

# EVALUASI PARAMETRIK PERILAKU CABUT GEOSTRAP DENGAN MODEL NUMERIK DUA DIMENSI (PARAMETRIC EVALUATION STUDY OF GEOSTRAP PULLOUT BEHAVIOR USING TWO DIMENSIONAL NUMERICAL MODELS)

Widjojo A. Prakoso<sup>1)</sup>, Tommy Ilyas<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia

<sup>1),2)</sup> Kampus UI, Depok 16424

<sup>1)</sup> e-mail: wprakoso@eng.ui.ac.id

<sup>2)</sup> e-mail : t.ilyas@eng.ui.ac.id

Diterima: 07 September 2012, disetujui: 04 Desember 2012

## ABSTRAK

*Teknik pemodelan numerik cabut (pullout) geostrap dalam konteks pemodelan numerik dengan metode elemen hingga dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik (GRS-RW) dievaluasi dalam makalah ini. Dua teknik pemodelan dievaluasi yaitu teknik pemodelan tanpa menggunakan elemen antarmuka tanah dan geostrap dan teknik pemodelan dengan menggunakan elemen antarmuka. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan empat perilaku hasil uji laboratorium berikut: Kedua teknik pemodelan memberikan hasil yang relatif sama untuk perilaku extensible geostrap, perilaku “lekatan” pada gaya tarik yang relatif rendah, dan ketiadaan perilaku perlemahan (softening), tetapi hanya teknik pemodelan II yang dapat memberikan hasil gaya tarik puncak semakin meningkat dengan peningkatan tegangan vertikal. Kebutuhan input teknik pemodelan I lebih sederhana daripada kebutuhan teknik pemodelan II. Studi parametrik modulus elastisitas tanah, kekakuan geostrap, dan kuat geser tanah juga dilakukan. Pengaruh dari kedua parameter pertama adalah tidak terlalu signifikan. Pengaruh dari kuat geser tanah adalah signifikan untuk teknik pemodelan I. Secara umum teknik pemodelan dengan menggunakan elemen antarmuka memberikan hasil yang lebih baik.*

**Kata kunci:** *dinding penahan tanah, tanah diperkuat, geosintetik, uji cabut, metode elemen hingga*

## ABSTRACT

*Geostrap numerical modeling techniques as part of finite element modeling of geosynthetic reinforced soil retaining walls (GRS-RW) are evaluated in this paper. Two modeling techniques are evaluated: a technique without interface elements and a technique with interface elements. The evaluation is performed based on four observed pullout force – lateral displacement relationships: Both techniques yield geostrap extensible responses, “bonded” responses at low pullout force level, and non softening responses, but only the second technique yields varying peak pullout forces with varying vertical stresses. The complexity of input requirements for the first technique is lesser compared to that for the second one. A parametric study covering deformation parameters and soil strength parameters was performed. The influence of deformation parameters was not too significant. The influence of shear strength parameters was significant for the first modeling technique only. It is concluded that the technique with interface elements would yield better results.*

**Keywords:** *retaining wall, reinforced soil, geosynthetics, pullout test, finite element method*

## PENDAHULUAN

Dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik (*geosynthetic reinforced soil retaining wall, GRS-RW*) telah banyak digunakan di Indonesia. Salah satu jenis perkuatan geosintetik yang digunakan adalah geotrap *polyester* yang dipasang dalam konfigurasi V sehingga secara praktis membentuk sebuah bidang jaring geotrap (lihat Gambar 1). Pada saat gempa bumi Padang 2009, sebuah *GRS-RW* jenis ini yang terletak di daerah Padang menunjukkan kinerja yang baik sebagaimana diindikasikan oleh ketiadaan deformasi permanen pasca gempa bumi.

Kinerja tersebut mendorong dilakukannya penelitian mengenai perilaku seismik dari *GRS-RW* jenis ini, dan salah satu komponen penelitian yang dibutuhkan adalah pemodelan numerik *GRS-RW*. Salah satu aspek pemodelan numerik terkait adalah mengenai pemodelan perilaku cabut dari geotrap, khususnya mengenai proses transformasi dari uji cabut laboratorium geotrap dalam konfigurasi V menjadi model regangan bidang (*plane strain*) jaring geotrap dengan menggunakan elemen satu dimensi dalam metode elemen hingga.

Makalah ini membahas pengaruh parameter deformasi material tanah dan geotrap dan pengaruh parameter kuat geser tanah pada perilaku cabut geotrap. Kajian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak komersial Plaxis v.8 (Brinkgreve 2002).



**Gambar 1.** Dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geotrap konfigurasi V

## KAJIAN PUSTAKA

### Uji fisik dan pemodelan numerik

Lo (1998) membahas hasil uji cabut geotrap dengan konfigurasi lurus dengan panjang antara 0,8 hingga 0,9 m. Beberapa perilaku cabut geotrap adalah sebagai berikut: (1) bersifat daktil dengan sedikit kecenderungan untuk mengalami perlemahan (penurunan gaya untuk kenaikan perpindahan), (2) perpindahan puncak geotrap merupakan fungsi dari gaya tarik puncak cabut, dan (3) gaya tarik puncak cabut merupakan fungsi dari “faktor friksi” yang menurun dengan kenaikan tegangan vertikal. Abdelouhab *et al* (2010) membahas hasil uji cabut geotrap dengan konfigurasi lurus tunggal dan paralel dengan panjang 1,9 m. Perilaku cabut geotrap secara umum adalah bersifat daktil tanpa kecenderungan untuk mengalami perlemahan, dan perilaku cabut geotrap paralel tampak lebih baik daripada perilaku cabut geotrap tunggal.

Gurung dan Iwai (1999) mengusulkan model hiperbolik untuk hubungan tegangan geser dan perpindahan dari antarmuka tanah dan perkuatan geosintetik. Model tersebut diaplikasi pada sejumlah hasil uji cabut geotrap, dan model tersebut dapat merepresentasikan hasil uji dengan baik. Abdelouhab *et al* (2010) mengusulkan dua model, yaitu model *square root* dan model dengan penambahan sub-model *delayed mobilization*. Perlu dicatat bahwa beberapa model tersebut tidak diaplikasikan lebih lanjut dalam model numerik untuk *GRS-RW*.

