BAB III

LANDASAN TEORI

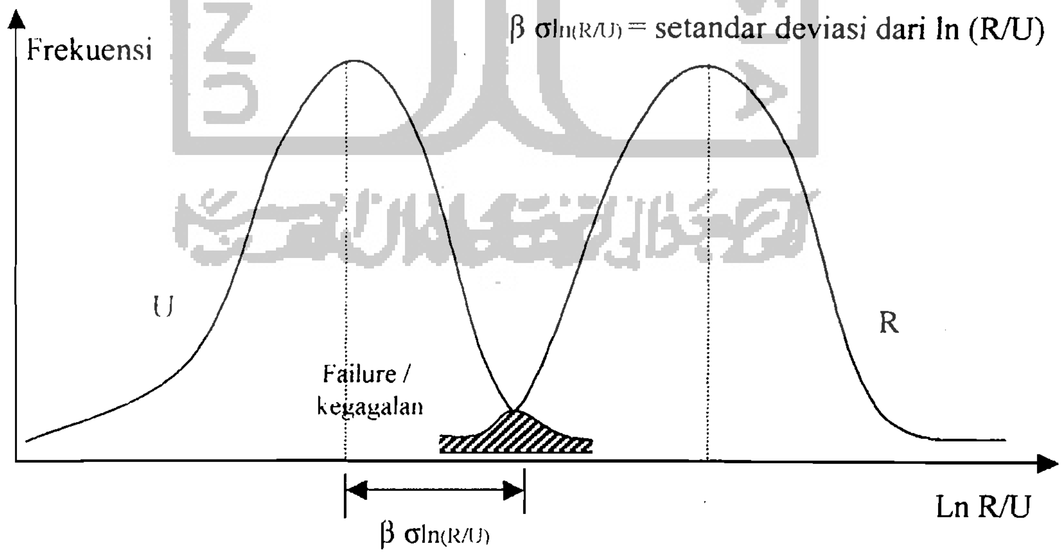
3.1 Metoda Identifikasi Faktor Beban

Beban-beban yang bekerja maupun kekuatan (*resistensi*) struktur terhadap beban merupakan variabel-variabel yang harus diperhitungkan. Pada umumnya hampir mustahil untuk melakukan analisis menyeluruh terhadap semua ketidak pastian yang mungkin akan mempengaruhi pencapaian keadaan batas ketika struktur akan hancur akibat beban tersebut.

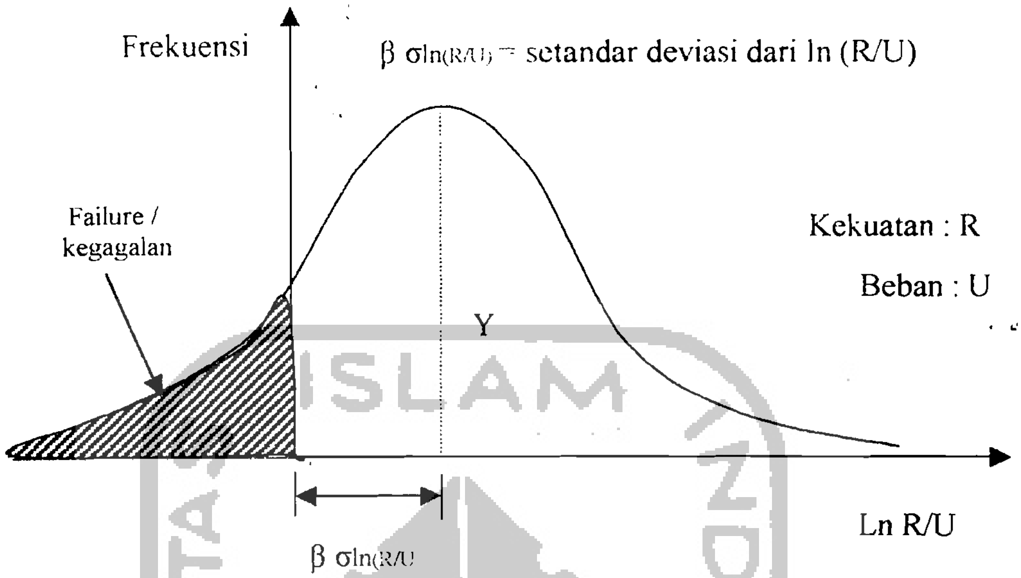
Dewasa ini dicari metoda yang lebih sederhana dengan penaksiran keamanan struktur, dalam hal ini struktur beton bertulang berdasarkan probobilitas, yakni dengan metoda reabilitas *first orde second moment*. Metoda ini memperhitungkan sifat random dari semua variable yang mempengaruhi ϕ dan λ. Dalam penggambaran distribusi dari masing-masing variable selalu hanya menggunakan dua variable statistik yaitu nilai rata-rata dan koefisien variasi. Metoda ini telah dianggap sebagai sarana yang realistis untuk menyusun keamanan struktur oleh *ACI fall convention Canada 1975*, meskipun hambatan utama pemakaianya adalah kurang cukup data statistik yang konsisten. (Purwono, 1989).

