

# STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 43 Desember 2014)

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. 43 Desember 2014: Isi**

---

<i>Fitur Khusus: Ketahanan Bangunan terhadap Angin Transisi Disain-tahan-angin dan Verifikasi Ketahanan terhadap Angin di Jepang</i>	1
Kerusakan Bangunan akibat Angin Kencang dan Konsep Mitigasi Kerusakannya	4
Ketentuan Beban Angin pada Undang-Undang Standar Bangunan Jepang	6
Evaluasi Kelayak-hunian terkait Getaran Bangunan akibat Angin	9
Disain Tahan Angin Berbasis Kinerja untuk Kota Vertikal 300 m	11
Detil Dasar Sambungan Baut Kekuatan Tinggi	15
Aktifitas FBBJ	Back cover

---

Catatan: Nomor halaman mengacu pada nomor pada terbitan No. 43 versi bahasa Inggris.

Versi Indonesia: ©Federasi Besi dan Baja Jepang 2014

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)

## Transisi Disain Tahan Angin dan Verifikasi Ketahanan terhadap Angin di Jepang

Oleh Yasushi Uematsu, Profesor, Universitas Tohoku

### Pembentukan Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan

Di Jepang, Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan Jepang ditetapkan pada tahun 1950 dan merupakan regulasi resmi pertama yang menetapkan formula penghitungan beban angin untuk bangunan di Jepang. Dalam regulasi ini beban angin  $P$  dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$P = C \cdot q \cdot A \quad (1)$$

dimana

$C$  = Koefisien gaya angin

$A$  = Luas bangunan atau luas yang mewakili bangunan ( $m^2$ )

$q$  = Tekanan kecepatan angin (dihitung menggunakan rumus (2))

Sementara itu, koefisien gaya angin  $C$  diartikan sebagai “koefisien tekanan eksternal – koefisien tekanan internal,” dan keduanya tidak terpisah.

$$q = 60 \sqrt{h} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (2)$$

dimana

$h$ : Tinggi di atas muka tanah (m)

Rumus ini berdasarkan kecepatan angin sesaat maksimum 63 m/s menurut hasil pengamatan pada titik tertinggi menara observasi (15 m di atas muka tanah) Observatori Meteorologi Muroto, selama topan Muroto pada tahun 1934. Dalam rumus ini digunakan asumsi bahwa distribusi vertikal kecepatan angin sesaat sebanding dengan pangkat  $1/4$  dari tinggi di atas muka tanah, dan dilakukan substitusi nilai observasi yang disebut di atas.

Kebetulan, eksponen pangkat untuk distribusi vertikal dari kecepatan angin sesaat maksimum ketika topan dan angin kencang lainnya adalah  $1/2$  kecepatan angin rata-rata, dan dengan demikian pangkat  $1/4$  di atas sesuai bahwa besaran pangkat untuk kecepatan angin dianggap  $1/2$ . Pada masa itu belum ada kejadian di dunia dengan angka numerik sebesar itu, yang memang kenyataannya tidak menggambarkan kondisi aktual. Akan tetapi, di Jepang, saat itu belum ada bangunan tinggi yang dibangun, dan hampir tidak ada bangunan dimana beban angin merupakan elemen

dominan dalam disain struktural, sehingga tidak ada masalah yang substansial. Lebih jauh, koefisien gaya angin  $C$  bukan saja merupakan hasil uji terowongan angin (*wind tunnel*) yang menggunakan aliran angin seragam tetapi juga tidak selalu dapat mewakili gangguan arus udara. Latar belakang penetapan rumus (6) meliputi isu berikut:

- Pada masa itu, karena topan Muroto terjadi dalam skala yang belum pernah ada di Jepang, diperkirakan bahwa dengan menggunakan koefisien gaya angin dengan level tersebut maka disain akan aman bila terjadi topan di kemudian hari.
- Berbeda dengan gempa bumi, topan dapat diperkirakan sampai batas tertentu, sehingga dapat dilakukan penanggulangannya. Selain itu apabila angka beban angin yang digunakan lebih kecil dengan pertimbangan ekonomis, tidak akan menimbulkan masalah besar.

### Penambahan Tinggi Bangunan Membutuhkan Pemeriksaan Ulang Metoda Penghitungan Beban Angin

Sejalan dengan maraknya penggunaan televisi di rumah tangga selama pertumbuhan ekonomi Jepang yang tinggi, padabulan Juni tahun 1954 dibangun menara televisi ukuran besar yang pertama di Nagoya dengan tinggi 180 m. Pada tahap disain, terlihat bahwa rumus (2) tidak memadai. Akibatnya, distribusi vertikal kecepatan angin sesaat diperiksa kembali dengan mengacu ke contoh serupa di negara lain. Usaha ini kemudian menghasilkan rumus berikut, yang menggunakan asumsi pangkat  $1/8$  yang kemudian digunakan dalam disain menara tersebut.

$$q = 120 \sqrt[4]{h} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (3)$$

Setelah selesainya menara televisi Nagoya, pengukuran langsung saat terjadi topan menunjukkan bahwa hasil aktual sejalan dengan rumus (3). Akibatnya, rumus (3) sangat mempengaruhi perkembangan konstruksi bangunan tinggi di Jepang.

Setelah adanya revisi Undang-Undang Standar Bangunan pada tahun 1963, dibangunlah bangunan tinggi Jepang skala penuh yang pertama, Gedung Mitsui-Kasumigaseki (36 lantai di atas tanah, tinggi 156 m) di Tokyo yang menandai dimulainya era bangunan tinggi di Jepang. Di samping itu juga dibangun Stadion Nasional *indoor* dengan panjang bentang utama 126 m untuk Olimpiade Tokyo yang diselenggarakan pada tahun 1964 yang menandai mulainya konstruksi ruang ukuran besar di Jepang.

Dengan bertambahnya tinggi dan panjang bangunan, seperti terlihat di atas, maka frekuensi alam menurun dan aksi dinamis angin bertambah. Ini berarti kontribusi komponen resonansi (efek resonansi) dalam respon dinamis bangunan bertambah besar. Sebaliknya, ketika ukuran bangunan meningkat, beban yang bekerja pada tiap member struktural berkurang sebagai akibat efek ukuran. Dalam hal bangunan ukuran kecil, efek beban (contohnya, tegangan yang bekerja pada member struktur) menjadi yang paling besar ketika kecepatan angin maksimum sesaat tertinggi. Akan tetapi dalam hal bangunan ukuran besar, tekanan angin yang bekerja pada member struktur terkait tidak mencapai nilai puncak maksimum pada saat bersamaan, sehingga efek pembebanan tidak menjadi paling besar secara seragam pada saat kecepatan angin sesaat maksimum.

Berangkat dari latar belakang ini, efek angin pada konstruksi bangunan semakin dipahami, dan kemudian menggiring ke berbagai survei dan riset mengenai struktur turbulen angin, metode uji terowongan, dan kondisi aktual tekanan angin, getaran akibat angin dan faktor lainnya.

Tampilan bangunan tinggi mengakibatkan pentingnya menetapkan metoda disain tahan –angin untuk dinding tirai (*curtain wall*), khususnya untuk menentukan metoda uji ketahanan terhadap tekanan angin untuk pelat kaca dan kededapan dinding tirai terhadap air. Selama periode tersebut, Jepang secara beruntun dihantam topan besar, seperti Topan Teluk Ise (1959) dan Topan Muroto Kedua (1961), yang banyak menyebabkan kerusakan pada atap, dinding eksterior dan bagian eksterior lainnya. Kerusakan pada bagian eksterior tidak hanya itu saja tetapi sering memicu kerusakan besar terhadap member struktural, sehingga dirasakan perlunya mencegah kerusakan member eksterior dan meningkatkan disain aman.

Berdasarkan situasi tersebut maka Kementrian Konstruksi pada tahun 1971 mengeluarkan Notifikasi No. 109, regulasi pertama terkait disain tahan angin untuk member eksterior. Peraturan ini difokuskan pada dua topik di bawah ini:

- 1) Tekanan kecepatan disain dipilah menjadi dua kelas masing-masing untuk material atap dan untuk dinding tirai, yang dihitung dengan rumus:
  - Untuk material atap:  $q = 120\sqrt[4]{h}$  ( $\text{kg/m}^2$ ) (4)
  - Untuk dinding tirai yang menghadap ke luar bagi bangunan lebih tinggi dari 31 m:
    - $q = 60\sqrt{h}$  ( $\text{kg/m}^2$ ) untuk  $h \leq 16$  m (5a)
    - $q = 120\sqrt[4]{h}$  ( $\text{kg/m}^2$ ) untuk  $h > 16$  m (5b)

- 2) Rentang tekanan angin setempat pada jurai, atap kanopi, tepi dan bagian sudut permukaan dinding ditentukan, dimana koefisien angin disain ditentukan  $C=1,5$

Gbr. 1 adalah hasil kombinasi rumus 5(a) dengan rumus 5(b). Lengkung kedua rumus bertemu pada tinggi 16 m, dan nilai bawah dari kedua lengkung pada masing-masing tinggi kemudian dipilih sebagai tekanan angin disain.

Gbr. 1 Perbandingan Tekanan Kecepatan Disain

### Upaya Pengembangan Metode yang Lebih Rasional dalam Perhitungan Beban Angin

Angin tidak selalu berhembus secara seragam, dan kecepatan angin berfluktuasi tidak beraturan dalam hal waktu dan tempat. Prof. Alan G. Davenport di Kanada, pada tahun 1967, mengusulkan suatu pendekatan baru yang dikenal sebagai metoda faktor pembebanan angin (Gbr. 2), untuk mengevaluasi efek temporal dan spasial dari fluktuasi kecepatan angin terhadap respons bangunan. Dasar metoda ini adalah probabilitas dan teori statistik dan memasukkan hasil evaluasi ke dalam rumus untuk dapat menghitung beban angin. Menurut metoda ini, beban angin  $P$  dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$P = q \times C \times G \times A \quad (6)$$

$$q = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (7)$$

dimana

$U$ : Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian  $z$  di atas muka tanah.

