

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Respon struktur merupakan riwayat waktu dari perpindahan, kecepatan dan percepatan dari fungsi beban tertentu untuk struktur dengan derajat kebebasan tunggal dan banyak. Pada permasalahan beban dinamis seperti beban ledakan, beban angin, beban getaran mesin dan beban gempa, beban dan respon strukturnya merupakan fungsi dari waktu sehingga analisis yang dilakukan harus berdasarkan waktu (Lumantarna1999).

Elemen struktur direncanakan berdasarkan beban yang dipikulnya seperti halnya pada perhitungan elemen tekan kolom yang mana daya pikul kolom ditentukan oleh berat sendiri balok dan besar beban yang bekerja diatas balok tersebut baik berat plat lantai, dinding, kolom diatas balok, sandaran, tangga, plafond dan lain-lain termasuk beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban lainnya. Sehingga akan didapat dimensi elemen stuktur yang mampu memikul beban. Adapun dalam merencanakan suatu struktur dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah dengan menentukan dimensi, geometrik serta material elemen struktur terlebih dahulu, kemudian dianalisis untuk mendapatkan berapa batasan beban yang mampu dipikul oleh elemen struktur. Cara kedua adalah dengan menentukan beban-beban serta momen yang akan bekerja pada struktur tersebut terlebih dahulu, lalu dilakukan perhitungan dimensi, penulangan dan sebagainya.

Kedua pendekatan ini sering dijumpai dalam merencanakan suatu elemen struktur. Akan tetapi, ada beberapa hal yang kurang diperhatikan seperti halnya menyangkut arah ataupun orientasi dari elemen struktur yang direncanakan. Orientasi elemen struktur merupakan faktor desain tentang penempatan arah elemen struktur, misalnya untuk elemen lentur balok (bxh), dalam penempatan arah balok (bxh) akan berbeda dengan penempatan arah balok (bxh) yang diputar

90° terhadap sumbu y akan didapat nilai momen inersia (I) yang berbeda dan nilai kekakuan (EI) yang berbeda juga tentunya. Hal ini pun bisa saja terjadi pada elemen tekan kolom. Orientasi kolom sangat berpengaruh pada kekuatan kolomnya. Penempatan/orientasi kolom yang tepat dari suatu bangunan akan memberikan kontribusi yang baik, efisien/tidak boros material dan optimal dari segi kekuatan struktur bangunan. Hal inilah yang menjadi menarik untuk ditelaah lebih mendalam, untuk melihat pengaruh orientasi penampang kolom terhadap perilaku struktur akibat suatu pembebanan dinamik, agar diperoleh orientasi struktur yang terbaik.

1.2 Rumusan Masalah

Akibat beban dinamis, akan dibandingkan respon yang dihasilkan dari struktur dengan sistem pemodelan kolom yang bervariasi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Model struktur yang ditinjau adalah portal satu lantai dengan derajat kebebasan tunggal/SDOF (Single Degree of Freedom).
2. Kolom divariasikan dengan model penampang yang berbeda tetapi memiliki luasan yang sama.
3. Tidak memasukkan perhitungan struktur bawah (pondasi).
4. Beban yang digunakan adalah beban periodik (berulang).
5. Respon struktur berupa simpangan.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari penelitian ini penulis ingin menghitung perbandingan respon struktur dari beberapa model struktur dengan beberapa variasi orientasi penampang kolom yang berbeda.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini, kita dapat mengetahui berapa besar pengaruh orientasi penampang kolom dan juga dapat mengetahui orientasi penampang

kolom yang memberikan kontribusi terbaik terhadap kekuatan struktur bangunan, dalam merencanakan suatu bangunan konstruksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini direncanakan akan menjadi lima bagian utama ditambah dengan lampiran-lampiran. Adapun deskripsi singkat dari masing-masing bab adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan penulisan laporan, batasan permasalahan, perumusan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini akan mengungkapkan landasan-landasan teori yang digunakan dan menjadi acuan bagi penulis dalam menyusun skripsi. Selain itu diuraikan pula mengenai buku-buku yang relevan dan berhubungan untuk pembahasan masalah yang dikaji dalam skripsi ini

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan kegiatan serta cara-cara yang penulis tempuh dalam melakukan penelitian guna mendapatkan sumber-sumber yang berhubungan dengan permasalahan yang dikaji.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hal-hal yang berhubungan dengan seluruh hasil penelitian yang diperoleh penulis. Didalamnya berisi tentang analisis dan pemecahan masalah yang dikaji dalam skripsi ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dikemukakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan beserta saran untuk masalah dalam penelitian ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

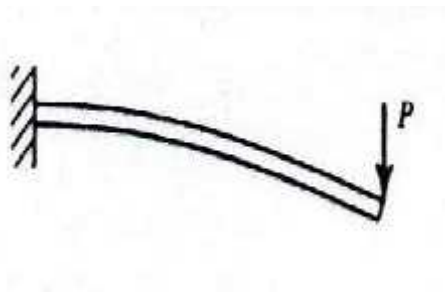
2.1 Umum

Analisis respon struktur terhadap beban dinamik memerlukan pemodelan. Pemodelan struktur dilakukan menurut derajat kebebasan pada struktur. Pemodelan struktur berdasarkan jumlah derajat kebebasannya, terdiri dari dua jenis, yakni struktur dengan satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) dan struktur dengan banyak derajat kebebasan (*multi degree of freedom*). Teori mengenai struktur dengan satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) disajikan dalam bab ini.

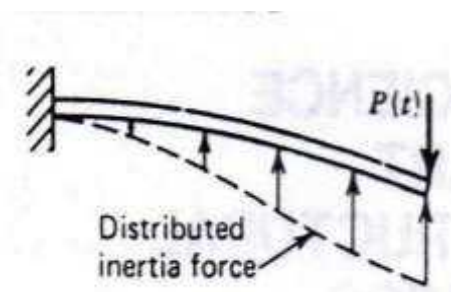
2.2 Sistem Dinamik Dengan Satu Derajat Kebebasan (SDOF)

2.2.1 Pendahuluan Mengenai Dinamika Struktur

Secara sederhana dinamik dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur (Budio P Sugeng, 1990). Beban dinamis dapat berupa variasi besarnya (magnitude), arahnya (direction) atau posisinya (point of application) berubah terhadap waktu. Demikian pula respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan-waktu, atau bersifat dinamik.



(a)



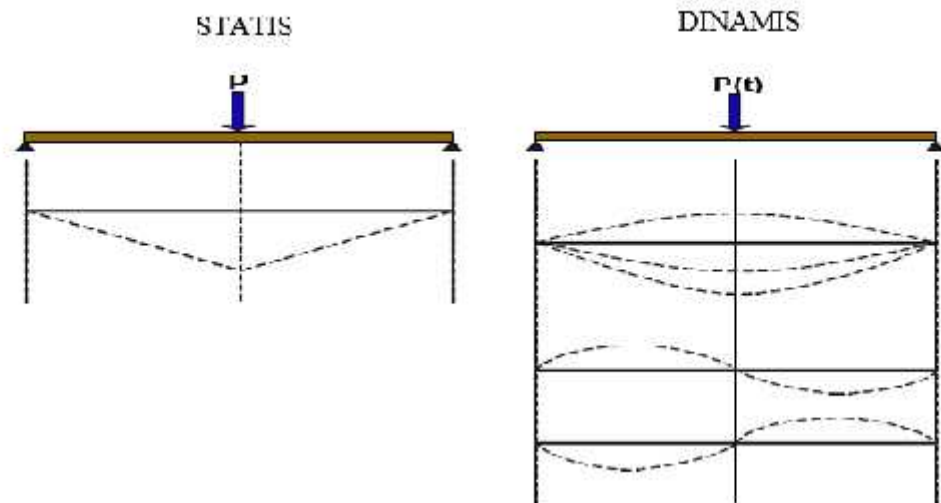
(b)

Gambar 2.1. Balok kantilever dengan (a) beban statis dan (b) beban dinamis.

Pada gambar 2.1 terlihat balok kantilever dengan dua jenis pembebanan berbeda yaitu beban statis dan dinamis.

- a. gambar 1.1 (a) menunjukkan balok kantilever dengan beban statis, responnya dipengaruhi oleh beban P .
- b. gambar 1.1 (b) menunjukkan balok kantilever dengan beban dinamis atau beban yang bervariasi terhadap waktu $P(t)$.

