

## **BAB V**

### **PROGRAM GROUND VIBRATION DAN VALIDITASNYA**

Program Ground Vibration (PGV) merupakan program sederhana yang dibuat didalam penelitian ini, yang dapat menganalisis perilaku tanah berupa damping rasio, tegangan, regangan, simpangan, kecepatan dan percepatan secara linier elastis akibat beban gempa dengan kondisi tanpa massa bangunan maupun dengan massa bangunan.

Tujuan utama dari Program Ground Vibration ini adalah untuk mengaplikasikan teori analisis yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya, dan sekaligus sebagai sarana bantu analisis yang efisien dan akurat, yang tidak mungkin didapat dengan hitungan cara manual.

Program Ground Vibration disusun berdasarkan program yang telah dibuat oleh Pujiyanto (2003), yang dirakit menggunakan Compiler Quick-Basic dari Microsoft Corporation, dan diolah dengan Microsoft Excel untuk menganalisis hasil dan mendapatkan grafiknya.

Paket program sejenis banyak dijumpai dengan segala kelebihanannya bahkan jauh lebih kompleks dalam menyelesaikan permasalahannya dan jauh lebih canggih. Namun program-program tersebut biasanya tidak dilengkapi dengan teori dasar secara lengkap, serta asumsi-asumsi yang digunakan, sehingga dapat menimbulkan kesalahan interpretasi yang dapat berakibat fatal.

#### **5.1. Deskripsi Program.**

Secara keseluruhan program ini tersusun atas 5 (lima) sub program, yang dirangkai menjadi satu dengan program PGV.BAS, yang dicantumkan selengkapnya pada Lampiran I. Adapun fungsi dari masing-masing sub program tersebut adalah :

1. Untuk mendapatkan : massa, kekakuan tanah, frekwensi natural, partisipasi mode, mode shape, dan damping rasio.
2. Untuk mendapatkan simpangan setiap lapis tanah.
3. Untuk mendapatkan kecepatan setiap lapis tanah.
4. Untuk mendapatkan percepatan setiap lapis tanah.
5. Untuk mendapatkan regangan dan tegangan setiap lapis tanah.

## 5.2. Input Data.

Input data merupakan hal khusus yang sangat mendasar dan harus difahami sebelum mengoperasikan Program Ground Vibration ini. Hal ini akan sangat menentukan karena berkenaan dengan cara pemasukan atau pembentukan datanya. Kesalahan format datanya masih akan dapat dideteksi oleh program, namun kesalahan interpretasi tidak dapat dideteksi oleh program, sehingga akan diperoleh hasil yang tidak dapat dipertanggung jawabkan sama sekali.

Input data akan dapat diproses oleh program ini jika dibuat dengan menggunakan Compiler Quick-Basic dan disimpan dengan nama file tertentu sesuai selera pemakai, misalnya "INPUT.DAT". Adapun isi daripada input tersebut adalah :

