

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton

Irma Aswani Ahmad

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.
Kampus UNM Parangtambung. JL.Daeng Tata Makassar, E-mail: irmaaswani_lakampi@yahoo.com

Nur Anny Suryaningsih Taufieq

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.
Kampus UNM Parangtambung. JL.Daeng Tata Makassar, E-mail: nuranny_taufieq@yahoo.com

Abdul Hamid Aras

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.
Kampus UNM Parangtambung. JL.Daeng Tata Makassar, E-mail: ahamid_aras@yahoo.com

Abstrak

Pemanasan yang dialami beton akibat terbakar akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat beton. Atas dasar hal tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gambaran kuat tekan setelah terbakar dan model hubungan antara temperatur dan kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm. Pemanasan dilakukan dalam oven pada temperatur 200°C - 600°C dengan interval kenaikan 50°C. Analisis data dilakukan dengan analisis statistik deskriptif dan analisis regresi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata menurun dengan adanya kenaikan temperatur. Beton yang telah dipanasi pada temperatur 200°C, 400°C dan 600°C, kuat tekan rata-ratanya berturut-turut sebesar 85,83%, 58,40% dan 35,08% dari beton normal. Model regresi yang dihasilkan jika berbentuk regresi linier persamaannya adalah $y = -0,2802x + 248,79$ dengan nilai $R^2 = 0,8539$. Sedangkan model regresi berbentuk regresi polinomial derajat 2 persamaannya adalah $y = 10^{-4}x^2 - 0,3402x + 255,65$ dengan nilai $R^2 = 0,8576$.

Kata-kata Kunci: Temperatur, kuat tekan, beton.

Abstract

Heating that occurs to concrete due to fire, changes the characteristic of concrete. Thus, this research is done to know the compressive strength of burnt concrete and relation between temperature and compression strength. The specimens shape was cubic, counted 100, of 15 x 15 x 15 cm³. Heating is made in oven at temperature of 200°C - 600°C with 50°C increased interval. Analysis of data was made by descriptive analysis and regression analysis. The result showed that the average of compressive strength decreased while the temperature increased. The residual of compressive strength at temperature of 200°C, 400°C and 600°C were consecutively 85,83%, 58,40% and 35,08% compared to normal concrete. The regression model is $y = -0.2802x + 248.79$ and $R^2 = 0.8539$ of linear regression. Meanwhile, polynomial regression is $y = 10^{-4}x^2 - 0.3402x + 255.65$ with $R^2 = 0.8576$.

Keyword: Temperature, compressive strength, concrete.

1. Pendahuluan

Salah satu tantangan yang dihadapi para ahli struktur (teknik sipil) adalah bagaimana menaksir: a) temperatur tertinggi yang pernah dialami elemen bangunan pada saat kebakaran terjadi, b) kekuatan sisa bangunan pasca kebakaran, dan c) teknik perkuatan bangunan sesuai keperluan sehingga fungsi bangunan dapat dikembalikan seperti sebelum kebakaran.

Untuk menjawab secara ilmiah tantangan tersebut sekaligus membantu masyarakat dalam menangani

masalah ini secara tepat, telah dikembangkan berbagai metode penaksiran, baik secara non-destruktif maupun secara destruktif. Metode ini digunakan untuk dapat memperkirakan secara akurat temperatur tertinggi yang pernah dialami bangunan, kekuatan sisa struktur bangunan pasca kebakaran, dan teknik perkuatan bangunannya. Berbagai masalah teknik yang menyangkut penaksiran kekuatan sisa dan teknik perkuatan elemen struktur tersebut hasilnya dimanfaatkan oleh pihak lain yang terkait, seperti pemilik bangunan, pihak kepolisian, pengacara hukum, dan perusahaan asuransi.

Sampai saat ini penelitian tentang pengaruh temperatur pada beton masih merupakan topik yang hangat diteliti. Pengaruh temperatur diukur, baik sifat fisik maupun sifat mekanik, dan dianalisis dengan menggunakan analisis statistik deskriptif. Keinginan para peneliti untuk mengetahui secara akurat bentuk, gambaran, dan seberapa besar pengaruh temperatur terhadap beton merupakan hal yang masih ingin diketahui sampai saat ini. Para peneliti mulai meneliti dengan membuat benda uji beton yang kemudian dibakar langsung atau dibakar dalam oven atau tungku. Setelah itu, dilakukan pengujian pada benda uji berupa kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas. Semua penelitian yang dilakukan merupakan usaha untuk menaksir kekuatan sisa suatu bangunan yang telah terbakar. Namun sejauh ini penelitian penaksiran tersebut masih belum menemukan landasan awal yang kuat.

