

PENGARUH TORSI PADA BANGUNAN

NI KADEK ASTARIANI

Fak. Teknik Univ. Ngurah Rai Denpasar

ABSTRAK

Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Torsi merupakan efek momen termasuk putaran/ puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral – sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

Torsi yang timbul pada bangunan dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu : bentuk bangunan, efek gangguan bangunan lain, dan pengaruh dinamis, namun para perancang sering melalaikan pengaruh tersebut. Torsi tidak dapat dihapuskan tetapi dapat mungkin diperkecil atau paling sedikit merancang untuk dikenali. Seperti kasus untuk terowongan angin telah menjadikan satu – satunya cara untuk mengidentifikasi torsi, tetapi mereka juga menyediakan bantuan di dalamnya untuk memperkecil torsi atau perancangan untuk itu.

Kata kunci : torsi, beban lateral, puntiran

PENDAHULUAN

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran / puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral – sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

Penelitian tentang kerusakan akibat gempa termasuk yang baru memiliki indikasi sering terjadi gerakan torsi yang menyebabkan masalah yang cukup serius pada bangunan. Pada batas elastis dari respon, gerakan torsi dihasilkan ketika pusat kekakuan struktur tidak bertepatan dengan pusat massanya. Struktur dengan ketidaktepatan pusat massa dan kekakuan akan menjadi struktur yang tidak simetris atau struktur dengan ketidakseimbangan torsi, dan gerakan torsi dapat disebabkan oleh ketidaksimetrisan atau ketidakseimbangan sehingga menjadi seperti puntiran natural. Ketidaksimetrisan pada kenyataannya ada dalam struktur simetris secara nominal karena ketidakpastian dalam evaluasi pusat massa dan kekakuan, ketidaktepatan dalam ukuran dimensi elemen struktural atau ketiadaan data dalam material properties seperti modulus elastisitas. Torsi juga dihasilkan dari gerakan rotasi dalam tanah pada arah sumbu vertikal. Torsi ini timbul dari faktor asimetris dan gerakan rotasi tanah yang bersamaan sehingga menyebabkan torsi secara kebetulan.

Perumusan Masalah

Dari uraian tersebut di atas, yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah faktor-faktor apakah yang menyebabkan terjadinya torsi pada bangunan, elemen-elemen apakah yang dapat digunakan dalam sistem penahan lateral dan bagaimana merencanakan gedung untuk memperkecil terjadinya torsi

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya torsi pada bangunan dan elemen-elemen yang digunakan dalam sistem penahan lateral dan usaha-usaha yang diperlukan untuk memperkecil terjadinya torsi pada gedung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan (*library research*), dimana data bersumber dari buku-buku, jurnal ilmiah, internet dan sumber lainnya yang terkait dengan permasalahan Data dianalisis dengan analisis kualitatif

PEMBAHASAN

1. Faktor-faktor Penyebab Terjadinya Torsi pada Bangunan

Torsi yang timbul pada bangunan dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu : bentuk bangunan, efek gangguan bangunan lain, dan pengaruh dinamis, ketidaksimetrisan dalam struktur simetris secara nominal, ketidaktepatan dalam ukuran dimensi elemen struktural atau ketiadaan data dalam material properties seperti modulus elastisitas, juga torsi dihasilkan dari gerakan rotasi dalam tanah pada arah sumbu vertikal.

Pada tulisan ini hanya dibahas terjadinya torsi akibat dari gerakan rotasi dalam tanah yang disebabkan oleh beban angin dan beban gempa