Lendutan dan tegangan internal yang timbul dalam kasus beban statis hanya ditimbulkan langsung oleh beban P , sedangkan dalam kasus beban dinamis, percepatan yang dialami oleh balok akibat $P(t)$ menimbulkan gaya inersia yang terdistribusi pada seluruh bagian balok. Lendutan dan tegangan pada balok sangat dipengaruhi pula oleh gaya inersia yang ditimbulkan oleh massa balok ketika mengalami percepatan. Jika pengaruh gaya inersia yang terjadi sangat signifikan, maka perlu dilakukan analisa dinamis. Perbedaan respon untuk beban statis dan dinamis juga dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



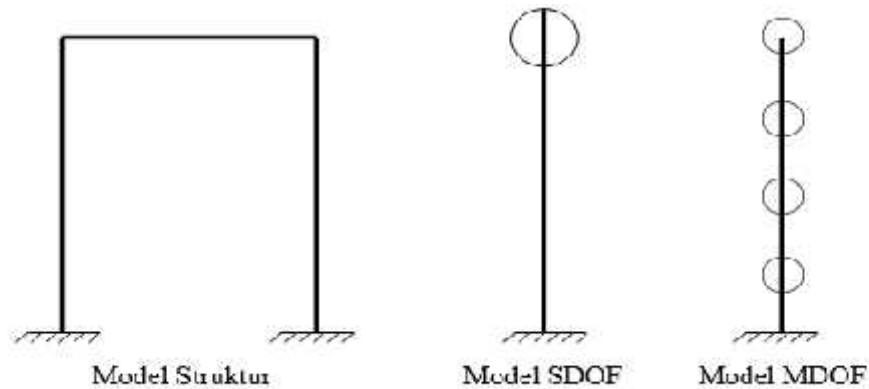
Gambar 2.2. Balok dengan beban statis dan beban dinamis

2.2.2 Derajat Kebebasan (Degrees of Freedom)

Sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) hanya akan mempunyai satu

koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi massa pada saat tertentu yang ditinjau. Bangunan satu tingkat adalah salah satu contoh bangunan derajat kebebasan tunggal.

Sistem SDOF tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Sistem terdiri dari massa (m) yang terkonsentrasi pada tingkat atap, dengan rangka massa kecil memiliki kekakuan pada sistem dan redaman pelekat (dashpot).



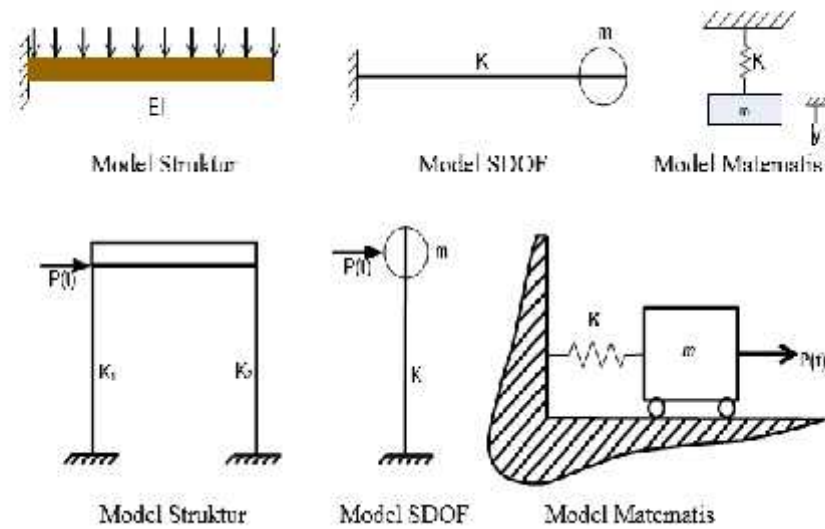
Gambar2.3. Model struktur dengan derajat kebebasan SDOF (Single Degree of Freedom) dan MDOF (Multiple Degree of Freedom).

2.2.3 Pemodelan Matematis

Model matematis dalam analisa dinamika struktur mempunyai beberapa elemen sebagai berikut:

- massa m menyatakan massa dan sifat inersia daristruktur
- pegas k menyatakan gaya balik elastic dan kapasitas energy potensial dari struktur
- redaman c menyatakan sifat geseran dan kehilangan energy daristruktur
- gaya pengaruh $F(t)$ menyatakan gaya luar yang bekerja pada sistem struktur sebagai fungsi dariwaktu.

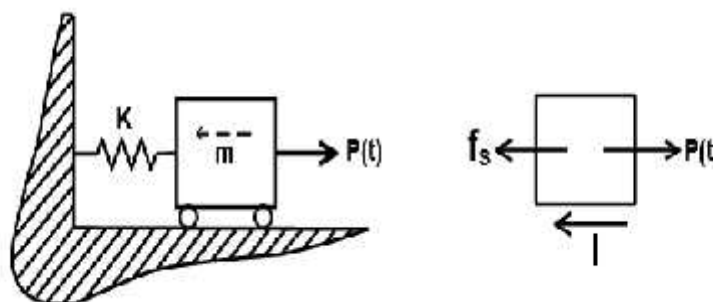
Namun dalam pembahasan dinamika struktur dengan analisa sederhana pada sistem berderajat kebebasan tunggal, redaman c diabaikan. Beberapa contoh model matematis pada struktur dapat dilihat pada gambarberikut.



Gambar 2.4 Model matematis sistem berderajat kebebasan tunggal.

2.2.4 Free Body Diagram

Salah satu aspek yang penting dalam analisis dinamis adalah menggambar sebuah diagram free body dari sistem yang memungkinkan penulisan besaran matematik dari sistem tersebut. Free Body Diagram (FBD) adalah suatu sketsa dari benda yang dipisahkan dari benda lainnya, dimana semua gaya luar pada benda terlihat jelas. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambarberikut:



Gambar 2.5 Free Body Diagram dari sebuah sistem berderajat kebebasan tunggal.

Dari gambar *free body diagram* pada gambar 2.5, menunjukan bahwa massa m

yang dipindahkan dengan adanya gaya luar sebesar $P(t)$, dan memberikan gaya pegas sebesar $F_s=ky$ serta gaya inersia I .

2.3 Klasifikasi Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

Klasifikasi Getaran :

1. Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi jika setelah diberi gangguan awal sistem akan berosilasi sendiri karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri dan tidak ada gaya dari luar yang bekerja. Karena tidak ada gaya luar yang bekerja maka sistem akan berhenti dalam waktu tertentu. Hal ini disebabkan adanya redaman pada sistem getaran atau dari luar sistem getaran.

2. Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.

2.4 Solusi Persamaan Gerak SDOF

2.4.1 Getaran Bebas Tak teredam (Undamped Free Vibration)

Persamaan gerak untuk sistem berderajat kebebasan tunggal getaran bebas tak teredam menurut Mario Paz (1987) adalah

$$m \cdot \ddot{y} + k \cdot y = 0 \quad (2.1)$$

Misal solusi:

$$y = A \cos \check{S}t \quad (2.2)$$

$$\dot{y} = -A \check{S} \sin \check{S}t \quad (2.2a)$$

$$\ddot{y} = -A \check{S}^2 \cos \check{S}t \quad (2.2b)$$

$$y = B \sin \check{S}t \quad (2.3)$$

di mana A dan B adalah konstanta yang tergantung pada kondisi awal gerak dan \check{S} adalah besaran yang menyatakan besaran fisik sistem yang akan terlihat nanti. Substitusi pers. (2.2) dan (2.2b) ke dalam pers. (2.1)

$$(-m \check{S}^2 + k) A \cos \check{S}t = 0 \quad (2.4)$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (2.5)$$

$$= \frac{k}{m} \quad (2.6)$$

pers. (2.6) dikenal sebagai frekuensi natural (*natural frequency*) dari sistem. Karena pers. (2.2) dan (2.3) adalah solusi pers. (2.1) dan karena persamaan differensial adalah linier, maka superposisi kedua solusi ini, seperti pada (2.7) merupakan sebuah solusi juga. Selanjutnya pers. (2.7) merupakan solusi persamaan differensial orde dua dan mempunyai dua konstanta integrasi A dan B.

