

## PERILAKU KEKUATAN BAJA TULANGAN BETON AKIBAT KEBAKARAN

Rezky Rahman<sup>1)</sup>, Alex Kurniawandy<sup>2)</sup>, Warman Fatra<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>3)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : [rezky.rahman@student.unri.ac.id](mailto:rezky.rahman@student.unri.ac.id)

### Abstract

*In general, when a reinforced concrete suffered a fire, a lot of people tend to replace it with a new reinforced concrete, because they assume that the strength of the element structure is already changing. Though it is possible to keep re-creating the building by recounting strength structural elements. The purpose of this study was to know a changing of yield and tensile strength toward concrete-steel reinforced bar after burning at various temperature. Steel reinforced bar used was 13 mm (S13) and 16 mm (S16) in diameter which is the grade was (BjTS 40) and (BjTS 35), respectively. The yield and tensile strength as received condition of S13 were 432,02 MPa and 583,62 MPa, respectively, and S16 were 369,38 MPa and 514,58 MPa, respectively. The average yield strength of S13 after burning at 600 °C, 800 °C, and 1000°C, were 411,78 MPa, 417,80 MPa, and 428,14 MPa, respectively. And the tensile strength of S13 were 563,64 MPa, 568,83 MPa, and 577,83 MPa, respectively. The average of yield strength of S16 were 346,15 MPa, 358,13 MPa, and 362,28 MPa, respectively. And the tensile strength of S16 were 504,94 MPa, 507,05 MPa, and 518,49 MPa, respectively. Based on this result, S13 and S16 concrete-steel reinforced bar before and after burning were still in the same grade compare to as received. It can be concluded that the building after fire at a temperature 600 °C, 800 °C and 1000 °C for 1 hour with 2.5 cm concrete cover thickness still meet the strength requirements of the building.*

*Keywords: Reinforced Concrete Steel, Yield Stress (fy), Tensile Strength (fu), Burning*

### A. PENDAHULUAN

Pembangunan dibidang struktur dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat yang berlangsung di berbagai bidang, misalnya bangunan gedung, jembatan, tower dan sebagainya. Beton (*concrete*) merupakan salah satu pilihan sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan. Beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 2847: 2013). Salah satu beton yang sering digunakan di lapangan adalah beton bertulang. Beton bertulang mempunyai banyak kelebihan dibandingkan material bangunan lainnya, diantaranya: Lebih murah, mudah dibentuk, material pembentuknya mudah diperoleh, mempunyai kekakuan yang tinggi dan ketahanan terhadap api yang tinggi (Iswandi I dkk, 2014).

Pada umumnya, ketika beton bertulang mengalami kebakaran, banyak orang cenderung untuk menggantinya dengan beton bertulang yang baru, karena dianggap sudah mengalami perubahan kekuatan dari elemen strukturnya. Padahal tidak tertutup kemungkinan untuk tetap memfungsikan kembali bangunan tersebut dengan menghitung kembali kekuatan elemen strukturnya. Untuk mengetahui perubahan kekuatan elemen struktur beton bertulang khususnya baja tulangan pasca bakar, maka perlu dilakukan suatu penelitian terhadap perilaku kekuatan baja tulangan pada beton bertulang. Apabila kekuatan elemen strukturnya telah dihitung kembali dan masih memenuhi persyaratan, maka bangunan masih layak untuk digunakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka beberapa permasalahan berikut dapat dirumuskan:

1. Melakukan pembakaran pada balok bertulang dengan ukuran 15x15x60 cm selama 1 jam dengan mutu beton K-250 dengan tebal selimut beton 2,5 cm.
2. Pembakaran menggunakan variasi suhu 600° C, 800° C dan 1000° C.
3. Pembahasan mengenai perubahan kekuatan yang terjadi pada baja tulangan pasca bakar dan membandingkan dengan nilai tegangan antara baja tulangan yang tidak dibakar dengan baja tulangan yang diselimuti beton pasca bakar.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang di syaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya (SNI 03-2847-2002). Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton. Beton bertulang memiliki daya tahan terhadap api yang relatif lebih baik, karena beton merupakan material yang memiliki daya hantar panas yang rendah sehingga dapat menghalangi rambatan panas ke bagian dalam struktur beton tersebut.