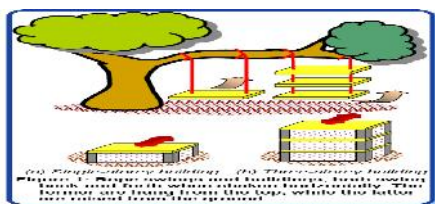
a. Beban Angin

Gedung pencakar langit yang pertama tidak rentan terhadap akibat – akibat aksi lateral yang rumit yang disebabkan oleh angin. Berat dinding pendukung batu begitu besarnya sehingga aksi angin tidak dapat mengatasi gaya – gaya gravitasi yang ada pada struktur tersebut. Bahkan ketika sistem pendukung diganti oleh struktur rangka kaku pada akhir abad ke-18, gravitasi tetap merupakan faktor penentu utama. Fasade batu yang berat dengan bukaan – bukaan kecil, kolom – kolom berjarak rapat, unsur – unsur rangka yang masif dan tersusun berlapis – lapis, demikian pula dinding partisi yang berat masih menghasilkan bobot sehingga aksi angin tidak menjadi masalah penting. Aksi angin pada bangunan bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh faktor – faktor lingkungan seperti kekasaran dan bentuk permukaan, bentuk kerampingan dan tekstur fasade struktur itu sendiri serta perletakan bangunan yang berdekatan.

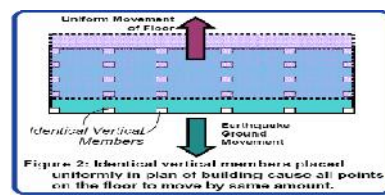
b. Beban Gempa

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa gedung akan mengalami puntiran apabila adanya eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa selama terjadinya gempa. Hal ini dapat dijelaskan dan diilustrasikan secara sederhana pada gambar berikut.

Saat kita bermain ayunan kayu yang digantung di dahan pohon, kalau kita duduk di tengah papan dan mengayun, kita akan berayun – ayun dengan teratur. Hal yang sama juga terjadi pada gedung saat digoyang gempa, hanya saja posisinya terbalik (Gambar 1). Dinding vertikal dan kolom – kolom identik dengan tali penggantung, sedangkan lantai merupakan papan ayunan. Gedung berayun maju mundur saat diguncang gempa. Gedung dengan lebih dari 1 lantai seperti ayunan dengan papan yang bersusun. Dilihat dari atas, gedung dengan kolom – kolom yang simetris dan merata, saat digoyang lantainya akan bergerak bersama – sama secara seragam pada arah goyangan (Gambar 2).



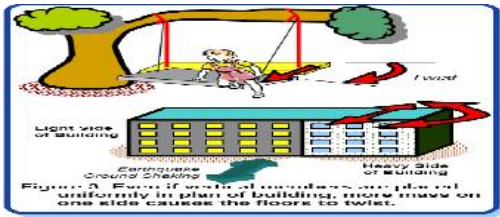
Gambar 1. Ayunan tali dan gedung



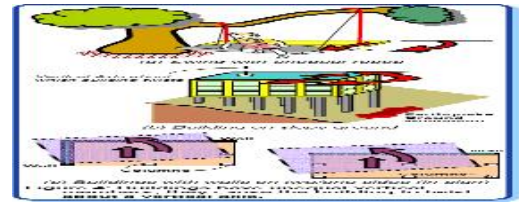
Gambar 2. Identical vertical members

Kembali ke ayunan gantung, bila kita duduk pada salah satu ujung papan, saat diayun ayunan akan terpuntir, satu bagian akan bergerak lebih jauh dari ujung yang lain. Hal yang sama juga terjadi pada massa bangunan, bila massa di lantai bangunan tidak merata, maka bagian lantai dengan massa lebih berat akan bergerak lebih jauh saat digoyang gempa (Gambar 3). Dengan kata lain gedung akan mengalami puntiran. Kembali ke ayunan gantung, kalau tali penggantung panjangnya berbeda, ayunan juga akan terpuntir saat diayun meski kita duduk di tengah papan (Gambar 3). Demikian pula halnya dengan gedung yang kolom atau dindingnya tidak sama juga akan mengalami puntiran (Gambar 3.). Atau gedung dengan dinding hanya pada dua sisi (atau bahkan 1 sisi saja) dan kolom pada sisi lainnya, akan terpuntir saat tanah bergoyang (Gambar 4). Gedung dengan bentuk tak teratur cenderung terpuntir saat digoyang gempa. Sebagai contoh, gedung dengan

konsol panjang, konsol akan berayun pada kolom yang lebih kurus dan lantai gedung terpuntir pada arah horisontal.



