

Modeling Pola Retak Balok Beton Bertulang Akibat Beban Lentur

**Winda Tri Wahyuningtyas¹, Yoga Tilang Pratama², Krisnamurti³, Hernu
Suyoso⁴, Dwi Nurtanto⁵**

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan no 37, Jember

Submitted : 18 November 2020;

Accepted: 26 Februari 2021

Abstrak

Retak yang terjadi pada beton bertulang dapat timbul pada saat pra-konstruksi maupun pada saat pasca konstruksi. Permodelan retak dilakukan untuk mengetahui penyebaran retak pada balok. Model balok mengacu pada penelitian terdahulu yang kemudian disimulasi menggunakan program bantu metode elemen hingga. Model diberi beban dengan jarak 1410 mm dari tepi dan menggunakan perletakan sederhana sejauh 90 mm dari tepi balok. Validasi model menggunakan lendutan saat elastis, dengan beban 120 kN. Model simulasi menunjukkan lendutan maksimum 9.42 mm sedangkan teoritis 9.89 mm dengan prosentase 5.1%. Modeling pola retak dilakukan dua cara yaitu lokasi retak tidak ditentukan (model 1) dan lokasi retak ditentukan (model 2). Dalam hal ini, lokasi retak dapat ditentukan berdasarkan hasil running Tensile Damage (DAMAGE T) pada program bantu. Penyebaran retak berdasarkan cara kedua (menentukan lokasi retak) menghasilkan jarak yang mirip dengan persebaran retak ekperimental serta permodelan VCCT (*Virtual Crack Closure Technique*) analysis yaitu sebesar 15 cm.

Kata Kunci : Beton bertulang; lendutan; permodelan retak; elemen hingga

Abstract

Cracks that occurred in reinforced concrete arise during the pre-construction and post-construction. Crack modeling is carried out to determine the spread of cracks in the beam. The beam model refers to previous research, and simulated using the finite element method program. The model is loaded with a distance of 1410 mm from the edge and using simple beam. The model validation uses deflection in elastic condition, with a load of 120 kN. The simulation model shows a maximum deflection of 9.42 mm while the theoretical one is 9.89 mm with a percentage of 5.1%. Crack modeling is carried out in two ways, namely the location of the crack is not determined (model 1) and the location of the crack is determined(model 2). In this case, the location of the crack can be determined

based on the results of running Tensile Damage (DAMAGE T) in the program. The crack distribution based on model 2 (determining the location of the crack) produced a distance similar to the experimental crack distribution and VCCT (Virtual Crack Closure Technique) analysis modeling is 15 cm.

Keywords : *reinforced concrete, displacement, crack modelling, finite element method*

A. PENDAHULUAN

Pembangunan yang terus berkembang mendorong munculnya inovasi dalam untuk membuat bangunan yang lebih efisien. Salah satu bidang pembangunan adalah konstruksi gedung. Bahan yang paling umum digunakan dalam konstruksi adalah beton. Beton merupakan bagian terpenting dalam proses konstruksi karena merupakan komponen yang membentuk bangunan itu sendiri seperti pondasi, kolom, dinding, kuda-kuda, ring, sloof, dan atap. Dalam kondisi lapangan, beton bertulang mempunyai berbagai masalah yang dapat mengurangi kekuatannya. Diantara berbagai masalah yang umum pada beton, salah satunya adalah masalah retak yang terjadi pada beton tersebut. Pada SNI 03-2847-2013, terdapat ketentuan agar struktur dan komponennya dapat menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja (layan) dan mempunyai kekuatan untuk menahan beban rencana terfaktor yang bekerja (SNI 2847 : 2013, 2013). Untuk menentukan kemampuan layan suatu konstruksi dapat dilihat dari beberapa factor antara lain yaitu lendutan, retak, korosi tulangan, dan rusaknya permukaan beton.

