

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Dewasa ini digunakan dua filosofi desain, yaitu desain tegangan kerja atau cara elastis serta desain dengan cara tegangan ultimit. Desain tegangan kerja telah menjadi filosofi desain utama dalam kurun waktu yang cukup lama, akhir-akhir ini desain struktur telah bergeser menuju prosedur desain yang lebih rasional berdasarkan teori probabilitas yang disebut teori desain keadaan batas (ultimit).

Di Indonesia sendiri metoda desain struktur telah mengikuti berkembangnya ilmu pengetahuan tersebut diatas, yaitu digunakanya dan dimasyarakatkan metoda ultimit untuk struktur beton, hal ini terbukti dengan diberlakukanya SK SNI-T-15-1991-03 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan dan Gedung menggantikan Peraturan Beton Indonesia 1971. Pada aturan baru ini filosofi desain lebih menekankan metoda ultimit sebagai filosphis utama daripada metoda tegangan kerja yang dianut sebagai filosphi desain oleh PBI 1971, namun demikian peraturan baru masih memberikan tempat untuk metoda tegangan kerja sebagai metoda alternatif, hal ini dalam rangka menjembatani masa transisi karena telah mendarah dagingnya metoda tegangan kerja tersebut.

menanggulangi beban yang bekerja serta kemungkinan kelebihan beban. Perubahan beban dapat terjadi akibat perubahan fungsi struktur akibat terlalu rendahnya taksiran atas efek-efek beban karena penyederhanaan kelebihan dalam analisis strukturnya dan akibat variasi-variansi dalam konstruksi. Disamping harus ada sediaan terhadap kemungkinan kekuatan material yang lebih rendah, penyimpangan dalam dimensi batang meskipun dalam batas toleransi yang masih dapat diterima dapat mengakibatkan batang memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada yang digunakan dalam perhitungan desain.

Apapun filosofi desain yang digunakan, struktur harus memberikan keamanan yang cukup, baik kemungkinan kelebihan beban (*over load*) atau kurang kekuatan (*under reinforce*), akhir-akhir ini telah berkembang studi mengenai unsur-unsur yang menentukan keamanan struktur dengan menggunakan berbagai metoda probabilitas.

## 2.2 James Mac Gregor (1976)

Untuk dapat memenuhi tujuannya, suatu struktur harus aman terhadap keruntuhan dan bermanfaat dalam penggunaannya. Kemanfaatannya mensyaratkan bahwa lendutan-lendutan yang terjadi cukup kecil, retak-retak apabila ada harus berada dalam batas yang masih dapat ditolerir dan harus diusahakan sekecil mungkin.

Keamanan mensyaratkan suatu struktur harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk semua beban yang mungkin bekerja padanya. Apabila kekuatan dari suatu struktur yang dibangun sesuai dengan rencana dapat diramalkan dengan tepat dan apabila besar beban beserta gaya-gaya yang ditimbulkannya (gaya-gaya

dalam) juga diketahui dengan tepat, maka keamanan struktur dapat ditentukan dengan jalan menyediakan daya dukung struktur sedikit lebih besar dari beban-beban yang telah diketahui akan bekerja pada struktur tersebut.

Namun demikian pada umumnya dalam analisis, perencanaan dan pembangunan struktur-struktur beton bertulang terdapat sejumlah sumber ketidakpastian, sumber-sumber ketidakpastian ini yang menyebabkan diperlukannya suatu faktor keamanan tertentu diantaranya sebagai berikut:

1. Beban-beban yang sebenarnya terjadi dapat berbeda dengan dengan beban yang ditentukan dalam perencanaan.
2. Beban-beban yang sebenarnya bekerja pada struktur mungkin didistribusikan dengan cara berbeda dari yang ditentukan dalam perencanaan.
3. Asumsi-asumsi dan penyederhanaan yang dilakukan didalam analisis struktur dapat memberikan hasil perhitungan pembebanan yang berbeda dengan besar gaya-gaya yang sebenarnya bekerja pada struktur.
4. Perilaku struktur yang sebenarnya berbeda dari perilaku yang diasumsikan dalam perencanaan disebabkan karena tidak sempurnanya pengetahuan mengenai kenyataan yang sesungguhnya terjadi.
5. Besarnya dimensi elemen-elemen struktur yang sesungguhnya terdapat dilapangan dapat berbeda dari dimensi yang ditentukan dalam perencanaan.
6. Letak posisi tulangan mungkin tidak pada posisi yang sebenarnya.

