

PENGARUH PERUBAHAN MICROSTRUKTUR BETON AKIBAT SUHU TINGGI TERHADAP LEBAR RETAK BALOK BETON BERTULANG

Edhi Wahyuni Setyowati

Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

ABSTRAK

Telah terbukti bahwa beton merupakan material yang tahan terhadap suhu tinggi, pengaruh suhu tinggi akan mengakibatkan perubahan terhadap struktur mikro beton yang akan membawa dampak perubahan sifat sifat fisis dan mekanis beton. Tulisan ini membahas tentang hasil pengamatan terhadap lebar retak maksimum balok beton bertulang 15 cm x 15 cm x 7,5 cm, yang mendapatkan paparan suhu tinggi dan hubungannya dengan perubahan/kerusakan pada struktur mikro beton pasca paparan suhu tinggi pada balok beton bertulang. Pada 400°C terjadi perubahan struktur mikro beton yang menunjukkan adanya peningkatan silica dan perubahan morfologi yang menunjukkan adanya ikatannya yang lebih kompak, yang mengakibatkan perubahan pada perilaku retak pada beton. Hasil pengamatan menunjukkan untuk semua variasi tebal selimut beton akan terjadi pengurangan lebar retak dibandingkan dengan suhu yang lain. Hal ini ditunjang dengan adanya bukti hasil pengukuran lebar retak maksimum terjadi pada beban yang lebih besar pada sample yang dibakar pada suhu 400°C. Pada suhu 600°C dst. terjadi pengurangan fasa portlandate yang mengindikasikan hilangnya sifat semen sebagai pengikat dan hilangnya kekuatan beton ditandai dengan lebar retak yang sangat besar.

Kata kunci: lebar retak, balok beton bertulang, suhu tinggi

1. PENDAHULUAN

Pemikiran untuk upaya pengamanan struktur beton bertulang terhadap pengaruh suhu tinggi sangat diperlukan mengingat fenomena banyaknya kasus kebakaran bangunan struktur beton bertulang. Beton merupakan material yang tahan terhadap suhu tinggi telah banyak dikemukakan, sedangkan struktur beton bertulang khususnya struktur balok beton bertulang yang banyak digunakan sebagai struktur utama dalam konstruksi beton bertulang memerlukan kajian tentang perilakunya terhadap pengaruh suhu tinggi. Kekuatan beton mengalami penurunan setelah paparan suhu 300°C, dan sangat drastis menurun setelah diatas 600°C. Andelson juga menyatakan bahwa pengaruh suhu yang tidak melebihi 250° C tidak mengalami perubahan yang berarti, sedangkan Relay menyatkan bahwa akibat suhu 300° – 500°C, retak yang terjadi

adalah sekitar partikel agregat dan pasta semen, sedang dibawah 300°C retakan terbatas sekitas agregat. Kuat tekan beton akan menurun akibat pengaruh suhu tinggi juga tergantung pada jenis agregat yang digunakan, diatas suhu 430°C jenis agregat silica mengalami kehilangan kekuatan yang besar dibandingkan dengan agregat batu kapur, tetapi pada suhu 800°C semua jenis agregat sudah mengalami penurunan kekuatan yang drastis. (Nevile)

Treatment penyiraman air pada proses pendinginan dapat meningkatkan recovery kekuatan beton, hal ini karena adanya peresapan air pada beton akan memungkinkan terjadinya tambahan reaksi kimiawi dari semen yang belum bereaksi maupun senyawa lain yang terjadi akibat adanya paparan suhu tinggi. (Setyowati, E.W.), tetapi jika proses kebakaran berlangsung lama, maka akan semakin lama dan recovery beton semakin rendah.

Akibat adanya pengaruh suhu tinggi juga akan mempengaruhi perilaku retak beton, dalam penelitian pendinginan beton setelah terbakar dengan mengadakan penyiraman akan memperkecil lebar retak pada struktur balok beton bertulang (Setyowati, E. W.)

Hasil investigasi mikroskopi dan informasi visual yang tidak mungkin dapat dilihat dengan mata telanjang akan banyak menolong memperjelas dampak perubahan sifat beton akibat suhu tinggi.