Metode elemen hingga telah digunakan pula dalam analisis hasil uji cabut laboratorium. Helwany *et al* (2001) membahas pemodelan tiga dimensi uji cabut geotekstil dengan menggunakan program Dyna3D dan membandingkan hasil uji laboratorium dan hasil model numerik; pemodelan antarmuka dilakukan dengan *facet* antarmuka. Perkins dan Edens (2003) melaporkan pengembangan model konstitutif untuk geosintetik, material tanah, dan interaksi geosintetik-tanah yang diaplikasi dalam model elemen hingga untuk uji cabut laboratorium; dalam pemodelan, elemen antarmuka digunakan. Marques (2005)

membandingkan hasil pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi uji cabut geotekstil dan menunjukkan proses redistribusi tegangan dalam tanah pada saat uji cabut; pemodelan antarmuka dilakukan dengan elemen satu dimensi, 6 nodal untuk pemodelan dua dimensi dan dengan elemen dua dimensi, 16 nodal untuk pemodelan tiga dimensi. Siriwardane *et al* (2008) membahas pemodelan tiga dimensi uji cabut geogrid dengan menggunakan program Abaqus dan menunjukkan deformasi tiga dimensi geogrid pada saat uji cabut; pemodelan antarmuka dilakukan dengan elemen kontak.

Perkuatan geosintetik dalam pemodelan numerik 2-D *GRS-RW* umumnya dimodelkan dengan sebagai elemen satu dimensi yang bersifat tidak dapat menahan gaya tekan (misal: Hatami dan Bathurst 2005a). Terdapat beberapa pendekatan dalam asumsi kekakuan elemen tersebut. Hatami dan Bathurst (2005a) dan Ling *et al* (2005) menggunakan model dengan kekakuan geosintetik yang menurun dengan kenaikan regangan, masing-masing menggunakan program *FLAC* dan Diana-Swandyne-II. Guler *et al* (2007) menggunakan model dengan kekakuan geosintetik yang konstan dengan program *Plaxis*.

Terdapat dua teknik dalam pemodelan perilaku cabut dalam pemodelan numerik *GRS-RW*. Teknik pertama adalah elemen perkuatan geosintetik terhubung secara kaku dengan elemen material tanah atau terhubung dengan menggunakan elemen antarmuka yang memiliki kuat geser yang sangat tinggi. Penggunaan pendekatan ini antara lain digunakan oleh Hatami dan Bathurst (2005a), Ling *et al* (2005), dan Guler *et al* (2007). Teknik kedua adalah elemen antarmuka digunakan di antara elemen material tanah dengan elemen perkuatan geosintetik. Penggunaan pendekatan ini antara lain dijumpai dalam Helwany *et al* (2001).

Hatami dan Bathurst (2005b) mengkaji pengaruh dari penggunaan elemen antarmuka dan dari kekakuan elemen antarmuka ( $k_b$ ) yang digunakan di antara elemen material tanah dengan elemen perkuatan geosintetik. Beberapa hasil kajian mereka untuk nilai  $k_b$  yang semakin tinggi adalah: 1. perpindahan

lateral *facing GRS-RW* semakin kecil, 2. gaya koneksi antara *facing* dan perkuatan geosintetik yang semakin besar, dan 3. gaya maksimum geosintetik yang semakin besar. Model tanpa elemen antarmuka memberikan batas bawah bagi besaran perpindahan lateral dan batas atas bagi besaran gaya-gaya. Dapat disimpulkan bahwa kinerja *GRS-RW* dipengaruhi oleh kekakuan elemen antarmuka.

### Uji cabut laboratorium acuan

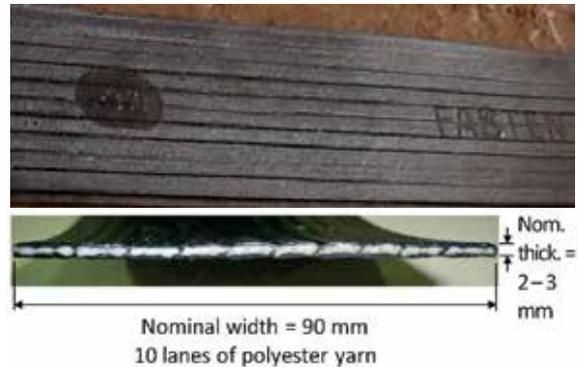
Pembahasan singkat uji cabut laboratorium meliputi material tanah dan geotrap yang digunakan, peralatan uji cabut, serta hasil uji. Pembahasan yang lebih komprehensif telah disampaikan dalam Harninto dan Prakoso (2010) dan Prakoso *et al* (2012). Material tanah yang digunakan adalah pasir kelanauan (*silty sand*, SM) dengan kandungan butir halus (melewati saringan 75  $\mu\text{m}$ ) sebesar sekitar 28% yang diambil dari sebuah konstruksi *GRS-RW* di daerah Padang, Sumatera Barat. Nilai kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum dari uji kepadatan berat masing-masing adalah 1,90  $\text{g/cm}^3$  dan 14,4%. Sudut geser dalam dari uji geser langsung dengan rentang tegangan vertikal dari 20 hingga 100 kPa adalah 46,9°.

Geotrap yang digunakan terdiri dari 10 lajur benang *high-tenacity polyester* yang dibungkus oleh *high density polyethylene (HDPE)* bertekstur. Lebar dan tebal dari geotrap masing-masing adalah 90 mm dan 2 hingga 3 mm. Kuat tarik nominal geotrap adalah 50 kN yang dicapai pada regangan sebesar sekitar 12%. Detail dari geotrap ditampilkan sebagai Gambar 2.

Sistem uji cabut laboratorium terdiri dari sebuah kotak uji baja, sistem pemberi tegangan vertikal, sistem penarik geotrap dengan kontrol berbasis perpindahan, dan sistem instrumentasi. Bagian dalam kotak uji baja memiliki panjang, lebar dan tinggi masing-masing sebesar 2200 mm, 500 mm, dan 500 mm. Pada bagian depan dan belakang kotak terdapat bukaan pada ketinggian 200 mm di atas dasar kotak yang disediakan untuk penarikan geotrap pada sisi depan dan untuk sistem instrumentasi pada sisi belakang. Tinggi total material tanah adalah

400 mm, sedang sisa tinggi kotak sebesar 100 mm diperuntukkan bagi kantung udara tegangan vertikal. Tegangan vertikal yang diberikan diukur berdasarkan manometer tekanan yang terhubung dengan kantung udara. Sistem penarik geostrap terdiri dari sebuah alat elektrik-hidrolik dan sebuah aktuator hidrolik berdiameter 100 mm. Sistem instrumentasi terdiri dari sebuah *load cell* dan beberapa ekstensometer yang terhubung dengan sebuah komputer akuisisi data digital. *Load cell* digunakan untuk mengukur gaya tarik yang diberikan dan ditempatkan di antara aktuator hidrolik dan geostrap. Perpindahan geostrap diukur pada jarak 100 mm, 750 mm, 1400 mm, dan 2050 mm dari bukaan depan dengan menggunakan empat buah ekstensometer yang dihubungkan dengan kawat nikel. Geostrap dengan konfigurasi V ditempatkan di antara material tanah terpadatkan setebal 200 mm di bagian atas dan di bagian bawah. Ilustrasi benda uji geostrap di dalam kotak uji baja ditampilkan pada Gambar 3.