$G$  merupakan faktor beban angin:

$$G = \frac{\bar{X} + x_{max}}{\bar{X}} = 1 + g_x \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \quad (8)$$

tetapi,

$\bar{X}$  : Displasemen rata-rata bangunan akibat gaya angin rata-rata

$x_{max}$ : Nilai maksimum dalam displasemen dinamis bangunan ( $= g_x \cdot \sigma_x$ )

$\sigma_x$  : Deviasi standar dalam displasemen dinamis bangunan

$g_x$ : Faktor puncak

Bila metoda penghitungan beban angin ini dibandingkan dengan Ketentuan dalam Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan Jepang, hal-hal di bawah ini menjadi jelas.

- Bila getaran akibat angin diperhitungkan, kecepatan angin sesaat maksimum belum tentu menghasilkan beban angin maksimum (yaitu: tegangan, diplasemen dan efek pembebanan lainnya).
- Pada bangunan ukuran besar, angin sesaat sebagaimana kecepatan angin sesaat maksimum, tidaklah bekerja secara simultan pada seluruh struktur bangunan.

Dalam kondisi demikian, metode perhitungan beban angin menggunakan pendekatan probabilitas dan statistik untuk mengevaluasi pebebanan yang bekerja pada bangunan dengan karakteristik fluktuasi temporal dan spasial dari kecepatan angin dan menetapkan “beban angin statik ekuivalen” yang memberikan efek pembebanan maksimum. Aplikasi metoda analisis statik yang umum digunakan dalam disain struktur konvensional dimungkinkan dengan menggunakan metoda ini.

Ketika membandingkan rumus (1) dengan rumus (6), diperoleh bahwa, dalam rumus (1) nilai tekanan kecepatan didasarkan pada kecepatan angin sesaat maksimum, sedangkan dalam rumus (6) nilai tekanan kecepatan di dasarkan pada kecepatan angin rata-rata. Selanjutnya, dalam rumus (1) efek pembebanan dinamis akibat kecepatan angin dipertimbangkan dengan menggunakan kecepatan angin sesaat maksimum, dalam rumus (6) efek tersebut dipertimbangkan dengan menggunakan faktor beban tiupan (*gust*)  $G$  dengan berdasarkan nilai maksimum dari respon bangunan.

Respon bangunan tidak ditentukan oleh kecepatan angin melainkan tergantung pada bentuk dan ukuran bangunan, serta frekuensi alam, konstanta peredaman (*damping constant*) dan karakteristik getaran lainnya. Efek-efek ini dinyatakan dalam rumus untuk  $G$ . Dalam hal bangunan ukuran kecil, dapat dianggap bahwa efek beban maksimum terjadi pada saat terjadi kecepatan angin sesaat maksimum. Selanjutnya, bila rasio kecepatan angin sesaat maksimum terhadap kecepatan angin rata-rata dinyatakan sebagai faktor tiupan (*gust*)  $G_v$ , gaya angin proporsional terhadap kecepatan angin kuadrat, dan dengan demikian rumus (1) memenuhi  $G = G_v^2$  dalam rumus (6).

Tidak dapat dipungkiri bahwa perhitungan beban angin menggunakan rumus (6) jauh lebih rasional dibandingkan dengan menggunakan rumus (1). Sebagai akibatnya, penggunaan rumus (6) untuk mengevaluasi beban angin kini sudah dimasukkan ke dalam standar dan spesifikasi beberapa negara. Di Jepang sendiri, metoda perhitungan beban angin dalam buku Pedoman

Pembebanan pada Bangunan dari Institut Arsitektur Jepang direvisi pada tahun 1981 berdasarkan uji kepemilikan dan informasi pengamatan dan sesuai dengan metoda yang diusulkan oleh Prof. Davenport.

Kemudian, karena terdapat beberapa ketidak-memadaian dalam revisi buku *Pedoman*, buku tersebut direvisi kembali pada tahun 1993 untuk memperbaikinya. Fitur dalam revisi buku *Pedoman* adalah sebagai berikut:

- Rumus perhitungan beban angin ada dua bentuk: pertama untuk perangkaan struktural dan yang lainnya untuk member eksterior. Hal ini disebabkan karena ukuran dan karakteristik getaran pada rangka struktur berbeda dengan yang ada pada member struktur, sehingga kemudian ditetapkan beban angin pada rangka struktur berbeda dengan member struktural.
- Kecepatan angin disain ditentukan dengan mempertimbangkan frekuensi terjadinya angin kencang dan keamanan bangunan selama masa layannya pada daerah tertentu. Artinya, periode ulang ditetapkan berdasarkan keamanan yang dibutuhkan, dan bangunan dirancang berdasarkan kecepatan angin untuk periode ulang yang telah ditentukan. Sementara itu, kecepatan angin dievaluasi dengan menggunakan kecepatan angin rata-rata tahunan,
- Tekanan angin disain  $q_H$  adalah tekanan angin pada ketinggian standar bangunan  $H$  (biasanya merupakan ketinggian rata-rata atap). Dengan demikian, distribusi vertikal beban angin dianggap merupakan distribusi koefisien gaya angin (atau koefisien tekanan angin) dalam arah tinggi.
- Efek fluktuasi temporal dan spasial kecepatan angin atau tekanan angin dievaluasi menggunakan pendekatan probabilitas dan statistik, yang dinyatakan sebagai faktor efek tiupan. Sekalipun faktor efek tiupan serupa dengan faktor pembebanan tiupan dari Prof. Davenport, faktor efek tiupan diaplikasikan dalam konteks yang lebih luas sebagai faktor yang menunjukkan efek pembebanan dinamis dari tekanan angin dan gaya angin.
- Kondisi angin dikelompokkan berdasarkan “kekasaran permukaan tanah” untuk menunjukkan efek dari fitur struktur angin dalam kondisi tertentu terhadap “distribusi vertikal kecepatan angin rata-rata” dan “distribusi vertikal kekuatan turbulen angin.”

Kemudian pada tahun 2000, Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan direvisi penuh dengan menuangkan metode perhitungan beban angin yang menggunakan pendekatan probabilitas dan

statistik, sebagaimana telah dilakukan di Negara-negara lain. Walaupun metoda dalam Peraturan telah disederhanakan dengan menerapkan beberapa batasan, seperti pembatasan ketinggian bangunan hingga 60 m atau kurang, pendekatan dasar yang digunakan di Jepang untuk perhitungan beban angin adalah metoda yang dijelaskan dalam *Rekomendasi Beban Bangunan* (1993) Institut Arsitektur Jepang.

Institut ini berencana untuk merevisi buku *Rekomendasi* sekitar tiap sepuluh tahun dengan menyertakan informasi terbaru. Revisi telah dilakukan pada tahun 2014 dan sedang dituangkan ke dalam publikasi versi 2015. Dalam revisi ini, untuk mengetahui perhitungan beban disain dipertimbangkan berbagai faktor, seperti efek lahan kecil terhadap kecepatan angin, dan koefisien arah angin dan parameter musimannya, getaran aerodinamis acak, dan gabungan penggunaan beban angin multi arah. Revisi ini juga akan menerapkan dinamika fluida komputasional.

Tampilan bangunan tinggi selalu membawa masalah baru yang tak diduga. Pada tahun 1979, Topan No. 20 menghantam daerah metropolitan Tokyo dengan angin dengan kekuatan yang hanya terlihat sekali dalam sepuluh tahun dan membawa isu getaran akibat angin pada bangunan tinggi, khususnya di pusat kota yang baru dibangun di Shinjuku. Getaran pada bangunan tidak mengakibatkan masalah struktural serius, akan tetapi durasi panjang dan tiupan terus-menerus mengakibatkan banyak orang mengalami ketidak-nyamanan dan mual seperti mabuk laut.

Dipicu oleh situasi di atas, isu kelayak-hunian bangunan tinggi mendapat perhatian lebih, yang pada akhirnya mendorong Institut Arsitektur Jepang menerbitkan *Pedoman Evaluasi Kelayak-hunian dengan Getaran Bangunan* pada tahun 1991. Buku *Pedoman* ini kemudian direvisi pada 2004 dengan memasukkan pengetahuan terbaru yang ada. Dalam buku *Pedoman*, kriteria evaluasi kelayak-hunian melihat hubungan antara akselerasi respon maksimum untuk kecepatan angin dengan periode ulang 1 tahunan dan frekuensi natural bangunan.

Gbr. 2 Definisi Faktor Pembebanan Tiupan  
(*Rekomendasi Beban Bangunan* Edisi 1981)

### Evaluasi Ketahanan terhadap Angin

Pada bulan Juni 1998, Undang-Undang Standar Bangunan direvisi dimana dilakukan modifikasi konsep disain dengan memasukkan “disain berbasis

kinerja” dengan tetap mempertahankan konsep konvensional disain spesifikasi. Dalam disain bangunan, biasanya diasumsikan tiga kondisi kritis—kriteria aplikasi, kriteria kerusakan dan kriteria keamanan, dan kriteria disain juga diberikan ke ketiga kondisi kritis. Contohnya, kriteria aplikasi untuk bangunan tinggi ditentukan dengan memasukkan getaran akibat angin kencang (kelayak-hunian) ke dalam perhitungan.

Dalam hal ini, berdasarkan *Pedoman Evaluasi Kelayak-hunian Getaran Bangunan* yang disebut di atas, kriteria evaluasi kelayak-hunian diberikan dengan melihat hubungan antara akselerasi respon maksimum untuk kecepatan angin dengan periode ulang 1 tahunan dan frekuensi natural gedung. Seksi tentang perhitungan kekuatan kritis dalam Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan menyatakan bahwa ketika menentukan kriteria kerusakan, member struktural harus berada dalam rentang elastik ketika diberikan angin kencang yang langka dengan periode ulang 50 tahunan dan bahwa, ketika menentukan kriteria keamanan, bangunan tidak boleh kolaps sekalipun diberikan angin kencang yang langka dengan periode ulang 500 tahunan. Akan tetapi, baik buku *Pedoman* maupun Peraturan Pelaksanaan tidak memberikan penjelasan mengenai member yang menderita kerusakan hebat akibat angin kencang. Oleh karena itu, Institut Arsitektur Jepang telah menyediakan pendekatan untuk disain-disain khusus dalam publikasinya *Manual untuk Cladding Tekanan Angin untuk Perancang dan Insinyur* yang diterbitkan pada tahun 2013.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 4~5)

## Kerusakan akibat Angin Kencang pada Bangunan dan Konsep Mitigasi Kerusakannya

oleh Hitomitsu Kikitsu, Institut Riset Bangunan

### Kerusakan Serius pada Bangunan Akibat Angin Kencang

Baru-baru ini dilaporkan bahwa sering terjadi kerusakan serius akibat tornado di Jepang dan di luar negeri dengan dampak sosial yang besar. Masih jelas dalam ingatan kerusakan yang ditimbulkan oleh tornado di beberapa kota di Jepang, yang berpusat di

Tsukuba di Prefektur Ibaragi pada tahun 2012 (Foto 1) dan Koshigaya di Prefektur Saitama pada tahun 2013. Sementara itu, kenyataannya adalah kerusakan yang diakibatkan oleh topan jauh lebih besar dari kerusakan akibat tornado (Foto 2~3). Dari berbagai struktur bangunan, struktur atap, dinding eksterior, bukaan dan *cladding* dan komponen eksternal adalah yang rawan terhadap efek angin kencang. Langkah pencegahan terhadap kerusakan bangunan akibat angin adalah dengan memitigasi kerusakan terhadap struktur tersebut.

