

Kesan Kebakaran ke atas Kekuatan Mampatan Konkrit

Mohammad Bin Ismail, Ph.D
Jabatan Struktur dan Bahan
Fakulti Kejuruteraan Awam
Universiti Teknologi Malaysia

Siaw Wai San, B.Sc (Hons)
Pelajar Sarjana Fak. Kej. Awam
Universiti Teknologi Malaysia

ABSTRAK

Kajian kesan suhu ke atas kekuatan dan ketahanan lasakan konkrit adalah penting memandangkan kejadian kebakaran semakin menjadi-jadi di negara ini. Tujuan utama kajian adalah untuk melihat kesan suhu pemanasan dan masa pemanasan ke atas kekuatan mampatan konkrit. Ujian yang telah dijalankan ialah Ujian Kekuatan Mampatan ke atas kuib konkrit bersaiz 100x100x100 mm yang didedahkan kepada suhu 400°C, 600°C dan 1000°C, pada masa 1.0 jam, 1.5 jam dan 2.0 jam di dalam ketuhar. Selepas dipanaskan, kuib konkrit ini dibiarkan sejuk pada suhu bilik. Pemerhatian telah dibuat ke atas kuib konkrit yang telah dikenakan suhu tinggi dari segi perubahan jisim, perubahan warna, keretakan yang berlaku dan perubahan kekuatan mampatannya. Didapati pengurangan jisim kuib konkrit yang semakin ketara hanya berlaku dengan penambahan suhu pemanasan tetapi tidak dengan penambahan masa pemanasan. Di samping itu, warna kuib konkrit menjadi semakin putih dan keretakan semakin serius dengan penambahan suhu dan masa pemanasan. Melalui kajian, didapati penurunan kekuatan mampatan konkrit selepas dipanaskan lebih dipengaruhi oleh suhu pemanasan dibandingkan dengan masa pemanasan. Pada suhu pemanasan yang sama, kekuatan mampatan hanya akan turun dengan mendadak pada jam pertama semasa pemanasan. Ujian Tukul Menganjal dan Ujian Denyutan Ultrasonik telah dilakukan untuk menganggarkan kekuatan mampatan konkrit selepas didedahkan pada suhu yang tinggi. Carta penentukuran yang dihasilkan boleh digunakan untuk menganggarkan kekuatan mampatan konkrit gred 30 selepas terbakar.

Katakunci *kekutan mampatan, konkrit terbakar, suhu pemanasan, masa pemanasan, keretakan, perubahan warna, pengurangna jisim, ujian tanpa musnah, ujian mampatan.*

PENGENALAN

Pendedahan struktur bangunan kepada suhu yang tinggi semasa berlakunya kebakaran menghasilkan “*fire loading*” ke atas bangunan sehingga boleh memusnahkan keseluruhan struktur bangunan. Oleh itu, adalah penting ia dikaji untuk mengenalpasti faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan struktur bangunan semasa berlakunya kebakaran. Dengan mengetahui faktor-faktor ini, satu struktur bangunan yang berkesan dapat direkabentuk untuk memberikan kekuatan rintangan kebakaran yang mencukupi kepada penghuni untuk melarikan diri sebelum struktur bangunan gagal dalam kekuatan dan kestabilan yang seterusnya mungkin mengakibatkan keruntuhan bangunan.

Latar Belakang Kajian

Daripada ujian-ujian yang pernah dijalankan, didapati bahawa sifat-sifat konkrit berubah apabila berlaku peningkatan suhu. Apabila suhu meningkat sehingga 800°C keupayaan konduktiviti haba konkrit berkurang sebanyak 25% bergantung kepada pengurangan dalam kandungan lembapan konkrit (Reed And Ruth, 1995).

Rayapan konkrit adalah tidak begitu ketara sehingga suhu 400°C, tetapi rayapan ini memberikan sedikit kesan terhadap kebolehhidmatan konkrit (Reed And Ruth, 1995). Di samping itu, modulus elastik konkrit didapati berkurang sebanyak 10-32% pada suhu 100 °C dan 30-55% apabila suhu meningkat sehingga 400°C tanpa kembali kepada nilai yang asal selepas sejuk (Sullivan, 1979).

Di antara suhu 300°C – 600°C, ketulinan kandungan iron dalam konkrit telah berubah dengan menyebabkan perubahan warna konkrit dari kelabu ke merah jambu kemudian ke warna merah jika suhu terus meningkat. Konkrit menjadi kuning pucat pada suhu 900°C selepas disejukkan ke suhu bilik setelah terbakar Orchard, 1958.

Seterusnya pengurangan kekuatan mampatan dalam konkrit banyak bergantung kepada suhu dan tempoh kebakaran. Pada keadaan yang panas kekuatan konkrit berkurang sehingga 50% dan terus berkurang selepas sejuk (Reed And Ruth, 1995).

Skop dan Objektif Kajian

Daripada maklumat di atas, didapati banyak perubahan berlaku terhadap konkrit apabila terdedah kepada suhu yang tinggi. Dalam kajian ini tumpuan telah diberikan kepada perubahan kekuatan mampatan konkrit yang terbakar. Ini adalah kerana kebolehhidmatan struktur konkrit adalah sangat bergantung kepada kekuatan mampatan konkrit di mana kekuatan ini biasanya memberikan satu gambaran yang menyeluruh terhadap kerosakan struktur yang terbakar. Di samping

itu, beberapa perubahan fizikal konkrit juga dikenalpasti. Objektif utama kajian yang dijalankan ialah :

1. Mengenalpasti faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan mampatan konkrit di bawah pemanasan kali pertama selepas disejukkan ke suhu bilik. Seterusnya memastikan perubahan kekuatan mampatan konkrit apabila suhu kebakaran dan masa kebakaran semakin meningkat.
2. Mengkaji samada Ujian Tukul Menganjal dan Ujian Denyutan Ultrasonik sesuai digunakan ke atas konkrit yang terbakar untuk menganggarkan kekuatan mampatan konkrit dengan merujuk kepada carta penentukuran yang sedia ada.
3. Menghasilkan satu carta penentukuran yang lebih tepat untuk menganggarkan kekuatan mampatan konkrit selepas dipanaskan dengan menggunakan kedua-dua Ujian Tukul Menganjal dan Ujian Denyutan Ultrasonik.
4. Melihat perubahan fizikal yang berlaku terhadap konkrit apabila didedahkan pada suhu tinggi.

Diketahui bahawa dua faktor utama yang mempengaruhi kekuatan mampatan konkrit yang mengalami kebakaran adalah suhu dan tempoh pemanasan. Jadi dalam penyelidikan ini, penumpuan telah diberikan kepada perubahan kekuatan mampatan konkrit pada suhu dan tempoh yang berbeza untuk melihat perubahan kekuatan yang berlaku.

KAJIAN LITERATUR

Keadaan konkrit apabila terkena panas daripada api boleh menyebabkan berlaku perubahan bentuk yang lambat, memakan masa yang lama, tidak seragam dan mungkin memusnahkan sifat keseluruhan jisim konkrit. Konkrit pada mulanya mengembang mengikut peningkatan suhu, tetapi kehilangan kelembapan yang progresif daripada adunan simen menyebabkan komponen ini mengecut dan keadaan ini dapat mengimbangi pengembangan haba pada batu baur.