Gambar 3. *Even if vertical members are placed uniformly in plan of building, more mass on one side causes the floors to twist*



Gambar 4. *Buildings have unequal vertical members; they cause the building to twist about vertical axis*

2. Elemen-elemen Sistem Penahan Lateral

Perkembangan dari sistem penahan lateral dan perkembangan umum dari bangunan yang utuh seperti kesatuan penahan gaya, memerlukan penggunaan elemen dan peralatan khusus. Pada bagian ini akan coba dijelaskan beberapa elemen yang biasa digunakan dalam sistem penahan lateral.

a. Diafragma Lateral

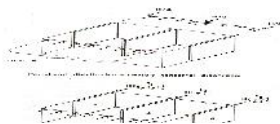
Kebanyakan dari sistem struktur penahan lateral untuk gedung terdiri dari beberapa kombinasi dari elemen vertikal dan horisontal. Elemen horisontal seringkali terdiri dari atap, lantai, dan dek. Ketika dek memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk dikembangkan menjadi penampang yang kaku, hal inilah yang disebut sebuah diafragma horisontal.

Diafragma horisontal secara khusus berfungsi mengumpulkan gaya lateral pada level tertentu pada gedung kemudian didistribusikan ke elemen pada sistem penahan lateral. Untuk beban lateral angin pada diafragma horisontal biasanya melalui dinding luar hingga ke tepinya. Untuk beban gempa, sebagian merupakan hasil berat sendiri, dan sebagian lagi dihasilkan dari berat bagian lain dari gedung yang terpasang untuk itu.

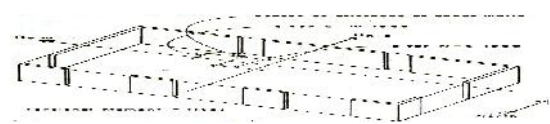
Perilaku struktural tertentu dari diafragma horisontal dimana beban didistribusikan ke elemen vertikal tergantung dari beberapa pertimbangan. Beberapa kasus umum akan dijelaskan sebagai berikut :

- *Kekakuan Relatif dari Diafragma Horisontal*

Jika diafragma horisontal adalah relatif fleksibel, hal ini dapat dibelokkan. Hal yang berkesinambungan atau menerus dapat diabaikan dan distribusi beban untuk kekakuan relatif elemen vertikal adalah hal utama dari dasar beban luar. Jika dek cukup kaku, pada sisi lain, distribusi untuk elemen vertikal, menjadi hal utama dalam proporsi dalam kekakuan relatifnya dengan memperhatikan satu sama lain. Hal yang mungkin dari dua situasi ini dapat digambarkan dalam sistem box yang sederhana dalam Gambar 5



Gambar 5. *Distribusi peripheral versus distribusi kekakuan proporsional*



Gambar 6. *Efek rotasi (torsi) dari beban lateral*

- *Efek Torsi*

Jika pusat dari gaya lateral dalam diafragma horisontal tidak bersamaan dengan pusat kekakuan dari elemen vertikal, hal yang akan terjadi adalah aksi berputar (disebut efek rotasi tau efek torsi) pada struktur seperti halnya gaya yang langsung mempengaruhi. Gambar 6 di atas memperlihatkan pada sebuah struktur dimana efek ini terjadi karena ketiadaan simetris struktur. Efek ini biasanya diartikan hanya jika diafragma horisontalnya relatif kaku. Kekakuan ini dalam hal material konstruksi seperti halnya ketinggian sampai rasio

bentang dari diafragma horisontal. Pada umumnya kayu dan dek metal cukup fleksibel, sedangkan dek beton adalah sangat kaku.

3. Perencanaan Gedung Untuk Penahan Lateral

Perencanaan gedung harus mendapat banyak perhatian disamping ketahanan untuk gaya lateral. Bagaimanapun juga, serangan angin topan dan gempa adalah suatu kemungkinan riil, adalah mungkin untuk memberikan beberapa pertimbangan atau sedikitnya untuk menghindari ke arah lain, membuat bentuk gedung yang umum adalah mungkin sama buruknya untuk ketahanan lateral yang baik.