Metoda-metoda diatas mengasumsikan beban U dan kekuatan R sebagai Variabel-variabel acak. Dalam gambar 3.1 terlihat distribusi frekuensi tifikal dari variabel-variabel acak semacam ini. Bila kekuatan R melebihi beban U, akan terdapat suatu margin keamanan. Apabila R tidak melebihi U dalam jumlah yang besar, ada kemungkinan bahwa R kurang dari U seperti pada bagian yang diarsir dimana kurva R dan U saling menutupi.

Oleh sebab itu, kegagalan pada struktur beton bertulang dapat didefinisikan dengan membandingkan R dan U atau dalam bentuk logaritmik ln (R/U), seperti gambar 3.1. Pada kedua bentuk tersebut, kegagalan merupakan wilayah perpotongan, jarak diantara garis kegagalan dengan nilai rata-rata dari fungsi ln(R/U) didefinisikan sebagai perkalian β dengan standar deviasi σ dari fungsi itu. Pengali β disebuk indek reabilitas (indek kehandalan). Semakin besar β, semakin besar pula margin keamanan.



Gambar 3.1 Distribusi frequensi beban U dan Kekuatan R



Gambar 3.2 Distribusi frequensi dari Y

Struktur akan dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah kekuatan dan beban. Jika mengambil R, $\overline{R}$ dan σ_R menunjukan distribusi kekuatan dan U, $\overline{U}$ dan σ_R menunjukan beban. Beberapa kegagalan struktur dapat diberikan jika R<U. sehingga probobilitas dari kegagalan adalah probobilitas bahwa R<U atau:

$P_f = P(R/U) < 1$ ....(3.1)

Dengan: P_f : probobilitas kegagalan

Karena ln 1= 0, maka persamaan (3.1) menjadi:

$P_f = P\ (\ln(R/U)<0)$ ....(3.2)

Didefinisikan dengan:

$Y = \ln\ (R/U)$ ....(3.3)

Diasumsikan Y berdistribusi normal dan (R/U) berdistribusi log-normal seperti ditunjukan gambar 3.2.

Nilai rata-rata dari $\bar{Y}$ dan standar deviasinya (σ_y) adalah:

$$\bar{Y} = \ln (R/U) \quad (3.4.a)$$

$$\sigma_y = \sigma \ln (R/U) \quad (3.4.b)$$

Berdasarkan prinsip logaritma natural a ln (R/U) = a (lnR-ln U), maka persamaan (3.4.b) menjadi:

$$\sigma_y = \sigma (\ln R - \ln U) \quad (3.5)$$

berdasarka sifat varian (walpole, 1986) : a (lnR-lnU) = a lnR+ a (-lnU) persamaan (3.5) menjadi:

$$\sigma_y = \sigma (\ln R) + \sigma (- \ln U) \quad (3.6)$$

peramaan (3.6) berdasarkan sifat varian (Whitemore, 1993):