Uji cabut geostrap dilakukan untuk tiga tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) yaitu 38 kPa, 73 kPa, and 142 kPa. Hasil uji tipikal berupa kurva gaya tarik versus perpindahan ditampilkan pada Gambar 4. Empat kurva untuk empat lokasi pengukuran perpindahan geostrap ditampilkan dengan tebal garis yang berbeda. Beberapa perilaku cabut geostrap adalah sebagai berikut: (1) geostrap polyester bersifat *extensible*, (2) terdapat “lekatan” pada antarmuka tanah dan geostrap, khususnya pada gaya tarik yang rendah, (3) gaya tarik puncak semakin meningkat dengan peningkatan tegangan vertikal, dan (4) terdapat kecenderungan untuk mengalami perlemahan. Gambar 4 juga menampilkan pengaruh tegangan vertikal pada perilaku cabut geostrap. Faktor kuat geser antarmuka puncak terhadap tegangan vertikal adalah 0,352, atau identik dengan sudut geser antarmuka tanah dan perkuatan geosintetik sebesar 19,4°.



(Sumber: Prakoso *et al* 2012)

**Gambar 2.** Detail geostrap



(Sumber: Prakoso *et al* 2012)

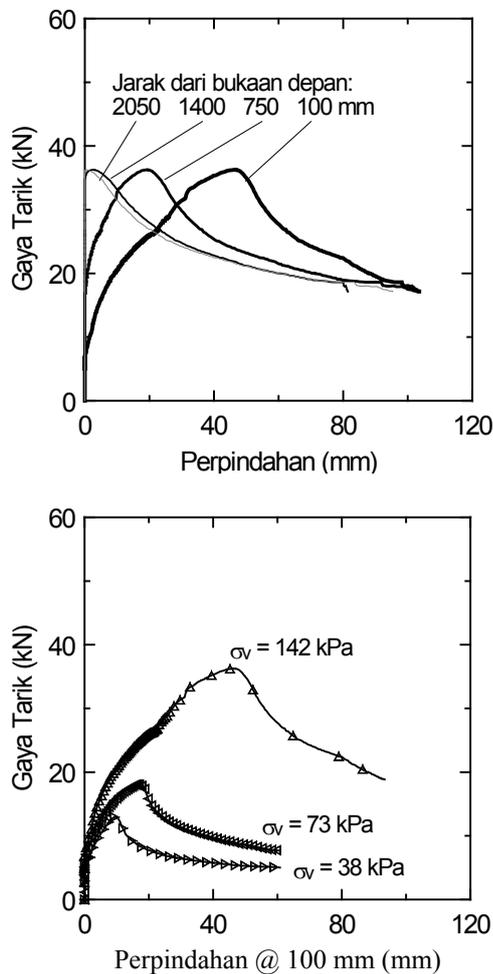
**Gambar 3.** Alat uji cabut laboratorium

## HIPOTESIS

Dua hipotesis akan dievaluasi dalam makalah ini. Hipotesis pertama adalah teknik pemodelan dengan menggunakan elemen antarmuka memberikan hasil yang lebih realistis. Hipotesis kedua adalah parameter kuat geser tanah mempunyai pengaruh yang lebih signifikan daripada parameter deformasi dalam pemodelan perilaku cabut geostrap.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan teknik pemodelan yang dibahas oleh Prakoso dan Ilyas (2012). Permasalahan mendasar dari teknik pemodelan geotrap ini adalah bagaimana proses transformasi dari model fisik uji cabut



(Sumber: Prakoso *et al* 2012)  
Gambar 4. Perilaku gaya tarik – perpindahan geotrap hasil uji laboratorium

laboratorium yang dibahas sebelumnya menjadi model numerik regangan bidang (*plane strain*) jaring geotrap dengan menggunakan elemen satu dimensi. Model numerik yang digunakan adalah model dua dimensi regangan bidang dengan ukuran panjang dan tinggi masing-masing 2200 mm dan 400 mm sebagaimana

ditampilkan pada Gambar 5. Jenis elemen yang digunakan untuk material tanah adalah elemen segitiga 15 nodal dengan model konstitutif Mohr-Coulomb. Jenis elemen yang digunakan untuk geotrap adalah elemen satu dimensi 5 nodal yang bersifat elastis dan tidak dapat menahan gaya tekan. Tegangan vertikal dimodelkan sebagai tegangan dengan distribusi merata pada tepi atas model numerik. Analisis dilakukan dengan melakukan kontrol perpindahan geotrap di bukaan depan, dan gaya tarik yang dibutuhkan untuk menghasilkan perpindahan tersebut ditentukan berdasarkan analisis numerik. Hasil model numerik berupa hubungan gaya tarik dan perpindahan dan distribusi perpindahan sepanjang geotrap digunakan dalam proses evaluasi; pendalaman interpretasi atas hasil model numerik dilaporkan dalam makalah ini. Program metode elemen hingga geoteknik yang digunakan adalah Plaxis v.8 (Brinkgreve 2002).

Dua teknik pemodelan digunakan, yaitu teknik pemodelan tanpa menggunakan elemen antarmuka tanah dan geotrap dan teknik pemodelan dengan menggunakan elemen antarmuka. Dalam teknik pemodelan I, elemen geotrap satu dimensi, 5-nodal terhubung secara kaku dengan elemen material tanah dua dimensi, 15-nodal dan tidak ada elemen antarmuka digunakan di antara kedua jenis elemen. Analisis dilakukan untuk tiga tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) yaitu 38 kPa, 73 kPa, dan 142 kPa. Nilai kekakuan geotrap  $J$  diatur sedemikian rupa agar terdapat kesesuaian antara hasil uji laboratorium dan hasil model numerik.

Dalam teknik pemodelan II, elemen antarmuka 10-nodal digunakan di antara elemen geotrap satu dimensi, 5-nodal dan elemen material tanah dua dimensi, 15-nodal. Elemen antarmuka memiliki faktor pengubah kuat geser sebagai berikut (Brinkgreve 2002):

$$R_{inter} = \tan \phi_{antarmuka} / \tan \phi_{tanah} \dots\dots\dots(1)$$

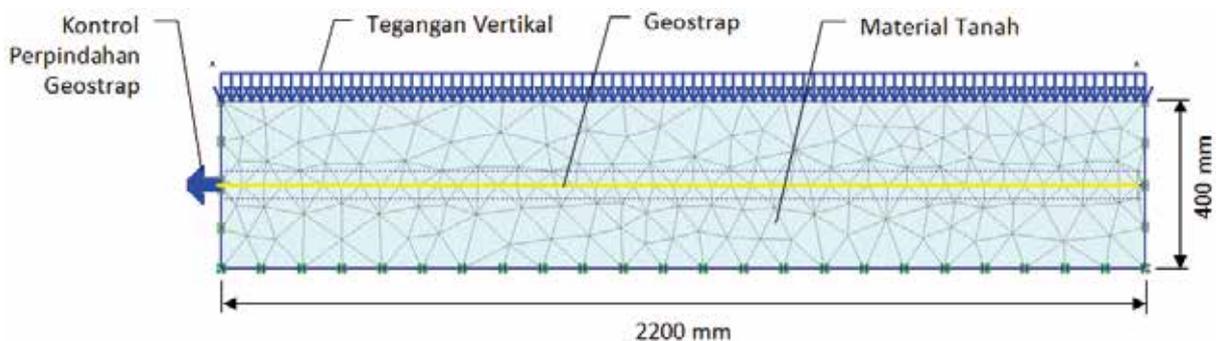
$$R_{inter} = c_{antarmuka} / c_{tanah} \dots\dots\dots(2)$$

Analisis dilakukan untuk tiga tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) yaitu 38 kPa, 73 kPa, and 142 kPa. Nilai kekakuan geotrap  $J$  diatur sedemikian rupa

agar terdapat kesesuaian antara hasil uji laboratorium dan hasil model numerik.

