

## PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP PERILAKU DAN KEKUATAN KOLOM TERKEKANG

**Deni Teras<sup>1</sup>, Darmansyah Tjitradi<sup>2</sup> dan Arie Febry Fardheny<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Seruyan

<sup>2</sup>Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University

### ABSTRAK

Salah satu penggunaan beton mutu tinggi sebagai elemen struktur beton bertulang yang berfungsi sebagai daya dukung dan pengaku adalah kolom. Perilaku struktur kolom beton bertulang dengan pengekanan akibat temperatur tinggi perlu dipahami untuk menentukan apakah struktur kolom itu akan diganti atau hanya diperbaiki saja.

Model yang digunakan sebagai validasi adalah hasil eksperimental (Faris Ali, 2010), dengan dimensi 127 x 127 mm<sup>2</sup> dengan tinggi 1800 mm, tulangan longitudinal 4Ø12 dengan mutu baja  $f_y = 400$  MPa, tulangan transversal Ø6-120 dengan mutu baja  $f_y = 240$  MPa, sedangkan mutu beton tinggi  $f_c' = 104,5$  MPa dan temperatur 867°C. Selanjutnya dibuat model implementasi pada ANSYS dengan dimensi, mutu baja dan mutu beton yang sama tetapi menggunakan tulangan transversal Ø10-50. Untuk model DT.01 menggunakan tulangan longitudinal 4Ø12, model DT.02 menggunakan tulangan longitudinal 8Ø12, model DT.03 dan model DT.04 menggunakan tulangan longitudinal 8Ø12 tetapi dengan variasi pengekanan. Variasi temperatur yang digunakan adalah 20°C, 200°C, 500°C dan 1000°C

Berdasarkan FEA, didapatkan momen ultimit terbesar adalah model DT.03 sebesar 303,2244 kNm. Nilai tegangan puncak dipengaruhi jumlah tulangan longitudinal dan akan menurun dengan bertambahnya rasio tulangan geser pada temperatur 20°C untuk DT.03 dan DT.04. Sedangkan kenaikan temperatur akan menyebabkan menurunnya tegangan puncak pada kolom dan bertambahnya rasio tulangan geser akan meningkatkan regangan pada tegangan puncak. Nilai regangan pada tegangan puncak dipengaruhi oleh rasio tulangan geser, semakin besar rasio tulangan geser, maka nilai regangan pada tegangan puncak akan semakin meningkat hal ini karena nilai daktilitas meningkat. Selanjutnya semakin meningkat temperatur pada kolom, maka nilai regangan pada tegangan puncak akan semakin meningkat sampai temperatur 500°C dan akan menurun pada temperatur 1000°C. Nilai beban ultimit sangat dipengaruhi oleh tulangan longitudinal dan akan mengalami penurunan dengan bertambahnya rasio tulangan geser. Sedangkan pertambahan temperatur akan menyebabkan berkurangnya nilai beban ultimit. Pengaruh pengekanan, kenaikan temperatur dan penambahan tulangan longitudinal pada kolom menyebabkan nilai deformasi semakin meningkat, kecuali untuk temperatur 1000°C. Nilai daktilitas dipengaruhi oleh pengekanan dan temperatur. Semakin banyak pengekanan maka nilai daktilitas akan semakin meningkat dan semakin tinggi temperatur nilai daktilitas akan menurun. Perilaku ratak dari retak pertama yang terjadi pada bagian atas dan bawah kolom dan retak ultimit yang terjadi pada seluruh bagian kolom yang mana pola retak paling dominan terjadi yaitu retak lentur.

**Kata Kunci:** Pengekanan kolom, Temperatur, Momen Ultimit, Tegangan-regangan, Beban-deformasi, Daktilitas, PolaRetak

## 1. PENDAHULUAN

Bangunan konstruksi beton di Kalimantan Tengah sejauh ini mengalami banyak perkembangan. Permasalahan yang ada, banyak terjadi kegagalan struktur pada bangunan yang terbuat dari konstruksi beton yang diakibatkan oleh kebakaran.

Beberapa peristiwa kebakaran yang terjadi

dua tahun terakhir di empat kabupaten, satu kota di Kalimantan Tengah yang antara lain kebakaran rumah terjadi di Jalan DI. Panjaitan, Kuala Pembuang kurang lebih 3 jam 30 menit dan suhu diperkirakan 100 °C hingga mencapai 200 °C (UPTD DAMKAR Kuala Pembuang 22/06/10), kebakaran Pasar Beringin Buntok 4 jam suhu 300 °C hingga mencapai 500°C (UPTD DAMKAR Bunto05/08/10), kebakaran Ruko didepan Pelabuhan Sampit kurang lebih 1,5 jam dan suhu kurang lebih 200 °C (Kalteng Pos edisi 06/10/11), kebakaran Komplek Pasar Sumber Agung

Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)

Available on line at:<http://jtb.ulm.ac.id>

Vol. 2 No. 2 (2013) pp. 110-121

Kecamatan Pangkalan Lada, Kobar kurang lebih 2 jam dan suhu diperkirakan 300 °C (Borneo News edisi 09/09/11), kebakaran Rujab KPKN Jalan Thamrin Palangka Raya kurang lebih 4 jam dan suhu diperkirakan 500 °C (UPTD DAMKAR Palangka Raya 04/07/11) dan kebakaran yang terjadi pada tanggal 19 September 2011 kebakaran Ruko di Jalan B. Koetin Komplek UNPAR Palangka Raya, yang rata-rata pasca kebakaran bangunan yang terbuat dari konstruksi beton tidak layak digunakan lagi dan dibongkar sehingga menjadi material urugan halaman rumah (media Kal-teng pos, Borneo News dan Damkar masing-masing kabupaten/ kota).

Dengan sering terjadinya kebakaran menuntut perkembangan teknologi beton yang diharapkan menghasilkan beton mutu tinggi. Aplikasi beton mutu tinggi sudah banyak dipakai dalam berbagai bidang pekerjaan konstruksi teknik sipil. Menurut hasil penelitian yang sudah dilakukan dan dikembangkan, digunakannya beton mutu tinggi karena mempunyai kekuatan dan kinerja yang tinggi sehingga diharapkan memberikan ketahanan dan kekuatan serta keandalan struktur bangunan yang lebih baik dibanding dengan menggunakan beton mutu normal. Kuat tekan beton bisa mencapai lebih besar salah satunya dapat dilakukan dengan penambahan zat tambahan kedalam adukan beton 2 dengan perbandingan campuran dan metode pelaksanaan sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan (Neville dan Aitcin, 1997).