### B.2 Material Pembentuk Beton

Material yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus, semen *portland* dan air. Adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Pengujian Material

No	Jenis Pemeriksaan	Standar
1	Kadar lumpur (%)	ASTM C-142
2	Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 03-1970-1990
3	Kadar air (%)	SNI 03-1971-1990
4	Modulus kehalusan	SNI 03-1968-1990
5	Berat volume (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 03-4804-1998
6	Ketahanan aus (%)	SNI 03-2417-1991
7	Kandungan organik	SNI 03-2816-1992

Desain campuran (*mix design*) beton pada penelitian ini mengikuti langkah perhitungan metode SNI 03-2834-1993 yang mengadopsi metode ACI 211.1-9: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Mutu beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah beton dengan kuat tekan rencana 250 kg/cm<sup>2</sup>.

### B.3 Baja Tulangan

Baja tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dan bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*) (SNI-07-2052-2002).

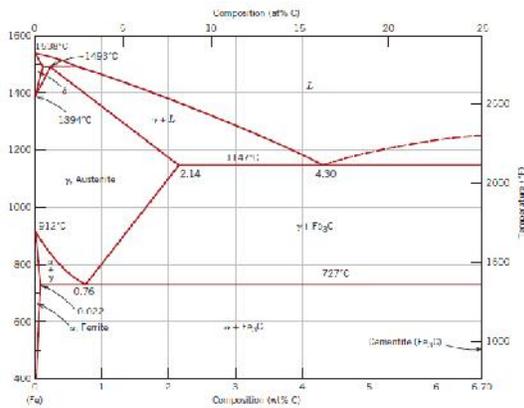
Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip. Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tapi tidak bersirip, disingkat BjTP. Sedangkan baja tulangan beton sirip adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton, disingkat BjTS (SNI-07-2052-2002).

Beberapa jenis baja memiliki sifat-sifat tertentu sebagaimana akibat penambahan unsur paduan. Salah satu unsur paduan yang sangat penting adalah karbon (C). Baja adalah campuran antara besi (Fe) dan karbon (C). Karbon dibagi menjadi 3 kategori tergantung dari presentase kandungan karbonnya, yaitu : baja karbon rendah (C = 0,02-0,25 %), baja karbon medium (C = 0,25-0,55 %) dan baja karbon tinggi (C = 0,55-1,70 %).

### B.4 Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton

Sifat mekanis dari baja sangat bergantung pada struktur mikronya. Sedangkan struktur mikro pada baja sangat mudah berubah melalui proses perlakuan panas. Jika struktur mikro diamati dengan menggunakan mikroskop, maka akan tampak bahwa baja memiliki struktur yang berbeda-beda.

Diagram yang menggambarkan hubungan antara suhu dimana terjadinya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon disebut dengan diagram fasa besi karbon (Callister, 2007).



Gambar 1 Diagram Fasa Besi Karbon

### B.5 Incinerator

*Incinerator* merupakan alat pemusnah sampah yang dilakukan dengan cara pembakaran pada suhu tinggi, secara sistematis dan nyaman bagi lingkungan. Pada *incinerator* terdapat dua ruang pembakaran yaitu ruang bakar pertama digunakan sebagai pembakar limbah. Ruang bakar kedua digunakan sebagai pembakar asap dan bau dengan suhu antara 600 - 1200 °C.

Prinsip kerja *incinerator* adalah sebagai tempat pembakaran sehingga bahan yang dibakar tidak dapat didaur ulang lagi. Proses *incinerator* digunakan untuk mereduksi sampah yang tergolong mudah terbakar (*combustible*). Sasaran *incinerator* adalah untuk mereduksi massa dan volume buangan, membunuh bakteri dan virus, serta memudahkan penanganan limbah selanjutnya. *Incinerator* dapat mengurangi volume buangan padat *domestic* dari 85 - 95 % dan pengurangan berat dari 70 - 80 %.