Studi parametrik dilakukan dengan cara mengubah input model numerik dan membandingkan hasil dari beberapa model tersebut. Nilai dasar dari parameter deformasi berupa modulus elastisitas  $E$  dan rasio Poisson  $\nu$  masing-masing adalah 60 MPa dan 0,3, dan variasi dari nilai  $E$  dievaluasi dalam studi parametrik ini. Nilai kekakuan geostrap  $J$  diatur

sedemikian rupa agar terdapat kesesuaian antara hasil uji laboratorium dan hasil model numerik; variasi nilai  $J$  untuk kedua teknik pemodelan juga dievaluasi. Nilai dasar parameter kuat geser berupa sudut geser dalam  $\phi$  dan kohesi  $c$  material tanah masing-masing adalah  $46,9^\circ$  dan 0, dan variasi dari kombinasi  $\phi$  dan  $c$  tersebut dievaluasi pula.



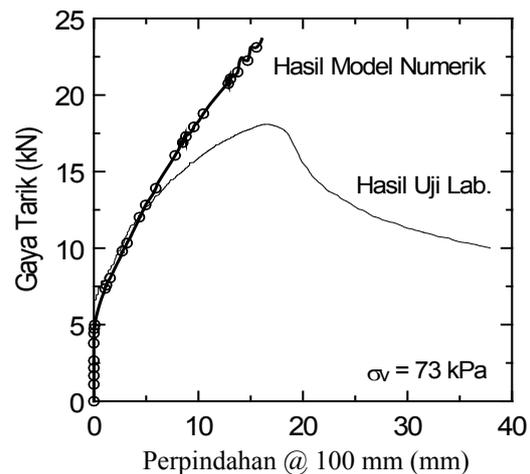
Gambar 5. Model elemen hingga untuk uji pullout laboratorium

## HASIL DAN ANALISIS

### Evaluasi teknik pemodelan I

Hasil uji laboratorium adalah relatif sama dengan hasil model numerik dengan teknik pemodelan I untuk  $J = 60 \text{ kN/m/m}$ , pada lokasi pengukuran perpindahan geostrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan dan gaya tarik hingga sekitar 12 kN. Perbandingan tipikal kedua hasil ditampilkan pada Gambar 6. Hasil model numerik juga menunjukkan adanya perilaku “lekatan” antara tanah dan geostrap pada gaya tarik yang rendah.

Hasil tipikal model numerik sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6 tidak menunjukkan adanya nilai puncak gaya tarik  $F$ . Gaya tarik terus meningkat dengan penambahan pemberian perpindahan pada bukaan depan. Simpulan dari peningkatan gaya tarik tersebut adalah teknik pemodelan I tidak dapat mensimulasi perilaku peningkatan gaya tarik puncak dengan kenaikan tegangan vertikal dan perilaku perlemahan.

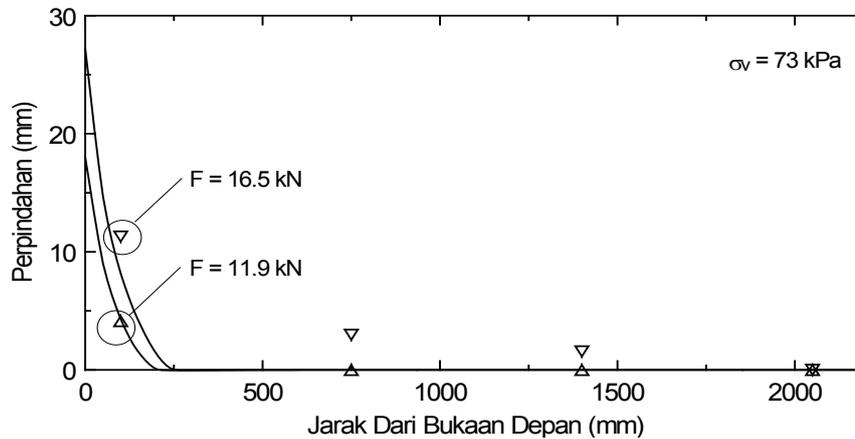


Gambar 6. Evaluasi teknik pemodelan I,  $\sigma_v = 73 \text{ kPa}$ .

Distribusi perpindahan sepanjang geostrap untuk hasil uji laboratorium (simbol segitiga) dan hasil model numerik (garis) ditampilkan pada Gambar 7 untuk dua nilai gaya tarik  $F$ . Hasil uji laboratorium

menunjukkan bahwa terjadi perpindahan geotrap hingga ujung belakang geotrap walau dengan nilai yang relatif kecil. Namun, hasil

model numerik menunjukkan bahwa perpindahan terpusat hingga jarak sekitar 300 mm dari bukaan depan atau lebih *extensible* dari pada hasil uji laboratorium.



**Gambar 7.** Distribusi perpindahan sepanjang geotrap teknik pemodelan I,  $\sigma_v = 73$  kPa

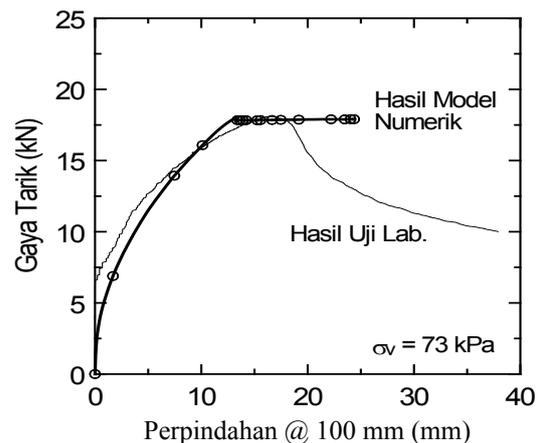
### Evaluasi teknik pemodelan II

Hasil uji laboratorium adalah relatif sama dengan hasil model numerik dengan teknik pemodelan II untuk  $J = 1400$  kN/m, pada lokasi pengukuran perpindahan geotrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan dan gaya tarik hingga sekitar 15 kN.

