

# Evaluasi Tanah Berpotensi Likuefaksi Berdasarkan Rasio Tegangan Air Pori

**RAFI HABIANAFIS RUBIANTO<sup>1</sup>, DESTI SANTI PRATIWI<sup>2</sup>**

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
  2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
- Email: [rafihr007@gmail.com](mailto:rafihr007@gmail.com)

## ABSTRAK

*Likuefaksi adalah perubahan material berbutir dari kondisi padat menjadi cair yang diakibatkan oleh meningkatnya tekanan air pori berlebih hingga sama besar dengan kekuatan tanah. Tanah likuefaksi terjadi pada tanah pasir dengan tingkat kepadatan lepas dan dalam kondisi jenuh air. Ketika tanah pasir lepas dengan kondisi jenuh dan ditambah beban dinamik maka tekanan air pori akan meningkat hingga nilainya sama dengan tegangan tanah itu sendiri. Nilai likuefaksi yaitu rasio tegangan pori berlebih  $r_u$  dengan nilai batas sebesar 0,7, apabila nilai tersebut lebih kecil maka tanah tersebut tidak berpotensi likuefaksi dan apa bila lebih besar maka akan berpotensi untuk terjadinya likuefaksi. Material model yang digunakan yaitu UBC3D-PLM untuk menganalisis potensi likuefaksi. Tujuan pada penelitian ini untuk melihat potensi likuefaksi yang terjadi pada setiap lapisan tanah yang akan ditinjau. Likuefaksi terjadi pada lapisan dengan kepadatan loose dan medium dense, pada lapisan medium dense yang berada diantara lapisan very dense dan dense terjadi likuefaksi.*

**Kata kunci:** : Likuefaksi, Gempa Bumi, Plaxis 3D, UBC3D-PLM

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang terjadi pada tanah yaitu likuefaksi. Menurut Tohari (2007) bahwa likuefaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh kenaikan tegangan air pori yang disebabkan oleh beban dinamik yang berupa gempa bumi. Menurut Day (2002) faktor yang memicu likuefaksi yaitu intensitas gempa, durasi gempa, elevasi muka air, jenis tanah, kerapatan relatif tanah, dan gradasi ukuran butiran. Parameter untuk melihat potensi likuefaksi yaitu rasio tegangan pori berlebih ( $r_u$ ). Menurut Beatty dan Perlea (2011) menyatakan bahwa nilai  $r_u$  yang lebih besar dari 0,7 maka terjadi likuefaksi dan apabila nilai  $r_u$  lebih kecil daripada 0,7 maka tanah tersebut tidak akan berpotensi likuefaksi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diperlukannya suatu analisis potensi likuefaksi untuk melihat potensi yang terjadi pada lapisan tanah. Pada penelitian ini akan membahas mengenai analisis pemodelan kondisi eksisting pada tanah yang berpotensi likuefaksi di Kota Palu, Sulawesi Tengah.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Tanah Berpotensi Likuefaksi

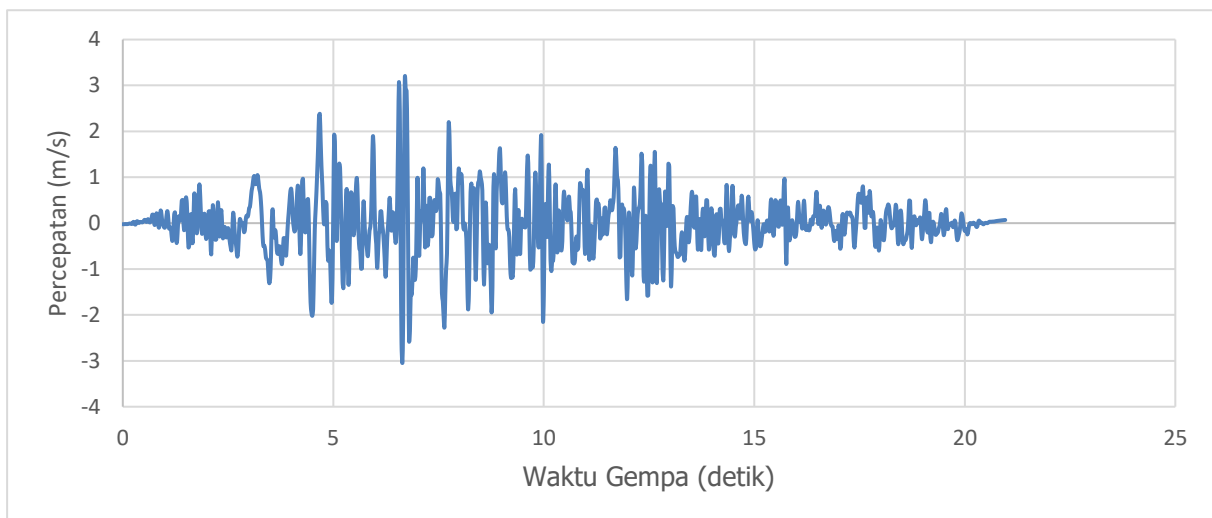
Menurut Chiou dan Chen (2007) likuefaksi sering terjadi pada tanah berpasir dengan keadaan yang jenuh dimana ruang pori antar partikel tanah yang telah terisi sepenuhnya oleh air. Air pori ini memberikan tekanan kepada partikel tanah yang akan memengaruhi tingkat kekuatan geser antar partikel tanah itu sendiri.