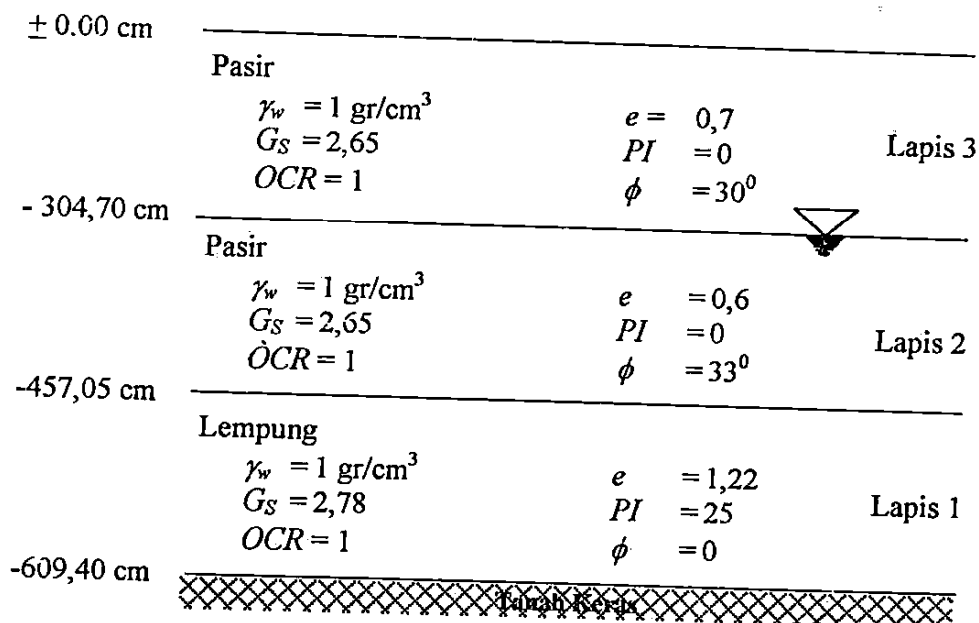
- Baris pertama : berisi jumlah lapis tanah dan massa bangunan (ton).  
Masukan nilai 0 (nol) jika massa bangunan tidak ada.
- Baris kedua : berisi tebal lapis tanah (cm), dimulai dari lapis paling atas.
- Baris ketiga : berisi indek plastisitas tiap lapis, dimulai dari lapis paling atas.
- Baris keempat : berisi sudut geser tanah,  $\phi$ , dimulai dari lapis paling atas.
- Baris kelima : berisi angka pori tanah,  $e$ , dimulai dari lapis paling atas.
- Baris keenam : berisi berat jenis tanah,  $G_s$ , dimulai dari lapis paling atas.
- Baris ketujuh : berisi berat volume tanah basah ( $gr/cm^3$ ), dari lapis paling atas.
- Baris kedelapan : berisi tentang kondisi tanah tiap lapisnya, sebagai berikut :  
Isikan angka 1 jika kondisinya berupa *pasir tidak terendam air*.  
Isikan angka 2 jika kondisinya berupa *lempung tidak terendam air*.  
Isikan angka 3 jika kondisinya berupa *pasir terendam air*.  
Isikan angka 4 jika kondisinya berupa *lempung terendam air*.
- Baris kesembilan : berisi besarnya gravitasi ( $cm/dt^2$ ), dan step integrasi (inkremen) (dt).
- Baris kesepuluh : berisi jarak Epicentrum (Km), dan Magnitude (Skala Richter).
- Baris kesebelas : berisi faktor reduksi kekakuan, dimulai dari lapis paling atas.  
Masukan nilai 1 (satu) jika kekakuan tanah tidak akan direduksi.
- Baris keduabelas : berisi lamanya waktu gempa (dt).
- Baris ketigabelas : berisi waktu gempa (dt), dan besarnya percepatan gempa.
- Baris selanjutnya : dan seterusnya sampai dengan selesai sama dengan baris ketigabelas.
- Contoh input data tanpa massa bangunan selengkapnya dicantumkan pada Lampiran II.

### 5.3. Pengeksekusian/Pemroses Data.

Setelah input data dibuat maka dapat dilanjutkan dengan pemrosesan data, yaitu dengan cara membuka Program Ground Vibration (PGV.BAS), kemudian tombol F5 ditekan, dilanjutkan dengan memasukkan nama data file input yang telah dibuat, kemudian ditunggu beberapa saat sampai dengan proses selesai. Kemudian hasilnya dianalisis dengan program bantu excel sehingga akan menghasilkan grafiknya.

### 5.4. Output Data.

Hasil keluaran yang berupa output data sebagai akhir analisis dapat dibuka dengan Notepad, MS-Word, atau MS-Excel. Untuk menghasilkan grafik, hasil data tersebut harus diolah kembali dengan MS-Excel atau program sejenis.



Gambar 5.1. Data tanah tiga lapis (Das, 1992).

