$$f_{c2} = f_{c2max} \times \left[ 2 \left( \frac{\epsilon_2}{\epsilon_0} \right) - \left( \frac{\epsilon_2}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$\epsilon_0$  = regangan tekan beton pada saat tegangan mencapai puncak  
 $\epsilon_1$  = regangan tarik beton  
 $f_{c2max}$  = kuat tekan beton pada awal retak



Gambar 2. Hubungan konstitutif tegangan-regangan beton pada arah utama tekan, Vecchio (1989)

$$f_{c2max} = \frac{-f_c'}{0.8 - 0.34 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}} \quad (2)$$

Vecchio (1989) juga memodelkan hubungan tegangan-regangan beton pada arah utama tarik seperti nampak pada gambar 3. Kurva yang terbentuk sebelum mencapai

regangan retak ( $\epsilon_{cr}$ ) berupa hubungan linier dengan persamaan 3.

$$f_{c1} = E_c \times \epsilon_1 \quad (3)$$

Untuk regangan yang lebih besar dari regangan retak ( $\epsilon_{cr}$ ).

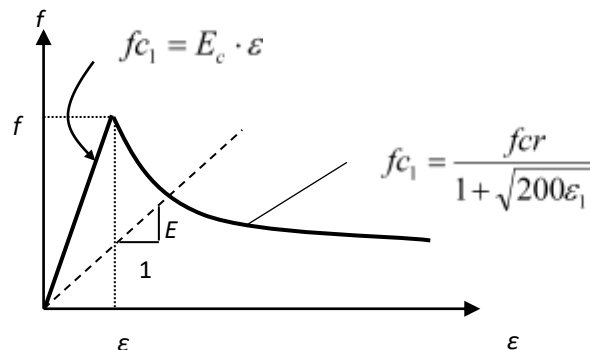
$$f_{c1} = \frac{f_{cr}}{1 + \sqrt{200}\epsilon_1} \quad (4)$$

Dimana :

$f_{cr}$  : tegangan retak beton

$f_{c1}$  : tegangan utama tarik

$E_c$  : Modulus elastisitas beton



Gambar 3. Hubungan tegangan-regangan beton pada arah utama tarik, Vecchio (1989)

Kekuatan tarik beton lebih sulit diukur dibanding kuat tekannya karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Ada sejumlah metoda yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik dan yang paling sering digunakan adalah tes pembelahan silinder. Selain itu juga digunakan *rupture*  $f_r'$ . Nawy, Park dan Paulay (1975) menentukan besarnya modulus *rupture* seperti persamaan (3.5) sementara Vecchio menentukan nilai  $f_{cr}$  sama dengan tegangan tarik  $f_t'$ .

$$f_r' = 1.09 \times f_{ct}' \leq 7.5 \times \sqrt{f_c'} \text{ (psi)} \quad (5)$$

$f_{ct}'$  : kuat tarik beton dari uji pembelahan

$f_c'$  : kuat tekan beton

Nilai modulus tarik beton sesuai dengan *State of the Art Report (ASCE)*

$$f_t' = 0.33 \times \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)} \quad (6)$$

Dalam menyelesaikan analisis struktur beton bertulang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya digunakan analisis studi *numeric* dengan metoda *finite element*. Setelah itu hasilnya

divalidasi dengan data-data dari penelitian, juga dengan hasil uji eksperimental, hal ini dilakukan sebagai kontrol terhadap keakuratan data yang dihasilkan. Studi numerik dalam penelitian ini digunakan untuk memprediksi pola retak, lendutan dan beban maksimum balok beton bertulang.

Struktur beton bertulang yang dianalisis dalam penelitian ini ditinjau sebagai struktur dua dimensi tegangan bidang (*plane stress*). Elemen beton menggunakan elemen *quadrilateral* delapan titik nodal sedangkan tulangan mengambil model *diskrite* untuk arah longitudinal dan *distributed (smeared)* untuk arah transversal. Data-data yang dibutuhkan sebagai *input* program, didapat dari hasil penelitian baik secara numerik maupun eksperimental, antara lain :

- (a) Geometrik spesimen balok beton bertulang.
- (b) Kuat tekan, kuat tarik beton dan modulus elastisitas beton.

(c) Dimensi penampang, tegangan leleh dan modulus elastisitas tulangan.