Foto 1 Contoh kerusakan akibat tornado (Tsukuba tahun 2012)

Foto 2 Contoh kerusakan akibat topan (Miyakojima, Okinawa tahun 2003)

Foto 3 Contoh kerusakan akibat topan (Miyakojima, Okinawa tahun 2003)

### **Konsep yang Kondusif untuk Mitigasi Kerusakan pada *Cladding* dan Komponen Luar**

#### **• Kondisi Kerusakan Khusus**

Ketika suatu bangunan terkena angin kencang dalam topan, timbul gaya angin sebagai hasil turbulensi arus datang pada atap dan dinding yang menghadap angin, dan mengakibatkan tekanan puncak negatif setempat pada tepi atap dan dinding samping.

Undang-Undang Standar Bangunan Jepang menjelaskan metoda perhitungan tekanan puncak setempat. Menurut metoda ini, gaya aksi tiupan angin yang timbul dari tornado bisa dianggap mengikuti gaya aksi tiupan angin topan. Akan tetapi, tidak seperti topan, gaya yang dihasilkan oleh aliran udara ke atas (*updraft*) khususnya saat pusaran tornado mendekati bangunan, bekerja pada bangunan dan menambah kerusakan (lihat Gbr. 1) sehingga perlu diberi perhatian.

Kerusakan akibat angin kencang akan pasti nampak pada seksi yang rawan pada jalur angin pada suatu bangunan. Kebanyakan kerusakan ditemukan pada *cladding* dan komponen eksternal bangunan. Oleh karenanya, untuk mitigasi kerusakan akibat angin, perlu dipastikan beban disain berdasarkan pemahaman bagaimana gaya angin bekerja pada bangunan agar dapat menentukan spesifikasi yang tepat untuk *cladding* dan komponen eksterior.

Gbr. 1 Beban dan Gaya Luar yang Bekerja akibat Tornado

#### **• Konsep Verifikasi Kekuatan Member Eksternal**

Terdapat dua pendekatan yang biasa digunakan dalam verifikasi kekuatan *cladding* dan komponen eksternal: disain struktural berdasarkan spesifikasi standar member struktural dan disain struktural berdasarkan kekuatan ijin.

Pada pendekatan yang pertama, ketahanan terhadap tekanan angin diberikan dengan memilih spesifikasi standar (jarak antar tumpuan, ketebalan pelat, dll.) dari katalog produk berdasarkan tingkat kebutuhan beban disain, dan dengan demikian perhitungan struktural tidak dibutuhkan dan ketahanan terhadap tekanan angin dapat diverifikasi dengan mudah.

Pada pendekatan kedua, ketahanan terhadap tekanan angin diverifikasi dengan menghitung kekuatan ijin tiap seksi struktur berdasarkan hasil uji kekuatan (Foto 4). Dalam proses verifikasi ini, contohnya dalam hal atap dan dinding baja, biasa digunakan nilai 2,0 atau lebih sebagai faktor keamanan untuk menetapkan kekuatan ijin member

Berdasarkan hasil proses verifikasi dibutuhkan kehati-hatian dalam melakukan disain, seperti dalam menambah ketebalan pelat ataupun memperkecil pengaku dan ruang untuk instalasi member konstruksi, agar mengurangi kemungkinan terjadi kerusakan.

Selain itu, banyak kasus fasilitas produksi dan komersial dengan skala besar yang membutuhkan keamanan aset dan preservasi fungsionalitas bangunan. Fasilitas seperti ini dapat diramalkan akan mengalami beberapa jenis kerusakan akibat angin. Ketika atap dan member eksterior lainnya terlepas dan tersebar, arus air hujan akan dapat merusak kelengkapan di dalam ruang dan mengakibatkan fasilitas menjadi tidak dapat berfungsi. Pada bangunan fasilitas penting yang menaungi fungsi-fungsi canggih, sekalipun struktur utama tetap utuh maka atap, *cladding* dan komponen eksternal yang terlepas serta tersebar dapat mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar.

Terkait disain tahan angin dalam Undang-Undang Standar Bangunan Jepang, digunakan periode ulang 50 tahunan. Dapat dikatakan bahwa kerusakan akibat angin kencang dapat dimitigasi, tergantung tingkat kepentingan bangunan fasilitasnya, dengan memberikan beban angin bertahap pada member eksternal dengan tingkat yang melampaui yang ditentukan dalam Undang-Undang dan kemudian memverifikasi daya tahan terhadap tekanan angin.

Saat ini, gaya angin tornado tidak diperhitungkan dalam disain tahan angin, tetapi sampai tingkat tertentu konsep ini dapat juga memitigasi kerusakan bangunan akibat tornado.

Foto 4 Contoh uji kekuatan sambungan atap lipat

#### • Berbagi Informasi tentang Aplikasi Member

Karena penilaian kinerja *cladding* dan komponen eksternal biasanya dipercayakan ke perusahaan konstruksi dan pabriknya, bagaimana menentukan peran yang sesuai dalam verifikasi struktural menjadi tidak jelas. Oleh karenanya sangat penting untuk berbagi informasi mengenai kekuatan dan properti lainnya dari member struktur dengan disainer lain, perusahaan konstruksi dan produsen member konstruksi selama proses dari disain hingga konstruksi.

Studi mengenai kerusakan yang baru terjadi menunjukkan bahwa kerusakan sering disebabkan oleh memburuknya member struktural dan hilangnya kekuatan dan juga karena penggunaan metode perbaikan yang tidak tepat. Contoh-contoh ini menunjukkan bahwa perawatan yang tepat untuk *cladding* dan komponen eksternal dan serta perbaikan yang pas tidak dapat diabaikan dalam mitigasi kerusakan member akibat angin kencang.



(Halaman 6~8)

## Ketentuan Beban Angin pada Undang-Undang Standar Bangunan Jepang

oleh Yasuo Okuda, Institut Manajemen Pertanahan dan Infrastruktur Nasional

### Pengantar

Artikel (1) Tujuan dari Undang-Undang dan Sistem Undang-Undang Standar Bangunan Jepang menyatakan, “Objektif dari undang-undang ini adalah untuk menetapkan standar minimum terkait lokasi, struktur, fasilitas dan penggunaan bangunan yang dapat melindungi hidup, kesehatan, dan properti bangsa, dan karenanya dapat menyumbang pada kesejahteraan publik.” Sebagaimana dinyatakan, Undang-Undang ini mengatur konstruksi tiap jenis bangunan di Jepang, dan memberikan standar minimum yang perlu diperhatikan dalam konstruksi bangunan.

Pada tahun 2000, Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan (Undang-Undang) dan Notifikasinya banyak direvisi, dan Ketentuan terkait beban angin dalam Peraturan Pelaksanaan dan

Notifikasinya juga banyak direvisi mengikuti *Rekomendasi untuk Pembebanan pada Bangunan* (1993) [selanjutnya disebut *Rekomendasi*]. Nilai beban angin yang diadopsi dalam penetapan Undang-Undang pada tahun 1950 adalah seragam di seluruh negeri dan tidak dirubah selama 50 tahun, tetapi dalam revisi Undang-Undang pada tahun 2000, nilai beban angin dirubah dengan mempertimbangkan kondisi lokal dan tambahannya. Selanjutnya, pada tahun 2007, Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan juga direvisi dimana diwajibkan penyerahan dokumen perhitungan struktural member eksterior pada saat konfirmasi bangunan, yang sebelumnya tidak diwajibkan.

Sementara itu, Institut Arsitektur Jepang sudah merevisi buku *Rekomendasi* selama hampir 10 tahun sejak pertama diterbitkan pada tahun 1981, dan versi terbaru dijadwalkan terbit pada bulan Februari tahun 2015.

Dalam mendiskusikan standar dan spesifikasi untuk disain bangunan tahan angin di Jepang, dalam artikel ini juga disampaikan garis besar spesifikasi beban angin yang dijelaskan dalam Undang-Undang Standar Bangunan dan *Rekomendasi*. Juga disampaikan garis besar berbagai Pedoman terkait Ketentuan beban angin dari Undang-Undang Standar Bangunan yang dipersiapkan oleh organisasi-organisasi industri terkait.