Keretakan dapat menimbulkan kerusakan dan keruntuhan konstruksi. Retakan pada beton dipengaruhi oleh tegangan, regangan dan suhu yang akan mengakibatkan kegagalan yang berbeda, sehingga banyak dilakukan optimasi dilakukan seperti pada material, struktur dan proses konstruksi untuk mengurangi

pengaruh retak. (Zhu et al., 2020). Faktor yang menyebabkan retak pada beton sendiri terbagi menjadi dua yaitu saat proses pembuatan beton bertulang dan setelah pembuatan beton (Ulum et al., 2015). Pada saat terjadi keretakan besi tulangan akan mengambil alih penuh beban Tarik yang terjadi. Pada balok beton bertulang, lokasi retakan pada daerah tumpuan/ujung balok sisi atas dan tengah bentang sisi bawah. Keretakan yang ada pada komponen beton bertulang bisa timbul pada masa pra-konstruksi maupun pada saat pasca konstruksi. Pada setiap komponen beton bertulang pada sebuah struktur akan mengalami retak, yang perlu diperhitungkan sebenarnya apakah retak tersebut melemahkan kekuatan beton sehingga membahayakan struktur bangunan secara keseluruhan atau tidak. Penyebab terjadinya keretakan pada beton bertulang beberapa macam, antara lain faktor lingkungan dari luar yang mempengaruhi permukaan beton secara langsung maupun karena pengaruh dari sifat beton itu sendiri.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis simulasi metode elemen hingga pada struktur balok beton bertulang. Beban berupa beban terpusat di dua titik area bentang. Model simulasi mengacu benda uji serta hasil retak yang akan dibandingkan diperoleh berdasarkan penelitian Ismael Sánchez Ramos berjudul "Cracking study of a reinforced concrete beam". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan retakan antara metode elemen hingga dengan pengujian langsung pada balok beton.

Tabel 1. Lebar Retak Maksimum

Kondisi terekspos	Lebar Retak	
	in	mm
Udara kering atau membran protektif	0.016	0.41
Kelembaban, udara lembap, tanah	0.012	0.30
Bahan kimia Deicing	0.007	0.18
Air laut dan percikannya	0.006	0.15
Pembasahan dan pengeringan		
Struktur yang mendapatkan pengaruh air	0.004	0.10

Sumber : (ACI, 2008)

2. Kondisi Elastis

Kondisi elastis merupakan kondisi dimana suatu bahan akan mengalami perubahan bentuk pada setiap titik pada sebuah struktur ketika menerima pembebanan dan kembali ke bentuk asalnya ketika pembebanan dihilangkan. Dalam kondisi tersebut tegangan yang terjadi pada struktur berbanding lurus dengan regangannya. Perbandingan antara tegangan dengan regangan adalah modulus elastisitas menurut hukum Hooke :

$$\frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P/A}{\Delta / L} \quad (1)$$

Keterangan :

- E = modulus elastisitas
- P = pembacaan beban tekan
- A = luas penampang silinder
- ΔL = pembacaan dial deformasi
- L = jarak titik pengamatan

C. METODE PENELITIAN

1. Model Beton Bertulang

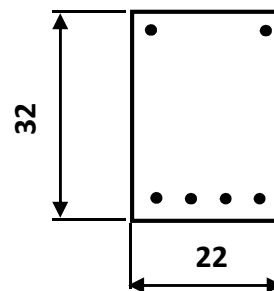
Permodelan retak menggunakan program bantu struktur. Permodelan mengacu “*Cracking study of a*

reinforced concrete beam” (Ramos et al., 2016). Data yang digunakan yaitu sebagai berikut :

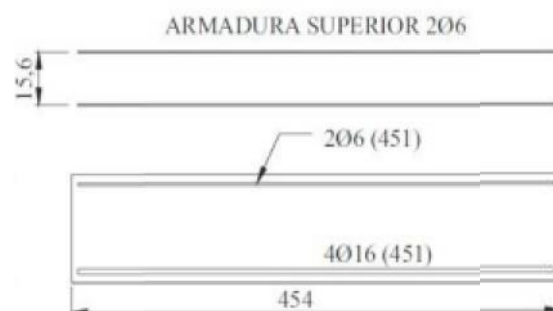
- a) Material
 - Mutu beton : 30 MPa
 - Young modulus (E) : 2.9309×10^{10} Pa
 - Poisson : 0,25
 - Modulus (ν)

- b) Dimensi beton bertulang

Beton yang dimodelkan pada program bantu memiliki ukuran 22 xm x 32 cm dengan panjang 454 cm. Tulangan bagian bawah yaitu 4D16 dan tulangan atas 2D16.