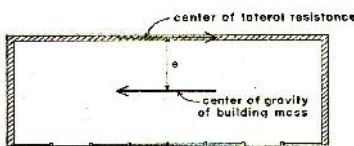
Diskusi dari kasus yang berhubungan dengan bentuk gedung harus memperhatikan 2 (dua) situasi yang berbeda : bentuk gedung secara keseluruhan dan bentuk sistem penahan lateral. Gambar 7 menggambarkan “simple one story building” dengan bentuk eksterior umum pada gambar bagian atas. Gambar yang paling bawah menunjukkan gedung yang sama dengan dinding, kanopi, jendela, dan elemen lainnya. Sistem ini terutama terdiri dari permukaan atap horisontal dan bagian dinding vertikal yang fungsinya seperti dinding geser. Keseluruhan gedung harus dipertimbangkan dalam menentukan massa bangunan untuk beban lateral, tapi struktur yang lepas harus tetap divisualisasikan untuk menginvestigasi efek dari gaya lateral.



Gambar 7. Bangunan dan sistem penahan beban lateral

Sebagian besar gedung adalah tidak simetris, kadang – kadang berada dalam satu poros, dan seringkali tidak berada dalam poros apapun. Bagaimanapun juga, simetri secara arsitektur yang riil tidaklah perlu dalam masalah yang benar dalam pengaruh gempa. Tentang perhatian yang kritis adalah alinyemen dari pengaruh massa bangunan (atau pusat dari gaya lateral) dengan pusat sistem penahan lateral khususnya pusat dari kekakuan sistem elemen vertikal. Kelebihan eksentrisitas dari pusat gaya lateral dari pusat kekakuan sistem bracing lateral, efek putaran terbesar bangunan.

Gambar 8 menunjukkan contoh ekstrim yang disebut “three side building”. Pada situasi ini ketiadaan penahan elemen vertikal pada sisi gedung memerlukan bahwa dinding *opposite* mengambil semua efek yang langsung berhubungan dengan gaya lateral. Dengan asumsi pusat dari massa bangunan kira – kira pada pusat rencana, hasil ini berada dalam eksentrisitas yang besar diantara beban dan dinding penahan. Aksi putar yang hasilnya akan menjadi penahan sebagian oleh 2 (dua) dinding akhir yaitu pada sudut kanan beban, tetapi pengaruh umum terhadap gedung memang sangat tidak diinginkan. Tipe struktur ini adalah sangat terbatas digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi.



Gambar 8. Three side building



Gambar 9. Bentuk bangunan multimassa

Ketika bangunan secara arsitektur tidak simetris, sistem bresing lateral harus disesuaikan, jadi bila pusat kekakuan dekat dengan pusat massa atau hal ini harus didesain untuk efek putaran pada gedung, seperti pada bentuk bangunan yang kompleks semakin meningkat, hal ini mungkin perlu untuk mempertimbangkan gedung untuk multimassa (Gambar 9 di atas).

4. Efek dari Ketiadaan Simetri

Arti simetri untuk perilaku sistem penahan gaya lateral telah dibicarakan diatas. Torsi, efek putaran pada bangunan adalah sedikit banyak kritis untuk gempa, tetapi juga menyebabkan masalah angin topan pada struktur.

Isu yang kritis yang dibicarakan disini adalah hubungan antara pusat gaya yang bekerja (efek keseluruhan dari angin dan gempa) dan pusat dari total sistem penahan (Gambar 6 dan 8). Tentu hal ini lebih mudah diterima apabila memiliki bentuk bangunan dan sistem penahan lateral yang pengaturannya berada dalam simetri yang sempurna pada konstruksi. Jika pengaturannya bekerja untuk desain bangunan umum, hal ini biasanya menghasilkan sebuah tugas yang lebih sederhana untuk semua pihak seperti arsitek, desainer struktur dan perencana bangunan.

Bagaimanapun juga, ini adalah simetris secara struktur, hal yang dimasalahkan disini : mengambil lokasi dari resultan gaya – gaya yang bekerja tepat dengan pusat kekakuan dari sistem penahannya. Dalam teori hal ini dapat diterima dengan beberapa sistem gaya dan penahan jika situasinya lebih teratur dan diselidiki secara lebih hati – hati. Tetapi beban (baca : bentuk bangunan) dan sistem penahan yang lebih kompleks (tidak simetris, multielemen, dll), usaha yang lebih dalam desain harus mencakup analisis yang hati – hati dan detail akhir dari konstruksi. Jika waktu, usaha, dan biaya untuk desain struktur dapat diusahakan, sistem yang kompleks mungkin dapat dilengkapi dengan faktor keamanan yang layak.