Secara garis besar masalah yang diteliti dalam penelitian ini adalah bagaimana perbandingan nilai kekuatan tekan sebelum dan setelah terbakar. Hasil ini diharapkan dapat memberikan dasar bagi penanggulangan bangunan yang telah terbakar. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gambaran kuat tekan beton setelah terbakar, pengaruh temperatur pada kuat tekan beton, model hubungan antara temperatur dan kuat tekan beton setelah terbakar. Temperatur pemanasan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah 200°C - 600°C dengan interval kenaikan 50°C.

Metode analisis yang digunakan adalah analisis statistik deskriptif, menggambarkan bagaimana kuat tekan beton setelah pemanasan. Sedangkan untuk mengetahui model hubungan temperatur dan kuat tekan beton digunakan analisis regresi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian beton

Beton terdiri atas agregat, semen dan air yang dicampur bersama-sama dalam keadaan plastis dan mudah untuk dikerjakan. Karena sifat ini menyebabkan beton mudah untuk dibentuk sesuai dengan keinginan pengguna. Sesaat setelah pencampuran, pada adukan terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan dan penambahan kekuatan.

Mulyono (2006) mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Sedang Sagel dkk. (1994) menguraikan bahwa beton adalah suatu komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan pembentuknya serta cara pengerjaannya. Semen mempengaruhi kecepatan pengerasan beton. Selanjutnya kadar lumpur,

kebersihan, dan gradasi agregat mempengaruhi kekuatan pengerjaan yang mencakup cara penuangan, pemadatan, dan perawatan, yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan beton.

Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, sedang gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan (Murdock dan Brook, 2003).

Pada saat keras, beton diharapkan mampu memikul beban sehingga sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen dan derajat kekompakannya. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah perbandingan berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, dan perawatan (*curing*).

2.2 Sifat beton pascabakar

Menurut Sumardi (2000) kebakaran pada hakekatnya merupakan reaksi kimia dari *combustible material* dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas. Panas hasil pembakaran ini diteruskan ke massa beton/mortar dengan dua macam mekanisme yakni pertama secara radiasi yaitu pancaran panas diterima oleh permukaan beton sehingga permukaan beton menjadi panas. Pancaran panas akan sangat potensial, jika suhu sumber panas relatif tinggi. Kedua secara konveksi yaitu udara panas yang bertiup/bersinggungan dengan permukaan beton/mortar sehingga beton menjadi panas. Bila tiupan angin semakin kencang, maka panas yang dipindahkan dengan cara konveksi semakin banyak.

Tjokrodimuljo (2000) mengatakan bahwa beton pada dasarnya tidak diharapkan mampu menahan panas sampai di atas 250°C. Akibat panas, beton akan mengalami retak, terkelupas (*spalling*), dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya.

Selain hal tersebut di atas, panas juga menyebabkan beton berubah warna. Bila beton dipanasi sampai suhu sedikit di atas 300°C, beton akan berubah warna menjadi merah muda. Jika di atas 600°C, akan menjadi abu-abu agak hijau dan jika sampai di atas 900°C menjadi abu-abu. Namun jika sampai di atas 1200°C akan berubah menjadi kuning. Dengan demikian, secara kasar dapat diperkirakan berapa suhu tertinggi selama kebakaran berlangsung berdasarkan warna permukaan beton pada pemeriksaan pertama.

Selanjutnya, Ahmad (2001) membahas kelayakan balok beton bertulang pascabakar secara analisis dan eksperimen. Penelitian dilakukan terhadap lima benda uji berbentuk balok beton bertulang. Empat balok dibakar di dalam tungku pada temperatur 200°C dan 400°C selama ± 3 jam dan satu balok lain yang tidak dibakar sebagai pembanding. Hubungan tegangan-regangan memperlihatkan perubahan kemiringan kurva atau dengan kata lain terjadi penurunan kekakuan sejalan dengan kenaikan temperatur dan diikuti dengan penambahan regangan maksimum.

