

Analisa Beban Gempa pada Dinding Besmen dengan Plaxis 2D

GOUW Tjie-Liong

Universitas Bina Nusantara, email: gtloffice@gmail.com, gouw3183@binus.ac.id

Ferry Aryanto

Universitas Bina Nusantara, email: ferry_aryanto@ymail.com

Irpan Hidayat

Universitas Bina Nusantara, email: irpan@binus.edu

ABSTRAK: Makalah ini menyajikan pemodelan beban gempa dengan menggunakan program elemen hingga Plaxis 2D. Analisa dilakukan dengan pemodelan *pseudo-static* dan pemodelan analisa dinamik dengan masukan beban dinamis berupa *time histories*. Hasil analisa ini dibandingkan dengan metoda konvensional yang sering dipakai dalam memperkirakan gaya gempa yang bekerja pada dinding basement, yaitu: metoda Seed-Whitman, metoda Mononobe-Okabe dan metoda Wood yang dihitung secara manual dan dengan bantuan program GEO5. Hasil analisa elemen hingga menunjukkan bahwa beban gempa yang bekerja pada dinding basement lebih tinggi dari metoda Mononobe-Okabe dan Seed-Whitman, namun lebih rendah dari metoda Wood.

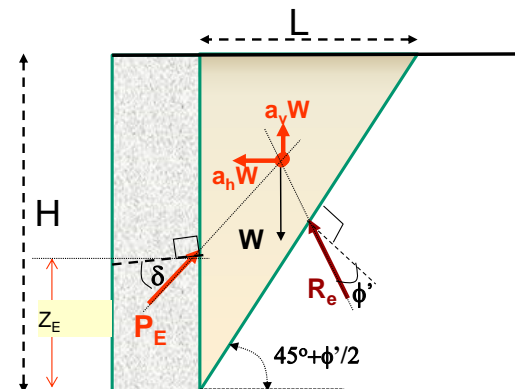
Kata Kunci: Basement / besmen, tekanan lateral, gaya gempa

1 PENDAHULUAN

Beberapa teori yang sering dipergunakan dalam memperkirakan gaya lateral yang bekerja pada dinding besmen (*basement*) adalah metoda Seed-Whitman, Mononobe-Okabe, dan Wood. Metoda-metoda diatas, pada dasarnya dikembangkan melalui teori tekanan tanah lateral digabungkan dengan hukum kedua Newton ($F = m.a$), menjadi metoda yang secara umum dikenal dengan nama metoda pseudo-statik. Kini, seiring dengan kemajuan teknologi komputasi komputer dan pengembangan perangkat lunak metoda elemen hingga, dimungkinkan menganalisa gaya gempa dengan analisa dinamik. Makalah ini menyajikan hasil analisa gaya gempa terhadap dinding besmen dengan metoda dinamik dalam bentuk masukan gaya *respon spectra* dan *time history* dengan menggunakan program Plaxis 2D.

2 METODA PSEUDO-STATIK

Dalam metoda pseudo-statik, gaya gempa diturunkan berdasarkan hukum kedua Newton, dan dengan asumsi bidang keruntuhan aktif seperti disajikan dalam Gambar 1. Berdasarkan hukum kedua Newton, gaya gempa yang timbul adalah:



Gambar 1. Gaya Gempa pada Dinding

$$P_E = m \cdot a_{\max} = W/g \cdot a_{\max} = W \cdot a_{\max}/g \quad (1)$$

P_E = gaya gempa

m = massa tanah dalam baji keruntuhan

W = berat total dari baji keruntuhan

a_{\max} = percepatan gempa maksimum

g = gravitasi bumi

$a_{\max}/g = k_h$ atau k_v = koefisien gempa

H = tinggi dinding

L = lebar baji keruntuhan

Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1, percepatan gempa terdiri dari percepatan vertikal dan percepatan horizontal. Namun seringkali percepatan gempa vertikal

diabaikan, karena pada umumnya percepatan gempa vertikal lebih kecil dari percepatan gempa horizontal sehingga percepatan gempa vertikal tidak begitu menentukan dalam perhitungan gaya lateral yang bekerja terhadap dinding. Dengan demikian didapat,