Gambar 2 Incinerator

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Benda Uji

Perencanaan benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini adalah balok bertulang dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm sebanyak 3 sampel. Tebal selimut beton adalah 2,5 cm. Tulangan baja yang digunakan yaitu baja tulangan S13 dan S16 yang berasal dari PT. Growth Sumatera Industri (Growth Steel) Medan, Sumatera Utara. Mutu baja tulangan S13 adalah BjTS 40, sedangkan mutu baja tulangan S16 adalah BjTS 35.

### C.2 Pembakaran Beton Bertulang

Pembakaran beton bertulang dilakukan didalam *incinerator* Rumah Sakit Universitas Riau setelah umur perawatan beton selama 28 hari. Beton bertulang dibakar pada suhu yang divariasikan yaitu 600° C, 800° C dan 1000° C selama 1 jam pembakaran. Setelah proses pembakaran beton bertulang didinginkan dengan cara diangin-anginkan selama 24 jam.

### C.3 Pengujian Tarik Baja

Setelah proses pendinginan, beton bertulang dibawa ke laboratorium untuk pengujian tarik baja tulangan. Baja tulangan dikeluarkan dari beton yang telah dihancurkan sebelumnya. Adapun proses pengujian kuat tarik baja sebagai berikut.

1. Mempersiapkan baja tulangan yang akan ditarik
2. Mengukur dimensi baja tulangan yang akan ditarik sesuai dengan SNI 07-2529-1991 sehingga didapat panjang  $h$ ,  $m$ ,  $l_0$  dan  $l_t$ . Panjang  $h$  disesuaikan dengan panjang sumbu alat penjepit.

Tabel 2 Dimensi Baja Tulangan

Diameter Tulangan (mm)	$l_0$ (cm)	$l_0 + 2m$ (cm)	$l_t$ (cm)	$h$ (cm)
S13	10,67	11,73	25,73	7
S16	13	14,30	28,30	7

3. Memasang baja tulangan dengan cara menjepit bagian  $h$  dari benda uji pada alat penjepit mesin tarik.
4. Melakukan pengujian tarik benda uji dengan penambahan beban sebesar 10 MPa/detik sampai benda uji putus
5. Membuat grafik antara gaya tarik yang bekerja dengan perpanjangan.

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Hasil Pengujian karakteristik material

Pengujian karakteristik material menghasilkan data-data yang digunakan dalam perencanaan campuran (*mix design*) beton. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Pengujian Karakteristik Material

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		Standar Spesifikasi
	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Kadar Lumpur (%)	0,88	-	<5
Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )			
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,66	2,69	2,58-2,83
b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,62	2,58	2,58-2,83
c. <i>Bulk specipy gravity on SSD</i>	2,63	2,60	2,58-2,83
d. <i>Absorption (%)</i>	0,60	2,22	2-7
Kadar air (%)	3,20	2,51	3-5
Modulus kehalusan	3,79	7,33	1,5-3,8
Kandungan zat organik	No.1	-	No.3
Keausan (%)	-	29,90	27-40
Berat Volume			
a. Kondisi padat	1,80	1,51	>1,2
b. Kondisi lepas	1,67	1,39	>1,2

Desain campuran (*mix design*) beton pada penelitian ini mengikuti langkah perhitungan metode SNI 03-2834-1993 yang mengadopsi metode ACI 211.1-9: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Mutu beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah beton dengan kuat tekan rencana 250 kg/cm<sup>2</sup>. Komposisi campuran yang didapat tertera pada tabel 4 berikut.

Tabel 4 Komposisi Campuran Beton K-250

Semen (kg)	air (kg)	Agregat kasar (kg)	Agregat halus (kg)
18,58	8,24	51,69	42,91

### D.2 Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan

Hasil pengujian tarik baja tulangan beton S13 dan S16 Pada suhu ruang dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5 Hasil Pengujian Tulangan Pada Suhu Ruang

Diameter baja Tulangan (mm)	Tegangan leleh (MPa)	Tegangan <i>ultimate</i> (MPa)
13	431,26	577,12
16	369,38	514,58

Berdasarkan tabel 5 dapat dilihat bahwa hasil nilai tegangan pada baja tulangan S13 dan S16 setelah di uji tarik kekuatan baja sesuai dengan mutu baja tulangan yang digunakan yaitu BjTS 40 dan BjTS 35.