$\sigma^2(\ln R - \ln U) = \sigma^2(\ln R) + \sigma^2(\ln U)$ dapat dibentuk menjadi persamaan (3.7)

$$\sigma_y^2 = \sigma^2 (\ln R/U) = \sigma^2 (\ln R - \ln U) = \sigma^2(\ln R) + \sigma^2(\ln U) \quad (3.7)$$

fungsi Y seperti pada persamaan (3.3) dapat dilihat pada gambar(3.2). Rata-rata dari Y atau $\bar{Y}$ akan lebih besar nilainya dari Y dikalikan faktor keamanan β. Pernyataan tersebut dapat ditulis menjadi:

$$\bar{Y} > \beta \sigma Y \quad (3.8)$$

Dengan memperhitungkan persamaan (3.8) maka persamaan (3.7) akan jadi

$$\ln(R/U) \geq \beta \sigma (\ln R/U) \quad (3.9)$$

Dengan mengingat hubungan pada persamaan (3.7) maka

$$\text{Ln } (R/U) \geq \beta\sqrt{\sigma(\ln R) + \sigma(\ln U)} \quad (3.10)$$

Sesuai dengan prinsif statistik untuk fungsi yang terdistribusi log-normal, koefisien variasi dapat dicari dengan persamaan (Kite, 1988).

$$V_R = (e^{\sigma^2(\ln R)} - 1)^{1/2} \text{ ....(3.11)}$$

Menurut Mac Gregor (1976) untuk $V_U \leq 0.6$, maka diambil hubungan

$$V_R^{\ 2} \cong \sigma^2 (\ln R) \text{ ....(3.12)}$$

Substitusi persamaan (3.12) kedalam persamaan (3.10) akan diperoleh:

$$\mathrm{Ln}(R/U) \geq \beta \sqrt{V_R^2 + V_U^2} \text{ ....(3.13)}$$

Lind (1971) menunjukan bahwa:

$$\sqrt{A^2 + B^2} = \alpha A + \alpha B \text{ ....(3.14)}$$

dengan α adalah fungsi saparasi yang bernilai antara 0.707 dan 1.

dengan memperhatikan persamaan (3.14) maka fungsi separasi persamaan (3.13) menjadi:

$$\ln(\overline{R}/\overline{U}) \geq \beta\alpha V_R + \beta\alpha V_U \text{ .... (3.15)}$$

persamaan (3.15) dapat ditulis dalam bentuk:

$$R/U \geq e(^{-\beta\alpha V_R + \beta\alpha V_U}) \text{ ....(3.16)}$$

Selanjutnya persamaan (3.16) dapat disusun menjadi:

$$R(e^{-\beta\alpha V_R}) \geq U(e^{+\beta\alpha V_U}) \text{ ....(3.17)}$$

Didalam perhitungan rata-rata kekuatan R direduksi dengan faktor yang kurang dari satu dan beban rata-rata U diperbesar dengan faktor yang lebih besar dari satu (lihat persamaan 2.1). meskipun, ketika perancang (desainer) menggunakan aturan-aturan persamaan desain dan penentuan, menghitung kekuatan disain R dari rata-rata kekuatan R. Dengan cara yang sama, perencanaan (desain) didasarkan atas harga dari U yang ditetapkan dalam tabel pembebanan. Dengan mendefinisikan nilai nilai γ adalah perbandingan dari $\frac{\overline{U}}{U}$ maka:

$$\overline{R} = R\,\gamma_R \quad (3.18.a)$$

$$\overline{U} = U\,\gamma_U \quad (3.18.b)$$

maka persamaan (3.18.a) ditulis:

$$R\gamma_R(e^{-\beta\alpha\ V_R}) \geq U\gamma_U(e^{+\beta\alpha\ V_U}) \quad (3.19)$$

Atau dibentuk menjadi:

$$\phi\ R \geq \lambda\ U \quad (3.20)$$

dengan: harga ϕ adalah faktor pengurangan (Reduksi) dan λ adalah faktor beban, sehingga:

$$\phi=\gamma_R e^{-\beta\alpha^2 V_R} \quad (3.21)$$

dan :

$$\lambda=\gamma_U e^{\beta\alpha^2 V_R} \quad (3.22)$$

persamaan yang digunakan menurut Mac Gregor (1976) adalah sebagai berikut:

$$\lambda=\gamma_U e^{\beta\alpha^2 V_R} \quad (3.23)$$

dengan:

$$\gamma_R=\frac{\overline{U}}{U} \quad (3.24)$$

dengan:

V_U : Koefisien Variasi U

α : Separation factor yang bernilai antara 0.707 – 1

β : ukuran keandalan struktur

3.2 Metoda Identifikasi Faktor Beban

Faktor pemisahan (separation factor) adalah faktor yang menunjukan berapa besar pengali bila suatu bilangan dipisahkan dari persamaan akar kuadrat.

