

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 40 Desember 2013)

Publikasi Bersama Federasi Besi dan Baja Jepang dan
Masyarakat Konstruksi Baja Jepang

Versi Bahasa Indonesia

Versi Bahasa Inggris *Steel Construction Today & Tomorrow* diterbitkan tiga kali dalam setahun dan disirkulasikan ke seluruh dunia kepada para eksekutif, perusahaan perdagangan industri, dan organisasi administratif yang berminat. Tujuan utama publikasi ini adalah memperkenalkan standar dan spesifikasi mengenai konstruksi baja, contoh-contoh proyek konstruksi mutakhir, teknologi dan material konstruksi mutakhir dan lainnya di bidang konstruksi bangunan dan keteknik-sipil.

Agar pembaca Indonesia dapat memahami artikel yang ada, disiapkan versi Bahasa Indonesia yang berisi teks saja, dan dilampirkan pada versi Bahasa Inggris. Dalam versi Bahasa Indonesia, foto, gambar dan tabel hanya ditampilkan judulnya saja. Oleh karenanya perlu merujuk ke publikasi versi Bahasa Inggris untuk melihat isinya. Juga, bila dibutuhkan konfirmasi teknis ataupun rincian yang lebih teknis dari sebuah teks, silakan merujuk ke publikasi versi Bahasa Inggris.

No. 40 Desember 2013: Isi

Fitur Khusus: Teknologi Tahan-api

Gedung and Daya Tahan-api	1
Proteksi Kebakaran bagi Struktur Baja	4
Redundansi Daya Tahan-api dalam Rangka Baja	6
Survei Kerusakan akibat Kebakaran pada Struktur Baja	9
Disain Tahan-api TOKYO SKYTREE	12
Baja Tahan-api	15

Teknologi Aplikasi Baja

Detil Dasar Pengelasan dan Kontrol Pengelasan	17
---	----

Operasi Terkini Komite Promosi Pasar Luar Negeri	_____
Sampul Belakang	_____

Catatan: Nomor halaman mengacu pada terbitan Versi Bahasa Inggris No. 40.

Versi Indonesia: ©Federasi Besi dan Baja Jepang 2013

Federasi Besi dan Baja Jepang
3-2-10 Nihonbashi-Kayabacho, Chuo-ku, Tokyo
103-0025, Jepang
Fax: 81-3-3667-0245 Telpon: 81-3-3669-4815
Alamat surat: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

(Halaman 1~3)

Gedung dan Daya Tahan-api

— **Perkembangan Disain Tahan-api di Jepang** —

oleh Mamoru Kohno

Profesor, Rekayasa Struktur dan Keselamatan
Kebakaran, Universitas Sains Tokyo

Alasan Menambahkan Daya Tahan-api pada Gedung.

Frekuensi kebakaran gedung pada dasarnya tidak terlalu tinggi. Dan, kebanyakan gedung malah tidak pernah mengalami kebakaran selama masa layannya. Akan tetapi, sekalipun peluang terjadi kebakaran cukup rendah, pada saat terjadi akan berdampak sangat serius tidak saja pada interior gedung tetapi juga lingkungannya. Untuk membatasi efek tersebut maka gedung perlu diberikan daya tahan-api.

Pada saat terjadi kebakaran gedung harus memungkinkan:

- (f1) Penghuni (orang yang ada di gedung) dapat dievakuasi dari gedung.
- (f2) Apabila ada penghuni yang tidak dapat meninggalkan gedung, pemadam kebakaran harus dapat mencapai mereka untuk penyelamatan.
- (f3) Apabila seluruh bangunan akan runtuh, keruntuhannya tidak membahayakan bangunan sekitarnya.
- (f4) Panas yang keluar dari bukaan atau bagian-bagian gedung yang terbakar tidak menimbulkan kebakaran pada bangunan sekelilingnya.
- (f5) Properti di dalam gedung harus terlindungi dari api.

Agar gedung memiliki kapabilitas ini, dilakukan beberapa langkah—pencegahan kebakaran, membatasi api ke area tertentu saja, dan mencegah kehancuran atau kolaps bangunan akibat panasnya api. Daya tahan-api biasanya dibagi menjadi tiga kategori kinerja: kapasitas dukung (R), insulasi (I) dan integritas (E). Untuk membatasi api ke area tertentu, insulasi dan integritas merupakan faktor penting, dan untuk mencegah kehancuran atau kolaps bangunan, yang berperan penting adalah kapasitas dukung. Contohnya, untuk mengevakuasi penghuni gedung dengan aman, stabilitas struktural gedung, termasuk rute evakuasi, harus dijaga hingga proses evakuasi selesai. Selanjutnya, untuk mencegah penyebaran api ke luar kompartemen api, dibutuhkan insulasi dan integritas untuk dinding dan lantai yang berfungsi sebagai batas kompartemen api.

Perkembangan Disain Tahan-api di Jepang

Pekerjaan disain struktural yang menjamin daya tahan-api disebut disain tahan-api. Pekerjaan ini dilakukan sedemikian rupa sehingga tercapai ketiga kinerja yang disebut di atas untuk suatu bagian struktural terkait dalam bangunan tersebut. Di Jepang, Hukum Standar Bangunan diberlakukan pada tahun 1950 setelah Perang Dunia II dan, bersama-sama dengan peraturan lainnya peraturan ini mendorong pengembangan disain tahan-api. Hingga saat ini sudah terjadi beberapa kali revisi pada Peraturan Standar Bangunan, dan ketentuan-ketentuan yang diatur terkait kebakaran sebelum revisi tahun 2000 sangatlah berbeda dengan revisi setelahnya.

Menurut Hukum Standar Bangunan, apabila terjadi kebakaran yang berakibat parah karena kapabilitas (f1) hingga (f5) di atas tidak dapat dijalankan, bangunan tersebut setidaknya tahan-api menurut kegunaannya, skala dan lokasi bagunaan. Sebelum revisi tahun 2000, yang dapat dilakukan adalah memastikan bahwa setidaknya elemen utama struktural seperti kolom, balok, lantai dan dinding, terbuat dari bagian-bagian yang tahan-api dan material yang tidak dapat terbakar. Khusus untuk kapasitas dukung, elemen struktural utama wajib terbuat dari bagian yang tahan-api dan bagian-bagiannya harus mempunyai waktu tahan-api sebagaimana digambarkan pada Tabel 1 untuk berbagai jenis bagian struktural utama (disamping itu, lantai, dinding dan atap dituntut untuk memiliki insulasi dan integritas yang sesuai). Pendekatan ini disebut sebagai disain yang memenuhi persyaratan.