7. Kekuatan material yang sesungguhnya mungkin berbeda dari yang ditetapkan oleh perencana.

Penetapan suatu spesifikasi keamanan harus pula memperhatikan pola keruntuhan yang akan terjadi. Keruntuhan daktail yaitu keruntuhan secara berangsur-angsur dengan memberikan peringatan awal sehingga dimungkinkan dilakukan usaha-usaha untuk menghindarinya, lebih disukai dibandingkan keruntuhan yang secara tiba-tiba dan tidak terduga, hal ini dikarenakan pada keruntuhan getas dapat mengakibatkan kehilangan jiwa dan kerugian material yang sangat besar tanpa adanya usaha yang dilakukan untuk menghindarinya.

Dalam kenyataannya, pemilihan suatu faktor keamanan yang sesuai bukanlah persoalan yang mudah, namun demikian dalam perkembangan teori beton bertulang telah terdapat berbagai kemajuan berkenaan dengan penentuan faktor keamanan ini. Code di beberapa negara telah memperkenalkan suatu faktor keamanan berupa faktor reduksi kekuatan  $\phi$  dan faktor beban  $\lambda$  yang sebenarnya tergantung dari jenis beban dan pembebanan yang terjadi.

### 2.2.1 Faktor Reduksi Kekuatan $\phi$

Suatu struktur dihitung dan didesain dalam kondisi-kondisi ideal, baik sifat material yang direncanakan maupun hitungan-hitungan yang disajikan, tetapi kondisi lapangan tidak memungkinkan semua yang ada dalam perencanaan dapat dipenuhi, bila penyimpangan-penyimpangan ini terjadi dan terakumulasi maka akan dihasilkan kehilangan kapasitas yang cukup signifikan, untuk mengatasi kondisi struktur masih dalam keadaan aman pada saat kekuatan ultimit, harus diberikan reduksi kekuatan sebesar  $\phi$ .

Pemakaian reduksi kekuatan  $\phi$  dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, pengerjaan, ketidaktepatan ukuran, pengendalian dan pengawasan pelaksanaan, yang sekalipun masing-masing faktor masih dalam toleransi persyaratan, tetapi kombinasinya menghasilkan kapasitas lebih rendah, dengan demikian apabila faktor  $\phi$  dikalikan dengan kekuatan ideal teoritik berarti sudah termasuk memperhitungkan tingkat daktilitas, kepentingan serta tingkat ketepatan ukuran suatu komponen struktur sedemikian hingga kekuatannya dapat ditentukan.

Besarnya angka reduksi kekuatan  $\phi$  tergantung dari kesempurnaan dan ketepatan di lapangan, nilai  $\phi$  akan mendekati satu ketika pelaksanaannya baik sehingga ketepatan pelaksanaan dapat diandalkan serta dihasilkan beton bertulang yang berkarakteristik konsisten dengan spesifikasi yang telah ditentukan, ini berarti kekuatan nominal yang direncanakan tidak perlu banyak dikurangi untuk memperhitungkan penyimpangan yang terjadi dalam pelaksanaan, keadaan sebaliknya memaksa memakai nilai  $\phi$  kecil.

Mac Gregor dalam jurnal ASCE (1976) menguraikan lebih detail faktor-faktor yang menyebabkan adanya perbedaan antara kekuatan penampang elemen struktur hasil pelaksanaan terhadap kekuatan rencana, faktor-faktor itu adalah faktor kekuatan material, fabrikasi material, penyederhanaan asumsi dan perumusan kekuatan elemen struktur dan variasi tulangan terpasang yang dipilih. Jumlah dari variasi kekuatan ini bergantung pula atas tipe beban.