Hasil pengujian tarik baja tulangan beton S13 dan S16 pasca bakar dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7 berikut.

Tabel 6 Hasil Pengujian Tulangan S13 Pasca Bakar

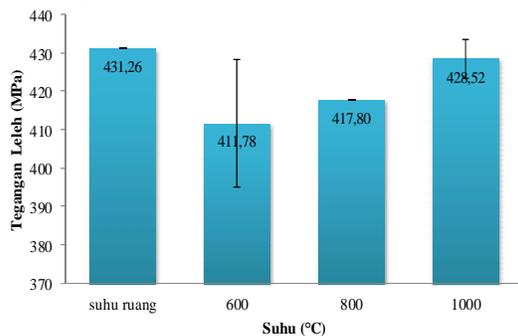
Suhu pembakaran (°)	Rata-rata tegangan leleh (MPa)	Rata-rata tegangan <i>ultimate</i> (MPa)
600	411,785	563,64
800	417,80	568,83
1000	428,52	581,08

Tabel 7 Hasil Pengujian Tulangan S16 Pasca Bakar

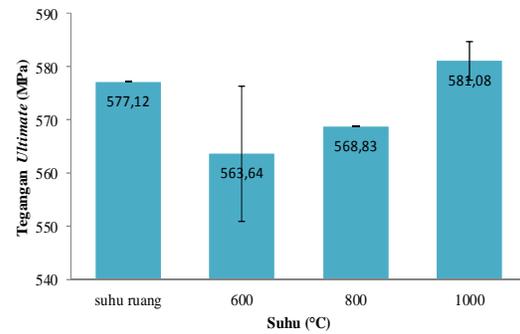
Suhu pembakaran (°)	Rata-rata tegangan leleh (MPa)	Rata-rata tegangan <i>ultimate</i> (MPa)
600	346,15	504,94
800	358,13	507,05
1000	362,28	518,49

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 dapat dilihat nilai rata-rata tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) baja tulangan S13 dan S16 mengalami peningkatan nilai tegangan seiring meningkatnya suhu. Hal ini terjadi kemungkinan karena proses pendinginan yang dilakukan menggunakan media udara. Menurut Agus (2009), pendinginan beton bertulang pasca bakar dengan menyiramkan air secara mendadak membuat baja tulangan menjadi getas dan menurunkan kekuatan leleh dari baja tulangan. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa proses pendinginan yang berbeda-beda akan mempengaruhi struktur mikro dari baja tulangan beton. Pada penelitian ini, peneliti tidak melakukan pengujian terhadap struktur mikro dari baja tulangan. Untuk penelitian lanjutan diharapkan dapat melakukan pengujian terhadap struktur mikro dari baja tulangan sehingga mendapatkan data yang lebih akurat.

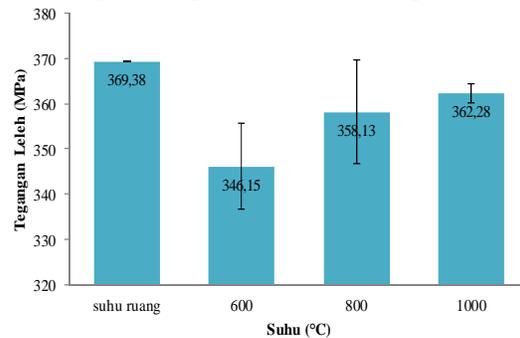
Berdasarkan tabel 5 sampai tabel 7 diperoleh bahwa tegangan leleh baja tulangan beton S13 dan S16 pada suhu ruang dan setelah dibakar mengalami penurunan kekuatan. Hal ini dikarenakan suhu pembakaran sangat berpengaruh terhadap kekuatan tegangan baja tulangan pada saat kebakaran terjadi. Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 dibawah ini menunjukkan hasil pengujian nilai tegangan baja tulangan S13 dan S16 pada berbagai suhu dalam gambar.