Tabel 1 Waktu Tahan-api yang Dibutuhkan untuk Kapasitas Dukung

Setelah revisi tahun 2000, Hukum Standar Bangunan menerapkan juga disain dengan kinerja. Khususnya, digambarkan bahwa dalam suatu kebakaran bangunan tahan-api haruslah dirancang dengan menggunakan bagian-bagian yang dapat bertahan hingga api dipadamkan. Untuk memastikannya, Peraturan ini menerapkan metoda verifikasi daya tahan-api.

Sementara itu, apabila di masa depan teknologi daya tahan-api dan metode verifikasinya telah dikembangkan dan diterapkan, namun ketahanannya terhadap api tidak dapat dihitung dengan prosedur menurut Peraturan, maka dimungkinkan bagi

Kementrian Infrastruktur, Pertanian, Transport dan Pariwisata untuk menentukannya berdasarkan evaluasi yang dilakukan oleh sebuah komite yang terdiri dari para pakar terkait.

Sebelum tahun 2000 hanya disain tahan-api yang mengikuti spesifikasi yang dapat dilaksanakan, dengan beberapa pengecualian. Saat ini, dimungkinkan untuk menerapkan disain berdasarkan kinerja disamping disain berdasarkan spesifikasi. (Lihat Gbr. 1)

Gbr. 1 Daya tahan-api dan Hukum Standar Bangunan

Contoh Kolaps Bangunan Berskala Besar akibat Disain Tahan-api yang Tidak Memadai

Bangunan yang nampaknya baik sekalipun, apabila disain tahan-apinya tidak memadai dapat mengalami bencana besar. Di bawah ini diberikan sebuah contoh disain tahan-api yang tidak memadai yang telah kami investigasi.

Sebuah kebakaran terjadi tengah malam pada tanggal 12 Februari 2005 (waktu setempat) pada sebuah gedung tinggi 32 lantai (Windsor Building) yang dibangun di area AZCA di pusat kota Madrid, ibukota Spanyol. Kebakaran cepat meluas ke atas dan ke bawah dan melahap tiap lantai. Sebuah rangka besar kolaps di lantai tengah dan atas dan mengakibatkan dinding, bagian-bagian rangka dan isi bangunan terserak ke sekeliling gedung. Kebakaran itu tidak hanya membahayakan gedung Windsor, tapi juga mengakibatkan ibukota Spanyol sama sekali tidak dapat berfungsi karena harus menutup jalan di sekitar pusat bisnis dan harus menunda pengoperasian kereta bawah tanahnya.

Foto 1 menunjukkan gambar lengkap kerusakan pada bulan Maret akhir, satu setengah bulan setelah kebakaran. Kebanyakan kolom, balok, lantai dan dinding penahan tanah menggunakan struktur beton bertulang sementara kolom keliling luar gedung, bagian tepi terbuka ruang kantor terbuat dari baja. Dengan adanya dua lantai teknis yang terletak di lantai tengah dan bawah, gedung ini secara struktur terbagi menjadi bagian rendah (sampai tiga lantai di atas tanah), dan bagian menengah (lantai empat sampai enam belas) dan bagian tinggi (lantai tujuh belas ke atas). Gbr. 2 menunjukkan elevasi perangkaan, dan Gbr. 3 adalah denah lantai tujuh belas sampai dua puluh enam, termasuk lantai dua puluh satu tempat mulainya kebakaran.

Gedung Windsor diselesaikan pada tahun 1977 dan memenuhi standar tahan-api pada masa itu. Akan tetapi,

sebagaimana terlihat dalam foto, keliling luar bagian tinggi dan slab lantai keduanya mengalami kolaps skala besar, dan bersamaan dengan itu bagian menengah yang bertumpuk dengan lantai teknis benar-benar hancur dalam kebakaran ini. Dalam disain tahan-api sekarang, sekalipun harus terjadi kebakaran, api akan terkurung dalam sebuah kompartemen api, dan tidak akan meluas ke lantai lainnya, kolom, lantai dan bagian struktural lainnya tidak akan mudah kolaps.

Karena Gedung Windsor didisain berdasarkan standar peraturan saat itu, proteksi kebakaran tidak diterapkan untuk kolom baja keliling luar gedung. Selain itu, penghubung antara lantai dengan panel eksterior yang sedianya merupakan faktor penting untuk menjadi kompartemen api antar lantai, malah terbuat dari bahan mudah terbakar dan dapat memungkinkan api menembus keluar dari tempat asalnya (lihat Gbr. 4). Dengan kondisi demikian, gedung ini tidak didisain untuk tahan-api. Oleh karenanya, api cepat merambat keseluruh bangunan dan mengakibatkan kolaps besar-besaran. Untunglah karena kebakaran terjadi tengah malam pada hari Sabtu, dimana hanya terdapat beberapa orang di gedung, tidak terdapat korban mati.

Gbr. 2 Elevasi Perangkaan Gedung Windsor

Gbr. 3 Denah tipikal (Lantai Atas) Gedung Windsor

Gbr. 4 Seksi Area Keliling Gedung Windsor

Foto 1 Kerusakan akibat kebakaran pada Gedung Windsor, satu setengah bulan setelah kejadian

Menuju Peningkatan Ketahanan Bangunan terhadap Api

Dalam artikel ini. Kami menggambarkan perlunya daya tahan-api pada bangunan, perkembangan disain tahan-api di Jepang dan contoh kolaps skala besar yang diakibatkan oleh diadopsinya disain tahan-api yang tidak tepat. Dalam disain tahan-api yang ada saat ini di Jepang, tujuan utama merealisasi bangunan yang aman terhadap api telah tercapai. Akan tetapi, untuk meningkatkan kesesuaian disain tahan-api dan aplikasinya, R&D harus mempertimbangkan lima tugas dibawah ini:

- Pengertian akan properti suhu tinggi dari berragam produk baja
- Pengembangan proteksi kebakaran yang mempertimbangkan efisiensi aplikasi, durabilitas dan lingkungan
- Promosi perencanaan perangkaan yang kaya akan redundansi tahan-api

- Pengembangan metode uji standar yang dapat menjamin kinerja dengan tepat
- Strukturisasi framework sosial untuk mengases daya tahan-api pada keseluruhan bangunan

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 4~5)

Proteksi Kebakaran untuk Struktur Baja

oleh Shigeki Tasaka

Korporasi Riset Bangunan Umum Jepang

Garis Besar Proteksi Kebakaran

Karena daya tahan terhadap api tidak secara langsung diberikan pada kolom dan balok struktur baja, perlu untuk menyediakan proteksi kebakaran pada bangunan. Yang saat ini sering digunakan adalah proteksi kebakaran dengan penyemprotan, pelapisan, pembungkusan dan papan bentukan yang biasanya digunakan untuk lapisan tunggal atau untuk laminasi.