Gambar 2. Dimensi balok



Gambar 3. Detail penulangan
(Sumber: Ramos et al,2016)

- c) Pembebanan Pada Balok

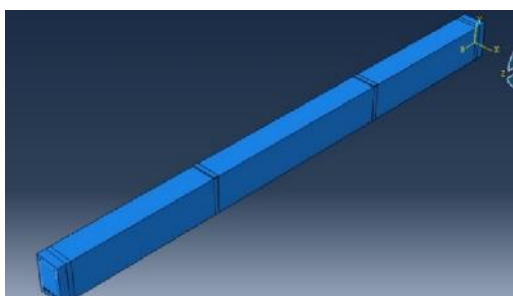
Beban yang digunakan pada balok yaitu sebagai berikut :

- 1) 8 kN (“noval” phase)
- 2) 20 kN (elastic phase)
- 3) 40 kN (elastic phase)

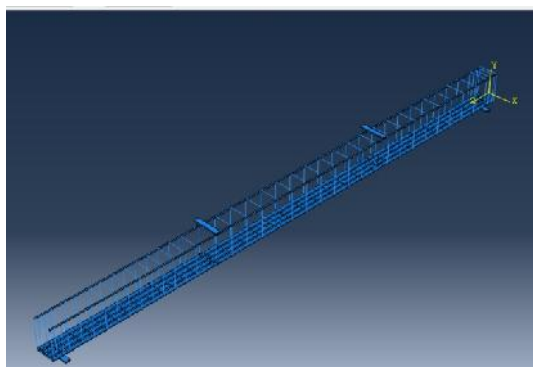
D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Permodelan Balok

Permodelan balok beton bertulang menggunakan Program Bantu Elemen Hingga. Benda uji yaitu beton bertulang merupakan susunan yang terbentuk dari beton, besi tulangan, Sengkang.

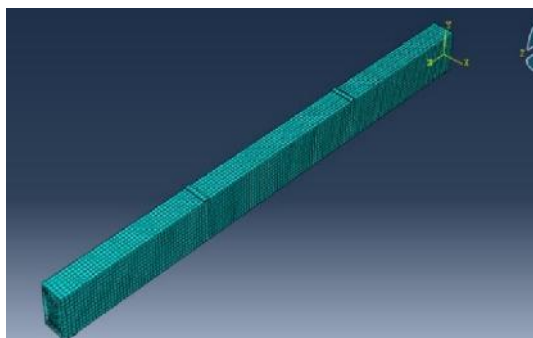


Gambar 4. Permodelan Beton Pada Elemen Hingga



Gambar 5. Susunan Part Tulangan dalam Beton

Berdasarkan pada uji eksperimental yang digunakan sebagai acuan, beban diberikan di dua titik pada bentang sesuai letak plat besi dari balok beton bertulang yang dibebani seperti pembebanan yang dilakukan dalam eksperimen.



Gambar 6. Meshing Benda Uji

Seluruh benda uji akan diberikan *meshing* melalui modul mesh dengan digunakan tipe elemen segiempat (bilinear quadrilateral). *Meshing* yang diberikan bertujuan untuk memotong objek menjadi beberapa bagian kecil. Jenis *meshing* yang digunakan berbentuk segi empat. Parameter yang digunakan untuk *meshing* sebesar 50 mm. Sesudah model diberikan *meshing*, maka model akan di jalankan atau running. Running terdapat pada modul job. Sebelum *running* dimulai, model diberi nama dan catatan bila diperlukan.

