

*JURNAL TEKNIK SIPIL*  
**SIKLUS**

Volume : 7 Nomor : 1

April 2021

**Pengaruh Kecepatan Kendaraan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Jalan Tol**

Sindy Pangesty, Anton Budiharjo, Pipit Rusmandani

**Stiffness and Ductility of Bolted Connection Laminated Veneer Lumber (LVL) Paraserianthes Falcataria**

Dani Nugroho Saputro

**Studi Eksperimen Perilaku Lentur Papan Bambu Lapis Dengan Jenis Bambu Petung**

Nuroji, Sukamta, Nicolaus Iyowau

**Kajian Ulang Desain Hidrologis Cofferdam Hulu Bendungan Karian terhadap Perubahan Cuaca di DAS Ciberang**

Vita Ariesta Fitriana, Suripin, Ignatius Sriyana

**Analisis Numerik Lentutan Balok Baja dengan Penambahan Pengaku (*Stiffener*)**

Nilu Kamelia, Iskandar Romey Sitompul, Reni Suryanita

**Modeling Pola Retak Balok Beton Bertulang Akibat Beban Lentur**

Winda Tri Wahyuningtyas, Yoga Tilang Pratama, Krisnamurti, Hernu Suyoso, Dwi Nurtanto

**Pengaruh Penambahan *Viscosity Modifying Admixture* Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer SCC**

Hudha Yuka Mahendra, Dwi Nurtanto, Ketut Aswatama Wiswamitra

**Pengaruh *Penetration Index* Terhadap Karakteristik Marshall Laston Menggunakan Limbah Styrofoam dan PVC**

Ratna Yuniarti, I Dewa Made Alit Karyawan

**Analisa Tahanan Nominal Baut Pada Sambungan Batang Tarik Baja**

Mery Silviana, Bunyamin, Lindawati

*JURNAL TEKNIK SIPIL*  
**SIKLUS**

Volume : 7 Nomor : 1

April 2021

Jurnal Teknik Sipil adalah wadah untuk penyebaran informasi tulisan ilmiah bidang Teknik Sipil. Diterbitkan dua kali dalam setahun yaitu pada bulan April dan bulan Oktober

**Akreditasi**

No 28/E/KPT/2019

**SUSUNAN REDAKSI**

**Penanggung Jawab**

Ketua Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik – Universitas Lancang Kuning

**Ketua Penyunting (*Editor in chief*)**

Gusneli Yanti, S.T., M.T.

**Dewan Editor (*Editorial Board*)**

Muhammad Ali Zulfikar, Ph.D (Institut Teknologi Bandung)  
Dr. Dalrino, S.T, M.T (Politeknik Negeri Padang)  
Dr.Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT (Universitas Brawijaya)  
Lindung Zalbuin Mase, S.T., M.Eng., Ph.D. (Universitas Bengkulu)  
Dr Muhammad Ikhsan Setiawan, S.T., M.T (Universitas Narotama)  
Repi, S.T., M.T (Universitas Lancang Kuning)  
Husnah, S.T., MT (Universitas Abdurrah)

**Reviewer**

Dr. Abdul Gaus, ST., MT (Universitas Khairun, Maluku Utara)  
Dr. Ade Faisal, S.T., M.T (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)  
Dr. Halida Yunita, ST, MT (Universitas Syiah Kuala, Aceh)  
Dr. Ing. Ir. Yulian Firmana Arifin (Universitas Lambung Mangkurat)  
Dr. Ir. Muhammad Djaya Bakri, ST., MT ( Universitas Borneo Tarakan)  
Dr. Ir. Wesli, MT (Universitas Maalikusaleh, Aceh)  
Dr. Mufti Amir Sultan, S.T., M.T. (Universitas Khairun, Maluku Utara)  
Dr. Muhammad Aswin, S.T., M.T (Universitas Sumatera Utara)  
Dr.Muhammad Ridwan Annas S.T., M.T (Universitas Sumatera Utara)  
Dr. Pada Lumba, S.T., M.T (Universitas Pasisir Pangaraian)  
Dr. Rahayu Sulistyorini, ST., MT. (Universitas Lampung, Indonesia)  
Ir. Gidion Turuallo, S.T., M.Sc(Eng)., PhD ( Universitas Tadulako, Palu)  
Mochamad Solikin, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Muhammadiyah Surakarta)  
Reni Suryanita, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Riau, Pekanbaru )  
Romy Suryaningrat Edwin, S.T., M.T., Ph.D (Universitas Haluoleo, Kendari)

**Alamat Redaksi**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning  
Jl. Yos Sudarso Km. 8 Rumbai – Pekanbaru

Telp. 0761 – 52324

Website: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SIKLUS>

E-mail : [siklus@unilak.ac.id](mailto:siklus@unilak.ac.id)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanawataala yang telah melimpahkan Rahmat dan KaruniaNya serta Salawat kepada Nabi Besar Muhammad SAW, kami kembali menghadirkan Siklus : Jurnal Teknik Sipil Volume 7 Nomor 1 Tahun 2021 edisi bulan April. Siklus : Jurnal Teknik Sipil adalah jurnal ilmiah terakreditasi Ristekdikti (S4), yang diterbitkan oleh Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning, dua kali dalam setahun pada bulan April dan bulan Oktober.