Akan tetapi, untuk dinding eksterior tidak mungkin dibuat jarak dengan kolom atau balok, sehingga sulit untuk membuat proteksi kebakaran ke titik kontak dengan hanya menggunakan material lapis tunggal ataupun dengan laminasi. Untuk mengatasinya, perlu untuk memperlakukan dinding eksterior sebagai bagian dari sistim proteksi kebakaran untuk kolom dan balok. Inilah kemudian yang memicu pengembangan metode komposit proteksi kebakaran.

Di Jepang, penerapan sebuah metode proteksi kebakaran tertentu pada struktur tahan-api harus memenuhi kinerja yang ditentukan pada Hukum Standar Bangunan. Metode proteksi kebakaran tersebut harus diuji dan dievaluasi oleh organisasi evaluasi kinerja yang ditunjuk, dan kemudian apabila proteksi kebakaran tersebut memenuhi maka barulah diberikan persetujuan dari kementerian.

Proteksi kebakaran yang telah mendapatkan persetujuan kementerian dicantumkan di *website* Kementerian Infrastruktur, Pertanahan, Transport dan Pariwisata (KIPTP/MILT). Tabel 1 menunjukkan nomor persetujuan. Struktur proteksi kebakaran komposit mencapai hampir setengah dari keseluruhan yang disetujui. Sementara itu sejumlah 35 persetujuan diberikan pada pelapisan busa *intumescent* yang diaplikasikan pada kolom, dan 19 pada balok.

Di Jepang, penyemprotan *rockwool* dan papan kalsium silikat banyak digunakan dalam pekerjaan proteksi kebakaran praktis, dan penyemprotan

rockwool dan papan beton pracetak atau panel ALC banyak digunakan dalam konstruksi proteksi kebakaran komposit.

Tabel 1 Persetujuan Kementerian untuk Proteksi Kebakaran Struktur Baja

Jenis Material Proteksi Kebakaran

Persetujuan kementerian oleh MILT diberikan untuk dua jenis proteksi kebakaran.

- Struktur proteksi kebakaran yang menggunakan material lapisan tunggal atau material laminasi untuk melapisi ke empat sisi kolom dan tiga sisi balok (tidak termasuk permukaan yang menghadap lantai)
- Kolom—Satu permukaan terproteksi oleh dinding eksterior dan ketiga permukaan lainnya dengan material lapisan tunggal atau laminasi (tidak termasuk permukaan yang menghadap lantai) (Lihat Gbr. 1 dan 2)

Jenis terakhir digolongkan sebagai struktur proteksi kebakaran komposit, dimana dinding eksterior juga berperan pada proteksi kebakaran. Sambungan antara dinding eksterior dengan material proteksi diperkuat dengan material penyokong, rusuk atau batang penguat untuk menghilangkan celah.

Jenis Material Proteksi Kebakaran

Material proteksi kebakaran dapat dikelompokkan kedalam empat jenis:

• Semprotan dan pelapisan

Rockwool, material gypsum dan semen disemprot langsung atau dilapis ke bahan baja. Semua material ini biasanya dipakai dalam keadaan basah. Foto 1 menunjukkan contoh aplikasi proteksi kebakaran *rockwool* yang disemprot.

• Pembungkusan

Bahan flanel *rockwool*, *bracket wool* keramik dan bahan serat anorganik dibungkuskan keliling baja. Semua material ini diaplikasikan dalam keadaan kering dan dikencangkan dengan menggunakan batang pengikat. Foto 2 menunjukkan contoh aplikasi menggunakan proteksi kebakaran bahan flanel serat.

• Material bentukan

Bahan papan seperti papan kalsium silikat campuran serat, papan gypsum dan papan kayu dipasang atau ditempelkan pada bahan baja. Material ini biasanya diaplikasikan dalam kondisi kering dan dikencangkan dengan menggunakan batang pengikat atau zat perekat. Foto 3 menunjukkan contoh aplikasi

papan kalsium silikat campuran serat.

• Pelapisan *Intumescent*

Lapisan atas dan lapisan dasar material pelapis busa diaplikasikan langsung dengan laminasi ke baja. Foto 4 menunjukkan contoh aplikasi pelapisan *intumescent* busa.



Material proteksi kebakaran lainnya adalah lembar muai panas dan pak aluminium lembab. Di samping itu, terdapat juga proteksi kebakaran dengan material campur.

Gbr. 1 Contoh Struktur Proteksi Kebakaran untuk Kolom Baja

Gbr. 2 Contoh Struktur Proteksi Kebakaran untuk Balok Baja

Foto 1 Contoh aplikasi proteksi kebakaran dengan penyemprotan *rockwool*

Foto 2 Contoh aplikasi proteksi kebakaran bahan flannel serat anorganik

Foto 3 Contoh aplikasi proteksi kebakaran papan kalsium silikat campuran serat

Foto 4 Contoh aplikasi pelapisan *intumescent* busa



(Halaman 6~8)

Redundansi Daya Tahan-api pada Rangka Baja

Oleh Kenichi Ikeda

Profesor, Institut Riset Sains dan Teknologi;
Universitas Sains Tokyo

Konsep Redundansi dalam Perangkaan Baja selama Kebakaran

Asesmen redundansi perangkaan selama kebakaran berbeda dengan asesmen suhu ruangan, dan karenanya perlu memeriksa gaya luar yang bekerja selama kebakaran dan perubahan karakteristik kekuatan struktur akibat gaya tersebut.

Faktor pertama yang perlu dipertimbangkan dalam pemeriksaan gaya luar yang bekerja adalah bahwa kebakaran terjadi di suatu bagian bangunan. Gbr. 1 menunjukkan perbedaan gaya luar dalam disain tahan-api dengan disain gempa. Beban gravitasi bumi bekerja vertikal di seluruh struktur bangunan; dan, selama terjadinya gempa bangunan akan bergetar dan resultan energi seismik bekerja tidak hanya pada pondasi tetapi juga pada seluruh struktur bangunan. Sebaliknya, karena kebakaran biasanya terjadi di suatu

bagian bangunan dan dipadamkan sebelum menyebar ke seluruh bangunan, beban suhu akibat api bekerja hanya pada sebagian bangunan. Oleh karenanya suhu struktur yang berada di lokasi kebakaran akan meningkat, tetapi bagian yang tidak tersentuh api tidak akan terpengaruh.