Pada temperatur tinggi diatas 400°C – 600°C akan mengakibatkan reaksi kimia pada pasta semen akibat proses pengeringan dan diikuti oleh dekomposisi (M, Lin, dkk) (ACI). Perubahan dan kerusakan yang terjadi pada struktur mikro beton akan berdampak pada perubahan sifat-sifat fisis dan mekanis beton, dan juga akan membawa pengaruh besar pada perilaku struktur balok bertulang (RC beam). Salah satu perilaku balok beton bertulang yang sangat penting mendapat perhatian adalah perilaku retaknya, dimana retak merupakan salah satu indikasi kerusakan dan kegagalan struktur.

Struktur beton yang terbakar sangat mungkin untuk diperbaiki dan digunakan ulang, dengan memperhatikan beton yang rusak dengan menilai dan menganalisa secara tepat kekuatan yang tersisa, dan sedapat mungkin memulihkan kapasitas kekuatannya dengan berbagai cara yang direkomendasi.

Beton secara umum memiliki sifat tahan terhadap suhu tinggi, namun karena sifat unik beton dengan variable yang cukup banyak untuk menjaga kekuatan yang sama, maka banyak dilakukan usaha meningkatkan kekuatan komprehensif beton hingga diatas 70 MPa yang dikategorikan sebagai beton berkekuatan tinggi (HSC) yang masih perlu diuji aplikasinya untuk beton tahan api. (Kodur, dkk) ACI

Pada struktur beton bertulang, pengaruh suhu tinggi akan mengubah sifat fisis, mekanis dan kimiawi dari material baja dan beton akibat perubahan struktur

mikro, yang secara keseluruhan mengurangi kekuatan dan merubah perilaku struktur terutama perilaku retak balok beton bertulang yang merupakan salah satu indikasi kerusakan pada struktur beton bertulang.

Pembahasan dalam tulisan ini menitik beratkan pada perilaku retak balok beton bertulang akibat pengaruh suhu tinggi dengan sampel balok beton bertulang ukuran 15 x 15 x 75 cm dengan variasi tebal selimut beton yang dibakar dengan suhu 400°C, 600°C, 800°C dan didinginkan dengan dilakukan penyiraman air setelah terbakar, dengan pembandingan sampel tidak dibakar yang mendapatkan beban lentur dengan pengamatan retak maksimum yang terjadi. Pengamatan menunjukkan adanya perilaku retak yang menyimpang dari sampel balok untuk pemaparan panas 400°C, dimana pada pembebanan mencapai 90 KN terjadi perbandingan lebar retak yang lebih kecil dibandingkan dengan suhu yang lain. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya analisa struktur mikro beton dengan menggunakan XRD dan foto SEM yang menunjukkan perubahan struktur mikro beton akibat pengaruh suhu tinggi yang justru mengakibatkan pengaruh positif pada perilaku retak balok beton bertulang.

2. BAHAN DAN METODE

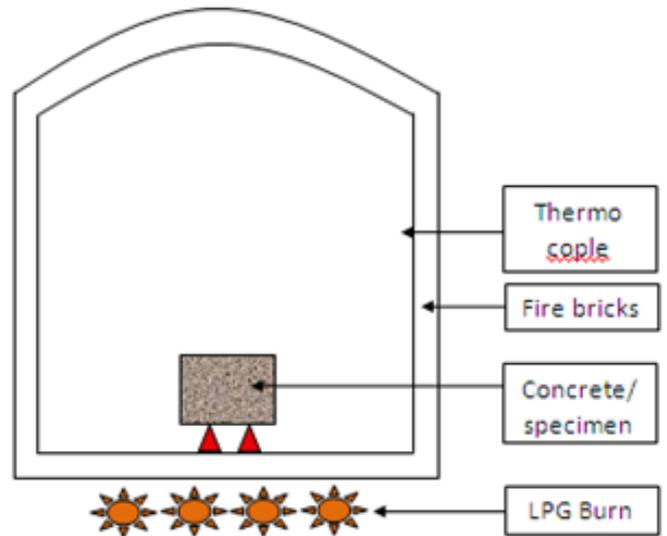
Penelitian ini menggunakan material beton dengan kekuatan tekan mencapai sekitar 35 MPa yang didapatkan dengan mix design campuran beton dengan perbandingan air: semen atau FAS (water cement ratio) 0,48 dengan menggunakan agregat halus: pasir alam, agregat kasar batu pecah dengan ukuran diameter max 20 mm, nilai slump: 10 – 30 mm, dengan menggunakan semen portland Gresik type I. Hasil perhitungan perencanaan campuran sesuai perhitungan (SNI T.15-1990-03) didapatkan campuran menurut perbandingan berat adalah : semen : pasir : kerikil = 1 : 1,97 : 2,94.