Artikel-artikel yang termuat dalam Siklus : Jurnal Teknik Sipil ini adalah artikel-artikel yang sudah melalui proses penilaian atau *review (Double Blind Peer Review)* oleh mitra bestari dan/atau dewan penyunting. Penulis harus memperhatikan kualitas isi artikel sesuai petunjuk penulisan artikel dan komentar dari Mitra Bestari. Jumlah artikel yang terbit pada nomor ini sebanyak 9 (Sembilan) judul artikel yang menyajikan karya penulis dengan beragam afiliasi, yaitu Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Universitas Jenderal Soedirman, Universitas Diponegoro, Universitas Jember, Universitas Riau, Universitas Mataram, dan Universitas Al-Muslimin.

Penghargaan sebesar-besarnya disampaikan kepada penulis yang telah mengisi Jurnal di Siklus Jurnal Teknik Sipil, demikian juga kepada para mitra bestari yang telah memberikan komitmennya dalam bidang keilmuan spesifik yang tidak ternilai sehingga dapat dihasilkan tulisan yang lebih berkualitas, terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para anggota dewan penyunting dan seluruh pihak yang terlibat dalam penerbitan jurnal ini.

Menyadari bahwa penyusunan jurnal membutuhkan semangat dan stamina yang tinggi, maka untuk keberhasilan kami tetap membutuhkan sumbang saran dan pemikiran demi kemajuan dan kesempurnaan Jurnal ini, dan kami berharap semoga jurnal ini dapat menjadi bahan rujukan dan memberikan kontribusi pengetahuan yang bermanfaat.

**Ketua Penyunting**

# JURNAL TEKNIK SIPIL SIKLUS

Volume : 7 Nomor : 1

April 2021

## DAFTAR ISI

Susunan Redaksi	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
<b>Pengaruh Kecepatan Kendaraan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Jalan Tol</b> Sindy Pangesty, Anton Budiharjo, Pipit Rusmandani	1- 8
<b>Stiffness and Ductility of Bolted Connection Laminated Veneer Lumber (LVL) Paraserianthes Falcataria</b> Dani Nugroho Saputro	9 – 18
<b>Studi Eksperimen Perilaku Lentur Papan Bambu Lapis Dengan Jenis Bambu Petung</b> Nuroji, Sukamta, Nicolaus Iyowau	19 – 30
<b>Kajian Ulang Desain Hidrologis Cofferdam Hulu Bendungan Karian terhadap Perubahan Cuaca di DAS Ciberang</b> Vita Ariesta Fitriana, Suripin, Ignatius Sriyana	31 - 42
<b>Analisis Numerik Lendutan Balok Baja dengan Penambahan Pengaku (Stiffener)</b> Nila Kamelia, Iskandar Romey Sitompul, Reni Suryanita	43 – 52
<b>Modeling Pola Retak Balok Beton Bertulang Akibat Beban Lentur</b> Winda Tri Wahyuningtyas, Yoga Tilang Pratama, Krisnamurti, Hernu Suyoso, Dwi Nurtanto	53 – 61
<b>Pengaruh Penambahan <i>Viscosity Modifying Admixture</i> Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer SCC</b> Hudha Yuka Mahendra, Dwi Nurtanto, Ketut Aswatama Wiswamitra	62 – 70
<b>Pengaruh <i>Penetration Index</i> Terhadap Karakteristik Marshall Laston Menggunakan Limbah Styrofoam dan PVC</b> Ratna Yuniarti, I Dewa Made Alit Karyawan	71 – 79
<b>Analisa Tahanan Nominal Baut Pada Sambungan Batang Tarik Baja</b> Mery Silviana, Bunyamin, Lindawati	80 - 91

# SIKLUS

## Jurnal Teknik Sipil

[Current](#) [Archives](#) [Author Fee](#) [Submissions](#) [Announcements](#) [About](#)

[Home](#) / [Focus and Scope](#)