Faktor lain yang perlu dipertimbangkan terkait karakteristik kekuatan struktur selama kebakaran adalah bahwa terjadi kenaikan suhu akibat panas, dan karena kenaikan suhu ini kemudian terjadi hilangnya kekuatan dan kekakuan dan struktur mengalami pemuaian panas. Gbr. 2 menunjukkan konsep perilaku struktur bangunan selama kebakaran. Pada tahap awal kebakaran rangka struktur mengalami deformasi akibat pemuaian panas yang terjadi pada elemen-elemennya. Sementara itu, panjang kolom biasanya mendekati tinggi lantai, dan panjang balok yang digunakan dalam rangka baja adalah beberapa kali panjang kolom. Biasanya pemuaian panas balok sangat nyata dalam suatu kebakaran. Pemuaian panas balok terjadi dalam arah aksial, tetapi daya tahan kolom akan menahan pemuaian panas sehingga akan terjadi kekakuan tekuk yang akan dengan mudahnya menimbulkan deformasi tekuk pada balok. Oleh karenanya, panjang total balok yang digunakan dalam satu lapisan merupakan faktor penting dalam pemeriksaan stabilitas rangka selama kebakaran. Dan, karena balok kehilangan kekakuannya secara progresif dengan meningkatnya suhu, maka akan terjadi defleksi akibat beban vertikal. Pada saat bersamaan, kolom akan mengalami pengurangan kekuatan sebagai akibat dari efek panas dari kebakaran.

Gbr. 1 Perbedaan Gaya Luar antara Disain Tahan-api dengan Disain Gempa

Gbr. 2 Konsep Perilaku Struktur Bangunan selama Kebakaran

Pada tahap ini, dalam struktur rangka umumnya, sekalipun sekelompok bagian yang berada di seksi dimana terjadi kebakaran kehilangan kekuatan, bagian-bagian di sekelilingnya tetap mempertahankan kekuatannya sehingga dapat menyebar-ulang tegangan dan mencegah kolaps seluruh rangka. Gbr. 3 menunjukkan gambar penyebaran-ulang tegangan. Dengan perangkaan seperti dalam gambar, sekalipun kebakaran terjadi di lantai bawah, gaya aksial yang sebelumnya ditahan oleh kolom-kolom ini kemudian ditahan oleh rangka lantai atas melalui penyebaran-ulang tegangan, yang pada akhirnya mencegah kolaps rangka. Dalam hal kolom dan balok

tersambung secara rigid, tegangan akan mudah disebar-ulang. Selanjutnya dalam hal dimana sejumlah balok terpasang di lantai atas dan terdapat *allowance* dalam jumlah kekuatan tekuk balok, peluang terjadinya kolaps lebih kecil.

Gbr. 3 Gambar Penyebaran-ulang Tegangan Rangka

Karena daya tahan-api merupakan persyaratan konstruksi bangunan di Jepang, maka sambungan rigid biasanya digunakan untuk sambungan balok-kolom. Selanjutnya, untuk menangani gaya horisontal yang timbul akibat gempa bumi, kolom dan balok diberikan kekuatan yang melebihi kebutuhan untuk menahan beban vertikal. Biasanya akan terjadi kebakaran setelah gempa bumi, namun pada saat gempa bumi tidak terjadi kebakaran hebat yang dapat mengancam stabilitas struktur bangunan. Sebaliknya, ketika terjadi kebakaran hebat yang mengancam stabilitas bangunan, sangatlah tidak mungkin terjadi gempa bumi yang dapat mengancam stabilitas bangunan. Oleh karenanya, penambahan kekuatan yang diberikan untuk menangani gaya seismik akan meningkatkan faktor keselamatan untuk mencegah kolaps rangka selama kebakaran. Biasanya bangunan yang dibangun dengan ketahanan seismik memiliki ketahanan terhadap api lebih tinggi, dan oleh karenanya memiliki redundansi rangka yang lebih tinggi juga terkait kebakaran.

Disain tahan-api berbasis kinerja diaplikasikan dengan mempertimbangkan penyebaran-ulang tegangan rangka selama kebakaran seperti disebut di atas. Dalam hal tersebut, perlu diperiksa daya tahan-apinya dengan memperhitungkan tidak hanya kondisi akhir kebakaran namun juga perkembangan kebakarannya. Dalam konstruksi bangunan saat ini, komposisi rangka bidang dan vertikal semakin kompleks. Oleh karenanya perlu mempersiapkan rencana perangkaan dengan mempertimbangkan kondisi deformasi selama kebakaran dari perspektif perubahan material.

Contoh Disain Tahan-Api yang Memanfaatkan Redundansi

Gbr. 4 menunjukkan contoh disain tahan-api yang memanfaatkan redundansi perangkaan dalam kebakaran. Bangunan terdiri dari mega-rangka yang mengadopsi kolom diagonal pada lingkaran luarnya. Penurunan kekuatan pada batang struktural horisontal seperti balok, akan mengakibatkan kolaps dan runtuhnya lantai. Oleh karenanya perlu menyediakan perlindungan api bagi batang struktural ini agar

kekuatannya dapat dipertahankan. Sekalipun batang vertikal seperti kolom mengalami penurunan kekuatan, tegangan yang ditahan oleh kolom tersebut dapat di sebar-ulang ke kolom diagonal yang membentuk mega-rangka.

Gbr. 4 Kondisi Perangkaan ketika Bagian Batang Struktur Kehilangan Kekuatan akibat Kebakaran (Terlihat dari perbesaran deformasi)

Disain contoh ini tidak membutuhkan penggunaan proteksi kebakaran untuk beberapa kolom dengan cara memeriksa dan memastikan penyebaran ulang tegangan. Dengan melakukan pemeriksaan di samping mempelajari perkembangan api, diperoleh dua kondisi tegangan: tegangan di rangka keliling luar akibat peningkatan suhu kolom; dan tegangan akibat penurunan tegangan pada kolom. Disain tahan-api seperti yang diterapkan pada mega-rangka semakin banyak digunakan karena mudah bagi kolom terkait untuk menyebar-ulang tegangan ke kolom diagonal yang memiliki tegangan tinggi.

Menuju Peningkatan Redundansi selama Kebakaran Bangunan

Pada bangunan biasa, dapat digunakan disain tahan-api pada “tingkat member” sehingga ketahanan seluruh gedung terhadap api selama ada kebakaran akan dihasilkan apabila semua member adalah tahan-api. Penerapan disain tahan-api demikian menjamin daya tahan-api rangka bangunan sederhana pada saat kebakaran. Akan tetapi, sekalipun daya tahan-api pada tingkat member dapat dipastikan, ada juga kasus dimana sebuah bangunan mengalami kolaps yang dipicu oleh pemuai panas member struktural dari bangunan sekitarnya selama kebakaran—sebagai contoh, kolapsnya gedung WTC7 di World Trade Center. Dalam disain struktur bangunan rangka-baja, perlu dibuat rencana struktur yang memperhitungkan redundansi struktur pada saat kebakaran.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 9~11)

Survei Kerusakan akibat Api pada Struktur Baja

oleh Kenichi Ikeda

Profesor, Institut Riset Sains dan Teknologi,
Universitas Sains Tokyo

Konsep Survei Kerusakan akibat Api

Kebakaran mengakibatkan kerusakan terlokalisir dalam gedung akibat panasnya api. Karena kerusakan terjadi hanya pada bagian-bagian tertentu, biasanya bangunan yang terbakar dapat digunakan kembali. Agar dapat digunakan kembali, perlu dipahami tingkat kerusakan akibat api dan kemudian menentukan apakah bangunan tersebut masih dapat digunakan.