Dari data-data yang dihasilkan kemudian dilakukan validasi berdasarkan tujuan penelitian seperti yang dijelaskan, dengan cara membandingkan hasil pola retak yang didapat dengan hasil studi literatur.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses simulasi lentur, lendutan dan keruntuhan model struktur beton bertulang yang diberi beban secara bertahap. Pada setiap tahapan beban akan terjadi redistribusi tegangan yang mungkin dapat menimbulkan retak dan bahkan keruntuhan total.

#### Balok Lentur Geser (Balok D)

Tujuan dari pengujian balok D adalah memperlihatkan pola retak yang

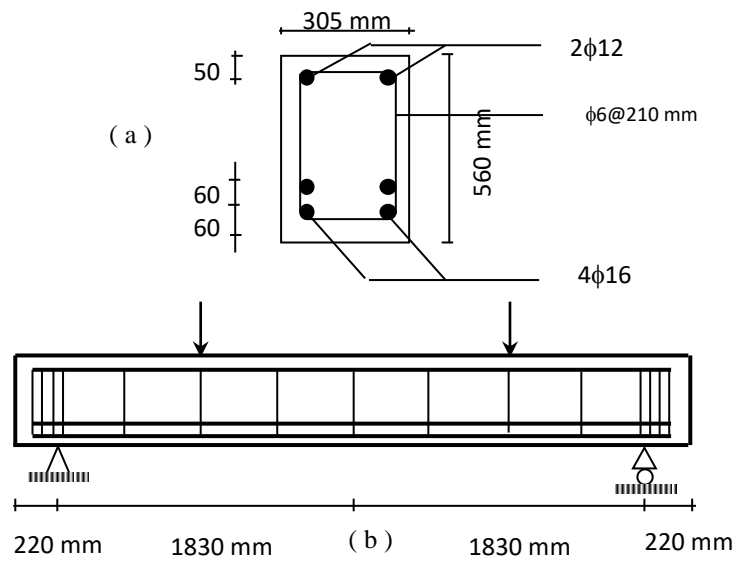
$f_y = 555 \text{ MPa}$	$E_s = 217882 \text{ MPa}$
$f_y = 345 \text{ MPa}$	$E_s = 200000 \text{ MPa}$
$f_y = 325 \text{ MPa}$	$E_s = 200000 \text{ MPa}$

Pola retak balok lentur geser yang terbentuk menunjukkan adanya pengaruh dari beban terpusat yaitu pada daerah momen murni, retak yang terbentuk mengalami kemiringan yang menandakan masih terdapatnya tegangan geser yang bekerja akan tetapi semakin menjauhi lokasi beban terpusat kemiringan menjadi semakin

terbentuk di daerah momen konstan pada balok yang dibebani oleh dua beban titik selain itu menguji pengaruh beban terpusat pada arah retak yang terbentuk. Penampang struktur balok yang diuji adalah balok D dengan dua buah beban titik, lebar penampang 305 mm, tinggi 553 mm. Panjang balok keseluruhan 4100 mm, dengan jarak tepi ke tumpuan sederhana 220 mm, tulangan yang digunakan adalah tulangan tarik memanjang  $4\phi 16$ , tulangan tekan  $2\phi 12$  dan sengkang  $\phi 6 @ 210 \text{ mm}$ . Material beton yang digunakan mempunyai propertis sebagai berikut : kuat tekan beton  $f'_c = 24.1 \text{ MPa}$ , modulus elastisitas  $E_c = 23215.5 \text{ MPa}$ , *Poisson ratio*  $\nu = 0.2$  sedangkan propertis material baja yang digunakan adalah sebagai berikut :