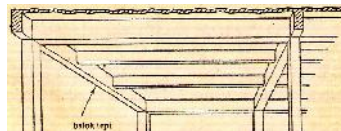
5. Perilaku Torsi pada Struktur

Momen torsi yang bekerja pada suatu komponen struktur balok tepi dapat dihitung dengan menggunakan prosedur analisis struktur yang biasa. Desain komponen struktural ini harus didasarkan atas keadaan limit runtuh (*limit state of failure*). Dengan demikian perilaku system struktural setelah mengalami retak akibat torsi harus diidentifikasi dengan menggunakan salah satu dari dua kondisi ini, yaitu (1) tidak ada redistribusi tegangan torsional ke batang struktural lain setelah terjadinya retak mempengaruhi keserasian (*compatibility*) antara batang – batang yang bertemu.

Resultan – resultan tegangan akibat torsi pada balok statis tertentu dapat diperoleh dari kondisi keseimbangan saja. Kondisi yang demikian memerlukan suatu desain terhadap momen torsi luar rencana penuh karena tidak adanya kemungkinan redistribusi tegangan. Keadaan demikian sering disebut sebagai torsi keseimbangan. Salah satu contoh elemen strukturnya adalah balok tepi (*edge beam*) yang memikul kanopi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Tidak ada redistribusi torsi (torsi keseimbangan)



Gambar 11 a. Redistribusi torsi keserasian tampak isometri satu panel ujung



Gambar 11(b) denah system lantai satu arah vertikal

Balok tepi ini harus dirancang terhadap momen torsi luar rencana total yang diakibatkan beban slab, bila tidak demikian dapat terjadi *collapse*. Keruntuhan yang terjadi dapat diakibatkan oleh balok yang tidak cukup memenuhi kondisi keseimbangan gaya – gaya dan momen – momen dari momen torsi luar.

Pada sistem statis tidak tentu, asumsi – asumsi kekakuan, keserasian regangan pada titik – titik kumpul, dan redistribusi tegangan – tegangan dapat mempengaruhi resultan – resultan tegangan sehingga terjadi reduksi tegangan geser torsional. Dengan demikian boleh saja dilakukan reduksi momen rencana pada desain suatu batang struktural apabila bisa diharapkan terjadi redistribusi ke batang – batang lainnya yang bertemu. Peraturan ACI mengizinkan momen torsional maksimum rencana pada penampang kritis sejauh *d* dari muka tumpuan.

$$T_u = \phi \left(4\sqrt{f'c} \frac{\sum x^2 y}{3} \right) \tag{1}$$

Mengadakan reduksi torsi rencana dalam hal ini pada dasarnya tidak mengakibatkan terjadinya kegagalan struktur, tetapi dapat menyebabkan terjadinya retak yang berlebihan, yaitu apabila

$\phi \left(4\sqrt{f'c} \frac{\sum x^2 y}{3} \right)$ jauh lebih kecil dari torsi rencana aktual. Contoh torsi keserasian dapat dilihat pada Gambar

11 di atas

Balok B₂ memberikan momen torsi T_u pada penampang 1 dan 2 dari balok tepi (*spandrel beam*) AB pada Gambar 11 (b). Besarnya kekakuan relative antara balok AB dan balok melintang B₂ menentukan besarnya rotasi pada titik kumpulnya titik 1 dan 2 karena adanya kesinambungan dan aksi dua arah, maka momen – momen ujung balok B₂ pada titik kumpul dengan balok tepi AB tidak sepenuhnya ditransfer sebagai momen – momen torsi pada kolom – kolom tumpuan A dan B. Momen – momen ini akan banyak berkurang karena terjadi redistribusi momen yang berupa transfer sebagian besar momen lentur ujung dari ujung 1 dan 2 ke ujung 3 dan 4, juga pada lapangan balok B₂. T_u pada masing – masing tumpuan balok tepi A dan B dan pada penampang kritis sejauh d dari tumpuan – tumpuan ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

