



Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Pasca Bakar Menggunakan Serat Polypropylene

*Teuku Budi Aulia, Muttaqin, Mochammad Afifuddin, Zahra Amalia
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
*)aulia@unsyiah.ac.id

Received: 28 Januari 2020 Revised: 14 Juni 2020 Accepted: 2 Juli 2020

Abstract

High-strength concrete is vulnerable to high temperatures due to its high density. The use of polypropylene fibers could prevent structure explosion by forming canals due to melted fibers during fire, thus release its thermal stress. This study aims to determine the effect of polypropylene fibers on compressive strength of high-strength concrete after combustion at 400°C for five hours. High-strength concrete was made by w/c-ratio 0.3 with cement amount 550 kg/m³ and added with silica fume 8% and superplasticizer 4% by cement weight. The variations of polypropylene fibers were 0%, 0.2% and 0.4% of concrete volume. The compression test was carried out on standard cylinders Ø15/30 cm of combustion and without combustion specimens at 7 and 28 days. The results showed that compressive strength of high-strength concretes without using polypropylene fibers decreased in post-combustion compared with specimens without combustion, i.e., 0.81% at 7 days and 23.42% at 28 days. Conversely, the use of polypropylene fibers can increase post-combustion compressive strength with a maximum value resulted in adding 0.2% which are 25.52% and 10.44% at 7 and 28 days respectively. It can be concluded that the use of polypropylene fibers is effective to prevent reduction of high-strength concrete compressive strength that are burned at high temperatures.

Keywords: Compressive strength, high-strength concrete, post-combustion, polypropylene fiber

Abstrak

Beton mutu tinggi rentan terhadap suhu tinggi akibat densitas strukturnya yang tinggi. Penggunaan serat polypropylene dapat mencegah peledakan struktur dengan membentuk kanal-kanal akibat pelelehan serat saat kebakaran sehingga tegangan keluar dari struktur beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan serat polypropylene terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar pada suhu 400°C selama lima jam. Beton mutu tinggi dibuat dengan faktor air semen 0,3 dengan jumlah semen 550 kg/m³ yang ditambahkan silica fume 8% dan superplasticizer 4% dari berat semen dengan variasi serat polypropylene 0%, 0,2% dan 0,4% dari volume beton. Pengujian kuat tekan dilakukan pada silinder standar Ø15/30 cm yang dibakar dan tanpa bakar, diuji pada umur 7 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton mutu tinggi tanpa penggunaan serat polypropylene mengalami penurunan kuat tekan pada kondisi pasca bakar dibandingkan dengan beton tanpa bakar, yaitu 0,81% pada umur 7 hari dan 23,42% pada umur 28 hari. Sebaliknya, penambahan serat polypropylene dapat meningkatkan kuat tekan pasca bakar dengan persentase peningkatan maksimum terjadi pada penambahan 0,2% serat polypropylene yaitu 25,52% dan 10,44% pada umur 7 dan 28 hari. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat polypropylene efektif untuk mencegah penurunan kuat tekan beton mutu tinggi yang dibakar pada suhu tinggi.

Kata kunci: Kuat tekan, beton mutu tinggi, pasca bakar, serat polypropylene

Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap infrastruktur *advance* yang membutuhkan daya dukung serta daya layan tinggi, seperti gedung-

gedung tinggi, struktur jembatan dengan bentang panjang, struktur pondasi dalam, bendungan besar, konstruksi lapangan terbang dan dermaga besar, penggunaan beton mutu tinggi merupakan salah satu solusi yang dapat diaplikasikan. Karakteristik

beton mutu tinggi ditandai dengan faktor air semen (FAS) rendah, penggunaan bahan tambah mineral untuk meningkatkan kekuatan serta *admixtures* untuk memperbaiki workabilitasnya, yang menghasilkan struktur yang padat berdaya tahan tinggi. Keuntungan yang diperoleh adalah daya dukung beban dan durabilitas yang tinggi. Namun, dengan densitas struktur yang tinggi dan porositas yang rendah mengakibatkan struktur beton mutu tinggi rentan terhadap temperatur tinggi, misalnya apabila terjadi kebakaran (Bošnjak *et al.*, 2019, Hamed & Saberi 2014). Selain itu, dibandingkan dengan beton normal, struktur matrik beton mutu tinggi lebih padat, memiliki ukuran pori yang jauh lebih kecil dengan lebih banyak pori dalam bentuk gel dan pori kapiler dibandingkan dengan beton normal yang mempunyai lebih banyak pori-pori udara dan pori kapiler (Aulia, 2004).

Pada saat beton mutu tinggi terpapar dengan suhu tinggi, uap air yang terbentuk akibat temperatur tinggi akan terperangkap dalam mikrostruktur beton yang padat sehingga dapat menyebabkan terjadinya ledakan di dalam beton (*spalling*) akibat tegangan thermal yang tinggi. Untuk memperbaiki kelemahan ini dapat dilakukan dengan menambahkan serat (*fiber*) yang mempunyai titik leleh yang tidak begitu tinggi ke dalam campuran beton mutu tinggi misalnya serat *polypropylene* (*polypropylene fiber*, PPF).

Serat *polypropylene* merupakan serat berbahan dasar plastik dari keluarga *polyolefin* yang berbentuk gumpalan (*bundles*) yang dibuat dalam ikatan-ikatan kecil (*fibril*) dengan titik leleh 160°C yang apabila dibakar pada suhu di atas titik lelehnya akan meleleh sehingga membentuk kanal-kanal sebagai tempat keluarnya uap air yang terperangkap dalam struktur beton mutu tinggi (Aulia & Rinaldi 2015) serta membentuk pori udara yang besar menyebabkan penurunan kuat tekan beton secara drastis (Atashafrazeh *et al.*, 2017). Apabila ditempatkan secara merata di dalam beton kanal-kanal yang terbentuk akan efektif untuk mencegah timbulnya *spalling* pada matrik beton (Amancio *et al.*, 2018, Petrus *et al.*, 2018, Mohammadhosseini *et al.*, 2018, Petrus *et al.*, 2016, Aulia & Rinaldi, 2015).