### Ketentuan Beban Angin dalam Undang-Undang Standar Bangunan

Sementara buku *Rekomendasi* selalu direvisi tiap 10 tahun oleh Institut Arsitektur Jepang untuk tetap menggambarkan kemajuan riset terbaru, ketentuan mengenai beban angin dalam Undang-Undang Standar Bangunan tidak terlalu sering direvisi sejak penerbitan Undang-Undang tersebut pada tahun 1950. Akan tetapi, setelah revisi Undang-Undang pada tahun 1998 (pengenalan disain berbasis kinerja dalam standar bangunan), telah dilakukan banyak revisi dan dibuat persyaratan baru dalam Peraturan Pelaksanaan dan notifikasi terkait pada tahun 2000. Pada saat bersamaan juga dilakukan revisi Ketentuan pada Undang-Undang berdasarkan buku *Rekomendasi* (1993). Dengan nilai beban angin yang ditentukan seragam secara nasional setelah terbitnya Undang-Undang pada tahun 1950, belakangan sudah dimungkinkan untuk menggunakan beban angin yang lebih rasional untuk menggambarkan kondisi lokal dan sekitarnya serta karakteristik struktural masing-masing bangunan. Di bawah ini adalah beberapa pendekatan yang digunakan untuk

menentukan beban yang lebih rasional:

- Klarifikasi pemisahan beban angin untuk rangka struktural dan member eksterior
- Penggunaan kecepatan angin standar  $V_0$
- Penggunaan klasifikasi kekasaran permukaan tanah
- Penggunaan faktor efek tiupan
- Penetapan (dalam perhitungan kekuatan kritis) dua tingkat beban (kriteria kerusakan dan kriteria keamanan)
- Penggunaan unit SI
- Pengembangan koefisien gaya angin, dll

### **Perbedaan antara Undang-Undang Standar Bangunan dan Rekomendasi untuk Beban pada Bangunan**

#### **• Prinsip Dasar yang Diterapkan dalam Undang-Undang Standar Bangunan dan Rekomendasi untuk Beban pada Bangunan**

Walaupun ketentuan dalam buku Undang-Undang yang saat ini digunakan berdasarkan buku *Rekomendasi* (1993), terdapat perbedaan mendasar diantara keduanya. Karena Undang-Undang Standar Bangunan memiliki kekuatan hukum, maka secara hukum tidak dimungkinkan melakukan penilaian yang bertentangan dengan buku Undang-Undang. Juga, dengan ditentukannya tingkat beban minimum, maka sebuah disain tidak diijinkan menggunakan beban yang lebih rendah daripada standar minimum sebagaimana tercantum dalam buku Undang-Undang, tetapi disain dengan beban di atas beban standar minimum diijinkan. Sebaliknya, *Rekomendasi* tidak memiliki kekuatan hukum; seorang disainer struktur dapat menunjukkan konsep dan parameter yang dibutuhkan untuk membuat disain struktural sehingga ia dapat memilih tingkat beban yang perlu (beban angin dasar dipilih untuk angin kencang dengan periode ulang 100 tahunan, dan disainer struktur dapat memilih tingkat beban dengan konversi koefisien).

Sebagaimana ditunjukkan di atas dan berkebalikan dengan Undang-Undang Standar Bangunan, buku *Rekomendasi* bukanlah dokumen yang memiliki kekuatan hukum. Namun demikian, *Rekomendasi* sering diacu ketika terdapat metode evaluasi dalam buku Undang-Undang yang tidak dapat digunakan, seperti koefisien gaya angin untuk bangunan dengan konfigurasi arsitektur khusus, kecepatan angin yang bertambah akibat bentuk tanah atau karakteristik respon getaran dari bangunan tinggi lebih dari 60 m. Dapat dikatakan bahwa buku *Rekomendasi* menjadi pelengkap ketentuan mengenai beban angin yang diatur

dalam *Undang-Undang*.

#### **• Perbedaan Khusus dalam Spesifikasi Beban Angin antara Undang-Undang Standar Bangunan dan Rekomendasi untuk Beban pada Bangunan — Klarifikasi pemisahan beban angin pada rangka struktural dan member eksterior**

Walaupun koefisien gaya angin yang agak biasa diaplikasikan untuk rangka struktural dan member eksterior dalam Undang-Undang Standar Bangunan sebelum revisi tahun 2000, beban angin tidak secara jelas dipisahkan antara kedua kategori. Akan tetapi, setelah revisi Undang-Undang pada tahun 2000, beban angin untuk rangka struktur dan member eksterior menjadi dipisah lebih jelas sejalan dengan *Rekomendasi*, yang dimasukkan ke dalam Peraturan Pelaksanaan dan Notifikasi terkait.

Beban Angin untuk rangka struktural adalah gaya angin yang bekerja pada keseluruhan struktur bangunan, dan berubah tergantung arah angin. Beban pada member eksterior adalah gaya angin yang bekerja pada material atap dan member eksterior lainnya (luas: sekitar  $1\sim 5\text{ m}^2$ ), dan menunjukkan plus dan minus nilai maksimum untuk semua arah angin. Karenanya, tekanan angin per luas mempunyai hubungan: beban pada member eksterior  $\geq$  beban pada rangka struktur.

#### **— Pengenalan kecepatan angin standar $V_0$**

Sebelum revisi pada tahun 2000, Undang-Undang Standar Bangunan menentukan tekanan kecepatan  $q$  adalah  $60\sqrt{h}$  dan beban angin dianggap seragam di seluruh negeri. Setelah revisi 2000, tekanan kecepatan  $q$  sudah ditentukan menggunakan kecepatan angin standar  $V_0$ , distribusi vertikal kecepatan angin berdasarkan klasifikasi kekasaran, faktor efek tiupan dan pengaruh lainnya dan, selanjutnya juga mempertimbangkan kondisi setempat dan sekitarnya dan karakteristik struktural masing-masing bangunan.

Gbr. 1 menunjukkan kecepatan angin standar  $V_0$  di Jepang yang ditetapkan “30~46 m/s tergantung tingkat kejadian kerusakan angin berdasarkan sejarah yang dicatat mengenai topan dan dan properti terkait lainnya.” Angka 30~46 m/s diperoleh dari konversi kecepatan angin maksimum tahunan yang tercatat kantor meteorologi di seluruh negeri menjadi kecepatan angin dengan periode ulang 50 tahunan (kecepatan angin rata-rata 10 menit pada ketinggian 10 m di atas muka tanah dengan klasifikasi kekasaran permukaan II). Gambar menunjukkan kecepatan angin standar di berbagai kota, kota kecil dan desa di Jepang

pada tahun 2000 yang dibagi menjadi sembilan wilayah yang klasifikasi menurut tingkat kecepatan angin.

Gbr. 1 Gambar Kecepatan Angin Standar Vo

#### — Pengenalan klasifikasi kekasaran permukaan tanah

Dalam buku *Rekomendasi*, kekasaran permukaan tanah dipilih oleh disainer struktur dari antara lima klasifikasi dan foto dalam Tabel 1 dibuat berdasarkan penilaiannya. Sebaliknya, Undang-Undang Standar Bangunan klasifikasi mengadopsi distribusi vertikal kecepatan angin (Gbr. 2) yang serupa dengan yang ada di *Rekomendasi*, tetapi dalam Undang-Undang, kekasaran permukaan tanah dengan jelas dibagi menjadi empat klasifikasi menurut areanya (Tabel 2) untuk menghilangkan ketidak-jelasan dalam klasifikasi. Karena kekasaran permukaan klasifikasi I dan IV ditetapkan oleh kantor administrasi berdasarkan Undang-Undang, maka di kebanyakan daerah diadopsi klasifikasi II dan II (lihat Tabel 2)

Tabel 1 Klasifikasi Kekasaran Permukaan dan Kondisi Permukaan dalam *Rekomendasi untuk Beban pada Bangunan*

Gbr. 2 Distribusi Vertikal Arah Angin yang Dijelaskan dalam Undang-Undang Standar Bangunan

Tabel 2 Klasifikasi Kekasaran Permukaan yang Dijelaskan dalam Undang-Undang Standar Bangunan

#### — Pengenalan faktor efek tiupan

Faktor efek tiupan  $G_f$  diperkenalkan pada revisi tahun 2000 Undang-Undang dan sesuai dengan *Rekomendasi*. Nilai numerik faktor efek tiupan  $G_f$  ditentukan berdasarkan klasifikasi kekasaran permukaan tanah dan ketinggian bangunan dengan mempertimbangkan turbulensi angin dan ukuran bangunan dan karakteristik struktural. Sebaliknya, metoda yang diadopsi dalam *Rekomendasi*, disainer struktur mendapatkan faktor efek tiupan dengan mempertimbangkan turbulensi angin, ukuran bangunan dan karakteristik struktural dan dengan menggunakan formula perhitungan.

#### — Penetapan (perhitungan kekuatan kritis) dua tingkat beban (kriteria kerusakan dan kriteria keamanan)

Sebelum direvisi pada tahun 2000, Undang-Undang Standar Bangunan menggunakan perhitungan tegangan

ijin dan tetap menggunakan perhitungan kekuatan horisontal untuk menetapkan tingkat beban, tetapi setelah revisi tahun 2000, Undang-Undang memperkenalkan perhitungan kekuatan juga. Dalam perhitungan kekuatan kritis diberikan dua kriteria—kriteria kerusakan dan kriteria keamanan—dan juga beban terkait. Untuk beban angin, ada dua tingkat beban dengan periode ulang 50 tahunan dan 500 tahunan, dan beban yang sesuai dengan kriteria keamanan ditetapkan 1,6 kali beban menurut kriteria kerusakan.

#### — Penggunaan Si (Unit Sistem Internasional)

Sebelum revisi pada tahun 2000, Undang-Undang Standar Bangunan menerapkan sistem unit keteknikan, tetapi setelah penggunaan SI (Unit Sistem Internasional) dalam Standar Industri Jepang pada tahun 1991, maka SI juga diadopsi dalam Undang-Undang. Dalam unit sistem keteknikan yang sebelumnya digunakan, baik massa (kg) maupun gaya (kgf) digunakan, tetapi keduanya hampir tidak bisa dibedakan dan sering menimbulkan salah pengertian. Akan tetapi, dalam sistem SI, massa (kg) dan gaya (N) jelas berbeda, dan hubungan gaya adalah  $1\text{ kgf} = 1\text{ kg} \times g$  (percepatan gravitasi)  $\approx 9.8\text{ N}$ . Sebagai hasilnya, tekanan angin yang sebelumnya dinyatakan dengan  $\text{kgf/m}^2$  sekarang dengan SI menjadi  $\text{N/m}^2$ , dan dalam sistem unit SI diambil suatu nilai numerik sekitar 9,8 kali nilai konvensional. Sementara itu, unit SI diperkenalkan dalam *Rekomendasi* pada tahun 2004.

#### — Pengembangan koefisien gaya angin, etc.

Dalam Undang-Undang Standar Bangunan sebelum revisi pada tahun 2000, koefisien angin dan koefisien tekanan angin dinyatakan dalam diagram dengan menggunakan seksi bangunan dua dimensi, namun setelah revisi Undang-Undang pada tahun 2000, seksi dua dimensi dirubah menjadi tiga dimensi. Selanjutnya, sejak tahun 2008, dimulai proyek subsidi pengembangan standar bangunan dengan menerapkan uji terowongan angin dan uji lainnya untuk menurunkan koefisien gaya angin untuk atap limasan, pelat iklan di atas atap, pagar teras dan member lainnya. Pada tahun 2013 koefisien ini dapat diacu oleh disainer struktur.