Penyelidik kerusakan akibat kebakaran akan mendiagnosa tingkat kerusakan dan mengusulkan jenis perbaikan dan pemulihan bagaimana yang diperlukan dari aspek rekayasanya. Target sejauh mana bangunan yang rusak harus direstorasi ditentukan oleh pemilik bangunan dan/atau administrator gedung, dan para penggunanya.

Apabila bangunan target harus direstorasi ke kondisi awal, kinerja yang disepakati pada tahap kontrak harus menekankan restorasi lengkap. Sebaliknya, dalam hal dimana masa layan bangunan memang sudah menurun dan sudah dijadwalkan untuk direstorasi segera, maka kinerja target dapat ditentukan hanya sampai tingkat cukup untuk bertahan beberapa bulan ke depan saja. Dalam banyak hal, kinerja yang diharapkan adalah sama dengan kinerja sebelum kebakaran. Dengan fokus utama pada kinerja target, Institute Aristektural Jepang sudah mempersiapkan “Petunjuk untuk Diagnosa Kerusakan Bangunan akibat Kebakaran dan Metoda Perbaikan dan Perkuatan dan Komentar” (draf).

Alur Kerja Survei Kerusakan akibat Kebakaran

Gbr. 1 menunjukkan alur kerja mulai dari survei kerusakan sampai kerja perbaikan/perkuatan. Survei kerusakan kebakaran terdiri dari tiga bagian sebagai berikut:

- Survei awal: Pengumpulan informasi terkait kerusakan bangunan dari mulai penggambaran dan informasi tentang kebakarannya dari koran dan media lainnya sebelum kunjungan ke lokasi
- Survei Primer: Survei lokasi mengenai kondisi kebakaran
- Survei sekunder: Pelaksanaan pengujian member struktur yang diambil dari bangunan yang terbakar, apabila diperlukan

Berdasarkan hasil survei, rentang dan tingkat kerusakan akibat kebakaran kemudian diagnosa. Kemudian, dibuat rencana perbaikan dan perkuatan berdasarkan diagnosa kerusakan. Pada tahap ini, dicari kesepakatan terkait kinerja target yang dipilih untuk kemudian dilakukan perbaikan dan perkuatan.

Gbr. 2 dan 3 menunjukkan alur kerja dalam

menentukan tingkat kerusakan kebakaran pada bangunan struktur baja. Dalam melakukan survei bangunan baja, penentuan apakah akan digunakan kembali sangat dipengaruhi tidak hanya oleh penurunan kekuatan bahan akibat panas api, tetapi juga oleh deformasi member dan rangka akibat muai panas. Karenanya, tugas utama dalam survei kerusakan akibat kebakaran adalah melakukan estimasi tingginya temperature member rangka baja dan mengukur deformasi member.

Estimasi tingginya suhu member struktur baja dilakukan untuk melakukan asesmen perubahan karakteristik bahan rangka baja yang akan digunakan kembali. Perubahan properti mekanik baja mutu-tinggi dan baut mutu-tinggi, yang kekuatannya ditingkatkan saat produksi, terjadi pada suhu yang relatif rendah. Bahkan terdapat juga member struktur baja yang hampir tidak terkena panas api, tetapi mengalami deformasi besar akibat muai panas member baja lainnya. Untuk bangunan struktur baja, suhu panas dan deformasi member perlu disurvei untuk mendiagnosa kerusakan akibat kebakaran.

Gbr. 1 Alur Survei Kebakaran untuk Pekerjaan Perbaikan/Perkuatan

Gbr. 2 Alur Kerja Perbaikan dan Perkuatan Rangka Baja berdasarkan Perkiraan Suhu Panas

Gbr. 3 Alur Kerja Perbaikan dan Perkuatan Rangka Baja berdasarkan Deformasi

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 12~14)

Disain Tahan-api TOKYO SKYTREE
oleh Tomoyuki Someya, Dep. Disain Struktural, ,
Nikken Sekkei Ltd.

TOKYO SKYTREE® merupakan menara penyiaran terpisah yang dibuka pada bulan Mei 2012 di Tokyo. Bangunan ini memiliki ketinggian 634 m, dan terutama berfungsi sebagai menara penyiaran dan menara observatorium. Berdasarkan persyaratan Hukum Standar Bangunan, menara ini digolongkan sebagai bangunan dalam sebuah struktur (Gbr. 1). Keseluruhan struktur terdiri dari bagian rendah dengan zona komersial dan seksi menara yang terpusat pada observatorium.

Gbr. 1 Pengelompokkan ke dalam Bangunan dalam Struktur , Bagian Menara dan Bagian Rendah TOKYO

SKYTREE

Ketika terjadi kebakaran pada sebuah bangunan, prioritas utama adalah memastikan bahwa semua pengunjung dapat dievakuasi dengan selamat. Selanjutnya adalah kemungkinan terjadinya *flashover* yang akan mudah mengakibatkan kolaps struktur secara total, tergantung skala dan lokasi bangunan. Disain tahan-api ditujukan untuk mencegah terjadinya kolaps bangunan demikian.

Dalam disain tahan-api, penting untuk memperkirakan kemungkinan kejadian *flashover*. Kebakaran yang mempengaruhi sebuah bangunan diklasifikasikan menurut lokasi kejadiannya, apakah di luar atau di dalam gedung. Dalam disain TOKYO SKYTREE, diasumsikan terjadi kebakaran internal dan eksternal dan kemudian diberikan proteksi kebakaran yang tepat serta cara lainnya untuk mencegah ketidak-stabilan menara seandainya terjadi kebakaran.

Disain Tahan-api khusus untuk TOKYO SKYTREE

Disain tahan-api yang diadopsi untuk menara ini cukup aman terhadap semua asumsi kebakaran yang membutuhkan pertimbangan legal. Di samping itu, karena pentingnya menara ini dan juga ukurannya yang besar, asumsi kebakaran dalam disain ini melampaui tingkat yang secara legal dibutuhkan, sehingga strukturnya siap untuk kondisi terburuk sekalipun.

Salah satu asumsi kebakaran yang melampaui tingkat konvensional adalah terkait kebakaran di perkotaan. Kebakaran di perkotaan diasumsikan dapat menjadi musibah kebakaran yang melahap area di sekitar gedung. Sebagaimana dijelaskan di bawah ini, disain tahan-api yang diadopsi untuk TOKYO SKYTREE tidak akan menimbulkan masalah struktural sekalipun dalam kondisi kritis.