Tenaga haba pada mulanya digunakan untuk mengeluarkan kelembapan yang ada dalam adunan simen di mana keadaan ini dapat mengurangkan kadar kenaikan suhu di permukaan konkrit. Seterusnya pengaliran haba konkrit adalah rendah iaitu hanya satu per sepuluh daripada pengaliran haba pada keluli, maka dengan itu kenaikan suhu pada permukaan konkrit tidak serta-merta dirasai di zon dalam konkrit (Shirley, 1992). Pada ketika ini, kehilangan kekuatan mampatan konkrit

disebabkan oleh pengeringan adunan simen hanya terbatas di permukaan konkrit sahaja.

Keputusan ujian yang dibuat menggunakan kaedah piawaian British telah membuktikan bahawa konkrit tidak mengalami kebakaran seperti kayu atau bahan-bahan lain dan tidak menyala dan juga semua konkrit merupakan perintang api yang baik. Walaupun begitu darjah rintangannya berubah sedikit dengan jenis batu baur yang digunakan, iaitu batu baur yang mempunyai pengembangan haba yang rendah memberikan keputusan yang lebih baik (Johnny Richard, 1998).

Bahan seperti batu kapur, kelikir dan granit yang mengandungi silika mungkin akan mengalami penambahan isipadu dengan tiba-tiba pada suhu tertentu kerana perubahan hablur terhadap sebatian ini. Dalam keadaan api yang besar, suhu akan meningkat dengan cepat dan cukup untuk menyebabkan batu baur mengalami tegasan dalaman yang boleh memecahkan lapisan permukaan konkrit. Pendedahan yang berpanjangan terhadap api yang sedemikian boleh menyebabkan konkrit terkuping dan kehilangan ikatan sehingga menyebabkan hilangnya keupayaan konkrit untuk menanggung beban (Johnny Richard, 1998).

Perubahan Kekuatan Mampatan Konkrit Pada Suhu Tinggi

Menurut Kamarudin (1995), kekuatan mampatan konkrit turun sehingga tahap yang minimum pada suhu antara 60°C sehingga 80°C apabila dikenakan suhu panas yang seragam seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1. Akan tetapi kekuatan mampatan ini bertambah kira-kira 10% daripada kekuatan asal (pada suhu bilik) apabila suhu mencapai 150°C. Selepas melewati takat suhu ini, kekuatan mampatan konkrit menurun kepada tahap yang lebih rendah. Pada suhu 400°C hingga 500°C, kekuatan mampatan yang tercapai hanya 75% - 88% daripada kekuatan asal bergantung kepada jenis batu baur yang digunakan. Jika sampel dibiarkan sejuk kepada suhu bilik, kekuatan mampatannya didapati menurun hanya tinggal 40% daripada kekuatan asal. Sementara itu, jika sampel dibiarkan dalam udara dengan kelembapan relatif udara pada tahap biasa selama seminggu, kekuatan mampatannya hanya tinggal 20% dan sampel berkenaan dikatakan telah musnah (Kamarudin, 1995).

Walau bagaimanapun, kekuatan mampatan konkrit yang mengalami suhu panas berpeluang dipulihkan kembali jika konkrit berkenaan yang telah sejuk direndam dalam air untuk beberapa ketika (Kamarudin, 1995).

METODOLOGI

Dalam ujikaji ini konkrit yang bergred 30N/mm² dengan nisbah air simen bebas 0.47 telah digunakan dengan berpandu kepada *Design Of Normal Concrete Mixes*,

Part Two tahun 1975 (Teychenne,198). Adunan konkrit yang dihasilkan terdiri daripada Simen Portland Biasa , batu baur bersaiz 10 mm, pasir zon 2 dan air paip.

Proses penghasilan kiub konkrit dilakukan dengan berpandukan kepada *BS 1881: Part 108* : 1983 (Neville,1996). Setelah kiub dihasilkan, ia direndam dalam air selama 28 hari supaya mencapai kekuatan yang optimum. Untuk menguji kesan suhu ke atas konkrit, suhu ujikaji ditetapkan sebagai 400°C, 600°C dan 1000°C pada tempoh 1.0, 1.5 dan 2.0 jam dan sebanyak 3 kiub konkrit digunakan untuk setiap ujian. Sebelum kiub konkrit dimasukkan ke dalam ketuhar, berat setiap kiub konkrit direkodkan. Selepas itu kiub konkrit didedahkan kepada suhu pada tempoh yang berbeza di dalam ketuhar. Selepas lengkap dipanaskan, kiub konkrit disejukkan pada suhu bilik dan beratnya ditimbang semula apabila telah sejuk keseluruhannya untuk memastikan samada terdapat kehilangan jisim pada kiub konkrit. Sebarang perubahan fizikal juga dicatatkan. Akhirnya Ujian Tukul Menganjal (*berpandukan kepada BS 1881 : Part 202 : 1986*), Ujian Denyutan Ultrasonik (*berpandukan kepada BS 1881 : Part 203 : 1986*) dan Ujian Mampatan Kiub Konkrit (*berpandukan kepada BS 1881 : Part 116 : 1983*) (Neville,1996) dilakukan dan keputusannya direkodkan.

KEPUTUSAN UJIKAJI DAN DATA ANALISIS

Data-data ujikaji yang diperolehi daripada ujian boleh dikatakan amat memuaskan kerana data-data yang diperolehi memanglah apa yang telah dijangkakan. Data-data tentang perubahan jisim telah ditunjukkan dalam Lampiran A. Manakala data untuk nombor pantulan, halaju denyutan dan kekuatan mampatan kiub konkrit selepas dipanaskan ditunjukkan dalam lampiran B.

Perubahan Ciri-Ciri Fizikal Konkrit Selepas Dipanaskan

Selepas kiub konkrit dikeluarkan daripada ketuhar, antara beberapa perubahan ciri fizikal yang dapat diperhatikan daripada mata kasar ialah :

i. Perubahan warna kiub konkrit

Apabila kiub konkrit dikeluarkan dari ketuhar, kiub konkrit berwarna merah jambu pada keadaan panas. Selepas kiub konkrit disejukkan ke suhu bilik selepas didedahkan kepada suhu 400°C, warna kiub konkrit menjadi kelabu putih. Manakala selepas kiub konkrit disejukkan ke suhu bilik selepas didedahkan kepada suhu 1000°C, warna kiub konkrit menjadi putih. Ini menunjukkan semakin tinggi suhu pemanasan konkrit semakin menjadi warna putih.

ii. Keretakan yang berlaku.

Bagi kiub konkrit yang dipanaskan sehingga 400°C , keretakan tidak dapat dilihat dengan mata kasar apabila dikeluarkan dari ketuhar. Manakala keretakan yang semakin serius dapat dilihat melalui mata kasar apabila kiub konkrit dipanaskan di antara suhu 600°C sehingga 1000°C . Ini menunjukkan bahawa semakin tinggi suhu pemanasan, semakin ketara keretakan yang berlaku ke atas konkrit. Ini menunjukkan konkrit menjadi semakin rapuh pada suhu yang tinggi.

