

MODEL TEGANGAN REGANGAN BALOK BETON BERTULANG YANG MENGALAMI PEMANASAN DENGAN MENGGUNAKAN FEM

Arbain Tata^{1*}, Dalian², Muhammad Taufik Y. S.³

123Program Studi Teknik Sipil FT Unkhair

**arbain.tata@unkhair.ac.id*

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku hubungan tegangan regangan pada balok beton bertulang pada variasi suhu yang diberikan pada penampang balok dengan menggunakan Finite Element Method (FEM). Pemodelan dengan Finite Element Method ini menggunakan program software Abaqus, data material yang digunakan berdasarkan karakteristik material dari penelitian terdahulu. Dalam penelitian ini balok yang dimodelkan memiliki dimensi $60 \times 10 \times 15$ cm. Balok yang dimodelkan memiliki dua variasi yaitu balok dengan suhu normal dan balok dengan suhu tinggi. Benda uji yang diamati adalah hubungan tegangan regangan dan pola retak. Dari hasil analisis menggunakan program abaqus menunjukkan hasil yang cukup baik. Balok dengan suhu normal memiliki tegangan ultimate beton sebesar 25 MPa dan regangan ultimate sebesar 0.0033160 mm. Pada saat terjadi peningkatan temperatur beton menjadi lemah, beton yang awalnya memiliki tegangan maksimum 25 MPa pada suhu normal turun menjadi 22.6359 MPa pada suhu 300°C dan 15.3416 MPa pada suhu 700°C. Pada regangan terjadi peningkatan yang awalnya 0.0033160 mm pada suhu normal menjadi 0.00837206 mm pada suhu 700°C.

Kata Kunci: Struktur, Balok, Tegangan-Regangan, Suhu, Finite Element

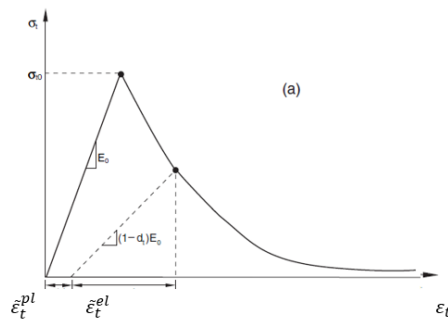
Abstract: This study aims to determine the behavior of the stress-strain relationship in reinforced concrete beams at various temperatures given to the beam cross-section using the Finite Element Method (FEM). Modeling with the Finite Element Method uses the Abaqus software program; the material data used was based on the material characteristics of previous studies. In this study, the modeled beam has dimensions of $60 \times 10 \times 15$ cm. The modeled beam has two variations, namely the beam with normal temperature and the beam with high temperature. The test objects observed are the relationship between stress-strain and crack patterns. From the analysis results using the Abaqus program, the results are quite satisfactory. Beams with normal temperature have an ultimate concrete stress of 25 MPa and an ultimate strain of 0.0033160 mm. When the temperature increases, the concrete becomes weaker, initially having a maximum stress of 25 MPa at normal temperature, which drops to 22.6359 MPa at 300 °C and 15.3416 MPa at 700 °C. In the strain, there is an increase, which is initially 0.0033160 mm at normal temperature to 0.00837206 mm at a temperature of 700°C.

Keywords: Structure, Beam, Stress-Strain, Temperature, Finite Element

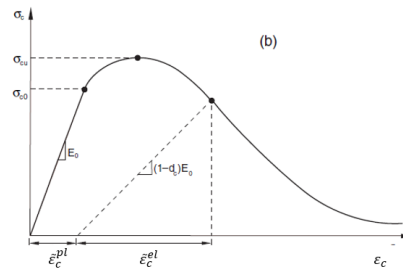
1. PENDAHULUAN

Cara umum untuk mengetahui tegangan regangan pada balok beton bertulang yaitu dengan melakukan experiment di laboratorium dengan frekuensi experiment tertentu dan hasil dari experiment tersebut bisa digunakan sebagai dasar dalam melakukan pemodelan pada finite element. Namun hal tersebut membutuhkan biaya tinggi dan waktu yang lama Peningkatan penggunaan komputer dalam membuat perencanaan dalam memodelkan bentuk suatu struktur dapat dijadikan alternatif dalam menyelesaikan permasalahan dalam

suatu struktur. Oleh karena itu digunakan metode elemen hingga dengan menggunakan software abaqus sebagai solusi dalam menyelesaikan masalah kompleks dari suatu bentuk struktur [1], [2]. Definisi dari tegangan tekan dan tegangan tarik pada beton dengan metode concrete damage plasticity diperhitungkan setelah mengalami kondisi elastis beton. Data ini dinyatakan ke dalam bentuk tabel dari fungsi regangan in elastis dan regangan retak Seperti pada gambar 1 dan 2 [3], [4].