Beberapa keuntungan beton yang ditambahkan serat *polypropylene* yaitu dapat menghambat terbentuknya retak beton pada umur muda, mengurangi kebutuhan air, mempunyai konsistensi campuran dan ketahanan tumbukan yang baik, meningkatkan deformasi saat runtuh, kemudahan perawatan karena tidak menyerap air, dapat berfungsi sebagai *micro reinforcement* untuk mengontrol retak yang lebih ekonomis dibandingkan serat sintetis lainnya, kedap air,

memiliki workabilitas tinggi, serta mempunyai masa layan tinggi dan biaya *life cycle* rendah ditinjau dari aspek finansial dan lingkungan (Richardson, 2006). Penggunaan serat *polypropylene* juga dapat meningkatkan daktilitas beton mutu tinggi dengan memanfaatkan kuat tarik dan modulus elastisitas serat yang lebih tinggi dari beton, serat *polypropylene* dapat menjembatani retak yang terbentuk pada matrik beton sehingga memperlambat propagasi retak di samping proses penarikan serat *polypropylene* dari beton (*fiber pullout*) dapat menyediakan energi kehancuran (*fracture energy*) dan ketahanan hancur (*fracture toughness*) yang tinggi yang dapat mencegah kehancuran beton yang tiba-tiba.

Sebaliknya, penggunaan serat *polypropylene* dapat menurunkan kekuatan tekan beton mutu tinggi sebesar 7,53% (Aulia & Rinaldi, 2015), dan pada beton mutu sedang sebesar 11,40% (Richardson, 2006). Hal ini disebabkan terbentuknya daerah kerusakan (*defect area*) pada matrik beton akibat berat jenis dan densitas serat *polypropylene* yang lebih rendah dibandingkan dengan pasta semen, sehingga serat akan menghasilkan deformasi yang lebih besar di bawah beban tekan dibandingkan pasta semen (Aulia & Rinaldi, 2015).

Studi tentang ketahanan beton mutu tinggi terhadap suhu tinggi sangat perlu dilakukan agar dapat diketahui perilaku dan karakteristik mekanis secara menyeluruh dari beton mutu tinggi untuk dapat dipakai sebagai material konstruksi pembangunan infrastruktur. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan serat *polypropylene* terhadap kuat tekan beton mutu tinggi yang dibakar pada suhu 400°C selama lima jam. Benda uji yang digunakan adalah silinder standar dengan ukuran 15 x 30 cm sebanyak 84 benda uji, yang terdiri dari 42 buah silinder beton mutu tinggi yang dibakar menggunakan tungku (*burner*) dan 42 buah benda uji yang tidak dibakar sebagai pembandingan yang diuji pada umur 7 dan 28 hari dengan variasi persentase serat *polypropylene* (sikafiber) 0%, 0,2% dan 0,4% dari volume beton. FAS yang digunakan adalah 0,3 dengan berat semen 550 kg/m³ dan kuat tekan rencana 70 MPa, yang ditambahkan bahan aditif *silica fume* sebesar 8% dari berat semen serta bahan tambah (*admixture*) *superplasticizer* Sikament NN sebesar 4% dari berat semen.

Menurut American Concrete Institute (1998), beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kekuatan tekan lebih besar dari 6000 Psi atau 41,4 MPa. Untuk menghasilkan beton mutu tinggi digunakan material dengan sistem lima bahan, terdiri dari semen, air, agregat, bahan tambah yang

bersifat *cementitious* untuk meningkatkan kekuatan beton (*additive*) disamping bahan tambah cair untuk memperbaiki workabilitas beton segar (*admixture*). Aditif yang banyak digunakan adalah *silica fume*, metakaolin dan *fly ash* baik yang berasal dari limbah alami maupun material *geopolymer*. *Admixture* yang dipakai umumnya tipe *superplasticizer (high range water reducer)*.

Untuk mencapai kekuatan beton mutu tinggi harus digunakan jumlah semen yang lebih banyak dibandingkan dengan beton normal sehingga menghasilkan nilai FAS yang rendah. Produksi beton mutu tinggi menggunakan komposit lima bahan ini menyebabkan perubahan yang signifikan pada mikrostrukturnya bila dibandingkan dengan beton normal, seperti perubahan proses dan produk hidrasi, struktur pori dan *interface* (bidang kontak antara agregat dan pasta semen) yang kesemuanya berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanis dan durabilitas beton.

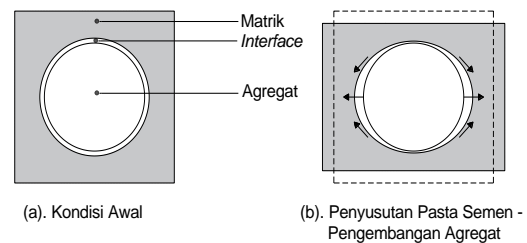
Beton serat adalah komposit yang terdiri atas matrik beton (pasta semen, agregat dan *interface*) yang ditambahkan serat dengan dosis tertentu yang dapat berfungsi sebagai *micro reinforcement*, karena memiliki kuat tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan pasta semen dan *interface*. Serat yang disebarkan secara merata dengan orientasi acak di dalam matrik beton dapat meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur serta daktilitas beton. Untuk meningkatkan kekuatan tarik beton mutu tinggi harus digunakan serat buatan (*artificial*) seperti serat baja, serat kaca (*fiberglass*), serat *polymer* yang dibuat dengan proses kimia seperti *polypropylene*, *polyethylene*, *polyester*, *nylon*, *carbon* dan *acrylic*.