Faktor perbandingan pemakaian air dan jumlah semen dalam suatu campuran beton adalah sangat menentukan baik dari sisi mutu beton yang dihasilkan maupun ditinjau dari sisi pengerjaan, dan dari sisi mikro menjadi faktor yang mempengaruhi porositas beton. Dekomposisi dan pelepasan ikatan air menyebabkan perubahan signifikan pada struktur mikro terutama ikatan kimia, kohesif, dan ukuran pori. Karena hal tersebut pada beton yang mendapat pengaruh suhu tinggi akan kehilangan berat dan berubahnya porositas yang berakibat ada penurunan mutu dan elastisitas beton.

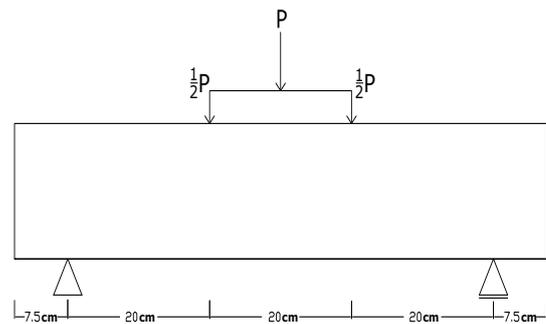
Hasil penelitian pendahuluan untuk mendapatkan nilai FAS terbaik akibat pengaruh suhu tinggi telah dihasilkan perbandingan FAS dengan kekuatan tekan beton dan modulus elastisitas beton untuk beton dengan paparan suhu tinggi adalah 0,48. (setyowati, 2010)

Material baja yang digunakan adalah baja tulangan polos dengan diameter 8 mm yang akan dipakai sebagai tulangan tarik pada sampel balok beton bertulang dengan ukuran balok : 15cm x 15 cm x 75 cm , dengan variasi tebal selimut beton (1,5 cm , 2 cm , 2,5 cm) yang akan diuji beban lentur untuk mendapatkan perilaku retak balok beton bertulang akibat paparan suhu tinggi, sedangkan pengamatan dan pengukuran lebar retak dilakukan dengan menggunakan crack detector microscope dengan skala 0,005 mm.

Sampel akan dibakar pada suhu tinggi (400°C , 600°C , 800°C ,) dengan menggunakan burner yang dilengkapi dengan termokopel yang dapat mencapai suhu pemanasan sampai diatas 1000°C, dengan bahan bakar elpigi .



Gambar 1. Burner tempat pembakaran benda uji



Gambar 2. Pengujian lentur balok beton bertulang

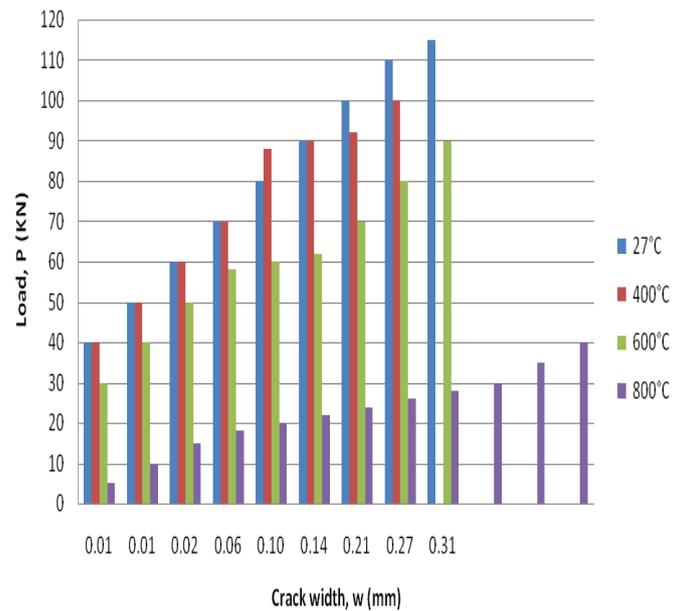
Pengamatan terhadap perubahan struktur mikro beton akibat pengaruh suhu tinggi , dilakukan dengan analisa XRD , EDAX dan foto scanning elektron (SEM) yang dilakukan terhadap beton yang telah berumur 28 hari , dengan memberikan paparan suhu tinggi : 400°C , 600°C , 88°C , dan sampel yang tidak dibakar dalam suhu kamar (27°C) sebagai pembandingan.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