Beton mutu tinggi sebagai trend konstruksi karena mempunyai kinerja ketahanan, kekuatan dan sebagai andalan struktur bangunan yang diharapkan lebih baik. Berdasarkan tren konstruksi sekarang ini beton mutu tinggi diharapkan mampu mengatasi kondisi lingkungan bahkan alam.

Salah satu penggunaan beton mutu tinggi sebagai elemen struktur beton bertulang yang berfungsi sebagai daya dukung dan pengaku adalah kolom. Aplikasi kolom dengan beton mutu tinggi diharapkan memberikan struktur yang daktail. Cara efektif untuk meningkatkan daktilitas beton mutu tinggi adalah dengan pengekangan, agar kolom mampu memikul beban layanan pada kondisi ultimit. Hal ini untuk menghindari terjadinya keruntuhan secara tiba-tiba dan terhindarnya

korban jiwa dengan adanya peringatan dini adanya keruntuhan struktur (Park dan Priestle, 1993).

Perilaku struktur kolom beton bertulang dengan pengekangan akibat temperatur tinggi perlu dipahami untuk menentukan apakah struktur kolom itu akan diganti atau hanya diperbaiki saja.

Dalam hal ini penulis membahas judul pengaruh suhu terhadap perilaku dan kekuatan kolom terkekang. Penulis menilai perlu mengetahui pengaruh suhu dan jalannya waktu pembakaran terhadap perilaku dan kekuatan serta keamanan struktur kolom terkekang dengan aplikasi beton mutu tinggi sehingga dapat diketahui pasca pembakaran struktur kolom dimaksud layak tidaknya untuk digunakan kembali dengan menggunakan analisis metode elemen hingga.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pendekatan Sistem

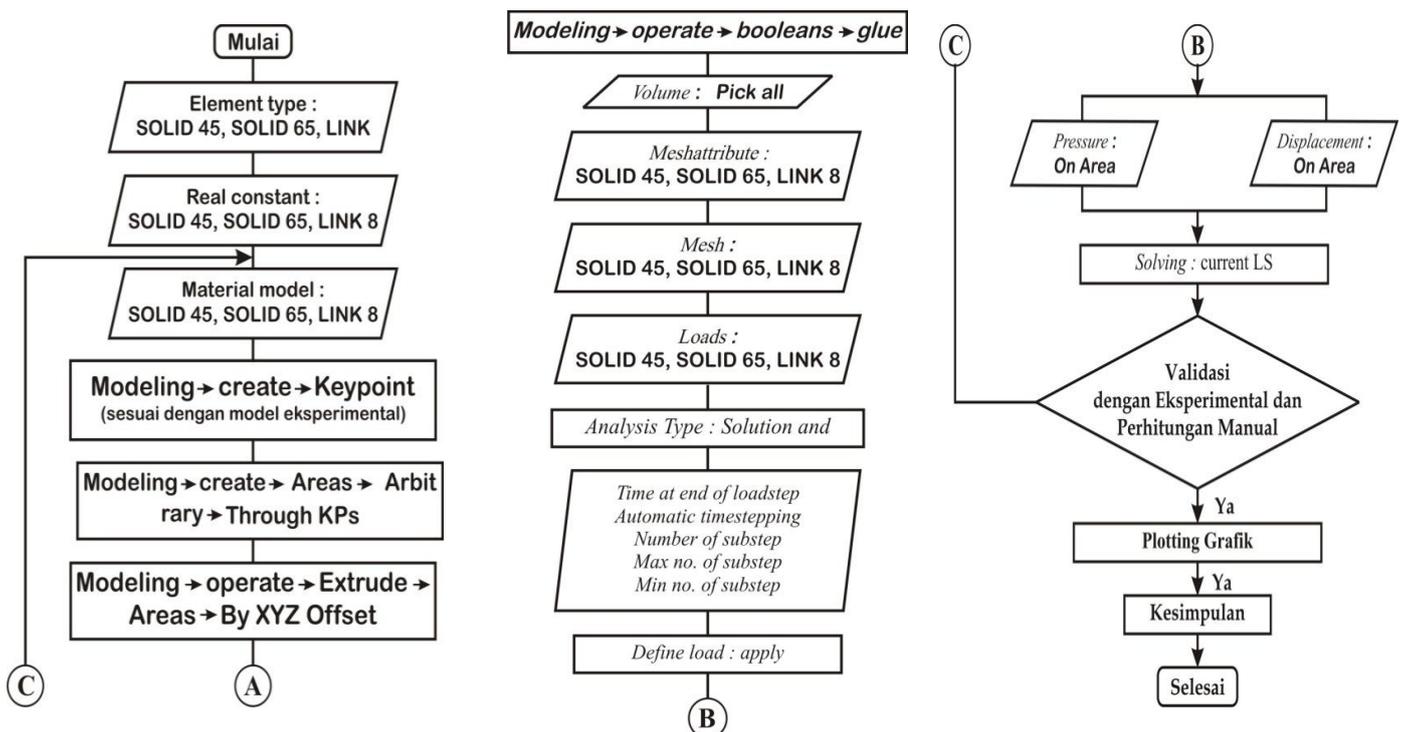
Pada penelitian ini model beton dan model baja menggunakan analisis model elemen hingga dengan bantuan program komputasi ANSYS Ed. 9.0. Dalam program ANSYS Ed. 9.0, model elemen hingga dibuat menggunakan *graphical user interface* (GUI) dan akan dijelaskan mengenai tipe elemen model yang dapat memberikan gambaran yaitu model blok beton kolom, model baja tumpuan serta model tulangan utama dansengkang.

Kolom beton mutu tinggi yang terkekang akan dimodelkan dengan variabel-variabel yang terdapat pada Bagian I penelitian. Analisis elemen hingga dengan bantuan program komputasi ANSYS Ed. 9.0 pada model kolom beton mutu tinggi dengan memasukkan nilai tegangan dan regangan beton baja dan tulangan pada kondisi temperatur penelitian. Hasil pengujian yang diperoleh untuk menentukan nilai perubahan tegangan-regangan, tegangan-temperatur, beban deformasi, beban-retak dan momen-kurvatur pada temperatur tertentu. Sehingga dapat dihitung kekuatan sisa dari model kolom beton mutu tinggi terkekang ini. Analisis model kolom beton mutu tinggi yang terkekang menggunakan analisis

elemen hingga dengan bantuan komputasi ANSYS Ed. 9.0.