Penambahan serat ke dalam beton akan membuat mortar lebih kaku dan workabilitas beton rendah sehingga dapat menurunkan nilai *slump* serta mempercepat waktu pengikatan awal beton (*initial setting time*). Berkurangnya workabilitas beton sangat tergantung kepada jumlah konsentrasi serat dan aspek rasio, yaitu panjang serat dibagi dengan diameter serat (l/d). Batas maksimum kelangsingan serat yang memungkinkan mudahnya pengadukan beton adalah $l/d < 50$. Apabila rasio kelangsingan serat tinggi, serat cenderung menggumpal menjadi suatu bola sehingga sulit untuk disebar secara merata selama pengecoran (*balling effects*).

Menurut Neville (1999), selain pengaruh rangkai dan susut, perilaku beton dalam jangka panjang juga ditentukan oleh sifat *thermal* beton yang meliputi daya hantar panas (*thermal conductivity*), penyebaran panas (*thermal diffusivity*) serta kalor jenis (*specific heat*). Pada suatu konstruksi bangunan gedung beton bertulang yang terbakar,

degradasi kekuatan beton dipengaruhi oleh variasi temperatur dan tingkat pemanasan; durasi pemanasan; jenis dan perilaku pembebanan, yaitu terkekang atau bebas; jenis dan ukuran agregat yang digunakan; persentase pasta semen dan faktor air semen.

Kerusakan beton pada temperatur tinggi dapat disebabkan oleh perbedaan sifat muai antara agregat dan pasta semen. Pada temperatur kamar, umumnya batuan memiliki angka muai yang lebih rendah dibandingkan pasta semen. Di dalam matrik beton, pemuai dan penyusutan pasta semen dan agregat terjadi secara berkebalikan. Pada temperatur tinggi, tekanan uap air atau gas yang terperangkap di dalam beton dapat menyebabkan pasta semen menyusut namun sebaliknya agregat memuai seperti terlihat pada Gambar 1 (Aulia, 2004). Semakin tinggi densitas beton semakin mudah terjadi pengelupasan oleh panas, karena uap air tidak mudah mengalir ke bagian pasta semen yang lebih dingin. Akibatnya, apabila temperatur meningkat dengan cepat, dapat menimbulkan retakan dan ledakan di dalam beton, terutama pada beton mutu tinggi yang mempunyai porositas dan permeabilitas rendah.



Gambar 1. Mekanisme retak yang diakibatkan oleh penyusutan pasta semen dan pemuai agregat

Perilaku mekanis beton mutu normal pada temperatur tinggi menggunakan serat *polypropylene* telah diteliti oleh Amancio *et al.* (2018) dengan variasi serat *polypropylene* 1,2 kg/m³; 1,8 kg/m³ dan 2,4 kg/m³ pada temperatur 200°C, 400°C, 600°C, 800°C selama 30 menit yang menyimpulkan bahwa jumlah serat *polypropylene* berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan kehilangan berat beton pasca bakar serta mencegah timbulnya *spalling* beton. Beton dengan serat *polypropylene* dapat mencegah penurunan kuat tekan yang drastis dibandingkan beton tanpa serat setelah temperatur 400°C.

Hal yang sama dilaporkan oleh Atashafraze *et al.* (2017) serta Hamed dan Saberi (2014) namun menggunakan variasi berat serat *polypropylene*, temperatur pemanasan dan lama pembakaran yang berbeda yang menyimpulkan bahwa kekuatan

tekan dan ketahanan beton terhadap suhu tinggi meningkat dengan penggunaan serat *polypropylene* berbentuk *fibril* serta serat *polypropylene* dapat menghasilkan penurunan kuat tekan yang lebih kecil dibandingkan beton normal tanpa serat. Bingöl dan Atashafrazeh (2015) mengungkapkan bahwa penambahan serat *polypropylene* sebesar 600 gr/m³ beton pada temperatur 300°C dan 750°C selama 2 jam dapat meningkatkan kuat tekan relatif sebesar 10,1% dan 9,2%.

Shihada (2011) melaporkan bahwa kuat tekan relatif beton yang ditambahkan serat *polypropylene* lebih tinggi dengan laju penurunan kuat tekan lebih kecil dibandingkan beton normal tanpa serat yang dipanaskan pada temperatur 200°C, 400°C dan 600°C selama enam jam dengan kuat tekan optimum diperoleh pada persentase 0,5%-vol serat. Pada *mortar* beton yang ditambahkan 0%; 0,1%; 0,2% dan 0,3%-vol serat *polypropylene* dan dipanaskan pada temperatur 100°C, 200°C, 400°C, 600°C dan 800°C selama satu jam, Karahan *et al.* (2020) melaporkan mortar dengan serat *polypropylene* menunjukkan perilaku yang lebih baik untuk kuat tekan sisa relatif pada temperatur hingga 400°C.

Menggunakan material yang sedikit berbeda, Mohammadhosseini *et al.* (2018) melaporkan bahwa beton dengan serat karpet *polypropylene* 0,5%-vol yang dipanaskan sampai temperatur 800°C dapat meningkatkan ketahanan bakar dan kuat tekan sisa pada temperatur tinggi secara signifikan serta menurunkan perilaku *spalling* yang *explosif* pada beton. Corpas *et al.* (2013) melaporkan bahwa beton normal tanpa penambahan serat *polypropylene* yang dipanaskan dengan temperatur sampai 650°C mengalami penurunan kuat tekan yang signifikan sampai 73%, namun dengan penambahan serat *polypropylene* sebesar 1%-vol mampu mencegah penurunan kuat tekan beton menjadi hanya 36% dibandingkan kuat tekan beton tanpa bakar.

Serrano *et al.* (2016) mengungkapkan beton yang ditambahkan 1% dan 2% serat *polypropylene* dan dipanaskan sampai temperatur 400°C selama satu jam dapat menghasilkan peningkatan kuat tekan yang signifikan dibandingkan dengan beton tanpa serat *polypropylene*. Serat *polypropylene* dapat memperlambat timbulnya retak dan ledakan beton.

