

EVALUASI INDEKS KEAMANAN BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA DI JAKARTA

T E S I S

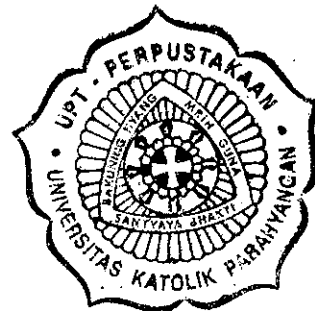
Sebuah tesis sebagai salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Strata-2 pada
Institut Teknologi Bandung

Oleh :

DJONI SIMANTA
S2-818404



693.852
SIM
e



58299 / T
4 / 5 '95

PROGRAM TEKNIK SIPIL - STRUKTUR
FAKULTAS PASCA SARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
1 9 8 7

**EVALUASI INDEKS KEAMANAN
BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA
DI JAKARTA**

ABSTRAK TESIS

Sebuah tesis sebagai salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Strata-2 pada
Institut Teknologi Bandung

Oleh :

DJONI SIMANTA
S2-818404



**PROGRAM TEKNIK SIPIL - STRUKTUR
FAKULTAS PASCA SARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
1987**

ABSTRAK

Suatu ukuran keamanan yang melibatkan resiko dan ketidakpastian telah dipelajari serta dikembangkan, dan merupakan dasar untuk menentukan taraf keandalan suatu hasil perancangan. Ukuran keamanan ini disebut sebagai indeks keamanan yang diperoleh berdasarkan aplikasi teori peluang pada perancangan struktur.

Untuk menentukan indeks keamanan ini digunakan metoda momen kedua orde pertama lanjut, berdasarkan informasi parameter statistik dari semua peubah-peubah yang terlibat, termasuk informasi distribusi peluang dari peubah-peubah acak, yang dalam studi ini adalah peubah tahanan dan peubah-peubah beban.

Prosedur diatas kemudian diterapkan pada suatu bangunan perkantoran beton bertulang di Jakarta yang dirancang sebagai bangunan tahan gempa berdasarkan prosedur dan peraturan yang berlaku di Indonesia, untuk dicari nilai indeks keamanannya. Nilai tersebut merupakan suatu titik awal penentuan taraf keandalan secara kuantitatif yang nilainya bervariasi tergantung fungsi kinerja yang dipilih serta daerah pembebanan.

untuk istri dan anakku yang tercinta

Maria Feliana dan Devina Simanta

UCAPAN TERIMAKASIH

Berkat rahmat Tuhan yang Maha Pengasih penulis telah dapat menyelesaikan sebuah Tesis dengan judul "*Evaluasi Indeks Keamanan Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa di Jakarta*" yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan program Strata II pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Struktur Institut Teknologi Bandung.

Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang tak terhingga kepada :

1. Dr. Ir. Adang Surahman, MSc selaku pembimbing utama dan Dr. Ir. Ananta Sofwan selaku anggota tim pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan saran selama dalam proses pembuatan tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. K.P.H.A. Sosrowinarso, MSc yang telah memberikan perhatian dan dorongan yang sangat berarti.
3. Dr. Ir. Indra Djati Sidi, MS yang telah sudi meluangkan waktu untuk memberikan kritik, saran dan perbaikan.
4. Ir. Theodore F. Najooan, MEng atas bantuannya dalam memberikan informasi mengenai data gempa.
5. Staf Pengajar SII Jurusan Sipil Struktur ITB yang telah memberikan Pengajaran dan Bimbingan selama penulis mengikuti pendidikan di ITB.

6. T.M.P.D. dan Universitas Katolik Parahyangan Bandung atas kesempatan yang diberikan untuk mengikuti pendidikan program Strata II ini.
7. PT. Multi Computer Inc. Bandung, Dellasonta Computer Center Bandung, Ir. Bambang Gunadi yang telah banyak memberikan bantuan sehingga Tesis ini dapat selesai.

Bandung, September 1987.