Adapun hasil penelitian Ahmad dan Taufieq (2006) menyatakan bahwa terjadi penurunan kekuatan pada bangunan beton yang telah dioven. Pada penelitian ini didapatkan kuat tekan pada beton yang tidak dioven sebesar 240,0624 kg/cm². Kekuatan sisa beton yang dioven pada temperatur 200°C dan 400°C adalah 88,89 % dan 70,15 % dari kekuatan beton normal yang tidak dioven.

Rahmah (2000) menggunakan silinder hasil *core case* berdiameter 5 cm dari suatu model balok beton bertulang yang dibakar pada temperatur 200°C, 400°C, 600°C, dan 800°C. Hasil dari penelitian ini adalah terjadi perubahan kuat tekan tiap sentimeter kedalaman *core case* beton sebesar 0,4%; sedangkan perubahan modulus elastisitas tiap sentimeternya berkisar 1,2% - 2,2%.

Menurut Zacob dan Anggraini (2005), perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan membawa dampak pada struktur beton. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks. Hal ini akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton tersebut. Pada beton normal mutu tinggi dengan suhu 1200°C terjadi penurunan kekuatan tekan sampai tinggal 40% dari kekuatan awal. Sedangkan pada beton mutu tinggi dengan Silikafume dan Superplasticizer akan mengalami perubahan yang cukup berarti pada suhu tinggi dimana kekuatannya tinggal 35%.

Penelitian yang dilakukan oleh Sirait (2009), menggunakan balok beton bertulang penampang empat persegi ukuran 15x25x320, terletak pada tumpuan sederhana, bertulangan lemah. Waktu pembakaran mulai dari 30, 60, 90 dan 120 menit dengan balok yang berbeda pada suhu 500°C sejak awal hingga akhir pembakaran dan tanpa pembebanan. Pembebanan pada uji lentur menunjukkan penurunan daya pikul sebesar 26%, demikian juga pada uji kuat tekan beton menunjukkan penurunan kuat tekan beton sebesar 65% dari kekuatan awal.

2.3 Kuat tekan beton

Dalam SK SNI M - 14 -1989 - E dijelaskan pengertian kuat tekan beton yakni besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Selanjutnya Mulyono (2006) mengemukakan bahwa kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Kekuatan tekan karakteristik σ'_{bk} dihitung $\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,64$ dengan taraf signifikan 5%. Adapun faktor lain yang dapat mempengaruhi mutu kekuatan beton seperti yang dikemukakan oleh Mulyono (2006) yaitu: (1) proporsi bahan penyusun, (2) metode pencampuran, (3) perawatan, dan (4) keadaan pada saat pengecoran. Dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I. - 2 (1971) dijelaskan kelas dan mutu beton yang disajikan pada **Tabel 1**.

Beton Kelas I adalah beton untuk pekerjaan- non-strukturil. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu beton Kelas I dinyatakan dengan Bo.

Beton Kelas II adalah beton untuk pekerjaan strukturil secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan

Tabel 1. Kelas dan mutu beton

Kelas I	Mutu	σ'_{bk} (kg/cm ²)	σ'_{bk} dgn s=46 (kg/cm ²)	Tujuan	Pengawasan terhadap	
					Mutu Agregat	Kekuatan Tekan
I	Bo	-	-	Non-strukturil	Ringan	Tanpa
	B1	-	-	strukturil	Sedang	Tanpa
II	K125	125	200	strukturil	Ketat	Kontinyu
	K175	175	250	strukturil	Ketat	Kontinyu
III	K225	225	300	strukturil	Ketat	Kontinyu
	K>225	>225	>300	Struktur	Ketat	Kontinyu

Sumber: Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I - 2

tenaga ahli. Beton Kelas II di bagi dalam mutu standar: B1, K125, K175, dan K225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan sedang terhadap mutu bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu K125, K175, dan K225, pengawasan mutu terdiri dari pengawasan yang ketat terhadap mutu bahan dengan mengharuskan pemeriksaan kuat tekan beton secara kontinyu.

Beton Kelas III adalah beton untuk pekerjaan-struktural di mana di pakai mutu beton dengan kekuatan tekan karakteristik yang lebih tinggi dari 225 kg/cm². Pelaksananya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap yang dilayani oleh tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinyu. Mutu beton kelas III dinyatakan dengan huruf K dengan angka di belakangnya yang menyatakan kekuatan karakteristik beton yang bersangkutan.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar dan Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Politeknik Negeri Makassar.