Pada beton mutu tinggi, Çavdar (2013) meneliti mortar menggunakan serat *polymeric* yang terdiri dari *Copolymer Polypropylene/Polyethylene* (CPP), *Homopolymer Polypropylene* (HPP) dan *Aramid* (AR) yang dipanaskan di dalam oven untuk temperatur 100°C selama 24 jam, di dalam tungku pembakaran pada temperatur 450°C selama

130 menit, 650°C selama 160 menit, dan 850°C selama 190 menit dengan penambahan variasi serat 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9% dan 1,2% -volume.

Kinerja terbaik untuk kuat tekan ditunjukkan oleh serat *polypropylene* (HPP dan CPP) yang diperoleh pada persentase penggunaan serat yang berbeda di bawah temperatur tinggi, dibandingkan dengan serat *Aramid*. Penurunan kuat tekan terkecil terjadi pada temperatur 100°C-450°C baik untuk HPP maupun CPP. Pada temperatur 650°C dan 850°C kuat tekan turun secara cepat dibandingkan dengan kuat tekan pada suhu kamar untuk ketiga jenis serat yang digunakan akibat timbul retak dan ledakan di dalam mortar beton.

Bošnjak *et al.* (2019) melaporkan bahwa penambahan mikro serat *polypropylene* 1 kg/m³ yang dipanaskan sampai temperatur 800°C selama 3 jam dapat mencegah *spalling* pada beton mutu tinggi yang eksplosif dan meningkatkan ketahanan terhadap kebakaran tanpa mengurangi kuat tekan beton, serta menghasilkan jumlah retak yang lebih banyak. Petrus *et al.* (2018) melaporkan bahwa serat *polypropylene* dapat memperbaiki kuat lekat *interface* antara agregat dan pasta semen, ketahanan terhadap *spalling* serta kuat tekan sisa beton mutu tinggi pada temperatur tinggi secara efektif. Petrus *et al.* (2016) juga menyimpulkan bahwa penambahan serat *polypropylene* 0,5% - vol yang dipanaskan sampai temperatur 800°C selama 1 jam dapat meningkatkan kuat tekan sisa serta mengurangi *spalling* beton mutu tinggi pada temperatur tinggi.

Pada *self-compacting concrete*, penambahan serat *polypropylene* dengan dosis 0,05%-vol yang dibakar pada temperatur sampai 400°C mampu mengurangi ledakan struktur (*explosive spalling*) pada beton mutu tinggi. Hal ini disebabkan karena pelelehan serat *polypropylene* saat titik lelehnya pada 162°C menciptakan kanalisasi bagi uap air untuk mengalir keluar dari struktur beton (Alhasanat *et al.*, 2016).

Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton yang digunakan sebagai parameter disain dalam perencanaan struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang direncanakan, semakin tinggi pula mutu beton yang harus dipakai. Kuat tekan yang dapat dipikul oleh suatu penampang beton ditentukan dengan membagikan beban maksimum yang dipikul (*P*) terhadap luas penampang beton yang memikulnya (*A*). Benda uji standar yang digunakan dalam uji kuat tekan beton adalah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Kuat tekan yang dipakai adalah tegangan maksimum pada pembebanan sampai benda uji hancur.

Metode Penelitian

Parameter pengujian

Pada penelitian ini pembakaran benda uji beton mutu tinggi pada temperatur 400°C selama 5 jam, persentase penambahan serat *polypropylene* sebesar 0%, 0,2% dan 0,4% dari volume beton serta umur pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari merupakan parameter utama. Material yang digunakan adalah semen Portland tipe I, agregat batu pecah (*split*) dengan ukuran gradasi butiran 2-4,76 mm, 4,76-8 mm, 8-11 mm, 11-15,9 mm, pasir ukuran 0-2 mm, air, aditif mineral *silica fume*, bahan tambah kimia *superplasticizer* jenis sikament NN serta serat *polypropylene*.

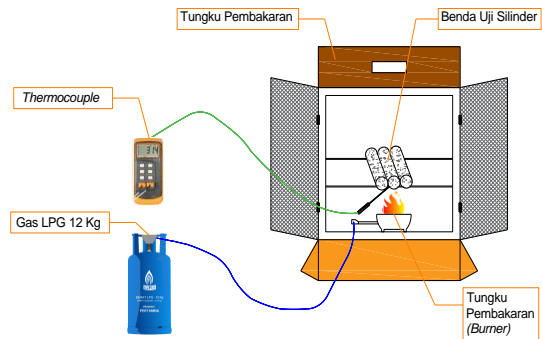
Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan secara coba-coba menggunakan metode perbandingan volume material, yang disesuaikan dengan berat jenis masing-masing material pembentuk beton. Kuat tekan beton mutu tinggi yang direncanakan adalah beton C 70/85, yaitu 70 MPa untuk benda uji silinder standar ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, atau 85 MPa untuk benda uji kubus 15×15×15 cm³ dengan FAS 0,3. *Silica fume* digunakan dengan dosis 8% dari berat semen dan *superplasticizer* sikament NN 4% dari berat semen serta serat *polypropylene*. Semen yang digunakan berjumlah 550 kg/m³, jumlah agregat diambil sebesar 70% dari berat volume beton mutu tinggi yaitu 2550 kg/m³.

Dalam penelitian ini dibuat 84 benda uji beton mutu tinggi berbentuk silinder standar dengan ukuran 15 x 30 cm, terdiri dari 42 buah benda uji yang dibakar dan 42 buah benda uji tidak dibakar sebagai pembanding. Benda uji yang tidak dibakar dan pasca bakar menggunakan 0%, 0,2%, 0,4% serat *polypropylene* dari volume beton dengan jumlah benda uji masing-masing tujuh buah untuk setiap perlakuan. Untuk mendapatkan pengaruh variasi persentase penambahan serat *polypropylene* dan umur pengujian terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar digunakan analisis varian. Hubungan antar variabel penelitian diperoleh dengan melakukan analisis regresi.