Penggunaan elemen antarmuka memberikan kesempatan untuk mendapatkan kesesuaian nilai puncak gaya tarik  $F$  antara hasil uji laboratorium dan hasil model numerik melalui proses *trial-and-error* nilai  $R_{inter}$ . Nilai  $R_{inter}$  yang dibutuhkan untuk mendapat kesesuaian tersebut adalah 0,094, 0,067, dan 0,068 masing-masing untuk  $\sigma_v$  sebesar 38 kPa, 73 kPa, and 142 kPa.

Dengan nilai  $J$  dan  $R_{inter}$  tersebut, hasil uji laboratorium secara keseluruhan adalah relatif sama dengan hasil model numerik; perbandingan tipikal kedua hasil ditampilkan pada Gambar 8. Hasil model numerik juga menunjukkan adanya perilaku “lekatan” antara tanah dan geotrap pada gaya tarik yang rendah. Namun demikian, teknik ini tetap tidak dapat menghasilkan perilaku perlemahan.

Nilai faktor  $R_{inter}$  dapat diinterpretasikan lebih lanjut dengan membandingkan nilai tersebut dengan faktor kuat geser antarmuka puncak terhadap tegangan vertikal untuk masing-masing tegangan vertikal. Nilai rerata dan deviasi standar dari perbandingan tersebut masing-masing adalah 0,199 dan 0,003. Nilai rerata ini dapat diinterpretasikan sebagai faktor proses transformasi dari model fisik uji cabut

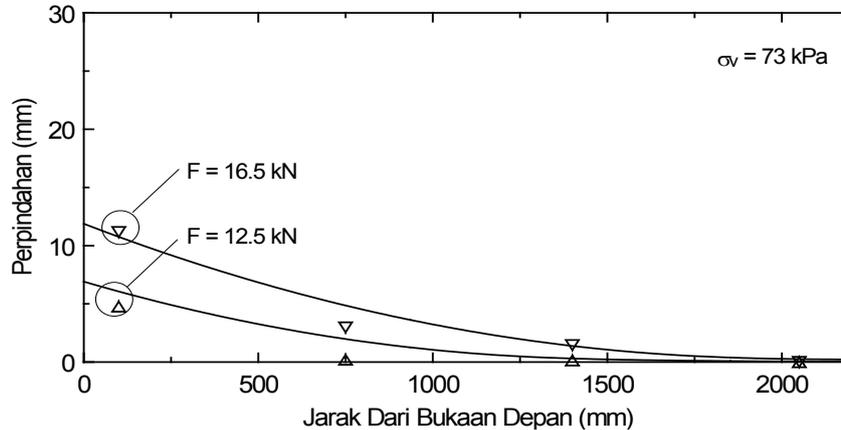


**Gambar 8.** Evaluasi teknik pemodelan II,  $\sigma_v = 73$  kPa.

laboratorium menjadi model regangan bidang jaring geotrap dengan menggunakan elemen satu dimensi. Nilai deviasi standar yang rendah mengindikasikan bahwa faktor ini relatif tidak dipengaruhi oleh tegangan vertikal.

Distribusi perpindahan sepanjang geotrap untuk hasil uji laboratorium (simbol

segitiga) dan hasil model numerik (garis) ditampilkan pada Gambar 9 untuk dua nilai gaya tarik  $F$ . Hasil model numerik menunjukkan sifat *extensible* geotrap yang relatif sama dengan hasil uji laboratorium.



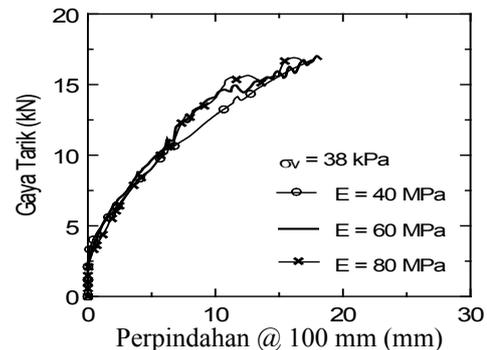
**Gambar 9.** Distribusi perpindahan sepanjang geotrap teknik pemodelan II,  $\sigma_v = 73$  kPa.

### Pengaruh modulus elastisitas tanah

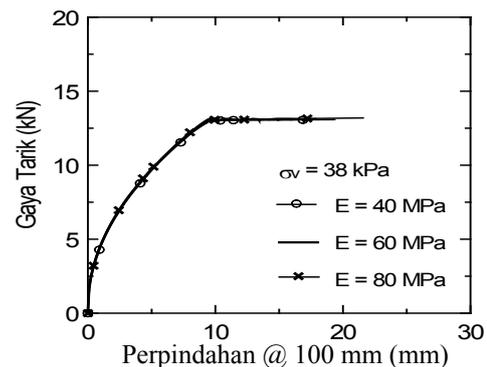
Tiga nilai modulus elastisitas tanah  $E$  digunakan dalam studi parametrik pengaruh modulus tersebut pada perilaku cabut geotrap. Nilai-nilai tersebut adalah 40 MPa, 60 MPa, dan 80 MPa. Rasio Poisson dan parameter kuat geser untuk semua variasi tidak diubah.

Pengaruh modulus elastisitas tanah  $E$  pada kurva gaya tarik versus perpindahan geotrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan untuk teknik pemodelan I ditampilkan pada Gambar 10. Perbandingan tiga kurva mengindikasikan bahwa nilai  $E$  tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada perilaku cabut geotrap dengan teknik pemodelan I.

Pengaruh modulus elastisitas tanah  $E$  pada kurva gaya tarik versus perpindahan geotrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan untuk teknik pemodelan II ditampilkan pada Gambar 11. Perbandingan tiga kurva mengindikasikan bahwa nilai  $E$  tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada perilaku cabut geotrap dengan teknik pemodelan II.



**Gambar 10.** Pengaruh modulus elastisitas tanah dalam teknik pemodelan I

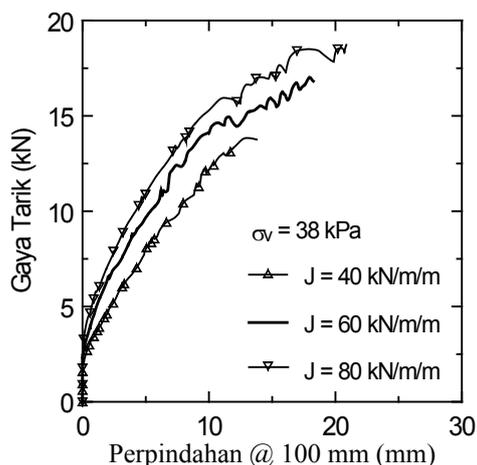


**Gambar 11.** Pengaruh modulus elastisitas tanah dalam teknik pemodelan II.

### Pengaruh kekakuan geostrap

Tiga nilai kekakuan geostrap  $J$  digunakan dalam studi parametrik pengaruh kekakuan geostrap pada perilaku cabut geostrap. Nilai-nilai tersebut adalah sekitar 67%, 100%, dan sekitar 133% dari nilai dasar  $J$  yang didiskusikan sebelumnya. Untuk teknik pemodelan I, nilai  $J$  yang digunakan adalah 40 kN/m/m, 60 kN/m/m, dan 80 kN/m/m. Untuk teknik pemodelan II, nilai  $J$  yang digunakan adalah 1000 kN/m/m, 1400 kN/m/m, dan 1800 kN/m/m.