$$y = A \cos \check{S}t + B \sin \check{S}t \quad (2.7)$$

$$\dot{y} = -A \check{S} \sin \check{S}t + B \check{S} \cos \check{S}t \quad (2.8)$$

Selanjutnya perlu ditentukan konstanta integrasi A dan B. Kedua konstanta ini dapat ditentukan dari perpindahan y_0 dan kecepatan v_0 pada kondisi awal yaitu

pada saat $t=0$. Kedua kondisi ini disebut kondisi awal (*initial conditions*).

$$\text{Perpindahan awal : } y(t)=y(0)=y_0 \quad (2.9)$$

$$\text{Kecepatan awal : } \dot{y}(t)=\dot{y}(0)=V_0 \quad (2.10)$$

Maka substitusi persamaan (2.9) ke dalam persamaan (2.7) didapat:

$$A = y_0 \quad (2.11)$$

Substitusi persamaan (2.10) dan (2.11) ke dalam persamaan (2.8), maka didapat:

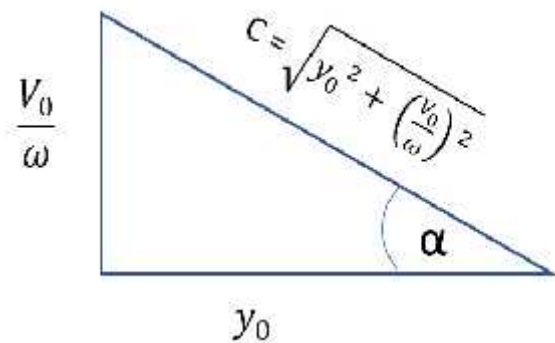
$$B = \frac{V_0}{\omega} \quad (2.12)$$

Substitusi persamaan (2.11) dan (2.12) ke dalam persamaan (2.7), maka didapat:

$$y = y_0 \text{ Cos } \check{S}t + \frac{V_0}{\omega} \text{ Sin } \check{S}t \quad (2.13)$$

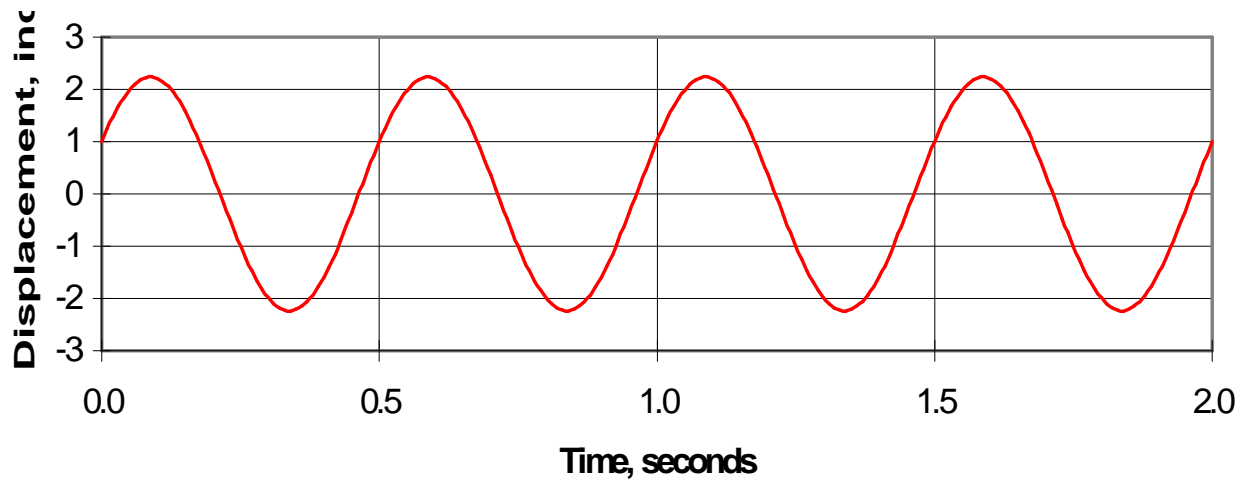
atau $y = C \text{ Cos}(\check{S}t - \alpha)$

dengan:



$$C = \sqrt{y_0^2 + \frac{V_0}{\omega}^2}$$

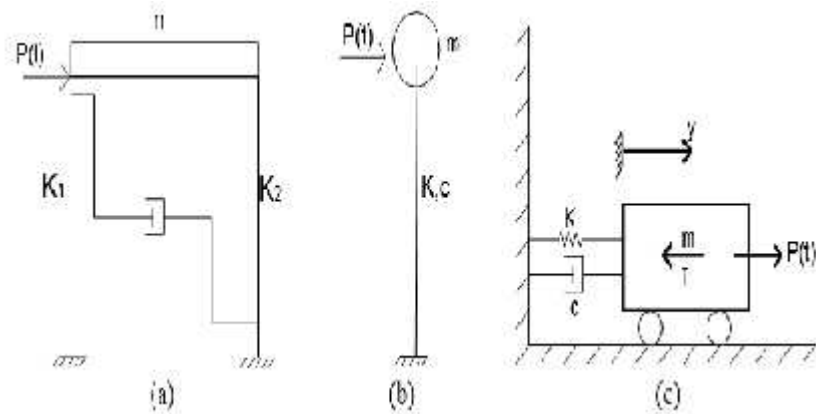
$$\text{Cos } \alpha = \frac{y_0}{C}$$



Gambar 2.6 Respon Getaran Bebas Tanpa Redaman

2.4.2 Getaran Bebas Teredam (damped Free Vibration)

Struktur yang dimodelisasikan sebagai sistem sederhana dengan redaman-
liat (viscous- damping), seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Sistem SDOF teredam, (a) model struktur, (b) model SDOF, dan (c) model matematis

Persamaan gerak untuk sistem berderajat kebebasan tunggal getaran bebas tak teredam adalah:

$$m \cdot \ddot{y} + c\dot{y} + ky = 0 \quad (2.14)$$

solusi :

$$y = C e^{pt} \quad (2.15)$$

$$\dot{y} = C p e^{pt} \quad (2.15a)$$

$$\ddot{y} = C p^2 e^{pt} \quad (2.15b)$$

Dengan mensubstitusikan pers. (2.15), (2.15a) dan (2.15b) pada pers. (2.14) didapat persamaan:

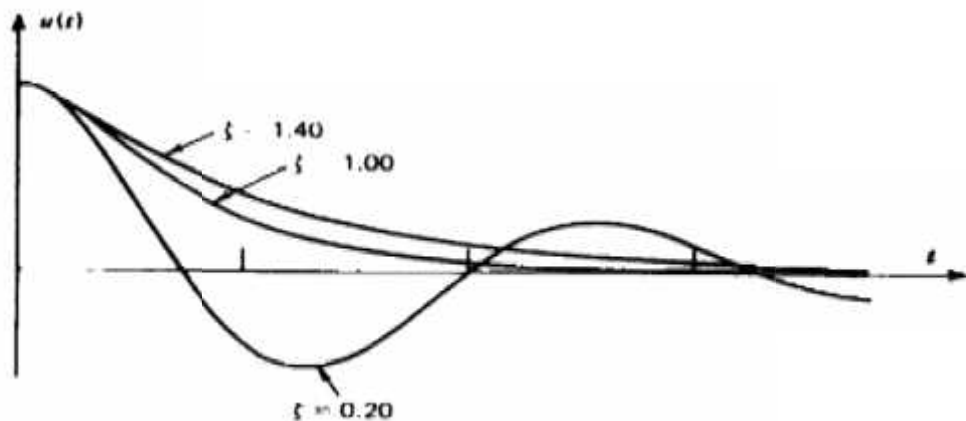
$$\begin{aligned} m C p^2 e^{pt} + c C p e^{pt} + k C e^{pt} &= 0 \\ m p^2 + c p + k &= 0 \end{aligned}$$

$$p_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (2.17)$$

sehingga solusi persamaan dari pers. (2.14) diperoleh dari superposisi dua solusi yang mungkin, yaitu :

$$y(t) = C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t} \quad (2.18)$$

Besarnya faktor "damping" (ζ) dapat digunakan untuk membedakan 3 kasus, yaitu underdamped ($0 < \zeta < 1$), critically damped ($\zeta = 1$), dan overdamped ($\zeta > 1$). Respon pada sistem SDOF teredam dengan beberapa variasi nilai redaman dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8. Respon dari sistem SDOF dengan redaman dan variasi tingkat redaman