Pembakaran benda uji

Sebelum pembakaran, benda uji dikeluarkan dari media perawatan goni basah dan ditempatkan di dalam laboratorium selama 24 jam agar air permukaannya kering. Benda uji dibakar menggunakan tungku (*burner*) dengan suhu 400°C selama 5 jam. Tungku yang digunakan diatur sedemikian rupa agar api dapat stabil dan merata mengenai benda uji silinder sesuai dengan temperatur dan waktu yang direncanakan, serta

sesuai dengan kondisi kebakaran sesungguhnya di lapangan. Bahan bakar yang digunakan adalah gas. Suhu pembakaran dikontrol setiap 10 menit menggunakan *thermocouple*. Alat ini dapat mengukur suhu hingga 750°C dengan pembacaan secara digital. *Set up* proses pembakaran benda uji diperlihatkan pada Gambar 2.

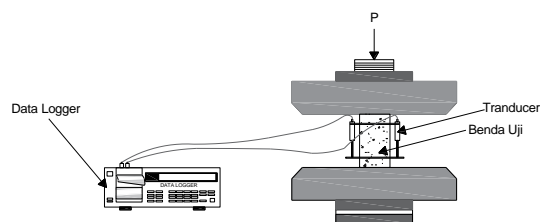


Gambar 2 Skema pembakaran benda uji silinder beton

Pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur benda uji 7 dan 28 hari menggunakan mesin pembebanan tekan (*compressive loading machine*) merek Ton Industrie buatan Mannheim Jerman berkapasitas 400 ton. Untuk benda uji pasca bakar, pengujian dilakukan 24 jam setelah pembakaran. Sebelum pengujian, benda uji diletakkan secara sentris pada mesin uji tekan, kemudian mesin dijalankan dengan memberikan beban arah vertikal atau sejajar tinggi silinder dengan penambahan beban yang konstan dengan rentang antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik sampai benda uji hancur (SNI 03-1974-1990).

Beban maksimum yang terjadi selama pengujian adalah nilai kuat tekan benda uji. Pengukuran regangan aksial tekan pada setiap penambahan beban digunakan *transducer* yang dipasang pada *frame gage* guna mengukur perpindahan benda uji. Besarnya deformasi yang timbul dibaca dengan data *logger* TDS-302 dan dicetak pada kertas *printing paper* P-60 untuk setiap interval kenaikan beban 2 ton hingga benda uji hancur. Pengujian kuat tekan silinder beton diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengujian kuat tekan

Hasil dan Pembahasan

Kuat tekan beton mutu tinggi

Hasil perhitungan kuat tekan beton mutu tinggi untuk tiap persentase penambahan serat *polypropylene* dan umur pengujian untuk benda uji beton tanpa bakar dan pasca bakar diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Kuat tekan rata-rata beton mutu tinggi tanpa bakar

Umur benda uji (hari)	Kuat tekan rata-rata untuk tiap persentase PPF (kg/cm ²)		
	0%	0,2%	0,4%
7	503,64	349,23	333,87
28	664,51	457,56	392,89

Tabel 2. Kuat tekan rata-rata beton mutu tinggi pasca bakar

Umur benda uji (hari)	Kuat tekan rata-rata untuk tiap persentase PPF (kg/cm ²)		
	0%	0,2%	0,4%
7	499,59	468,88	336,30
28	538,40	510,91	394,50

Karakteristik beton mutu tinggi pasca bakar

Beton mutu tinggi yang telah dibakar pada temperatur 400°C selama 5 jam mengalami perubahan warna menjadi kehitaman. Benda uji juga mengalami retak permukaan yang cenderung membesar serta terjadi pengelupasan *capping*. Akibat perbedaan angka muai pada agregat dan pasta semen, terjadi penyusutan beton pada suhu tinggi, di mana pasta semen akan menyusut sedangkan agregat akan mengembang. Mekanisme ini membangkitkan timbulnya retak pada beton yang berkontribusi terhadap penurunan kuat tekan beton.

Benda uji beton yang dibakar akan mengalami kehilangan berat. Besarnya persentase kehilangan berat beton rata-rata untuk tiap penambahan serat *polypropylene* dan umur benda uji diperlihatkan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa penambahan serat *polypropylene* dan umur benda uji berpengaruh terhadap berat beton. Semakin tinggi persentase serat *polypropylene* dan semakin muda umur beton kehilangan berat yang timbul lebih besar. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Karahan *et al.* (2020) yang menyimpulkan bahwa berat benda uji berkurang secara signifikan seiring dengan peningkatan temperatur. Penyusutan pasta semen terjadi lebih besar karena serat *polypropylene* yang tersebar merata di dalam beton akan terbakar dan meleleh

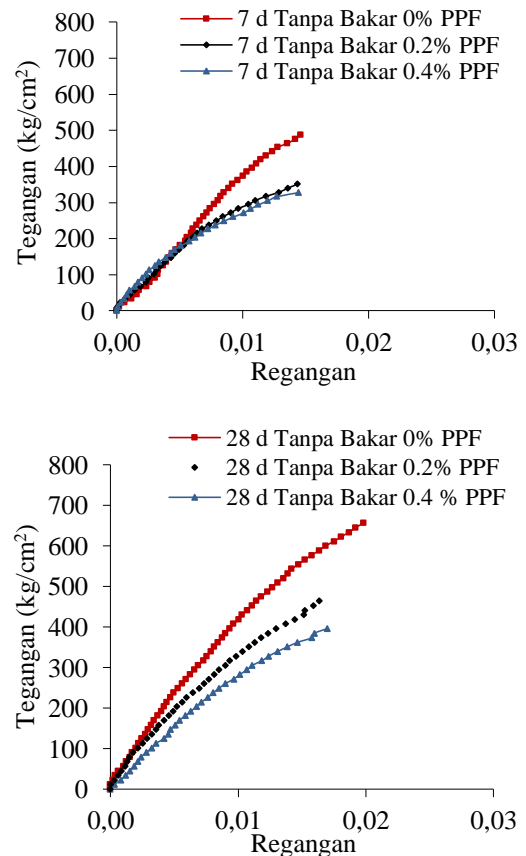
yang dapat menyebabkan berkurangnya volume beton.