Gambar 1. Perilaku Beton Terhadap Beban Tarik (Sumber : Abaqus manual)



Gambar 2. Perilaku Beton Terhadap Beban Tekan (Sumber : Abaqus manual)

Diagram tegangan dan regangan pada tekan dan tarik digunakan dalam menentukan tegangan dan regangan tarik retak ($\tilde{\epsilon}_t^{ck}$) dan tegangan regangan tekan inelastis ($\tilde{\epsilon}_c^{in}$) yang dibebani secara uniaksial. Tegangan-regangan tarik retak ($\tilde{\epsilon}_t^{ck}$) dan tekan inelastis ($\tilde{\epsilon}_c^{in}$) di rumuskan kedalam persamaan 1 – 4 berikut :

Tegangan-regangan tekan inelastis :

$$\tilde{\epsilon}_c^{in} = \epsilon_c - \tilde{\epsilon}_{0c}^{el} \tag{1}$$

Dimana,

$$\tilde{\epsilon}_{0c}^{el} = \sigma_c / E_0 \tag{2}$$

Tegangan-regangan tarik retak :

$$\tilde{\epsilon}_t^{ck} = \epsilon_t - \tilde{\epsilon}_{0t}^{el} \tag{3}$$

Dimana,

$$\tilde{\epsilon}_{0t}^{el} = \sigma_t / E_0 \tag{4}$$

- Keterangan :
- $\tilde{\epsilon}_c^{in}$ = tegangan regangan tekan inelastis beton,
 - $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$ = tegangan regangan tarik retak beton,
 - $\tilde{\epsilon}_{0c}^{el}$ = tegangan regangan tekan elastis beton,
 - $\tilde{\epsilon}_{0t}^{el}$ = tegangan regangan tarik elastis beton,
 - ϵ_c = regangan tekan beton (mm)
 - ϵ_t = regangan tarik beton (mm)
 - σ_c = tegangan tekan beton (MPa)
 - σ_t = tegangan tarik beton (MPa)
 - E_0 = modulus elastisitas beton (MPa)

Kerusakan (damage) pada concrete damage plasticity pada tarik dan tekan dapat didefinisikan sebagai perbandingan kondisi beton terhadap undamaged dan damage, sehingga definisi dari keruntuhan beton (dc atau dt) pada persamaan dan dapat dihitung dengan formulasi persamaan 5 dan 6 [4], [5].

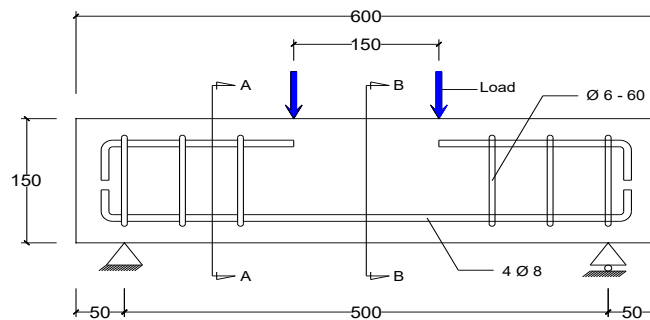
$$dc = 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}} \tag{5}$$

$$dt = 1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_{t0}} \tag{6}$$

- Keterangan :
- dc = parameter kerusakan tekan beton,
 - dt = parameter kerusakan tarik beton,
 - σ_{cu} = tegangan tekan ultimate beton (MPa)
 - σ_{t0} = tegangan tarik ultimate beton (MPa)
 - σ_c = tegangan tekan beton (MPa)
 - σ_t = tegangan tarik beton (MPa)

2. METODOLOGI PENELITIAN

Beton Beton yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu Concrete Damage Plasticity. Selain itu data lain yang digunakan adalah density, material elastis, konstitutif material beton dalam kondisi tekan dan tarik, dan parameter plasticity.