Bagan alur penelitian secara umum tercantum dalam Gambar 1. Langkah pertama adalah memodelkan kolom beton mutu tinggi sesuai dengan hasil uji eksperimental terdahulu dengan variasi temperatur. Langkah kedua adalah dengan melakuakn input data sesuai dengan material model propertiesnya. Data masukan berupa kondisi penulangan, model beton mutu

tinggi, baja tulangan dengan tegangan-regangan yang sudah ditentukan serta kondisi perletakan. Setelah semua data dimasukkan, langkah ketiga adalah pemberian beban. Beban diberikan dengan cara iteratif dan kemudian dilakukan *running program*. Apabila beban yang diberikan masih belum dapat membuat keruntuhan pada model (kondisi ultimit), maka nilai beban dinaikkan dari sebelumnya dan dilakukan kembali *running program*.



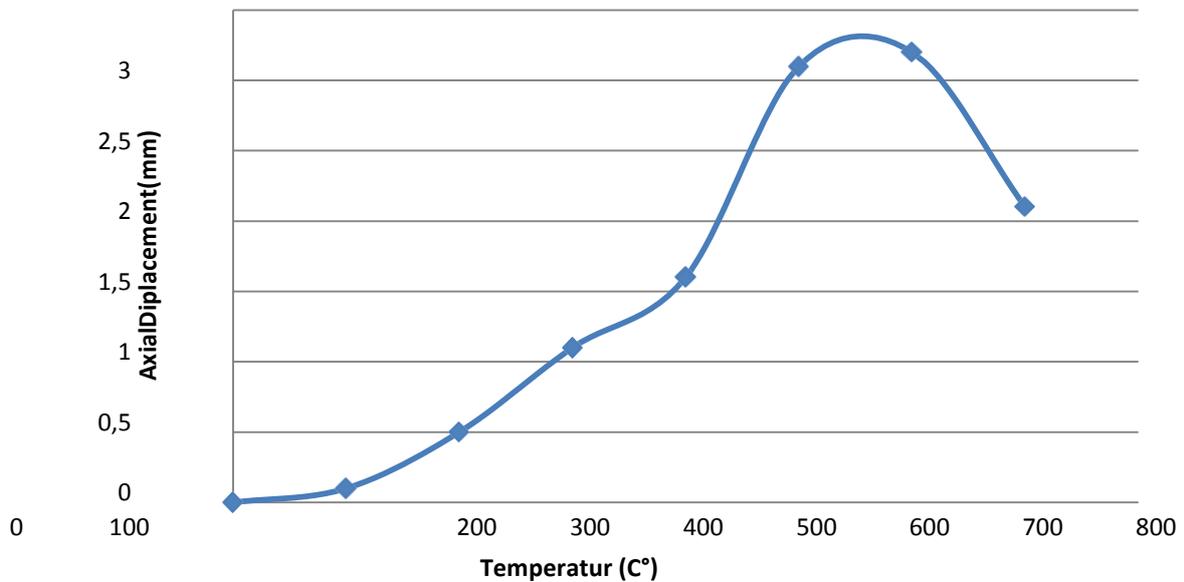
Gambar 1. Bagan Alir Langkah Kerja Permodelan Kolom ANSYS Ed. 9.0

## 2.2 Validasi dan Verifikasi Model

Analisis awal yang dilakukan adalah memodelkan kolom dengan data *input* yang sesuai dengan hasil uji eksperimental terdahulu. Model kemudian dianalisis berdasarkan pengaruh pembebanan-temperatur permukaan kolom terhadap displacement aksial dan kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil uji eksperimental sebelumnya. Apabila hasil sudah tervalidasi maka akan dilanjutkan dengan pembuatan model dengan variasi yang telah ditetapkan dalam batasan penelitian. Hasil analisis model ini akan dibandingkan dengan hasil

model awal. Perbedaan hasil analisis menjadi dasar dalam memprediksi kesimpulan dari penelitian ini.

Dari hasil analisis model elemen hingga dengan bantuan program ANSYS Ed. 9.0 tersebut diperoleh data berupa nilai deformasi - temperatur. Nilai tersebut diolah menjadi sebuah data yang menyerupai koordinat yang acak. Dari data koordinat tersebut, maka dapat ditentukan persamaan kurvanya menggunakan regresi polinomial metode *curve fitting power model* fungsi parabolik seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hubungan antara Temperatur dengan Deformasi Hasil Uji Exsperimental (Ali, 2010)

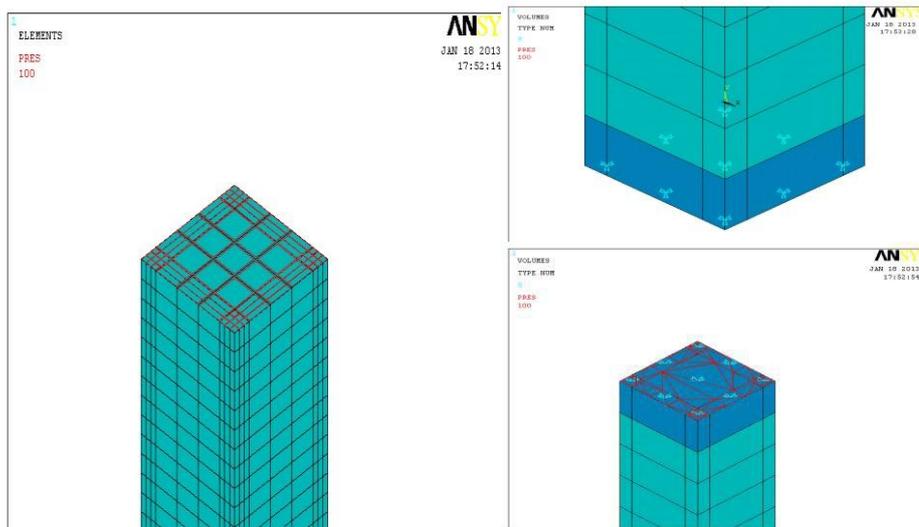
### 2.3 Diskretisasi Elemen Hingga pada Geometri (*meshing*)

Untuk mendefinisikan sifat-sifat material pada geometri yang sudah dibuat, maka langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menjalankan fungsi *mesh attribute*. Fungsi ini dijalankan sehingga geometri memiliki perilaku seperti elemen-elemen yang sudah didefinisikan. Semakin halus *mesh* maka semakin detil perilaku permodelan yang dapat teridentifikasi, tetapi juga diiringi

*runtime* yang lebih lama. Hal ini dikarenakan ANSYS menyelesaikan jumlah persamaan yang banyak secara simultan.