Lind (1971) menunjukan bahwa:

$$\sqrt{A^2 + B^2} = \alpha\ A + \alpha\ B \quad \text{...}(3.14)$$

dengan α adalah fungsi saparasi yang bernilai antara 0.707 dan 1.

Ismail dan Agus (2000) memberikan contoh pembuktian besarnya nilai separasi faktor ini. Sebagai contoh diambil sembarang nilai A dan B; A=1.5 dan B=2.5

$$\sqrt{1.5^2 + 2.5^2} = \alpha\ 1.5 + \alpha\ 2.5 \longrightarrow \alpha = 0.729$$

Untuk keperluan penelitian ini α ditetapkan sebesar 0.707.

Kegagalan pada struktur beton bertulang dapat didefinisikan dengan membandingkan R dan U atau dalam bentuk logaritmik ln (R/U), seperti gambar 3.1. Pada kedua bentuk tersebut, kegagalan merupakan wilayah perpotongan, jarak diantara garis kegagalan dengan nilai rata-rata dari fungsi ln(R/U)) didefinisikan sebagai perkalian β dengan standar deviasi σ dari fungsi itu. Pengali β disebuk indek reabilitas (indek kehandalan). Semakin besar β, semakin besar pula margin keamanan.

Besarnya kehandalan struktur yang ditunjukan dengan indek reabilitas β, dicari dengan rumus sederhana:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_m}{U_m}\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_U^2}} \quad \text{...}(5.14.a)$$

dengan R_m adalah mean dari nilai resistensi R dan U_m adalah mean dari nilai efek beban U. Untuk penelitian ini besarnya nilai indek reabilitas β digunakan sebagai mana dianjurkan oleh Mac Gregor (1976), yaitu:

β : 3.5 untuk struktur brittle

β : 4.0 untuk struktur daktail

Nilai β ini erat kaitanya dengan probilitas keruntuhan. Dalam gambar 3.1 diatas menunjukan besarnya angka keamanan yaitu jarak dari garis asli sampai kerata-ratanya dan diwujudkan sebagai perkalian β dan $\sigma_{\ln (R/U)}$, seperti pada persamaan (3.12) diatas. Dengan demikian, semakin besar jaraknya semakin kecil pula probobilitas pencapaian keadaan batas atau kegagalan struktur.

3.3 Parameter Statistik Yang digunakan Dalam Perhitungan

Berikut ini ditunjukan parameter-parameter statistik yang dicari dan digunakan dalam penelitian.

3.3.1 Nilai Rata-Rata (Mean)

Data yang diambil jumlahnya banyak dan bervariasi sehingga diperlukan nilai rata-rata. Nilai rat-rata tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (3.25) dibawah ini:

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{n} \qquad \text{...(3.25)}$$

dengan :

X : data yang diuji ; n : jumlah data

Dalam tugas akhir ini diambil data dari pengukuran di lapangan semua unsur-unsur yang mempengaruhi besarnya beban.

3.3.2 Koefisien Variasi

Untuk mengetahui tingkat penyebaran data digunakan koefisien variasi yang dapat, dihitung menurut Hasan (1999) dengan persamaan (3.26) dibawah ini:

$$V_X = \frac{\sigma_X}{X} \left(atau \frac{\sigma_X}{X} x\, 100\% \right) \qquad \text{.......(3.26)}$$

Dengan: σx : standar deviasi dari x

Nilai standar deviasi digunakan untuk mencari penyimpangan-penyimpanga dari data uji tersebut dan dihitung dengan persamana (3.27) dibawah ini:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum \left(x - \bar{x} \right)^2}{n}} \qquad \text{.......(3.27)}$$

sedangkan untuk kombinasi distribusi statistik adalah sebagai berikut:

1. Kombinasi penjumlahan

$$x = A - B \left(atau\ A + B \right) \qquad \text{.......(3.28)}$$

$$\bar{x} = \bar{A} - \bar{B} \left(atau\ \bar{A} + \bar{B} \right) \qquad \text{.......(3.29)}$$

dengan A dan B menyatakan persamaan-persamaan rumus yang dipakai.

