

RESPON TEGANGAN-REGANGAN BETON BERSERAT GONI PADA SUHU TINGGI (072M)

Antonius¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4, Semarang
Email: antoni67a@yahoo.com

ABSTRAK

Di dalam desain struktur beton bertulang tahan gempa, material beton yang digunakan haruslah dapat menghasilkan mekanisme daktilitas yang memadai. Serat (fiber) seperti kawat baja, polypropylene maupun goni diketahui dapat meningkatkan daktilitas beton, namun efektifitasnya pada suhu tinggi perlu diteliti lebih lanjut. Paper ini menguraikan perilaku beton yang ditambah serat goni pada suhu tinggi untuk mengetahui efek perubahan suhu tinggi pada sifat tegangan-regangan. Program eksperimen dilakukan dengan membuat spesimen yaitu benda uji beton berserat goni, dimana parameter yang ditinjau adalah tiga buah rasio air semen (w/c) dan variasi suhu pembakaran yaitu 300°C, 600°C dan 900°C. Pembuatan benda uji yang dilakukan dengan variasi w/c mengasilkan spesimen yang mempunyai kuat tekan 28 hari rata-rata (f'_c) sekitar 30, 51 dan 77 MPa. Pada spesimen dengan kuat tekan normal ($f'_c \sim 31$ MPa) apabila dibakar pada suhu 300°C, 600°C dan 900°C, maka kuat tekan beton mengalami penurunan berturut-turut sekitar 25%, 35% dan 40% terhadap kuat tekan spesimen kontrol (suhu normal). Namun pada spesimen mutu menengah ($f'_c \sim 51$ MPa) dan mutu tinggi ($f'_c \sim 77$ MPa) yang dihasilkan, degradasi kuat tekan terjadi secara signifikan dibandingkan pada spesimen mutu normal di atas, dimana kehilangan kuat tekan beton adalah di atas 50% terhadap spesimen kontrol. Daktilitas spesimen yang ditinjau berdasarkan perilaku tegangan-regangan pada pengujian dengan berbagai tingkatan suhu seperti di atas, juga menunjukkan kecenderungan yang sama seperti perilaku kuat tekan beton.

Kata-kata kunci: beton berserat Goni, suhu tinggi, kuat tekan (f'_c), tegangan-regangan

1. PENDAHULUAN

Telah umum diketahui bahwa beton yang ditambah serat dalam prosentase volume tertentu mempunyai sifat yang lebih daktil dibandingkan dengan beton tanpa serat (Antonius & Setiyawan 2006, Cemen & Concrete Institute 2010). Dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat akhir-akhir ini, beton berserat dengan kuat tekan mutu normal hingga mutu tinggi telah dapat dihasilkan (Santos dkk. 2009), sehingga banyak memberi manfaat dalam desain elemen struktur tahan gempa. Permasalahan workabilitas pada beton berserat juga dapat diatasi dengan menambahkan bahan tambah seperti Superplasticizer ataupun Viscocrete dengan dosis tertentu sehingga dapat dihasilkan campuran beton yang mempunyai kelecakan sangat baik (Sampebulu 2012).

Salah satu material beton yang relatif baru dan mempunyai prospek penggunaan yang sangat baik adalah beton berserat Goni, dimana serat tersebut dihasilkan dari tanaman Rosella. Penelitian pendahuluan sifat mekanik yang telah dilakukan menunjukkan bahwa beton berserat Goni dapat dihasilkan dengan variasi prosentase serat Goni, dimana kuat tekan (f'_c) yang dapat dicapai juga bervariasi dari mutu normal hingga mutu tinggi (Kurniastuti 2011, Antonius dkk. 2012). Selain besaran mekanik tersebut, kuat tarik, kekakuan (modulus elastisitas) dan nilai nisbah Poisson juga memperlihatkan perilaku yang lebih baik bila dibandingkan dengan beton normal (tanpa serat). Namun demikian, seperti halnya beton berserat lainnya yang mempunyai sensitifitas pada suhu tinggi, beton berserat Goni juga masih perlu diteliti lebih lanjut efektifitasnya apabila berada pada suhu tinggi atau terbakar.