### 2.4 Menetapkan Kondisi Batas

Permodelan kolom diberikan sebuah pembebanan tekan aksial pada permukaan bagian atas untuk mensimulasikan pembebanan aktual yang diberikan pada pengujian, sementara bagian bawah kolom dijepit seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Jenis Tumpuan dan Pembebanan pada Model ANSYS Ed. 9.0

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Model Menggunakan ANSYS Ed.9.0

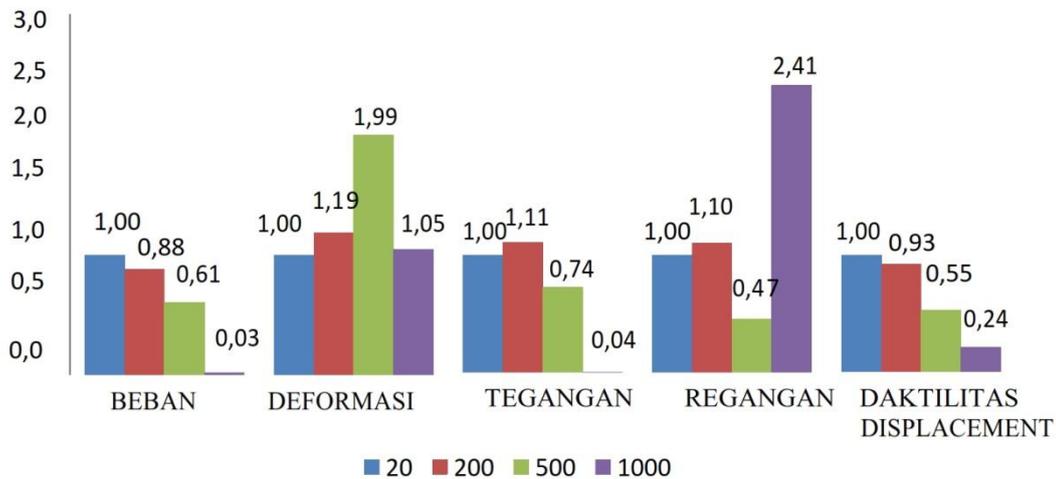
Berikut disajikan rekapitulasi hasil ANSYS Ed. 9.0 untuk semua model seperti Tabel 1.

**Tabel 1.** Rekapitulasi Hasil ANSYS Ed. 9.0

No	Model	Retak Pertama					Retak Ultimit					Ket	
		Load Step	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan	Load Step	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	Model DT.01.20	0,06	96,774	0,852	6,238	0,00833	0,77	1241,933	4,64222	69,7754	0,0032	5,448	
2	Model DT.01.200	0,24	387,096	1,584	20,297	0,00970	0,68	1096,772	5,51530	77,3480	0,0356	5,054	
3	Model DT.01.500	0,20	322,580	3,109	20,951	0,00171	0,47	758,063	9,26066	51,4359	0,0153	2,974	
4	Model DT.01.1000	0,20	32,258	3,725	2,381	0,00290	0,24	38,750	4,88268	2,4943	0,0078	1,311	
5	Model DT.02.20	0,17	274,193	0,815	18,209	0,00891	0,85	1370,965	4,58367	73,5419	0,0032	5,591	
6	Model DT.02.200	0,10	161,290	0,749	19,089	0,00502	0,63	1008,063	3,16684	70,3776	0,0080	5,393	
7	Model DT.02.500	0,10	161,290	1,034	10,385	0,00810	0,35	556,451	5,31545	39,2071	0,0062	5,137	
8	Model DT.02.1000	0,10	161,290	0,998	0,991	0,00120	0,24	38,710	3,33057	2,7686	0,0068	3,429	
9	Model DT.03.20	0,25	403,225	1,280	25,693	0,00130	0,79	1274,191	4,58199	68,8254	0,0034	3,578	
10	Model DT.03.200	0,10	161,290	0,520	9,670	0,00039	0,51	822,579	2,99358	55,8575	0,0041	3,488	
11	Model DT.03.500	0,10	161,290	0,850	10,297	0,00833	0,31	492,338	4,54226	33,7108	0,0053	3,327	
12	Model DT.03.1000	0,10	161,290	1,065	2,697	0,00130	0,24	38,974	3,41005	2,6865	0,0037	3,201	
13	Model DT.04.20	0,20	322,580	1,058	20,803	0,00150	0,77	1241,933	4,64500	71,2412	0,0050	4,999	
14	Model DT.04.200	0,15	241,935	0,870	16,129	0,00140	0,53	859,676	3,23099	60,8639	0,0055	3,713	
15	Model DT.04.500	0,10	161,290	0,970	10,304	0,07690	0,26	419,354	3,58692	26,4839	0,0041	3,691	
16	Model DT.04.1000	0,10	161,290	1,106	0,992	0,00140	0,25	39,597	3,74738	2,8529	0,0078	3,388	

Untuk nilai daktilitas beban grafitasi maka kolom masih dapat digunakan sedangkan untuk nilai daktilitas beban grafitasi maka kolom sudah tidak dapat digunakan lagi (Park dan Paulay1975)

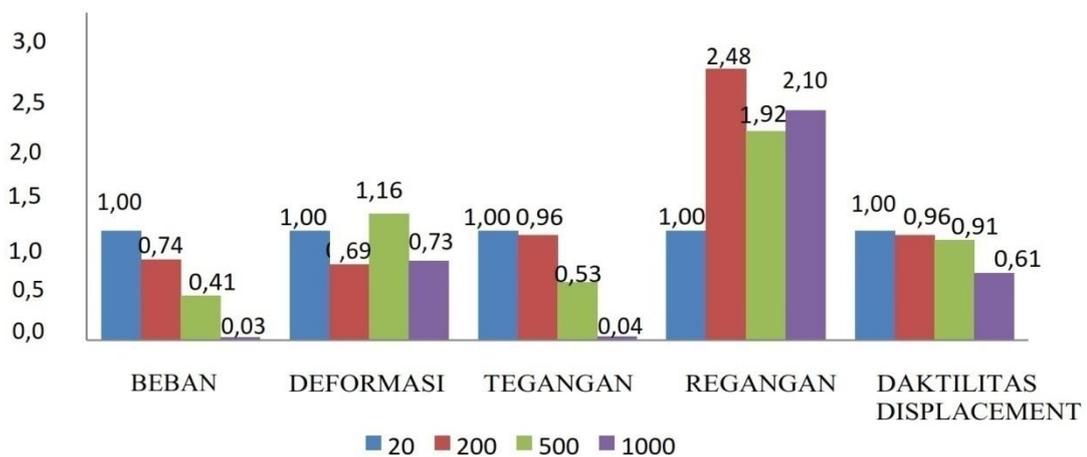
Kurva rasio hubungan antara beban, deformasi, tegangan dan regangan terhadap temperatur untuk model DT.01, Model DT.02, Model DT.03 dan DT.04 seperti pada Gambar 4 s.d Gambar 7.