Gambar 3. Bentuk Struktur

Tabel 1. Parameter density dan material elastis [9]

Density	Modulus Elastisitas	Poison Ratio
2400 kg/cm ²	$4700 \sqrt{f'_c}$ MPa	0.2

Tabel 2. Parameter Plasticity

Ψ (*)	36
C	0.1
σ_{co}/σ_{bo}	1.16
Kc	0.667
Viscosity Parameter	0

Tabel 3. Sifat Mekanis Beton

Kuat Tekan Beton	Kuat Tarik Beton	Modulus Elastisitas
25 Mpa	8.31 Mpa	$4700\sqrt{25}$ Mpa

Data tulangan baja yang dimasukkan dalam penelitian ini berupa density, dan material elastis baja [5], [10].

Tabel 4. Parameter Density dan Elastis Baja

Density	Modulus Elastisitas	Poisson Ratio
7800 kg/cm ²	200000 MPa	0.3

Untuk parameter lain seperti konstitutif material baja yang berupa tegangan dan regangan plasticity dilakukan perhitungan menggunakan persamaan yang di usulkan oleh Park dan Paulay, untuk data sifat mekanis menggunakan SNI 2052:2017 berikut [10].

Tabel 4. Sifat Mekanis Baja (Sumber : SNI 2052:2017)

Kelas Baja Tulangan	Kuat Luluh/Leleh (YS)	Kuat Tarik (TS)	Regangan dalam 200 mm, Min.
	MPa	MPa	%
BJTP 280 (Tul. Geser)	Min. 280	Min. 350	11
BJTS 420B (Tul. Long)	Min. 420	Min. 525	14

Modulus Elastisitas Baja = 200000 MPa

Perilaku beton saat diberi beban tekan, dimana saat beban bekerja sebelum tercapainya beban ultimate tegangan regangan tekan beton masih dalam kondisi linear namun setelah tercapainya beban ultimate tegangan regangan tekan beton bersifat nonlinear dimana beban perlahan menurun sementara regangan terus bertambah dan membentuk pola melengkung. Berdasarkan kurva pada gambar 1 [11], maka diperoleh persamaan dengan membagi kurva kedalam 3 daerah yaitu[12]:

Daerah A – B : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \quad (7)$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (8)$$

Daerah B – C : $\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$

$$f_s = f_y \quad (9)$$

$$\epsilon_{sh} = 16 \cdot \epsilon_y \quad (10)$$

Daerah C – D : $\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$

$$s = f_y \left[\frac{m \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2}{60 \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) \cdot (60 - m)}{2 \cdot (30r + 1)^2} \right] \quad (11)$$

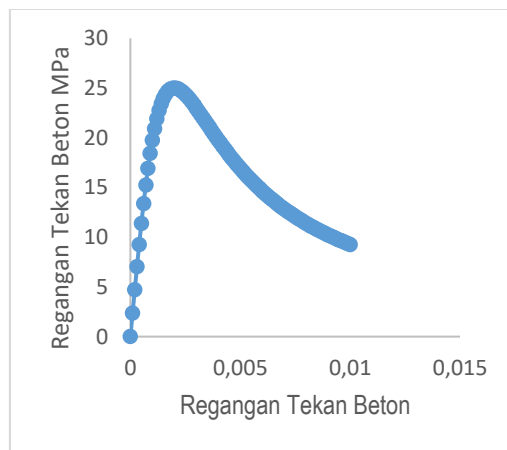
Dimana

$$m = \frac{(f_{su}/f_y) \cdot (30r + 1)^2 - 60r - 1}{15r^2} \quad (12)$$

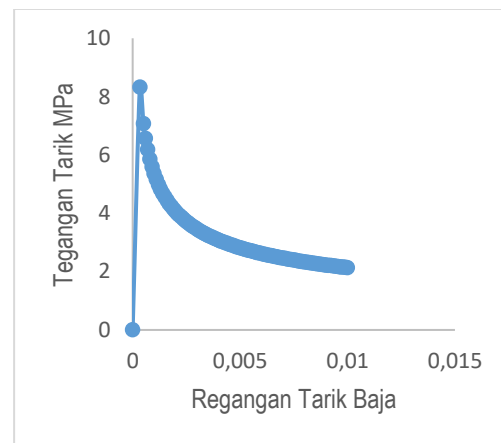
$$r = \varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \quad (13)$$

Dimana f_s adalah kuat tarik dari baja tulangan; ε_s adalah regangan tarik baja tulangan; ε_{sh} adalah regangan tarik baja tulangan pada saat mencapai kondisi plastis; ε_{su} adalah regangan tarik dari baja tulangan pada saat mencapai kondisi ultimate. E_s adalah modulus elastisitas baja tulangan. Tegangan Ultimate Tekan beton adalah : $\sigma_{cu} = 20,19$ MPa.