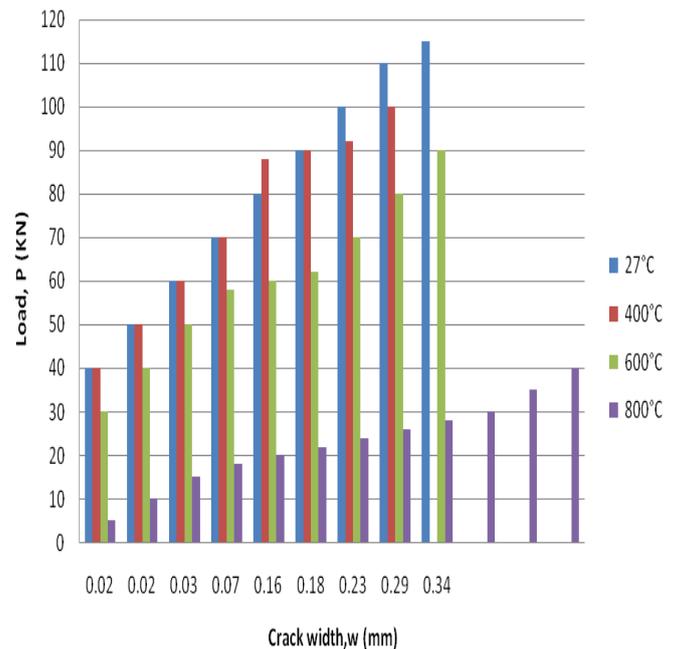
Beberapa laporan pengujian bahan bangunan pasca bakar menyebutkan kerusakan elemen struktur beton akibat kebakaran akan berakibat fatal apabila terjadi pengelupasan selimut beton (*spalling*). Beton yang mengalami peningkatan temperatur selama pemanasan, air yang terkandung dalam pori-pori dan kapiler beton akan menguap. Pada 100°C sebagian air dan kalsium silikat (CaSi) sebagai desikasi yang terhidrasi dalam pasta semen akan menghilang, diikuti dengan berkurangnya kekuatan. Peningkatan jumlah tekanan uap pada pori-pori beton tersebut akibat terjadinya *explosive spalling*, yaitu sebagian segmen beton terlepas dari permukaan, ini terjadi pada temperatur 300°C- 600°C. Pelepasan secara gradual selanjutnya akan terjadi karena adanya formasi retakan pada beton pada suhu 600°C - 900°C beton menjadi sangat lemah dan rapuh (*brittle*).

Akibat pengaruh suhu tinggi akan mengakibatkan perubahan yang terjadi pada struktur mikro beton, hal ini juga dikarenakan adanya pengaruh perbedaan muai dari material pengisi (agregat) dan akibat adanya dekomposisi yang mengakibatkan pengaruh terhadap porositas beton (K.Hinrichmayer). Pengaruh kebakaran atau suhu tinggi pada balok beton bertulang juga akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan balok, berkurangnya kemampuan terhadap beban yang dapat diterima dan berubahnya perilaku retak balok beton bertulang akibat pengaruh suhu tinggi.