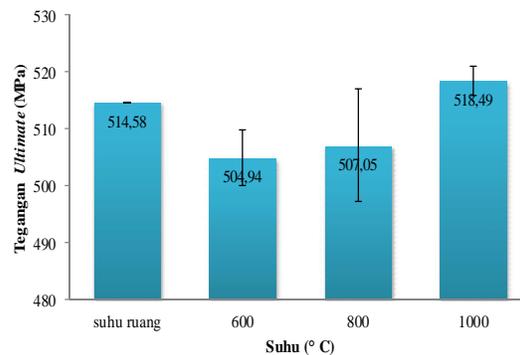
Gambar 3 Hasil Pengujian Tegangan Leleh ( $f_y$ ) Baja Tulangan S13 Pada Berbagai Suhu



Gambar 4 Hasil Pengujian Tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) Baja Tulangan S13 Pada Berbagai Suhu



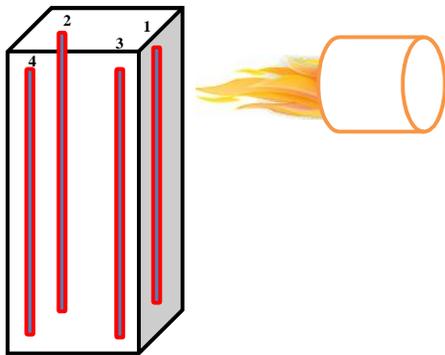
Gambar 5 Hasil Pengujian Tegangan Leleh ( $f_y$ ) Baja Tulangan S16 Pada Berbagai Suhu



Gambar 6 Hasil Pengujian Tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) Baja Tulangan S16 Pada Berbagai Suhu

Setelah beton bertulang dibakar selama 1 jam, suhu yang berada diluar beton di asumsikan sama dengan suhu yang dialami baja tulangan di dalam beton. Menurut diagram fasa besi karbon (dapat dilihat pada Gambar 1), pada saat terjadi kebakaran pada baja tulangan beton S16 dengan kadar karbon 0,26% pada suhu 600° C dan didinginkan sampai suhu kamar, tidak terjadi perubahan fasa karena masih dalam satu fasa yaitu *pearlite* ( $+Fe_3C$ ). Akan tetapi struktur mikro mungkin sedikit berubah, seperti ukuran butir pada baja tulangan sewaktu proses pendinginan. *Pearlite* mempunyai sifat

diantara *ferrite* dan *cementite* yaitu kuat dan cukup keras. Peristiwa paparan api yang diterima beton bertulang yang berasal dari *incinerator* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.

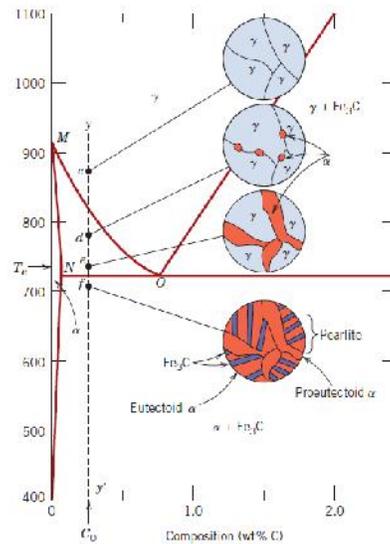


Gambar 7 Beton Bertulang Terpapar Api yang Berasal dari *Incinerator*. Posisi 1 dan 2 Menunjukkan Baja Tulangan S16, Sedangkan Posisi 3 dan 4 Menunjukkan Baja Tulangan S13

Pada Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa baja tulangan beton S16 pada posisi 1 dan 2 berbeda kekuatannya. Peristiwa ini terbukti dengan hasil pengujian tegangan leleh dan tegangan *ultimate*. Dari hasil yang didapat tegangan leleh baja pada posisi 1 sebesar 339,45 MPa sedangkan baja pada posisi 2 nilai tegangan lelehnya sebesar 352,86 MPa. Sedangkan tegangan *ultimate* baja pada posisi 1 sebesar 501,51 MPa dan baja pada posisi 2 nilai tegangan *ultimate* sebesar 508,37 MPa. Peristiwa ini terjadi karena paparan api yang diterima oleh baja tulangan yang diselimuti beton pada posisi 1 jauh lebih besar daripada paparan api yang diterima baja tulangan yang diselimuti beton pada posisi 2. Peristiwa ini juga terjadi pada suhu pembakaran 800° C dan 1000° C, dimana tegangan leleh dan tegangan *ultimate* dari baja tulangan S16 dan S13 baja pada posisi 1 dan 3 kekuatannya lebih rendah daripada baja pada posisi 2 dan 4.