Benda uji yang digunakan adalah kubus beton dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Jumlah total kubus adalah 100 buah, masing-masing 10 buah untuk kubus normal (tidak dibakar) dan untuk yang dibakar dalam oven pada temperatur 200° C - 600°C dengan interval kenaikan 50°C. Campuran adukan beton yang digunakan adalah campuran dengan perbandingan 1 semen portland : 2 pasir : 3 batu pecah dengan nilai *slump* 8 cm - 10 cm. Pasir dan kerikil dicuci terlebih dahulu. Seluruh benda uji diuji tekan sehingga diperoleh pasangan data yaitu temperatur dan kuat tekan beton.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari semen tipe I, agregat halus Sungguminasa Gowa, agregat kasar yang berasal dari batu pecah Bili-Bili dan air. Adapun alat yang digunakan adalah *mould* untuk mal pembuatan benda uji; *mixer concrete*, untuk mencampur adukan beton; *slump test*, digunakan untuk mengukur kelecakan dari beton segar; dan mesin uji tekan, digunakan untuk uji tekan benda uji.

Bahan yang digunakan untuk penelitian harus disiapkan terlebih dahulu, ditentukan kualitas masing-masing bahan susunnya, serta dibuatkan cetakan untuk tempat benda uji yang telah direncanakan. Alat yang digunakan pada penelitian ini sebelumnya telah diperiksa kondisi dan kemampuannya serta telah dikalibrasi terlebih dahulu. Benda uji kubus dibuat

dengan cara memasukkan beton segar dari molen ke dalam cetakan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm yang telah diolesi minyak pelumas. Pengisian ini dilakukan secara bertahap, yaitu tiap sepertiga bagian dilakukan penumbukan dengan tongkat baja sebanyak ± 25 kali. Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian dilakukan perawatan dengan direndam di dalam bak air selama 28 hari. Selanjutnya benda uji disimpan pada suhu ruang selama ± 90 hari baru dimasukkan ke dalam oven. Benda uji kemudian dibakar selama tiga jam pada temperatur 200°C - 600°C dengan interval kenaikan 50°C, masing-masing sebanyak 10 buah. Sisa benda uji sebanyak 10 buah tidak dibakar, tetapi digunakan sebagai benda uji pengontrol.

Data diperoleh melalui pengujian tekan di laboratorium dengan menggunakan mesin uji tekan untuk semua benda uji. Hasilnya berupa gaya (P) yang terjadi pada saat benda uji hancur. Berdasarkan data gaya tekan dan luas penampang kubus, maka kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$f = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana :

f = Kuat tekan (kg/cm²)

P = Gaya tekan (kg)

A = Luas penampang kubus (cm²)

Analisis data dilakukan adalah analisis statistik deskriptif, digunakan untuk mengetahui rata-rata kuat tekan beton sebelum dan setelah di oven. Selanjutnya dilakukan analisis regresi untuk mendapatkan model hubungan hubungan temperatur dan kuat tekan beton.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kuat tekan beton

Data hasil penelitian yakni nilai Pmax, dibagi dengan luas permukaan benda uji yang ditekan akan menghasilkan kuat tekan beton ($f = P/A$) yang disajikan pada **Tabel 2**.

Secara umum terlihat bahwa kuat tekan beton menurun dengan adanya kenaikan temperatur. Kuat tekan beton normal berkisar antara 229,58 kg/cm² – 266,19 kg/cm², setelah dibakar pada temperatur 200°C kuat tekannya menurun berkisar antara 183,22 kg/cm² – 242,53 kg/cm². Kuat tekan beton pada temperatur 250°C berkisar antara 131,15 kg/cm² – 209,96 kg/cm², sedangkan pada temperatur 300°C, 350°C, 400°C berkisar antara 139,42 kg/cm² – 160,61 kg/cm². Penurunan yang cukup signifikan kembali terjadi pada temperatur 450°C, kuat tekannya menjadi berkisar antara 120,40 kg/cm² – 138,24 kg/cm², sedangkan pada temperatur 500°C yakni berkisar antara 76,96 kg/cm².

$\text{cm}^2 - 114,79 \text{ kg/cm}^2$. Kuat tekan beton yang dibakar pada temperatur 550°C berkisar antara $78,89 \text{ kg/cm}^2 - 107,82 \text{ kg/cm}^2$, dan beton yang dibakar pada temperatur 600°C kuat tekannya berkisar antara $62,11 \text{ kg/cm}^2 - 105,82 \text{ kg/cm}^2$. Jika data kuat tekan beton pada **Tabel 2** dirata-ratakan maka akan terlihat seperti pada **Gambar 1**.