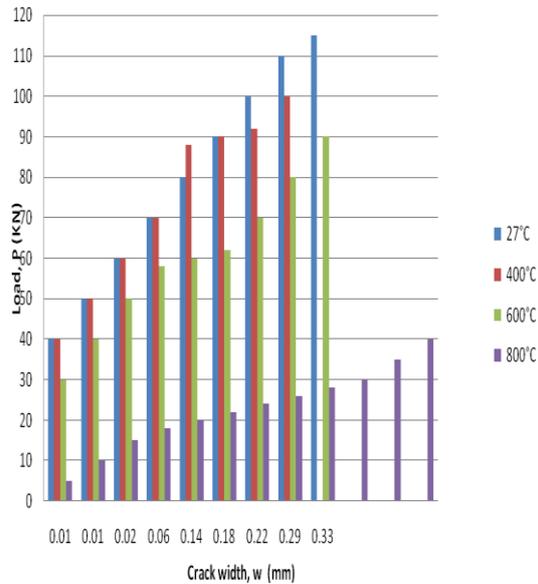
Sebagaimana diketahui dalam hasil pengukuran lebar retak pada balok beton bertulang dengan variasi tebal selimut beton (1,5 cm ; 2 cm dan 2,5 cm) sebagaimana **Gambar 3 s.d Gambar 5**.



Gambar 3. Hubungan lebar retak dan beban pada balok beton bertulang dengan tebal selimut beton : 1,5 cm

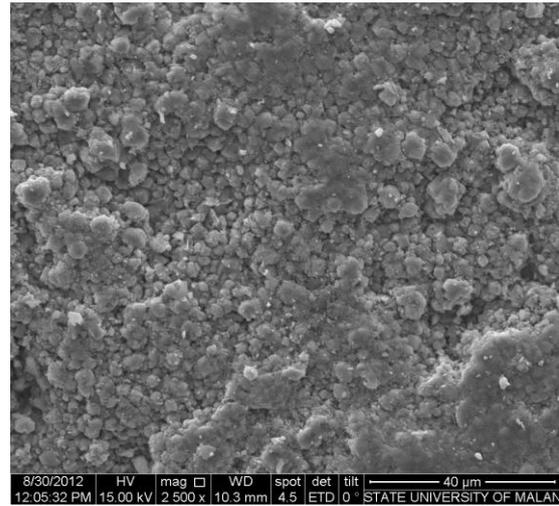


Gambar 4. Hubungan lebar retak dan beban pada balok beton bertulang dengan tebal selimut beton : 2 cm

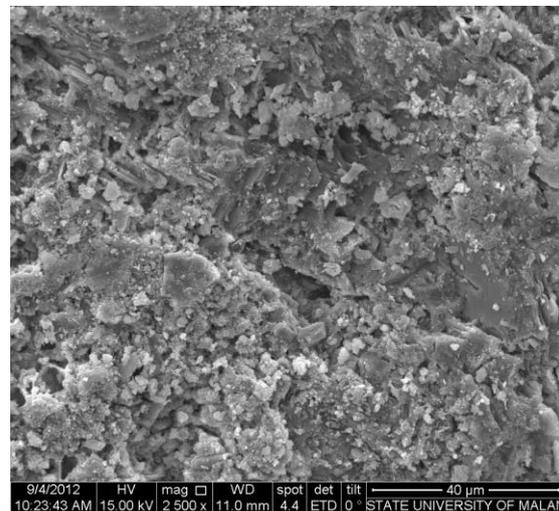


Gambar 5. Hubungan lebar retak dan beban pada balok beton bertulang dengan tebal selimut beton : 2,5 cm