## Focus and Scope

Siklus : Jurnal Teknik Sipil publishes articles in the following fields:

- Structure
- Transportation
- Construction Management
- Geotechnics
- Hydro
- Labour safety in construction

### ADDITIONAL MENUS

[Editorial Team](#)

[Focus and Scope](#)

[Plagiarism Check](#)

[Publisher](#)

[Peer Review Process](#)

[Reviewer](#)

[Publication Frequency](#)

[Contact](#)

[Indexing](#)

[Author Guidelines](#)

[Publication Ethics](#)

# SIKLUS

## Jurnal Teknik Sipil

[Current](#) [Archives](#) [Author Fee](#) [Submissions](#) [Announcements](#) [About](#)

[Home](#) / [Editorial Team](#)

## Editorial Team

### • Editorial in chief

- [Gusneli Yanti, ST, MT](#) ( Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru, Indonesia) [Scopus Id=57200085558](#)

### Editorial Board

- [Muhammad Ali Zulfikar, Ph.D](#) (Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia) [Scopus Id=12752326100](#)
- [Dr. Dalrino, S.T., M.T](#) (Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia) [ScopusId =57194127106](#)
- [Dr.Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT](#) ( Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia) [Scopus Id=36669740500](#)
- [Lindung Zalbuin Mase, S.T., M.Eng., Ph.D](#) (Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia) [Scopus Id = 57195243838](#)
- [Dr. Muhammad Ikhsan Setiawan, S.T., M.T](#) (Universitas Narotama, Indonesia) [Scopus Id = 57200091962](#)
- [Repi, S.T., M.T](#) ( Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru, Indonesia ) [Scopus Id=57200088375](#)
- [Husnah, S.T., M.T](#) (Univeritas Abdurrab, Pekanbaru, Indonesia)

### Editorial Address :

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning  
Jl. Yos Sudarso KM.8, Rumbai, Kota Pekanbaru, Riau  
Website: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SIKLUS>  
Email : [siklus@unilak.ac.id](mailto:siklus@unilak.ac.id)

## Modeling Pola Retak Balok Beton Bertulang Akibat Beban Lentur

Winda Tri Wahyuningtyas<sup>1</sup>, Yoga Tilang Pratama<sup>2</sup>, Krisnamurti<sup>3</sup>, Hernu  
Suyoso<sup>4</sup>, Dwi Nurtanto<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> 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

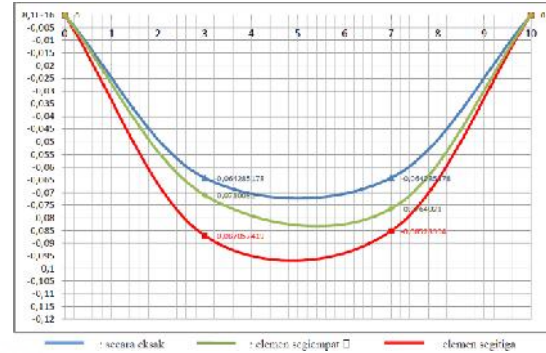
pengaruh retak. (Zhu et al., 2020). Faktor yang menyebabkan retak pada beton sendiri terbagi menjadi dua yaitu saat proses pembuatan beton bertulang dan setelah pembuatan beton (Ulum et al., 2015). Pada saat terjadi keretakan besi tulangan akan mengambil alih penuh beban Tarik yang terjadi. Pada balok 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.



Retak-retak pada balok beton bertulang dapat menimbulkan resiko keruntuhan pada balok, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut tentang retak. Prediksi pola retak tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan Finite Element Modeling (FEM).

Adapun tujuan penelitian ini adalah Menginvestigasi pola retak dari balok beton bertulang akibat beban lentur berdasarkan simulasi FEM.



**Gambar 1.** Grafik hasil perhitungan eksak (Biru), segiempat (Hijau) dan elemen segitiga (Merah)

(Sumber: Sadvent M Purba, 2012)

Dari hasil Gambar 1, terlihat bahwa hasil model struktur dengan jenis elemen segi empat lebih mendekati hasil eksak daripada model struktur dengan jenis elemen segi tiga.

#### c. Pembebanan

Material beton yang sudah siap pakai akan menjalankan fungsinya dengan menerima berbagai beban. Beton akan menjalankan kinerja dengan optimal apabila menerima beban sesuai dengan yang direncanakan. Namun ada kasus dimana beban yang diterima oleh beton berada diluar kemampuan beton untuk menerima beban tersebut, mengakibatkan terjadinya retak pada beton dan mengurangi kekuatan beton dalam menahan beban.