Kuat tekan rata-rata beton normal sebesar $245,58 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan pada temperatur 200°C kekuatan beton menjadi $85,83\%$ dari kuat tekan beton normal. Pada temperatur 250°C , 300°C , 350°C dan 400°C berturut-turut turun menjadi $64,92\%$, $62,67\%$, $60,00\%$ dan $58,40\%$ dari kuat tekan beton normal. Pada temperatur 450°C turun menjadi $51,20\%$, temperatur 500°C turun menjadi $41,24\%$, temperatur 550°C turun menjadi $39,00\%$. Pada temperatur 600°C , kuat tekannya hanya $35,08\%$ dari kuat tekan beton normal.

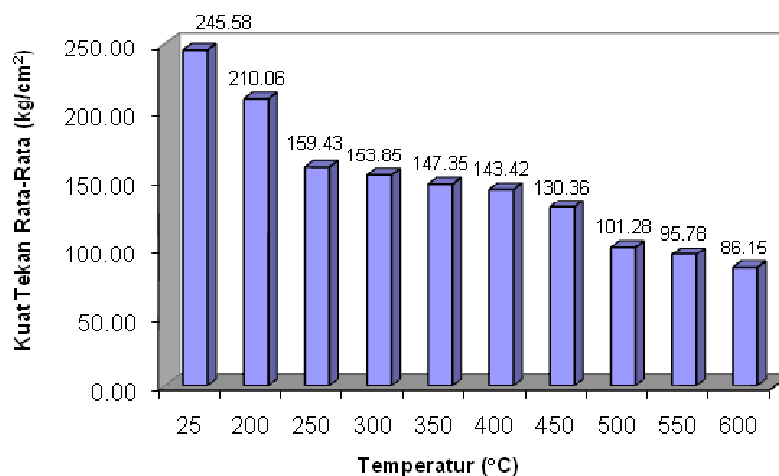
Uraian tersebut menunjukkan bahwa temperatur 200°C memberikan kekuatan sisa pada beton diatas 80% . Temperatur $250^\circ\text{C} - 450^\circ\text{C}$ memberikan kekuatan sisa pada beton antara $50\% - 70\%$. Temperatur di atas 500°C memberikan kekuatan sisa yang sangat kecil yaitu di bawah 50% .

Pengaruh panas yang tidak terlalu tinggi pada permukaan beton di atas umur 28 hari, akan menyebabkan terjadinya penguapan air dan penetrasi ke dalam rongga beton yang lebih dalam. Hal ini menyebabkan terjadinya perbaikan lekatan antar partikel-partikel C-S-H dan menaikkan kuat tekan beton. Peristiwa ini terjadi sampai pada temperatur 200°C .

Hasil dari penelitian ini berbeda, indikasi adanya kenaikan kekuatan tidak terjadi, bahkan kekuatan beton menurun $85,83\%$ dari kuat tekan beton normal. Kejadian ini dapat disebabkan oleh proses pemanasan yang dilakukan. Karena umur beton pada saat pemanasan belum 90 hari, dikhawatirkan akan terjadi pecahnya beton karena kandungan air masih tinggi, maka dilakukan terlebih dahulu pemanasan awal pada temperatur 150°C selama 2 jam. Akibatnya proses perbaikan lekatan telah terjadi pada pemanasan awal dan pada saat dilanjutkan pemanasan sampai pada temperatur 200°C selama 3 jam akan terjadi proses dekomposisi unsur C-S-H. Selanjutnya kuat tekan akan menurun terus dengan adanya perubahan unsur C-S-H menjadi kapur bebas CaO , SiO_2 dan uap H_2O . Dengan berkurangnya unsur C-S-H maka kekuatan beton pun akan terpengaruh dan menurun.