Perubahan Jisim Kuib Konkrit Selepas Dipanaskan

Jisim kiub konkrit telah ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam ketuhar dan selepas sejuk dengan sepenuhnya iaitu selama seminggu selepas dikeluarkan dari ketuhar. Data pengurangan jisim ini ditunjukkan dalam lampiran A. Perubahan jisim kiub konkrit ini dipamerkan dalam Rajah 1.2.

Didapati bahawa jisim kiub konkrit semakin berkurangan dengan pertambahan suhu pemanasan, konkrit menjadi semakin ringan pada pendedahan suhu yang lebih tinggi. Akan tetapi perubahan jisim yang ketara tidak berlaku apabila masa pemanasan ditambahkan pada suhu yang sama seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.2. Selain daripada itu, didapati jisim kiub berkurang dari 6.5% sehingga 8.5% apabila suhu pemanasan bertambah dari 400°C ke 1000°C untuk ke semua tempoh pemanasan.

Daripada Rajah 1.2 dapat disimpulkan bahawa pengurangan jisim konkrit apabila didedahkan pada suhu yang tinggi adalah lebih bergantung kepada suhu pembakaran jika dibandingkan dengan tempoh pembakaran.

Perubahan Kekuatan Mampatan Kuib Konkrit

Dalam ujian ini kekuatan mampatan boleh diperolehi secara terus dengan membahagikan daya mampatan yang diperolehi dari ujian dengan keluasan permukaan kiub konkrit. Nilai-nilai kekuatan mampatan kiub konkrit selepas dipanaskan ditunjukkan dalam lampiran B. Kekuatan mampatan bagi kiub konkrit yang telah dikenakan suhu tinggi telah diplotkan melawan dengan masa pemanasan pada beberapa suhu pemanasan yang berbeza seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.3. Peratus pengurangan kekuatan ini telah dikira dalam Jadual 1.1.

Bagi kiub konkrit yang terdedah kepada suhu 1000°C , didapati kekuatan mampatannya berkurangan secara mendadak iaitu lebih kurang 80% dari kekuatan mampatan asal pada jam yang pertama. Jika masa pemanasan dipanjangkan, ia tidak memberikan kesan yang ketara lagi ke atas kiub konkrit di mana kekuatan mampatannya adalah sama juga seperti pemanasan 1 jam walaupun konkrit dipanaskan selama 1.5 jam, 2 jam dan selanjutnya. Manakala untuk suhu

pemanasan 600°C, didapati kekuatan mampatan akan berkurangan dari 35% sehingga 50% apabila kiub konkrit dipanaskan dari 1.0 jam sehingga 2.0 jam. Seterusnya pada suhu 400°C, kekuatan mampatan berkurangan pada kadar yang perlahan pada masa pemanasan yang pertama. Apabila masa pemanasan mencapai 2 jam, kekuatan mampatan hanya berkurang sebanyak 15% dari kekuatan asal.

Graf kekuatan mampatan melawan suhu pemanasan yang diperolehi daripada ujian ditunjukkan dalam Rajah 1.4. Rajah ini mempunyai bentuk yang lebih kurang sama yang diperolehi oleh (Lea and Stradling, 1922) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.5. Daripada Rajah 1.4 didapati lengkung kekuatan konkrit adalah lebih kurang sama untuk ketiga-tiga kengkung 1.0 jam, 1.5 jam dan 2.0 jam. Pada suhu 200°C, didapati kekuatan mampatan konkrit meningkat sebanyak 20% daripada kekuatan asal. Manakala, pada suhu 400°C, kekuatan mampatan konkrit turun sehingga mencapai lebih kurang 90% daripada kekuatan asal. Seterusnya, kekuatan mampatan konkrit berkurang sebanyak 35 – 50% apabila suhu pemanasan meningkat sehingga 600°C. Selanjutnya, kekuatan mampatan konkrit hanya tinggal 20% daripada kekuatan mampatan asal apabila suhu pemanasan mencapai 1000°C.

Analisis Data Berdasarkan Kaedah Ujian Denyutan Ultrasonik

Dalam ujian ini, masa transit yang diambil oleh gelombang untuk bergerak di sepanjang permukaan kiub konkrit telah direkodkan. Kemudian halaju denyutan diperolehi dengan membahagikan lebar kiub konkrit dengan masa transit yang diperolehi seperti yang ditunjukkan dalam lampiran B. Dalam ujian ini kekuatan mampatan tidak dapat diperolehi kerana halaju denyutan yang diperolehi lebih rendah jika dibandingkan dengan halaju denyutan dalam graf penentukuran untuk suhu bilik. Ini menunjukkan carta penentukuran yang sedia ada tidak sesuai diaplikasikan untuk konkrit yang terdedah pada suhu yang tinggi. Jadi, satu carta penentukuran untuk konkrit pada suhu tinggi mesti dihasilkan.

Daripada Rajah 1.6, didapati bahawa semakin tinggi suhu pemanasan semakin besar masa transit yang diperolehi. Masa transit bertambah masing-masing 30% - 55% , 100% - 250% dan 600% - 700% untuk suhu pemanasan 400°C, 600°C dan 1000°C. Seterusnya didapati lengkung masa transit melawan suhu pemanasan pada ketiga-tiga masa pemanasan yang berbeza mempunyai bentuk yang sama. Manakala daripada Rajah 1.7, didapati masa transit tidak mengalami perubahan yang ketara pada suhu pemanasan yang sama walaupun masa pemanasan ditingkatkan. Ini menunjukkan bahawa perubahan masa transit adalah lebih dipengaruhi oleh suhu pemanasan jika dibandingkan dengan masa pemanasan.

Jadi, dapatlah disimpulkan bahawa keretakan yang serius berlaku apabila suhu pemanasan semakin meningkat kerana masa transit adalah berkadar dengan keretakan. Seterusnya, penambahan keretakan ini menyumbang kepada pengurangan kekuatan mampatan konkrit apabila suhu pemanasan meningkat.

Analisis Data Berdasarkan Kaedah Tukul Menganjal

Nombor pantulan bagi setiap kiub konkrit telah diperolehi daripada Ujian Tukul Menganjal. Daripada nombor ini, kekuatan mampatan konkrit telah diperolehi seperti yang ditunjukkan dalam lampiran B dengan merujuk carta penentukuran sedia ada untuk konkrit pada suhu bilik. Didapati nombor pantulan berkurang dengan ketara apabila suhu pemanasan bertambah. Sedangkan nombor pantulan ini bertambah dengan sedikit sahaja dengan pertambahan masa pemanasan pada suhu yang sama.

Rajah 1.8 dan Rajah 1.9 menunjukkan perubahan kekuatan mampatan konkrit pada suhu yang berlainan dengan masa pemanasan yang berbeza-beza. Didapati kekuatan mampatan konkrit berkurang dengan ketara dengan pertambahan suhu pemanasan seperti dalam Rajah 1.8. Manakala pada Rajah 1.9 ditunjukkan bahawa masa pemanasan tidak memberikan kesan yang serius seperti suhu pemanasan terhadap kekuatan mampatan konkrit.