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF	Time/LPF Inc
1	41	1	0	1	1	0.0978282	0.0978282	2.7872e-05
1	42	1	0	1	1	0.09787	0.09787	4.1806e-05
1	43	1	0	1	1	0.0979327	0.0979327	5.2712e-05
1	44	1	0	1	1	0.0980269	0.0980269	9.40579e-05
1	45	1	0	2	2	0.0981679	0.0981679	0.00014102

Gambar 7. Running Model Balok

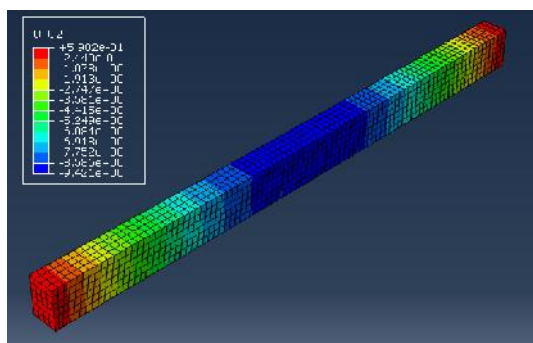
Pada permodelan digunakan parameter CDP (*Concrete Damage Plasticity*) bergatung pada nilai dari tegangan dan regangan uniaksial tarik dan tekan. Jika menggunakan parameter DPA (Nugroho, 2015).

Pemodelan retak dilakukan dengan menggunakan fitur retakan yang ada pada program bantu yaitu eXtended Finite Element Method (XFEM). Percobaan pembuatan retak dalam studi ini dilakukan dengan dua cara yaitu pembuatan retak tanpa menentukan lokasi retak terlebih dahulu dan pembuatan retak dengan menentukan lokasi retak.

2. Validasi Model

Validasi yang dilakukan terdapat dua tahap. Tahap pertama yaitu membandingkan model yang dibuat dengan perhitungan teoritis. Tahap kedua

yaitu validasi yang dilakukan dengan hasil eksperimental yang telah ada.



Gambar 8. Nilai Lendutan Saat Permodelan

Tabel 2. Nilai Lendutan

Beban (Kn)	Y (mm)	Maksimum	Prosentase Selisih (%) **
	Numerik	Teoritis	
20	1,94	2,07	6,7%
40	3,44	3,64	5,8%
60	4,93	5,20	5,5%
80	6,31	6,77	5,3%
120	9,42	9,89	5,1%

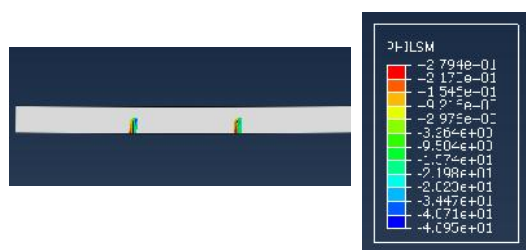
Hasil validasi model seperti pada Tabel 2 menunjukkan prosentase perbandingan lendutan permodelan dengan perhitungan teoritis masih dibawah 10% sehingga model dapat digunakan. Model ini akan dilanjutkan untuk digunakan simulasi retak pada balok beton bertulang.

3. Pembahasan

Permodelan retak balok beton bertulang yang dibebani dengan dua titik lokasi beban. Permodelan akan digunakan dua metode yaitu :

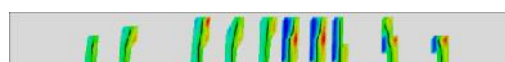
- Pembuatan retak tanpa menentukan lokasi retak terlebih dahulu (Model 1)
- Pembuatan retak dengan menentukan lokasi retak (Model 2)

c) Hasil dari model 1 (Gambar 9) menunjukkan retak terjadi pada dua area samping. Retak yang terjadi pada area samping bentang tersebut disebabkan karena pembebanan yang dilakukan di dua tempat. Jadi, retak yang terjadi hanya diakibatkan pembebanan yang diterima. Hasil permodelan retak tersebut berupa persebaran retak dan nilai philsm. Philsm menggambarkan fungsi jarak dari Φ (level set value phi) dan Φ (phi) ialah nilai dari suatu nodal yang ditentukan pada permukaan retak.