**Gambar 4.** Rasio Model DT.01 untuk Beban, Deformasi, Tegangan, Regangan, Daktilitas Displacement terhadap Temperatur Hasil Ansys Ed. 9.0

Dari Gambar 4.30 untuk Model DT.01 untuk beban terhadap temperatur sangat drastis rasio penurunan terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 0,03, sedangkan untuk deformasi terhadap temperatur terjadi rasio peningkatan signifikan pada temperatur 500°C sebesar 2,45 dan untuk tegangan terhadap temperatur terjadi rasio penurunan terbesar juga pada temperatur 1000°C sebesar 0,04, dan selanjutnya regangan terhadap temperatur

meningkat terbesar terjadi yang terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 2,41, serta nilai daktilitas displacement yang mengalami penurunan terbesar pada temperatur 1000°C sebesar 0,24. Tulangan longitudinal akan mengalami peregangan sampai temperatur 500°C sehingga nilai deformasi akan meningkat, tetapi setelah temperatur diatas 500°C tulangan longitudinal akan putus sehingga nilai deformasi menurun.



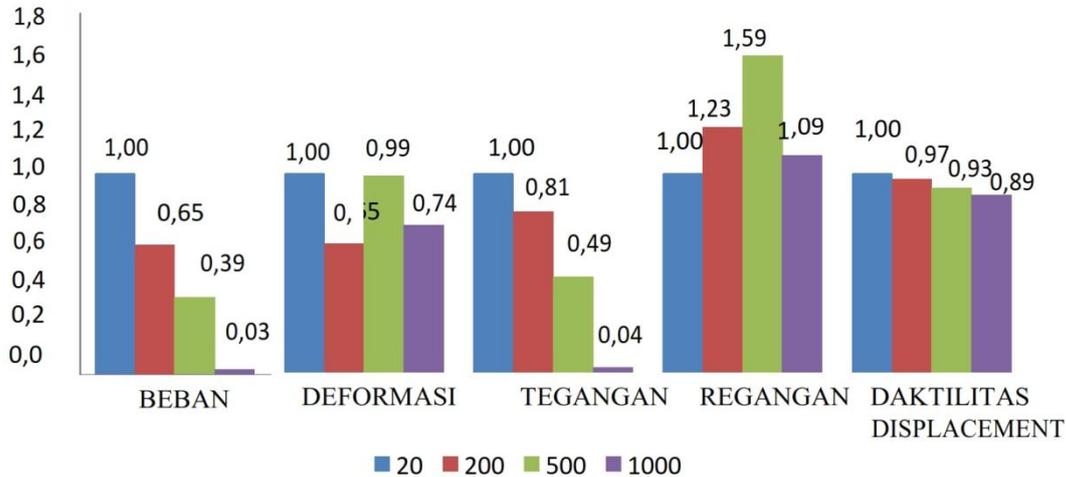
**Gambar 5.** Rasio Model DT.02 untuk Beban, Deformasi, Tegangan, Regangan, Daktilitas Displacement terhadap Temperatur Hasil Ansys Ed. 9.0

Dari Gambar 5 untuk Model DT.02 untuk beban terhadap temperatur sangat drahtis terjadi rasio penurunan pada temperatur 1000°C sebesar 0,03, sedangkan untuk

deformasi terhadap temperatur terjadi rasio peningkatan pada temperatur 500°C sebesar 1,16 dan untuk tegangan terhadap temperatur terjadi rasio penurunan terbesar juga pada

temperatur 1000°C sebesar 0,04, dan untuk regangan terhadap temperatur mengalami peningkatan terbesar yang terjadi pada temperatur 200°C sebesar 2,48, dan nilai daktilitas displacement yang mengalami penurunan terbesar terjadi pada temperatur

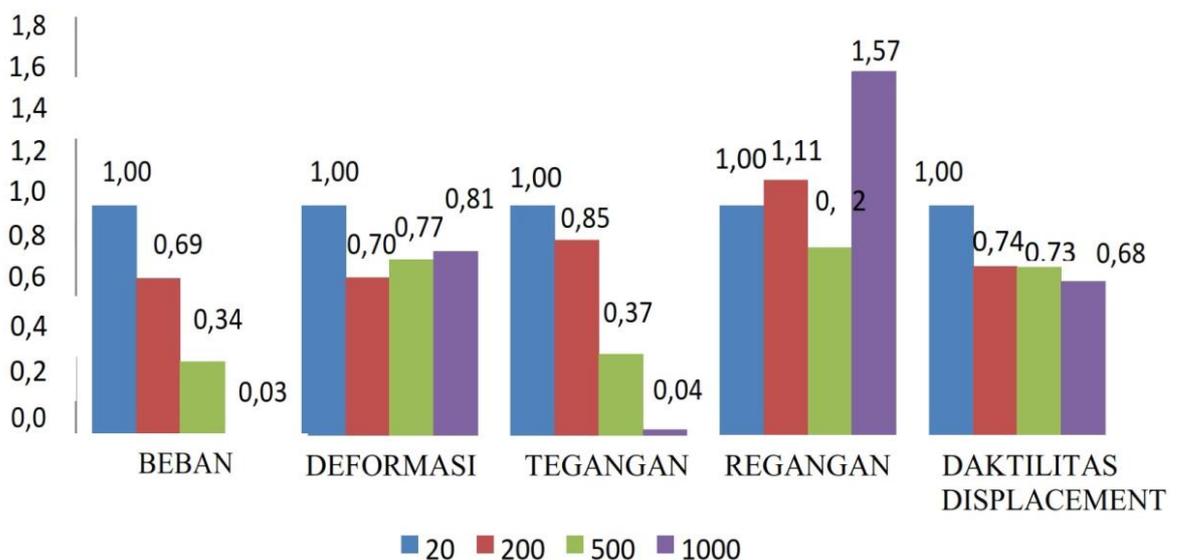
1000°C sebesar 0,61. Tulangan longitudinal akan mengalami peregangan sampai temperatur 500°C sehingga nilai deformasi akan meningkat, tetapi setelah temperatur diatas 500°C tulangan longitudinal akan putus sehingga nilai deformasimenurun