(a) Sistem Redaman Kritis (Critically Damped System)

$$\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m} = 0 \quad (2.19)$$

$$C_{CR} = 2 \sqrt{km} ; C_{CR} = 2m\check{\omega} = \frac{2k}{\omega}$$

Harga-harga akar persamaan karakteristik dari sistem redaman kritis, adalah sama dan berasal dari pers. (2.17) yaitu,

$$p_1 = p_2 = -\frac{C_{cr}}{2m} \quad (2.20)$$

Karena kedua akar tersebut sama, maka solusi umum yang diberikan oleh pers.(2.18) yaitu :

$$y_1(t) = C_1 e^{-\frac{C_{cr}}{2m} t} \quad (2.21)$$

$$y_2(t) = C_2 t e^{-\frac{C_{cr}}{2m} t} \quad (2.22)$$

Solusi umum untuk sistem redaman kritis diberikan oleh superposisi dua solusi :

$$y(t) = (C_1 + C_2 t) e^{-\frac{C_{cr}}{2m} t} \quad (2.23)$$

(b) Sistem Redaman Superkritis (*Overdamped System*)

Pada sistem redaman superkritis, koefisien redamannya lebih besar dari koefisien redaman kritis yaitu

$$\frac{C}{C_{cr}} > 1 \quad (2.24)$$

(c) Sistem Redaman Subkritis (*Underdamped System*)

Bila harga koefisien redaman lebih kecil dari harga kritis ($C < C_{cr}$) yang mana akan terjadi bila besaran dibawah tanda akar negatif, maka harga akar-akar dari persamaan adalah

$$p_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\frac{c^2}{4m^2} - \frac{k}{m}} \quad (2.25)$$

Dimana $i = \sqrt{-1}$

Untuk hal ini digunakan persamaan Euler yang menghubungkan fungsi-fungsi eksponensial dengan trigonometri yaitu,

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x \quad (2.26)$$

$$e^{-ix} = \cos x - i \sin x \quad (2.27)$$

Dengan mensubstitusikan akar-akar p_1 dan p_2 dari pers. (2.25) ke dalam pers. (2.18) dan dengan menggunakan pers.(2.26) dan (2.27) akan memberikan bentuk solusi umum dari sistem redaman subkritis (undamped system)

$$y(t) = e^{-\frac{c}{2m}t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t) \quad (2.28)$$

dimana A dan B adalah konstanta integrasi dan ω_D adalah frekuensi redaman dari sistem yang diberikan oleh,

$$\omega_D = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2}} \quad (2.29)$$

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.30)$$

Kemudian bila ditentukan kondisi awal (uninitial conditions) dari perpindahan dan kecepatan adalah y_0 dan v_0 , maka konstanta integrasi dapat dihitung kemudian disubstitusikan ke pers.(2.28)

$$y(t) = e^{-\zeta\omega t} \left(y_0 \cos \omega_D t + \frac{v_0 + y_0 \zeta \omega}{\omega_D} \sin \omega_D t \right) \quad (2.31)$$

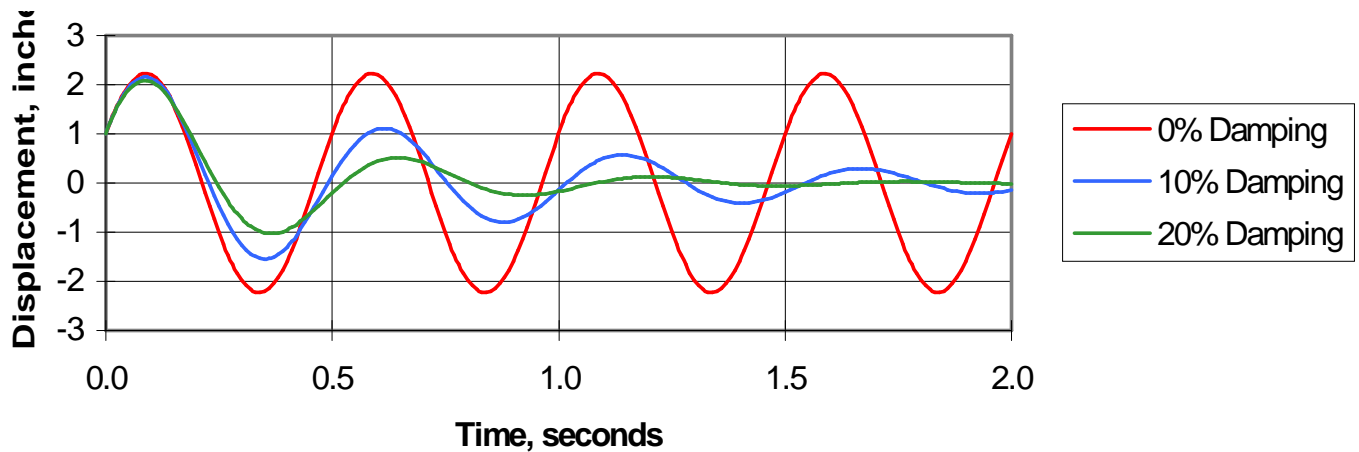
Alternatif penulisan persamaan ini adalah,

$$y(t) = C e^{-\zeta\omega t} \cos(\omega_D t - \phi) \quad (2.32)$$

dimana

$$C = \frac{y_0^2 + \frac{(v_0 + y_0 \zeta \omega)^2}{\omega_D^2}}{\omega_D} \quad (2.33)$$

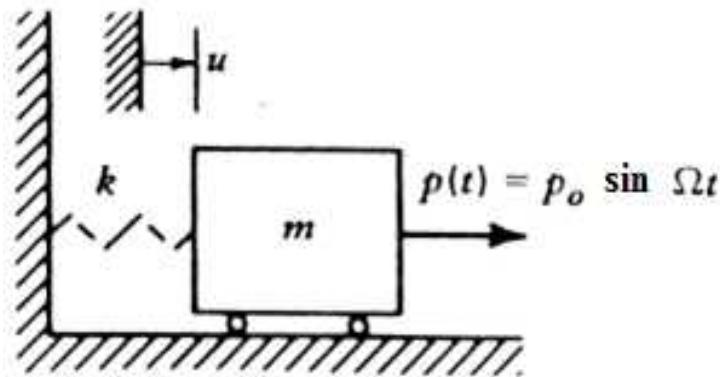
$$\tan \phi = \frac{(v_0 + y_0 \zeta \omega)^2}{\omega_D y_0} \quad (2.34)$$



Gambar 2.9 Respon Getaran Bebas Dengan Redaman

2.4.3 Getaran Paksa Tanpa Redaman (Undamped Harmonic Vibration)

Gaya $F(t)$ yang bekerja pada osilator sederhana (simple oscillator) pada gambar 2.8 dianggap harmonis dengan besar $F_0 \sin t$, dimana F_0 adalah amplitude puncak dan ω adalah frekuensi dari gaya dalam radian per detik.



Gambar 2.10 osilator tak teredam dipengaruhi secara harmonis

Persamaan differensial diperoleh dari penjumlahan semua gaya,

$$m\ddot{y} + ky = F_0 \sin t \quad (2.35)$$

Solusi dari pers. (2.35) dapat dinyatakan sebagai,

$$y(t) = y_c(t) + y_p(t) \quad (2.36)$$

Dimana $y_c(t)$ adalah solusi komplementer (complementary solution) yang memenuhi persamaan homogen, yaitu pers. (2.35) dimana bagian kiri sama dengan nol dan $y_p(t)$ adalah solusi partikular (particular solution) yang didasarkan pada solusi yang memenuhi persamaan differensial tak homogen, pers (2.35) Solusi komplementer (complementary solution) $y_c(t)$ adalah

$$y_c(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t, \quad (2.37)$$

Melihat bentuk dari fungsi gaya pada pers.(2.35) disarankan untuk memilih solusi

partikular (particular solution) seperti

$$y_p(t) = Y \sin \omega t \quad (2.38)$$

di mana Y adalah harga puncak (peak value) dari solusi partikular (particular solution) Substitusi pers. (2.38) ke dalam pers (2.35) dan hilangkan faktor yang sama, didapatkan