### 5.5. Validitas Program

Sebelum program Ground Vibration menjadi program yang siap pakai maka perlu diuji validitasnya (keabsahannya). Untuk menguji validitasnya, maka akan digunakan struktur tanah yang sebelumnya telah dianalisis secara manual kemudian hasilnya

dibandingkan dengan hasil dari program ini. Dari pengujian secara sederhana ini diharapkan diperoleh keabsahan dan tingkat keakuratan hitungan dengan program Ground Vibration.

Contoh :

Tanah yang mempunyai lapisan sebagaimana tergambar pada Gambar 5.1, data percepatan diambil dari Gempa Bucharest, dengan Magnitude Gempa  $M = 7,1$  dan jarak episenter  $\Delta = 140$  km. Gravitasi  $g = 980$  cm/dt<sup>2</sup>.

Penyelesaian sebagai berikut :

1. Menghitung  $\gamma_{\text{efektif}}$ .

$$\text{Pasir di atas mat.,} \quad \gamma_{\text{eff}3} = \frac{\gamma_w G_s}{1+e} = \frac{1.2,65}{1+0,7} = 1,558 \text{ gr/cm}^3.$$

$$\text{Pasir di bawah mat.,} \quad \gamma_{\text{eff}2} = \frac{\gamma_w (G_s - 1)}{1+e} = \frac{1.(2,65-1)}{1+0,6} = 1,031 \text{ gr/cm}^3.$$

$$\text{Lempung di bawah mat.,} \quad \gamma_{\text{eff}1} = \frac{\gamma_w (G_s - 1)}{1+e} = \frac{1.(2,78-1)}{1+1,22} = 0,801 \text{ gr/cm}^3.$$

2. Koefisien tekanan tanah horisontal  $K_o$

Untuk Pasir,

$$K_{o3} = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 30 = 0,5000$$

$$K_{o2} = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 33 = 0,4554$$

Untuk lempung *normally consolidated* dengan  $PI$  antara 0 s/d 40 %,

$$K_{o1} = 0,40 + 0,007 (PI) = 0,40 + 0,007 \cdot 25 = 0,575$$

3. Koefisien tanah, berdasarkan tabel 1, dengan nilai  $PI$  antara 15 s/d 25 %.

Untuk  $PI = 0$  didapat  $k_3 = 0$ .

Untuk  $PI = 0$  didapat  $k_2 = 0$ .

Untuk  $PI = 25$  didapat  $k_1 = 0,210$ .

4. Tegangan efektif vertikal,  $\bar{\sigma}_1 = (\gamma_{\text{efektif}} \times \text{tebal lapis}) + \text{tegangan vertikal di atasnya}$ .

$$\bar{\sigma}_1 \text{ untuk lapis 3} = (1,558 \cdot 304,70)/1000 = 0,475 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{\sigma}_1 \text{ untuk lapis 2} = (1,031 \cdot 152,35)/1000 + 0,475 = 0,632 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{\sigma}_1 \text{ untuk lapis 1} = (0,801 \cdot 152,35)/1000 + 0,632 = 0,754 \text{ kg/cm}^2.$$

5. Tegangan kekang vertikal,  $\bar{\sigma}_o$ .

Untuk lapis 3,  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = K_o \cdot \bar{\sigma}_1 = 0,50 \cdot 0,475 = 0,2374 \text{ kg/cm}^2$ .

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} = \frac{(0,475 + 0,2374 + 0,2374)}{3} = 0,317 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk lapis 2,  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = K_o \cdot \bar{\sigma}_1 = 0,4554 \cdot 0,632 = 0,2877 \text{ kg/cm}^2$ .

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} = \frac{(0,632 + 0,2877 + 0,2877)}{3} = 0,402 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk lapis 1,  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = K_o \cdot \bar{\sigma}_1 = 0,575 \cdot 0,754 = 0,4335 \text{ kg/cm}^2$ .