Tabel 3. Persentase kehilangan berat beton mutu tinggi rata-rata

Umur Benda Uji (Hari)	Kehilangan berat rata-rata untuk tiap persentase PPF (%)		
	0%	0,2%	0,4%
7	4,47	6,00	8,60
28	3,24	5,23	6,85

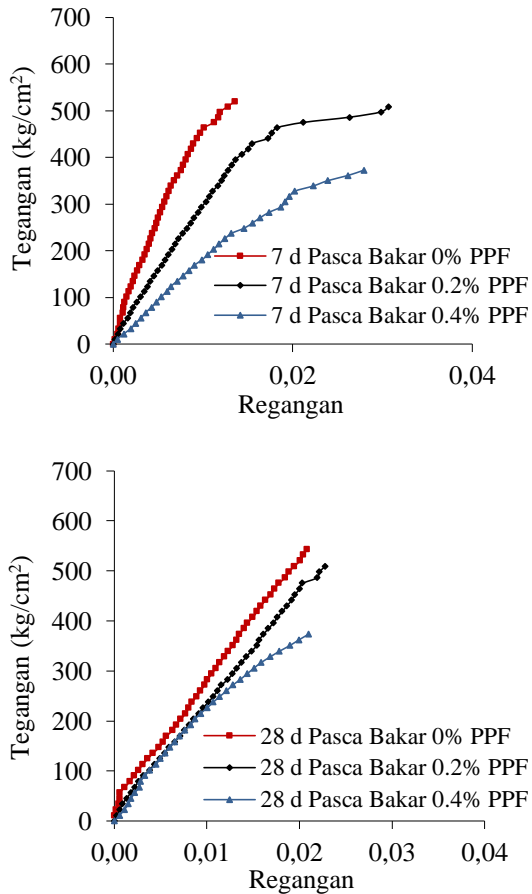
Hubungan tegangan dan regangan beton mutu tinggi tanpa bakar dan pasca bakar

Hubungan tegangan dan regangan beton mutu tinggi tanpa bakar dan pasca bakar pada tiap persentase penambahan serat *polypropylene* yang diuji pada umur 7 dan 28 hari diperlihatkan pada Gambar 4 dan 5. Dari gambar dapat dilihat bahwa penambahan serat *polypropylene* menurunkan kuat tekan beton, di mana perilakunya sama untuk benda uji yang tidak dibakar dan pasca bakar, yaitu penurunan kuat tekan terjadi semakin besar seiring dengan semakin banyaknya jumlah serat *polypropylene* yang digunakan.



Gambar 4. Hubungan tegangan regangan beton mutu tinggi tanpa bakar berdasarkan variasi persentase serat *polypropylene*

Namun demikian, penambahan serat *polypropylene* dapat meningkatkan daktilitas material beton mutu tinggi yang ditunjukkan oleh *slope* kurva tegangan-regangan yang semakin landai. Hal ini dapat mencegah kehancuran beton yang tiba-tiba. Retak yang timbul pada beton mutu tinggi yang ditambahkan serat *polypropylene* lebih banyak dan merata. Karakteristik mekanis yang baik diperoleh pada penambahan serat *polypropylene* 0,2%-vol, di mana beban dan regangan beton yang timbul masih relatif tinggi.

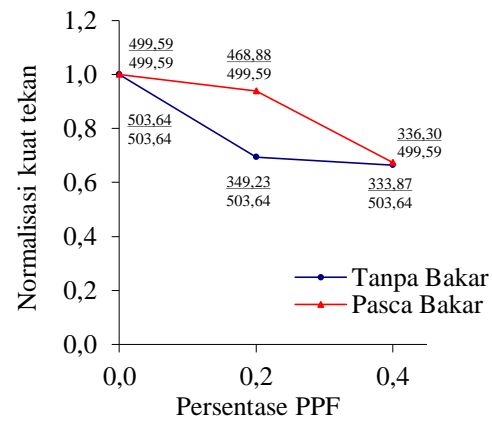


Gambar 5. Hubungan tegangan regangan beton mutu tinggi pasca bakar berdasarkan variasi persentase serat *polypropylene*

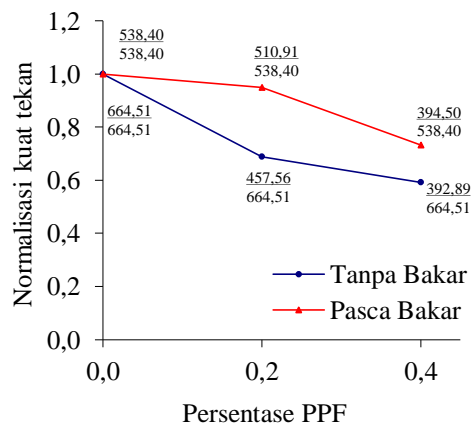
Analisis kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan serat *polypropylene*

Penggunaan serat *polypropylene* pada beton menyebabkan penurunan kuat tekan. Kuat tekan beton semakin menurun dengan semakin banyaknya dosis penggunaan serat *polypropylene*. Pada beton mutu tinggi tanpa bakar untuk umur pengujian 28 hari, penambahan serat *polypropylene* 0,2%-vol menurunkan kuat tekan sebesar 31,14 % dan pada penambahan serat *polypropylene* 0,4%-vol terjadi penurunan sebesar 40,88 % dibandingkan kuat tekan beton mutu tinggi tanpa penambahan serat *polypropylene*.