untuk tulangan $\phi 16$
untuk tulangan $\phi 12$
untuk tulangan $\phi 6$

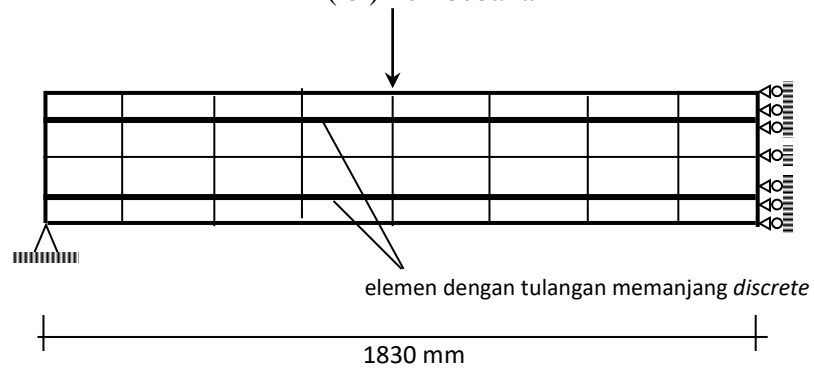
tegak yang menandakan berkurangnya pengaruh beban terpusat. Sedangkan di dekat tumpuan arah retak mengalami kemiringan ini menandakan di daerah tersebut mengalami kombinasi pengaruh tegangan geser yang maksimal dan tegangan normal yang mendekati nol serta pengaruh reaksi tumpuan.



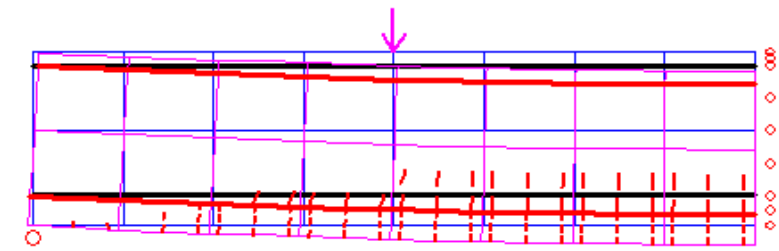
Gambar 4. Struktur balok D

(a) Penampang

(b) Pembebanan



Gambar 5. Pemodelan balok lentur geser

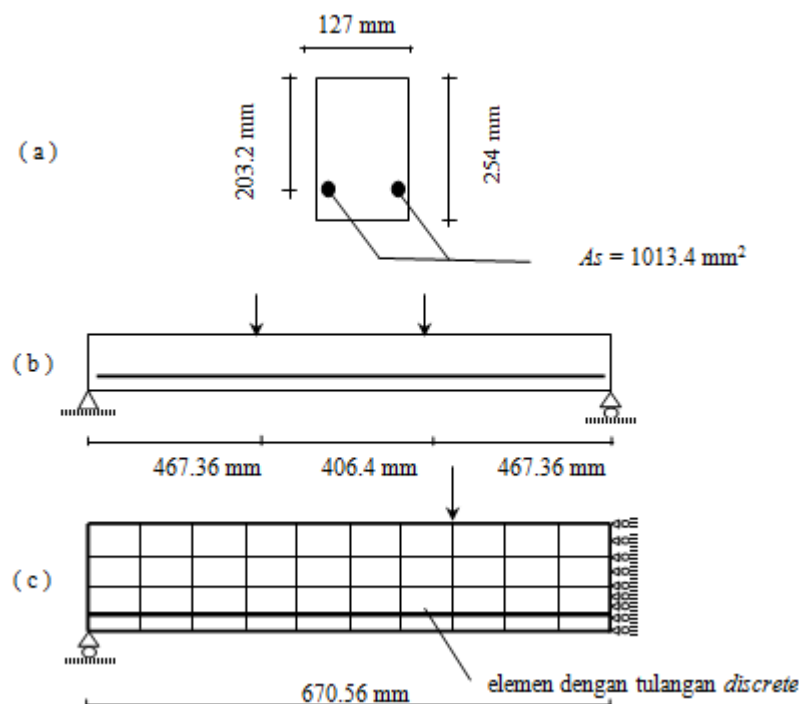


Gambar 6. Pola retak balok lentur geser

### Balok Dominasi Geser (Balok E)

Balok E ini mempunyai dimensi penampang lebar 127 mm dan tinggi total 254 mm dengan tebal selimut beton 50.8 mm. Balok E ini diberi tulangan tunggal yaitu 2#8 dengan luas tulangan 1013.4 mm<sup>2</sup> tanpa

menggunakan tulangan geser. Panjang bentang struktur dari sendi ke rol 1341.12 mm. Balok ini dikenakan dua beban terpusat yang simetris sehingga analisis cukup dilakukan setengah bentang.