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} = \frac{(0,754 + 0,402 + 0,402)}{3} = 0,540 \text{ kg/cm}^2$$

6. Nilai modulus geser maksimum

Untuk Pasir Berbutir Halus  $G_{max} = 700 \frac{(2,17 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_o^{-0,5}$

Untuk Pasir Berbutir Tajam  $G_{max} = 326 \frac{(2,97 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_o^{-0,5}$

Untuk Lempung (kg/cm<sup>2</sup>).  $G_{max} = 331 OCR^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_o^{-0,5}$

Untuk lapis 3,  $G_{max} = 700 \frac{(2,17 - 0,70)^2}{(1 + 0,70)} 0,317^{0,5} = 500,582 \text{ kg/cm}^2$

Untuk lapis 2,  $G_{max} = 700 \frac{(2,17 - 0,60)^2}{(1 + 0,60)} 0,402^{0,5} = 684,078 \text{ kg/cm}^2$

Untuk lapis 1,  $G_{max} = 331 \cdot 1^{0,210} \frac{(2,973 - 1,22)^2}{(1 + 1,22)} 0,540^{0,5} = 336,786 \text{ kg/cm}^2$

7. Regangan Geser Tanah, diambil berdasarkan besarnya  $M$ , magnitude gempa (dalam satuan Richter), dan  $\Delta$ , jarak episenter. Jika diambil data dari gempa Bucharest dengan  $M = 7.1$  dan  $\Delta = 140$  maka

$$\gamma_a = 0,894 \cdot 10^{0,548M} (\Delta + 30)^{-0,774} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0,894 \cdot 10^{0,548 \cdot 7,1} (140 + 30)^{-0,774} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0,0001305 = 0,01305 \%$$

8. Berdasarkan  $PI$  dan Regangan Geser Tanah maka dari Persamaan atau Grafik 1, Nilai  $G/G_{max}$  didapat.

$$\frac{G}{G_{max}} = \frac{1}{1 + \alpha \left\{ \begin{array}{l} \gamma_a^\alpha \\ \gamma_h \end{array} \right\}}$$

Untuk lapis 3 (dengan  $PI = 0$ ),  $G/G_{max} = 500,582$

Untuk lapis 2 (dengan  $PI = 0$ ),  $G/G_{max} = 684,078$

Untuk lapis 1 (dengan  $PI = 25$ ),  $G/G_{max} = 336,786$

9. Nilai  $G$  didapat dari perkalian antara  $G_{max}$  dengan  $G/G_{max}$  dikalikan faktor reduksi, diasumsi sebesar 0,8

Untuk lapis 3,  $G_3 = 500,582 \cdot 0,7540 \cdot 0,8 = 301,95 \text{ kg/cm}^2$ .

Untuk lapis 2,  $G_2 = 684,078 \cdot 0,7540 \cdot 0,8 = 412,64 \text{ kg/cm}^2$ .

Untuk lapis 1,  $G_1 = 336,786 \cdot 0,8578 \cdot 0,8 = 231,11 \text{ kg/cm}^2$ .

10. Kekakuan Tanah.

Kekakuan lapis 3,  $K3 = \frac{301,95}{304,7} = 0,99099 \text{ kg/cm}$ .

Kekakuan lapis 2,  $K2 = \frac{412,64}{152,35} = 2,70849 \text{ kg/cm}$ .

Kekakuan lapis 1,  $K1 = \frac{231,11}{152,35} = 1,51700 \text{ kg/cm}$ .

12. Massa tiap lapis tanah.

$$m_3 = \frac{\gamma_3 h_3}{g} = \frac{1,558 \cdot 304,7 / 2}{980} = 0,2422 \text{ kg dt}^2/\text{cm}.$$

$$m_2 = \frac{\gamma_3 h_3 + \gamma_2 h_2}{g} = \frac{1,558 \cdot 304,7 / 2}{980} + \frac{1,031 \cdot 152,35 / 2}{980} = 0,32235 \text{ kg dt}^2/\text{cm}.$$

$$m_1 = \frac{\gamma_2 h_2 + \gamma_1 h_1}{g} = \frac{1,031 \cdot 152,35 / 2}{980} + \frac{0,801 \cdot 152,35 / 2}{980} = 0,14242 \text{ kg dt}^2/\text{cm}.$$