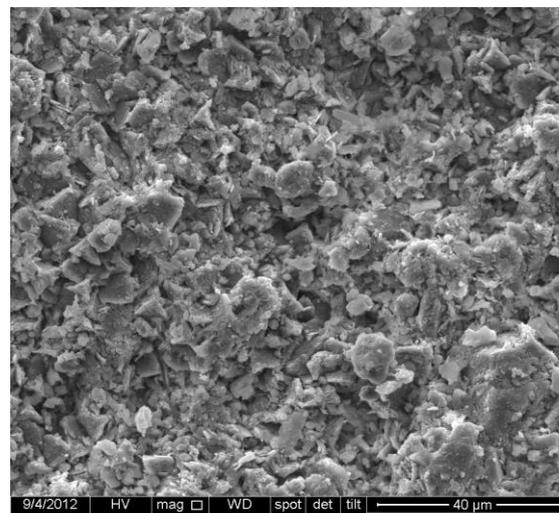
Pada hasil pengamatan pengukuran lebar retak didapatkan perilaku retak balok beton bertulang yang diberi paparan suhu 400C menunjukkan adanya peningkatan beban untuk semua variasi tebal selimut beton dibandingkan dengan perlakuan untuk pengaruh suhu yang lain, sehingga dapat diidentifikasi adanya penguatan atau perubahan pada sifat material beton akibat pengaruh suhu sekitar 400°C sebagaimana ditunjukkan hasil penelitian pengaruh suhu tinggi terhadap struktur mikro beton yang ditunjukkan oleh hasil analisa foto SEM terhadap sampel beton yang mendapat paparan suhu tinggi (400°C , 600°C , 800°C) dengan pembandingan sampel yang tidak dibakar (27°C) pada **Gambar 6** s.d **Gambar 9**.



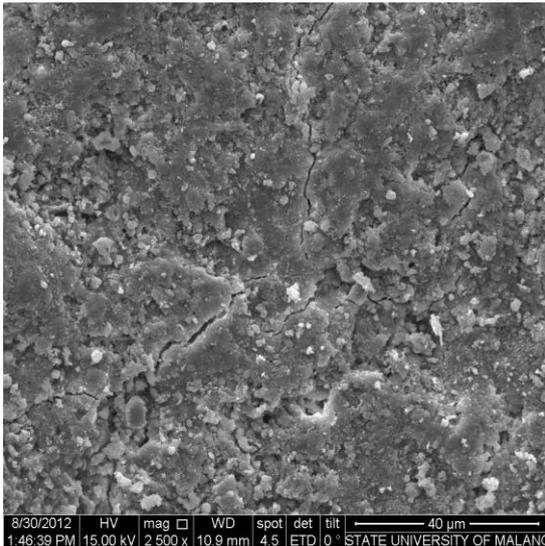
Gambar 6. SEM beton tidak dibakar dengan pembesaran 2500X