Gambar 9. Retak Pada Model 1

Hasil permodelan retak cara pertama dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai philsm dari permodelan tersebut ditunjukkan dengan warna yang berbeda – beda. Warna merah menunjukkan nilai disalah satu sisi dan warna biru menunjukkan nilai disisi yang berlawanan. Sehingga warna merah dan biru memiliki nilai yang hampir sama namun berlawanan. Oleh karena itu disimpulkan bahwa retak yang terjadi pada model 1 yaitu tanpa menentukan lokasi retak, hanya terjadi pada area pemberian beban sehingga kurang akurat karena persebaran retak berbeda dengan model eksperimental.



Gambar 10. Retak Pada Model 2

Pada model 2 dimana lokasi retak dimasukan dan diasumsikan akan terjadi.

Seperti cara pertama dilakukan percobaan terhadap balok dengan ukuran *meshing* 50 x 50 mm. Lokasi asumsi retak sesuai dengan hasil bagian beton yang terkena damage Tarik (Tensile Damage). Hasil retak model 2 dapat dilihat pada Gambar 10.

Hasil pemodelan retak yang digunakan sebagai validasi merupakan hasil dari model 2. Setelah dibandingkan dengan hasil retak percobaan pertama maka dapat dilihat bahwa hasil retak pada model 2 lebih sesuai dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Ramos, Ismael Sánchez (2016). Hasil retak pada model 2 dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen. Hasil eksperimen oleh Ramos, Ismael Sánchez bisa dilihat pada Gambar 11. Pada beton yang diamati terdapat hasil retak yang seragam dengan jarak antar retak rata-rata 16 cm (Ramos et al., 2016).

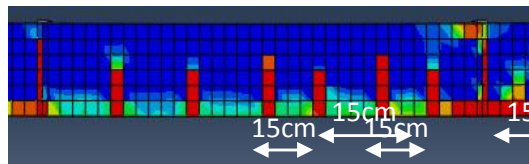


Gambar 11. Hasil eksperimental retak pada balok
(Sumber: Ramos et al,2016)

Retak pada simulasi pemodelan sama dengan hasil eksperimen. Retak menyebar pada daerah yang mengalami Tarik terbesar dan menyebar. Pada eksperimen lainnya retakan terhadap dua lapis beton komposit. Beton komposit yang digunakan merupakan beton serat baja akan terjadi di bagian Tarik secara vertikal (Lin & Karadelis, 2019). Hasil simulasi retak yang juga dilakukan menggunakan FEM model atau model elemen hingga dengan memakai metode VCCT analysis. Hasil dari simulasi yang menghasilkan retak dengan jarak antara 15-18 cm.

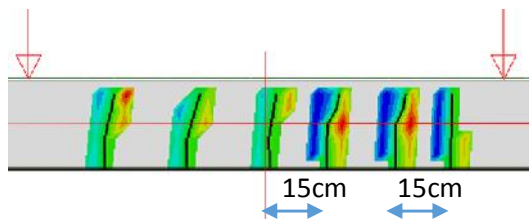
Pada penelitian ini, jarak tiap retak dapat diukur dengan menghitung jarak

antar *meshing*. Pada Gambar 12, dapat dilihat bahwa jarak retak paling kecil adalah 3 kotak. Sedangkan *meshing* yang digunakan adalah 50 x 50 mm, maka dapat dihitung bahwa jarak retak paling kecil adalah sekitar 150 mm atau 15 cm. Hal ini sesuai dengan penelitian Ramos menggunakan model FEM dengan metode VCCT 3s dimana jarak retak antara 15–18 cm.



Gambar 12. Retak Pada Model

Hasil pemodelan retak dengan persebaran retak berada ditengah bentang yang merambat dari bagian bawah balok ke atas balok serupa dengan pemodelan VCCT analysis oleh Ramos,2016 dengan menggunakan program bantu elemen hingga yang berbeda.