Daripada Rajah 1.8, didapati kekuatan mampatan konkrit akan meningkat sebanyak 5-10% daripada kekuatan konkrit asal (pada suhu bilik) pada suhu 200°C. Selepas 200°C, kekuatan mampatan konkrit turun semula. Pada suhu 400 °C, kekuatan turun sehingga mencapai kekuatan mampatan yang lebih kurang sama dengan kekuatan asal konkrit pada suhu bilik. Seterusnya pada suhu 600 °C, kekuatan mampatan berkurang sebanyak 20% daripada kekuatan asal. Manakala kekuatan mampatan konkrit berkurang sebanyak 40% daripada kekuatan asal pada suhu 1000 °C. Melalui data-data yang diperolehi ini, didapati kekuatan mampatan anggaran ini mempunyai ralat yang sangat besar jika dibandingkan dengan kekuatan mampatan konkrit yang diperolehi melalui ujian kekuatan mampatan kiub konkrit seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.4. Walaupun kedua-dua Rajah 1.4 dan 1.8 mempunyai bentuk yang sama, akan tetapi nilai kekuatan mampatan yang ditunjukkan pada suhu yang sama adalah amat berbeza sekali. Jadi, boleh disimpulkan bahawa carta penentukuran yang sedai ada tidak sesuai digunakan untuk menganggarkan kekuatan mampatan konkrit selepas didedahkan kepada suhu yang tinggi.

Faktor-faktor yang Menyumbang kepada Pengurangan Kekuatan Mampatan Konkrit Selepas Pembakaran

Sebenarnya, dipercayai terdapat beberapa faktor yang telah menyumbang dalam pengurangan kekuatan mampatan konkrit apabila terdedah pada suhu yang tinggi. Apabila konkrit dikenakan suhu yang tinggi, ia mengalami perubahan terhadap pengerasan adunan simen dan batu baurnya. Di dalam adunan simen adanya air bebas dan air terlarut yang menyumbang kepada proses hidrasi atau pengeringan. Dengan kenaikan suhu, pertama sekali air bebas dan bahan kimia yang terlarut didapati hilang disebabkan pengeringan. pengeringan ini

menyebabkan adunan simen mengalami pengecutan lebih daripada pengembangan disebabkan oleh kenaikan suhu ini (Morley, 1979).

Pada masa yang sama, batu baur juga memberikan tindakbalas terhadap kenaikan suhu iaitu ia mengalami pengembangan terma. Pengembangan yang ditunjukkan oleh batu baur bergantung kepada jenis batu baur yang digunakan dalam konkrit dan mengikut sifat-sifat haba yang ada pada batu baur tersebut. Sebagai contoh, untuk batu baur yang mempunyai pengaliran haba yang rendah, ianya melambatkan pemindahan haba dari bahagian panas ke bahagian sejuk. Manakala batu baur yang mempunyai pekali pengembangan terma yang tinggi menambahkan pergerakan haba dan masalah retakan lebih ketara dibandingkan dengan batu baur yang mempunyai pekali pengembangan yang rendah (Khoury, 1992).

Kelakuan adunan simen yang mengalami pengecutan dan pengembangan pada batu baur mewujudkan tegangan di dalam konkrit dan seterusnya menyebabkan keretakan pada konkrit yang mengurangkan kekuatan mampatannya (Morley, 1979). Kajian telah menunjukkan bahawa ikatan antara batu baur dengan adunan simen merupakan ikatan yang paling lemah dalam rangkaian konkrit. Ikatan ini semakin longgar apabila konkrit terdedah pada suhu yang tinggi sehingga mengurangkan kekuatan mampatan yang ada.

Pada suhu yang tinggi seperti semasa kebakaran, ikatan yang terbina atau wujud dalam campuran konkrit secara amnya mengalami perubahan. Perubahan yang berlaku adalah lebih tertumpu kepada perubahan komposisi tindakbalas kimia yang wujud di antara simen dengan air. Kenaikan suhu menyebabkan penghidratan terhadap air pada konkrit dan seterusnya menyebabkan proses pemecahan “gel” yang terbina hasil tindakbalas air dengan simen. Apabila gel atau ikatan ini mengalami pemecahan, keadaan menjadi tidak sempurna dan melemahkan daya tarikan antara partikel-partikel dalam konkrit. Jadi, ikatan yang lemah ini menyebabkan konkrit bertukar kepada bahan pepejal yang rapuh dan mudah mengalami retakan sehingga kekuatan mampatannya menurun dengan serius apabila suhu semakin meningkat (Johnny Richard, 1998).

Kesan-kesan yang ditunjukkan oleh konkrit pada suhu yang tinggi menjelaskan kepada kita bahawa kekuatan konkrit berkurangan apabila mengalami pemanasan yang tinggi. Tetapi suhu yang disebabkan oleh keadaan sekeliling atau keadaan biasa bukanlah sesuatu yang dapat mempengaruhi kekuatan konkrit. Keadaan yang mendatangkan kesan kepada konkrit adalah apabila berlakunya kebakaran bangunan pada jangka masa yang lama. Di samping itu, kesan suhu terhadap fizikal konkrit dapat dilihat di mana berlakunya pengembangan kepada bahan yang digunakan dan seterusnya menyebabkan keretakan pada konkrit. Kesan ini, secara fizikalnya boleh menentukan samada konkrit itu masih boleh menanggung beban ataupun tidak. Jika berlakunya retakan yang terlalu banyak atau besar ianya

bolehlah dinyatakan sebagai anggota konkrit yang tidak lagi mempunyai keupayaan untuk menanggung beban dan gagal (Morley, 1979).

KESIMPULAN

Antara beberapa kesimpulan penting yang diperolehi setelah data dikumpulkan dan dianalisis ialah :