#### Pedoman Disain Tahan Angin dari Berbagai Organisasi Industri

Disainer struktur adalah orang yang harus menyerahkan dokumen perhitungan struktur untuk

member eksterior bangunan (material atap, dinding eksterior, bukaan, dll), akan tetapi seringkali disain dan instalasi member yang dihitung tersebut diserahkan kepada orang yang mengkhususkan pada jenis member struktural tersebut. Dengan situasi tersebut, organisasi industri untuk member eksterior telah mempersiapkan Pedoman seperti di bawah ini: Pedoman-pedoman ini membantu disainer struktur, pemilik pekerjaan, dan supervisor dalam menentukan apakah daya tahan terhadap angin dari member eksterior tersebut sesuai dengan ketentuan beban angin pada Undang-Undang Standar Bangunan.

### Material Atap

- Asosiasi Industri Genteng Jepang dan lainnya: Pedoman Disain dan Instalasi Standar Genteng (2001)
- NPO Pusat Teknis Penyediaan Eksterior: Pedoman untuk Penutup Batu Hias untuk Atap Rumah dan Disain dan Instalasi Tahan Air (2002)
- Asosiasi Atap Metal Jepang dan Masyarakat Konstruksi Baja Jepang: Standar Struktur Atap Baja Lembaran SSR2007
- Asosiasi Pengembangan Tembaga Jepang: Manual *Struktur Atap Tembaga Lembaran (direvisi tahun 2004)*
- Institut Arsitektur Jepang: Spesifikasi Standar Arsitektural Jepang JASS12, Pekerjaan Atap (2004)

### Dinding Eksterior

- Institut Arsitektur Jepang: Spesifikasi Standar Arsitektural Jepang JASS27, Pekerjaan Dinding Eksterior Kering (2004)
- Asosiasi Produsen Pelapis-dinding Berserat: Pelapis-dinding Tipe Berserat dan Eksekusi Standar (versi kedua tahun 2009), Peningkatan Kualitas dan Durabilitas Perumahan dan Struktur Ventilasi Dinding Eksterior (2001)
- Asosiasi Industri Pelapis-dinding Metal Jepang: Manual Pelaksanaan dari Asosiasi Industri Pelapis-dinding metal Jepang (2008)
- Asosiasi Asosiasi Pelat Semen Ekstrusi: Spesifikasi Standar untuk Pelaksanaan PSE (2010)
- Institut Arsitektur Jepang: Spesifikasi Standar Arsitektural JASS21 Pekerjaan Panel ALC (2005)
- Asosiasi Panel Beton Rongga Ringan *Autoclave*: Pedoman Disain Struktur Panel ALC (2004), Pedoman Konstruksi dan Disain Panel Tipis ALC (Oktober 2002), Standar Struktur Pemasangan ALC (2004)
- Institut Arsitektur Jepang: Spesifikasi Standar

Arsitektural JASS14 Pekerjaan Dinding Tirai(1996)

- Asosiasi Jendela Api Dinding Tirai: Standar Kinerja Dinding Tirai (2006)
- Asosiasi Sistim Beton Pracetak: Pedoman Disain, Contoh Perhitungan Dinding Tirai Pracetak (versi revisi sementara)

### Bukaan (pintu, kaca jendela, dll)

- Asosiasi *Rolling Shutter & Rolling Doors* Jepang: Standar Perhitungan Kekuatan Tahanan terhadap Tekanan untuk *Shutter Doors* dan *Overhead Doors* (2003)
- Institut Arsitektur Jepang: Spesifikasi Standar Arsitektural JAS17 Pekerjaan Kaca (2003)

\*\*\*\*\*

Garis Besar mengenai beban angin pada bangunan yang diadopsi di Jepang dijelaskan dengan membandingkan ketentuan beban angin dalam Undang-Undang Standar Bangunan dan pedoman dalam *Rekomendasi untuk Bangunan* dari Institut Arsitektur Jepang. Selanjutnya pedoman untuk disain tahan angin terkait member eksterior bangunan yang disiapkan oleh organisasi industri terkait juga diperkenalkan.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 9~10)

## Evaluasi Kelayak-hunian Terkait Getaran Bangunan akibat Angin

*Oleh Osamu Nakamura, Wind Engineering Institute Co., Ltd.*

Seperti diketahui angin dapat mengakibatkan bangunan bergetar. Ketika terjadi getaran akibat angin terjadi ketidak-nyamanan, mual, mabuk dan efek lain yang tidak diinginkan yang dapat menimbulkan keluhan dan kerusakan bangunan. Selanjutnya, bila bangunan bergetar lebih keras, dapat terjadi kepanikan dan menimbulkan kekacauan. Bagaimana getaran dirasakan tergantung lingkungan sosial dan sensitifitas personal, dan tidak dapat dievaluasi dengan objektif; dan juga, kriteria terkait getaran pada bangunan berbeda di tiap negara. Sementara itu, bila orang tidak merasakan getaran pada suatu bangunan pada saat ada getaran, kegelisahan hilang dan sensitifitas terhadap getaranpun berkurang.

Topik khusus dalam diskusi artikel ini adalah: bagaimana bangunan bergetar ketika ada angin, bagaimana orang merasakan getaran akibat angin

diperlakukan di beberapa negara, dan khususnya penanggulangan apa yang dilakukan di Jepang terhadap getaran akibat angin.

### Getaran Bangunan akibat Angin

Ketika angin mengakibatkan sebuah bangunan bergetar, getaran yang dominan pada bangunan rendah adalah pada arah angin, sedangkan pada bangunan tinggi, pola getaran lebih rumit dan terdiri dari getaran translasional dengan dua komponen horizontal (pada arah angin dan arah angin silang) serta getaran rotasional akibat torsi. Karena getaran acak demikian merupakan hasil dari gaya eksternal yang berubah tidak beraturan dalam hal waktu dan ruang, getaran tersebut terdiri dari respons berbagai komponen frekuensi dan karenanya tidak dapat dievaluasi dengan menggunakan frekuensi tunggal saja.

Akan tetapi, pada bangunan tinggi, komponen frekuensi natural primer daripada getaran translasional yang menonjol. Khususnya, *time history* dari akselerasi yang merupakan tujuan evaluasi artikel ini dapat dikatakan sebagai getaran harmonik dari frekuensi natural primer yang disertai modulasi amplitudo acak yang cukup halus seperti pada contoh dalam Gbr. 1. Dalam prakteknya, getaran terjadi dengan gabungan getaran translasional dua arah dan getaran torsional. Akan tetapi, tipe getaran ini muncul bergantian, dan respon maksimum terhadap getaran translasional dua arah jarang muncul bersamaan dengan getaran torsional.

Akibatnya, bahkan ketika akselerasi maksimum getaran translasional dua arah ataupun getaran torsional dianggap sejalan dengan akselerasi maksimum dari gabungan getaran translasional dan torsional, hasil evaluasi tidak menunjukkan perbedaan nyata. Lebih jauh lagi, ketika frekuensi natural pada arah getaran berbeda, tingkat persepsi seseorang terhadap getaran berbeda menurut frekuensi, sehingga evaluasi kelayak-hunian dapat dilakukan berdasarkan arah getaran.

Gbr. 1 Akselerasi *Time history* di Bagian Atas Bangunan

### Persepsi terhadap Getaran

Karena persepsi dan sensitifitas orang terhadap getaran sangat tergantung pada displasemen, kecepatan, guncangan dan faktor lainnya, tidaklah mudah untuk menunjukkan faktor mana yang paling signifikan dalam persepsi dan sensitifitas terhadap getaran.

Persepsi seseorang dan sensitifitasnya terhadap getaran berbeda berdasarkan amplitudo yang ditargetkan dalam evaluasi, tetapi, ketika mengevaluasi kelayak-hunian terkait getaran akibat angin, maka akselerasi merupakan faktor yang sering digunakan.

Karena tidak ada alasan pasti mengapa akselerasi sering digunakan, dapat dikatakan bahwa persepsi seseorang terhadap getaran sangatlah dipengaruhi oleh respon fisik terhadap getaran lantai. Akan tetapi, getaran bangunan yang mempertimbangkan kelayak-hunian sering dapat diterima sebagai getaran periode tunggal, sedangkan displasemen, kecepatan, akselerasi dan guncangan saling terkait dengan adanya frekuensi. Karena itu yang manapun yang digunakan dalam evaluasi akan memberikan hasil yang secara substansial identik.

Gbr. 2 menunjukkan hasil diskusi mengenai hubungan antara akselerasi dan ambang rata-rata dimana getaran mulai dirasakan. Gambar tersebut didasarkan pada hasil survei besar yang diperoleh dari uji laboratorium dan dari bangunan aktual yang diberikan angin kencang dan dilakukan evaluasi statistik terhadap hasil kuesionernya. Plot gambar menunjukkan nilai rata-rata ambang persepsi getaran dengan deviasi personal, atau probabilitas persepsi 50%. Tepatnya, sebagai contoh, Gbr. 2 menunjukkan akselerasi puncak sekitar  $5\text{cm/s}^2$  dalam lingkungan frekuensi 0,2 Hz, yang artinya 50% orang merasakan getaran ketika menerima frekuensi 0,2 Hz dengan akselerasi puncak  $5\text{cm/s}^2$ .

Diperoleh bahwa ambang persepsi getaran rata-rata menunjukkan perbedaan (symbol berbeda dalam gambar) tergantung pada organisasi yang memeriksa; dan bahwa ternyata dari berbagai organisasi yang berbeda terdapat tren yang sama dalam persepsi terhadap getaran dan hanya terdapat relatif sedikit deviasi seperti terlihat dalam gambar. Tren menunjukkan bahwa persepsi terhadap getaran tergantung pada frekuensi, dan terlihat tendensi bahwa getaran sangat dirasakan dalam lingkungan frekuensi 1~3 Hz.

Gbr. 2 Ambang Persepsi Rata-Rata terhadap Getaran

### Kriteria Daya Layan Hunian di Beberapa Negara

Untuk menghadapi isu terkait getaran bangunan akibat angin, kriteria daya layan penghuni di beberapa negara telah distandarisasi. Gbr. 3 menunjukkan perbandingan kriteria yang representatif untuk beberapa negara. Di beberapa negara digunakan

deviasi standar untuk akselerasi dan bukan nilai puncak akselerasi, namun demikian dalam gambar ini digunakan kriteria yang menggantikan nilai puncak.