#### d. Toleransi Retak

Lebar-Retak maksimum yang dapat ditolerir pada suatu komponen-struktur tergantung pada fungsi tertentu komponen tersebut dan kondisi lingkungan yang dialami komponen-struktur tersebut. Berdasarkan ACI Committee 224 mengenai retak, dapat digunakan sebagai petunjuk mengenai lebar retak yang dapat diterima struktur.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Retak Pada Beton

#### a. Pengaruh lingkungan

Pengaruh dari luar sangat mempengaruhi karena beton mengalami kontak langsung dengan cuaca luar sehingga semakin lama umur beton maka kemungkinan terjadi retak semakin. Pengaruh cuaca luar yang mempengaruhi retak beton salah satunya adalah air hujan. Material beton tua yang terkena air hujan secara langsung sekian lama akan terpengaruh oleh air hujan tersebut. Air hujan akan meresap kedalam sampai mengenai tulangan. Korosi akan terjadi apabila air hujan berhasil mencapai besi tulangan. Dengan adanya korosi pada tulangan, akan melemahkan struktur beton dan timbul retak-retak.

#### b. Penentuan tipe *meshing*

Penentuan tipe *meshing* ditentukan berdasarkan penelitian Sadvent M Purba dan Johannes Tarigan yang melakukan analisis perbandingan nilai perpindahan pada perhitungan elemen hingga antara elemen segiempat (bilinear quadrilateral) dan elemen segitiga (constant strain triangle) ketika diberi beban yang sama besar pada sebuah balok.

**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
- $\Delta L$  = pembacaan dial deformasi
- L = jarak titik pengamatan

## C. METODE PENELITIAN

### 1. Model Beton Bertulang

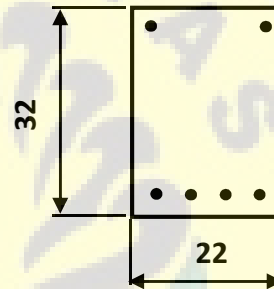
Permodelan retak menggunakan program bantu struktur. Permodelan mengacu “Cracking study of a

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

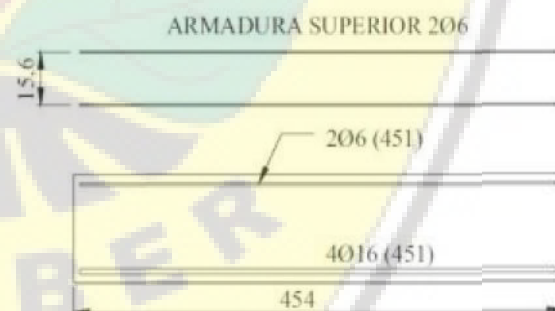
- a) Material
  - Mutu beton : 30 MPa
  - Young modulus (E) :  $2.9309 \times 10^{10}$  Pa
  - Poisson : 0,25
  - Modulus ( $\nu$ )

- 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
 

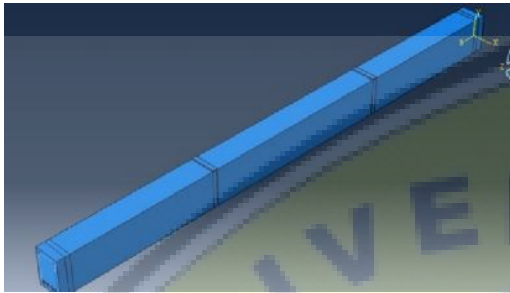
Beban yang digunakan pada balok yaitu sebagai berikut :

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

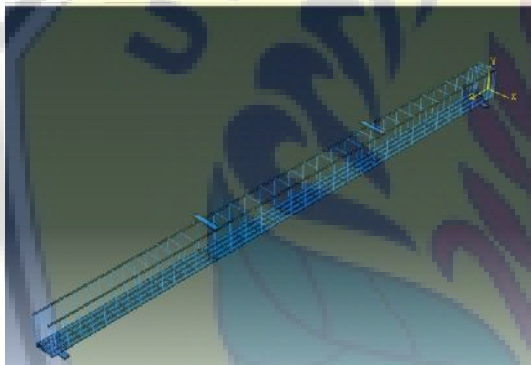
## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 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.