### 2.2.2 Faktor Beban $\lambda$

Faktor reduksi kekuatan  $\phi$  yang telah dibicarakan pada bagian sebelumnya disediakan untuk mengantisipasi ketika terjadi kapasitas lebih rendah dari yang diharapkan dari tampang atau elemen struktur yang ada, faktor  $\phi$  ini disediakan sebagai antisipasi dari pelaksanaan yang sebenarnya dikerjakan tidak seperti yang seharusnya diharapkan dalam spesifikasi yang telah dibuat, penetapan faktor  $\phi$  tidak disediakan dan berhubungan langsung besarnya kesalahan pembebanan. Ketika menghitung nilai  $\phi$  telah dimaklumi bersama bahwa asumsi yang ada adalah beban luar yang bekerja dihitung dengan tepat dan tidak ada kelebihan beban yang terjadi (*over load*).

Kenyataan yang ada kelebihan beban dapat terjadi walaupun perubahan ini sangat tidak tergantung dan dipengaruhi pelaksanaan konstruksi. Sebagaimana diketahui ketika menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur, beban-beban yang memberikan pengaruh kecil selalu diabaikan, sedangkan yang dihitung hanyalah beban-beban yang memberikan pengaruh dan distribusi terhadap gaya yang besar, tetapi pengabaian-pengabaian beban-beban yang dianggap kecil masih dalam batas-batas toleransi beban yang diijinkan.

Mengingat batasan-batasan kelebihan beban yang diijinkan, maka tidaklah beralasan untuk mendesain struktur untuk setiap beban-beban maksimum yang terjadi pada saat yang bersamaan. Beban angin misalnya sepertinya tidak akan terjadi pada saat kondisi beban gempa mencapai maksimum pula. Untuk itu struktur direncanakan dengan beban-beban yang mendekati kenyataan sebenarnya yang diharapkan bekerja, batasan-batasan keamanan yang cukup beralasan ini

kemudian disediakan untuk saat-saat ketika terjadi beban-beban dalam kondisi-kondisi yang tidak dapat diperkirakan dengan tepat.

Dalam metoda beban kerja nilai-nilai batas keamanan ini disediakan oleh suatu faktor keamanan, tetapi untuk metoda kekuatan ultimit yang dianggap saat ini lebih realistis, besarnya akumulasi masalah-masalah penghitungan beban akibat besar perkiraan dan pengasumsian beban-beban kecil yang apabila cukup banyak memberikan akibat yang cukup signifikan ini diantisipasi dengan memberikan faktor aman berupa faktor beban.

Penerapan faktor keamanan di satu pihak bertujuan untuk mengendalikan kemungkinan terjadinya keruntuhan yang membahayakan bagi penghuni di lain pihak juga harus memperhitungkan faktor ekonomi atas struktur yang direncanakan, sehingga untuk mendapatkan faktor keamanan yang sesuai perlu dan harus direncanakan untuk mampu memikul beban lebih atas beban yang diharapkan bekerja. Kapasitas lebih tersebut untuk mengantisipasi dua keadaan yaitu kemungkinan terdapat beban yang bekerja lebih besar dari yang ditetapkan dan mungkin penyimpangan kekuatan elemen-elemen struktur, untuk itu maka kriteria dasar kuat rencana dapat ditulis dengan persamaan:

Kekuatan yang tersedia > Kekuatan yang dibutuhkan

Format keamanan menurut ACI yang diadopsi oleh peraturan terbaru beton Indonesia 1991 menterjemahkan konsep tersebut dalam persamaan:

*Desain strength > Required strength*

$$\phi R > \lambda U \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

$\phi$  : faktor reduksi ; R : kekuatan nominal

$\lambda$  : faktor beban ; U : Beban kerja

Dalam perencanaan beban ultimit, faktor beban  $\lambda$  digunakan untuk meningkatkan beban kerja U menjadi keadaan beban ultimit dengan memperhitungkan keadaan beban ( $\lambda > 1$ ). Besarnya nilai  $\lambda$  akan mendekati satu bila beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut dapat diramalkan dengan lebih tepat, ini berarti beban yang bekerja tidak perlu banyak dinaikan dalam rangka antisipasi beban-beban yang tidak terduga, begitu pula sebaliknya ketika beban-beban yang bekerja tidak dapat diramalkan lebih tepat maka akan memaksa struktur direncanakan memakai nilai  $\lambda$  lebih besar dari satu.

### 2.2.3 Faktor-Faktor yang Menyebabkan Beban Lebih (*Over Load*)

Faktor-faktor utama yang memberikan kontribusi terhadap variasi beban U yang ada sehingga terjadi beban lebih (*over load*) antara lain adalah variasi beban yang berbeda dari yang diasumsikan (S), ketidakpastian ketika menghitung efek-efek beban (E), dan beberapa faktor yang sifatnya subjektif akibat dipilihnya suatu pola keruntuhan .

#### 1. Faktor Variasi Beban (S )

Beban-beban yang bekerja pada struktur dapat dibagi dalam kategori utama beban mati, beban hidup dan beban alam. Beban mati adalah beban yang besarnya dan letaknya tetap selama masa layan, biasanya sebagian besar beban mati terdiri

dari berat sendiri struktur, karena itu biasanya beban mati dapat dihitung dengan ketepatan yang lebih baik dari perencanaan dan dimensi struktur.

Walaupun besarnya beban mati dapat diidentifikasi lebih baik dibandingkan dengan beban yang lain, namun akibat kurangnya pengawasan dan kecerobohan pelaksanaan di lapangan masih dimungkinkan terjadi variasi-variasi beban dari yang seharusnya ditetapkan, variasi-variasi beban ini juga diakibatkan, antara lain:

- a. Variasi ukuran elemen-elemen struktur
- b. Variasi densitas material akibat perbedaan tipe agregat, kadar air dan lainnya.
- c. Perubahan peruntukan struktur pada saat pelaksanaan baik elemen-elemen yang bersifat struktur ataupun non struktur.

Disamping itu dimungkinkan pula selama masa layan bagian struktur mengalami perubahan yang cukup memberikan variasi beban mati yang telah ada sebelumnya. Allen (1975) dalam penelitiannya yang ditulis dalam jurnal Mac Gregor menghasilkan suatu koefisien variasi untuk beban mati sebesar 0.07.

Beban hidup adalah beban-beban yang berhubungan dengan fungsi dan penggunaan bangunan tersebut, ketidakentuan beban ini nilainya jauh lebih besar dari beban-beban yang dapat diramalkan, beban-beban hidup ini dapat berubah-ubah dari waktu ke waktu setiap saat, Allen (1975) mengusulkan digunakan koefisien variasi untuk beban hidup ini sebesar 0.3.

## 2. Faktor Ketidak tentuan Akibat Beban (E)

Perhitungan-perhitungan struktur membutuhkan data-data yang mendukung hitungan struktur. Untuk keperluan preliminari desain tersebut maka diambil asumsi-asumsi. Gambar-gambar dan hasil-hasil hitungan yang dihasilkan dari desain dapat berbeda dari asumsi-asumsi yang diambil diawal, kekakuan struktur, panjang bentang, ukuran tampang dan lain-lain adalah contoh-contoh data yang diasumsikan, nilai-nilai asumsi ini membuat hitungan struktur tidak akurat dalam pemodelan analisis struktur.

Untuk kepentingan analisis struktur pula, umumnya diambil model struktur dua dimensi, padahal hitungan analisis sebenarnya lebih dekat diasumsikan dalam tiga dimensi, umumnya hitungan-hitungan model struktur dua dimensi memberikan hasil gaya-gaya dalam lebih besar dibandingkan dengan analisis struktur tiga dimensi, hanya saja pemodelan struktur tiga dimensi menuntut pengetahuan perilaku struktur yang lebih.