Penelitian beton berserat Goni pada suhu tinggi ini dilakukan dengan tujuan utama untuk memperoleh informasi yang mendalam mengenai besaran kuat tekan dan respon tegangan-regangan apabila mengalami kebakaran. Selain itu dengan diketahuinya perilaku beton berserat Goni paska bakar akan dapat dipastikan tingkat kelayakan penggunaan struktur pada fase paska bakar. Pengujian beton berserat hingga suhu tinggi (900°C) di Indonesia juga relatif masih sangat terbatas. Dengan dilakukannya penelitian ini juga membuka kemungkinan pengembangan aplikasi teknologi beton, khususnya tingkat kelayakan penggunaan beton berserat Goni paska bakar.

2. PERSAMAAN KONSTITUTIF BETON PADA SUHU TINGGI

Hingga saat ini, persamaan konstitutif beton yang menentukan tingkat degradasi besaran mekanik terhadap peningkatan suhu masih terbatas pada beton normal (tanpa serat). Model yang diusulkan diantaranya oleh Kodur &

Sultan (2003) dan Aslani & Bastami (2011). Selain usulan beberapa peneliti, British Standard (BS EN 1992) menetapkan tingkat degradasi kuat tekan beton terhadap peningkatan suhu seperti tertera pada Persamaan (1).

$$f'_{cT} = f'_c \text{ untuk } T \leq 100^\circ C \quad (1a)$$

$$f'_{cT} = f'_c (1.067 - 0.00067T) \text{ untuk } 100^\circ \leq T \leq 400^\circ C \quad (1b)$$

$$f'_{cT} = f'_c (1.44 - 0.0016T) \text{ untuk } T \geq 400^\circ C \quad (1c)$$

Persamaan yang ditetapkan dalam BS EN di atas membagi degradasi kuat tekan beton ke dalam tiga kategori suhu, yaitu perubahan kuat tekan beton hingga suhu 100°C, dimana dianggap bahwa beton tidak mengalami penurunan kuat tekan hingga suhu tersebut (Persamaan 1a). Kategori yang kedua adalah degradasi kuat tekan beton pada suhu diantara 100 dan 400°C (Persamaan 1b), dan kategori yang ketiga (Persamaan 1c) adalah degradasi kuat tekan beton di atas suhu 400°C. Pada kedua kategori terakhir tersebut, kuat tekan beton menurun secara linier.

Di lain pihak, ASCE Manual (1992) menetapkan degradasi kuat tekan beton terhadap peningkatan suhu seperti terlihat pada Persamaan (2). Berbeda dengan ketentuan BS EN di atas, ASCE Manual mengasumsikan bahwa beton tidak mengalami degradasi kuat tekan hingga suhu 450°C (Persamaan 2a). Degradasi kuat tekan beton secara gradual linier terjadi pada suhu 450°C hingga 874°C (Persamaan 2b), dan di atas suhu 874°C beton dianggap tidak mempunyai kekuatan sama sekali (Persamaan 2c).

$$f'_{cT} = f'_c \text{ untuk } 20^\circ \leq T \leq 450^\circ C \quad (2a)$$

$$f'_{cT} = f'_c \left[2.011 - 2.353 \left(\frac{T - 20}{1000} \right) \right] \text{ untuk } 450^\circ \leq T \leq 874^\circ C \quad (2b)$$

$$f'_{cT} = 0 \text{ untuk } T \geq 874^\circ C \quad (2c)$$

Pada dasarnya, persamaan pada kedua standar di atas diturunkan berdasarkan hasil pengujian beton normal (tanpa serat) pada suhu normal hingga suhu tinggi. Dengan demikian akurasi persamaan tersebut dalam memprediksi degradasi kuat tekan beton terhadap peningkatan suhu untuk beton berserat akan diverifikasi dengan hasil eksperimen beton berserat Goni di dalam penelitian ini.