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \gamma_t HL \\ &= \frac{1}{2} \gamma_t HL \{H \tan (45^\circ - \phi')/2\} \\ &= \frac{1}{2} \gamma_t H^2 k_a^{0.5} \end{aligned} \quad (2)$$

γ_t = masa isi total tanah (*total unit weight*)

$$\begin{aligned} P_E &= W \cdot \frac{a_{h,\max}}{g} = W \cdot k_h \\ &= \frac{1}{2} \gamma_t H^2 k_a^{0.5} k_h \end{aligned} \quad (3)$$

Karena gaya pseudo-static gempa ini bekerja pada titik berat baji keruntuhan aktif, maka resultan gaya gempa P_E bekerja pada ketinggian $2/3H$ dari dasar dinding.

2.1 Metoda Seed Whitman

Berdasarkan persamaan (3) diatas Seed dan Whitman (1970) menganjurkan untuk menghitung gaya gempa pada dinding sebagai berikut:

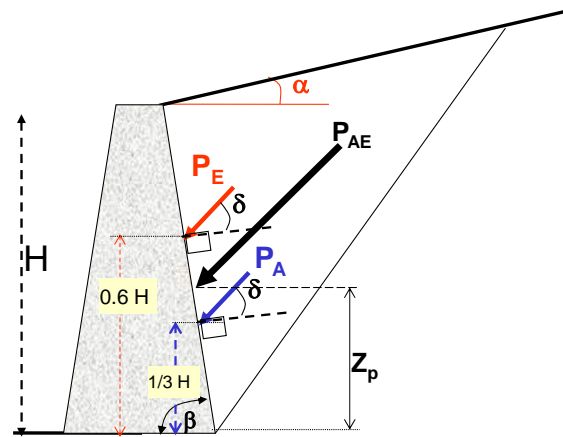
$$\begin{aligned} P_E &= \frac{3}{8} \frac{a_{h,\max}}{g} \gamma_t H^2 \\ P_E &= \frac{3}{8} k_h \gamma_t H^2 \end{aligned} \quad (4)$$

dengan pusat gaya gempa bekerja $0.6 H$ dari dasar dinding. Metoda ini berlaku untuk dinding yang dapat bergerak/berdeformasi.

2.2 Metoda Mononobe-Okabe

Setelah gempa Kanto tahun 1993 di Jepang, Mononobe dan Okabe, (1929, 1926) mengembangkan metoda untuk menghitung tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah pada waktu gempa terjadi. Metoda Mononobe-Okabe ini dikembangkan berdasarkan teori Coulomb untuk tekanan tanah lateral, dan untuk dinding yang dapat bergerak/berdeformasi (*yielding walls*). Teori ini cukup baik bila dinding berdeformasi sebesar 0.5% dari ketinggian dinding.

$$P_{AE} = P_A + P_E = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_{AE} \quad (5)$$



Gambar 2. Notasi Metoda Mononobe-Okabe

P_{AE} adalah gabungan tekanan tanah lateral aktif statik, P_A , dengan tekanan tanah lateral akibat gempa, P_E (lihat Gambar 2).

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\phi + \beta - \psi)}{\cos \psi \sin^2 \beta \cdot \sin(\beta - \psi - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \psi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \psi) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (6)$$

$$\psi = \tan^{-1} k_h = \tan^{-1} \frac{a_{h,\max}}{g} \quad (7)$$

Mononobe-Okabe mengasumsikan pusat gaya P_{AE} bekerja pada ketinggian $1/3H$ dari dasar dinding. Asumsi ini tidak tepat, yang tepat gaya P_{AE} bekerja pada ketinggian Z_p dari dasar dinding, sebagaimana dituangkan dalam persamaan (8) di bawah ini.