Gambar 7. Struktur balok E

- (a) Penampang balok
- (b) Pembebanan
- (c) Diskritisasi balok A4 ( 40 elemen )

Propertis material beton yang digunakan adalah kuat tekan beton  $f'_c = 66.12 \text{ MPa}$ , modulus elastisitas beton  $E_c = 35093 \text{ MPa}$  dan *Poisson ratio*  $\nu = 0.2$  sedangkan propertis material baja adalah tegangan leleh  $f_y = 413 \text{ MPa}$  dan modulus elastisitasnya  $E_s = 200000 \text{ MPa}$ . Penampang dan perletakan tumpuan dan pembebanan struktur diperlihatkan seperti pada gambar 9. Struktur balok E selain ditulangi *over reinforced* juga

mempunyai ratio  $a/d = 2.3$ , struktur demikian cenderung dominan berperilaku geser dibanding lentur.

Ketiga respon struktur tersebut menunjukkan perubahan yang signifikan, hal ini disebabkan struktur balok E merupakan struktur balok dengan perbandingan rasio bentang geser dengan tinggi efektif balok  $a/d = 2.3$  yang cenderung berperilaku geser. Sedangkan untuk struktur balok F mempunyai rasio  $a/d = 4$  yang

cenderung berperilaku lentur sehingga perubahan  $\beta$  kurang memberikan perbedaan yang signifikan.

Respon struktur dominasi geser seperti balok E menunjukkan deviasi yang lebih besar dibandingkan dengan struktur dengan dominasi lentur seperti balok F, hal ini dikarenakan tulangan struktur dengan dominasi geser mengalami degradasi kekakuan yang diakibatkan pengaruh *dowel action* yang tidak ditinjau pada penelitian ini.

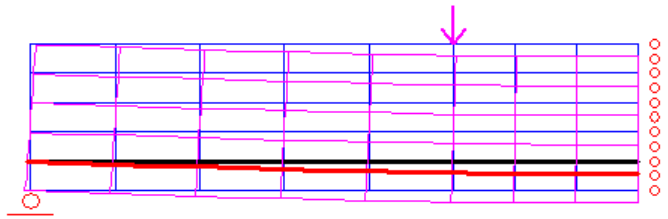
Pada pembebanan 20 KN belum terjadi retak, beton baru mengalami deformasi. Retak pertama kali terbentuk pada pembebanan 40 KN dan terjadi pada elemen yang memiliki tulangan, hal ini dikarenakan terbentuknya retak didasari oleh terlampauinya tegangan tarik sementara elemen yang mempunyai tulangan memiliki kekakuan yang lebih besar dibanding elemen yang tidak memiliki tulangan sehingga tegangan yang terjadi pada elemen ini menjadi lebih besar dibanding elemen yang tidak memiliki tulangan. Pola retak pada beban awal menunjukkan arah yang tegak lurus di daerah momen murni, akan tetapi seiring dengan bertambahnya beban retak yang timbul tidak tegak lurus hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi tegangan terutama di sekitar beban terpusat.

### **Balok Lentur Murni (Balok F)**

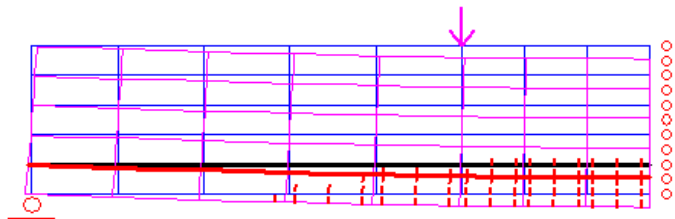
Tujuan dari penyelidikan balok lentur murni adalah untuk mengetahui pola retak yang terbentuk ketika suatu struktur beton bertulang hanya menerima tegangan normal tanpa terpengaruh adanya tegangan geser. Sampel balok lentur murni yang digunakan merupakan studi numerik dengan validasi pola retak berdasar pada tinjauan pustaka. Struktur ini diletakkan secara sederhana dengan tumpuan sendi dan rol serta mempunyai propertis material sebagai berikut, kuat tekan beton  $f'_c = 38$  MPa, modulus elastisitas beton  $E_c = 28973$  MPa dan *Poisson ratio*  $\nu = 0.2$ . Penampang, tumpuan dan pembebanan struktur diperlihatkan pada gambar 9.