Modulus Elastisitas beton adalah : $E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{20,19} = 21118,64$ MPa



Gambar 4. Hubungan Tegangan dan Regangan Tekan Beton



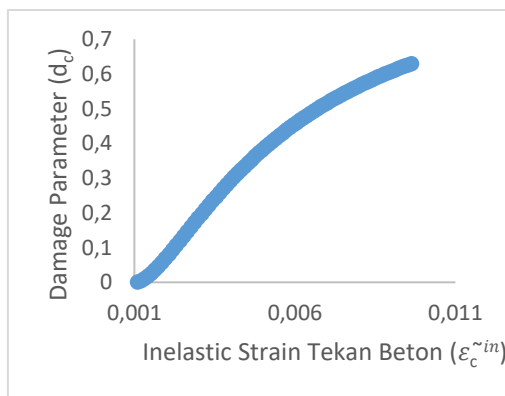
Gambar 5. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Tarik Beton

Perilaku beton ketika diberi beban tarik, beban tarik jauh lebih kecil dari beban tekan antara 10% - 20% kuat tekan dan memiliki perilaku yang berbeda dengan beban tekan dimana saat beban bekerja sebelum tercapainya beban ultimate tegangan regangan tarik beton dalam kondisi yang linear sempurna kemudian setelah tercapainya beban ultimate tegangan regangan tarik beton bersifat nonlinear dimana beban menurun drastis sementara regangan terus bertambah dan membentuk pola melengkung. Inelastic strain tekan beton merupakan regangan tekan beton tidak elastis yang bersifat nonlinear dimana nilai parameter ini berdasarkan data pendekatan analisis konstitutif material beton yang dieksekusi berdasarkan persamaan dari abaqus manual book. dimana parameter ini merupakan nilai yang dipakai oleh program abaqus untuk mendefinisikan perilaku tekan beton nonlinear yang terjadi setelah modulus elastisitas, dimana nilai yang diambil setelah modulus elastisitas beton yaitu 40% dari tegangan tekan ultimate. Mencari nilai Inelastic Strain beton setelah 40% tegangan tekan ultimate.

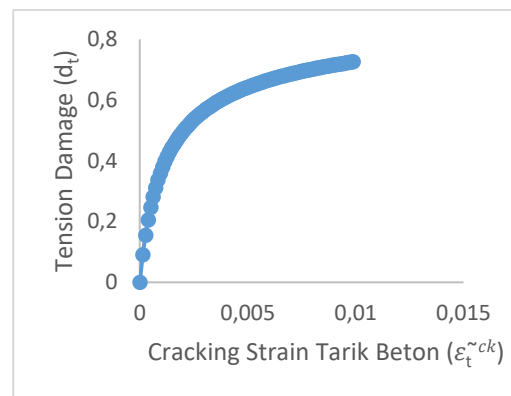
Cracking strain tarik beton merupakan regangan tarik beton tidak elastis yang bersifat nonlinear dimana nilai parameter ini berdasarkan data pendekatan analisis konstitutif material beton tarik yang dieksekusi berdasarkan persamaan dari abaqus manual book. parameter ini merupakan nilai yang dipakai oleh program abaqus untuk mendefinisikan perilaku tarik beton nonlinear yang terjadi setelah modulus elastisitas,

dimana nilai yang diambil adalah nilai dari grafik tegangan regangan tarik beton yang bersifat nonlinear yang terjadi setelah modulus elastisitas tarik beton yang bersifat linear pada awal pembebanan sampai puncak pembebanan.

Parameter kerusakan tekan beton merupakan parameter yang menggambarkan kerusakan akibat tegangan tekan yang terjadi pada material beton secara monotonik, dengan mengacu pada nilai antara $0 > 1$ yang mengartikan bahwa semakin mendekati angka satu sehingga kerusakan yang terjadi semakin melebar dan mulai kehilangan kekakuannya. Parameter ini dipakai program abaqus untuk mengvisualisasikan kerusakan yang terjadi pada beton akibat beban tekan.