3. PROGRAM EKSPERIMEN

Program eksperimen dilakukan dengan membuat benda uji beton berserat Goni sebanyak 72 silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm, yang terdiri dari spesimen kontrol (tidak dibakar) dan spesimen yang dibakar. Setiap spesimen tersebut terdiri dari enam buah benda uji yang dibagi ke dalam tiga kategori rasio air-semen (w/c) dengan tujuan untuk memperoleh beton dengan kuat tekan mutu normal, mutu menengah (transisi) dan mutu tinggi. Sifat mekanik serat Goni ditampilkan pada Tabel 1, dan serat Goni yang telah diolah untuk pembuatan spesimen beton terlihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Sifat mekanik serat Goni

| Karakteristik | Kandungan |
|----------------|--------------------------|
| Penyerapan air | 49,50 % |
| Kandungan air | 33,15 % |
| Densitas | 0,352 gr/cm ³ |
| Kekuatan tarik | 48,10 MPa |



Gambar 1. Serat Goni

Tabel 2 adalah desain campuran beton dimana untuk $w/c=0.53$ dirancang tanpa menggunakan Fly Ash dan Viscocrete. Desain campuran beton dengan $w/c=0.38$ dan 0.30 menggunakan Fly Ash, dan untuk mencapai tahap pengerjaan beton yang cukup *workable*, ditambahkan Viscocrete dengan prosentase 0.5%. Serat Goni yang ditambahkan adalah 0.5% dari volume beton, karena berdasarkan hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa kondisi optimum diperoleh pada prosentase tersebut (Kurniastuti 2011). Kecuali spesimen kontrol, spesimen lainnya dibakar pada suhu 300°C , 600°C dan 900°C setelah beton berumur 120 hari. Pengujian kuat tekan mengikuti ketentuan ASTM C 39 – 94 (1996). Pengujian perilaku tegangan-regangan dilakukan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM) kapasitas 2000 kN dengan sistim pengujian Kontrol Regangan (*Strain Control*).

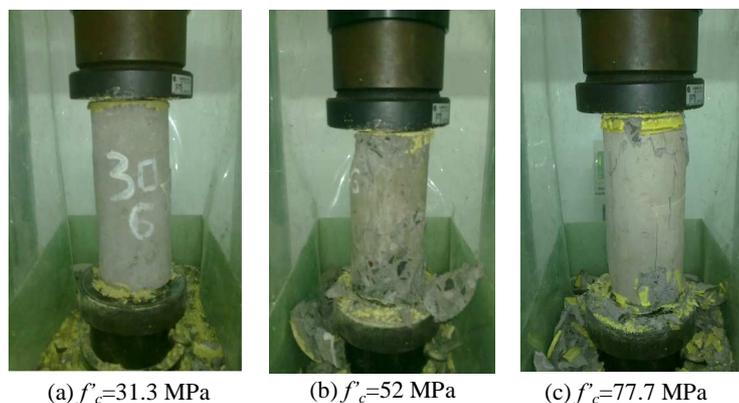
Tabel 2. Desain campuran beton

| Materials | w/c=0.53 | w/c=0.38 | w/c=0.30 |
|--|----------|----------|----------|
| Semen (kg/m^3) | 350 | 419.98 | 485 |
| Fly Ash (kg/m^3) | - | 74.11 | 82.83 |
| Air (lt/m^3) | 200 | 160 | 140 |
| Viscocrete 0,5% (lt/m^3) | - | 6.228 | 9.28 |
| Pasir (kg/m^3) | 722.9 | 696.62 | 662.07 |
| Krikil (kg/m^3) | 886.8 | 1044.93 | 1080.22 |
| Serat Goni 0,5% (kg/m^3) | 1.77 | 1.77 | 1.77 |

4. HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

4.1. Modus keruntuhan dan degradasi kuat tekan beton

Contoh modus keruntuhan spesimen paska bakar ditunjukkan pada Gambar 2, dan hasil pengujian kuat tekan terlihat pada Tabel 3. Secara umum, modus keruntuhan beton serat Goni paska bakar adalah dominan retak pada permukaan pada berbagai mutu beton. Sementara itu, Tabel 3 menunjukkan bahwa kuat tekan beton spesimen kontrol pada umur 28 hari berturut-turut sebesar 31.3 MPa, 52 MPa dan 77.7 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa substitusi serat Goni juga dapat menghasilkan material beton dengan kuat tekan normal hingga mutu tinggi. Mengacu pada pengelompokan mutu beton berdasarkan Antonius & Imran (2012), maka ketiga mutu beton tersebut selanjutnya di dalam paper ini didefinisikan sebagai Beton Serat Goni Mutu Normal (BSGMN), Beton Serat Goni Mutu Menengah (BSGMM) dan Beton Serat Goni Mutu Tinggi (BSGMT). Selain hasil uji kuat tekan tersebut, perilaku kelecakan (*workability*) juga memperlihatkan nilai yang cukup moderat, dimana nilai slump rata-rata untuk BSGMN, BSGMM dan BSGMT masing-masing adalah sebesar 70, 60 dan 40 mm.