Kriteria ini distandarisasi sehingga akselerasi puncak selama periode ulangnya tidak melampaui nilai frekuensi natural bangunan. Akan tetapi, kriteria Jepang menunjukkan tingkat 10, 30, 50, 70 dan 90% probabilitas persepsi, dan penentuan tingkat probabilitas persepsi dengan periode ulang 1 tahunan digunakan untuk penilaian disainer struktur. Bangunan di Jepang biasanya didisain dengan target probabilitas persepsi 50%. Dalam kriteria Australia, digunakan periode ulang jamak.

Dalam hal periode ulang pendek, perlu dipertimbangkan bagaimana menghadapi getaran rutin, dan dalam hal periode ulang panjang, perlu dipertimbangkan bagaimana menangani getaran besar yang terjadi jarang sekali; tetapi, penentuan periode ulang sangat tergantung pada lingkungan sosial dan konsep tiap negara.

Gbr. 3 Perbandingan Kriteria Daya Layan Penghuni untuk Bangunan Tinggi di Beberapa Negara.

### **Penanggulangan Getaran Bangunan akibat Angin**

Untuk memitigasi getaran bangunan akibat angin, digunakan metode yang meningkatkan kekakuan bangunan. Akan tetapi, seperti terlihat pada Gambar 2 dan 3, pada zona frekuensi rendah 1 Hz atau kurang, sekalipun getaran dimitigasi dengan meningkatkan kekakuan, frekuensi natural akan meningkat dimana pada akhirnya akan meningkatkan kemungkinan getaran akan terasa dan kelayak-hunian tidak akan meningkat. Untuk memperbaiki hal ini, kebanyakan digunakan metode yang meningkatkan kemampuan peredaman getaran. Dalam hal ini, karena tingkat akselerasi rendah biasanya ditujukan untuk meningkatkan kelayak-hunian; perlu menerapkan sistem peredaman yang efektif sekalipun pada zona dengan akselerasi rendah. Saat ini, banyak bangunan tinggi yang dibangun dengan instalasi alat peredam getaran.

Sebaliknya, dari perspektif perencanaan arsitektural, ada metoda perancangan lantai dan posisi bidang sesuai dengan frekuensi dan perkiraan penggunaan bangunan. Selanjutnya, untuk mencegah persepsi visual dan auditori terhadap getaran, penanganan yang dilakukan adalah untuk mencegah decit pada dinding partisi dan member struktur sekunder dan untuk mencegah getaran tirai jendela dan lampu gantung.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 11~14)

## **Disain Tahan Angin berbasis Kinerja untuk Kota Vertikal 300 m**

*oleh Kiyooki Hirakawa, Takenaka Corporation*

### **Garis Besar Bangunan dan Struktur**

ABENO HARUKAS (selanjutnya HARUKAS) adalah gedung pencakar langit tertinggi Jepang, dengan ketinggian 300 meter, yang diselesaikan pada bulan Maret 2014 (Foto 1).

Lokasi gedung adalah di Abeno, Osaka, yang merupakan kota yang mewakili Jepang dan area metropolitan terbesar ke tujuh dunia. Selama beberapa tahun terakhir area ini telah bertumbuh pesat dan menjadi pusat perhatian.

HARUKAS merupakan kota vertikal super tinggi dengan luas lantai sekitar 212.000 meter kuadrat. Berdiri dengan 60 lantai di atas permukaan dan 5 lantai di bawah permukaan, menara ini menggabungkan berbagai fungsi: stasiun terminal, *department store*, museum seni, kantor, hotel, observatorium, ruang parkir dan lainnya. Tidak ada bangunan lain dengan ukuran ini yang dibangun di atas sebuah stasiun dimanapun di dunia.

Jepang merupakan negara dengan paling banyak gempa bumi dan rawan topan. Detil disain gempa berbasis kinerja untuk gedung ini diringkas di Ref.1. Paper ini berfokus pada disain tahan angin berbasis kinerja untuk HARUKAS sebagaimana di bawah ini.

Ketika angin kencang berhembus pada sebuah bangunan, Karman vortex akan timbul pada sisi dimana angin turun dan mengakibatkan bangunan diguncang arah ortogonal terhadap angin. Ilustrasi pada Gbr. 1 menunjukkan visualisasi status Karman vortex yang menunjukkan bahwa pada kasus HARUKAS (kanan bawah) efek Karman vortex berkurang dibandingkan pada bangunan solid kotak (kiri bawah).

Kualitas karakteristik aerodinamis sangatlah penting dalam disain tahan angin sebuah gedung pencakar langit setinggi 300 meter. Satu “kekurangan” tipe bangunan seperti HARUKAS adalah bentuk bangunan dengan kinerja aerodinamis yang secara efisien mengurangi momen guling yang bekerja pada bangunan yang mengalami Karman vortex.

Seperti digambarkan dalam Gbr. 2, superstruktur terdiri dari tiga “blok” dengan jarak sempadan pada sisi

utara. Blok bawah diperuntukkan untuk *department store*, tengah untuk kantor dan atas untuk hotel. Blok atas memiliki atrium besar di tengah. Di antara blok dengan bagian atas dari blok atas terdapat lantai transfer rangka batang. Untuk menambah kekakuan horizontal dan torsi terhadap gempa bumi dan bangkitan angin, dipasang mega-rangka batang *outrigger* pada lantai transfer dan blok tengah

Keseluruhan ada empat tipe peredam, baik *viscous* dan histeresistik yang ditempatkan utamanya pada empat sudut di blok bawah, sekitar inti tengah (*central core*) di blok tengah dan sekitar atrium di blok atas untuk menyerap energi gempa bumi atau angin. Selain itu, ada dua jenis peredam massa (*mass damper*) (AMD dan ATMD) yang dipasang pada lantai 56 untuk meningkatkan kelayak-hunian khususnya hotel di blok atas. Di bawah ini digambarkan detail evaluasi kelayak-hunian terhadap beban angin.

Struktur yang kokoh dengan *outrigger* dan baut geser membantu mengurangi periode natural bangunan dan mencegah terjadinya getaran aerodinamis yang tidak stabil (fenomena guncangan menimbulkan guncangan lebih besar) yang mana dapat timbul pada bangunan biasa dengan periode lebih lama. Lebih lagi, penggunaan peredam kontrol getaran juga mendorong kinerja peredaman untuk menahan getaran bangunan akibat angin kencang dan meredakannya dalam waktu singkat.

Foto 1 Tampak arah Timur Laut

Gbr. 1 Status Karman Vortex

Gbr. 2 Perencanaan Struktur

### Garis Besar Disain Tahan Angin

Tabel 1 menunjukkan kecepatan angin, kriteria dan item lainnya dalam mengembangkan disain tahan angin berbasis kinerja untuk gedung ini.

Table 1 Item yang Dipelajari dalam Disain Tahan Angin

### Garis Besar Uji Terowongan Angin

Uji pengukuran tekanan angin dilakukan untuk menentukan tekanan angin yang bekerja pada gedung ini. Ukuran model uji terowongan angin untuk keperluan tersebut adalah 1/500, dan rentang modelingnya adalah radius 700 meter (Foto 2). Ada sekitar 600 titik ukur yang ditempatkan pada model akrilik untuk mengukur tekanan angin.

Gaya geser dasar (*base shear*) dihitung dengan

analisa respons moda spektrum dengan hanya mempertimbangkan mode pertama saja. Hubungan antara gaya geser dasar pada kecepatan angin untuk "Level 2" sesuai dengan periode ulang 500 tahunan dan sudut angin ditunjukkan pada Gbr. 3. Gaya geser dasar maksimum dalam arah Utara-Selatan (Y), sisi sempit gedung, muncul pada sudut angin 85°, dekat dengan arah Timur-Barat (X) (Gbr. 3(b)).

Foto 2 Uji Terowongan Angin

Gbr. 3 Hubungan antara Gaya Geser Dasar dan Sudut Angin

### Perhitungan Beban Angin

Beban angin pada semua lantai saat gaya geser dasar terbesar pada sudut 175° dan 85° untuk arah X dan arah Y masing-masing ditunjukkan pada Gbr. 4 dalam perbandingan dengan beban seismik untuk "Level 2"

Beban seismik melampaui beban angin di semua lantai dalam arah X dan hampir semua lantai kecuali untuk beberapa lantai bawah dalam arah Y. Untuk disain potongan digunakan beban dengan kedua jenis beban sebagai beban luar.

Gbr. 4 Perbandingan antara Beban Angin dan Beban Seismik.

### Studi Getaran Aerodinamik Tidak-stabil

Kecepatan angin ketika frekuensi yang timbul akibat Karman Vortex berdasarkan pengukuran tekanan angin sama dengan frekuensi natural bangunan (0,169 Hz) di arah Y adalah sebesar 97,9 m/sec., sebesar 1,4 kali daripada kecepatan angin (66,6 m/sec.) dengan interval ulang 500 tahunan.

Terlihat bahwa gedung ini memiliki konfigurasi yang tidak memungkinkan terjadi getaran aerodinamik yang tidak stabil, karena lebar gedung bervariasi berdasarkan tingginya pada arah Y dimana tekanan angin yang lebih besar adalah mengikuti arah ortogonal dengan arah angin 90° dan 270°.

Namun demikian, dilakukan percobaan getaran aerodinamik dengan mempertimbangkan bahwa blok atas lebih tipis dan mungkin rawan terhadap getaran torsi. Percobaan dilakukan dengan menggunakan model 3D dengan 5 massa terpusat yang memiliki besaran yang sama untuk massa, eigenvalue dan peredaman (0,03 untuk mode translational dan 0,014 untuk mode torsional) sebagai nilai disain (Foto3). Hasilnya, diperoleh bahwa getaran aerodinamik tidak stabil tidak terjadi pada kecepatan angin kurang dari

1,2 kali kecepatan angin disain dengan periode ulang 500 tahunan, seperti pada Gbr. 5.

Foto 3 Percobaan getaran aerodinamik  
Gbr. 5 Uji Getaran Aerodinamik

### Evaluasi Kelayak-hunian

Pada blok atas gedung ini akan ada sebuah hotel, yang membutuhkan kenyamanan hunian sehingga akselerasi response harus di bawah sekitar  $3 \text{ cm/sec}^2$ , pada Kelas H-3011 (sekitar 30% penghuni merasakan tremor) dengan interval ulang satu tahunan. Untuk tujuan tersebut, dua jenis peredam masa aktif diinstalasi pada lantai 56 untuk mengurangi akselerasi respon dalam hal terjadi angin kencang.