Tabel 2. Kuat tekan beton

No.	Kuat Tekan (kg/cm^2)									
	Normal	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
1	239.63	221.34	134.80	151.99	142.54	134.23	130.45	100.47	93.67	99.54
2	265.43	220.75	209.96	151.99	143.78	146.44	133.41	105.61	102.73	61.81
3	229.58	183.22	165.13	151.99	140.34	151.81	130.36	76.96	78.89	100.88
4	235.14	211.22	131.15	151.99	147.90	144.73	120.40	114.79	99.67	62.11
5	250.85	233.71	155.56	151.99	160.61	141.29	137.78	108.45	107.82	105.82
6	237.65	198.90	133.34	151.99	143.01	136.88	126.60	108.45	92.42	92.59
7	244.01	198.68	206.40	151.99	147.90	149.12	131.31	79.47	99.67	68.77
8	266.19	189.85	135.45	151.99	154.53	140.35	122.56	103.75	97.45	102.04
9	247.73	200.42	133.41	151.99	139.42	144.25	138.24	110.01	87.43	99.34
10	239.63	242.53	189.15	151.99	153.50	145.05	132.45	104.84	98.03	68.57



Gambar 1. Hubungan antara temperatur dan kuat tekan rata-rata

4.2 Model hubungan antara temperatur dan kuat tekan beton

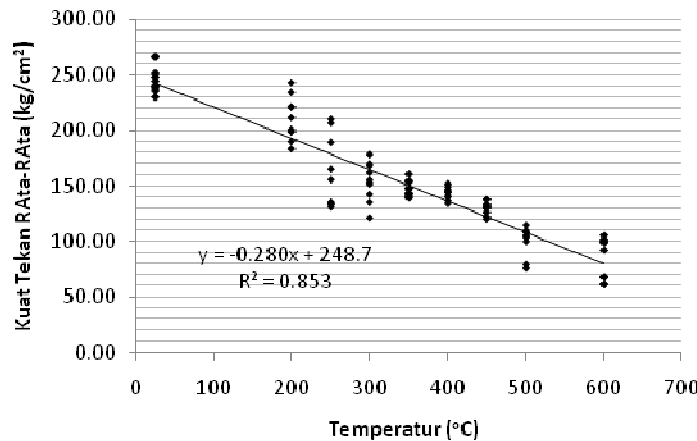
Analisis regresi linier sederhana dilakukan untuk memperoleh suatu model regresi yang menggambarkan hubungan antara satu variabel bebas (temperatur) dan satu variabel terikat (kuat tekan beton). Selanjutnya dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas (X) adalah temperatur, sedangkan variabel terikat (Y) adalah kuat tekan beton. Hasil analisis regresi disajikan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Model regresi pada **Gambar 2** adalah regresi linier sederhana. Dari persamaan ini dapat terlihat bahwa nilai minus pada koefisien regresi menunjukkan angka penurunan variabel terikat yang didasarkan pada variabel bebas. Artinya jika temperatur bertambah akan menyebabkan penurunan nilai kuat tekan. Selanjutnya koefisien determinasi R^2 bernilai 0,8539, angka ini mendekati nilai 1, berarti memiliki keterkaitan yang kuat antara temperatur dan kuat tekan beton. Selain itu koefisien tersebut memperlihatkan

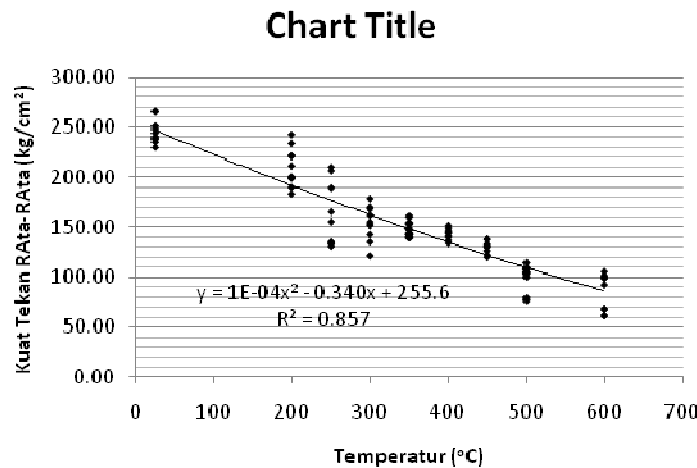
bahwa pengaruh temperatur terhadap nilai kuat tekan beton sebesar 85,39%.

Sedangkan pada **Gambar 3** adalah model regresi non linier yaitu model regresi polinomial orde 2. Koefisien determinasi R^2 bernilai 0,8576. Jika dibandingkan dengan regresi linier sederhana, angka ini sedikit lebih tinggi. Angka ini mendekati nilai 1, sehingga juga berarti memiliki keterkaitan yang kuat antara temperatur dan kuat tekan beton. Koefisien tersebut memperlihatkan bahwa pengaruh temperatur terhadap nilai kuat tekan beton sebesar 85,76%.