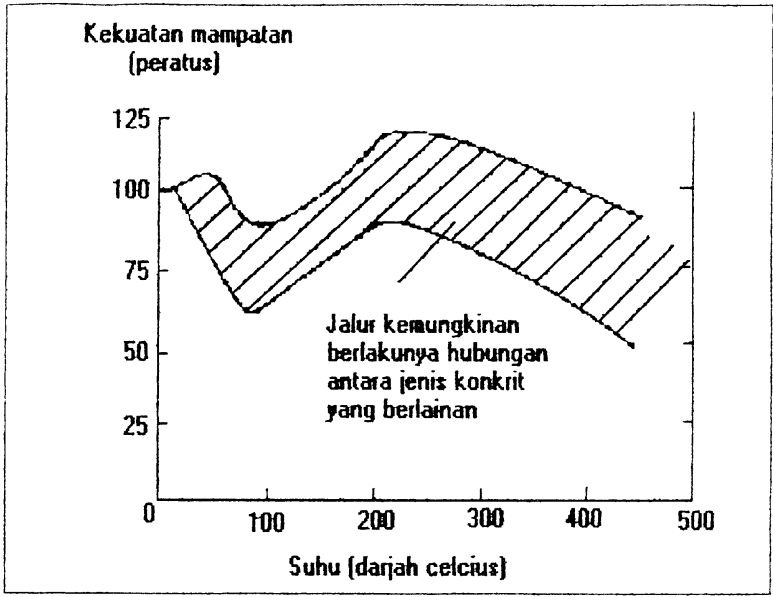
1. Masa pemanasan hanya mengurangkan kekuatan mampatan konkrit dengan ketara pada jam pertama. Kekuatan mampatan konkrit berkurang secara mendadak pada jam pertama semasa pemanasan. Selepas ini (satu jam), kekuatan mampatan tidak menunjukkan pengurangan yang serius. Manakala kekuatan mampatan konkrit semakin berkurang sehingga 80% apabila suhu pemanasan mencapai 1000°C sama ada dipanaskan selama 1.0, 1.5 atau 2.0 jam. Ini menunjukkan suhu pemanasan adalah lebih mempengaruhi dalam mengurangkan kekuatan mampatan konkrit jika dibandingkan dengan tempoh pemanasan. Pemenuan ini sama seperti yang diperolehi oleh Mohamedbhai, (1986).
2. Daripada ujikaji, didapati konkrit mencapai kekuatan maksimum pada suhu 200°C iaitu lebih kurang 120% daripada kekuatan konkrit pada suhu bilik. Selepas ini, kekuatan mampatan konkrit menurun dengan penambahan suhu pemanasan. Kekuatan mampatan konkrit masih dalam lingkungan 90% pada suhu 400°C. Selepas suhu ini, konkrit dikatakan musnah kerana kekuatannya berkurang dengan serius sehingga tertinggal 20% daripada kekuatan asal pada suhu 1000°C.
3. Sebelum ujian kekuatan mampatan konkrit dilakukan, angggaran tentang tahap kerosakan konkrit dapat dibuat berdasarkan kepada warna konkrit selepas dipanaskan. Warna konkrit berubah dari warna kelabu hitam kepada putih kekuningan selepas disejukkan daripada kepanasan. Ini menunjukkan semakin putih sesuatu konkrit maka suhu pendedahannya semakin tinggi akibatnya kekuatan mampatan konkrit semakin kurang.
4. Semakin tinggi suhu pemanasan, semakin serius keretakan yang berlaku pada konkrit. Keretakan ini dapat dikesan memandangkan masa transit semakin meningkat apabila suhu pemanasan semakin meningkat. Ini menunjukkan bahawa konkrit menjadi semakin rapuh pada suhu yang tinggi. Keretakan ini mengurangkan kekuatan mampatan konkrit selepas didedahkan pada suhu yang tinggi.

5. Didapati perkaitan di antara kekuatan mampatan bagi konkrit yang terbakar dengan nombor pantulan dan halaju denyutan masih lagi menunjukkan satu keadaan yang berkadar terus di antara satu sama lain seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.10 dan 1.11. Kedua-dua rajah ini boleh digunakan sebagai carta penentukuran bagi konkrit gred 30N/mm^2 untuk menganggarkan kekuatan mampatan konkrit pada suhu yang tinggi dengan lebih tepat sebelum ujian musnah atau separa musnah seperti Ujian Teras Konkrit dijalankan.

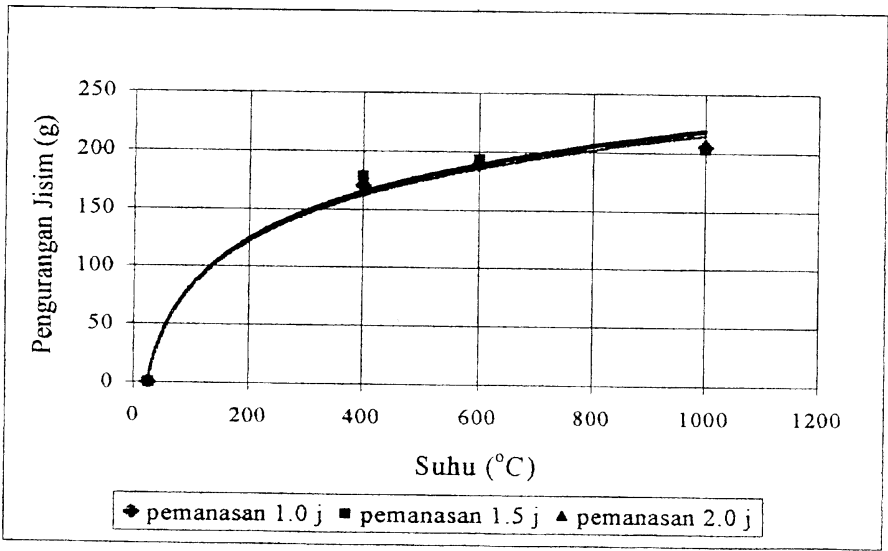
RUJUKAN

- BS 1881 : Part 202 : 1986. "Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer".
- BS 1881 : Part 203 : 1986. "Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete".
- Johnny Richard (1998). "Gayalaku Rasuk Konkrit Tetulang Pada Suhu Tinggi." Universiti Teknologi Malaysia. Projek Sarjana Muda, ms 4 – 20.
- Kamarudin Mohd. Yusof (1995). "Pengenalan Kekuatan Dan Ketahananlasakan Konkrit." Dewan Bahasa Dan Pustaka Kementerian Pendidikan Malaysia, ms128-137.
- Khoury, G.A. (1992). "Compressive Strength of Concrete At High Temperature: As Reassessment." Magazine of Concrete Research, 44, No. 161, Dec. ms 291-309.
- Lea F. and Stradling R. (1992). "The Resistance to Fire of Concrete and Reinforced Concrete." Engineering, 1922, 114, No. 2959, 341-344, 380-382.
- Mohamedbhai, G. T. G. (1986). "Effect of Exposure Time and Rates of Heating and Cooling on Residual Strength of Heated Concrete." Magazine of Concrete Research, 38, No. 136, Sept. ms 291-309.
- Morley, P.D. and Rosyles, R. (1979/80). "The Influence of High Temperature on The Bond In Reinforced Concrete." Fire Safety Journal, 2, November ms 243-255.
- Neville, A.M. (1996). "Properties of Concrete-Fourth and Final Edition." Longman, ms 581.
- Orchard, D. F. (1958). "Concrete Technology Volume 1 – Properties of Materials." Contractor's Record Ltd. ms 261-266.
- Reed Brantley. L And Ruth T Brantley (1995). "Building Materials Technology- Structural Performance & Environmental Impact." R.R.Donnelley & Son Company, ms 245.
- Shirley, D.E. (1992). "Pengenaln Kepada Konkrit." Terjemahan : Mohammad B. Ismail, Unit Penerbitan Akademik, Universiti Teknologi Malaysia, ms 28-29.