Kedua peredam masa aktif akan bekerja hanya ketika periodenya sinkron dengan periode natural gedung, yaitu sekitar 6 detik. Salah satu peredam masa aktif (*active mass damper*) (AMD) di sisi Timur merupakan pendulum konvensional. Yang lainnya, peredam masa aktif selaras (*active tuned mass damper*) (ATMD) pada sisi Barat adalah pendulum gantung konvensional yang digabung dengan pendulum terbalik untuk mengurangi panjang gantung (2.2 m) dan tidak melebihi ketinggian plafon seperti pada Gbr. 6

Kelayak-hunian ruangan hotel ditingkatkan dengan peredam massa untuk sisi sempit gedung (Utara-Selatan; arah Y) seperti pada Gbr. 7. Akan tetapi, getaran pada sisi lebar (Timur-Barat; arah X) cukup kecil tanpa peredam massa.

Gedung ini memberikan kelayak-hunian tingkat tinggi dengan cara mereduksi akselerasi guncangan dalam arah pendek sampai sekitar separuh ketika angin kencang berhembus, dengan perkiraan frekuensi beberapa hingga sepuluh waktu ganjil per tahun.

Gbr. 6 Mekanisme Peredam Masa Aktif Selaras  
Gbr. 7 Evaluasi Kelayak-hunian Ruang Tamu Hotel di Lantai 55  
Foto 4 Bagian atas HARUKAS

### Kesimpulan dari Disain Tahan Angin Berbasis Kinerja

Seksi ini memperkenalkan disain tahan angin bangunan tinggi 300 m pertama di Jepang. Konfigurasi gedung, sistem superstruktur dan berbagai alat peredam dipergunakan terpadu untuk menghasilkan keamanan dan kenyamanan menghadapi beban angin.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 15~18)  
*Teknologi Aplikasi Baja*

## Detil Dasar mengenai Sambungan Baut Kekuatan Tinggi

oleh Kelompok Riset Produk Baja untuk Konstruksi Bangunan, Federasi Besi dan Baja Jepang

Dalam penyambungan member kerangka baja dengan baut kekuatan tinggi, ada dua metode yang biasa digunakan: sambungan geser dan sambungan tarik. Kedua jenis baut kekuatan tinggi yang sering digunakan adalah: baut heksagonal kekuatan tinggi dan baut geser torsi kekuatan tinggi. Di samping baut yang diproduksi dengan menggunakan material baja untuk kegunaan umum, terdapat juga baut galvanis celup panas dan baut yang dibuat dengan baja tahan api, baja cuaca dan baja *stainless*, aplikasinya tergantung dari lingkungan. Diameter nominal baut yang digunakan biasanya M16, M20, M22 dan M24. Di samping itu, beberapa produsen baut menawarkan diameter lebih besar seperti M26 dan M30.

Saat ini, *grade* baut kekuatan tinggi yang paling sering digunakan dalam pembangunan konstruksi di Jepang adalah F10T (kuat tarik:  $1.000 \text{ N/mm}^2$ ), dan *grade* baut galvanis celup panas adalah F8T (kuat tarik:  $800 \text{ N/mm}^2$ ). Di waktu lampau, baut F13T (kuat tarik:  $1.300 \text{ N/mm}^2$ ) diproduksi tetapi kemudian dilarang karena timbulnya fraktur tunda (*delayed fracture*). Kemudian, terkait *grade* F8T, F10T dan F11T (kuat tarik  $1.100 \text{ N/mm}^2$ ) Standar Industri Jepang (JIS), penggunaan baut F11T dilarang untuk hampir seluruh bagian. Selanjutnya, F11T tidak dicantumkan dalam *Buku Pedoman Disain dan Fabrikasi Sambungan Baut Kekuatan Tinggi* yang diterbitkan oleh Institut Arsitektur Jepang.

Tabel 1 menunjukkan baut kekuatan tinggi yang saat ini biasa digunakan di Jepang.

Tabel 1 Baut Kekuatan Tinggi yang Biasa Digunakan di Jepang

### Jenis-Jenis Baut Kekuatan Tinggi

#### • Baut Heksagonal Kekuatan Tinggi

Baut heksagonal kekuatan tinggi yang digunakan untuk menyambung baja biasa dispesikasi dalam JIS: JIS B 1186 (set kumpulan baut heksagonal kekuatan tinggi, mur heksagonal dan *washer* sederhana untuk

sambungan geser) dan 1 set dinyatakan terdiri dari 1 baut, 1 mur dan 2 *washer* (lihat Foto 1). Alasan mengapa spesifikasi baut dinyatakan dalam set adalah untuk menjamin *properties* mekanikal, bentuk dan dimensi baut, mur dan *washer* dalam satu set, dan juga untuk menentukan pemberian gaya aksial.

Ada tiga jenis baut heksagonal menurut *properties* mekanisnya dalam setnya: Tipe 1 (F8T), Tipe 2 (F10T) dan Tipe 3 (F11T). Dalam set Tipe 1 (F8T), efisiensi penyambungan buruk dan tidak ada pabrik yang bersertifikasi JIS; dan dalam set Tipe 3 (11T), telah terjadi fraktur tunda. Oleh karenanya, kedua set baut ini tidak lagi digunakan. Saat ini, hanya Tipe 2 (10T) yang diproduksi oleh pabrik yang bersertifikat JIS yang digunakan.

Selanjutnya, baut heksagonal kekuatan tinggi diklasifikasi menjadi Tipe A atau B menurut koefisien torsi dari set baut.

Material baja yang biasa digunakan untuk produksi produk baut adalah: baja rendah karbon dengan tambahan chromium (Cr) dan boron (B) untuk baut; baja karbon untuk struktur mesin untuk mur; dan baja karbon, atau baja rendah karbon dengan tambahan mangan (Mn) atau B, untuk struktur mesin untuk *washer* (Tabel 2).

Foto 1 Set baut heksagonal kekuatan tinggi  
Tabel 2 Contoh Komposisi Kimia Material Baja yang Digunakan untuk Baut, Mur dan *Washer* kekuatan tinggi (%)

#### • **Baut Geser Torsi Kekuatan Tinggi**

Baut geser torsi kekuatan tinggi dispesifikasi oleh Masyarakat Konstruksi Baja Jepang dalam JSS II 09. Satu baut, 1 mur dan 1 *washer* dispesifikasi sebagai 1 set (Foto 2), dan hanya satu set yang dispesifikasi dalam JSS II 09, yaitu, Tipe 2 (S10T). Baut geser torsi kekuatan tinggi dinyatakan sebagai grade S10T dan dibedakan dari baut heksagonal kekuatan tinggi yang dinyatakan sebagai F10 T.

Baut geser torsi memiliki konfigurasi dengan kepala baut bulat dan ekor (pin tail) pada pada ujung baut melalui alur pemutus (*break-off groove*) (lihat Foto 2). Baut ini juga menunjukkan bahwa gaya aksial yang dibutuhkan untuk baut geser torsi kekuatan tinggi diperoleh dengan memperkuat baut hingga ekor mengakibatkan fraktur dan karenanya *finishing* pekerjaan pembautan dapat diselesaikan. Sementara itu, gaya aksial yang mengencangkan dari set baut dispesifikasikan dalam standar untuk baut geser torsi

kekuatan tinggi. Tabel 3 menunjukkan gaya tekan yang dibutuhkan untuk baut pengencang pada temperature ruang.

Karena baut geser torsi kekuatan tinggi tidak distandarisasi dalam JIS, produsen baut mendapatkan persetujuan umum dari Menteri Infrastruktur, Pertanahan, Transportasi dan Pariwisata untuk memproduksi jenis baut ini.

Foto 2 Set baut geser torsi kekuatan tinggi

#### • **Baut Galvanis Celup Panas Kekuatan Tinggi**

Untuk menghasilkan prevensi karat atau proteksi karat untuk member kerangka baja, digunakan baut heksagonal galvanis celup panas (Foto 3) untuk menyambung bagian-bagian kerangka baja yang diproduksi dengan menggunakan produk galvanis celup panas dari baja biasa. Karena set baut heksagonal galvanis celup panas kekuatan tinggi tidak berstandar JIS dan karena nilai F (rating kekuatan) tidak ditetapkan dalam Undang-Undang Standar Bangunan Jepang, produsen baut sebelumnya mendapatkan persetujuan umum untuk “penyambungan baut galvanis celup panas kekuatan tinggi” dari Menteri Infrastruktur, Pertanahan, Transport dan Pariwisata berdasarkan Artikel 37 Undang-Undang Standar Bangunan. Saat ini, baut heksagonal galvanis celup panas diproduksi mengikuti standar JIS.

Galvanisasi baut, mur dan *washer* dilakukan pada HDZ255 (masa pelapis: 550 g/m<sup>2</sup>) atau lebih), dan *over-tapping* ulir mur dilakukan sebelum dilakukan galvanisasi.

Biasanya, *rating* kekuatan baut galvanis celup panas ditetapkan pada level F8T, dengan mempertimbangkan turunnya kekuatan dan terjadinya fraktur tunda sebagai akibat dari temperature rendam galvanisasi yang lebih tinggi dari temperature untuk pengerasan (*tempering*) baut kekuatan tinggi F10T. Akan tetapi, baut F12T yang diproduksi dengan menggunakan teknologi baru untuk baut kekuatan ultra tinggi sekarang telah dipergunakan.

Permukaan gesek setelah dilakukan galvanisasi diberikan perlakuan sedikit *blasting* untuk menambah kekasaran permukaan hingga 50 mikron Rz atau lebih. Ketika perlakuan khusus untuk permukaan selain dengan *blasting* diberikan, dilakukan uji kekuatan slip untuk memastikan gesekan permukaan.

Tabel 3 Pemberian Tarik untuk Set Baut Geser Torsi Kekuatan Tinggi (Temperatur Ruang)

Foto 3 Set baut galvanis celup panas kekuatan tinggi

## Disain dan Penyambungan Sambungan Baut Kekuatan Tinggi

### • Kekuatan Ijin Baut Kekuatan Tinggi

Kekuatan ijin untuk sambungan geser dan sambungan tarik baut kekuatan tinggi (F10T dan S10T) ditentukan dalam Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Standar Bangunan, dan kekuatan ijin baut galvanis celup panas (F8T) dispesifikasi menurut persetujuan Menteri Infrastruktur, Pertanian, Transport dan Pariwisata. Kekuatan ijin, diringkas dalam Tabel 4 menurut diameter baut.