$$-m\tilde{\omega}^2 Y + kY = F_0 \quad (2.39)$$

atau

$$Y = \frac{F_0}{k - m\tilde{\omega}^2} = \frac{F_0/k}{1 - r^2} \quad (2.40)$$

dimana r menyatakan ratio (ratio frekuensi) dari frekuensi gaya yang bekerja pada frekuensi natural getaran dari sistem (natural frequency of system) yaitu,

$$r = \frac{\tilde{\omega}}{\omega} \quad (2.41)$$

Kombinasi pers. (2.37) dan pers.(2.40) dengan pers.(2.36) menghasilkan

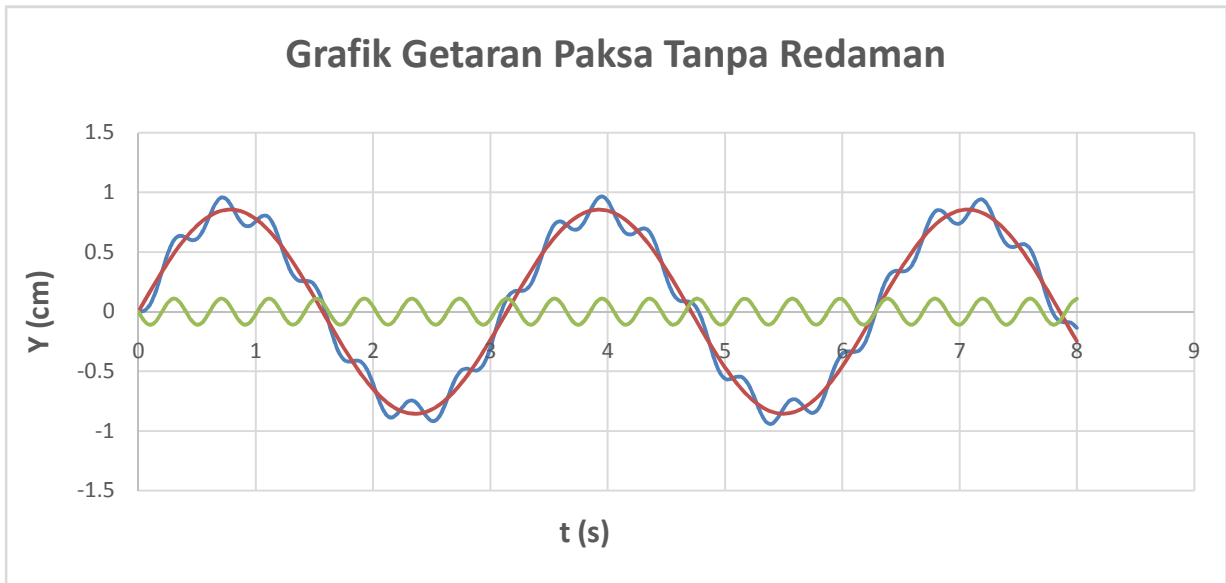
$$y(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t + \frac{F_0/k}{1 - r^2} \sin \tilde{\omega} t \quad (2.42)$$

Jika kondisi awal (initial conditions) pada waktu $t = 0$ diambil nol ($y_0 = 0, V_0 = 0$), maka konstanta integrasi yang didapatkan dari pers. (2.42) adalah

$$A = 0, \quad B = -\frac{rF_0/k}{1 - r^2}$$

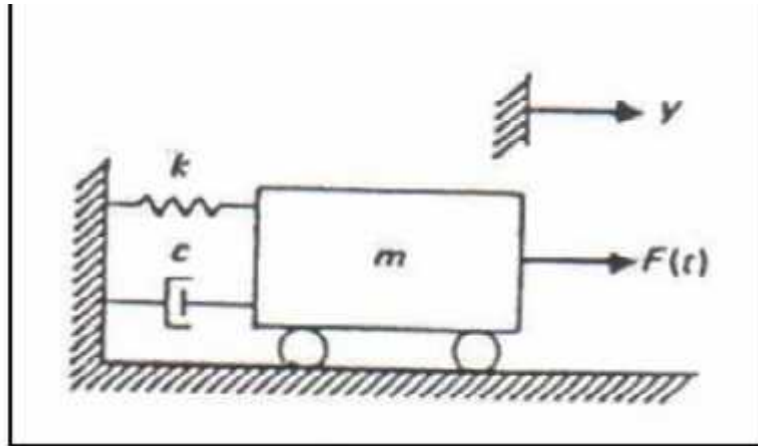
Jika disubstitusikan pada pers.(2.42) memberikan

$$y(t) = \frac{F_0/k}{1 - r^2} (\sin \tilde{\omega} t - r \sin \omega t) \quad (2.43)$$



Gambar 2.11 Respon Getaran Paksa Tanpa Redaman

2.4.4 Getaran Paksa Dengan Redaman (Damped Harmonic Vibration)



Gambar 2.12 Osilator teredam dipengaruhi secara harmonis

Persamaan differensial gerak didapatkan dengan menyamakan jumlah gaya-gaya. Jadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_0 \sin \tilde{\omega}t \quad (2.44)$$

Solusi lengkap dari persamaan itu terdiri dari solusi komplementer $y_c(t)$ dan solusi partikular $y_p(t)$ Solusi komplementer yang diberikan untuk keadaan redaman subkritis (underdamped) ($c < c_{cr}$) oleh pers.(2.28) sebagai

$$y_c(t) = e^{-\varepsilon\omega t} (A \cos \omega dt + B \sin \omega dt) \quad (2.45)$$

Solusi partikular didapatkan dengan mensubstitusi y_p yang pada keadaan ini dianggap mempunyai bentuk

$$y_c(t) = C_1 \sin \tilde{\omega}t + C_2 \cos \tilde{\omega}t \quad (2.46)$$

Kedalam pers.(2.44) dan samakan koefisien dari fungsi sinus dan cosinus.

Kita mengikuti cara Euler, yaitu

$$e^{-i\omega t} = \cos \tilde{\omega}t + i \sin \tilde{\omega}t \quad (2.47)$$

Untuk saran ini, pembaca harus menyadari bahwa pers. (2.44) dapat ditulis sebagai,

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_0 e^{-i\tilde{\omega}t} \quad (2.48)$$

Dengan pengertian bahwa hanya komponen imajiner dari $F_0 e^{-i\tilde{\omega}t}$ yaitu komponen gaya $F_0 \sin \tilde{\omega}t$ yang bekerja dan tentu saja respons akan hanya terdiri dari bagian imajiner dari seluruh jawaban persamaan (2.49). Dengan kata lain kita mendapatkan solusi pers.(2.48) yang mempunyai komponen riil dan komponen imajiner, dan melupakan komponen riil. Adalah beralasan untuk mengharapkan solusi partikular dari pers. (2.48) berbentuk

$$y_p = C e^{i\tilde{\omega}t} \quad (2.49)$$

substitusi pers. (2.49) kedalam pers. (2.48) memberikan

$$-m\tilde{\omega}^2 C + ic\tilde{\omega}C + kC = F_0 \quad (2.50)$$

Atau

$$C = \frac{F_0}{k - m\tilde{\omega}^2 + ic\tilde{\omega}} \quad (2.51)$$

Dan

$$y_p = \frac{F_0 e^{-i\tilde{\omega}t}}{k - m\tilde{\omega}^2 + ic\tilde{\omega}} \quad (2.52)$$

Dengan menggunakan bentuk koordinat polar, bilangan kompleks penyebut dari pers.(2.52) dapat ditulis sebagai

$$y_p = \frac{F_0 e^{-i\omega t}}{(k-m\tilde{\omega}^2)^2 + (c\tilde{\omega})^2 + ic\tilde{\omega} e^{-i\theta}} \quad (2.53)$$

Atau,

$$y_p = \frac{F_0 e^{-i\omega t}}{(k-m\tilde{\omega}^2)^2 + (c\tilde{\omega})^2} \quad (2.54)$$