Konsekuensi dari asumsi dan pengambilan model untuk melakukan analisis struktur diatas akan menyebabkan variasi tegangan-tengan dan regangan-regangan dibandingkan dengan aktual yang terjadi dari estimasi desain analisis struktur.

Allen (1975), menyarankan angka rata-rata variasi dari analisis struktur dengan kenyataanya yang terjadi diambil angka satu kali angka sebenarnya. Sedangkan untuk analisis struktur statis tak tentu diajukan angka koefisien variasi sebesar 0.7.

### 3. Faktor Konsekuensi Pola Keruntuhan

Faktor-faktor subyektif yang mempengaruhi variasi beban adalah pengambilan pola keruntuhan yang diambil, dalam perencanaan struktur beton bertulang, struktur dengan keruntuhan daktil lebih disukai dari pada keruntuhan getas. Pada keruntuhan daktil struktur dan elemen-elemen struktur didesain dengan tulangan-tulangan kurang (*Under reinforce*). Pada kondisi tulangan ini apabila struktur diambang keruntuhan akan memberikan tanda-tanda keruntuhan dengan terjadinya defleksi yang besar sehingga memungkinkan penghuni gedung menyelamatkan diri sebelum terjadi keruntuhan yang sebenarnya. Sedangkan pada pola keruntuhan getas (*brittle*) keruntuhan struktur tidak memberikan tanda-tanda keruntuhan sehingga keruntuhan dapat terjadi tiba-tiba tanpa memberikan kesempatan penghuni bangunan menyelamatkan diri.

Konsep balok lemah kolom kuat yang dianut sebagai filosofi perencanaan struktur mengharuskan struktur kolom direncanakan lebih kuat daripada balok, pola keruntuhan ini diambil dalam rangka penyelamatan jiwa manusia. Adapun faktor-faktor subyektif lain yang berpengaruh terhadap beban akibat pemilihan pola keruntuhan adalah:

- a. Biaya pelaksanaan bangunan
- b. Potensial kehilangan jiwa manusia atau keselamatan
- c. Biaya-biaya sosial akibat kehilangan waktu dan keuntungan.
- d. Peran penting elemen-elemen struktur pada suatu struktur.
- e. Tipe keruntuhan, tanda-tanda keruntuhan dan alternatif beban.

Hasil-hasil penelitian Mac Gregor (1976) ini diusulkan dalam *Load and Resistant Factor for Concrete Design* untuk dilampirkan pada ACI 318-83, hasil dari penelitian ini pun telah inkompete dalam ANSI untuk Building desain load standar 1985 .

### 2.3. Rahmat Purwono (1986 )

Mengacu penelitian Mac Gregor (1976), Rahmat Purwono (1986) mengemukakan tiga alasan mengapa diperlukan faktor keamanan pada desain struktur, yaitu:

1. Kekuatan bahan/material atau elemen struktur karena sifat variabilitasnya dapat kurang dari yang diharapkan.
2. Beban lebih dapat terjadidimungkinkan besar terjadi variasi.
3. Konsekuensi keruntuhan yang diinginkan.
4. Asumsi-asumsi data perhitungan
5. Ukuran-ukuran pengerjaan.

Senada dengan penelitian Mac Gregor di Kanada (1976), Rahmat Purwono (1986) Melakukan penelitian besarnya faktor reduksi kekuatan  $\phi$  di kota Surabaya, penelitian ini dilakukan dalam rangka menyambut peraturan baru beton Indonesia.

Subyek dari penelitian yang dilakukan adalah parameter yang mempengaruhi kekuatan penampang elemen struktur beton bertulang terhadap gaya geser, lentur, dan aksial konsentris pada semua proyek tersebut. Karakteristik dari parameter ini dipakai untuk mengidentifikasi faktor perlawanan  $\phi$  dengan menggunakan metoda *first order second moment*.