Maka:

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \qquad \text{.......(3.30)}$$

dengan:

σ_A, σ_B : standar deviasi A dan B dengan rumus pada persamaan (3.27) sedangkan untuk mencari koefisien variasi menggunakan persamaan (3.26)

2. Kombinasi perkalian

$Y = A + B$ ....(3.31)

$\overline{Y} = \overline{A} \ x \ \overline{B}$ ....(3.32)

maka:

$V_y = \sqrt{V_A^{\,2} + V_B^{\,2}}$ ....(3.33)

Dengan:

V_y : koefisien variasi dari y

V_A : Koefisien variasi dari A

V_B : Koefisien variasi dari B

Nilai deviasi standar yang dihitung digunakan untuk mencari penyimpangan-penyimpangan dari data uji tersebut. Kemudian nilai koefisien variasi dicari dari standar deviasi diatas. Nilai koefisien inilah yang salah satunya menentukan besarnya faktor beban yang terjadi dilapangan.

3.4 Langkah-langkah Pehitungan

Nilai λ dicari mengikuti metoda yang diusulkan Mac Gregor (1976), dalam tugas akhir ini dibatasi untuk kombinasi beban mati dan beban hidup.

Beban aktual lapangan diambil dari hasil pengukuran dilapangan, besarnya nilai ini dicari dengan persamaan:

$U_i = t_i . \gamma_i$ ....(3.39.a)

Dengan: U_i : Berat material jenis i

t_i : Tebal lapis pengukuran material i

γ_i : Berat jenis material i

besarnya berat jenis masing-masing material dicari dengan persamaan

$$\gamma_i = \frac{W_i}{V_i} \quad \text{...(3.39.b)}$$

dengan : W : Berat material dan V: Volume material

sedangkan beban hidup aktual lapangan diambil dari hasil pengukuran dilapangan, besarnya nilai ini dicari dengan persamaan:

$$U_{iL} = \frac{\overline{U}_{iL} \, N_{iL}}{A_i} \quad \text{...(3.39.c)}$$

dengan : U_{iL} : Berat beban aktual jenis i

N_{iL} : Jumlah beban aktual jenis i

A_i : Luas Ruangan i

Besarnya momen dihitung dengan rumus pendekatan

$$M_i = 0.001\ W_i\ L_x^2\ C_i \quad \text{...(3.39.d)}$$

Dimana: M_i : Momen akibat beban yang bekerja

W_i : Beban akibat jenis material i

L_x : Panjang bagian terpendek

C_i : Koefisien momen

Analisis yang sama dilakukan untuk kombinasi beban lain. Beban dengan tahanan beban dapat ditunjukan dengan hubunngan persamaan (3.20),

$$\phi R \geq \lambda\ U \quad \text{...(3.20)}$$

dimana λ adalah faktor beban. Setelah persamaan diturunkan didapatkan λ seperti persamaan (3.22)

$$\lambda = \gamma_U e^{\beta \alpha V U} \quad \text{...(3.22)}$$

tetapi U=D+L, dimana D dan L keduanya masing-masing adalah variabel terpisah. Karena koefisien variasi beban mati D lebih kecil daripada beban hidup L, dimungkinkan untuk memisahkan keduanya. Untuk mendapatkan faktor beban λ pada code prosedur yang diusulkan Allen (1975) dapat diikuti. Dalam tugas akhir ini perkiraan untuk mendapatkan λ_D dan λ_L mengikuti prosedur yang diusulkanya. Menggunakan persamaan (3.18.b) dan (3.20) dihasilkan persamaan

$$\lambda U = \overline{U}\, e^{\beta \alpha V_U} \quad \text{.........(3.33)}$$

mengingat deret tailor bahwa:

$$e^X = 1 + \frac{X}{1!} + \frac{X^2}{2!} + \frac{X^3}{3!} + \ldots\ldots + \frac{X^n}{n!} \quad \text{.........(3.34.a)}$$