Pengaruh kekakuan geostrap  $J$  pada kurva gaya tarik versus perpindahan geostrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan untuk teknik pemodelan I ditampilkan pada Gambar 12. Perbandingan tiga kurva mengindikasikan bahwa nilai  $J$  memiliki pengaruh pada perilaku cabut geostrap. Untuk  $F = 10$  kN, rasio penurunan perpindahan geostrap relatif berbanding langsung dengan rasio kenaikan  $J$ ; rasio penurunan perpindahan adalah 1,83 dan 1,28 untuk rasio kenaikan  $J$  sebesar 2,00 ( $= 80 / 40$ ) dan 1,33 ( $= 80 / 60$ ).



**Gambar 12.** Pengaruh kekakuan geostrap dalam teknik pemodelan I

Pengaruh kekakuan geostrap  $J$  pada distribusi perpindahan sepanjang geostrap dianalisis lebih lanjut dan ditampilkan pada Gambar 13. Walau nilai  $J$  mempengaruhi besaran perpindahan geostrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan, nilai  $J$  tidak mempengaruhi distribusi perpindahan

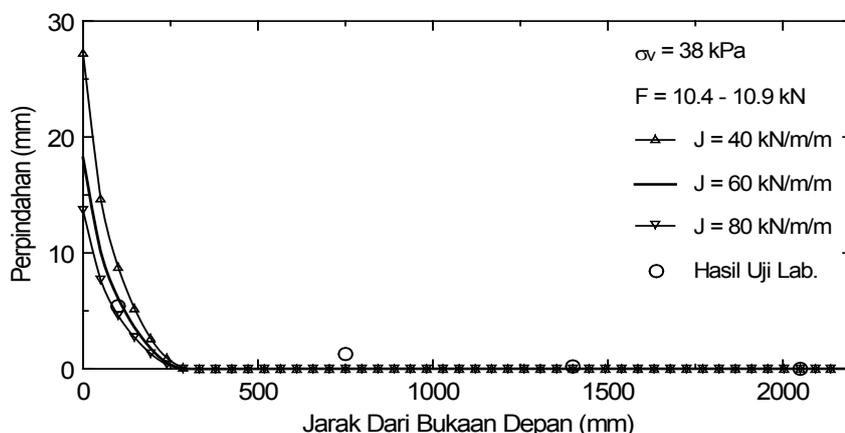
sepanjang geostrap; perpindahan tetap terpusat hingga jarak sekitar 300 mm dari bukaan depan. Pengaruh kekakuan geostrap  $J$  pada kurva gaya tarik versus perpindahan geostrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan untuk teknik pemodelan II ditampilkan pada Gambar 14. Perbandingan tiga kurva mengindikasikan bahwa nilai  $J$  memiliki pengaruh pada perilaku cabut geostrap. Untuk  $F = 10$  kN, rasio penurunan perpindahan geostrap relatif berbanding langsung dengan rasio kenaikan  $J$ ; rasio penurunan perpindahan adalah 1,77 dan 1,29 untuk rasio kenaikan  $J$  sebesar 1,80 ( $= 1800 / 1000$ ) dan 1,29 ( $= 1800 / 1400$ ).

### Pengaruh parameter kuat geser

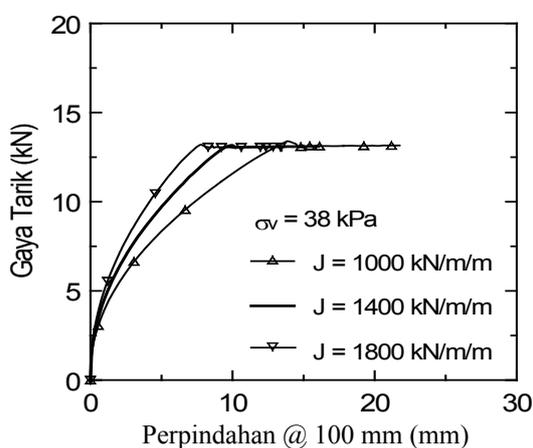
Tiga kombinasi nilai sudut geser dalam  $\phi$  dan kohesi  $c$  digunakan dalam studi parametrik pengaruh kuat geser pada perilaku cabut geostrap. Kombinasi tersebut ditentukan berdasarkan kuat geser yang sama untuk kondisi tegangan vertikal sebesar 73 kPa. Ketiga kombinasi tersebut adalah  $46,9^\circ$  dan 0,  $43,0^\circ$  dan 10 kPa, dan  $38,5^\circ$  dan 20 kPa. Parameter deformasi untuk semua variasi tidak diubah.

Pengaruh parameter kuat geser pada kurva gaya tarik versus perpindahan geostrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan untuk teknik pemodelan I ditampilkan pada Gambar 15. Perbandingan tiga kurva mengindikasikan bahwa parameter kuat geser memiliki pengaruh yang signifikan pada perilaku cabut geostrap dengan teknik pemodelan I. Model dengan nilai kohesi  $c$  yang tinggi mempunyai kurva dengan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan model yang nilai  $c$ -nya lebih rendah.

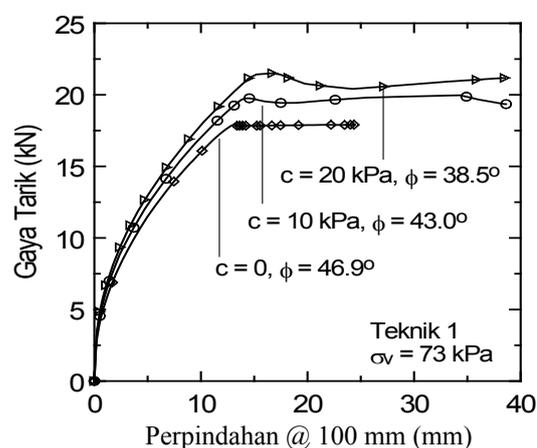
Pengaruh parameter kuat geser pada kurva gaya tarik versus perpindahan geostrap pada jarak 100 mm dari bukaan depan untuk teknik pemodelan II ditampilkan pada Gambar 16. Perbandingan tiga kurva mengindikasikan bahwa parameter kuat geser tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada perilaku cabut geostrap dengan teknik pemodelan II. Berbeda dari teknik pemodelan I, pengaruh nilai kohesi  $c$  pada teknik ini relatif tidak signifikan.