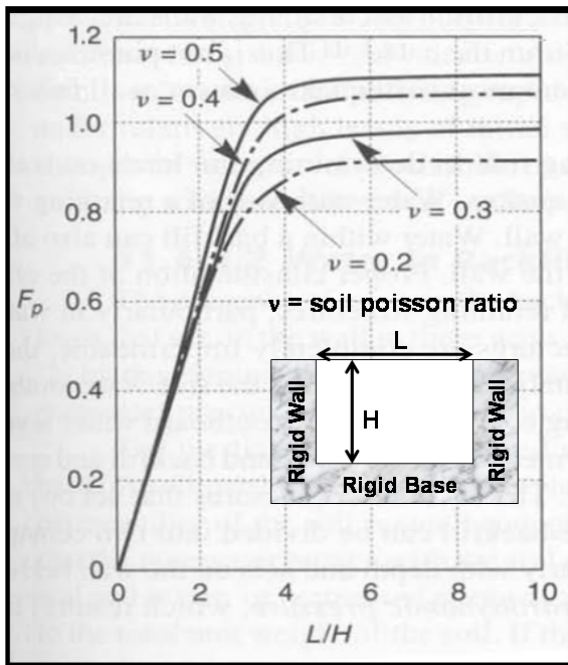
$$Z_p = \frac{(0.6H)(P_E) + \frac{H}{3} P_A}{P_{AE}} \quad (8)$$

2.3 Metoda Wood

Wood (1973) mengembangkan teori untuk perhitungan tekanan tanah lateral gempa pada dinding kaku yang relatif tidak dapat berdeformasi/bergerak. Rumusan yang dihasilkan adalah:

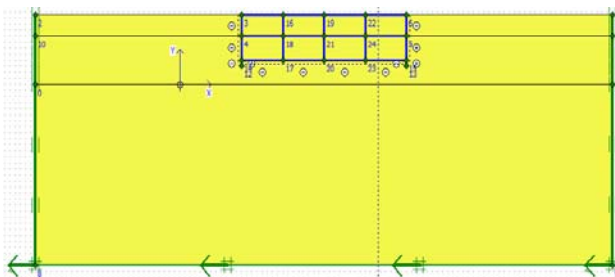
$$\begin{aligned} P_E &= F_p \frac{a_{h,\max}}{g} \gamma_t H^2 \\ P_E &= F_p k_h \gamma_t H^2 \end{aligned} \quad (9)$$

dengan F_p merupakan parameter yang tergantung dari perbandingan lebar dan tinggi ruang besmen, dan nilai rasio poisson tanah. Nilai F_p dari Wood ini dapat diambil dari Gambar 3.



3 PEMODELAN ELEMEN HINGGA

Pemodelan elemen hingga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Gambar 4 menunjukkan pemodelan besmen dalam Plaxis 2D. Struktur besmen dibuat dari beton dengan ketebalan dinding-dinding basement 20cm dan dasar besmen 40cm. Ketinggian besmen bervariasi dari 3.5-4.0m. Perbandingan lebar vs tinggi besmen, L/H , divariasikan dari $L/H=1$ hingga $L/H=4$. Percepatan gempa diaplikasikan dari kedalaman 30m dengan memakai pilihan 'Standard earthquake boundaries' dalam menu 'Loads' di Plaxis.



Gambar 4. Pemodelan Besmen dalam Plaxis 2D

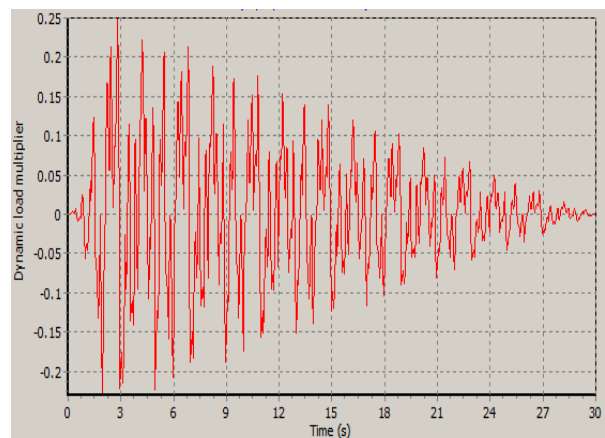
Parameter tanah yang digunakan adalah tanah pasir dengan data-data sebagai berikut,