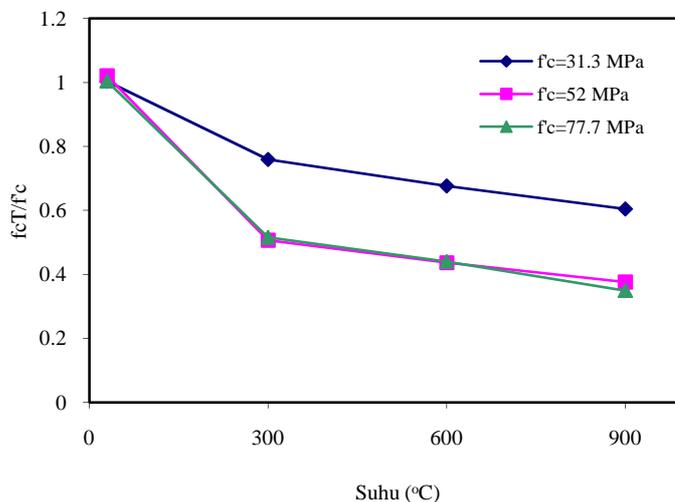


Gambar 2. Mode keruntuhan beton berserat Goni paska bakar

Tabel 3. Hasil uji tekan beton serat Goni

| Kuat Tekan Beton Serat Karung Goni Umur 28 hari | Benda uji | Slump rata-rata (mm) | Beban Maksimum dan Kuat Tekan (Umur 120 hari) | | | | | | | |
|---|-----------|----------------------|---|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|
| | | | Spesimen kontrol | | Suhu 300° | | Suhu 600° | | Suhu 900° | |
| | | | Pmax. (Ton) | f _c (MPa) | Pmax. (Ton) | f _c (MPa) | Pmax. (Ton) | f _c (MPa) | Pmax. (Ton) | f _c (MPa) |
| 31.3 MPa | 1 | 70 | 28 | 33.89 | 19 | 24.20 | 17 | 21.66 | 15.3 | 19.49 |
| | 2 | | 26.5 | 32.07 | 18.2 | 23.18 | 18.1 | 23.06 | 14.2 | 18.09 |
| | 3 | | 25.5 | 30.86 | 17.5 | 22.29 | 16.3 | 20.76 | 14.8 | 18.85 |
| | 4 | | 26 | 31.46 | 18.8 | 23.95 | 16.6 | 21.15 | 14.5 | 18.47 |
| | 5 | | 24.5 | 29.65 | 19.2 | 24.46 | 15.5 | 19.75 | 15.1 | 19.24 |
| | 6 | | 25 | 30.25 | 19.2 | 24.46 | 16.2 | 20.64 | 15.2 | 19.36 |
| | rata-rata | | 25.92 | 31.36 | 18.65 | 23.76 | 16.62 | 21.17 | 14.85 | 18.92 |
| 52 MPa | 1 | 60 | 43 | 52.04 | 16 | 20.38 | 17 | 21.66 | 15 | 19.11 |
| | 2 | | 47.5 | 57.48 | 19.3 | 24.59 | 18.2 | 23.18 | 14.4 | 18.34 |
| | 3 | | 44.3 | 53.61 | 19.6 | 24.97 | 17.6 | 22.42 | 14.9 | 18.98 |
| | 4 | | 42.5 | 51.43 | 20.6 | 26.24 | 17.7 | 22.55 | 15.7 | 20.00 |
| | 5 | | 44.5 | 53.85 | 24.4 | 31.08 | 18.4 | 23.44 | 15.8 | 20.13 |
| | 6 | | 40.8 | 49.38 | 24.1 | 30.70 | 18.1 | 23.06 | 16.2 | 20.64 |
| | rata-rata | | 43.77 | 52.97 | 20.67 | 26.33 | 17.83 | 22.72 | 15.333 | 19.53 |
| 77.7 MPa | 1 | 40 | 65 | 78.66 | 31 | 39.49 | 28 | 35.67 | 22 | 28.03 |
| | 2 | | 59.5 | 72.01 | 32.3 | 41.15 | 27.4 | 34.90 | 22.4 | 28.54 |
| | 3 | | 64 | 77.45 | 32.1 | 40.89 | 26.3 | 33.50 | 21.3 | 27.13 |
| | 4 | | 63.5 | 76.85 | 31.6 | 40.25 | 26.6 | 33.89 | 20.6 | 26.24 |
| | 5 | | 65 | 78.66 | 30.4 | 38.73 | 26.2 | 33.38 | 21 | 26.75 |
| | 6 | | 69.5 | 84.11 | 31.3 | 39.87 | 26.5 | 33.76 | 20.5 | 26.11 |
| | rata-rata | | 64.42 | 77.96 | 31.45 | 40.06 | 26.83 | 34.18 | 21.3 | 27.13 |