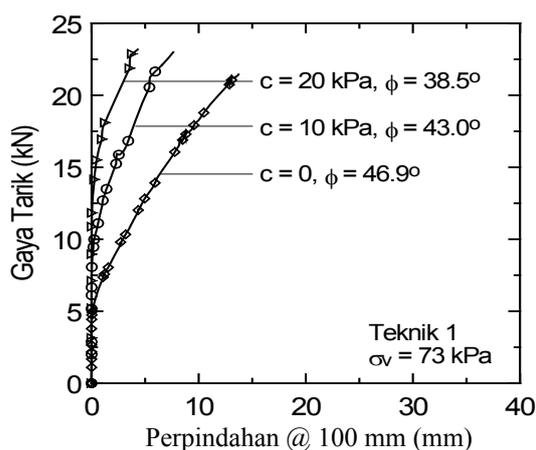
Gambar 13. Efek kekakuan geostrap pada distribusi perpindahan sepanjang geostrap teknik pemodelan I.



Gambar 14. Pengaruh kekakuan geostrap dalam teknik pemodelan II.



Gambar 16. Pengaruh kekakuan geostrap dalam teknik pemodelan II.



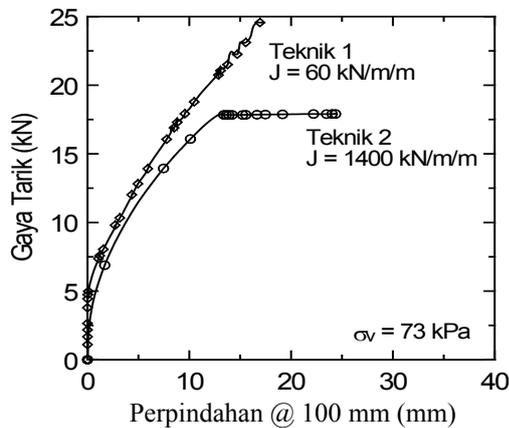
Gambar 15. Pengaruh parameter kuat geser tanah dalam teknik pemodelan I.

## PEMBAHASAN

Hasil tipikal model numerik dengan teknik pemodelan I dan II dibandingkan pada Gambar 17. Penggunaan elemen antarmuka tanah dan geostrap membutuhkan penggunaan kekakuan geostrap yang jauh yang lebih tinggi. Kedua teknik pemodelan juga memberikan hasil dengan perilaku “lekatan” pada gaya tarik yang relatif rendah. Namun, kedua teknik pemodelan tidak dapat memberikan hasil dengan perilaku perlemahan.

Teknik pemodelan II dapat memberikan hasil gaya tarik puncak semakin meningkat dengan peningkatan tegangan vertikal. Namun,

hal ini membutuhkan kalibrasi faktor pengubah kuat geser terhadap hasil uji laboratorium yang merupakan hasil dari kombinasi dari (1) faktor kuat geser antarmuka puncak geotrap terhadap tegangan vertikal dan (2) faktor proses transformasi dari uji cabut laboratorium menjadi model regangan bidang jaring geotrap dengan menggunakan elemen satu dimensi.



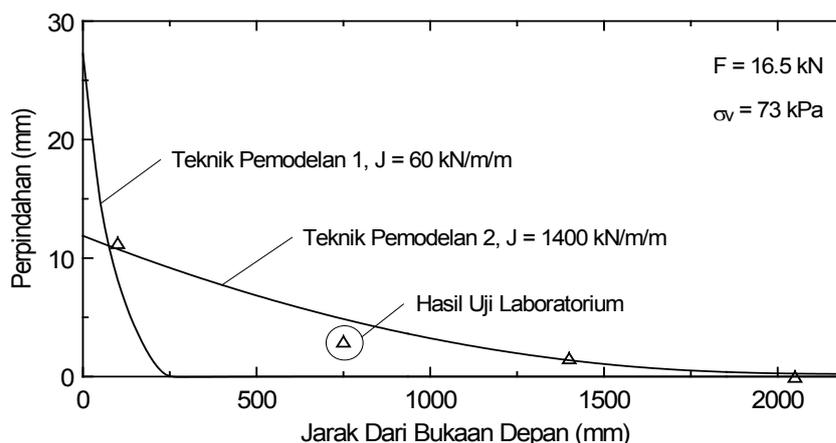
**Gambar 17.** Perbandingan hasil model numerik dengan teknik pemodelan I dan II.

Teknik pemodelan I dan II dapat memberikan hasil dengan perilaku *extensible* dari geotrap. Namun, berdasarkan kesesuaian dengan hasil uji laboratorium, teknik pemodelan II memberikan hasil yang lebih realistis (lihat Gambar 18). Teknik pemodelan I memberikan perpindahan pada bukaan yang lebih besar daripada teknik pemodelan II.

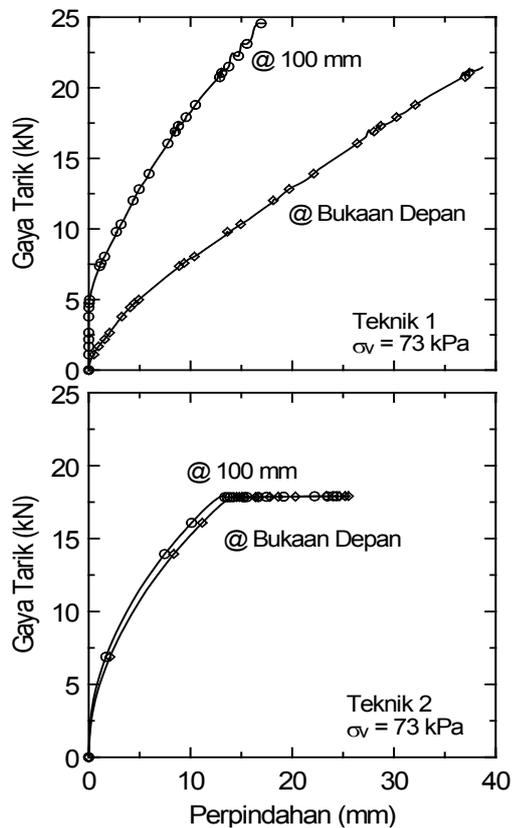
Elaborasi lebih lanjut ditampilkan pada Gambar 19. Teknik pertama menghasilkan perbedaan yang signifikan dari perpindahan di dua lokasi pengamatan, sedang teknik kedua menghasilkan perpindahan yang relatif sama.

Perilaku cabut untuk kedua teknik pemodelan tidak sensitif terhadap perubahan modulus elastisitas tanah dan sedikit sensitif terhadap perubahan kekakuan geosintetik. Perilaku cabut untuk teknik pertama tampak sangat sensitif terhadap perubahan kombinasi nilai sudut geser dalam dan kohesi tanah. Tingkat sensitifitas yang lebih rendah dapat diamati untuk teknik pemodelan II.