**Gambar 6.** Rasio Model DT.03 untuk Beban, Deformasi, Tegangan, Regangan, Daktilitas Displacement terhadap Temperatur Hasil Ansys Ed. 9.0

Dari Gambar 6 untuk Model DT.03 untuk beban terhadap temperatur sangat drahtis terjadi rasio penurunan terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 0,03, sedangkan untuk deformasi terhadap temperatur terjadi rasio penurunan terbesar pada temperatur 200°C sebesar 0,65 dan untuk tegangan terhadap temperatur terjadi rasio penurunan

terbesar juga pada temperatur 1000°C sebesar 0,04, dan untuk regangan terhadap temperatur mengalami rasio peningkatan terbesar yang terjadi pada temperatur 500°C sebesar 1,59, dan nilai daktilitas displacement yang mengalami penurunan terbesar terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 0,89.



**Gambar 7.** Rasio Model DT.04 untuk Beban, Deformasi, Tegangan, Regangan, Daktilitas Displacement terhadap Temperatur Hasil Ansys Ed.9.0

Dari Gambar 7 untuk Model DT. 04 untuk beban terhadap temperatur sangat drastic terjadi rasio penurunan terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 0,03, sedangkan untuk deformasi terhadap temperatur terjadi rasio penurunan terbesar pada temperatur 200°C sebesar 0,70 dan untuk tegangan terhadap temperatur terjadi rasio penurunan terbesar juga pada temperatur 1000°C sebesar 0,04, dan untuk regangan terhadap temperatur mengalami rasio peningkatan terbesar yang terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 1,57, dan nilai daktilitas displacement yang mengalami penurunan terbesar terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 0,68. Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk ke semua Model untuk beban, deformasi, tegangan, dan regangan jika mengalami peningkatan temperatur dari temperatur normal dan pola pengekanan maka akan terjadi variasi perilaku seperti terurai diatas.

### 3.2 Validasi Hasil Model Kolom Menggunakan ANSYS Ed. 9.0 dengan Hasil Eksperimental Terdahulu dan Perhitungan Pendekatan Matematik

Validasi hasil model antara ANSYS Ed. 09, perhitungan matematik dan hasil eksperimental terdahulu adalah terhadap nilai beban deformasi. Besarnya nilai deformasi pada kolom akibat beban ditentukan berdasarkan perbandingan antara beban dengan modulus elastisitas bahan dan luas penampang serta faktor panjang tekuk kolom. Nilai deformasi menurut Ali (2010) model 867 dapat ditentukan dengan persamaan

$$\begin{aligned} P_{\text{aksial}K} &= 100000 \text{ N} \\ &= 1,00 \\ L &= 1800 \text{ mm} \\ A_{\text{eff}} &= (127 \times 127) \text{ mm}^2 \\ E &= 3429,946 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai deformasi hasil validasi antara ANSYS Ed. 9.0, perhitungan matematik dan hasil eksperimental terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.

### 3.3 Pembahasan

Berdasarkan analisa matematik diatas, maka dapat diambil beberapa hasil sebagai berikut:

#### 1. Momen-Kurvatur

Berdasarkan kurva hubungan antara Momen Ultimit–Kurvatur, maka dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak pengekanan maka nilai momen ultimit dan kurvatur akan semakin menurun.

#### 2. Tegangan-Temperatur

Kesimpulan hubungan tegangan-temperatur adalah

a. Nilai tegangan puncak terbesar terjadi pada Model.DT.02.20 yaitu 105,1570 MPa, hal ini karena penambahan jumlah tulangan longitudinal sehingga meningkatkan nilai tegangan dibandingkan modellainnya.

b. Nilai regangan pada tegangan puncak terbesar tertinggi terjadi pada Model DT.04.20 yaitu 0,0045, hal ini karena penambahan pengekanan sehingga meningkatkan daktilitas darikolom.

Berdasarkan kurva hubungan antara tegangan–temperatur, maka dapat dibuat persamaan kurva fitting seperti pada Lampiran F-1 sampai Lampiran F-4, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

a. Persamaan kurva fitting hubungan antara tegangan puncak dan temperatur untuk Model DT.01 adalah  $f = -0,000108651T^2 + 0,008187T + 105,124131$ .

b. Persamaan kurva fitting hubungan antara tegangan puncak dan temperatur untuk Model DT.02 adalah  $f = -0,000108644T^2 + 0,008177T + 105,126770$ .

c. Persamaan kurva fitting hubungan antara tegangan puncak dan temperatur untuk Model DT.03 adalah  $f = -0,000111815T^2 + 0,011315T + 105,117690$ .

d. Persamaan kurva fitting hubungan antara tegangan puncak dan temperatur untuk Model DT.04 adalah  $f = -0,000113768T^2 +$

**Tabel 2.** Validasi Nilai Deformasi Beton Model Kolom Hasil ANSYS Ed. 9.0, Perhitungan Teoritis dan Hasil Eksperimental