Purwono (1986) mengidentifikasi faktor-faktor penyebab perubahan kekuatan penampang elemen struktur hasil pelaksanaan setempat terhadap kekuatan nominal rencana. Faktor-faktor utama tersebut adalah faktor kekuatan material, penyederhanaan asumsi, perumusan kekuatan material elemen struktur dan variasi tulangan terpasang terhadap tulangan yang diperlukan.

Penelitian yang dilakukan ini mengalami kendala dengan tidak tersedianya data-data yang lengkap tentang proyek proyek yang diteliti.

Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor reduksi kekuatan ini adalah *advanced first second moment procedure*, metode ini memperhitungkan sifat random dari semua variabel yang mempengaruhi faktor reduksi kekuatan, dan diyakini sebagai metode yang lebih dapat dipercaya untuk mengidentifikasi keamanan struktur.

Hasil dari penelitian identifikasi faktor reduksi kekuatan  $\phi$  ini adalah hampir semua proyek yang ada di Surabaya mempunyai nilai faktor reduksi kekuatan  $\phi$  tidak memenuhi yang diusulkan Mac Gregor, hal ini berarti untuk pelaksanaan struktur di Surabaya masih rendah dan perlu di tingkatkan agar sejajar dengan mutu pelaksanaan di Kanada dan USA.

#### 2.4 Ismail dan Agus (2000)

Senada dengan penelitian Mac Gregor di Kanada (1976) dan Rahmat Purwono (1986) yang melakukan penelitian besarnya faktor reduksi kekuatan  $\phi$  di kota Surabaya, Penelitian tentang faktor reduksi kekuatan dilakukan pula oleh Ismail dan Agus sepuluh tahun kemudian di Yogyakarta. Format penelitian yang digunakan dalam penelitian ini sama dengan format usulan penelitian yang di

lakukan Mac Gregor dan Rahmat Purwono, metode yang digunakan adalah *first order second moment* yang dipakai pula oleh kedua peneliti diatas.

Subyek dari penelitian yang dilakukan adalah parameter yang mempengaruhi kekuatan penampang elemen struktur beton bertulang terhadap gaya geser, lentur, dan aksial konsentris pada semua proyek tersebut. Karakteristik dari parameter ini dipakai untuk mengidentifikasi faktor perlawanan  $\phi$  dengan menggunakan metoda *first order second moment*.

Hasil dari penelitian ini adalah hampir semua proyek yang menjadi subyek penelitian ini memenuhi usulan angka reduksi kekuatan yang diusulkan Mac Gregor, hal ini berarti untuk pelaksanaan struktur di Yogyakarta cukup baik bila dibandingkan dengan pelaksanaan di Surabaya walaupun perlu di tingkatkan agar sejajar dengan mutu pelaksanaan di Kanada dan USA.

Format keamanan yang diusulkan ACI dan dianut Peraturan Beton Indonesia menyebutkan *required strength* diperoleh dari perkalian beban kerja dengan faktor beban dengan memperhitungkan kemungkinan kelebihan beban, sedangkan di pihak lain *design strength* dari elemen struktur dihitung dari perkalian kekuatan nominal dengan faktor reduksi kekuatan yang memperhitungkan kurang sempurnanya mutu pelaksanaan dan produksi beton serta tulangan yang dipakai.

Dua penelitian terakhir telah meneliti dan mengidentifikasi faktor reduksi kekuatan  $\phi$  tetapi penelitian tersebut belum menyentuh penelitian faktor beban  $\lambda$ , untuk mengetahui faktor beban  $\lambda$  sebagai bagian dari persyaratan kekuatan diatas maka penelitian faktor beban  $\lambda$  akan dicari sebagai kelanjutan penelitian

sebelumnya di Indonesia, sedangkan format penelitian yang digunakan adalah penelitian yang pernah digunakan Mac Gregor di Kanada dan USA.