Fitur khusus unik pada TOKYO SKYTREE adalah “lantai kaca” yang dipasang pada dek (observasi) *Tembo*, yang memungkinkan pengunjung melihat langsung ke bawah. Apabila kacanya jatuh dalam suatu kebakaran, maka akan terjadi kerusakan serius di area sekitarnya. Untuk mencegah kecelakaan demikian, dilakukan suatu uji tahan-api dengan cara memanaskan sebuah model lantai kaca skala penuh di dalam suatu tungku pembakaran untuk melihat apakah model tersebut dapat menahan api yang dibuat. Hasil uji menunjukkan tidak ada masalah yang timbul, seperti terlihat di bawah ini.

Pembuktian Daya Tahan-api Seksi Menara dalam Kebakaran Urban

Hal pertama yang dilakukan terkait kebakaran urban adalah mengestimasi peluang gedung dan sekitarnya untuk tidak terbakar (*incombustibility*) dan kemudian mengestimasi intensitas kebakaran yang mungkin terjadi di lokasi dan sekitarnya berdasarkan tingkat *incombustibility* nya. Kecepatan angin dan faktor lainnya digunakan untuk menghitung suhu panas pada menara di sumber api, dan kemudian stabilitas rangka pada suhu tersebut dapat diketahui. Gbr. 2 menunjukkan model yang digunakan untuk menghitung suhu panas yang disebabkan oleh kebakaran yang diasumsikan dan juga contoh analitis terkait. Gbr. 3 menunjukkan pendekatan untuk membuktikan stabilitas struktur rangka menara dalam suatu asumsi kebakaran. Sekalipun terjadi kebakaran urban, bagian-bagian struktural tetap berada dalam batas elastiknya, yang menunjukkan bahwa menara ini dapat mempertahankan stabilitas strukturnya.

Gbr. 2 Model untuk Menghitung Suhu Panas akibat Suatu Asumsi Kebakaran dan Contoh Analitisnya (Kecepatan angin: 0.5 m/det)

Gbr. 3 Membuktikan Stabilitas Struktural Rangka Menara dalam Suatu Asumsi Kebakaran (Konsep Muai Panas dan Perhitungan *Drift* antar-lantai)

Garis Besar Uji Daya Tahan-api untuk Lantai Kaca

Gbr. 4 menunjukkan lokasi dan tampak potongan lantai kaca. Seksi bawah lantai adalah untuk bagian luar, dan seksi atas untuk bagian dalam. Dalam darurat kebakaran, bagian atas akan terpapar api langsung. Uji tahan-api dilakukan dengan memasukkan model lantai kaca bagian dalam skala penuh ke dalam tungku pembakaran. Foto 1 menunjukkan spesimen uji. Untuk metoda uji, digunakan uji panas dengan beban dimana spesimen dipanaskan dengan diberikan beban di atasnya. Sementara itu, kelima member silindris putih dalam Gbr. 1 adalah penutup tahan-api untuk *jig* pengukur deformasi.

Foto 2 menunjukkan spesimen sedang dipanaskan. Dalam uji ini durasi kebakaran dalam gedung diasumsikan 36 menit, dan diterapkan periode pemanasan standard satu jam. Foto 3 and 4 menunjukkan spesimen setelah pemanasan. Sekalipun diuji beban dengan durasi api lebih lama daripada asumsi kebakaran dalam gedung, retak hanya terjadi pada dua lapisan atas dari benda uji 4-lapis laminasi, yang menunjukkan bahwa lantai kaca akan tetap aman

pada saat terjadi kebakaran.

Gbr. 4 Lokasi Lantai Kaca dan Asumsi Spesimen Uji

Foto 1 Spesimen uji

Foto 2 Spesimen uji dipanaskan (dari jendela pengamatan tungku uji)

Foto 3 Spesimen uji setelah Pemanasan

Foto 4 Setelah pemanasan (dua lapisan atas dilepaskan untuk memastikan tidak terjadi retak pada lapis ketiga laminasi kaca

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 15~16)

Baja Tahan-api

Oleh Komite Pencegahan Kebakaran dan Ketahanan terhadap Api Federasi Besi dan Baja Jepang

Hukum Standar Bangunan di Jepang menggambarkan bahwa bangunan khusus (gedung apartemen, hotel dan sejenisnya) yang digunakan terutama oleh beragam orang dalam jumlah banyak yang berada di daerah urban haruslah berupa konstruksi tahan-api. Dalam konstruksi tahan-api, kolom, balok dan bagian struktural utama lainnya wajib memenuhi spesifikasi ketahanan terhadap api atau dilakukan perhitungan ketahanan terhadap api untuk bagian-bagian struktur.

Salah satu cara untuk memenuhi spesifikasi tahan-api dalam opsi di atas adalah dengan memberikan proteksi kebakaran sedemikian rupa sehingga suhu baja selama kebakaran tidak naik. Karena suhu kebakaran biasanya sekitar 1.000°C, secara konvensional biasanya perlu ditambahkan proteksi kebakaran pada baja yang sudah diisolasi panas agar dapat menahan suhu sampai 350°C. Akan tetapi, dengan baja tahan-api (*Fire-resitant*, FR), isolasi panas memadai hingga 600°C, sehingga akan mengurangi penggunaan proteksi kebakaran. Di samping itu, dalam hal di mana kondisi kebakaran dan kondisi disain bangunan selama kebakaran dapat mempertahankan panas baja di bawah 600°C, baja FR dapat diaplikasikan tanpa proteksi kebakaran. Dalam hal ini aplikasi baja FR mengurangi biaya konstruksi, mengurangi waktu konstruksi dan berakibat pada penggunaan ruang dalam yang lebih efektif.

Properti Suhu-tinggi Baja FR yang Menonjol

Daya tahan baja FR terhadap suhu tinggi sudah banyak dikembangkan dengan penambahan sejumlah

logam paduan seperti Mo, Nb dan Cr dan dengan mengontrol kondisi perlakuan-panas. Kuat leleh akibat suhu-tinggi baja FR sudah ditingkatkan dengan presipitasi dan distribusi nitrida karbon, dan dengan pengerasan perlakuan larutan elemen logam paduan. Beberapa fitur baja FR adalah sebagai berikut:

- Ketahanan terhadap suhu tinggi sangat baik, dan kuat leleh pada 600°C (0,2% kurang lebih) lebih besar dibanding kuat leleh pada suhu ruang.
- Properti pada suhu ruang sesuai dengan spesifikasi berbagai jenis baja struktural.
- Kemudahan pengelasan sama atau lebih baik dibanding baja biasa

Salah satu standar terkait properti produk baja adalah ASTM A 1077 (Spesifikasi Standar untuk Baja Struktural dengan Kuat Leleh yang Ditingkatkan pada Suhu Tinggi untuk Penggunaan pada Bangunan) yang dikeluarkan pada bulan April 2012. Standar ini memerlukan konfirmasi awal dari produsen baja untuk memastikan apakah dapat memproduksi baja yang memenuhi standar ini.