Gambar 7. SEM beton dibakar dengan suhu 400°C dengan pembesaran 2500X



Gambar 8. SEM beton dibakar dengan suhu 600°C dengan pembesaran 2500X

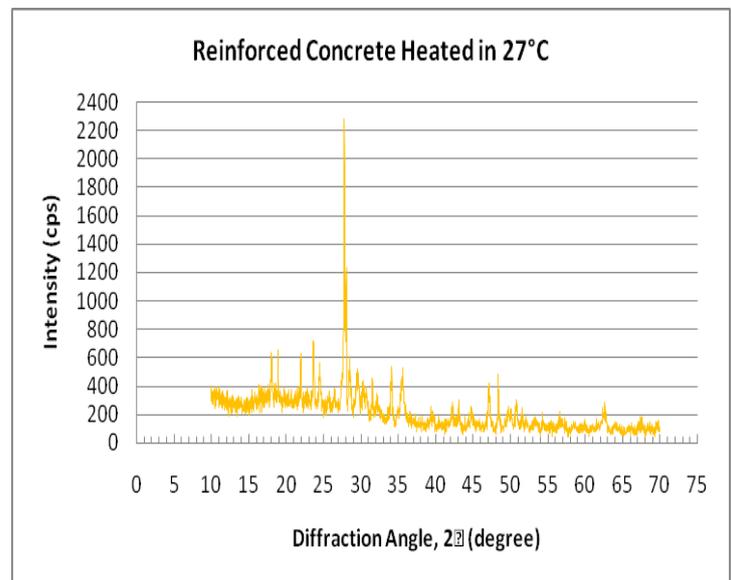


Gambar 9. SEM beton dibakar dengan suhu 800°C dengan pembesaran 2500X

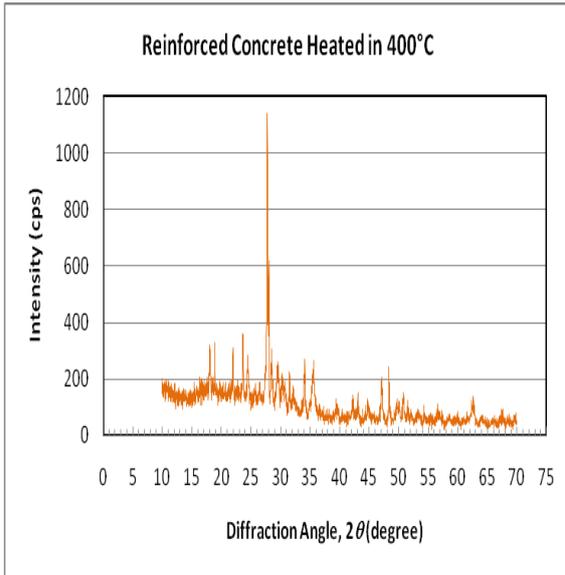
Hasil uji mikro struktur beton dengan XRD menunjukkan perbedaan yang sangat jelas terhadap sampel beton yang tidak dibakar, dan yang dibakar dengan suhu tinggi mulai 400°C , 600°C dan 800°C. Perbedaan ditunjukkan dengan berkurangnya intensitas fasa portlandite seiring dengan bertambahnya suhu dari suhu kamar terlihat jelas pada suhu 600°C dan akhirnya fasa portlandite menghilang pada sampel yang dibakar pada suhu 800°C. Fasa portlandite yang merupakan senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adalah merupakan karakteristik semen yang menghilang pada beton yang dibakar hingga 800°C, yang menghilang dan membentuk senyawa baru. Pada paparan suhu 400°C fase portlandite hampir belum berubah , namun disisi lain tampak adanya peningkatan intensitas pada senyawa lain (SiO_2) yang mungkin terbentuk akibat suhu mencapai 400°C , dimana hasil EDAX menunjukkan kenaikan unsur Si yang signifikan dan akibat pembakaran timbul senyawa baru dan lelehan yang merupakan bahan filler ini akan dapat mengisi ruang pori hingga tampak pada hasil scanning adanya perubahan morfologi yang tampak beton menjadi semakin masif. Hal ini merupakan salah satu indikasi dapat mengakibatkan adanya perbaikan dari sisi perilaku retak balok beton.

Pada pengamatan hasil uji XRD terhadap sampel dengan pembakaran 600°C tampak jelas berkurangnya intensitas fase portlandite yang berarti sangat berkurangnya sifat-sifat semen sebagai bahan pengikat pada beton dan tentu akan berakibat pada berkurangnya kekuatan beton dan berdampak pada kemampuan struktur balok beton bertulang dalam menerima beban dan perilaku retak yang ditunjukkan pada hasil pengamatan lebar retak yang menunjukkan penurunan beban pada balok beton bertulang.

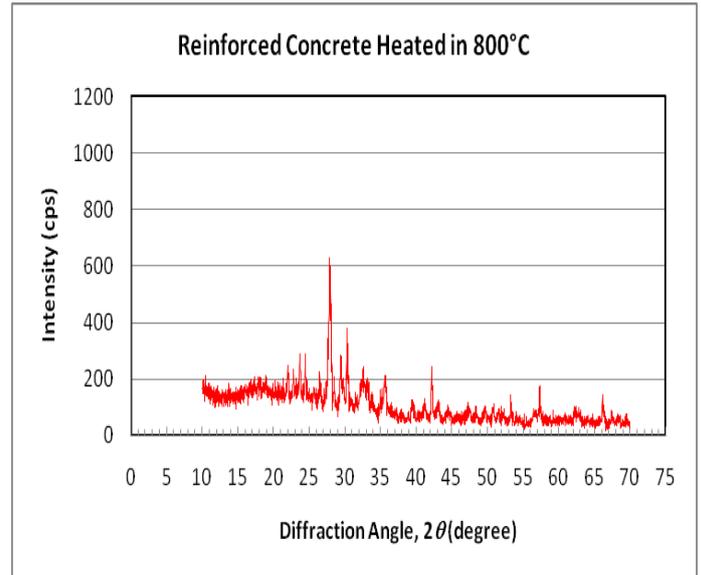
Pada pemanasan dengan suhu 800°C, perubahan dan kerusakan struktur micro beton semakin jelas dengan dibandingkan sample yang lain dan perubahan sifat fisis dan mekanis beton semakin nyata. Analisa SEM menunjukkan menghilangnya fase poertlandite yang berarti akan hilang juga sifat semen yang sebagai pengikat pada beton yang mengakibatkan hilangnya kekuatan beton secara signifikan dalam pengukuran retak terlihat penurunan beban yang cukup besar.