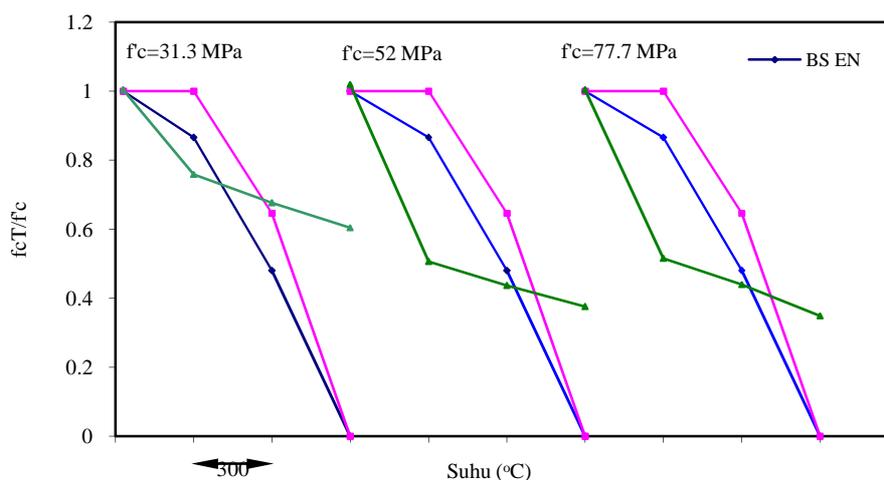
Hubungan antara degradasi kuat tekan beton rata-rata terhadap suhu diilustrasikan pada Gambar 3. Kuat tekan BSGMN pada suhu 300°C mengalami penurunan di atas 20% dibanding beton kontrol (suhu normal). Bahkan pada suhu 600°C dan 900°C penurunan kuat tekan yang terjadi sangat signifikan terhadap kuat tekan beton kontrol (turun 50%). Kuat tekan spesimen BSGMM dan BSGMT, bahkan menurun drastis mulai suhu 300°C hingga 900°C.



Gambar 3. Perubahan kuat tekan beton serat Goni terhadap suhu

4.2. Verifikasi model yang telah dikembangkan terhadap hasil eksperimen

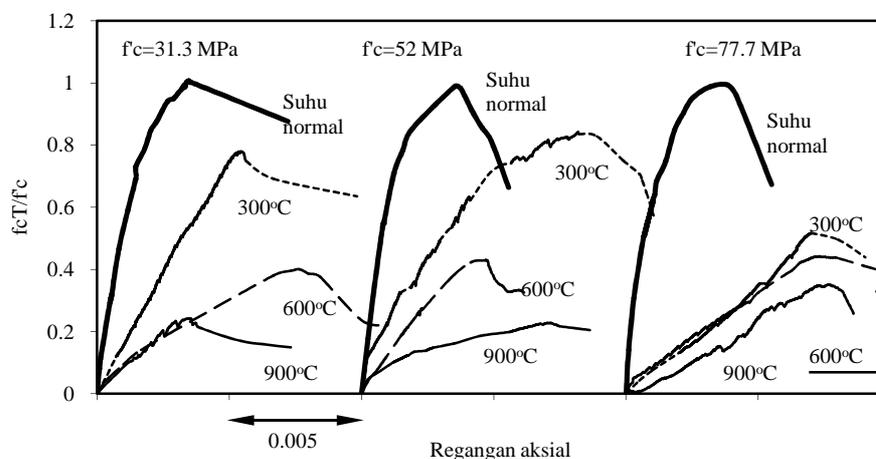
Selanjutnya perilaku degradasi kuat tekan beton rata-rata terhadap peningkatan suhu berdasarkan hasil eksperimen diverifikasi terhadap persamaan desain kuat tekan beton pada berbagai suhu berdasarkan BS EN dan ASCE yang direpresentasikan pada Persamaan (1) dan (2) di atas, dan hasil verifikasi terlihat pada Gambar 4. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, kuat tekan beton berserat Goni mengalami degradasi yang lebih cepat pada suhu 300°C, 600°C dan 900°C bila dibandingkan dengan standar BS EN dan ASCE. Hasil perbandingan lainnya adalah bahwa kekuatan sisa (*residual strength*) pada BSGMN adalah berkisar 60%, dan untuk BSGMM dan BSGMT mempunyai kekuatan sisa yang hampir sama yaitu sekitar 40%. Nilai kekuatan sisa hasil eksperimen tersebut lebih tinggi dari nilai berdasarkan kedua standar tersebut dan terjadi pada suhu 900°C.