Dimana,

$$\tan \theta = \frac{c\tilde{\omega}}{k-m\tilde{\omega}^2} \quad (2.55)$$

Respons untuk gaya $F_0 \sin \tilde{\omega} t$ (komponen imajiner dari $F_0 e^{-i\omega t}$) adalah komponen imajiner dari pers.(2.54) yaitu,

$$y_p = \frac{F_0 \sin(\tilde{\omega} t - \theta)}{(k-m\tilde{\omega}^2)^2 + (c\tilde{\omega})^2} \quad (2.56)$$

$$\text{Atau} \quad y_p = Y \sin(\tilde{\omega} t - \theta) \quad (2.57)$$

Dimana,

$$Y = \frac{F_0}{(k-m\tilde{\omega}^2)^2 + (c\tilde{\omega})^2} \quad (2.58)$$

Adalah amplitudo dari gerak keadaan tetap (steady-state motion). Persamaan (2.56) dan (2.55) dapat ditulis dengan baik sekali dengan bentuk ratio tanpa dimensi seperti

$$y_p = \frac{y_{st} \sin(\omega t - \theta)}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\epsilon)^2}} \quad (2.59)$$

$$\tan \theta = \frac{2r\epsilon}{1-r^2} \quad (2.60)$$

dimana $y_{st} = F_0/k$ terlihat sebagai lendutan statis dari pegas diatas mana bekerja gaya F_0 . Respons total didapat dari penjumlahan solusi komplementer (respons transien) dari pers.(2.15) dan solusi partikular

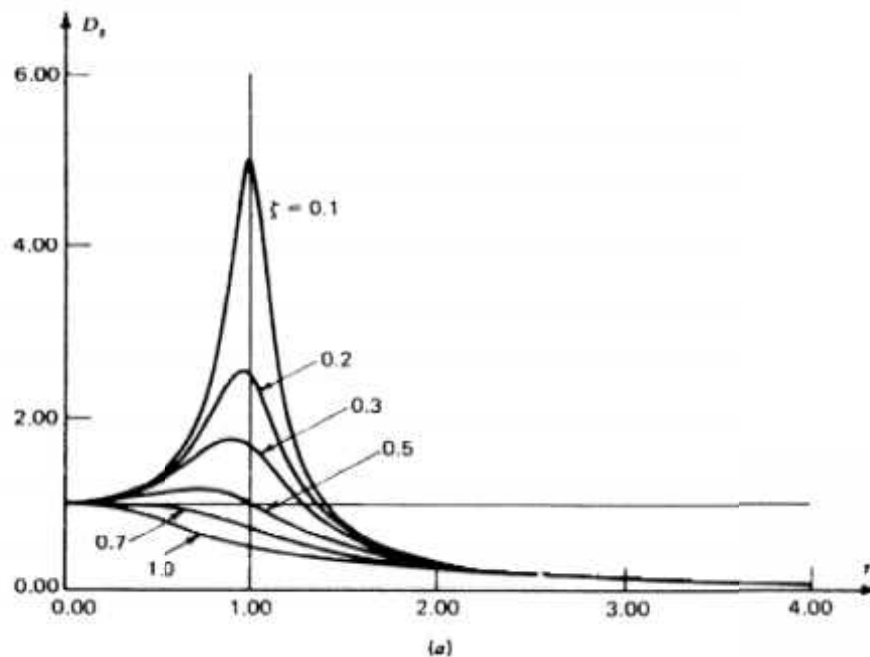
(respons keadaan tetap/ steady-state) dari pers.(3.20) adalah

$$y(t) = e^{-\epsilon\omega t} (A \cos \omega t + B \sin \omega t) + \frac{y_{st} \sin(\omega t - \theta)}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\epsilon)^2}} \quad (2.61)$$

pada saat $y(0) = 0$ dan $\dot{y}(0) = 0$, dimana :

$$A = \frac{X_{st} \sin \alpha}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\epsilon)^2}} ; B = \frac{X_{st}}{\sqrt{1-\epsilon^2}} \left[\frac{2\epsilon^2 r}{(1-r^2)^2 + (2r\epsilon)^2} - \frac{(1-r^2)}{(1-r^2)^2 + (2r\epsilon)^2} \right]$$

Kombinasi dari amplitudo dan fase disebut respon frekuensi. Hubungan antara rasio frekuensi dan faktor pembesaran steady-state digambarkan pada kurva.



Gambar 2.13 kurva faktor pembesaran vs rasio frekuensi untuk berbagai nilai redaman

Ratio dari amplitudo keadaan tetap (steady state amplitudo) $y_p(t)$ dan lendutan statis y_{st} , dikenal sebagai *faktor pembesaran dinamis (dynamic magnification factor)* D

$$D = \frac{Y}{y_{st}} = \frac{1}{(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2} \quad (2.62)$$

Terlihat dari pers.(2.62) *faktor pembesaran dinamis (dynamic magnification factor)* bervariasi dengan rasio frekuensi r dan ratio redaman ζ . Perlu diperhatikan pada Gambar 2.31 bahwa untuk sistem dengan redaman kecil, amplitudo puncak mencapai nilai rasio frekuensi yang sangat dekat dengan satu yaitu, faktor pembesaran dinamis yang sebenarnya mencapai harga maximum pada kondisi resonansi ($r = 1$).



Gambar 2.14 Respon Getaran Paksa Dengan Redaman

2.5 Data Konfigurasi Struktur

2.5.1 Kekakuan

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur akan mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau eigenproblem. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut dan periode getar struktur T . Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamik struktur.

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun sesudah terjadinya penggoyangan. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Plat dan balok lantai yang kaku dan tetap horisontal sebelum dan sesudah penggoyangan juga berarti bahwa balok mempunyai kekakuan tak terhingga. Sebelum dan sesudah penggoyangan join sarna sekali tidak mengalami rotasi.

Pada disain struktur bangunan dikehendaki agar kolom lebih kuat dibandingkan dengan balok. Namun mungkin saja balok mempunyai kekakuan yang lebih besar dari kolomnya walaupun kekuatan yang ada hams sebaliknya. Dengan demikian, pada disain bangunan masih memungkinkan memakai model kekakuan yang dihitung menurut prinsip *shearbuilding*, sekaligus memakai model *lumped mass*. Dalam penelitian ini besarnya kekakuan tiap tingkat dihitung dengan prinsip *shear building* sebagai berikut :

dengan $I = bh^3/12$, sehingga

$$k = \frac{12 EI}{l^3} \quad (2.63)$$

I adalah momen inersia dan E adalah modulus elastisitas dari beton bertulang.

2.5.2 Massa

Suatu struktur yang kontinyu akan mempunyai distribusi massa yang kontinyu pula sehingga terdapat beberapa derajat kebebasan pada setiap massa maka struktur tersebut akan mempunyai derajat kebebasan yang tak terhingga banyaknya. Hal ini akan menyulitkan analisis struktur karena banyaknya persamaan differensial yang perlu diselesaikan. Oleh karena itu perlu adanya asumsi-asumsi untuk menyederhanakan masalah. Cara yang umumnya dilakukan untuk mendiskripsikan massa struktur adalah dengan model *lumped mass*.

Pada model ini massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat tertentu. Dalam hal ini gerakan single degree of freedom suatu join sudah ditentukan. Untuk titik nodal yang hanya mempunyai satu derajat kebebasan satu translasi maka nantinya elemen atau struktur yang bersangkutan akan mempunyai matrik yang isinya hanya bagian diagonal saja (Widodo,2001). Clough dan Penzien (1993) dalam Widodo(2001) mengatakan bahwa bagian off-diagonal akan sama dengan nol karena gaya inersia hanya bekerja pada tiap-tiap massa. Selanjutnya dikatakan bahwa apabila terdapat gerakan rotasi massa (rotation degree of freedom) maka pada model lumped-mass ini juga tidak akan ada *rotation moment of inertia*.

Jika prinsip tersebut dipakai maka hanya terdapat *single degree of freedom*, untuk setiap titik nodal/massa yaitu simpangan horizontal, kondisi seperti ini pada prinsip bangunan geser(shear building). Untuk bangunan bertingkat banyak, konsentrasi beban akan terpusat pada tiap-tiap lantai tingkat bangunan. Sehingga untuk setiap tingkat hanya ada satu massa yang mewakili tingkat yang bersangkutan. Karena hanya terdapat satu derajat kebebasan pada suatu bangunan bertingkat banyak akan ditunjukkan oleh banyaknya tingkat bangunan yang bersangkutan.