Gambar 6. Damage Parameter Tekan Beton



Gambar 7. Damage Parameter Tarik Beton

Damage Parameter Tarik Beton Parameter kerusakan tarik beton merupakan parameter yang menggambarkan kerusakan akibat tegangan tarik yang terjadi pada material beton yang bersifat monotonik, dengan mengacu pada nilai antara $0 > 1$ yang berarti semakin mendekati angka satu kerusakan yang terjadi semakin melebar dan mulai kehilangan kekakuannya. Berdasarkan data parameter tersebut kerusakan tarik beton lebih mudah terjadi dikarenakan kuat tarik beton yang kecil. Parameter ini dipakai program abaqus untuk mengvisualisasikan kerusakan yang terjadi pada beton akibat beban tarik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 7 dapat diketahui diagram tegangan regangan beton bertulang dengan suhu normal pada saat menerima beban, dari gambar terlihat tegangan ultimate beton 25 MPa sementara regangan ultimate beton 0,0033160 mm. Dari grafik tersebut dapat dilihat perilaku beton yang tegangannya meningkat akibat menerima beban terlebih dahulu sampai akhirnya menerima keruntuhan akibat tegangan yang semakin meningkat. Setiap adanya peningkatan temperatur beton akan menjadi lemah. Hal tersebut dapat dilihat pada tegangan maksimum yang turun pada setiap peningkatan temperatur. Pada temperatur 300°C tegangan maksimum yang dapat diterima model adalah 22,6359 MPa. Pada temperatur 700°C tegangan maksimum turun dari kekuatan awal menjadi 15,3416 MPa.

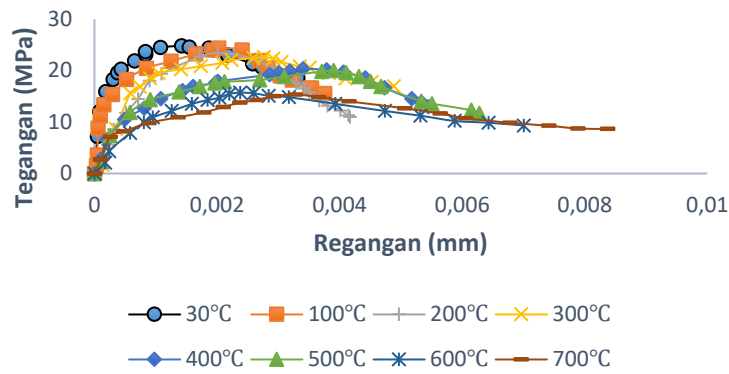
Selain dari kekuatan yang menurun, beton juga mudah terdeformasi. Hal tersebut dapat dilihat pada respon regangan model yang terus meningkat seiring peningkatan temperatur. Pada kondisi normal yaitu 30°C regangan puncak beton adalah 0,0033160 mm. Regangan puncak terus meningkat hingga pada temperatur 700°C menjadi sebesar 0,00837206 mm. Peningkatan temperatur pada balok beton bertulang akan menyebabkan penurunan nilai tegangan maksimum pada baja tersebut. Pada temperatur 300°C tegangan maksimum pada baja adalah 327,175 MPa, terjadi penurunan sebesar 6,75% jika

dibandingkan dengan kekuatan baja pada suhu normal yaitu sebesar 349,248 MPa. Pada temperatur 700°C tegangan maksimum turun dari kekuatan awal menjadi 126,517 MPa dengan rasio perbandingan sebesar 176,06% jika dibandingkan pada suhu normal.