Gambar 4. Perbandingan model-model degradasi kuat tekan beton vs hasil eksperimen

4.3. Respon tegangan-regangan

Gambar 5 memperlihatkan respon tegangan-regangan beton rata-rata pada setiap kategori benda uji terhadap beban uniaksial pada berbagai suhu, dimana tegangan yang terjadi setiap spesimen diverifikasi terhadap kuat tekan beton umur 28 hari (f'_c). Seperti terlihat pada Gambar 5 tersebut, degradasi kuat tekan pada semua spesimen juga diikuti dengan degradasi kekakuan sejalan dengan peningkatan suhu yang ditandai semakin landainya kurva sebelum respon puncak. Pada respon setelah puncak, peningkatan suhu yang diterapkan pada setiap spesimen memperlihatkan penurunan kekuatan yang semakin tajam. Perilaku ini terjadi secara ekstrim pada BSGMN dan BSGMM pada suhu 600°C dan 900°C, dan pada BSGMT pada suhu 300°C, 600°C dan 900°C, dan sekaligus menandai secara umum terjadi penurunan daktilitas secara signifikan beton berserat Goni pada suhu yang semakin tinggi.



Gambar 5. Respon tegangan-regangan beton berserat Goni pada berbagai suhu

5. PEMODELAN DEGRADASI BETON BERSERAT GONI TERHADAP SUHU

Hasil perbandingan antara prediksi degradasi kuat tekan beton terhadap suhu dengan hasil eksperimen yang telah dibahas di atas memperlihatkan bahwa terjadi deviasi yang cukup signifikan. Perbedaan tersebut terutama disebabkan pada model yang telah dikembangkan (BS EN dan ASCE) adalah berdasarkan pengujian pada beton normal (tanpa serat), sehingga karakteristik material seperti kekakuan dan daktilitas juga mempunyai perbedaan yang signifikan. Hingga saat ini belum banyak dikembangkan model hubungan antara degradasi kuat tekan beton terhadap peningkatan suhu khususnya untuk beton berserat, terlebih untuk material yang relatif baru seperti beton berserat Goni. Oleh karena itu dikembangkan model persamaan konstitutif yang lebih realistis dan dapat mewakili perilaku hasil eksperimen. Untuk mengembangkan model, digunakan data-data hasil eksperimen pada Tabel 3, dimana pengembangan model dibagi kedalam tiga kategori yaitu model untuk BSGMN, BSGMM dan BSGMT.

Selanjutnya dilakukan regresi untuk setiap kategori, dimana masing-masing regresi ditunjukkan pada Gambar 6, 7 dan 8.

Berdasarkan Gambar 6, hasil regresi Non-Linier untuk BSGMN yang menghasilkan persamaan:

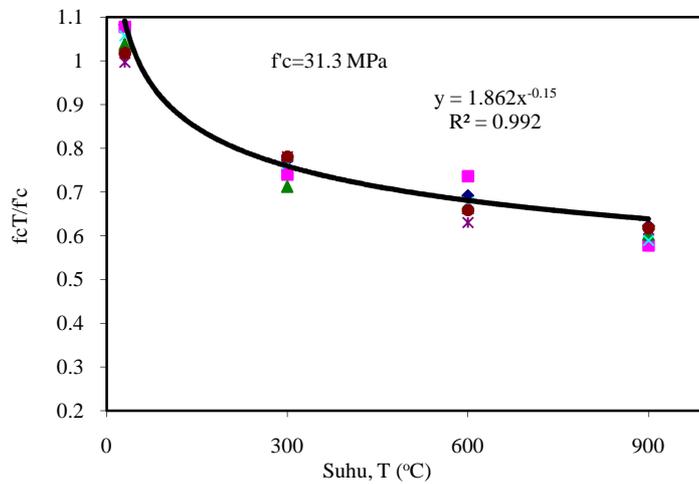
$$\frac{f_{cT}}{f'_c} = 1.86.T^{-0.16} \tag{3}$$