Model hubungan tersebut dapat digunakan dalam perencanaan struktur beton yang telah terbakar. Khususnya dalam menaksir kuat tekan beton setelah terbakar. Biasanya dari hasil survei lapangan dan laboratorium, taksiran temperatur tertinggi yang terjadi dapat ditentukan. Temperatur ini disubstitusikan ke dalam persamaan regresi akan didapatkan nilai kuat tekan sisa. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kekuatan tampang elemen struktur beton.



Gambar 2. Model regresi linier



Gambar 3 Model regresi non linier

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Kuat tekan beton menurun dengan adanya kenaikan temperatur. Beton yang telah dipanasi pada temperatur 200°C, kuat tekan rata-ratanya sisa 85,83% dari beton normal. Jika dibakar sampai temperatur 400°C, kuat tekan rata-ratanya sisa 58,40%. Kekuatan ini akan terus menurun hingga sisa 35,08% pada temperatur 600°C.
2. Model regresi yang dihasilkan jika berbentuk regresi linier persamaannya adalah $y = -0,2802x + 248,79$ dengan nilai $R^2 = 0,8539$; sedangkan model regresi berbentuk regresi polinomial derajat 2 persamaannya adalah $y = 10^{-4} x^2 - 0,3402x + 255,65$ dengan nilai $R^2 = 0,8576$.

5.2 Saran

Untuk mengetahui apakah persamaan regresi yang dihasilkan pada penelitian akurat, maka sebaiknya dilakukan validasi. Dengan validasi tersebut diharapkan dapat mengetahui tingkat keakuratan dari model regresi yang diperoleh.

6. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama berbagai pihak. Untuk itu diucapkan terima kasih banyak dan penghargaan kepada:

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, atas bantuan dana penelitian melalui Penelitian Dosen Muda;
2. Rektor Universitas Negeri Makassar, Ketua Lembaga Penelitian UNM, dan Dekan Fakultas Teknik UNM, atas arahan, bimbingan, dan fasilitas yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian;
3. Kepala Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNM, atas arahan, kerjasama, dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian;
4. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Politeknik Makassar atas arahan, kerjasama, dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian;
5. Semua pihak yang turut membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu namanya.

Hanya kepada Allah SWT kami kembalikan, semoga segala bantuan dari pihak yang membantu kelancaran penelitian ini mendapat berkah dan imbalan dari-Nya. Amin.

Daftar Pustaka

- Ahmad, I.A., 2001, *Tinjauan Kelayakan Balok Beton Bertulang Pascabakar Secara Analisis dan Eksperimen*, Yogyakarta: Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Ahmad, I.A. dan Taufieq, N.A.S., 2006, *Tinjauan Kelayakan Forensic Engineering Dalam Menganalisis Kekuatan Sisa Bangunan Pasca Kebakaran*, Makassar: Laporan Penelitian Dosen Muda. Jurusan Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar,.
- Mulyono, T., 2006, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M., 2003, *Bahan dan Praktek Beto*, Jakarta: Cetakan Ketiga, Erlangga.
- PBI, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I.-2*, Cetakan ke-7, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Ciptakarya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Rahmah, S.N., 2000, *Analisis Material Beton Pasca Bakar (Tinjauan Sifat Mekanik dan Kimiawi)*, Yogyakarta: Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Sagel, R., Kole, P. dan Kusuma. G., 1994, *Pedoman Pengerjaan Beton Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03*, Jakarta: Cetakan Keempat, Erlangga.
- Sirait, 2009, *Kajian Perilaku Beton Bertulang Pasca Bakar*, Studi Penelitian, diakses pada 25 juli 2009, <http://bppft.brawijaya.ac.id/?hlm=bpenelitian&view=full&thnid=2005&pid=1153962006>
- Sumardi, P.C., 2000, *Aspek Kimia Beton Pasca Bakar*, Yogyakarta: Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa, 24-25 Maret.
- Tjokrodinulyo, K., 2000, *Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar*, Yogyakarta: Nafri.
- Zacoeb, A. dan Anggraini, R., 2005, *Kuat Tekan Beton Pasca Bakar*, diakses pada 31 juli 2009, <http://bppft.brawijaya.ac.id/?hlm=bpenelitian&view=full&thnid=2005&pid=1153962006>.