Penulis

(Djoni Simanta)

DAFTAR ISI

	hal
<hr/>	
ABSTRAK	
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Ukuran Keamanan.....	1
1.2. Tinjauan Pustaka.....	4
1.3. Lingkup dan Tujuan Studi.....	6
1.4. Metodologi.....	7
II. ANALISA KEANDALAN DENGAN TEORI PELUANG.....	8
2.1. Peluang Kegagalan dan Analisa Keandalan.....	8
2.1.1. Indeks Keamanan.....	9
2.1.2. Peubah-peubah Dasar.....	10
2.2. Metode Momen Kedua Orde Pertama.....	11
2.2.1. Metoda Nilai Rataan.....	12
2.2.2. Metoda Lanjutan.....	12
2.2.3. Prosedur Iterasi untuk menentukan β	15
2.3. Metoda Pendekatan untuk Peubah bukan Normal..	16
III. PARAMETER STATISTIK BEBAN DAN TAHANAN.....	18
3.1. Pendahuluan.....	18
3.2. Beban Mati.....	18

3.3. Beban Hidup.....	18
3.4. Beban Gempa.....	20
3.5. Peubah Tahanan.....	22
IV. EVALUASI INDEKS KEAMANAN PADA BANGUNAN BETON DI JAKARTA.....	24
4.1. 'Pendahuluan.....	24
4.2. Aplikasi.....	24
4.3. Hasil dan Pembahasan.....	26
V. RINGKASAN DAN KESIMPULAN.....	40
5.1. Ringkasan Studi yang dilakukan.....	40
5.2. Kesimpulan.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	49
1. Seismic Risk Study.....	49
2. Hasil Perhitungan Penulangan.....	52
3. Hasil Analisa Struktur.....	83

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	hal
II.1. Indeks Keamanan.....	9
II.2.	13
IV.1. Bangunan bertingkat 5, portal as-2.....	30
IV.2. Tampak Atas Bangunan, sistim penomoran untuk ETABS.....	31

DAFTAR TABEL

No. Tabel	hal
III. 1. Parameter Statistik Tahanan.....	23
IV. 1. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Lentur Balok....	32
IV. 2. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Lentur Kolom....	32
IV. 3. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Balok.....	33
IV. 4. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Kolom.....	33
IV. 5. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Lentur Balok....	34
IV. 6. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Lentur Kolom....	34
IV. 7. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Balok.....	35
IV. 8. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Kolom.....	35
IV. 9. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Balok.....	36
IV.10. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Kolom.....	36
IV.11. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Lentur Balok....	37
IV.12. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Lentur Kolom....	37
IV.13. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Balok.....	38
IV.14. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Kolom.....	38
IV.15. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Balok.....	39
IV.16. Hasil Evaluasi Indeks Keamanan Geser Kolom.....	39
V. 1. PF untuk : D + L.....	42
V. 2. PF untuk : D + L + E.....	43

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
a	: Percepatan Gempa
\bar{A}	: Rataan percepatan gempa
AI	: Luasan pengaruh pembebanan
B	: Faktor Acak model pembebanan
C	: Koefisien Gempa Dasar.
D	: Beban Mati
E	: Beban Gempa
F	: Fungsi Distribusi Kumulatif
f	: Fungsi Padat Peluang
f^N	: Fungsi Padat Normal Baku
$g ()$: Fungsi Kinerja
$h ()$: Fungsi kinerja dengan peubah dasar tereduksi
k	: Parameter bentuk fungsi distribusi peluang tipe II
K	: Faktor Tipe Struktur
L_n	: Beban Hidup Nominal
L_o	: Beban Hidup Dasar tak tereduksi
L	: Beban Hidup Maksimum selama usia struktur
L_{apt}	: Beban Hidup yang terjadi untuk suatu waktu tertentu
N	: Normal
n	: Nominal
P_f	: Peluang Kegagalan
PDF	: Fungsi Distribusi Peluang

Q	: Peubah Beban
R	: Peubah Tahanan
SF	: Faktor Keamanan
u	: Parameter fungsi distribusi peluang tipe II
V	: Koefisien Variasi
X , x	: Peubah Dasar
Z ()	: Fungsi Kinerja
β	: Indeks Keamanan
σ	: Simpangan Baku
Φ^{-1}	: Distribusi Normal Invers

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Ukuran Keamanan

Pada umumnya disadari bahwa perancangan struktur merupakan masalah yang bersifat "nondeterministic" atau umumnya dirumuskan dibawah ketidakpastian (uncertainty). Lebih lanjut lagi, struktur direncanakan dan dibangun berdasarkan pengetahuan dan informasi yang tidak sempurna atau tidak lengkap. Hal ini diakibatkan karena situasi atau sifat acak baik dari pembebanan maupun dari tahanan, yang berarti pula ketidaksempurnaan dalam pemodelan pembebanan dan tahanan struktur.

Untuk memperhitungkan ketidakpastian ini, hampir semua peraturan bangunan menggunakan suatu faktor keamanan. Faktor keamanan ini dicari berdasarkan *Engineering judgement* atau pengalaman-pengalaman terdahulu mengenai struktur yang serupa, sehingga taraf sebenarnya dari resiko ataupun keamanan tetap tidak diketahui dengan pasti.