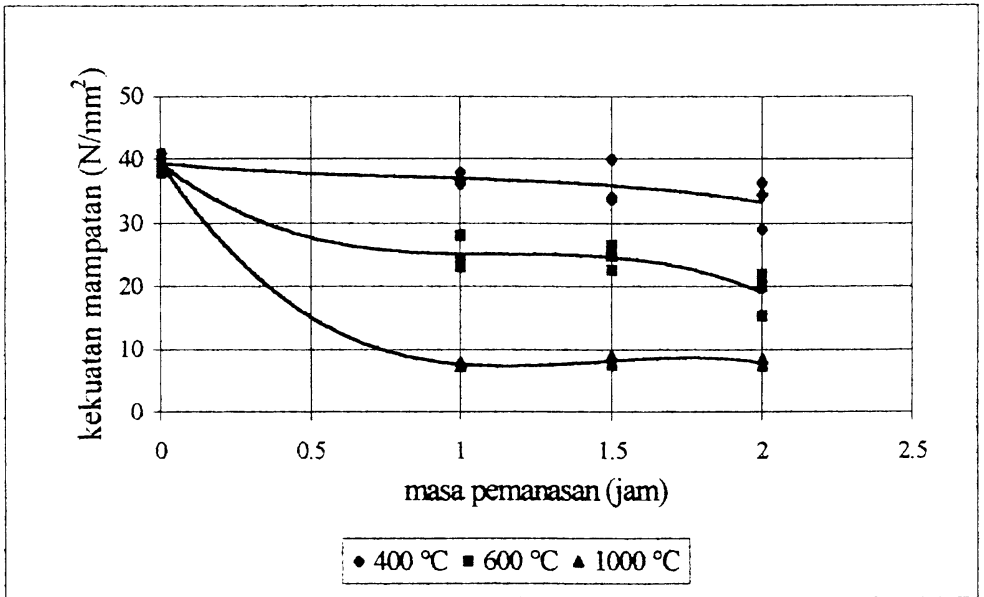
- Sullivan P.J.E. (1979). "The Effects of temperature on Concrete." dlm. F.D Lydon. "Developments In Concrete Technology – 1." Applied Science Publishers LTD London, ms1- 50.
- Teychenne, D. C., Franklin, R. E. and Erntroy, H. C. (1988). "Design of Normal Concrete Mixes." British : Department of The Environment, ms 13-20.



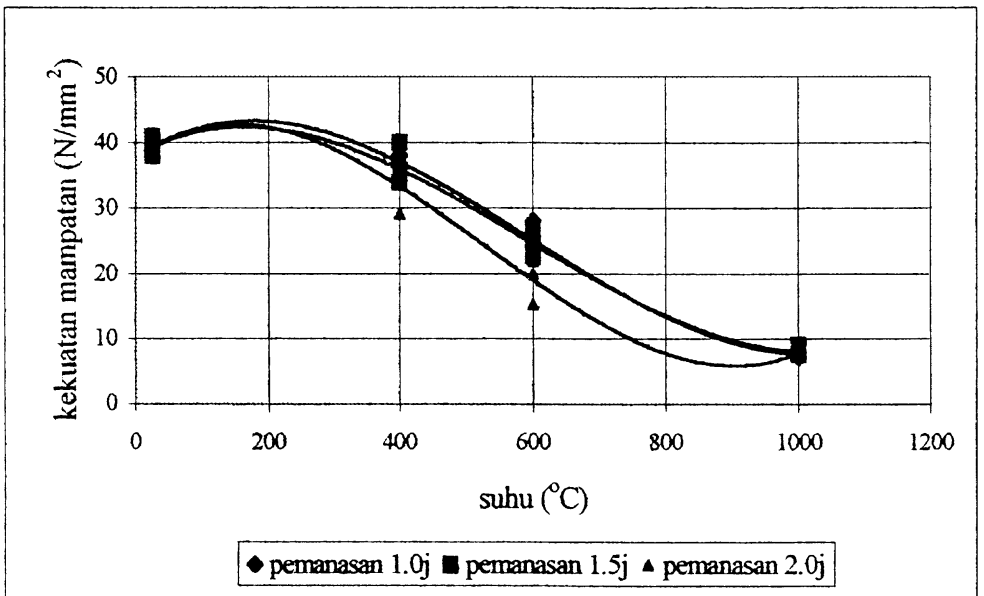
Rajah 1.1 Perubahan kekuatan mampatan terhadap suhu [Kamarudin, 1995].



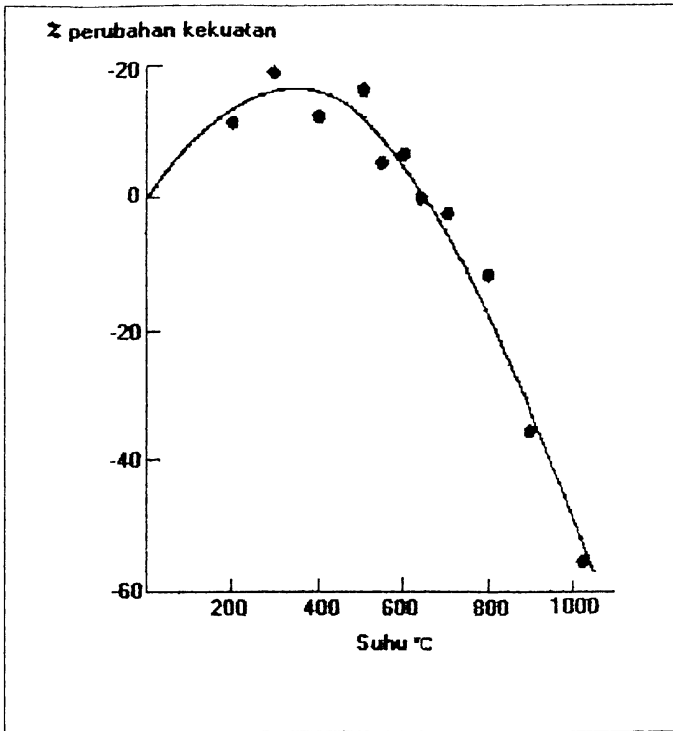
Rajah 1.2 Graf menunjukkan pengurangan jisim kiub konkrit selepas dipanaskan pada suhu 400°C, 600°C dan 1000°C.



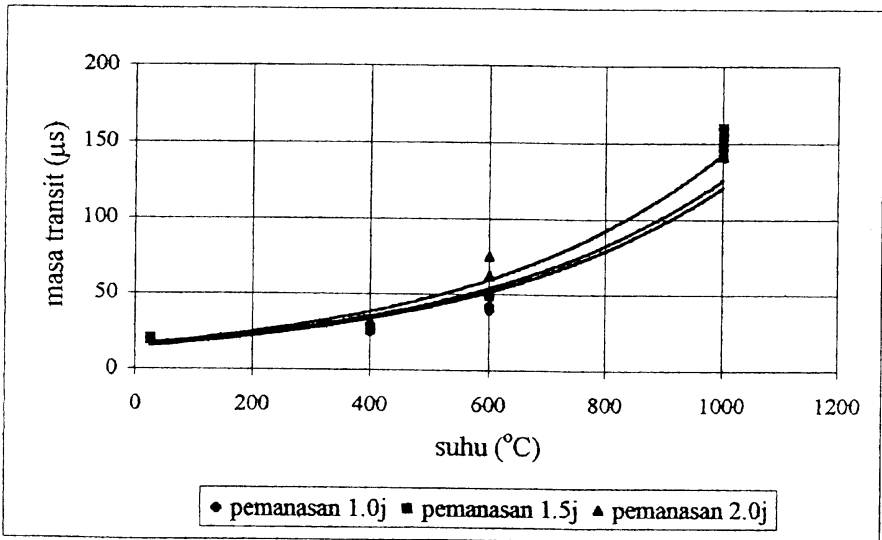
Rajah 1.3 Graf menunjukkan kesan masa pemanasan kepada kekuatan mampatan konkrit pada suhu pemanasan yang berbeza.