Apabila torsi rencana aktual akibat balok B₂ kurang dari yang diberikan pada persamaan (1), balok ini harus direncanakan terhadap harga torsi yang lebih rendah. Akan tetapi, momen – momen torsi dapat diabaikan apabila :

$$T_u < \phi(0,5\sqrt{f'c}\sum x^2 y) \tag{2}$$

Apabila momen torsi rencana T_u melebihi $\phi(0,5\sqrt{f'c}\sum x^2 y)$ peraturan ACI mensyaratkan bahwa bagian badan beton sederhana harus direncanakan terhadap :

$$V_c = \frac{2\sqrt{f'c}b_w d}{\sqrt{1 + [2,5C_1(T_u/V_u)]^2}} \tag{3a} \quad \text{dan} \quad T_c = \frac{0,8\sqrt{f'c}\sum x^2 y}{\sqrt{1 + [0,4V_u / CtTu]^2}} \tag{3b}$$

Persamaan – persamaan (3a) dan (3b) diturunkan dari persamaan $\left(\frac{T_c}{0,8\sqrt{f'c}\sum x^2 y}\right)^2 + \left(\frac{V_c}{2\sqrt{f'c}b_w d}\right)^2 \leq 1,0$ dengan asumsi angka perbandingan antara momen torsi dengan gaya geser tetap konstan selama umur pembebanan. Apabila kontribusi penulangan torsi juga diperhitungkan, ACI membatasi torsi T_s yang dipikul oleh baja tidak boleh melebihi 4T_c seperti pada persamaan T_s ≤ 4T_c.

SIMPULAN

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran/ puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral – sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

Torsi yang timbul pada bangunan dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu : bentuk bangunan, efek gangguan bangunan lain, dan pengaruh dinamis, namun para perancang sering melalaikan pengaruh tersebut. Torsi tidak dapat dihapuskan tetapi dapat mungkin diperkecil atau paling sedikit merancang untuk dikenali. Seperti kasus untuk terowongan angin telah menjadikan satu – satunya cara untuk mengidentifikasi torsi, tetapi mereka juga menyediakan bantuan di dalamnya untuk memperkecil torsi atau perancangan untuk itu.

Torsi pada struktur beton hampir selalu disertai dengan geser dan lentur. Kapasitas beton sederhana dalam menahan torsi apabila dikombinasikan dengan beban – beban lain dapat dalam banyak hal lebih kecil daripada hanya menahan momen torsi luar rencana yang sama tanpa dikombinasikan dengan gaya lainnya. Sebagai akibatnya harus diberikan penulangan untuk menahan kelebihan torsi. Untuk mempelajari kontribusi tulangan memanjang dan tulangan sengkang tertutup agar T_s dapat dihitung, perlu dianalisis dahulu sistem gaya – gaya yang bekerja pada penampang melintang elemen struktural yang telah mengalami *warping* pada keadaan limit keruntuhannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambrose, James and Vergun, Dimitry, 1995, *Simplified Building Design for Wind and Earthquake Forces*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Boggs, Daryl W ; Noriaki Hosoya ; and Leighton Cochran, 2000, *Sources of Torsional Wind Loading on Tall Building* : Lesson from the Wind Tunnel. Serial search online dari URL : <http://www.google.com>.
- Ghosh, SK ; Domel, AW ; and Fanelia, DA, 1995, *Design of Concrete Buldings for Earthquake and Wind Forces*, Second Edition, Portland Cement Association, USA.
- Kareem A, 1980, *Wind Induced Torsional Loads on Structures*, Serial search online dari URL : <http://www.google.com>.
- Nawi, Edward G, 1998, *Beton Bertulang “ Suatu pendekatan dasar”*, Penerbit Refika Aditama, Bandung.
- Salmon, Charles G and Chu-Kia Wang, 1989, *Disain Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Schueller, Wolfgang, 2001, *Struktur Bangunan Tingkat Tinggi*, Penerbit Refika Aditama, Bandung.