menggunakan dua expansi yang pertama untuk expansi series e^X maka:

$$\lambda\, U = \overline{U}\, e^X \quad \text{.........(3.34.b)}$$

dengan $\lambda = \beta\, \alpha\, Vu$

Untuk kondisi ultimit yang merupakan kombinasi antara D dan L maka persamaan 3.26 dapat ditulis menjadi:

$$Vu = \frac{\sigma_x}{\overline{X}} \quad \text{.........(3.34.c)}$$

$Vu^2 = \dfrac{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}{\overline{D}^2 + \overline{L}^2}$ bentuk ini dapat dibawa kedalam bentuk

$$Vu^2\left(\overline{D}^2 + \overline{L}^2\right) = \sigma_D^2 + \sigma_L^2 \quad \text{.........(3.34.d)}$$

$$Vu^2\left(\overline{D}^2 + \overline{L}^2\right) = \overline{D}^2\, V_D^2 + \overline{L}^2\, V_L^2 \quad \text{.........(3.34.e)}$$

$$Vu^2 = \frac{\overline{D}^2\, V_D^2 + \overline{L}^2\, V_L^2}{\overline{D}^2 + \overline{L}^2} \quad \text{.........(3.34.f)}$$

$$Vu = \sqrt{\frac{\overline{D}^2\ V_D^2 + \overline{L}^2\ V_L^2}{\overline{D}^2 + \overline{L}^2}} \quad \text{(3.34.g)}$$

Dengan mensubsitusikan persamaan 3.34.g kedalam persamaan 3.33 didapat persamaan berikut:

$$\overline{U}\, e^{\beta\alpha Vu} = \left(\overline{D} + \overline{L}\right)\left(1 + \beta\,\alpha\, Vu\right) \quad \text{(3.34.h)}$$

$$\overline{U}\ e^{\beta\alpha Vu} = \left(\overline{D} + \overline{L}\right)\left(1 + \beta\,\alpha\sqrt{\frac{\overline{D}^2\ V_D^2 + \overline{L}^2\ \overline{V_L}^2}{\overline{D}^2 + \overline{L}^2}}\right) \quad \text{(3.34 .i)}$$

Dengan menggunakan persamaan (3.14) dihasilkan persamaan

$$\cong \left(\overline{D} + \overline{L}\right)\left(1 + \frac{\alpha^2 \beta \overline{D}\ V_D + \alpha^2 \beta\ \overline{L}\ V_L}{\overline{D} + \overline{L}}\right) \quad \text{(3.34.j)}$$

$$\overline{U}\ e^{\beta\alpha V_U} \cong \overline{D}\ \left(1 + \alpha^2 \beta V_D\right) + \overline{L}\ \left(1 + \alpha^2 \beta\ V_L\right) \quad \text{(3.35)}$$

Mengacu pada persamaan (3.22), indek yang ada dalam kurung pada persamaan (3.35) diatas dapat ditulis kembali dalam bentuk eksponensial dengan konsisten menghasilkan faktor beban untuk beban mati D dan beban hidup L:

$$\lambda_D = \gamma_D\, e^{\beta\alpha^2 V_D} \quad \text{(3.36)}$$

dimana $V_D = \sqrt{V_{SD}^{\ 2} + V_{ED}^{\ 2}}$ adalah variasi beban V_{SD} dan analisis struktur V_{ED}

$$\lambda_L = \gamma_L\ e^{\ \beta\alpha^2 V_L} \quad \text{(3.37)}$$

dimana $V_L = \sqrt{V_{SL}^{\ 2} + V_{EL}^{\ 2}}$ adalah variasi beban V_{SL} dan analisis struktur V_{EL}