Pada saat terjadi kebakaran pada baja tulangan beton dengan kadar karbon 0,26% pada suhu 800° C, terjadi perubahan fasa dari *pearlite* (+Fe<sub>3</sub>C) ke + (baja lebih lunak) ketika dibakar. Setelah didinginkan melalui media udara dan suhu ruang fasa + berubah kembali ke fasa *pearlite* (+Fe<sub>3</sub>C). Selain perubahan fasa, ketika terjadi kebakaran pada suhu 800° C ukuran butirnya juga berubah tergantung pada laju pendinginannya.

Peristiwa ini dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Perubahan Ukuran Butir Pada Baja Tulangan

Pada saat terjadi kebakaran pada baja tulangan beton dengan kadar karbon 0,26% pada suhu 1000° C, terjadi perubahan fasa dari *pearlite* (+Fe<sub>3</sub>C) ke *austenite* (γ). Pada fasa *austenite* (γ), baja tulangan bersifat padat dan lunak. Seperti terlihat pada Gambar 4.17 jika suhu turun sampai titik d, *ferrite* mulai tumbuh pada butir *austenite*. Pendinginan selanjutnya pada suhu e menyebabkan bertambahnya jumlah *proeutectoid ferrite* sampai semua batas butir *austenite* dipenuhi *proeutectoid ferrite*. Pada suhu di bawah 723° C sisa *austenite* berubah menjadi *perlite*. Selain perubahan fasa, kebakaran pada tulangan beton pada suhu 1000° C juga merubah ukuran butir pada baja tulangan. Peristiwa perubahan butir pada baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Dari hasil yang didapat, nilai tegangan leleh dan tegangan *ultimate* dari baja tulangan pasca bakar mengalami peningkatan seiring meningkatnya suhu. Dari penjelasan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran, maka fasa dan ukuran butirnya juga berbeda-beda tergantung dari proses pendinginannya. Kemungkinan perubahan ukuran butir yang menyebabkan meningkatnya tegangan leleh dan tegangan *ultimate* pada baja tulangan pasca bakar seiring meningkatnya suhu. Untuk menunjang data yang lebih akurat, diperlukan penelitian

terhadap struktur mikro pada baja tulangan. Pada penelitian ini, peneliti tidak melakukan pengujian terhadap struktur mikro dari baja tulangan. Sebagai rekomendasi untuk melanjutkan penelitian ini, sebaiknya melakukan penelitian terhadap struktur mikro guna mendapatkan data yang lebih akurat.

Berdasarkan SNI 2052-2014 tentang baja tulangan beton, tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) baja tulangan beton S13 sebelum dilakukan pembakaran dan setelah dilakukan pembakaran masih dalam satu kelas baja tulangan, yaitu BjTS 40. Sedangkan tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) baja tulangan beton S16 sebelum dilakukan pembakaran dan setelah dilakukan pembakaran masih dalam satu kelas baja tulangan, yaitu BjTS 35. Dapat disimpulkan bahwa bangunan yang terbakar pada suhu 600°C, 800°C dan 1000°C selama 1 jam dengan tebal selimut beton 2,5 cm masih memenuhi persyaratan dan bangunan masih layak untuk digunakan.

## E. KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

1. Nilai tegangan leleh ( $f_y$ ) pada suhu ruang/ tanpa bakar untuk baja tulangan beton S13 dan S16 adalah masing-masing sebesar 431,26 MPa dan 369,38 MPa.
2. Nilai tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) pada suhu ruang/ tanpa bakar untuk baja tulangan beton S13 dan S16 adalah masing-masing sebesar 577,12 MPa dan 514,58 MPa.
3. Setelah dilakukan pembakaran pada suhu 600°C, 800°C dan 1000°C diperoleh nilai tegangan leleh ( $f_y$ ) rata-ratanya untuk baja tulangan beton S13 adalah masing-masing sebesar 411,78 MPa, 417,80 MPa dan 428,52 MPa. Sedangkan untuk baja tulangan beton S16 adalah masing-masing sebesar 346,15 MPa, 358,13 MPa dan 362,28 MPa.
4. Setelah dilakukan pembakaran pada suhu 600°C, 800°C dan 1000°C diperoleh nilai tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) rata-ratanya untuk baja tulangan beton S13 adalah masing-masing sebesar 563,64 MPa, 568,83 MPa dan 581,08 MPa. Sedangkan untuk baja tulangan beton S16 adalah masing-masing sebesar 504,94 MPa, 507,05 MPa dan 518,49 MPa.
5. Terjadi penurunan nilai tegangan leleh ( $f_y$ ) pada baja tulangan beton S13 setelah dilakukan pembakaran pada suhu 600°C,