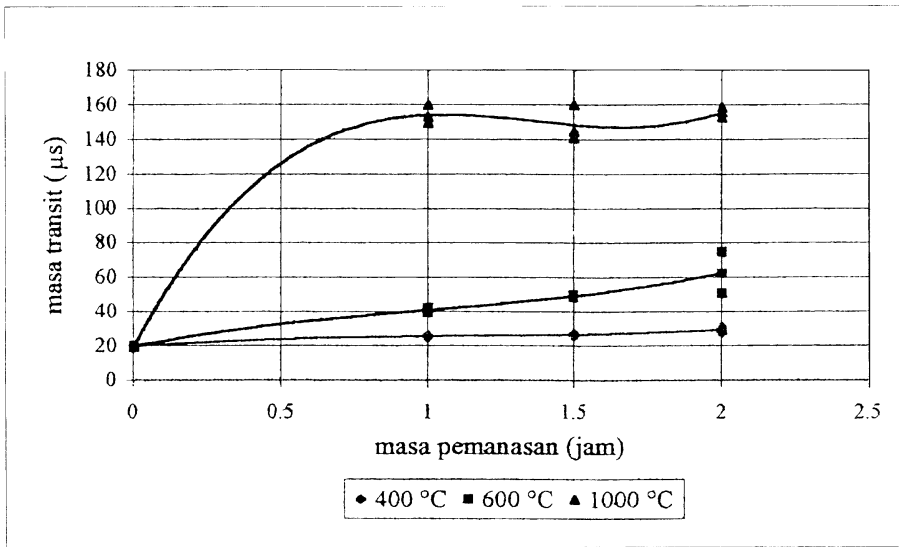
Rajah 1.4 Graf menunjukkan kesan suhu pemanasan terhadap kekuatan mampatan konkrit pada masa pemanasan yang berbeza.



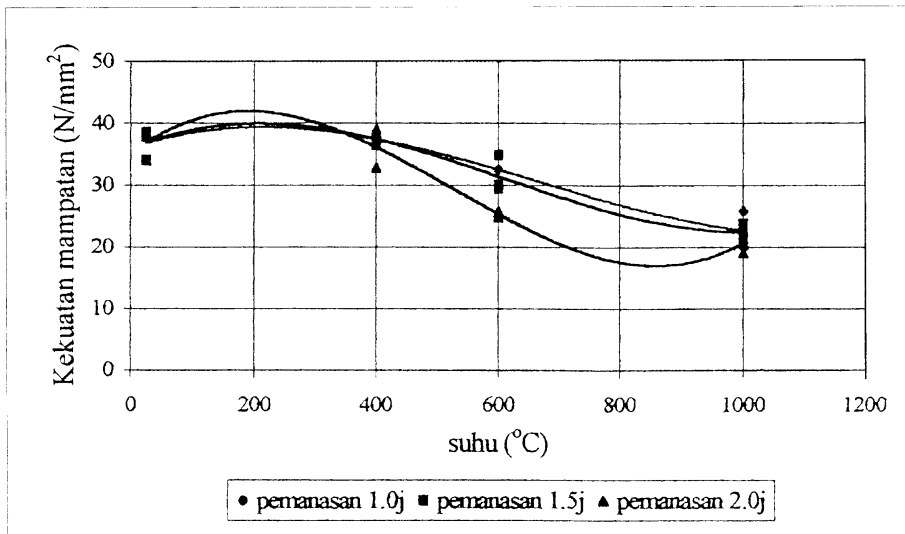
Rajah 1.5 Perubahan kekuatan mampatan konkrit terhadap suhu daripada ujian Lea dan Stadling (1992).



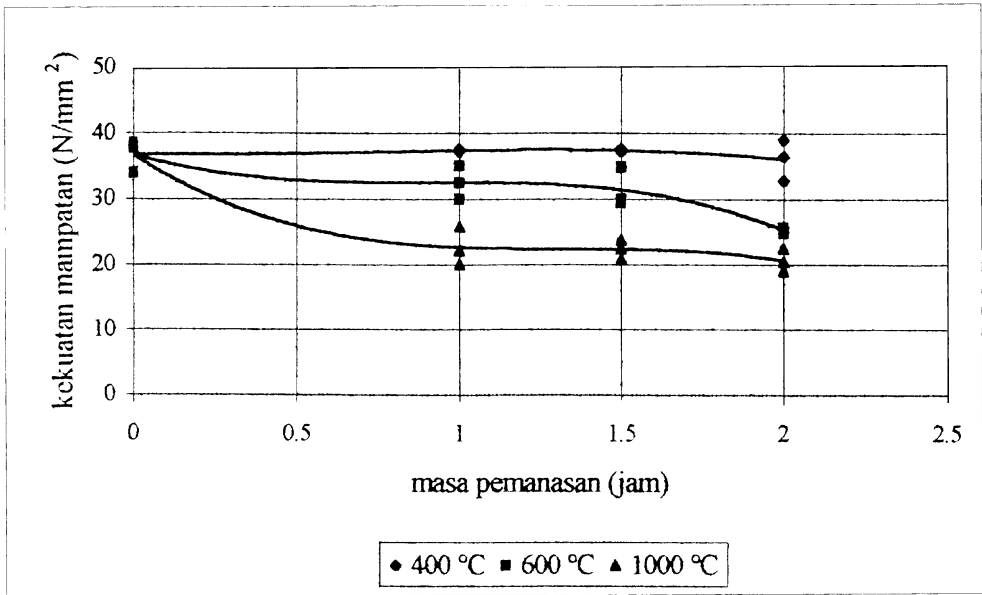
Rajah 1.6 Graf menunjukkan perubahan masa transit berdasarkan suhu pemanasan pada masa pemanasan yang berbeza.



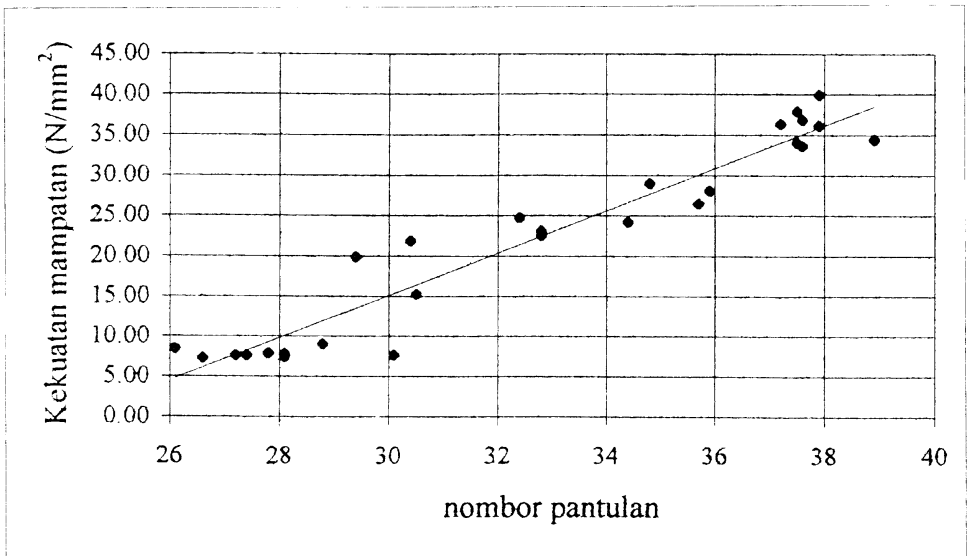
Rajah 1.7 Graf menunjukkan perubahan masa transit berdasarkan masa pemanasan pada suhu pemanasan yang berbeza.