13. Mode Shape.

Jika dipakai  $m = 6,4839 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$  dan unit kekakuan  $k = 9070,6533 \text{ kg/cm}$ , maka

$$[M] = \begin{bmatrix} 1,76m & 0 & 0 \\ 0 & 1,59m & 0 \\ 0 & 0 & 1m \end{bmatrix}$$

dan matrix kekakuan adalah,

$$[K] = \begin{bmatrix} 2,35k & -1,35k & 0 \\ -1,35k & 3,26k & -1,91k \\ 0 & -1,91k & 1,91k \end{bmatrix}$$

Dengan demikian dapat disusun persamaan *eigenproblem* sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} 2,35k - 1,76\omega^2 m & -1,35k & 0 \\ -1,35k & 3,26k - 1,59\omega^2 m & -1,91k \\ 0 & -1,91k & 1,91k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_3 \\ \phi_2 \\ \phi_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Atau dapat ditulis sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} 2,35 - 1,76 \frac{\omega^2}{k/m} & -1,35 & 0 \\ -1,35 & 3,26 - \frac{1,59\omega^2}{k/m} & -1,91 \\ 0 & -1,91 & 1,91 - \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_3 \\ \phi_2 \\ \phi_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

jika diambil besaran  $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$  maka persamaan tersebut akan menjadi,

$$\begin{bmatrix} 2,35 - 1,76\lambda & -1,35 & 0 \\ -1,35 & 3,26 - 1,59\lambda & -1,91 \\ 0 & -1,91 & 1,91 - \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Jika disederhanakan menjadi persamaan aljabar biasa, akan diperoleh tiga persamaan

$$(2,35 - 1,76\lambda) \phi_1 - 1,35 \phi_2 = 0 \quad \text{(I)}$$

$$-1,35 \phi_1 + (3,26 - 1,59\lambda) \phi_2 - 1,91 \phi_3 = 0 \quad \text{(II)}$$

$$-1,91 \phi_2 + (1,91 - \lambda) \phi_3 = 0 \quad \text{(III)}$$

Penyelesaian persamaan simultan homogen tidaklah memberikan nilai yang pasti/definitif, tetapi hasil-hasil yang diperoleh hanya merupakan perbandingan antara yang satu dengan yang lain. Oleh karena itu dengan mengambil nilai,

$$\phi_1 = 1$$

dan dengan mensubstitusi kedalam persamaan pertama diatas akan diperoleh,

$$\phi_2 = 1,7415 - 1,31 \lambda$$

selanjutnya dengan mensubstitusi kedalam persamaan ketiga akan diperoleh,

$$\phi_3 = \frac{3,3273 - 2,4950\lambda}{1,91 - \lambda}$$

selanjutnya dengan mensubstitusi kedalam persamaan kedua akan diperoleh,

$$-2,0771 \lambda^3 + 10,9945 \lambda^2 - 12,9841 \lambda + 1,9105 = 0$$

Dengan menggunakan trial and error, maka didapat akar-akar persamaan dan percepatan sudut sebagai berikut,

$$\lambda_1 = 0,1711, \text{ maka } \omega_1 = \sqrt{0,1711 \cdot \frac{9070,6533}{6,4839}} = 15,4713 \text{ rad/dt}$$

$$\lambda_2 = 1,4727, \text{ maka } \omega_2 = \sqrt{1,4727 \cdot \frac{9070,6533}{6,4839}} = 45,3899 \text{ rad/dt}$$

$$\lambda_3 = 3,6493, \text{ maka } \omega_3 = \sqrt{3,5076 \cdot \frac{9070,6533}{6,4839}} = 71,4508 \text{ rad/dt}$$

Dengan demikian nilai ordinat tiap pola/ragam goyangan/mode  $\phi_i$  dapat diperoleh sebagaimana dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1. Nilai ordinat tiap pola/ragam mode.