$$\text{Berat isi total } (\gamma_t) = 20 \text{ kN/m}^3$$

Kekakuan tanah (E') = 15.000 kN/m²
 Sudut geser dalam (ϕ') = 30° - 40°
 Kohesi tanah (c') = 0 kN/m²
 Poisson Ratio (ν) = 0,3
 Model tanah: Mohr Coulomb
 Prilaku tanah: undrained (saat gempa)

Percepatan gempa horizontal, $a_{h,max}$, diambil sebesar 0.25g, ini digunakan dalam perhitungan pseudostatik dengan menggunakan metoda-metoda dalam sub 2 dan dengan bantuan program GEO5 dari FINE CZ.

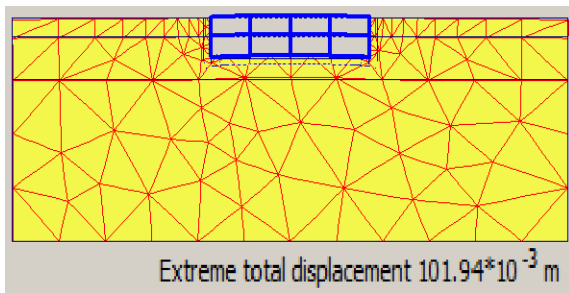
Perhitungan gempa dengan analisa dinamik dalam Plaxis dilakukan dengan menggunakan beban dinamik berupa time histories gempa dengan $a_{h,max}=0.25g$, seperti disajikan dalam Gambar 5. Analisa dilakukan dengan waktu pembebanan dinamik selama 10 detik. Langkah yang dilakukan dalam sub program 'Plaxis Calculation' adalah: pilih 'Dynamic Analysis' dalam 'Calculation type'. Dalam 'Parameter' tab masukkan 'Time interval' sebesar 10 detik. Dalam 'Multipliers' tab klik *icon* beban dinamis dan pilih data gaya beban dinamis yang telah dipersiapkan sebelumnya yang menghasilkan beban seperti Gambar 5.



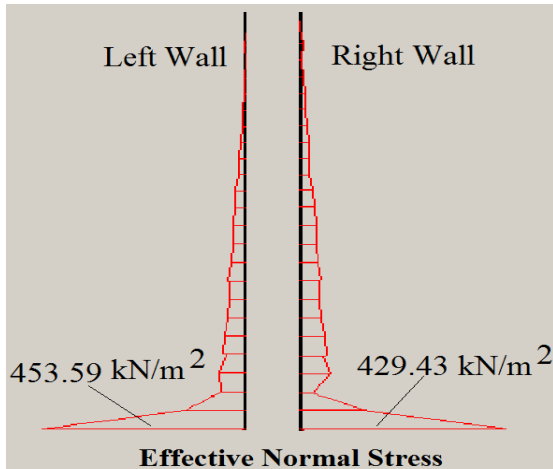
Gambar 5. Time Histories Gempa untuk Plaxis 2D