Properti Material Baja FR

Gbr. 1 menunjukkan perbandingan kuat leleh pada suhu tinggi antara baja FR dengan baja biasa. Kuat leleh baja biasa akan menurun pada suhu 350°C hingga 2/3 dari nilainya pada suhu ruang, sementara baja FR bertahan pada 2/3 atau lebih hingga suhu melampaui 600°C, yang menunjukkan kelebihan properti baja FR pada suhu tinggi dibandingkan baja biasa. Gbr. 2 menunjukkan perbandingan modulus Young akibat suhu tinggi antara baja FR dengan baja biasa. Penurunan modulus pada 550°C~700°C pada baja FR adalah lebih kecil dibandingkan pada baja biasa

Gbr. 1 Perubahan Kuat Leleh pada Suhu Tinggi

Gbr. 1 Perubahan Modulus Young pada Suhu Tinggi

Properti Elemen Baja FR

Sebuah uji pemanasan dengan beban dilakukan untuk memastikan properti baja FR pada suhu tinggi tetap terjaga ketika digunakan sebagai kolom, balok dan elemen struktural lainnya seperti yang digambarkan dalam garis besar di bawah ini.

Metode uji yang digunakan adalah uji pemanasan dengan beban untuk kolom dengan mengikuti ISO834. Uji ini dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran skala besar untuk uji daya tahan-api kolom di Institut Riset Bangunan Kementerian Infrastruktur, Pertanian, Transport dan Pariwisata.

Spesimen uji baja FR adalah H-300×300×10×15 dengan panjang 3.5 m (Gbr. 3). Proteksi kebakaran tipe selimut digunakan bersamaan dengan spesimen. Sementara itu spesimen lain yang menggunakan baja biasa dengan dimensi identik juga diuji sebagai perbandingan propertinya. Gbr. 4 menunjukkan hubungan antara waktu pemanasan dan suhu baja. Waktu sampai terjadi kolaps kolom baja FR lebih lama dibandingkan dengan kolom baja biasa, dan suhu kolom baja FR saat terjadi kolaps lebih tinggi. Dapat dimengerti dari gambar bahwa bahkan ketika digunakan sebagai elemen struktur, baja FR menunjukkan properti suhu tinggi dibandingkan dengan baja biasa.

Gbr. 3 Garis Besar Uji Daya Tahan-api
Gbr. 4 Hubungan antara Waktu Pemanasan dengan Suhu Baja

Penggabungan Material Baja FR

Dalam pengelasan elemen struktural yang terbuat dari baja FR, material las disiapkan secara eksklusif agar tercapai kekuatan suhu-tinggi bahan las yang sama atau lebih tinggi dibandingkan logam dasarnya. Properti karakteristik sambungan las yang terbuat dari material las untuk baja FR serupa atau lebih baik dari baja biasa, dan kuat tarik pada suhu tinggi sambungan las juga sama atau lebih baik daripada logam dasarnya.

Di samping itu, dalam sambungan baut mutu tinggi pada struktur utama yang menggunakan baja FR, baut ini didisain untuk memastikan bahwa kuat leleh sambungan baut adalah sama, atau lebih baik dari pada elemen strukturnya. Baut mutu tinggi jenis *torshear*, baut mutu tinggi heksagonal dan baut galvanis, masing-masing dapat digunakan dengan baja FR, dan digunakan untuk sambungan baut untuk baja konvensional dengan cara yang sama. Gbr. 5 menunjukkan contoh hasil uji tarik untuk logam dasar yang digunakan pada baut mutu tinggi. Hasil uji menunjukkan bahwa baut mutu tinggi untuk baja FR dapat menahan panas 600°C, kurang-lebih dua kali lebih tinggi dibanding baut mutu tinggi biasa.

Gbr. 5 Hasil Uji Tarikan Tinggi untuk Material Baut Mutu-tinggi

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 17~18)
Teknologi Aplikasi Baja

Detil Dasar mengenai Pengelasan dan Kontrol Pengelasan

— Pengelasan di-tempat —

oleh Tadao Nakagomi

Profesor, Departemen Arsitektur, Universitas Shinshu

Untuk Jepang dengan seringnya gempa bumi, disain seismik sangatlah penting. Di samping itu, ada hal-hal dimana las dapat menjadi titik awal fraktur yang akan mengakibatkan kolaps struktur baja. Pada terbitan no. 37 (Desember 2012) telah diperkenalkan detil dasar mengenai pengelasan dan kontrol pengelasan pada struktur bangunan rangka baja dan informasi terkait karakteristik kunci performa dinamik pengelasan. Dalam terbitan ini akan disampaikan diskusi mengenai pengelasan di-tempat, khususnya masalah yang timbul dalam pengelasan di-tempat dan penanganan yang tepat.

Pengelasan di-tempat

Dalam pengelasan struktur rangka baja, digunakan dua metoda—pengelasan pabrik (metoda *non-scallop*) dan pengelasan di-tempat (metoda *scallop*). Di Jepang, pengelasan pabrik (*shop welding*) lebih banyak digunakan, Gbr. 1 dan 2 menunjukkan contoh pengelasan pabrik dan pengelasan di-tempat. Dalam metoda *scallop* pembuatan *groove* kearah dalam memungkinkan pengelasan untuk dilakukan di lokasi dan di pabrik; dan, *backing metal*nya ditempelkan di luar batang. Sebaliknya, dalam metoda *non-scallop*, *groove* disiapkan ke arah luar, yang artinya pengelasan dapat dilakukan hanya dalam posisi datar dan karenanya metode ini tidak dapat diaplikasikan di lokasi konstruksi. Di samping itu, dalam metoda ini *backing metal* dilekatkan kearah dalam

Dalam konstruksi struktur raksasa dimana sulit diterapkan metoda *non-scallop* yang membutuhkan elemen struktural dengan las pabrik yang perlu diangkut ke lokasi proyek, maka metoda *scallop* diterapkan karena memungkinkan pengelasan di tempat. Akan tetapi, dalam hal ketika bangunan baja terpapar gaya luar yang besar seperti gaya gempa, kapasitas kekuatan dan deformasi metoda pengelasan di-tempat yang menghasilkan cacat seksional (*scallop*) di bagian web, akan turun lebih rendah dibandingkan dengan metoda *non-scallop* pengelasan pabrik akibat dari konsentrasi tegangan pada dasar *scallop*.

Langkah-Langkah untuk Meningkatkan Kapasitas Deformasi

Seperti disebut di atas, pada pengelasan di-tempat,

kekuatan dan kapasitas deformasi menurun. Oleh karena itu perlu diambil langkah-langkah untuk meningkatkan kapasitas deformasi, yakni tiga langkah yang dibahas di bawah ini. Uji dilakukan untuk memastikan efektifitas langkah yang diambil. Gbr. 3 menunjukkan bentuk dan posisi instalasi spesimen uji, Tabel 1 menunjukkan hasil uji, dan Gbr. 4, 5 dan 6 menunjukkan hubungan antara beban dan Pergeseran (*displacement*) *scallop* di-tempat.