Hasil regresi Non-Linier BSGMM seperti terlihat pada Gambar 7 adalah:

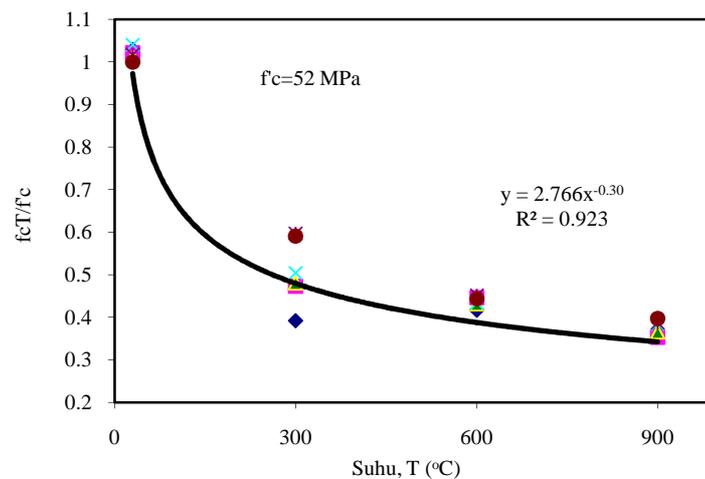
$$\frac{f_{cT}}{f'_c} = 2.77.T^{-0.31} \tag{4}$$

Hasil regresi Non-Linier BSGMT adalah (Gambar 8):

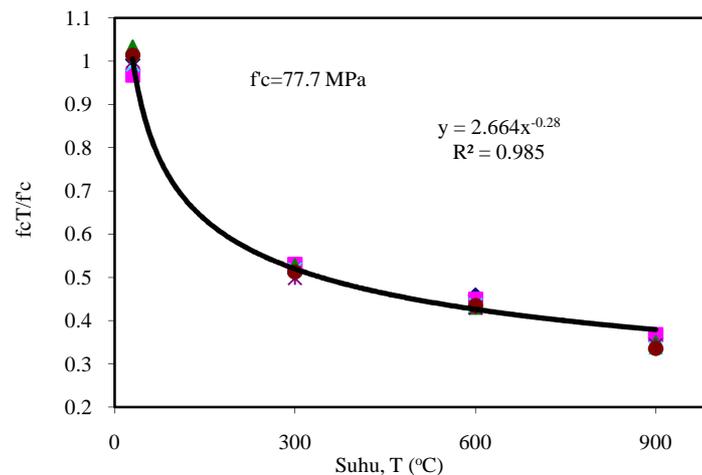
$$\frac{f_{cT}}{f'_c} = 2.66.T^{-0.29} \tag{5}$$