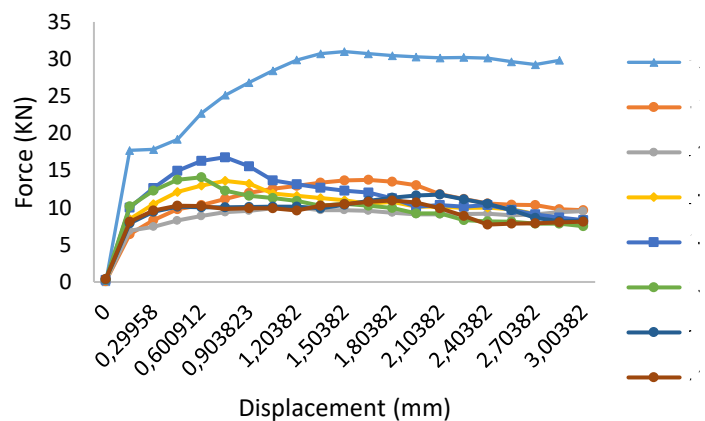
Hubungan Beban dan Lendutan

Tabel 3. Tegangan Regangan Ultimate Beton

Suhu (°C)	Tegangan Ultimate (MPa)	Regangan Ultimate (mm)
30	24,8192	0,003316
100	24,3915	0,003759
200	22,7372	0,00417
300	22,6359	0,00489
400	20,3452	0,00545
500	19,9881	0,00628
600	15,7184	0,00701
700	15,3416	0,00837



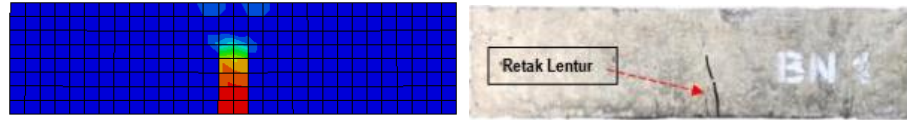
Gambar 8. Hubungan Tegangan Regangan Beton



Gambar 9. Rekapitulasi Hubungan Beban dan Lendutan Beton

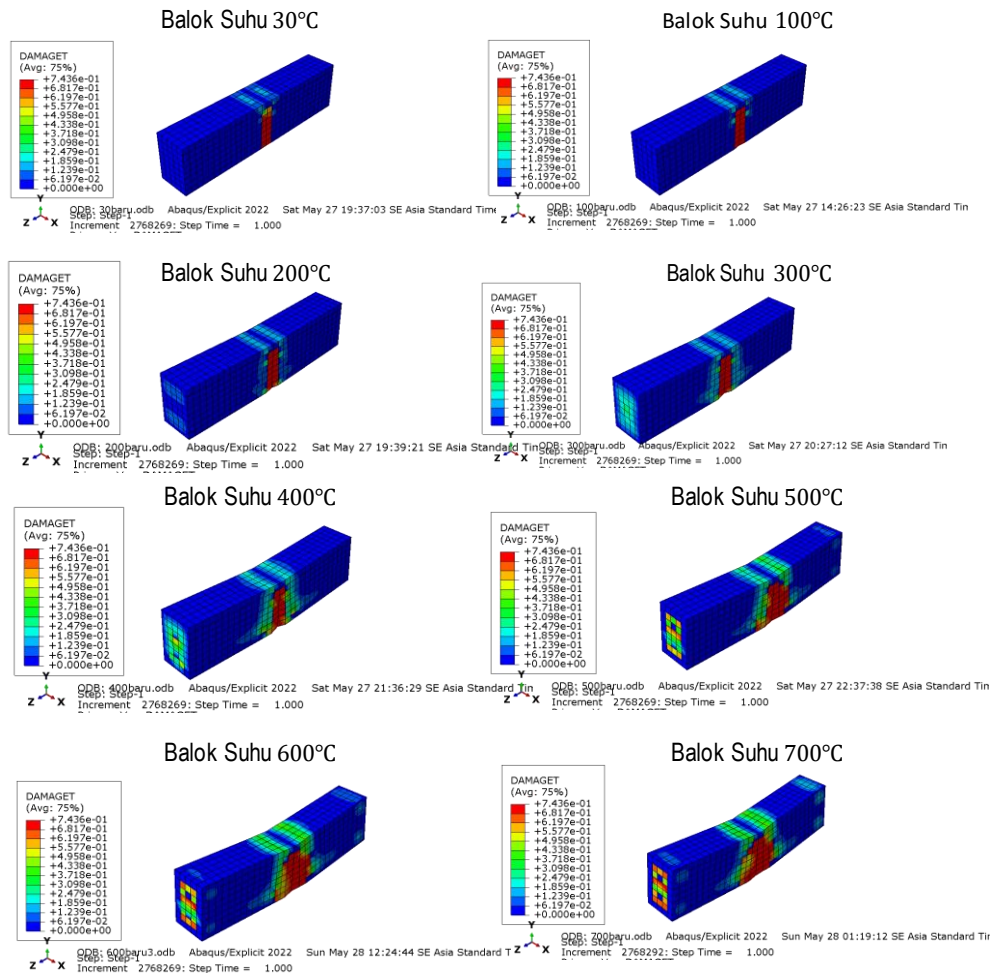
Kontur warna dari parameter kerusakan beton yang terlihat secara visual menunjukkan tingkat kerusakan pada balok beton bertulang dengan suhu normal dan balok yang diberikan suhu tinggi, warna hijau menunjukkan kerusakan yang masih