Besar massa untuk tiap tingkat dapat dihitung dengan rumus :

$$m = \frac{W}{g} \quad (2.64)$$

dengan :m = Massa struktur (kgdt²/cm)

W = Berat bangunan (kg)
 g = percepatan gravitasi(cm/dt^2)

2.5.3 Redaman Struktur

Redaman merupakan proses dimana getaran bebas berkurang amplitudonya (Chopra 1995). Pada redaman, energi dari sistem yang bergetar terdisipasi melalui berbagai macam mekanisme. Pada struktur gedung yang bergetar mekanisme energi yang terjadi antara lain gesekan pada sambungan baja, opening dan closing microcrack pada beton, gesekan antara struktur dengan komponen nonstruktural seperti dinding. Nampaknya hampir tidak mungkin untuk mengidentifikasi atau mendeskripsikan secara matematis setiap mekanisme dissipasi energi yang terjadi pada struktur. Sehingga untuk menentukan rasio redaman secara akurat harus dilakukan secara eksperimen. Tetapi hal tersebut jarang dilakukan karena terbatasnya waktu dan budget dan untuk struktur baru yang akan dibangun hal tersebut tidak bisa dilakukan, sehingga dalam menentukan rasio redaman suatu struktur dilakukan dengan melakukan estimasi. Nilai rekomendasi rasio redaman untuk berbagai macam material dan tingkat respon struktur dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Tabel nilai rasio redaman untuk berbagai tipe dan jenis struktur

No.	Level Tegangan (<i>stress level</i>)	Jenis dan Kondisi Struktur	Rasio Redaman (<i>damping ratio</i>)
1	Tegangan elastik atau tegangan kurang ½ tegangan leleh	Struktur baja las, beton prestress, beton biasa retak rambut	2-3%
		Beton biasa retak minor	3-7%
		Struktur baja sambungan baut, keling, struktur kayu dengan sambungan baut/paku	5-7%
2	Tegangan sedikit dibawah leleh atau pada saat leleh	Struktur baja las, beton prestress tanpa loss of orestress secara total	4-7%
		Beton prestress dengan tegangan lanjut	7-10%
		Beton biasa	7-10%
		Struktur baja sambungan baut, keling atau struktur kayu dengan sambungan baut	10-15%

		Struktur kayu dengan sambungan paku	15-20%
--	--	-------------------------------------	--------

Sumber : Newmark N.M, Hall W.J (1982) dalam Widodo (2000)

2.5.4 Klasifikasi Motor

Variasi kebutuhan dan keperluan pengguna suatu bangunan untuk menjalankan aktivitas dalam gedung tersebut mengharuskan adanya mesin penunjang kegiatan. Oleh karena itu, penggunaan mesin sudah lazim ditemukan di gedung. Adanya mesin-mesin tersebut perlu diperhitungkan karena mesin tersebut tidak hanya memberikan beban statis pada struktur, namun juga beban dinamis. Beban dinamis dari mesin pada umumnya berasal dari rotor ataupun generator yang berputar sehingga menimbulkan getaran dalam frekuensi tertentu.

Motor bakar dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu :

1. External Combustion Engine (motor pembakar luar), yaitu mesin yang proses pembakarnya terjadi atau dilakukan diluar silinder motor, antara lain:
 - a) Steam Turbine (turbin uap)
 - b) Steam Engine (mesin uap)
 - c) Gas Turbine (turbin gas)
2. Internal Combustion Engine (motor pembakar dalam), yaitu mesin yang proses pembakar bahan-bahan terjadi didalam silinder motor, antara lain :
 - a) Spark Ignition Engine (motor bensin)-otto cycle
 - b) Compression Ignition Engine (motor diesel)-(Diesel cycle)

Ditinjau dari putaran motor, motor diesel dapat diklasifikasikan menjadi :

1. High Speed diesel engine (motor diesel putaran tinggi), dengan $n > 1000$ rpm (revolution per minute)
2. Medium speed diesel engine (motor diesel putaran menengah), dengan $300 > n > 1000$ rpm
3. Low-speed diesel engine (motor diesel putaran rendah, $n < 300$ rpm).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data atau studi adalah dengan studi literatur. Metode ini dilakukan dengan cara membaca dan memahami buku-buku referensi, jurnal dan media lain yang berkaitan dengan pengolahan data secara umum. Untuk mengetahui efek dari beban luar terhadap terhadap struktur bangunan gedung, maka perlu diambil model struktur yang akan digunakan sebagai bahan kajian/analisis. Adapun model struktur yang digunakan adalah portal dua dimensi dengan data sebagai berikut.

3.1.1 Data Komponen Struktur

Dimensi Balok menurut SNI Beton 03-2847-2002

Dalam SNI Beton telah ditentukan tinggi minimum (h_{min}) balok terhadap panjang bentang, yaitu sebagai berikut:

- L/16 untuk balok sederhana (satu tumpuan);
- L/18,5 untuk balok menerus bentang ujung;
- L/21 untuk balok menerus bentang tengah;
- L/8 untuk balok kantilever

Dimana

L = panjang bentang balok (m)

h_{min} = L/16

Diambil : h = SF × h_{min} ; SF : 2

Komponen struktur terdiri dari balok, kolom dan pelat lantai. Pada pemodelan struktur, digunakan dimensi balok, pelat dan kolom dengan ukuran-ukuran sebagai berikut :

- a. Balok arah x ukuran 400 x 800 mm
- b. Balok arah y ukuran 250 x 500 mm
- c. Variasi kolom ukuran :
 - penampang (1) 400 x 400 mm
 - penampang (2) 800 x 200 mm
 - penampang (3) 200 x 800 mm
- d. Tebal Pelat Lantai 120 mm

3.1.2 Data Material

Struktur pelat, balok dan kolom merupakan struktur beton dengan data material sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton, f'_c = 30 Mpa
2. Berat Jenis Beton, γ_d = 2400 kg/cm³
3. Modulus Elastisitas Beton, E_c = 4700 $\sqrt{f'_c}$
= 4700 $\sqrt{30}$
= 25742,96 Mpa
= 257430 kg/cm²

3.1.3 Data Pembebanan

Struktur ini akan menerima beban static gravitasi diantaranya sebagai berikut :

1. Beban Mati/DL (Dead Load)

Berat sendiri dari seluruh komponen struktur yaitu balok, kolom, dan pelat dihitung dengan berat jenis beton yang telah ditentukan yaitu sebesar 2400 kg/m³.

2. Beban Hidup/LL (Live Load)

Beban Hidup diakibatkan oleh beban gravitasi yang berasal dari benda bergerak. Pada struktur bangunan yang akan dianalisis ini, ketentuan beban hidup diambil berdasarkan pada SK SNI 1727 : 2013 yaitu, beban hidup pada atap gedung, yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m² bidang datar.

3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan adalah 1,2D + 1,6L

3.2 Cara Analisis

Adapun langkah-langkah dalam menganalisis respon struktur untuk respon struktur akibat getaran bebas dengan redaman adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan struktur

Struktur perlu diidealisasikan dalam bentuk matematis agar mudah untuk dianalisis. Model matematis digunakan untuk memberikan sebuah gambaran tentang perilaku struktur secara umum.

2. Menghitung Massa

Pendekatan pertama adalah sistem diskretisasi massa yaitu massa dianggap terpusat pada titik-titik tertentu (lumped mass). Apabila prinsip bangunan geser dipakai maka setiap massa hanya akan bergerak secara horizontal.

Untuk menghitung massa baik yang single mass maupun multiple lumped mass dapat dipakai formulasi yaitu :

$$m = \frac{W}{g}$$

3. Menghitung kekakuan

Pada prinsip bangunan geser, balok pada lantai dianggap tetap horizontal. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar.