Gambar 6. Regresi Non-linier BSGMN



Gambar 7. Regresi Non-linier BSGMM



Gambar 8. Regresi Non-linier BSGMT

6. PENUTUP

6.1. Kesimpulan

1. Beton berserat Goni dengan kuat tekan normal (BSGMN) pada kondisi peningkatan suhu secara gradual mempunyai sifat degradasi kuat tekan yang paling rendah dibanding beton berserat Goni dengan kuat tekan menengah (BSGMM) dan kuat tekan tinggi (BSGMT), dimana pada suhu maksimal (900°C), kehilangan kuat tekan BSGMN masih di bawah 40% dan kedua spesimen yang lain terjadi degradasi kuat tekan hingga 60%.
2. Degradasi kuat tekan secara signifikan terjadi pada spesimen BSGMM dan BSGMT mulai pembakaran suhu 300°C, dimana kehilangan kuat tekan sekitar 50% dibandingkan kuat tekan pada suhu normal.
3. Degradasi kuat tekan beton serat Goni pada berbagai kuat tekan terhadap peningkatan suhu berbeda signifikan terhadap prediksi berdasarkan standar British EN dan ASCE.
4. Respon tegangan-regangan beton berserat Goni pada spesimen BSGMN dan BSGMM mempunyai kecenderungan yang hampir sama pada pembakaran suhu 300°C, yaitu dalam hal penurunan kekakuan dan respon setelah puncak. Perilaku tersebut berbeda pada spesimen BSGMT, dimana mulai suhu 300°C hingga 900°C, spesimen mengalami penurunan kekuatan dan daktilitas yang sangat berarti.
5. Secara umum, kuat tekan sisa (*residual strength*) BSGMN adalah yang paling tinggi dibandingkan BSGMM dan BSGMT.
6. Prediksi degradasi kuat tekan beton serat Goni terhadap peningkatan suhu diusulkan berdasarkan model seperti yang dikembangkan berdasarkan regresi non-linier pada persamaan (3), (4) dan (5).

6.2. Saran

Penelitian ini masih dapat dikembangkan ke arah beton berserat Goni paska bakar secara lebih komprehensif, dengan memperluas variabel penelitian seperti kuat tarik, modulus lentur, modulus elastisitas. Selain itu model tegangan-regangan juga dapat diteliti lebih lanjut mengenai besaran tingkat daktilitas yang terjadi, agar dapat diketahui dengan pasti akurasi apabila akan digunakan pada struktur bangunan tahan gempa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian dari Penelitian Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2012, Kontrak No.002/006.2/PP/SP/2012, Depdikbud. Terima kasih disampaikan kepada DP2M Depdikbud atas dukungan finansial sehingga terlaksananya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada staf dan teknisi Laboratorium Bahan Universitas Islam Sultan Agung yang telah membantu dalam pembuatan benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonius and Imran, I. (2012). "Experimental study of confined low, medium and high-strength concrete subjected to concentric compression". *ITB Journal of Engineering Science*, Vol.44(3), 252-269.
- Antonius, Indarto, H and Kurniastuti, D. (2012). "Mechanical properties of gunny sack fiber concrete", *Proceeding of 1st International Conf. On Sustainable Civil Eng. Structures and Constr. Materials (SCESCM)*, Yogyakarta, Indonesia, 11-13 Sept., 172-176.
- Antonius, Darmayadi, D. dan Asfari, G.D. (2012). *Perilaku mekanik beton berserat baja pada suhu tinggi*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing TA 2012, Kontrak No.002/006.2/PP/SP/2012, Depdikbud.
- Antonius dan Setiyawan, P. (2006). "Kajian besaran mekanis beton berserat mutu tinggi (studi eksperimental)", *Jurnal Wahana Teknik Sipil*, Politeknik Neg. Semarang, Akreditasi No.49/Dikti/Kep./2003, Vol. 11(3), 74-81.
- ASCE (1992). *Structural fire protection*. Manual No.78, ASCE Committee on Fire Protection, Structural Division, New York, 260 pp.
- Aslani, F. and Bastami, M. (2011). "Constitutive relationships for normal- and high-strength concrete at elevated temperatures", *ACI Materilas Journal*, Vol.108(4), 355-364.
- ASTM C 39 – 94 (1996). *Test methode for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Annual Books of ASTM Standards, USA, 1996.
- BS EN 1992-1-2, (2004). *Design of concrete structures, Part 1.2: General rules-structural fire design*, Eurocode 2, Commssion of European Communities, Brussels, Belgium, 100 pp.
- Cement & Concrete Institute (2010). *Fiber reinforced concrete*. The Cement & Concrete Institute, Midrand.
- Kodur, VKR and Sultan, MA (2003). "Effect of temperatures on thermal properties of high-strength concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol.15(2), 101-107.
- Kurniastuti, D. (2011). *Perilaku mekanik beton dengan substitusi serat karung goni*. Tesis Magister, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
- Sampebulu, V. (2012). "Influence of high temperatures on the workability of fresh ready-mixed concrete", *ITB Journal of Engineering Science*, V.44(1), 21-32.
- Santos, SO, Rodrigues, JPC, Toledo, R and Velasco, RV. (2009). "Compressive behaviour at high temperatures of fibre reinforced concretes", *Acta Polytechnica*, Vol.49(1), 29-33.