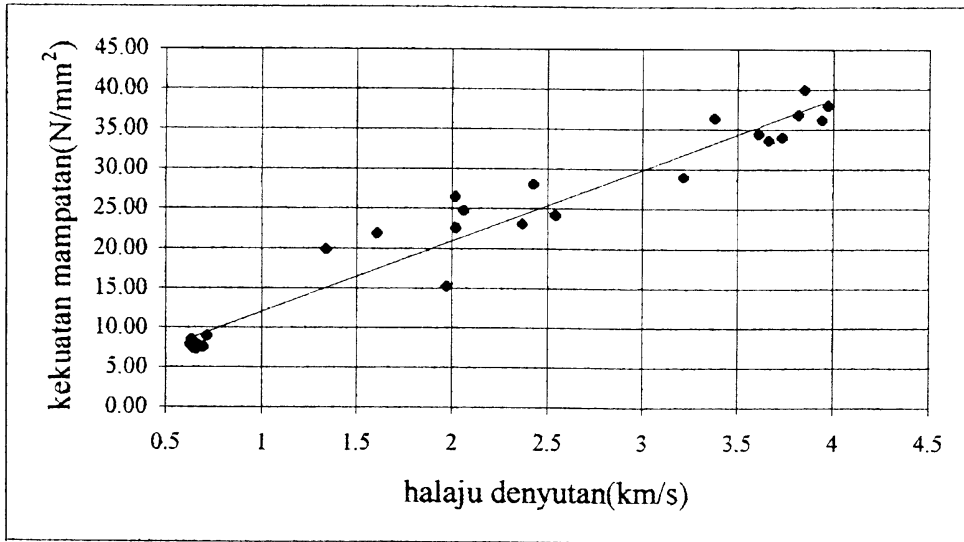
Rajah 1.8 Graf menunjukkan perubahan kekuatan mampatan konkrit terhadap suhu pemanasan pada masa pemanasan yang berlainan.



Rajah 1.9 Graf menunjukkan perubahan kekuatan mampatan konkrit terhadap masa pemanasan pada suhu pemanasan yang berlainan.



Rajah 1.10 Perhubungan diantara kekuatan mampatan konkrit terbakar dengan nombor pantulan untuk Ujian Tukul Menganjal.



Rajah 1.11 Perhubungan diantara kekuatan mampatan konkrit terbakar dengan halaju denyutan untuk Ujian Denyutan Ultrasonik.

Jadual 1.11 Peratus pengurangan kekuatan mampatan kuib konkrit (%).

Suhu (°C)	Masa Pembakaran (jam)		
	1.0	1.5	2.0
400	3.63	8.70	13.77
600	36.60	39.13	51.81
1000	80.98	79.71	79.71

Lampiran A

Jadual perubahan jisim kuib konkrit selepas dipanaskan

Suhu °C	Tempoh (jam)	No. sampel	Jisim kuib Sebelum Pemanasan (g)	Jisim kuib selepas pemanasan (g)	Pengurangan jisim kuib (g)
Suhu Bilik		A	-	-	0
		B	-	-	0
		C	-	-	0
400	1.0	A	2375	2213	162
		B	2340	2170	170
		C	2345	2194	151
	1.5	A	2335	2165	170
		B	2370	2192	178
		C	2340	2192	148
	2.0	A	2375	2205	170
		B	2360	2185	175
		C	2380	2210	170
600	1.0	A	2360	2178	182
		B	2360	2171	189
		C	2355	2171	184
	1.5	A	2380	2182	198
		B	2375	2182	193
		C	2355	2173	182
	2.0	A	2370	2179	191
		B	2380	2186	194
		C	2330	2133	197
1000	1.0	A	2315	2124	191
		B	2390	2185	205
		C	2340	2138	202
	1.5	A	2385	2191	194
		B	2425	2222	203
		C	2380	2176	204
	2.0	A	2440	2238	202
		B	2390	2182	208
		C	2390	2188	202

Lampiran B

Data-data untuk ujikaji kekuatan mampatan yang dijalankan

Suhu °C	Tempoh (jam)	No. sampel	Ujian Pundit			Ujian Tukul Menganjal		Ujian Kekuatan Mampatan (N/mm ²)
			masa transit (μs)	Kelajuan Gelombang (km/s)	kekuatan mampatan (N/mm ²)	nombor pantulan	kekuatan mampatan (N/mm ²)	
Suhu Bilik		A	20.1	4.98	-	35.5	34.0	38.00
		B	19.5	5.13	-	37.4	37.8	39.40
		C	19.5	5.13	-	38.5	38.5	40.90
400	1.0	A	25.4	3.94	-	37.9	37.6	63.20
		B	26.2	3.82	-	37.6	37.4	36.90
		C	25.2	3.97	-	37.5	37.2	38.00
	1.5	A	26	3.85	-	37.9	37.6	40.00
		B	27.3	3.66	-	37.6	37.4	33.69
		C	26.8	3.73	-	37.5	37.2	34.08
	2.0	A	29.6	3.38	-	37.2	36.5	36.40
		B	27.7	3.61	-	38.9	39.0	34.48
		C	31.1	3.22	-	34.8	32.8	29.03
600	1.0	A	39.4	2.54	-	34.4	32.5	24.25
		B	41.3	2.42	-	35.9	35.0	28.09
		C	42.3	2.36	-	32.8	30.0	23.10
	1.5	A	49.6	2.02	-	32.8	30.0	22.55
		B	48.6	2.06	-	32.4	29.4	24.75
		C	49.7	2.01	-	35.7	34.8	26.51
	2.0	A	74.8	1.34	-	29.4	24.8	19.89
		B	62.3	1.61	-	30.4	25.5	21.88
		C	50.8	1.97	-	30.5	25.7	15.27
1000	1.0	A	149.1	0.67	-	30.1	25.8	7.70
		B	159.8	0.63	-	27.8	22.1	7.90
		C	152.6	0.66	-	26.6	20.0	7.29
	1.5	A	140.8	0.71	-	28.8	23.8	8.99
		B	144.4	0.69	-	27.4	20.8	7.62
		C	159.7	0.63	-	28.1	22.5	7.84
	2.0	A	158.4	0.63	-	26.1	19.0	8.49
		B	155.8	0.64	-	28.1	22.5	7.41
		C	152.3	0.66	-	27.2	20.5	7.63