Pembebanan yang diberikan pada struktur merupakan menggunakan dua gaya yang saling berlawanan yang membentuk kopel dengan suatu jarak tertentu. Beban titik yang merupakan gaya tarik dan tekan diberikan pada kedua daerah tumpuan sendi dan rol. Sumbu netral balok diasumsikan berada pada setengah tinggi balok, besarnya momen lentur yang diterapkan pada struktur dapat dihitung dengan cara mengalikan beban terpusat dengan lengan kopel.

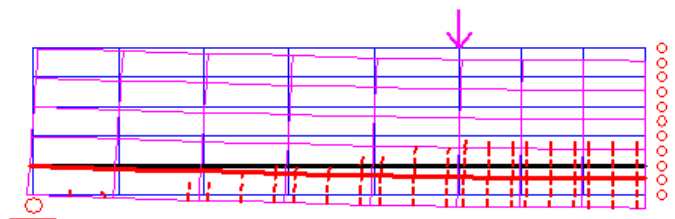
20 KN



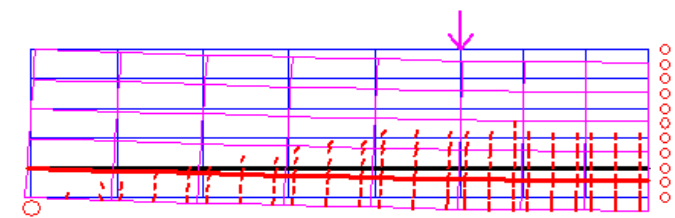
40 KN



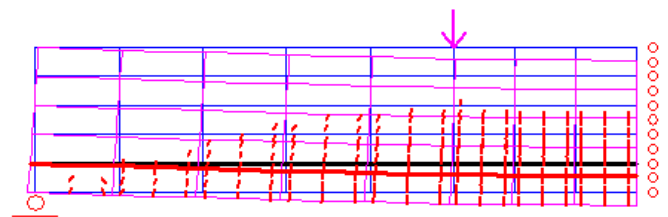
60 KN



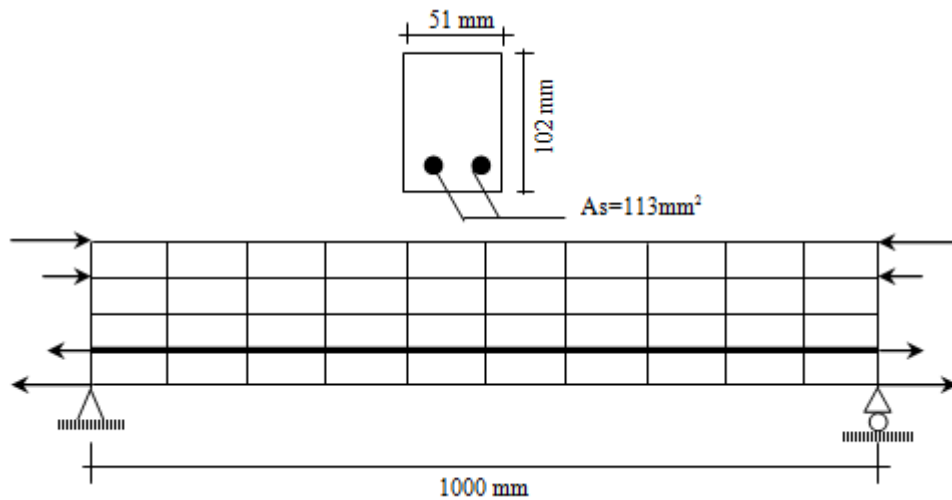
100 KN



140 KN



Gambar 8. Pola retak balok E saat terdeformasi



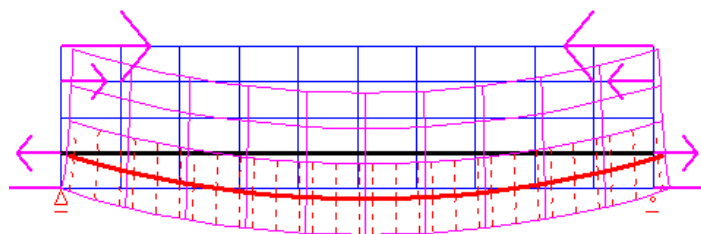
Gambar 9. Penampang dan diskritisasi balok lentur murni 40 elemen