memiliki kekakuan sementara warna merah menunjukkan kerusakan yang telah kehilangan kekakuannya.



Gambar 10. Pola Retakan Balok Suhu Normal 30°C

Berdasarkan gambar 10 jenis pola retakan yang terjadi pada balok beton bertulang pada suhu normal adalah jenis retak lentur dimana hal ini juga didapati pada hasil yang diperoleh dari finite element method dengan jenis pola retakan berupa retak lentur juga seperti pada gambar yang lain yaitu gambar 11.



Gambar 11. Pola Retakan Balok

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pembahasan dan analisis data dari perilaku tegangan regangan pada balok beton bertulang yang mengalami pemanasan suhu tinggi maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu yang diterima oleh balok beton maka kekuatan semakin melemah. Ditandai dengan makin menurunnya nilai tegangan pada beton bertulang terus menurun seiring bertambahnya temperatur panas yang awalnya 30°C sebesar 24,8192 MPa turun sebesar 61,78% menjadi 15.3416 MPa pada temperatur 700°C. Nilai regangan ultimate terus meningkat seiring meningkatnya temperatur yaitu 0.0033160 mm pada suhu normal dan terus meningkat hingga pada temperatur 700°C kenaikan mencapai 138,78% menjadi sebesar 0.00837206 mm.

REFERENSI

- [1] Ahmad, I. A., Nur, A. S., & Abdul, H. A. (2009). Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 16, 63-69.
- [2] Al-Osta, M. A., Isa, M. N., Baluch, M. H., & Rahman, M. K. (2017). Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with ultra-high performance fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 134, 279-296.
- [3] Anggraini, R., & Edhi, W. (2011, Oktober 14). Kuat Lentur Balok Yang Mengalami Perbedaan Temperatur Dan Proses Pendinginan. *Seminar Nasional-1 BMPTTSSI - Konteks* 5, 69-75.
- [4] Arini Resti, N., & Reflangga, P. (2021). Analisa Tegangan Regangan Pada Balok Dengan Menggunakan Software Abaqus Cae V6.14. *Jurnal Artesis*, 193-198.
- [5] Faizin, Edhi, W. S., & Wisnumurti. (2017). Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Lendutan Dan Kekakuan Balok Beton Bertulang. *Rekayasa Sipil*, 24-30.
- [6] Joko, Kusdiman. (2008). ketahanan Elemen Struktur Terhadap Kebakaran. 63-71
- [7] Pakpahan, Yogi Rikardo. (2015). Analisa Lendutan Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Diameter Tulangan Berbeda Dan Letak Tulangan Berbeda Namun Luas Penampang Tetap Sama Dengan Cara Teoritis Dan Simulasi Program FEA. Medan : Universitas Sumatra Utara.
- [8] Park, R. & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley and Sons, Inc, Canada.
- [9] SNI 03-2847 tahun 2002 - Penelusuran Google. (n.d.). Retrieved February 4, 2022, from <https://www.google.com/search?q=sni+032847+tahun+2002&oq=SNI+03&aqs=chrome.8.69i57j0i51219.13394j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- [10] SNI 2052. (2017). *Baja Tulangan Beton*. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- [11] Suryanita, r., Wahyu, R., & Alfian, K. (2019). Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan Beton pada Suhu Tinggi dengan Software Lusas. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Volume 25, No. 1, 2019, 115-122 , 115-122.
A. A. User, "Abaqus 6.14," vol. IV.
- [12] T. Tavio and A. Tata, "Predicting Nonlinear Behavior and Stress-Strain Relationship of Rectangular Confined Reinforced Concrete Columns with ANSYS," *Civ. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 23–31, 2009, [Online]. Available: <http://cpanel.petra.ac.id/ejournal/index.php/civ/article/viewArticle/17027>.