No	Fungsi $\phi_i$	Nilai $\phi_i$		
		Mode ke-1 $\lambda_1 = 0,1711$	Mode ke-2 $\lambda_2 = 1,4727$	Mode ke-3 $\lambda_3 = 3,6493$
1	$\phi_3 = 1$	$\phi_{31} = 1$	$\phi_{32} = 1$	$\phi_{33} = 1$
2	$\phi_2 = 1,7415 - 1,3059 \lambda$	$\phi_{21} = 1,5181$	$\phi_{22} = -0,1817$	$\phi_{23} = -3,0241$
3	$\phi_1 = \frac{3,3273 - 2,4950\lambda}{1,9105 - \lambda}$	$\phi_{11} = 1,6674$	$\phi_{12} = -0,7928$	$\phi_{13} = 3,3229$



14. Kontrol dengan Kondisi Orthogonal.

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1,5181 & -0,1817 & -3,0241 \\ 1,6674 & -0,7928 & 3,3229 \end{bmatrix}$$

Karena *matrix massa merupakan matrix diagonal*, dan *matrix kekakuan adalah matrix yang simetri* maka dapat diselesaikan sebagai berikut,

a. Untuk mode ke-1

$$\{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_1 = \{1 \ 1,5181 \ 1,6674\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,5181 \\ 1,6674 \end{Bmatrix} = 53,213$$

b. Untuk mode ke-2

$$\{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_2 = \{1 \ 1,5181 \ 1,6674\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,1817 \\ -0,7928 \end{Bmatrix} = 0,004$$

c. Untuk mode ke-3

$$\{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_3 = \{1 \ 1,5181 \ 1,6674\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -3,0241 \\ 3,3229 \end{Bmatrix} = -0,002$$

Dari hasil tersebut terbukti bahwa indeks mode *i* tidak sama dengan *j* maka hubungan orthogonalitas terpenuhi, *memenuhi syarat*.

15. Partisipasi Mode, dimana  $P_i^* = \{\phi\}_i^T [M] \{I\}$  dan  $M_i^* = \{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_i$ .

➤ Untuk mode ke-1.

$$P_1^* = \{1 \ 1,5181 \ 1,6674\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 37,8860 \text{ kg } \frac{dt^2}{cm}$$

$$M_1^* = \{1 \ 1,5181 \ 1,6674\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,5181 \\ 1,6674 \end{Bmatrix} = 53,2129 \text{ kg } \frac{dt^2}{cm}$$

Partisipasi mode ke-1, 
$$\Gamma_1 = \frac{P_1^*}{M_1^*} = \frac{37,8860}{53,2129} = 0,7120 = 71,20 \%$$

➤ Untuk mode ke-2.

$$P_2^* = \{1 \quad -0,1817 \quad -0,7928\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 4,4049 \text{ kg } \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}}$$

$$M_2^* = \{1 \quad -0,1817 \quad -0,7928\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,1817 \\ -0,7928 \end{Bmatrix} = 15,834 \text{ kg } \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-2, } \Gamma_2 = \frac{P_2^*}{M_2^*} = \frac{4,4049}{15,8340} = 0,2782 = 27,82 \%$$

➤ Untuk mode ke-3

$$P_3^* = \{1 \quad -3,0241 \quad 3,3229\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 1,7763 \text{ kg } \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}}$$

$$M_3^* = \{1 \quad -3,0241 \quad 3,3229\} \begin{bmatrix} 11,4187 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3130 & 0 \\ 0 & 0 & 6,4839 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -3,0241 \\ 3,3229 \end{Bmatrix}$$

$$= 177,3252 \text{ kg } \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-3, } \Gamma_3 = \frac{P_3^*}{M_3^*} = \frac{1,7763}{177,3252} = 0,0100 = 1,00 \%$$

➤ Sebagai kontrol, partisipasi mode harus sama dengan satu maka,

$$\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 = 0,7120 + 0,2782 + 0,0100 = 1,0002 \approx 1 \text{ memenuhi syarat.}$$