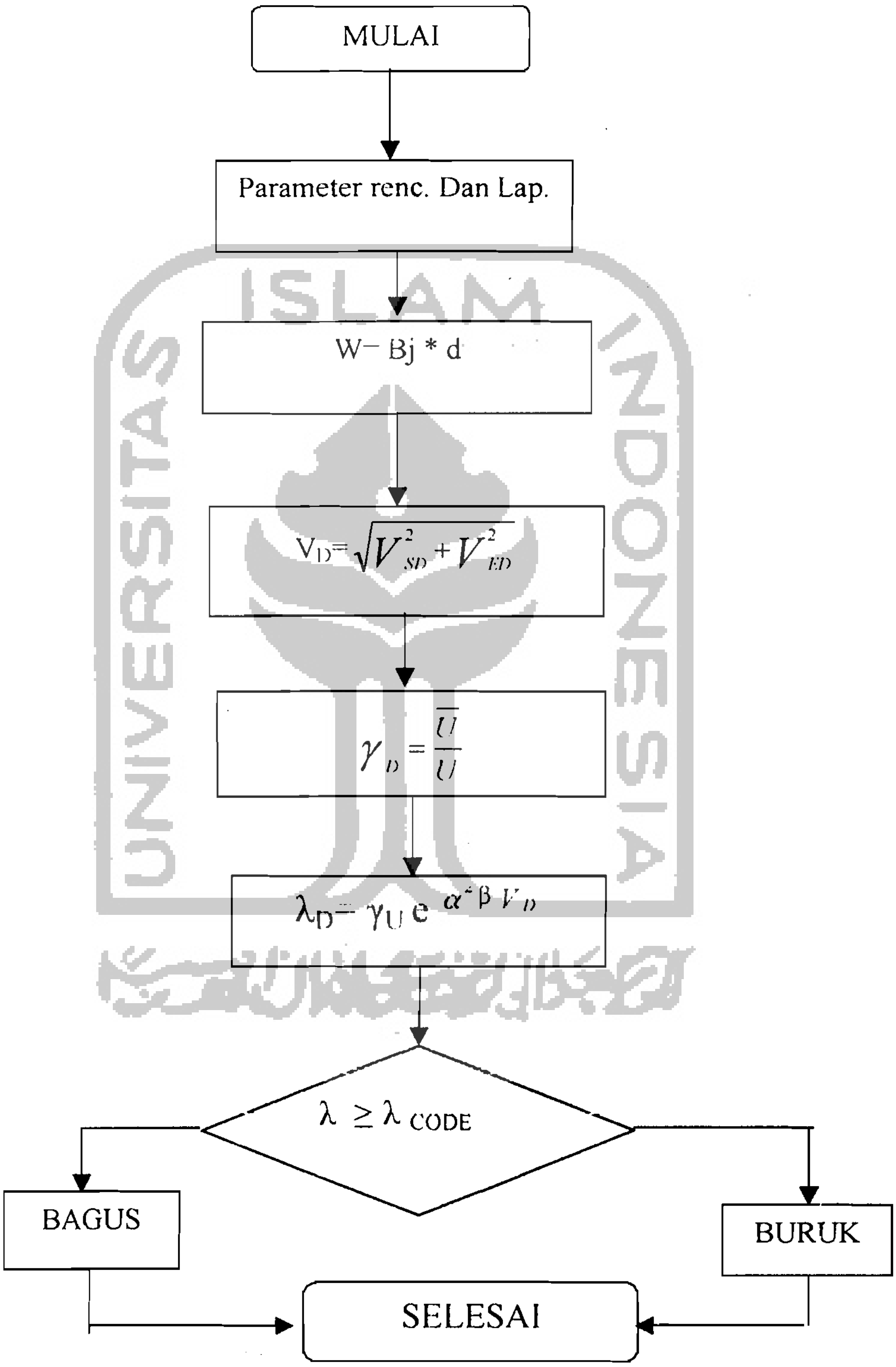
pada penelitian ini nilai faktor beban parsial untuk beban mati λ_D dan nilai faktor beban untuk beban hidup λ_L dicari dengan menggunakan persamaan (3.36) dan (3.37).

3.5 Diagram Alir Hitungan Faktor Beban λ

Diagram alir (flow chart) proses hitungan dan pencarian faktor beban ditunjukan dalam Gambar 3.3 untuk beban mati dan Gambar 3.4 untuk beban hidup.