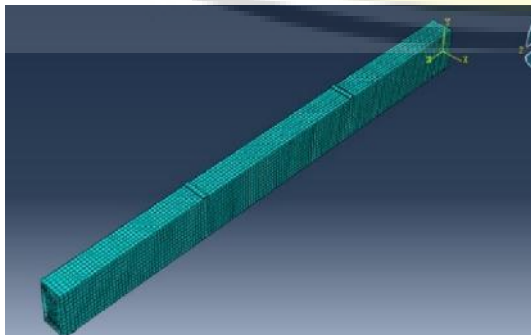


**Gambar 4.** Permodelan Beton Pada Elemen Hingga



**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	4.1886e-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	0.00041102

**Gambar 7.** Running Model Balok

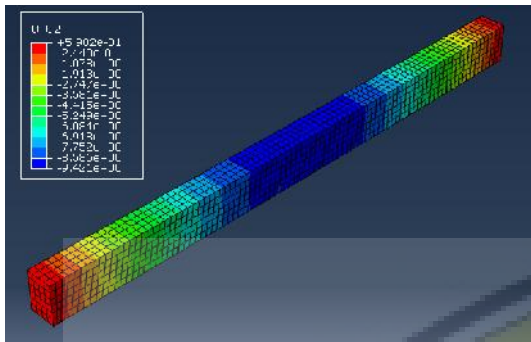
Pada permodelan digunakan parameter CDP (*Concrete Damage Plasticity*) bergatung pada nilai dari tegangan dan regangan uniaksial tarik dan tekan. Jika menggunakan parameter DPA (Nugroho, 2015).

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%	

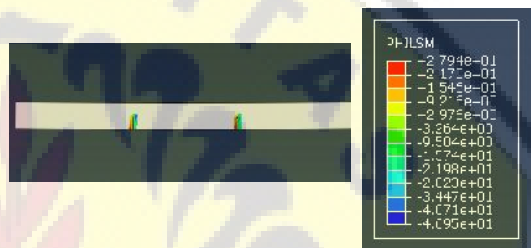
Hasil validasi model seperti pada Tabel 2 menunjukkan prosentase perbandingan lendutan permodelan dengan perhitungan teoritis masih dibawah 10% sehingga model dapat digunakan. Model ini akan dilanjutkan untuk digunakan simulasi retak pada balok beton bertulang.

### 3. Pembahasan

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

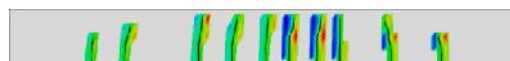
- Pembuatan retak tanpa menentukan lokasi retak terlebih dahulu (Model 1)
- Pembuatan retak dengan menentukan lokasi retak (Model 2)

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  $\Phi$  (level set value phi) dan  $\Phi$  (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.

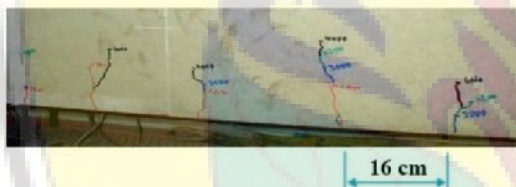


**Gambar 10.** Retak Pada Model 2

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).

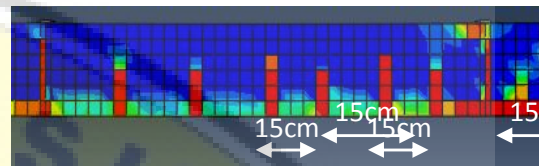


**Gambar 11.** Hasil eksperimental retak pada balok  
 (Sumber: Ramos et al,2016)

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.

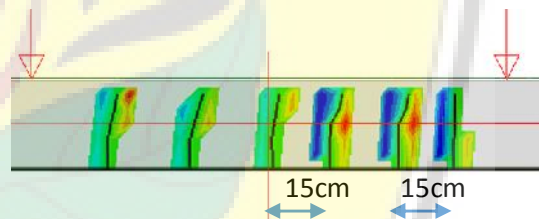
Pada penelitian ini, jarak tiap retak dapat diukur dengan menghitung jarak

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



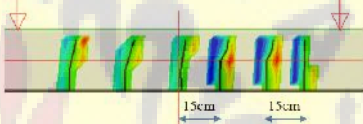
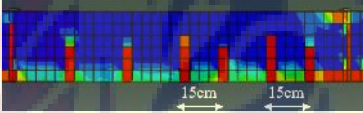
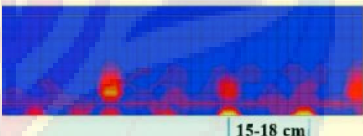
Hasil persebaran retak yang ditimbulkan seperti pada model 2 (lokasi retak ditentukan) lebih mendekati dari hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil persebaran retak model 1 (tanpa menentukan lokasi retak). Hal ini disebabkan oleh metode program elemen hingga pada aplikasi akan memproses pertumbuhan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

Pada model 1, indikator yang berpengaruh hanyalah dua beban 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**

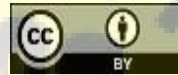
Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat di Universitas Jember.

**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/>)