16. Damping Ratio,  $C$ , dengan asumsi  $C$  terpakai adalah  $C_{max}$ .

$$C = C_{max} \left( 1 - \frac{G}{G_{max}} \right)$$

$$\text{Untuk tanah lempung: } C_{max} = 31 - (3 + 0,03f) \sigma_o^{0,5} + 1,5f^{0,5} - 1,5 (\log N)$$

$$f = 1/T, \quad T = 2\pi/\omega$$

$N$  didapat dari rumus atau grafik 2 berdasarkan besarnya Magnitude Gempa.

$$N = 0,0387 e^{0,7876M}$$

Untuk  $M = 7,1$ , didapat nilai  $N = 10,3817$ .

- a. Untuk lapis 3 (teratas),  $\omega_3 = 71,4508 \text{ rad/dt}$ .

$$T = 2\pi / 71,4508 = 0,0880$$

$$f_3 = 1/0,0880 = 11,3672$$

$$C_{max} = 31 - (3 + 0,03 \cdot 11,3672) 0,8515^{0,5} + 1,5 \cdot 11,3672^{0,5} - 1,5 (\log 10,3817) = 29,4643 \%$$

$$C = 0,294643 \left(1 - \frac{866,4919}{1156,8732}\right) = 0,073959 = 7,3959 \%$$

- b. Untuk lapis 2,  $\omega_2 = 45,3899 \text{ rad/dt}$ ,

$$T = 2\pi / 45,3899 = 0,1385$$

$$f_3 = 1/0,1385 = 7,2211$$

$$C_{max} = 31 - (3 + 0,03 \cdot 7,2211) 1,4015^{0,5} + 1,5 \cdot 7,2211^{0,5} - 1,5 (\log 10,3817) = 27,7128 \%$$

$$C = 0,277128 \left(1 - \frac{611,6165}{1027,9347}\right) = 0,112241 = 11,2241 \%$$

- c. Untuk lapis 1 (terbawah),  $\omega_3 = 15,4713 \text{ rad/dt}$ ,

$$T = 2\pi / 15,4713 = 0,4063$$

$$f_3 = 1/0,4063 = 2,4613$$

$$C_{max} = 31 - (3 + 0,03 \cdot 2,4613) 2,5147^{0,5} + 1,5 \cdot 2,4613^{0,5} - 1,5 (\log 10,3817) = 24,9688 \%$$

$$C = 0,249688 \left(1 - \frac{907,0653}{1278,7944}\right) = 0,072583 = 7,2583 \%$$

### 17. Modal Amplitudo, $Z_j$ dan Modal Displacement $Y_{ij}$ .

Rumus yang digunakan :

$$g_{j+i} = \frac{-\ddot{y}_i - ag_j - bg_{j-1}}{\hat{k}} \quad Z = g * \Gamma_j \quad y = [\phi] * \{Z\}$$

dengan :

$$a = \left[ \omega_j^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right], \quad b = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi_j \omega_j}{2\Delta t} \right], \quad \hat{k} = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi_j \omega_j}{2\Delta t} \right]$$

- a. Nilai  $a$ ,  $b$  dan  $\hat{k}$

Untuk lapis 1,

$$a = \left[ 15,4713^2 - \frac{2}{(0,01)^2} \right] = -19\,760,6385$$

$$b = \left[ \frac{1}{(0,01)^2} - \frac{2.0,06267.15,4713}{2.0,01} \right] = 9\,903,0367$$

$$\hat{k} = \left[ \frac{1}{(0,01)^2} + \frac{2.0,06267.15,4713}{2.0,01} \right] = 10\,096,9633$$