Untuk menghitung kekakuan kolom dapat dipakai formulasi yaitu :

$$k_t = \frac{12EI}{l^3}$$

4. Menentukan Redaman

Redaman merupakan peristiwa pelepasan energi (*energy dissipation*) oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab, diantaranya oleh adanya gerakan antar molekul di dalam material, gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, gesekan dengan udara dan pada respon inelastik pelepasan energi juga terjadi akibat adanya rotasi sendi plastik. Karena redaman berfungsi melepaskan energi maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur. Nilai rasio redaman dapat dilihat pada tabel 1.1

5. Menghitung Frekuensi Struktur

Untuk menghitung frekuensi struktur digunakan formulasi :

$$= \frac{k}{m}$$

Setelah diperoleh nilai ω_n kemudian dihitung nilai ω_d dengan rumus :

$$\omega_D = \sqrt{1 - \zeta^2}$$

6. Menghitung Simpangan Struktur

Respon struktur untuk getaran bebas dengan redaman dan getaran paksa dengan redaman berupa simpangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus solusi dari persamaan gerak yaitu :

⇒ Getaran Bebas Dengan Redaman

$$y(t) = Ce^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_D t - \phi)$$

⇒ Getaran Paksa Dengan Redaman

$$y(t) = e^{-\varepsilon\omega t} (A \cos \omega dt + B \sin \omega dt) + \frac{y_{st} \sin(\omega t - \theta)}{(1-r^2)^2 + (2r\varepsilon)^2}$$

Solusi persamaan pada getaran bebas dengan redaman 5%,10% dan 20% pada penampang kolom I :

Untuk redaman 5 % $\Rightarrow Y = 0,0044 e^{-1,138t} \cos (22,732t-1,571)$

Untuk redaman 10 % $\Rightarrow Y = 0,0044 e^{-2,276t} \cos (22,732t-1,571)$

Untuk redaman 20 % $\Rightarrow Y = 0,0044 e^{-4,552t} \cos (22,732t-1,571)$

Solusi persamaan pada getaran bebas dengan redaman 5%,10% dan 20% pada penampang kolom II :

Untuk redaman 5 % $\Rightarrow Y = 0,0088 e^{-0,569t} \cos (11,366t-1,571)$

Untuk redaman 10 % $\Rightarrow Y = 0,0088 e^{-1,138t} \cos (11,366t-1,571)$

Untuk redaman 20 % $\Rightarrow Y = 0,0088 e^{-2,276t} \cos (11,366t-1,571)$

Solusi persamaan pada getaran bebas dengan redaman 5%,10% dan 20% pada penampang kolom III :

Untuk redaman 5 % $\Rightarrow Y = 0,0022 e^{-2,276t} \cos (45,464t-1,571)$

Untuk redaman 10 % $\Rightarrow Y = 0,0022 e^{-4,552t} \cos (45,464t-1,571)$

Untuk redaman 20 % $\Rightarrow Y = 0,0022 e^{-9,104t} \cos (45,464t-1,571)$

Solusi persamaan pada getaran paksa dengan redaman 5%,10% dan 20% pada penampang kolom I :

Untuk redaman 5 % $\Rightarrow Y = e^{-1,138t} [(0,0208 \cos 22,646t - 0,1768 \sin (22,646t)) + 0,1792 \sin (10,472t - 0,1162)]$

Untuk redaman 10 % $\Rightarrow Y = e^{-2,276t} [(0,0208 \cos 22,646t - 0,1768 \sin 22,646t) + 0,1792 \sin (10,472t - 0,1162)]$

Untuk redaman 20 % $\Rightarrow Y = e^{-4,5520t} [(0,0400 \cos 22,300t - 0,1665 \sin 22,300t)] +$

$$0,1757 \sin (10,472t - 0,2294))$$

Solusi persamaan pada getaran paksa dengan redaman 5%,10% dan 20% pada penampang kolom II :

Untuk redaman 5 % $\Rightarrow Y = e^{-0,569t} [(1,6390 \cos 11,366t - 2,6506 \sin 11,366t)] +$

$$3,1836 \sin (10,472t - 0,5408)$$

Untuk redaman 10 % $\Rightarrow Y = e^{-1,138t} [(1,826 \cos 11,323t - 1,3445 \sin 11,323t)] +$

$$2,3761 \sin (10,472t - 0,8765)$$

Untuk redaman 20 % $\Rightarrow Y = e^{-2,276t} [(1,3176 \cos 11,150t - 0,2909 \sin 11,150t)] +$

$$1,4272 \sin (10,472t - 1,1763)$$

Solusi persamaan pada getaran paksa dengan redaman 5%,10% dan 20% pada penampang kolom III :

Untuk redaman 5 % $\Rightarrow Y = e^{-2,276t} [(0,0009 \cos 45,464t - 0,0375 \sin 45,464t)] +$

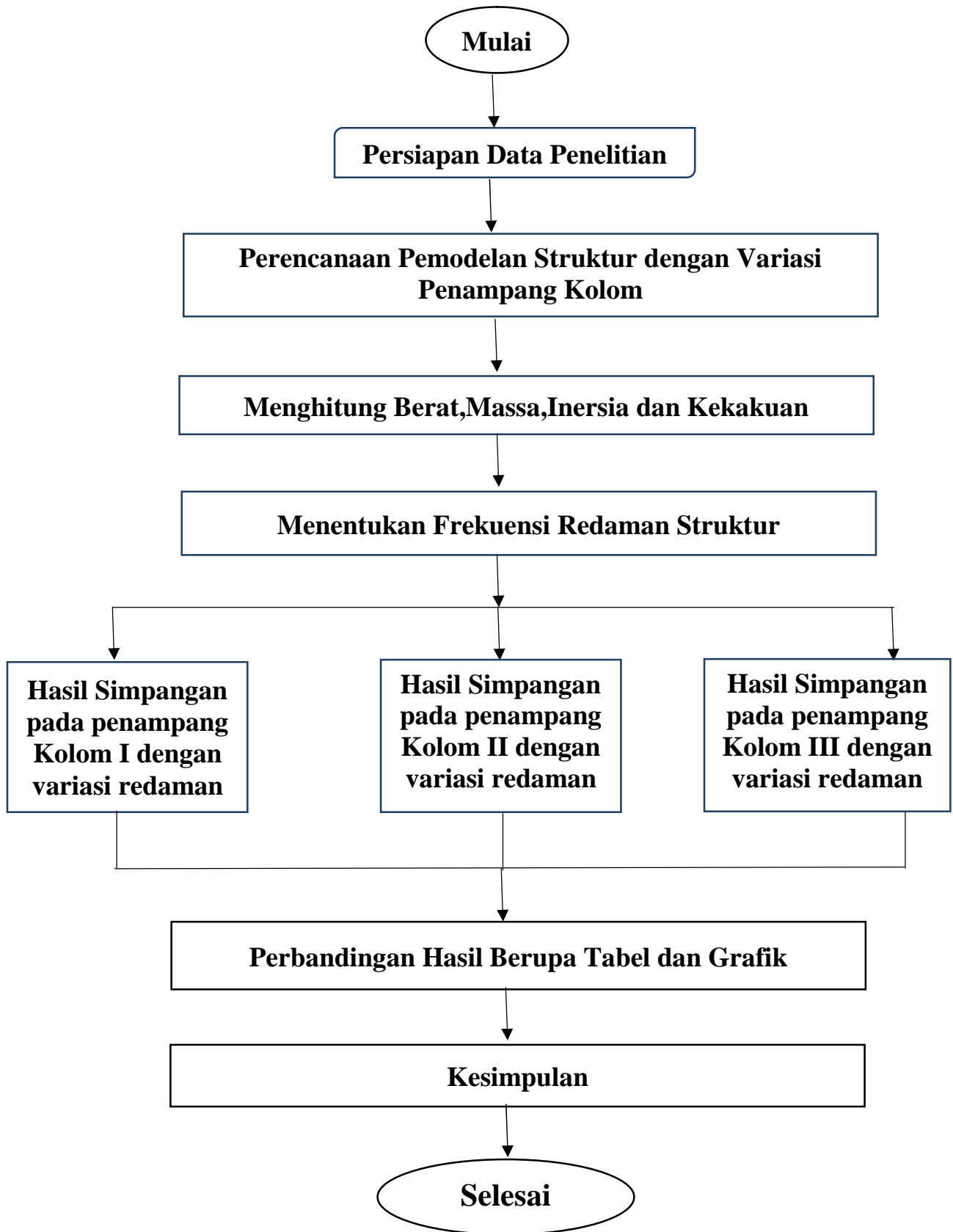
$$0,0375 \sin (10,472t - 0,0243)$$

Untuk redaman 10 % $\Rightarrow Y = e^{-4,552t} [(0,0018 \cos 45,292t - 0,0375 \sin 45,292t)] +$

$$0,0375 \sin (10,472t - 0,0485)$$

Untuk redaman 20 % $\Rightarrow Y = e^{-9,1041t} [(0,0036 \cos 44,601t - 0,0372 \sin 44,601t)] +$

$$0,0374 \sin (10,472t - 0,0969)$$



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