Tingkat sensitifitas perilaku cabut terhadap modulus elastisitas tanah, kekakuan geosintetik, dan kombinasi nilai sudut geser dalam dan kohesi tanah yang dibahas di atas tampaknya hanya relevan untuk perilaku cabut. Pengaruh parameter deformasi dan kuat geser tanah pada perilaku *GRS-RW* secara keseluruhan dapat cukup signifikan, sebagaimana ditunjukkan oleh sejumlah hasil pemodelan numerik (misal: Hatami dan Bathurst 2005a, 2005b; Moelyani 2012; Prakoso 2012). Sintesis dari perbedaan perilaku ini adalah pemodelan uji cabut geosintetik secara umum diperlukan dalam penentuan kekakuan geotrap dan faktor pengubah kuat geser.



**Gambar 18.** Perbandingan distribusi perpindahan geotrap: model numerik dengan teknik pemodelan I dan II.



**Gambar 19.** Perbandingan perpindahan pada bukaan depan dan lokasi 100 mm untuk teknik pemodelan I dan II.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Makalah ini mengkaji teknik pemodelan numerik metode elemen hingga dua dimensi dari uji cabut geotrap dalam konteks pemodelan numerik dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik (*GRS-RW*). Dua teknik pemodelan dievaluasi yaitu teknik pemodelan tanpa menggunakan elemen antarmuka tanah dan geotrap dan teknik pemodelan dengan menggunakan elemen antarmuka. Kesimpulan pertama dari penelitian ini adalah adalah teknik pemodelan dengan menggunakan elemen antarmuka memberikan hasil yang lebih realistis, walau disertai dengan kebutuhan input yang lebih kompleks.

Kesimpulan kedua dari penelitian ini, berdasarkan sejumlah variasi besaran parameter yang digunakan, adalah parameter deformasi

(modulus elastisitas tanah dan kekakuan geotrap) tidak mempunyai pengaruh yang signifikan pada perilaku cabut geotrap. Lebih lanjut, kombinasi parameter kuat geser tanah nilai sudut geser dalam  $\phi$  dan kohesi  $c$  mempunyai pengaruh yang signifikan untuk teknik pemodelan I, tetapi tidak untuk teknik pemodelan II. Perlu digarisbawahi bahwa pengaruh parameter tersebut hanya untuk pemodelan perilaku cabut, tetapi bukan untuk pemodelan *GRS-RW* secara keseluruhan.

### Saran

Berbagai jenis perkuatan dapat digunakan untuk *GRS-RW*, dan guna mendapatkan prediksi kinerja *GRS-RW* yang realistis, teknik pemodelan yang digunakan harus dievaluasi untuk masing-masing jenis perkuatan. Lebih lanjut, prediksi kinerja tersebut perlu didukung oleh basis data perilaku cabut dari uji laboratorium dan lapangan untuk kondisi Indonesia yang memadai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah mendukung penelitian ini melalui Hibah Insentif Riset SINas Tahun 2012 RT-2012-860.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelouhab, A., Dias, D., and Freitag, N. 2009. "Physical and Analytical Modelling of Geosynthetic Strip Pullout Behaviour". *Geotextiles and Geomembranes* 28, pp 44–53.
- Brinkgreve R.B.J., 2002. *Plaxis 2D – Version 8*. The Netherlands: A.A. Balkema Publishers.
- Guler, E., Hamderi, M. dan Demirkan, M.M. 2007. "Numerical Analysis of Reinforced Soil-Retaining Wall Structures with Cohesive and Granular Backfills". *Geosynthetics International* 14(6), pp. 330–345.
- Gurung, N. dan Iwao, Y. 1999. "Comparative Model Study of Geosynthetic Pullout Response". *Geosynthetics International* 6(1), pp. 53-68.

- Harninto, D.S. dan Prakoso, W.A. 2011. "Perilaku Pullout Elemen Perkuatan Pada Sistem Dinding Penahan Tanah". Dalam *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia*. Yogyakarta: HATTI.
- Hatami, K. and Bathurst R.J. 2005a. "Development and Verification of A Numerical Model for the Analysis of Geosynthetic - Reinforced Soil Segmental Walls under Working Stress Conditions". *Canadian Geotechnical Journal* 42, pp. 1066-1085.
- Hatami, K. and Bathurst, R.J. 2005b. "Parametric Analysis of Reinforced Soil Walls with Different Backfill Material Properties". In *Proceedings NAGS 2005/GRI-19 Conference*. Nevada: North American Geosynthetics Society (NAGS).
- Helwany, S.M.B., Budhu M., and McCallen D. 2001. "Seismic Analysis of Segmental Retaining Walls". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(9), pp. 741-749.
- Ling, H.I., Liu, H., and Mohri, Y. 2005. "Parametric Studies on the Behavior of Reinforced Soil Retaining Walls under Earthquake Loading". *Journal of Engineering Mechanics*, 131(10), pp. 1056-1065.
- Lo, S.C.R. 1998. "Pullout Resistance of Polyester Straps at Low Overburden Stress". *Geosynthetics International*, 5(4), pp. 361-382.
- Marques, J.M.M.C. 2005. "Finite Element Modeling of the Pullout Test of Geosynthetics". In *Proceedings of VIII International Conference on Computational Plasticity*. Barcelona: TU Delft.
- Moelyani, D.A. 2012. *Naskah Ilmiah Penggunaan Bahan Kohesif untuk Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik*. Bandung: Pusjatan.
- Perkins, S.W. and Edens, M.Q. 2003. "Finite Element Modeling of a Geosynthetic Pullout Test". *Geotechnical and Geological Engineering*, 21: 357-375.
- Prakoso, W.A. 2012. "Kajian Awal Penggunaan Tanah Butir Halus Untuk Dinding Tanah Bertulang Geosintetik". Dalam *Prosiding Kolokium Jalan Dan Jembatan 2012*. Bandung: Pusjatan.
- Prakoso, W.A., Harninto, D.S., dan Susilowati, P.H. 2012. "Laboratory Pullout Response of Polyester Strap with Unanchored V-Configuration". In *Proceedings of 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics: Geosynthetics for sustainable adaptation to Climate Change*. Bangkok: International Geosynthetics Society Thailand Chapter.
- Prakoso, W.A. dan Ilyas, T. 2012. "Modeling of Laboratory Pullout Tests of Polyester Strips". In *Proceedings of 18th Southeast Asian Geotechnical & Inaugural AGSSEA Conference*. Singapura: Southeast Asian Geotechnical Society.
- Siriwardane, H., Gondle, R., Kutuk, B., and Ingram, R. 2008. "Experimental Investigation and Numerical Analysis of Reinforced Geologic Media". In *Proceedings of 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics*. Goa: IACMAG.