4 HASIL ANALISIS

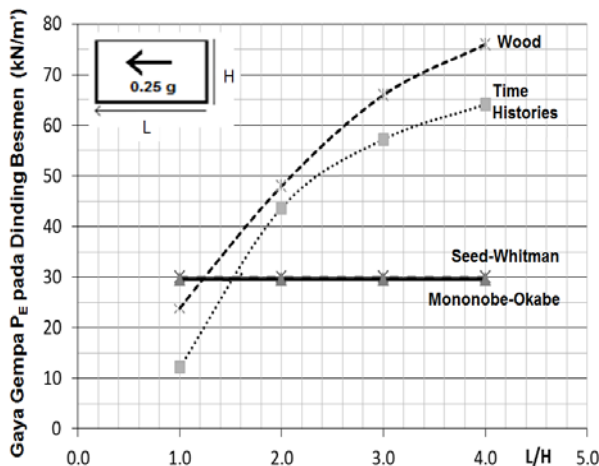
Hasil perhitungan dengan metoda pseudo-static dan dinamik, disajikan dalam beban gempa, P_E , dan dengan mengeluarkan gaya lateral akibat beban statik, P_A . Gaya gempa, P_E , di Plaxis didapat dengan mengurangi gaya lateral dari analisa beban dinamis terhadap gaya lateral tanpa beban dinamis, yaitu: gaya lateral akibat berat sendiri tanah. Gambar 6 menunjukkan hasil tipikal program Plaxis 2D dinamik untuk kasus dengan sudut geser dalam tanah, ϕ' , sebesar 30 derajat.



Gambar 6. Pergerakan Besmen akibat Beban Dinamik



Gambar 7. Tegangan Gempa Total pada Dinding Besmen akibat Beban Dinamik (Time Histories)



Gambar 8. Variasi Beban Gempa vs L/H

Masukan (*input*) beban dinamis time histories gempa merupakan beban siklis yang menyebabkan tanah bergerak bolak balik, karena itu kedua sisi dinding besmen mengalami tekanan yang hampir sama besar. Untuk selanjutnya, tekanan lateral yang

terbesar yang akan diambil untuk menghitung gaya tekan pada dinding besmen.

Tekanan lateral yang disajikan pada Gambar 7 merupakan tekanan lateral total yang terjadi pada saat gempa, yaitu P_{AE} . Untuk menghasilkan gaya lateral akibat gempa saja, P_E , tekanan P_{AE} itu dikurangi dengan tekanan tanah aktif, P_A , saat dalam kondisi statik (tak ada gempa).

Gambar 8 menunjukkan variasi gaya gempa gempa terhadap dinding besmen vs. perbandingan lebar/tinggi besmen dari hasil analisis perbagai metoda yang disajikan di atas.

Analisa yang dilakukan dengan tanah lempung dan parameter tanah yang berbeda menunjukkan hasil serupa. Analisa tanpa dan dengan air tanah juga menunjukkan kecenderungan yang serupa, yaitu: perhitungan gaya gempa terhadap dinding besmen dengan pemodelan beban dinamik menghasilkan gaya yang lebih besar dari pada metoda Seed-Whitman dan Mononobe-Okabe, namun lebih kecil dari metoda Wood.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian numerik yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa perhitungan gaya gempa terhadap dinding besmen dengan pemodelan beban dinamik menghasilkan gaya yang lebih besar dari pada metoda Seed-Whitman dan Mononobe-Okabe, namun lebih kecil dari metoda Wood. Atas dasar itu disarankan untuk melakukan analisa dinamik dalam analisa tekanan gempa terhadap dinding besmen. Bila analisa dinamik tidak dapat dilakukan karena ketidaktersediaan perangkat lunak, maka dianjurkan untuk menggunakan metoda Wood.

PENUTUP

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bina Nusantara yang telah mendanai penelitian dan penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Day, Robert W. (2002), Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. New York : McGRAW-HILL.
- Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929), On the determination of earth pressures during earthquakes", Proc. World Engrg. Conf., 9, paper No. 388, pp. 177-185

Okabe, S. (1926), "General theory of earth pressure", J. Japanese Soc. of Civ. Engrs., 12(1).

Seed, H. B., and Whitman, R. V. (1970), "Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads.", Proceedings, ASCE Specialty Conference on Lateral

Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, ASCE, pp. 103–147.

Wood J. H. (1973), Earthquake-induced pressures on retaining walls. Rep. EERL 73-05, Earthquake Eng. Res. Lab., California Institute of Technology, Pasadena, CA.