No	Model	Hasil Teoritis		Hasil ANSYS		Hasil Eksperimental Faris Ali, 2010		Rasio					
		Pu (A)	Δu (A)	Pu (B)	Δu (B)	Pu (C)	Δu (C)	Pu (A) / Pu (B)	Pu (A) / Pu (C)	Pu (B) / Pu (C)	Δu (A) / Δu (B)	Δu(A)/ Δu(C)	Δu(B)/ Δu(C)
		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	Model.Ali.Faris.867	100,0000	3,2598	100,0000	3,5390	400,0000	3,2800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0789	0,0789	0,0732
2	Model.Ali.Faris.20	1267,9148	3,1140	1032,5790	4,0400	N/A	N/A	0,2279	N/A	N/A	0,2292	N/A	N/A
3	Model DT.01.20	1265,7626	3,1109	1241,9330	4,6422	N/A	N/A	0,0188	N/A	N/A	0,3299	N/A	N/A
4	Model DT.01.200	1235,5606	3,9633	1096,7720	5,5153	N/A	N/A	0,1123	N/A	N/A	0,2814	N/A	N/A
5	Model DT.01.500	1002,4642	6,5597	758,0630	9,2607	N/A	N/A	0,2438	N/A	N/A	0,2917	N/A	N/A
6	Model DT.01.1000	78,8500	4,5669	37,1370	4,5380	N/A	N/A	0,5290	N/A	N/A	0,0063	N/A	N/A
7	Model DT.02.20	1378,2544	3,0842	1370,9650	4,5837	N/A	N/A	0,0053	N/A	N/A	0,3271	N/A	N/A
8	Model DT.02.200	1345,9143	3,7995	1008,0625	3,1668	N/A	N/A	0,2510	N/A	N/A	0,1665	N/A	N/A
9	Model DT.02.500	1106,1369	5,6884	540,3215	5,1174	N/A	N/A	0,5115	N/A	N/A	0,1004	N/A	N/A
10	Model DT.02.1000	106,3744	3,9231	37,0967	3,0696	N/A	N/A	0,6513	N/A	N/A	0,2176	N/A	N/A
11	Model DT.03.20	1376,7533	3,0822	1274,1910	4,5820	N/A	N/A	0,0745	N/A	N/A	0,3273	N/A	N/A
12	Model DT.03.200	1355,0077	4,4078	822,5790	2,9936	N/A	N/A	0,3929	N/A	N/A	0,3209	N/A	N/A
13	Model DT.03.500	1111,7799	5,4757	476,2087	4,3264	N/A	N/A	0,5717	N/A	N/A	0,2099	N/A	N/A
14	Model DT.03.1000	106,3744	4,0199	38,5225	3,3551	N/A	N/A	0,6379	N/A	N/A	0,1654	N/A	N/A
15	Model DT.04.20	1370,6809	3,0742	1241,9330	4,6450	N/A	N/A	0,0939	N/A	N/A	0,3382	N/A	N/A
16	Model DT.04.200	1364,8880	4,5220	859,6757	3,2310	N/A	N/A	0,3701	N/A	N/A	0,2855	N/A	N/A
17	Model DT.04.500	1115,1444	5,4769	403,2250	3,3651	N/A	N/A	0,6384	N/A	N/A	0,3856	N/A	N/A
18	Model DT.04.1000	106,3744	4,0663	37,9838	3,4689	N/A	N/A	0,6429	N/A	N/A	0,1469	N/A	N/A

$0,013251T + 105,108647$ .

### 3. Regangan-Temperatur

- Nilai regangan terbesar pada tegangan puncak pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah Model. DT.04 yaitu  $0,004575$ , hal ini karena rasio tulangan geser lebih besar dibandingkan Model. DT.02, Model. DT.03 dan Model. DT.01
- Nilai regangan terbesar pada tegangan puncak pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah Model. DT.04 yaitu  $0,009774$ , hal ini karena rasio tulangan geser lebih besar dibandingkan Model. DT.02, Model. DT.03 dan Model. DT.01
- Nilai regangan terbesar pada tegangan puncak pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah Model. DT.04 yaitu  $0,002159$ , hal ini karena rasio tulangan geser lebih besar dibandingkan Model. DT.02, Model. DT.03 dan Model. DT.01
- Nilai regangan terbesar pada tegangan puncak pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah Model. DT.04 yaitu  $0,002141$ , hal ini karena rasio tulangan geser lebih besar dibandingkan Model. DT.02, Model. DT.03 dan Model. DT.01.

### 4. Beban-Deformasi

Berdasarkan kurva hubungan antara Beban Ultimit – Temperatur, maka dapat dibuat persamaan kurva fitting seperti pada Lampiran F-9 sampai Lampiran dengan F-12, maka diperoleh persamaan sebagai berikut

- Persamaan kurva fitting hubungan antara Beban Ultimit dan temperatur untuk Model DT.01 adalah  $f = -0,00105T^2 - 0,16769T + 1272,33581$ .
- Persamaan kurva fitting hubungan antara Beban Ultimit dan temperatur untuk Model DT.02 adalah  $f = -0,00103T^2 - 0,31145T + 1396,84667$ .
- Persamaan kurva fitting hubungan antara Beban Ultimit dan temperatur

untuk Model DT.03 adalah  $f = -0,00105 T^2 - 0,28253 T + 1397,75075$

- Persamaan kurva fitting hubungan antara Beban Ultimit dan temperatur untuk Model DT.04 adalah  $f = -0,00109T^2 - 0,24074T + 1391,95031$ .

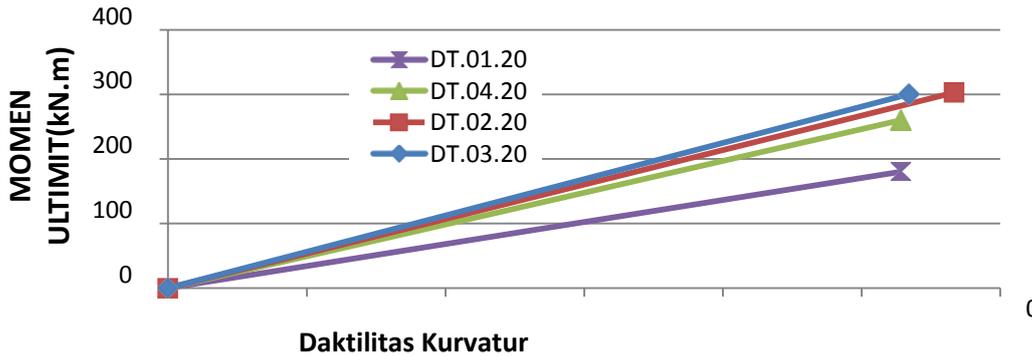
Sedangkan kurva hubungan antara Deformasi Ultimit – Temperatur dapat dibuat persamaan kurva fitting seperti pada Lampiran F-13 sampai Lampiran F-16, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

- Persamaan kurva fitting hubungan antara Deformasi Ultimit dan temperatur untuk Model DT.01 adalah  $f = -1,14201E-05T^2 + 0,01127 T + 3,06215$ .
- Persamaan kurva fitting hubungan antara Deformasi Ultimit dan temperatur untuk Model DT.02 adalah  $f = -1,11048E-05 T^2 + 0,01043 T + 2,61477$ .
- Persamaan kurva fitting hubungan antara Deformasi Ultimit dan temperatur untuk Model DT.03 adalah  $f = -1,08815E-05 T^2 + 0,00995 T + 2,85202$ .
- Persamaan kurva fitting hubungan antara Deformasi Ultimit dan temperatur untuk Model DT.04 adalah  $f = -1,09899E-05 T^2 + 0,01005 T + 2,87914$

### 5. Daktilitas Kurvatur

- Nilai daktilitas kurvatur model model DT.01 untuk temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah  $26,42681$ .
- Nilai daktilitas kurvatur model model DT.02 untuk temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah  $26,42681$ .
- Nilai daktilitas kurvatur model model DT.03 untuk temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah  $28,34362$ .
- Nilai daktilitas kurvatur model model DT.04 untuk temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  adalah  $26,71880$ .