Gambar 13. Retak Pada Model



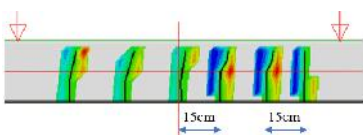
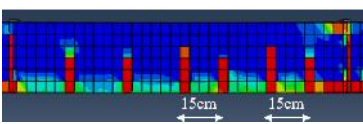
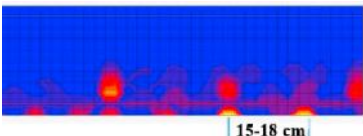
Hasil persebaran retak yang ditimbulkan seperti pada model 2 (lokasi retak ditentukan) lebih mendekati dari hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil persebaran retak model 1 (tanpa menentukan lokasi retak). Hal ini disebabkan oleh metode program elemen hingga pada aplikasi akan memproses pertumbuhan retak sesuai indikator yang ada.

Pada model 1, indikator yang berpengaruh hanyalah dua beban beban pada sepanjang bentang beton. Sehingga perambatan retak terproses di sekitar area pemberian beban dan merambat dari bawah menuju ke atas sampai tengah

bentang. Sedangkan pada model 2, terdapat indikator lain yaitu lokasi awal retak yang sudah ditentukan. Oleh karena itu pada cara kedua hasil retak merambat dari bawah ke atas dari setiap lokasi yang

sudah ditentukan sehingga menghasilkan persebaran retak yang merata berdasarkan titik kerusakan di area Tarik (Tensile Damage).

Tabel 3. Perbandingan retak simulasi dan eksperimental

Topik	Area yang ditinjau
Retak Eksperimental (hanya ditinjau area tengah oleh (Ramos et al., 2016)	
Retak dengan cara model 1	
Retak dengan cara model 2	
Persebaran retak Tensile Damage	
Persebaran retak VCCT analysis (Ramos et al., 2016)	

E. KESIMPULAN

Dari simulasi model pada program elemen hingga, retak akan merambat didekat area pemberian beban. Pada model retak akan lebih akurat mendekati model eksperimen apabila ditentukan lokasi retak dahulu (model 2). Lokasi retak dapat ditentukan berdasarkan hasil *running Tensile Damage* (DAMAGE T) pada program bantu. Persebaran retak pada model 2 menghasilkan jarak yang mirip dengan hasil eksperimental. Retak yang terjadi pada model 2 yaitu sebesar 15 cm sedangkan pada hasil eksperimental yaitu 16 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat di Universitas Jember.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2008). Control of Cracking in Concrete Structures, ACI Manual of Concrete Practice. *ACI Committee 224, 224.2R-1-12*.
- Lin, Y., & Karadelis, J. N. (2019). Interfacial fracture toughness of composite concrete beams. *Construction and Building Materials, 213*, 413–423. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.066>

- Nugroho, A. S. (2015). *Analisa Perilaku Parameter Non-Linier Beton Tak Terkekang Dengan Pembebanan Triaksial Menggunakan Program Bantu Berbasis Finite Element*. 168. <http://repository.its.ac.id/62873/>
- Purba, Sadvent M., & Tarigan, Johannes. (2012). Analisa Perbandingan Perhitungan Elemen Hingga Dengan Menggunakan Elemen Segitiga (Constant Strain Triangle) Dan Elemen Segiempat (Bilinear Quadrilateral)
- Ramos, I. S., Duque, O. A. S., De Merodio, M. H. G., & Pozhilova, N. (2016). Cracking study of a reinforced concrete beam. *Procedia Structural Integrity*, 1, 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.02.035>
- SNI 2847 : 2013. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–265.
- Ulum, M. B., Wahyuni, E., & Iranata, D. (2015). *Studi Permodelan Retak Pada Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Program Bantu Elemen Hingga*. 61–68.
- Zhu, H., Hu, Y., Li, Q., & Ma, R. (2020). Restrained cracking failure behavior of concrete due to temperature and shrinkage. *Construction and Building Materials*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118318>



© 2021 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)