Kekuatan geser ijin baut galvanis celup panas kekuatan tinggi (F8T), seperti dalam Tabel 4, dicari dengan rumus: “kekuatan geser ijin =  $0,40 \times B_0$  (kuat-tarik disain dari baut),” dimana koefisien slip diambil 0,40. Sebaliknya, kekuatan geser ijin dari baut geser torsi dan heksagonal kekuatan tinggi dihitung dengan menggunakan koefisien slip 0,45. Sementara itu, kekuatan geser ijin dan gaya tarik ijin untuk F10T dan S10T serupa dengan yang dijelaskan dalam *Standar Disain untuk Struktur Baja* dari Institut Arsitektur Jepang.

Table 4 Kekuatan Ijin Baut Kekuatan Tinggi (Beban yang disokong)

### • Pekerjaan Pengencangan

Pengencangan baut kekuatan tinggi dilakukan dengan urutan berikut: pengencangan primer → penandaan → pengencangan akhir. Sementara itu, instruksi prosedur kerja baut kekuatan ultra tinggi serupa dengan baut kekuatan tinggi, tetapi torsi primer untuk baut kekuatan ultra tinggi berbeda dengan baut kekuatan tinggi.

#### — Pengencangan primer

Pengencangan primer baut heksagonal kekuatan tinggi, baut geser torsi kekuatan tinggi dan baut baja *stainless* kekuatan tinggi dilakukan dengan menggunakan nilai torsi pengencangan primer seperti pada Tabel 5; baut galvanis celup panas kekuatan tinggi dikencangkan dengan menggunakan nilai torsi pengencangan primer dalam Tabel 6.

Tabel 5 Torsi Pengencangan Primer untuk Baut Kekuatan Tinggi

Tabel 6 Torsi Pengencangan Primer untuk Baut Galvanis Celup Panas Kekuatan Tinggi

#### — Penandaan

Setelah pengencangan primer selesai, semua set baut, mur dan washer, serta member struktural, diberi tanda

#### — Pengencangan akhir

Setelah dilakukan pengencangan dan penandaan, pengencangan akhir dilakukan dengan merotasi mur. Baut heksagonal kekuatan tinggi dikencangkan dengan menggunakan torsi yang ditentukan untuk mencapai kuat tarik standar untuk baut. Baut geser torsi kekuatan tinggi dikencangkan dengan kunci inggris elektrik khusus sampai alur pemutus (*break-off groove*) pecah.

Pengencangan akhir baut galvanis celup panas dan baut *stainless* kekuatan tinggi dilakukan dengan memutar but  $120^\circ$  dari tanda yang dibuat pada saat menyelesaikan pengencangan primer dan penandaan.

#### — Inspeksi

Setelah pengencangan akhir, kelebihan panjang baut dan rotasi mur diperiksa secara visual untuk memastikan apakah terjadi pengencangan. Sementara itu, untuk baut heksagonal kekuatan tinggi dan baut geser torsi kekuatan tinggi yang dikencangkan dengan metoda torsi hingga mencapai tegangan tarik baut standar, atau rentang kriteria baut, derajat rotasi mur pada saat pengencangan akhir akan menunjukkan sedikit perubahan hingga sekitar beberapa persepuluh derajat.

Sebaliknya, baut galvanis celup panas kekuatan tinggi dan baut baja *stainless* kekuatan tinggi yang dikencangkan menggunakan metoda rotasi mur hingga mencapai hampir mencapai kekuatan baut, rotasi akhir mur adalah sebesar  $120^\circ$  (besar rotasi yang ditentukan). Karena relaksasi pasca pengencangan baut galvanis celup panas kekuatan tinggi dan baut baja *stainless* kekuatan tinggi lebih besar dibanding pada baut heksagonal kekuatan tinggi dan baut geser torsi kekuatan tinggi, tegangan tarik pengencangan yang dibutuhkan ditingkatkan hingga area leleh baut.

Bila dalam inspeksi visual ditemukan baik baut maupun *washer* mengalami rotasi serentak and rotasi aksial akibat penandaan setelah pengencangan primer dan bila terlihat rotasi mur yang abnormal, maka set baut digantikan dengan yang baru. Dalam hal tersebut, baut kekuatan tinggi yang sudah digunakan tidak boleh digunakan kembali.

#### — Kontrol Pekerjaan Pengencangan

Untuk memastikan apakah permukaan geser sudah diberi perlakuan dengan benar atau pengencangan sudah benar, Organisasi Kontrol Mutu Rangka Baja Arsitektural di bawah Masyarakat Konstruksi Baja

Jepang telah menerbitkan instruksi dengan judul “Sistim Kualifikasi untuk Insinyur untuk Kontrol Penyambungan Baut Arsitektural Kekuatan Tinggi” untuk baut kekuatan tinggi secara umum dan “Sistim Kualifikasi untuk Insinyur Pelaksana Baut Kekuatan Tinggi” untuk baut galvanis celup panas kekuatan tinggi dan baut baja *stainless* kekuatan tinggi. Menurut instruksi prosedur kerja yang digambarkan dalam kedua sistim kualifikasi tersebut, insinyur yang terlibat dalam pekerjaan penyambungan baut kekuatan tinggi akan dapat melakukan kontrol pelaksanaan dengan baik.

Karena para insinyur tersebut memiliki pengetahuan yang baik mengenai pelaksanaan pekerjaan baut kekuatan tinggi, mereka akan menghasilkan pekerjaan dengan kualitas tinggi ketika menyambung dengan baut kekuatan tinggi.

### Perkembangan Terbaru dalam Baut Kekuatan Tinggi

Sebagaimana dinyatakan di atas, *rating* kekuatan dari baut kekuatan tinggi yang biasa digunakan telah ditingkatkan menjadi *grade* F10T (1.000 N/mm<sup>2</sup>). Hal ini diakibatkan karena resiko yang tak terhindarkan terjadinya fraktur tunda pada penggunaan bau F11T ataupun *grade* yang lebih tinggi.

Akan tetapi, karena ukuran dan kekuatan member rangka baja semakin tinggi dalam konstruksi bangunan, penggunaan baut F10T mengakibatkan peningkatan ukuran member sambungan dan juga jumlah baut yang dibutuhkan. Dengan situasi demikian, maka kebutuhan akan sambungan baut yang lebih kompak maupun baut kekuatan tinggi yang lebih kuat menjadi meningkat. Untuk menjawab kebutuhan ini, beberapa produsen baut telah berhasil mengatasi masalah terkait fraktur tunda yang diakibatkan baut kekuatan yang lebih tinggi, dan telah mengembangkan serta menggunakan baut geser torsi kekuatan ultra tinggi dengan tegangan tarik 1.400 N/mm<sup>2</sup>, serta juga baut galvanis celup panas heksagonal kekuatan ultra tinggi dengan tegangan tarik 1.200 N/mm<sup>2</sup>.

#### • Baut Geser Torsi Kekuatan Ultra Tinggi

Baut geser torsi kekuatan ultra tinggi saat ini banyak digunakan dengan adanya pengembangan material baja dengan daya tahan terhadap fraktur tunda dan juga karena membaiknya konfigurasi ulir yang mengurangi konsentrasi tegangan (Foto 4). Konfigurasi dan dimensi dasar sesuai dengan standar JSS II 09 dari Masyarakat Konstruksi Baja Jepang. Baut geser torsi

kekuatan ultra tinggi menawarkan kekuatan disain yang tinggi sekitar 1,5 kali baut konvensional (F10T), dan sambungan bautnya kompak, sekitar 2/3 ukuran sambungan baut konvensional.

Karena karakteristik ini, pengguna dapat mendapatkan keuntungan dari aplikasi baut geser torsi kekuatan ultra tinggi: pengurangan biaya dan waktu konstruksi dan efisiensi yang tinggi dan penghematan tenaga kerja untuk pemasangan baut. Karenanya, aplikasi baut ini saat ini meningkat dalam pembangunan bangunan tinggi yang menggunakan member struktural ukuran besar, pusat perbelanjaan dengan bentang yang lebar antar kolom, dan pabrik dan gudang dengan lantai berat. Tabel 7 menunjukkan contoh baut geser torsi kekuatan ultra tinggi.

Foto 4 Set baut geser torsi kekuatan ultra tinggi  
Table 7 Contoh Baut Kekuatan Ultra Tinggi



(Sampul Belakang)

*Aktifitas FBBJ*

### Persiapan Material Acuan pada Teknologi Konstruksi Baja di Jepang

(Untuk detil, lihat versi Bahasa Inggris)

### Permintaan untuk Berpartisipasi dalam Survei *Steel Construction Today & Tomorrow*

*Steel Construction Today & Tomorrow*, periodikal bersama Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ) dengan Masyarakat Konstruksi Baja Jepang, diterbitkan tiga kali dalam setahun. Ini merupakan satu-satunya periodikal yang mengirimkan informasi teknologi tentang konstruksi baja di Jepang kepada komunitas konstruksi sedunia.

Kami sedang menjalankan survei pembaca periodikal dengan publikasi tiga terbitan yang direncanakan untuk tahun fiskal 2014. Tujuan utama adalah untuk dapat mengerti secara tepat kebutuhan pembaca agar kegunaan publikasi ini dapat ditingkatkan. Formulir tersedia sebagai berikut.

#### • Pada situs FBBJ (JISF)

→Enter “jisf” dan cari di mesin pencari internet

→Klik tombol untuk situs JISF bahasa Inggris

→Klik tombol Steel Construction Today & Tomorrow

→Klik formulir survei

#### • Bentuk cetakan untuk fax

Formulir survei dilampirkan dalam majalah ini yang dikirim secara regular ke pelanggan. Mohon mengisi formulir dan fax ke +81-3-3667-0245

Jawaban positif anda via formulir survei pembaca akan sangat membantu kami dalam meningkatkan penggunaan *Steel Construction Today & Tomorrow*. Hal ini akan bermanfaat bagi negara anda dan industri baja negara Jepang. Untuk mencapai tujuan ini, kami sangat mengharapkan kerja sama anda dengan mengirim balik formulir survei pembaca.