Kurva hubungan nilai daktilitas kurvatur dan momen ultimit dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Kurva Hubungan Daktilitas Kurvatur dan Momen Ultimit Hasil Perhitungan Manual

Dari penjelasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa nilai daktilitas kurvatur dipengaruhi oleh pengekanan. Semakin banyak pengekanan maka nilai daktilitas kurvatur akan semakin meningkat

#### 6. Perilaku dan Pola Retak

##### a. Retak pertama

Retak pertama didominasi retak tekan pada bagian tumpuan dan semakin meningkat dengan bertambahnya temperatur.

##### b. Retak Ultimit

Pola retak ultimit pada daerah inti kolom adalah retak lentur sedangkan pada bagian selimut beton lebih didominasi oleh retak tekan dan retak geser, sehingga kehancuran kolom terkonsentrasi pada daerah selimut beton.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis model menggunakan perhitungan manual dan analisis model FEM menggunakan ANSYS pada model kolom, maka dapat disimpulkan hasil analisis berdasarkan tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Semakin banyak tulangan longitudinal maka semakin besar momen ultimit dan semakin meningkatnya rasio tulangan geser maka semakin menurun nilai momen ultimit.

2. Nilai tegangan puncak dipengaruhi jumlah tulangan longitudinal dan akan menurun dengan bertambahnya rasio tulangan geser pada temperatur 20°C. Sedangkan kenaikan temperatur akan menyebabkan menurunnya tegangan puncak pada kolom dan bertambahnya rasio tulangan geser akan meningkatkan tegangan puncak.

3. Nilai regangan pada tegangan puncak dipengaruhi oleh rasio tulangan geser, semakin besar rasio tulangan geser, maka nilai regangan pada tegangan puncak akan semakin meningkat hal ini karena nilai daktilitas meningkat. Selanjutnya semakin meningkat temperatur pada kolom, maka nilai regangan pada tegangan puncak akan semakin meningkat sampai temperatur 500°C dan akan menurun pada temperatur 1000°C.

4. Nilai beban ultimit sangat dipengaruhi oleh tulangan longitudinal dan akan mengalami penurunan dengan bertambahnya rasio tulangan geser. Sedangkan pertambahan temperatur akan menyebabkan berkurangnya nilai beban ultimit.

5. Nilai daktilitas kurvatur dipengaruhi oleh pengekanan, semakin banyak pengekanan maka nilai daktilitas kurvatur akan semakin meningkat. Dari hasil perhitungan manual diperoleh nilai daktilitas kurvatur lebih dari empat sehingga kolom dapat digunakan pada temperatur 20°C.

6. Nilai daktilitas untuk beban gravitasi adalah lebih dari empat, maka nilai daktilitas displacement dari hasil ANSYS dapat disimpulkan bahwa
  - a. Model DT.01 nilai daktilitas displacement pada temperatur 200°C masih lebih dari nilai empat sehingga kolom dapat dipergunakan kecuali pada temperatur 500°C dan 1000°C kurang dari empat maka untuk temperatur dimaksud tidak bisa digunakan.
  - b. Model DT.02 nilai daktilitas displacement pada temperatur 200°C-500°C melebihi nilai empat sehingga dapat dipergunakan sedangkan pada temperatur 1000°C kurang dari empat maka untuk temperatur dimaksud tidak bisa digunakan.
  - c. Model DT.03 nilai daktilitas displacement pada temperatur 20°C-1000°C kurang dari nilai empat, sehingga tidak dapat dipergunakan.
  - d. Model DT.04 nilai daktilitas displacement pada temperatur 200°C-1000°C kurang dari nilai empat sehingga tidak dapat dipergunakan.
7. Perilaku ratak dari retak pertama yang terjadi pada bagian atas dan bawah kolom dan retak ultimit yang terjadi pada seluruh bagian kolom yang mana pola retak paling dominan terjadi yaitu retak lentur.

## DAFTAR RUJUKAN

- Ali, F. dan Nadjai. (2010), *Numerical And Experimental Investigation Of The Behavior Of High Strength Concrete Columns In Fire*, Engineering Structures 32 1236-1243
- Ali, F.A., O'Connor, D. dan Abu-tair, A. (2000). *Explosive Spalling of High-Strength Concrete Column in Fire*, Magazine concrete research. 53(3).pp. 197-204(<http://atypon-link.com>)
- Al-Mutairi, M., Al-Shaleh, S. (1997), *Assessment of Fire-Damaged Kuwaiti Structures*, Journal of Material in Civil Engineering, February, pp. 7-14
- Anderberg, Y., Thelandersso, S. (1978), *Stress and Deformation Characteristics of Concrete at High Temperatures: 2 Experimental Investigation and material Behaviour Model*. Lund Institute of Technology. Bulletin 54. Sweden, Lund (HYPERLINK "<http://sciencedirect.com>"<http://sciencedirect.com>)
- ANSYS, Release 9.0, (2007), *Programmer's Manual for ANSYS Incorporations and ANSYS Europe*, Ltd. (<http://ansys.com>)
- Azizinamini, A. Kuska, S.S.B. Brungardt, P. dan Hatfield, E. (1994) *Seismic Behaviour of Square High Strength Concrete Columns*, ACI Structural Journal, V91 N0. 3. Pp.336-345
- Gere, J.M, dan Timoshenko, S.P, (1985). (alih bahasa wasparkik, H.J), *Mekanika Bahan*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta
- Gustafero.AH (1985) *Fire Resistance-Handbook of Concrete Engineering Second Edition*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Hertz,K.D.(2005). *Concrete Strength For Fire Safety Design*. Magazine Concrete Research, Vol.57.No.8.pp. 445-453 (HYPERLINK "<http://sciencedirect.com>"<http://sciencedirect.com>).
- Antony,J.W. (2004) *Flexural Behaviour of Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Finite Element Analysis*. Marquette University, Milwaukee, Wisconsin.
- Li, L. dan Purkiss. J.A. (2005), *Stress-Strain Constitutive Equation of Concrete. Material at Elevated Temperatures*. Fire Safety Journal. Vol. 40. Pp. 669-447(HYPERLINK "<http://atypon-link.com>"<http://atypon-link.com>) 184