Kuat tekan beton tanpa bakar yang diperoleh sesuai dengan penelitian beton mutu tinggi oleh Drzymala *et al.* (2017), Aulia dan Rinaldi (2015) yang menghasilkan penurunan kuat tekan pada beton mutu tinggi yang ditambahkan serat *polypropylene*. Demikian juga pada beton mutu sedang (beton normal) sebagaimana yang dilaporkan oleh (Richardson, 2006) yang mengalami penurunan sebesar 11,40%, serta Karahan *et al.* (2020) yang menyimpulkan bahwa kuat tekan mortar dengan FAS 0,5 yang ditambahkan serat *polypropylene* 0,1; 0,2 dan 0,3%-vol berkurang 8,66%–12,36% dibandingkan mortar tanpa menggunakan serat *polypropylene*. Berat jenis dan densitas serat *polypropylene* yang lebih rendah dibandingkan dengan pasta semen menyebabkan timbulnya *defect area* di dalam matrik beton sebagai penyebab penurunan kuat tekan beton.



(a) Umur 7 hari



(b) Umur 28 Hari

Gambar 6. Normalisasi penurunan kuat tekan untuk setiap penambahan serat *polypropylene* pada beton mutu tinggi tanpa bakar dan pasca bakar

Namun pada beton mutu tinggi pasca bakar, penurunan kuat tekan terjadi lebih kecil dengan

penambahan serat *polypropylene*, yaitu 5,11% pada penambahan serat *polypropylene* 0,2%-vol dan 26,73% pada penggunaan serat *polypropylene* 0,4%-vol sebagaimana terlihat pada Gambar 6. Kanalisasi yang terbentuk akibat pelelehan serat *polypropylene* pada temperatur tinggi berfungsi sebagai media untuk mengeluarkan uap air dan gas yang terperangkap di dalam matrik beton untuk mencegah peledakan struktur (*spalling*). Bila dibandingkan dengan beton tanpa bakar, persentase peningkatan/penurunan kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar diberikan pada Tabel 4. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa untuk umur 7 hari kuat tekan beton mutu tinggi tanpa penggunaan serat *polypropylene* mengalami penurunan sebesar 0,81% sedangkan dengan penambahan 0,2%-vol maupun 0,4%-vol serat *polypropylene* kuat tekan meningkat, dengan peningkatan terbesar terjadi pada penambahan 0,2% serat *polypropylene* yaitu sebesar 25,52%.

Hal yang sama juga terjadi untuk umur 28 hari, kuat tekan beton mutu tinggi tanpa penggunaan serat *polypropylene* mengalami penurunan sebesar 23,42 %. Sebaliknya, kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar meningkat secara signifikan pada penambahan 0,2%-vol serat *polypropylene* yaitu sebesar 10,44% sedangkan pada penambahan 0,4%-vol terjadi peningkatan sebesar 0,41%. Hal ini menggambarkan ketahanan yang lebih baik terhadap suhu tinggi pada beton mutu tinggi yang ditambahkan dengan 0,2%-vol serat *polypropylene*.

Pengaruh variasi penambahan serat *polypropylene* dan umur pengujian terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa penggunaan serat *polypropylene* pada beton mutu tinggi pasca bakar menghasilkan peningkatan kuat tekan optimum pada persentase 0,2% dari volume beton. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan serat *polypropylene* pada variasi umur pengujian terhadap kuat tekan beton mutu tinggi yang dibakar pada suhu 400°C selama 5 jam dilakukan analisis varian menggunakan metode klasifikasi dua arah dengan model efek tetap yang hasilnya diberikan dalam Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa F_0 hitung lebih besar dari F_0 tabel, hal ini membuktikan bahwa persentase penambahan serat *polypropylene* dan umur pengujian mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar. Sebaliknya, interaksi antara kedua variabel tidak berpengaruh nyata terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar. Untuk mendapatkan hubungan antara variasi persentase penambahan serat *polypropylene* dengan variasi umur pengujian dilakukan dengan analisis regresi. Nilai koefisien determinan tertinggi (*R-squared*) diperoleh dengan menggunakan regresi linear berganda sebesar 0,863 dengan persamaan regresi $Y = 572,622 + 2,387 X_1 - 622,472 X_2$; di mana X_1 = variasi umur pengujian dan X_2 = variasi persentase serat *polypropylene*.

Tabel 4. Persentase penurunan/peningkatan kuat tekan rata-rata beton pasca bakar terhadap beton tanpa bakar

Umur (hari)	Persentase PPF (%)	Kuat tekan (kg/cm ²)		Penurunan / peningkatan kuat tekan beton pasca bakar terhadap beton tanpa bakar (%)
		Tanpa bakar	Pasca bakar	
7	0	503,64	499,59	-0,81
	0,2	349,23	468,88	25,52
	0,4	333,87	336,3	0,72
28	0	664,51	538,4	-23,42
	0,2	457,56	510,91	10,44
	0,4	392,89	394,5	0,41

Tabel 5. Pengaruh variasi persentase penambahan serat *polypropylene* dan umur pengujian terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pasca bakar

Sumber varian	Jumlah kuadrat	Derajat kebebasan	Rata-rata kuadrat	F ₀ hitung	F ₀ tabel
Umur pengujian	17584,93	1	17584,93	21,56	4,26
Persentase serat <i>polypropylene</i>	108492,22	1	108492,22	132,99	4,26
Interaksi	457,46	1	457,46	0,56	4,26
Error	19579,47	24	815,81		
Total	146114,08	27			

Kesimpulan

Beton mutu tinggi yang ditambahkan serat *polypropylene* yang dibakar pada temperatur 400°C selama 5 jam mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan beton mutu tinggi tanpa bakar baik untuk umur pengujian 7 dan 28 hari.