Dalam usaha untuk menghubungkan kontribusi dari setiap peubah (variable) kearah pembentukan faktor keamanan total, beberapa peraturan beton bertulang seperti FIB 71 ataupun ACI 318-83 menerapkan koefisien-

koefisien keamanan secara terpisah terhadap peubah beban dan peubah tahanan. Cara ini meskipun sangat berguna dalam perancangan, tetapi memiliki pembatasan-pembatasan sebagai berikut :

1. Taraf sebenarnya resiko tidak terdefiniskan.
2. Efek variasi dari sifat bahan (material properties) dan pembebanan tidak dapat dipertimbangkan secara kuantitatif dalam formulasi perancangan.

Dengan menyadari bahwa beban dan tahanan adalah merupakan peubah-peubah acak, maka perlu digunakan pendekatan yang lebih rasionil untuk menganalisa keandalan struktur beton bertulang melalui penggunaan metoda-metoda peluang atau *probabilitas*.

Dalam pendekatan ini, beban dan tahanan struktur dinyatakan sebagai peubah-peubah yang bersifat acak, jadi bukan konstanta yang bersifat *fixed deterministic*. Kegagalan (*failure*) didefinisikan sebagai suatu keadaan dimana efek beban melampaui tahanan struktur.

Ukuran keamanan (*safety measure*) yang berhubungan dengan pendekatan ini adalah *indeks keamanan* yang ditulis dalam notasi β . Berbeda dengan faktor keamanan yang bersifat *deterministic*, dimana penurunannya berdasarkan *pengalaman* dan *engineering judgement*, maka indeks keamanan dicari dari suatu analisa sistimatis dari ketidakpastian-ketidakpastian dalam semua peubah yang terlibat (beban dan tahanan) dan analisisnya disebut analisa keandalan berdasarkan teori peluang.

Ada beberapa taraf dari analisa keandalan. Taraf dimana sepenuhnya menggunakan teori peluang, disebut juga metoda keandalan taraf III (Level III Reliability Method). Pada metoda ini perlu diketahui fungsi distribusi peluang yang terlibat. Metoda ini sulit diterapkan karena kurang lengkapnya data peubah yang terlibat. Metoda ini sulit diterapkan karena kurang lengkapnya data statistik yang diperlukan sehingga metoda ini jarang digunakan.

Taraf II (Level II) atau disebut juga metoda peluang dengan cara pendekatan (Approximate Probabilistic Method), tidak perlu mengetahui distribusi peluang dari semua peubah-peubah acak. Pada cara ini hanya diperlukan distribusi dari fungsi padat peluang (probability density function) dari peubah beban dan peubah tahanan. Fungsi-fungsi padat ini dapat didekati dengan menganalisa data hasil percobaan yang ada. Juga dianggap bahwa beban dan tahanan adalah bebas secara statistik (statistically independent). Untuk mempermudah formulasi perancangan, derajat keamanan dinyatakan dengan suatu *indeks keamanan*. Metoda ini sering disebut juga *Metoda Keandalan Momen Kedua Orde Pertama (First Order Second Moment Reliability Method)* karena hanya dua momen yang pertama (rata-rata dan variansi) dari peubah-peubah acak yang digunakan dalam analisa.

Dalam taraf I (Level I atau 'Semi Probabilistic Method'), derajat atau ukuran keamanan dinyatakan dalam bentuk faktor-faktor beban dan faktor tahanan terpisah.

Faktor-faktor ini dihitung dari analisa peluang momen yang kedua. Karena mudah dan sederhananya, metoda ini membentuk dasar dari peraturan perancangan berdasarkan teori peluang.

1.2. Tinjauan Pustaka

Penggunaan analisa keandalan untuk perancangan struktur telah dibahas oleh Ang dan Amin pada tahun 1969 (5). Mereka juga mendiskusikan beberapa masalah yang berhubungan dengan sinsitivitas dari resiko yang dihitung terhadap pengambilan asumsi distribusi beban dan tahanan. Studi ini kemudian dikembangkan oleh Ang (3) sebagai dasar perancangan berdasarkan keandalan. Ang dan Cornel (6) menyajikan penyederhanaan hubungan antara beban dan tahanan untuk penggunaannya dalam suatu peraturan perancangan berdasarkan teori peluang. Mereka juga memperkenalkan konsep dari indeks keamanan.