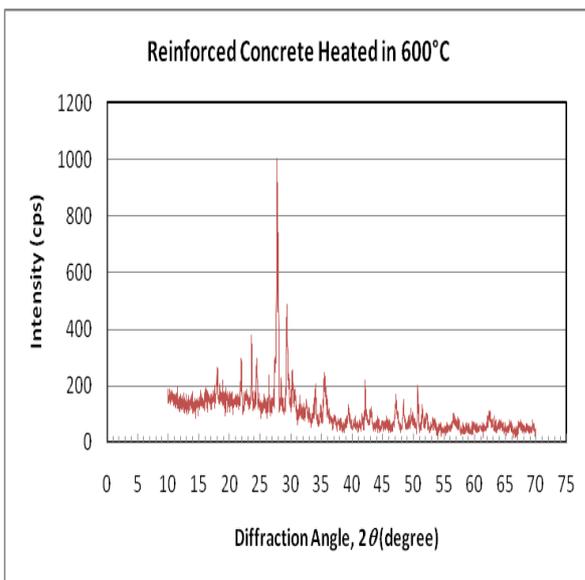
Gambar 10. Hasil uji beton tidak dibakar



Gambar 11. Hasil uji beton dibakar sampai suhu 400°C



Gambar 13. Hasil uji beton dibakar sampai suhu 800°C



Gambar 12. Hasil uji beton dibakar sampai suhu 600°C

4. KESIMPULAN

1. Pengaruh suhu tinggi mengakibatkan perubahan/kerusakan pada struktur mikro beton yang mengakibatkan perubahan sifat fisis dan mekanis beton dan perilaku retak balok beton bertulang.
2. Pengaruh suhu tinggi sampai dengan 400°C, tidak signifikan mengurangi kekuatan, bahkan terjadi proses kimia yang mengindikasikan material makin kompak dan lebar retak yang lebih kecil.
3. Pengaruh suhu tinggi di atas 600°C menyebabkan pengurangan fase portlandite yang signifikan pada material beton dan fase portlandite menghilang pada pemanasan suhu 800°C, menyebabkan sifat semen sebagai pengikat berkurang dan menghilang menyebabkan lebar retak makin besar pada pembebanan yang makin kecil.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Addresson,L.1976. *Heat and Fire and Their Effects, Material for Building*, Newnes-Butherworths. Vol 4
- F.M.Lea. 1970. *The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd Ed*, Edward Arnold, London, ISBN:0-7131-2277-3
- Gani,M.S.J, 1997, *Cement and Concrete*, Faculty of Engineering Monash University, Clayton Victoria Australia
- Hansen, T C, 1976, *Text Book on Concrete Technology* , Directorate of Building Research, Bandung Indonesia.
- Metha.K.M & Monteiro. PJM, 1993. *Concrete Structure Properties and Materials,Second Edition*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Partowiyatno, A . 2002.*Pengaruh Penyiraman Air pada Beton Pasca Pemanasan Suhu Tinggi* .Jurnal PI -16 – D9 ,
- Rokhman.A. 2006. *Gedung Pasca Bakar Estimasi kekuatan Sisa dan Teknologi Perbaikan*, Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Vol 6, No.2,
- Saelan dan Wibisono. 2005. *Pengaruh Kadar Semen Terhadap Ketahanan Beton Terhadap Api*,Jurnal TEKNIK SIPIL, Vol.3 ,No 2,
- Shi Xudong, Tan, T.H., Tan, K.H., Guo Zhenhai. 2002. *Effect of Force-temperature Paths on Behaviors of Reinforced Concrete Flexural Members*, ASCE Journal of Structural Engineering (United States), Vol. 128, No. 3, pp 365 - 373.
- Triwiyono, A. 2000.*Kerusakan Struktur Gedung Pasca Kebakaran*. PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta