

Tahap Evaluasi Struktur Bangunan Beton Pasca Kebakaran

SUSI HARIYANI

*Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Politeknik Negeri Pontianak,
Jalan Ahmad Yani Pontianak 78124*

Abstrak: Evaluasi sebenarnya merupakan bagian dari kegiatan penilaian (*assesment*) bangunan. Untuk kegiatan evaluasi diperlukan tenaga yang cukup berpengalaman dan ahli di bidangnya, peralatan yang memadai sesuai dengan jenis dan tingkat kerusakannya. Hasil pemeriksaan dan pengujian akan digunakan sebagai bahan evaluasi, untuk mengetahui tingkat kerusakan akibat kebakaran tersebut secara akurat. Evaluasi ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah perbaikan perlu dilakukan secara sebagian atau menyeluruh serta metode perbaikan yang bisa dilakukan.

Kata-kata kunci: *Evaluasi, penilaian, beton, pasca kebakaran*

Secara umum semua bangunan sipil seperti gedung, jembatan, bangunan air harus dirancang sesuai dengan fungsinya dengan mengindahkan persyaratan kekuatan, kekakuan, kestabilan, daktilitas dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Namun setelah bangunan tersebut berdiri, terjadi kerusakan yang dapat berakibat persyaratan tersebut tidak terpenuhi lagi. Kerusakan dapat terjadi sejak bangunan dibuat maupun setelah beroperasi. Secara langsung maupun tidak, kerusakan akan menyebabkan degradasi kekuatan yang mengurangi kinerja struktur secara keseluruhan. Jika kerusakan tidak segera ditangani, akan merembet, memicu dan memperparah kerusakan yang lain.

Kerusakan struktur beton pasca konstruksi dapat disebabkan antara lain: 1) Kesalahan perencanaan, pelaksanaan dan pengoperasian; 2) Penurunan kinerja material dan elemen struktur karena umur atau masa layan; 3) Perubahan fungsi bangunan yang menyebabkan terjadi *overloading*, dan 4) Pengaruh eksternal / lingkungan.

Pada makalah ini penulis ingin mengupas kerusakan struktur beton pasca konstruksi karena pengaruh eksternal. Pengaruh eksternal akibat bencana yang sering di luar perkiraan sebelumnya, dalam hal ini akibat kebakaran. Adapun yang akan dibahas adalah mengenai tahap-tahap evaluasi yang dapat dilakukan untuk struktur beton pasca kebakaran. Untuk selanjutnya dapat dilakukan penilaian kelayakan dari bangunan tersebut jika masih ingin dipergunakan lagi sebagai bangunan hunian.

KERUSAKAN STRUKTUR BETON PASCA KEBAKARAN

Kerusakan pada struktur beton akibat kebakaran dipengaruhi oleh kenaikan suhu (temperatur), durasi kebakaran, bentuk geometri dan ukuran struktur, pembebanan, selimut beton serta jaraknya dari titik api.

Pengaruh Kebakaran Pada Beton. Beton mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan material lain, yaitu terhadap suhu tinggi dan sebagai bahan penghantar panas yang rendah. Namun demikian, pada suhu tinggi yang berlangsung cukup lama, terjadi perubahan komposisi sehingga kuat tekannya berkurang cukup drastis.

Sampai dengan suhu 200°C biasanya struktur beton belum terpengaruh, meskipun secara teoritis pada suhu 100°C air yang terkandung dalam pori sudah menguap, tetapi karena air tersebut terjebak di antara pori, maka air tersebut baru akan habis menguap pada suhu 200°C. Pada suhu antara 200°C sampai dengan 600°C air dalam pori sudah menguap seluruhnya dan meninggalkan pori-pori kosong yang akan mengurangi kuat tekan beton. Selama pemanasan akan terjadi penguapan air yang terdapat pada pori-pori sehingga tekanan uap pada pori beton meningkat. Jika uap air ini terhambat keluar, akan terjadi tekanan yang tinggi mengakibatkan terjadi *explosive spalling* menyebabkan sebagian segmen beton terlepas dari permukaannya.

Pada suhu antara 700 - 900°C akan terjadi proses kalsinasi, yaitu CaCO_3 akan berubah menjadi CaO dan CO_2 yang mengakibatkan *crack* pada beton sehingga kuat tekannya tinggal $\pm 10-20\%$. Hasil dari proses kalsinasi ini dapat dilihat dengan cara pemeriksaan kadar kapur bebas pada beton pasca bakar. Jika kadar kapur bebas melebihi jumlah kapur bebas beton normal, maka ini merupakan indikasi bahwa suhu kebakaran sudah mencapai kisaran diatas.

Pada suhu di atas 900°C, SiO_2 yang terkandung dalam pasir akan bereaksi dengan C_2S dan C_3S gel menjadi CaSiO_2 yang berwarna putih dan volumenya akan membesar sehingga juga akan mengakibatkan *crack*. Pada fase ini kuat tekan beton sangat rendah dan rapuh.

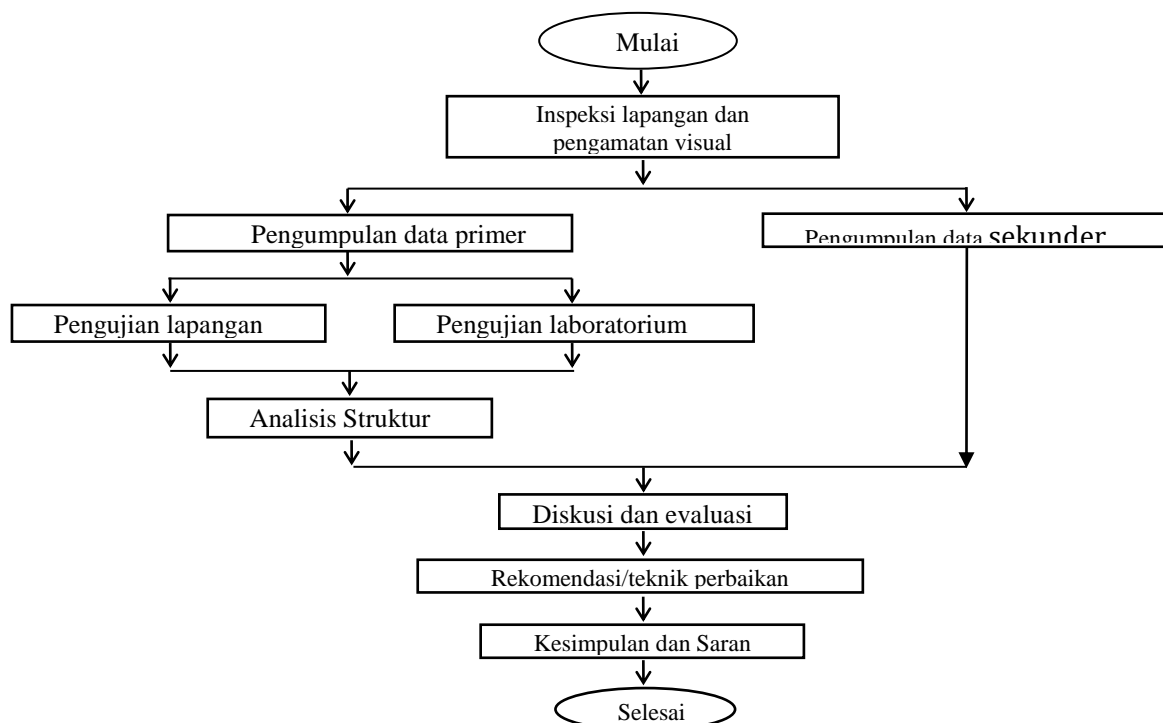
Pengaruh Kebakaran Pada Sifat Mekanik Baja Tulangan. Baja tulangan, merupakan bahan dengan daya hantar panas yang baik. Kekuatan baja tulangan sangat dipengaruhi oleh kondisi temperatur. Pada saat temperatur mencapai 500°C, tegangan leleh baja menurun menjadi sekitar 50%. Pada kondisi pendinginan kembali, tegangan leleh hampir pulih kembali. Karena tegangan leleh menurun, pemanasan yang tinggi akan membuka peluang terjadinya tekuk, terutama pada baja tulangan yang mengalami gaya tekan. Meskipun sifat mekanik baja tulangan sangat dipengaruhi suhu yang tinggi, namun dapat diatasi dengan cara pemberian selimut beton dengan ketebalan cukup yang dapat memperpanjang rembetan panas dari luar ke bajanya.

Pengaruh Kebakaran Pada Struktur Beton Bertulang. Dari uraian mengenai pengaruh kebakaran pada sifat-sifat beton maupun baja, maka dalam lingkungan temperatur tinggi, struktur beton bertulang akan mengalami hal-hal sebagai berikut: 1) Kuat tekan dan kuat tarik beton berkurang; 2) Modulus elastisitas beton akan berkurang; 3) Kuat lekat antara beton dan baja tulangan menurun; 4) Pengelupasan bagian permukaan beton meskipun suhu masih rendah. Umumnya terjadi pada plesteran yang disebabkan oleh perbedaan angka muai antara bahan plesteran dan yang dilester (beton); 5) *Explosive spalling*, spalling dalam luasan yang cukup besar, yang dapat berakibat tulangan nampak, terjadi penurunan

lekatan antara baja tulangan dan beton; 6) Lendutan balok yang disebabkan oleh penurunan modulus elastisitas beton, tegangan leleh baja, pembebanan berlebih dan lain-lain. Biasanya lendutan balok disertai dengan retak-retak geser dan atau lentur; 7) Baja tulangan tertekuk, umumnya terjadi pada kolom, karena kuat tekan dan modulus elastisitas beton menurun, terjadi pemendekan kolom. Beban yang harus dipikul oleh baja tulangan meningkat, sedangkan pada suhu tinggi, tegangan leleh baja menurun, yang dapat menyebabkan baja tulangan tertekuk. Kerusakan ini dapat dipacu oleh *spalling* pada kolom; 8) Lendutan balok, terjadi akibat adanya pembebanan dan degradasi material (beton dan baja tulangan). Dimungkinkan pada saat kebakaran, baja tulangan pernah mengalami leleh, regangan balok bagian tarik cukup besar, terjadi retak pada beton yang disertai 900°C tulangan dapat kembali seperti semula, tetapi lendutan balok tersebut tidak dapat kembali lagi seperti semula; 9) Tulangan putus akibat ketidak mampuan elemen menahan beban yang dapat diikuti oleh deformasi yang besar dan hancurnya beton bagian inti; dan 10) Kerusakan karena *overloading* akibat bagian-bagian tertentu yang runtuh, kemudian membebani pelat dan balok.

TAHAP EVALUASI

Dalam kegiatan evaluasi struktur bangunan beton pasca kebakaran, kemampuan struktur yang masih tersisa dibandingkan dengan persyaratan yang tertuang dalam peraturan atau standar yang berlaku untuk mengetahui tingkat kinerja setiap bagian struktur atau secara keseluruhan. Dari kajian ini dapat ditetapkan langkah-langkah yang perlu ditempuh, misalnya perbaikan sebagian atau seluruh bangunan, agar struktur masih memenuhi persyaratan. Pada umumnya tahapan-tahapan evaluasi untuk konstruksi beton pasca kebakaran dapat dijelaskan dengan diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir tahap evaluasi dan perbaikannya

Inspeksi lapangan (*on site inspection*) dan Pengamatan Visual.

Pengamatan dilakukan pada tahap awal dari seluruh rangkaian kegiatan di lapangan. Pengamatan visual ini bertujuan untuk memperoleh gambaran secara umum tentang tingkat kerusakan. Kerusakan yang teridentifikasi antara lain berupa kerusakan struktural dan non struktural yang dapat dikategorikan menjadi kerusakan ringan, sedang dan berat. Dari pengamatan visual tersebut akan dapat direncanakan langkah-langkah penelitian yang harus dilakukan serta cara-cara perbaikannya. Pengumpulan data dapat dilakukan secara langsung maupun melalui alat foto, video, pemukulan dengan palu dan lain sebagainya. Kerusakan beton secara visual dapat berupa retak-retak halus, retakan besar, meletusnya (*spalling*) beton di titik-titik tertentu, warna elemen setelah terbakar, maupun pengelupasan beton.

Pengukuran dimensi bertujuan untuk mengukur dan memeriksa dimensi elemen-elemen struktur yaitu balok-induk, balok anak, kolom dan pelat lantai termasuk jarak kolom dan tinggi lantai. Pengukuran dilakukan pada setiap lantai. Hasil pengukuran beserta sifat bahan merupakan bahan masukan untuk analisis ulang struktur pasca kebakaran.

Kerusakan beton secara visual dapat berupa retak-retak halus, retakan besar, meletusnya (*spalling*) beton di titik-titik tertentu, warna elemen setelah terbakar, maupun pengelupasan beton

Dengan inspeksi lapangan dapat dibuat denah sistem struktur, dimensi dan bentuk geometri komponen struktur serta peta *zoning* jenis dan tingkat kerusakan, yang nantinya sangat bermanfaat sebagai acuan kegiatan pengambilan sampel bahan untuk pengujian laboratorium dan pengujian lapangan serta evaluasi struktur.

Pengumpulan data-data sekunder. Pengumpulan informasi ini berupa dokumen-dokumen yang terkait antara lain gambar-gambar rencana dan pelaksanaan, modifikasi, *as-built drawing*, berita acara pelaksanaan pembangunan, spesifikasi bahan, hasil pengujian bahan pada saat pelaksanaan. Pencocokan *as built drawing* dengan kondisi di lapangan, foto-foto/video pelaksanaan, laporan tentang pengoperasian, perbaikan yang pernah dilakukan serta perubahan fungsi bagian-bagian bangunan.

Pengumpulan data primer. Pengumpulan data primer ini berupa pengambilan sampel di lapangan dan pengujian di laboratorium. Pengujian laboratorium biasanya dilakukan dalam rangka evaluasi mutu material pembentuk struktur, misalnya kuat tekan, kuat tarik beton, tegangan leleh baja tulangan, baja profil dan lain sebagainya. Pengujian dapat dilakukan secara fisik maupun kimiawi. Besaran-besaran yang mencerminkan mutu material dapat pula dilakukan dengan pengujian secara langsung di lapangan. Untuk pengujian laboratorium tentunya diawali dengan pengambilan sampel material, sedangkan untuk pengujian di lapangan hasilnya akan didapat secara langsung pada saat pengujian dilakukan. Pengambilan sampel biasanya merusak struktur, tingkat kerusakan karena pengambilan ini dipengaruhi oleh ukuran sampel, letak pengambilan dan cara pengambilan. Ditinjau dari tingkat kerusakan struktur setelah diambil sampelnya

atau setelah dilakukan pengujian dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis pengujian, yaitu pengujian tanpa merusak struktur (*non destructive*), setengah merusak (*semi destructive*) dan merusak (*destructive*).

Pengujian yang merupakan bagian dari kegiatan evaluasi mutu material dalam rangka penilaian struktur secara keseluruhan terdiri dari 3 tahap, yaitu perencanaan, pelaksanaan dan interpretasi hasil pengujian. Masing-masing tahap kegiatan tersebut dapat diuraikan sebagai berikut: (a) Tahap perencanaan, antara lain penentuan metode pengujian, alat uji dan alat bantu yang diperlukan serta jumlah dan lokasi/titik pengujian. Perlu diketahui bahwa tingkat kehandalan hasil uji lapangan dipengaruhi antara lain oleh pemilihan jenis pengujian serta penentuan jumlah dan lokasi pengujian. Pada tahap ini perlu dipersiapkan formulir-formulir pengujian untuk berbagai alat yang akan digunakan, yang antara lain berisi lokasi titik pengujian, jenis komponen struktur yang diuji, posisi alat uji, besaran-besaran hasil pembacaan, waktu, temperatur dan informasi lain yang penting serta siapa yang melaksanakan pengujian; (b) Tahap pelaksanaan di lapangan, yang perlu diperhatikan antara lain tingkat kesulitan pelaksanaan pengujian, penggunaan alat bantu, bahan yang diperlukan untuk pengujian, jumlah teknisi dan tenaga pembantu. Selain itu perlu diperhatikan juga keselamatan alat dan tenaga dari kemungkinan gangguan-gangguan yang timbul. Apabila pengujian harus dilakukan pada sebuah bangunan yang cukup besar perlu dilakukan pengelompokan (*zoning*) tingkat kerusakan beserta alat dan cara pengujiannya. Peta *Zoning* ini masih bersifat sementara karena baru didasarkan pada hasil *on-site inspection*; dan (c) Tahap analisis dan interpretasi hasil pengujian, yaitu perhitungan dan analisis, kalibrasi dan koreksi hasil pengujian. Analisis hasil pengujian berkait erat dengan cara uji dan ukuran sampel. Sebagai contoh hasil pengujian kuat tekan inti bor beton (sampel yang diambil dengan cara *core drill* atau *core case*) masih perlu dikoreksi karena usuran sampel uji biasanya berbeda dengan usuran sampel standar pengujian. Contoh lain misalnya hasil pengujian *Schmidt Rebound Hammer* perlu diperhatikan arah tembakannya, *pulse velocity* dari hasil pengukuran dengan UPV perlu diperhatikan jarak antara *transmitter* dan *receiver* dan cara atau posisi pengukuran.

Selain pengujian material, sering dilakukan pengujian pembebanan (*loading test*) struktur atau komponen struktur yang bertujuan untuk mengetahui lebih yakin, apakah struktur betul-betul mampu mendukung beban rencana atau tidak. Pengujian pembebanan dapat bersifat merusak, apabila setelah pembebanan permanen. Pengujian pembebanan untuk komponen struktur gedung yang terbuat dari beton bertulang diatur pada Peraturan Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Gedung tahun 2002

Pengujian Lapangan. Pada saat kebakaran, beton yang ada menjadi panas pada permukaannya dan kemudian panas dirambatkan ke bagian dalam beton secara konduksi. Suhu permukaan beton pada saat kebakaran terjadi akan selalu lebih besar dibanding suhu bagian dalam. Pemeriksaan beton pasca kebakaran dilakukan dengan memeriksa secara visual di tempat beton yang terbakar, memeriksa di tempat dengan alat pendeteksi, maupun dengan cara mengambil

contoh beton yang terbakar kemudian diperiksa di laboratorium. Pengujian lapangan terdiri dari: Pengujian tidak merusak (*Non Destructive Tests*) dan Pengujian merusak (*Semi Destructive Tests*).

Pengujian tidak merusak (*Non Destructive Tests*). Pemeriksaan kuat tekan beton di lapangan dilakukan dengan alat uji *Schmidt Hammer*. Pemeriksaan dengan alat ini dilakukan terhadap titik-titik tertentu untuk mewakili elemen struktur tertentu. Hasil pemeriksaan dengan alat ini disadari tidak begitu memadai karena deviasinya terlalu besar, namun untuk mendapatkan gambaran kasar alat ini cukup memadai.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan juga pengambilan sampel beton dengan cara *core case*, yaitu dengan cara mengebor beton untuk diambil contohnya yang berbentuk silinder kemudian diuji kuat tekan dan kandungan kapurnya di laboratorium. Pengujian ini dapat dilakukan dengan mudah. Bekerjanya alat ini berdasarkan energi pantulan dari massa pada sebuah pegas yang dikenakan pada permukaan struktur beton. Pantulan massa ini dapat diarahkan ke atas, ke bawah, horizontal atau membentuk sudut tertentu. Pada luasan sekitar 300 x 300 mm harus dilakukan pengujian paling sedikit 10 kali. Hasil pembacaan rata-rata menunjukkan hasil pengukuran. Pengujian *Rebound Hammer* dilakukan pada kolom, balok dan pelat lantai.

Microcraks Meter. Alat ini digunakan untuk mengukur lebar retak yang berukuran kecil. Alat ini dilengkapi dengan lampu sehingga dapat dilakukan pada daerah yang gelap.

Rebar Locater. Alat ini terutama digunakan untuk mendeteksi letak dan diameter tulangan serta tebal selimut beton. Alat ini juga dapat digunakan untuk membantu menentukan posisi pengambilan sampel beton/*core case*.

Pengujian merusak (*Semi Destructive Tests*). Pengujian *semi destructive tests* yang dilakukan untuk evaluasi gedung ini adalah *core case* dengan diameter 3,5 dan 5 cm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton, suhu kebakaran, kedalaman pengaruh kebakaran dari elemen-elemen struktur beton, yaitu kolom, balok dan pelat. Kuat tekan beton didapat dari pengujian tekan di laboratorium yang memasukkan pengaruh ukuran/dimensi benda uji. Suhu kebakaran dilakukan dengan pengujian kimia. Untuk mengetahui kuat tarik baja tulangan pasca kebakaran dilakukan pengambilan beberapa sampel tulangan dari kolom, balok dan pelat lantai.

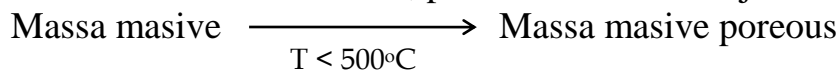
Pengujian Laboratorium. Pengujian laboratorium yang biasa dilakukan berupa pengujian mekanik serta pengujian kimia.

Pengujian Mekanik. Setelah beton diambil contohnya yang berupa silinder dengan cara *core case* kemudian dibawa ke laboratorium untuk diperiksa: berat jenis, dan kuat tekan. Pengujian berat jenis dilakukan dengan mengukur diameter, tinggi silinder, serta beratnya. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan mesin uji tekan. Dari beban tekan maksimum dibagi dengan luas penampang silinder diperoleh kuat tekan contoh beton. Apabila tinggi silinder tidak sama dengan dua kali diameternya, maka perlu diperhitungkan adanya faktor koreksi. Demikian pula

karena diameter silinder tidak sama dengan 150 mm maka perlu dikalikan faktor koreksi pula.

Pengujian Kimia. Pada saat beton menjadi panas (baik pada permukaan atau bagian dalam), terjadi proses fisis dan khemis pada beton tersebut, yaitu proses dehidrasi, proses kalsinasi dan reaksi kimia (*ceramic bonding*) membentuk mineral baru. Secara fisis, ketiga proses di atas menyebabkan massa beton pasca bakar menjadi “*poreous*”, yang mengakibatkan kuat mekanik dari beton menurun.

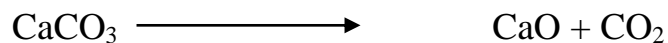
Jika suhu beton $T < 500^{\circ}\text{C}$, proses dehidrasi menjadi dominan.



(Hydrated P. Cement
+ agregat + CaCO_3)

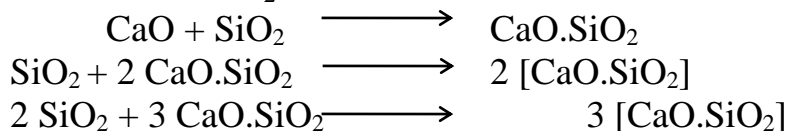
(Unhydrate P.C + Ca + agregat)

Kalsinasi, peruraian dari karbonat yang terbentuk di dalam massa beton, akan terjadi pada suhu $T > 600^{\circ}\text{C}$.



Kalsinasi maksimum pada $T = 900^{\circ}\text{C}$.

Jika suhu beton mencapai lebih dari 900°C , maka CaO bebas yang ada, sebagian bereaksi dengan ikatan keramik (*ceramic bonded*) dengan SiO_2 yang ada/agregat halus ataupun dengan C_2S atau C_3S hasil dehidrasi beton membentuk senyawa baru CaO.SiO_2 .



Dengan adanya salah satu proses di atas saja, kuat mekanik beton akan menurun.

Untuk indikasi adanya fenomena proses di atas, pada saat kebakaran terjadi, dilakukan analisis secara kimiawi. Analisa praktis yang dilakukan adalah dengan menganalisis kadar CaO bebas yang ada dalam beton, sebagai hasil proses kalsinasi CaCO_3 atau peruraian senyawa C_2S ataupun C_3S saat beton kena suhu tinggi (terbakar).

ANALISIS STRUKTUR DENGAN MENGGUNAKAN SIFAT-SIFAT BAHAN PASCA KEBAKARAN

Peraturan yang digunakan. Untuk mengetahui apakah elemen-elemen struktur mampu menahan beban-beban yang ada dan apakah perlu dilakukan perbaikan, perlu dilakukan analisis ulang. Peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisis ini adalah sebagai berikut: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987 dan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang SNI-2847-1992.

Mutu beton yang digunakan adalah mutu beton pasca kebakaran. Sedangkan baja tulangan digunakan tegangan leleh (f_y) sesuai dengan hasil uji tarik baja tulangan pasca kebakaran di laboratorium. Beban mati dan beban hidup pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan data skunder yang digunakan oleh perencana bangunan.

Perhitungan Kekuatan Sisa. Kekuatan sisa dari struktur secara keseluruhan dapat dilihat dari kekuatan sisa elemen-elemennya. Mutu bahan yang digunakan adalah mutu bahan hasil pengujian laboratorium dari sampel yang diestimasi mengalami kebakaran paling parah.

Evaluasi dan diskusi. Setelah diperoleh data tentang sistem dan dimensi struktur dan komponennya, hasil pengujian lapangan dan laboratorium serta informasi lain yang terkait. Dalam rangka evaluasi dilakukan analisis struktur, dengan masukan data yang telah diperoleh serta memperhatikan batasan peraturan/standar. Dari analisis struktur dihasilkan besaran mekanika yang digunakan untuk mengkaji, apakah masing-masing komponen struktur masih cukup baik, perlu perbaikan atau perkuatan atau harus dibongkar untuk diganti baru. Struktur atau komponen struktur dikatakan masih memenuhi persyaratan kekuatan, jika kuat rencana struktur masih lebih besar atau minimal sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan beban-beban rencana yang akan bekerja (mati, hidup, angin, gempa, beban khusus dan lain-lain), atau sering dituliskan: kuat rencana \geq kuat perlu atau $R \geq U$, $\gamma \times$ beban kerja $\geq \Phi \times$ kuat nominal komponen struktur. Dengan: faktor beban (load factor), nilainya berbeda-beda untuk berbagai jenis beban; faktor reduksi kekuatan.

Persyaratan untuk evaluasi tersebut sama dengan persyaratan untuk perencanaan. Dalam perencanaan, baik beban maupun mutu bahan masih di atas kertas, berupa rencana, masih banyak faktor ketidakpastian. Sedangkan dalam evaluasi struktur *existing* data tentang dimensi aktual, tulangan aktual (pada struktur beton), beban mati dan beban hidup masing-masing bagian, maupun mutu material hasil pengujian laboratorium dan lapangan telah diketahui secara pasti. Dengan diketahui data yang lebih pasti ini, dapat dilakukan penyesuaian faktor beban γ , maupun faktor reduksi kekuatan Φ yang akan diberlakukan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kondisi material khususnya beton pasca kebakaran umumnya mengalami degradasi kekuatan. Jika kondisi material yang ada dan hasil analisis degradasi struktur, dinyatakan bangunan dapat difungsikan lagi seperti semula dengan upaya perbaikan-perbaikan yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja material dan elemen-elemen struktur yang telah mengalami degradasi. Perbaikan didasarkan pada tingkat kerusakannya yang terdiri dari perbaikan ringan, sedang dan berat.

Saran

Evaluasi bangunan struktur beton pasca kebakaran harus mengacu pada persyaratan atau pedoman teknis yang terkait yang mengatur dan mengendalikan penyelenggaraan bangunan gedung, termasuk dalam rangka pemeriksaan kelaikan fungsi atau keandalan bangunan, baik menyangkut struktural maupun non struktur

DAFTAR PUSTAKA

- Kantor Menteri Pekerjaan Umum. (2000). Keputusan Menteri PU RI no. 10/KPTS/2000 tentang Ketentuan Teknis Pengamanan terhadap Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan.
- Kantor Menteri Pekerjaan Umum. (2000). Keputusan Menteri Negara PU RI no. 11/KPTS/2000 tentang Ketentuan Teknis Manajemen Penanggulangan Kebakaran di Perkotaan.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (1998). Keputusan Menteri PU RI no 441/kpts/1998 tentang Persyaratan Teknis Bangunan Gedung.
- Poerbo, H. (2002). Utilitas Bangunan. Jakarta: Penerbit Djambatan
- Dirjojuwono, R.W. (2003). Sistem Bangunan Pintar. Jakarta: Pustaka Wirausaha Muda.
- Triwiyono, Andreas. (2005). Bahan Ajar Evaluasi dan Rehabilitasi Struktur Beton. Program Studi Magister Teknologi Bahan Bangunan. Program Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Wilson, F. (1984). Building Material Evaluation Handbook. Melbourne: Van Norstrand Reinhold Company.