Cornel memperkenalkan analisa keandalan dengan metoda momen kedua (15), dan memberikan contoh aplikasi dari metoda peluang pada perancangan beton bertulang dan membahas keuntungan-keuntungan dari penggunaan metoda tersebut.

Peubah-peubah beban dan tahanan adalah fungsi dari peubah-peubah lain, yang disebut peubah-peubah dasar. Dalam analisa keandalan dengan momen yang kedua, parameter statistik (rata-rata dan koefisien variasi) dari peubah-peubah dasar ini diperlukan untuk menentukan indeks keamanan.

Statistik dari beban hidup dan beban mati telah diestimasi oleh Corrotis (16), Ellingwood dan Culver (21), Mc Guire dan Cornel (33), Culver (17), yang menyatakan bahwa statistik dari beban hidup merupakan fungsi dari luasan pengaruh pembebanannya. Dengan menggunakan data yang diperoleh dari survey beban hidup pada bangunan perkantoran, ditentukan juga parameter statistik dari beban hidup total maksimum selama usia bangunan dan beban hidup maksimum yang bersifat tetap (sustained live load).

Studi yang luas dan menyeluruh dari analisa keandalan dengan teori peluang untuk struktur beton bertulang telah dilakukan oleh Ellingwood dan Ang (20,24), Gallo (27), dan Ellingwood (25). Dalam studi-studi ini berbagai parameter yang digunakan dalam perancangan beton bertulang diestimasi. Taraf resiko komponen beton bertulang yang dirancang berdasarkan peraturan ACI juga dievaluasi.

Resiko kegagalan akibat gempa juga telah dipelajari oleh Najooan dan Wiratman (47) dan diperkenalkan berbagai taraf resiko sehubungan cara analisa dan perancangan struktur yang dilakukan. Kuwamura (31), Austin (9) memperkenalkan suatu metode untuk menentukan taraf keamanan analisa keandalan bangunan baja akibat gempa, sedang Beca Carter Hollings & Ferner (10,11,12) melaporkan tentang gempa-gempa di Indonesia dan rekomendasinya berupa peraturan-peraturan perancangan

Gempa di Indonesia (18,19), dan bersama Najooan (34) menjadi sumber data gempa dari studi ini.

1.3. Lingkup dan Tujuan Studi

Studi ini bermaksud untuk mencari indeks keamanan dari struktur bangunan perkantoran beton bertulang tahan gempa yang telah dirancang berdasarkan peraturan-peraturan perancangan di Indonesia (18,19,49,50).

Untuk ini, beban dan tahanan dianggap merupakan peubah acak yang bebas secara statistik. Juga dianggap bahwa statistik momen pertama dan kedua dari peubah-peubah ini tersedia, untuk menentukan indeks keamanan tersebut.

Sebagai langkah pertama, suatu struktur bangunan perkantoran beton bertulang yang terletak di Jakarta dirancang berdasarkan peraturan-peraturan di Indonesia (18,19,49,50). Setelah hasil perancangan diperoleh, yang berupa penulangan-penulangan baik pada balok maupun kolom, maka berdasarkan tulangan yang terpasang atau yang digunakan kemudian dicari kekuatan nominal dari elemen-elemen struktur tersebut yang meliputi kekuatan nominal terhadap lentur, geser dan kombinasi aksial-lentur. Berdasarkan data statistik yang tersedia (22,23,25,26) dan beban yang ada, indeks keamanan masing-masing komponen dihitung dan nilainya dipelajari sehubungan dengan kombinasi pembebanan (fungsi kinerja) yang dipilih.

1.4. Metodologi

1. Beban yang ditinjau adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa (49). Data statistik untuk beban mati dan beban hidup diambil dari hasil penelitian *National Bureau of Standard* (23) untuk gedung perkantoran. Sedang karena beban gempa sifat statistiknya tergantung lokasi dimana bangunan itu akan dirancang maka diambil hasil penelitian dan perhitungan yang dilakukan oleh Najoan untuk Jakarta dan dari laporan Beca Carter Holling & Ferner (11,12), sedang metodologinya untuk mencari parameter statistik mengikuti (23).
2. Analisa Keandalan ditentukan berdasarkan format kombinasi beban $R > Q$ (sesuai dengan format ACI 318), sehingga akan digunakan fungsi kinerja yang linier. Fungsi kinerja yang dipilih adalah meliputi fungsi kegagalan akibat lentur, geser dan kombinasi aksial-lentur. Analisa untuk menentukan indeks keamanan menggunakan metoda momen kedua orde pertama lanjut (*Advanced First Order Second Moment Method*) yang dijelaskan pada Bab II.