800°C dan 1000°C masing-masing sebesar 4,52 %, 3,12% dan 0,63% dari suhu ruang/ tanpa bakar. Penurunan nilai tegangan leleh ( $f_y$ ) juga terjadi pada baja tulangan beton S16 setelah dilakukan pembakaran pada suhu 600°C dan 800°C dan 1000°C masing-masing sebesar 6,29%, 3,04% dan 1,92% dari suhu ruang/ tanpa bakar.

6. Berdasarkan SNI 2052-2014 tentang baja tulangan beton, tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) baja tulangan beton S13 sebelum dilakukan pembakaran dan setelah dilakukan pembakaran masih dalam satu kelas baja tulangan, yaitu BjTS 40. Sedangkan tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) baja tulangan beton S16 sebelum dilakukan pembakaran dan setelah dilakukan pembakaran masih dalam satu kelas baja tulangan, yaitu BjTS 35.
7. Dapat disimpulkan bahwa bangunan yang terbakar pada suhu 600°C, 800°C dan 1000°C selama 1 jam dengan tebal selimut beton 2,5 cm masih memenuhi persyaratan dan bangunan masih layak untuk digunakan.
8. Tegangan *ultimate* pada saat suhu 1000° C lebih tinggi daripada suhu ruang, untuk saat ini belum ada jawabannya.

### E.2 Saran

1. Diharapkan peneliti selanjutnya dapat menguji sifat mekanik atau sifat fisis baja tulangan beton pasca bakar yang lain seperti elastisitas atau sifat baja tulangan beton pasca bakar lainnya yang belum pernah diteliti sebelumnya.
2. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dapat dicoba terhadap perilaku kekuatan baja tulangan beton akibat kebakaran dengan durasi pembakaran yang di variasikan.
3. Untuk menunjang data yang lebih akurat, seharusnya melakukan penelitian struktur mikro pada baja tulangan. Pada penelitian ini, peneliti tidak melakukan pengujian terhadap struktur mikro dari baja tulangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI) Committee 209. (1992). *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*. Journal ACI Committee 209.

- American Concrete Institute (ACI) Committee 211.1. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Journal ACI Committee 201.1.
- Budiman, Arif. (2001). Modifikasi Desain dan Uji untuk Kerja Alat Pembakaran Sampah (*Incinerator*) Tipe Batch. *Jurusan Teknik Pertanian, Skripsi 2001*.
- Callister, William D. Jr. (2001). *Fundamental of Material Science and Engineering*, John Wiley and Son Inc.
- Imran, Iswandi & Zulkifli, Ediansyah. (2014). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: Penerbit ITB.
- Santoso, Agus. (2009). Analisis Sifat Mekanik Tulangan Beton Pasca Bakar. *Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Volume.18, No.1, Mei 2009*.
- Syawaldi. (2006). Analisa Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro dari Baja Konstruksi Bangunan Terhadap Perubahan Temperatur. *Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Riau, Volume 7, No.1, Januari 2006*.
- Trias, Sarwening. (2012). Analisa Pengoperasian dan Upaya Peningkatan Kinerja *Incinerator* dengan Metode Keseimbangan Energi (Studi Kasus di Rumah Sakit Umum Haji Surabaya). *Jurnal Teknik Pomits, Volume 1, No.1, 2012*.
- Umiati, Sri. (2008). Ketahanan Material Baja Sebagai Struktur Bangunan Terhadap Kebakaran. *Jurnal Teknik Sipil, Volume 1, No. 29, April 2008*.