● **Metode Flens Bor**

Metoda ini bertujuan untuk menyebar tegangan pada las kolom-balok ke lubang bor pada flens sehingga akan mengurangi tegangan pada ujung balok. Gbr. 7 menunjukkan hubungan antara beban dengan *displacement*.

● **Pelebaran Flens dengan Haunch**

Metoda ini bertujuan tidak hanya untuk mengurangi tegangan yang terjadi pada ujung balok dengan pelebaran flens dengan cara memperbesar lebar sambungan balok tetapi juga untuk mentransfer posisi tegangan maksimum ke logam dasar balok. Gbr. 9 menunjukkan *haunch*, dan Gbr. 10 menunjukkan hubungan antara beban dan *displacement*

● **Metoda Pemberian Manik Perkuatan (Reinforcement Bead) pada Dasar Scallop**

Untuk meningkatkan kapasitas deformasi, penerapan metoda ini ditujukan untuk mengurangi konsentrasi tegangan dengan memberikan manik perkuatan pada dasar *scallop*, yang kemudian akan menjadi titik awal fraktur dalam metoda *non-scallop*. Gbr. 11 menunjukkan manik perkuatan, dan Gbr. 12 menunjukkan hubungan antara beban dengan *displacement*. Sementara itu, ukuran spesimen uji serupa dengan yang digunakan dalam dua metoda di atas, tetapi metodenya berbeda; uji yang digunakan adalah uji tekuk 3-titik.

Metoda Penghitungan η_s

Gbr. 13 menunjukkan hubungan umum P- δ pada elemen struktural baja yang diberikan beban tekuk siklis. Kurva skeleton berhubungan dengan lengkung pembebanan yang melampaui kekuatan maksimum yang ditunjukkan oleh baja. Karena seperti diperlihatkan dalam riset saat ini bahwa area yang dihasilkan dengan penggabungan kurva skeleton adalah ekuivalen dengan kurva P- δ dari elemen yang mengalami beban monoton; kurva Skeleton dapat berfungsi sebagai parameter yang tepat dalam menilai kapasitas deformasi struktur yang mengalami gaya luar secara acak seperti beban gempa. Sebagai parameter

kapasitas deformasi, digunakan akumulasi perbesaran deformasi plastis η_s yang diperoleh dari pembagian nilai yang menggandakan energi distorsi batas elastik (W_s) dari energi yang diserap dengan menggunakan kurva Skeleton dengan ($cP_p \times c\delta_p$).

Kapasitas Deformasi yang Ditingkatkan dalam Pengelasan di-tempat

Seperti terlihat dalam Tabel 1, hasil uji menunjukkan bahwa sementara kapasitas deformasi pengelasan di-tempat yang konvensional rendah: 1~4, kapasitas deformasi metoda pengelasan di-tempat dengan penerapan langkah-langkah di atas adalah memadai: 7~12. Selanjutnya, dapat dipahami bahwa kapasitas deformasi metoda pengelasan pabrik *non-scallop* adalah 6,9. Metoda *scallop* di-tempat dapat menawarkan kapasitas deformasi yang serupa atau lebih tinggi dibandingkan dengan metoda *non-scallop* pengelasan pabrik apabila diterapkan langkah-langkah di atas.

- Gbr. 1 Pengelasan Pabrik *Non-scallop*
- Gbr. 2 Pengelasan di-tempat
- Gbr. 3 Konfigurasi dan Instalasi Spesimen Uji
- Gbr. 4 Hubungan Beban-*Displacement* pada Scallop Pengelasan di-tempat
- Gbr. 5 Hubungan Beban-*Displacement* pada Scallop Pengelasan di-tempat
- Gbr. 6 Hubungan Beban-*Displacement* pada Scallop Pengelasan di-tempat
- Gbr. 7 Flens Bor
- Gbr. 8 Hubungan Beban-*Displacement* pada Flens Bor
- Gbr. 9 *Haunch*
- Gbr. 10 Hubungan Beban-*Displacement* pada *Haunch*
- Gbr. 11 Manik Perkuatan
- Gbr. 12 Hubungan Beban-*Displacement* pada Manik Perkuatan
- Gbr. 13 Perhitungan Kurva Skeleton
- Tabel 1 Hasil Uji



(Sampul Belakang)

Operasi FBBJ

Operasi Terkini Komite Promosi Pasar Luar Negeri

Komite Promosi Pasar Luar Negeri Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ), mempromosikan berragam operasi terkait dengan introduksi produk baja mutu

tinggi dan tekonologi aplikasinya sebagaimana dipraktekkan di Jepang. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan penggunaan struktur baja di luar negeri. Operasi terkini dibahas di bawah ini.

Survei Lokal di Kamboja

Komite ini telah mengunjungi Kamboja tiga kali untuk melakukan survei lokal terkait dengan kondisi ekonomi, konstruksi infrastruktur, juga terkait tugas untuk mendorong aplikasi lebih luas lagi struktur baja dan tugas yang masih harus dilaksanakan FBBJ di negara tersebut. Pada tahun 2012. Konferensi Teknologi Mutakhir untuk Konstruksi Baja diadakan di Phnom Penh oleh FBBJ bekerja sama dengan Kementerian Perkerjaan Umum dan Transport Kamboja dan Institut Teknologi Kamboja dengan dukungan Kedutaan Jepang di Kamboja. Sekitar 200 insinyur dari sektor pemerintah, akademis dan swasta berpartisipasi dalam konferensi ini dan menelurkan hasil yang sukses. Konferensi tersebut dinilai sangat bagus oleh para peserta, dan berdasarkan survei kuesioner, lebih dari 90% peserta berharap untuk mengikuti konferensi serupa berikutnya.

Survei Lokal di Myanmar

Setelah kunjungan ke Yangon pada tahun 2012, para anggota komite mengunjungi sejumlah enam badan pemerintahan terkait tidak hanya di Yangon tetapi juga di Naypydaw untuk pertukaran ide dan informasi. Badan-badan ini memiliki harapan tinggi akan terciptanya kegiatan terkait struktur baja yang dipromosikan oleh FBBJ. Komite ini berencana untuk melanjutkan pelaksanaan survei mengenai difusi struktur baja di masa depan.

(cuplikan)

Konferensi mengenai Teknologi Mutakhir untuk Konstruksi Baja yang dilaksanakan pada bulan Desember 2012, untuk pertama kalinya di Phnom Penh

- Penyampaian Kuliah
- Kuliah oleh Direktur Jenderal Dr OM Romny dari ITC
- Para tamu

Rapat pertukaran di Myanmar: *(dari kiri ke kanan)*

Rapat di Kementerian Konstruksi, Kementerian Transportasi Rel dan Kementerian Transport