Untuk lapis 2, analog dengan lapis 1, didapat

$$a = -17\,939,7568 \quad b = 9\,490,5524 \quad \hat{k} = 10\,509,4475$$

Untuk lapis 3, analog dengan lapis 1, didapat

$$a = -14\,894,7881 \quad b = 9\,388,0317 \quad \hat{k} = 10\,611,9683$$

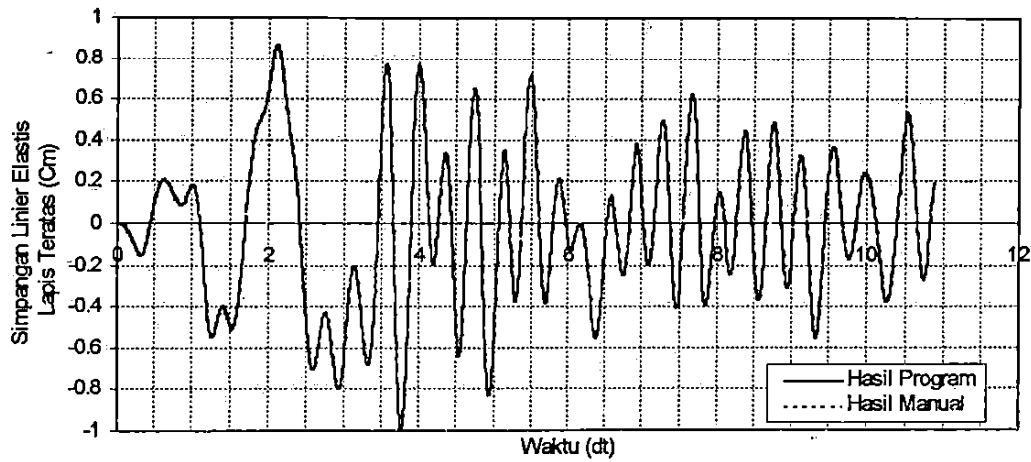
- b. Nilai Simpangan, kecepatan dan percepatan tanah pada kondisi tanpa massa setiap lapis beserta Grafiknya dapat dilihat pada Lampiran III, Lampiran IV, dan Lampiran V.

Tabel 5.2. Selisih Respon Linier Elastis Maksimum antara Manual dengan Program.

Respon	Lapis	Periode Waktu	Manual	Program	Selisih
Simpangan	1	3.77 dt	-0.6032515	-0.6032509	0.0001
	2	3.77 dt	-0.9045479	-0.9045659	0.0020
	3	3.77 dt	-0.9900596	-0.9900560	0.0004
Kecepatan	1	3.65 dt	-8.0787356	-8.0787268	0.0001
	2	3.66 dt	-12.3686437	-12.3688908	0.0020
	3	3.67 dt	-13.6175392	-13.6174994	0.0003
Percepatan	1	3.77 dt	120.1497249	120.1494675	0.0002
	2	3.76 dt	178.1271576	178.1305084	0.0019
	3	3.75 dt	195.9593302	195.9587250	0.0003
Selisih rata-rata (%)					0.0008

Dari Hasil tersebut jika dibandingkan antara hasil analisis manual dengan hasil Program Ground Vibration menunjukkan selisih yang relatif sangat kecil sekali yaitu hanya sebesar 0,0008 %, sebagaimana tercantum pada Tabel 5.2 yang membandingkan respon maksimum antara hasil manual dan program, kesalahan ini dapat diakibatkan oleh adanya pembacaan grafik secara manual yang kurang akurat dan juga pembulatan angka dibelakang koma. Disamping itu respon maksimum juga terjadi pada periode waktu yang sama yaitu pada periode waktu ke 3,77 untuk simpangan, 3,67 detik untuk kecepatan lapis teratas, dan 3,75 detik untuk percepatan lapis teratas.

Menurut teori statistik standar kesalahan diijinkan asal lebih kecil atau sama dengan 2 %. Dengan demikian karena faktor kesalahannya 0,0008 % < 2 % maka hasil analisis PGV ini dapat dianggap valid. Perbandingan simpangan untuk linier elastis antara hasil analisis program dan hasil analisis manual dapat dilihat pada gambar 5.2.



Keterangan : Karena selisih antara hasil program dengan manual sama sehingga gambarnya berimpit.

Gambar 5.2. Perbandingan Simpangan antara Hasil Program dengan Manual