Tabel 1. Inkrementasi beban balok lentur murni

No.	Penambahan beban ( N )	Momen ( Nmm )	Kumulatif Momen (Nmm)
1	2.000.00	255.000.00	255.000.00
2	500.00	63.750.00	318.750.00
3	500.00	63.750.00	382.500.00
4	500.00	63.750.00	446.250.00
5	500.00	63.750.00	510.000.00
6	240.00	30.600.00	540.600.00

Pola retak yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 10, arah retak tegak lurus terhadap sumbu mendatar balok hal ini dikarenakan tidak adanya tegangan geser yang bekerja sepanjang bentang struktur, dengan tidak adanya regangan

geser maka regangan utama tarik sejajar dengan sumbu mendatar dan arah retak menjadi tegak lurus arah regangan tarik, hal ini sesuai dengan rujukan yang ada.



Gambar 10. Pola retak balok lentur murni saat terdeformasi

## **SIMPULAN**

Perbandingan antara hasil analisis dari pemodelan yang diusulkan dalam studi ini dengan hasil eksperimental menunjukkan bahwa model ini mampu mensimulasikan perilaku respon struktur beton bertulang secara baik. Pola retak balok lentur geser yang terbentuk menunjukkan adanya pengaruh dari beban terpusat yaitu pada daerah momen murni, retak yang terbentuk mengalami kemiringan yang menandakan masih terdapatnya tegangan geser yang bekerja akan tetapi semakin menjauhi lokasi beban terpusat kemiringan menjadi semakin tegak yang menandakan berkurangnya pengaruh beban terpusat. Sedangkan di dekat tumpuan arah retak mengalami kemiringan ini menandakan di daerah tersebut mengalami kombinasi pengaruh tegangan geser yang maksimal dan tegangan normal yang mendekati nol serta pengaruh reaksi tumpuan.

Pola retak balok dominasi geser pada beban awal menunjukkan arah yang tegak lurus di daerah momen murni, akan tetapi seiring dengan bertambahnya beban retak yang timbul tidak tegak lurus hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi tegangan terutama di sekitar beban terpusat. Pola retak balok lentur murni terlihat arah retak tegak lurus terhadap sumbu mendatar balok hal ini dikarenakan tidak adanya tegangan geser yang bekerja sepanjang bentang struktur, dengan tidak adanya regangan geser maka regangan utama tarik sejajar dengan sumbu mendatar

dan arah retak menjadi tegak lurus arah regangan tarik.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dana dari DIPA Politeknik Negeri Semarang Tahun 2016. Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala P3M Politeknik Negeri Semarang atas bantuan dana dan segala arahannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bresler, B, dan Scordelis A.C., Shear Strength of Reinforced Concrete Beams”, ACI journal, March 1967.
- Chen, W.F. (1982), Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill Book Company.
- Dewobroto, W. (2005), Prosiding Seminar Nasional “Rekayasa Material dan Konstruksi Beton 2005”, Jurusan Teknik Sipil ITENAS 4 Juni 2005 , Hotel Grand Aquilla, Bandung.
- Kotsovos, Michael D. (1984), Behavior of Reinforced Concrete Beams with a Shear Span to Depth Ratio Between 1.0 and 2.5, ACI Journal, May-June.
- Kwak, H. G. and Filippou, Phillip C. (1990), Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structure Under Monotonic Loads, Department of Civil Engineering,

- University of California, Berkeley, November.
- Kwak, H. G. and Filippou, F. C. (1997), Nonlinear FE Analysis of R/C Structure Under Monotonic Loads, Computer and Structures, Vol. 65.
- Ngo, D. and Scordelis, A.C. (1967), Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, March.
- Nuroji (1996), Prilaku Mekanika Tegangan Lekat antara Beton dan Tulangan pada Beton Mutu Tinggi Akibat Beban Monotonik, Paper, Bandung.
- Park, R. and Paulay, T. (1975), Reinforced Concrete Structure, John Wiley and Sons.
- State of the Art Report (ASCE), Finite Element Analysis of reinforced Concrete, American Society of Civil Engineers.
- Vecchio, Frank J. (1989), Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Membranes, ACI Structural journal, January-February.
- Vecchio, F.J. dan Shim, W. , "Experimental and Analytical Re-examination of Classic Concrete Beam Tests", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.130, No. 3, 2004