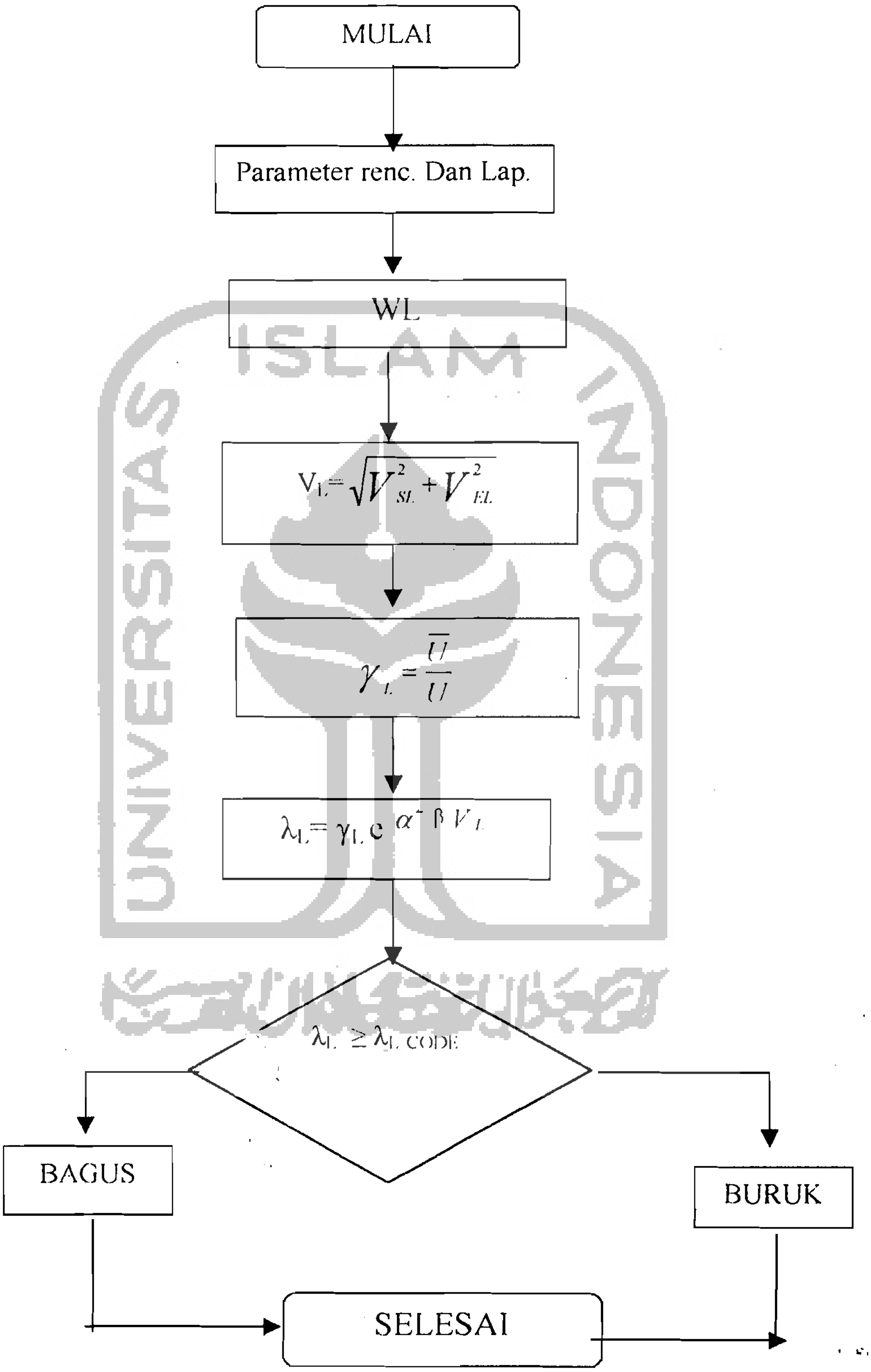
Parameter-parameter lapangan adalah data-data yang diambil dilapangan seperti dimensi dan berat volume masing-masing komponen struktur aktual di lapangan. Begitu juga untuk beban hidup seperti berat mebeler yang berupa kursi lemari, meja dan penghuni ruangan itu sendiri yang semuanya memberikan kontribusi terhadap penghitungan faktor beban.

Hitungan Faktor Beban Untuk Beban Mati



Gambar.3.3 Flowchart λ_D

Hitungan Faktor Beban Untuk Beban Hidup



Gambar.3.4 Flowchart λ_L