Walaupun penggunaan serat *polypropylene* pada beton mutu tinggi dapat menurunkan kuat tekan dibandingkan beton mutu tinggi normal tanpa penambahan serat *polypropylene* baik untuk kondisi tanpa bakar dan pasca bakar diakibatkan terbentuknya daerah kerusakan (*defect area*) pada matrik beton akibat berat jenis dan densitas serat *polypropylene* yang lebih rendah dibandingkan dengan pasta semen, namun beton mutu tinggi tanpa penggunaan serat *polypropylene* mengalami penurunan kuat tekan pada kondisi pasca bakar dibandingkan dengan beton tanpa bakar.

Selanjutnya, penurunan kuat tekan beton dengan penambahan serat *polypropylene* pada beton mutu tinggi pasca bakar terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa bakar. Disimpulkan bahwa penambahan serat *polypropylene* pada beton mutu tinggi dapat mencegah degradasi kuat tekan yang cepat pada temperatur tinggi. Kanalisasi yang terbentuk akibat pelelehan serat *polypropylene* di dalam matrik beton dapat berfungsi sebagai media untuk mengeluarkan uap air dan gas yang terperangkap sehingga mencegah terjadinya peledakan struktur (*explosive spalling*) akibat tegangan thermal yang tinggi. Persentase serat *polypropylene* yang menghasilkan ketahanan terhadap suhu tinggi optimum adalah 0,2%-vol, yang menghasilkan penurunan kuat tekan yang tidak besar namun memiliki daktilitas material yang lebih baik.

Daftar Pustaka

Alhasanah, M. B., Al Qadi, A. N., Al Khashman, O. A., & Dahamsheh, A (2016). Scanning electron microscopic evaluation of self-compacting concrete spalling at elevated temperatures. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 119-127.

Amancio, F. A., de Carvalho Rafael, M. F., de Oliveira Dias, A. R., & Cabral, A. E. B. (2018). Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures. *Procedia Structural Integrity*, 11, 91-98.

American Concrete Institute 211.4R-93 (1998). *Guide for Selecting Proportions for High-Strength*

Concrete with Portland Cement and Fly Ash. ACI Committee 211, Michigan, United States.

Atashafrazah, M., Bingöl, A. F., & Caf, M. (2017). The influence of elevated temperatures on the mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 3 (3), 116-122.

Aulia, T. B (2004). Ein Beitrag Zur Bruchmechanik Von Unbewehrtem Hochfesten Beton, *PhD Thesis*, Leipzig, Jerman: University of Leipzig.

Aulia, T. B., Rinaldi (2015). Bending capacity analysis of high-strength reinforced concrete beams using environmentally friendly synthetic fiber composites. *Procedia Engineering*, 125, 1121-1128.

Bingöl, A. F., & Atashafrazah, M. (2015). Compressive strength of polypropylene fiber concrete under the effects of high temperatures. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 7-11.

Bošnjak, J., Sharma, A., & Grauf, K. (2019). Mechanical properties of concrete with steel and polypropylene fibres at elevated temperatures. *Fibers*, 7(2), 9.

Çavdar, A. (2013). The effects of high temperature on mechanical properties of cementitious composites reinforced with polymeric fibers. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 78-88.

Corpas F. A., González, B., Gómez, L., Rosa, F., Figueroa, J. M (2013). *The Fire Resistance of Concrete with Polypropylene Fibers*. Paper presented at MATEC Web of Conferences, 6, 02005, Concrete Spalling due to Fire Exposure: Proceedings of the 3rd International Workshop Paris, France.

Drzymala, T., Jackiewicz-Rek, W., Tomaszewski, M., Kuś, A., Gałaj, J., Šukys, R (2017). Effects of high temperature on the properties of high performance concrete (HPC). *Procedia Engineering*, 172, 256 – 263.

Hamed, S., & Saberi, Y. (2014). Study on the effect of polypropylene fibers on strength and heat resistance of concrete. *World Applied Sciences Journal*, 31(5), 767-770.

Karahan, O., Durak, U., Ilkentapar, S., Atabey, I. I., Atiş, C. D (2020). Resistance of polypropylene fibered mortar to elevated temperature under

different cooling regimes. *Journal of Construction*, 18(2), pp. 386-397.

Mohammadhosseini, H., Lim, N. H. A. S., Mohd Sam, A. R., & Samadi, M. (2018). Effects of Elevated Temperatures on Residual Properties of Concrete Reinforced with Waste Polypropylene Carpet Fibres. *Arab J Sci Eng*, 43, DOI 10.1007/s13369-017-2681-1, pp. 1673-1686.

Neville, A. M (1999). *Properties of concrete* (4th Eds.). London: Longman.

Petrus, C., Azhar, H. A., Dee, G. L., Ismail, R., & Alisibramulisi, A. (2016). Compressive strength of concrete with fibres at elevated temperature. *Jurnal Teknologi*, 78(5-4).

Petrus, C., Azhar, H. A., Goh, L. D., Alisibramulisi, A., & Abu Bakar, I. A (2018). *The Mechanical Properties of HFRC Under Elevated Temperature Exposure*. Paper presented at IOP

Conf. Series: Materials Science and Engineering 429, 012030, International Conference on Advanced Manufacturing and Industry Applications, Sarawak, Malaysia.

Richardson, A. E (2006). Compressive strength of concrete with polypropylene fiber additions. *Structural Survey*, March 2006.

Serrano, R., Cobo, A., Prieto, M. I., & de las Nieves González, M. (2016). Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers. *Construction and Building Materials*, 122, 302-309.

Shihada, S. (2011). Effect of polypropylene fibers on concrete fire resistance. *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(2), 259-264.

SNI 03-1974-1990 (1990). *Metode pengujian kuat tekan beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.