Tekanan air relatif rendah sebelum terjadi peristiwa gempa bumi atau getaran terjadi. Setelah adanya rambatan beban dinamik dari proses gempa bumi menyebabkan peningkatan tekanan air hingga mencapai satu kondisi yang dimana partikel tanah dapat bergerak antara satu

dengan lainnya (Rosyidi, 2020). Menurut Warouw, Manoppo & Rondonuwu (2019) lapisan tanah pasir yang jenuh air dan ditambah dengan getaran gempa, akan mengalami perubahan sifat tanah. Dimana perubahan tersebut adalah yang berawal dari sifat padat berganti menjadi sifat cair atau *liquid* yang berakibat pada berkurangnya tegangan efektif tanah dan membuat tanah tersebut kehilangan daya dukungnya.

## 2.2 Gempa Bumi

Menurut Mangunpraja & Prihatiningsih (2019) menyatakan bahwa gempa adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi yang diakibatkan oleh pelepasan energi yang menciptakan gelombang seismik. Menurut Tijow, Sompie & Ticoth (2018) menyatakan bahwa analisis potensi likuefaksi selama berlangsungnya getaran gempa, belum terjadi disipasi yang berarti di lapisan tanah, dengan kata lain belum terjadi redistribusi tekanan air pori pada massa tanah. Maka dari itu tanah likuefaksi erat kaitannya dengan gempa bumi. Data gempa bumi didapatkan dari laman *Peer Ground Motion Database* (2023) dalam penelitian ini ada data gempa yang akan digunakan berlokasi di Iran pada tahun 1978 besaran 7,35 Mw berdurasi 20,98 detik dan percepatan maksimum sebesar 3,176 m/s.



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Waktu dengan Percepatan Berlokasikan Iran Tahun 1978

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 *Finite Element Method (FEM)*

Menurut Tsani (2022) metode dalam analisis Plaxis 3D dengan model elemen hingga atau dengan kata lain *Finite Element Method (FEM)* yaitu prosedur perhitungan yang dapat dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan rekayasa. Pada metode ini permasalahan dibagi menjadi sejumlah elemen dengan jumlah hingga untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya dengan jumlah elemen yang tidak terhingga. Pada bagian ini disebut sebagai elemen yang saling berhubungan dari tiap elemennya dan dihubungkan dengan nodal

### 3.2 UBC3D-PLM

Menurut Kalhor, Almani & Kumar (2023) *material model* UBC3D-PLM dalam pemodelan ini merupakan pilihan terbaik untuk menganalisis karakteristik tanah berpotensi likuefaksi. Salah satu keterbatasan dari model UBC3D-PLM yaitu model ini hanya untuk tanah berpasir dan tidak cocok untuk perilaku jenis tanah lainnya. Adapun parameter yang diinputkan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Table 1** Parameter UBC3D-PLM

| <b>Name</b>                          | <b>Symbol</b> | <b>Unit</b> | <b>Method</b>  |                                                                                              |                                    |
|--------------------------------------|---------------|-------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Contant volume friction angle</b> | $\phi_{cv}$   | (°)         | CD TxC or DSS  | $\phi_p = \phi_{cv} + \frac{(N_1)_{60}}{10} + \max\left(0; \frac{(N_1)_{60} - 15}{5}\right)$ | Petalas dan Galavi (2013)          |
| <b>Peak friction angle</b>           | $\phi_p$      | (°)         | CD TxC or DSS  | $\phi_p = 29 \times (N_1)_{60}^{0.10}$                                                       | Petalas dan Galavi (2013)          |
| <b>Cohesion</b>                      | $c$           | kPa         | CD TxC or DSS  | 0                                                                                            | Petalas dan Galavi (2013)          |
| <b>Elastic Shear Modulus</b>         | $K_G^e$       | -           | Curve Fit      | $K_G^e = 21.7 \times 20 \times (N_1)_{60}^{0.333}$                                           | Petalas dan Galavi (2013)          |
| <b>Elastic Plastic Modulus</b>       | $K_G^p$       | -           | Curve Fit      | $K_G^p = K_G^e \times (N_1)_{60}^2 \times 0.003 + 100$                                       | Petalas dan Galavi (2013)          |
| <b>Elastic Bulk Modulus</b>          | $K_B^e$       | -           | Curve Fit      | $K_B^e = 0.7 \times K_G^e$                                                                   | Petalas dan Galavi (2013)          |
| <b>Elastic Shear Modulus Index</b>   | $ne$          | -           | Curve Fit      | 0.5                                                                                          | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>Elastic Bulk Modulus Index</b>    | $me$          | -           | Curve Fit      | 0.5                                                                                          | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>Plastic Shear Modulus Index</b>   | $np$          | -           | Curve Fit      | 0.5                                                                                          | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>Failure Ratio</b>                 | $Rf$          | -           | Curve Fit      | 0.9                                                                                          | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>Atmospheric Pressure</b>          | $P_A$         | kPa         | Standard Value | 100                                                                                          | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>Tension Cut-off</b>               | $\sigma_t$    | kPa         | -              | 0                                                                                            | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>Densification Factor</b>          | $fa_{Chard}$  | -           | Curve Fitting  | 1                                                                                            | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |
| <b>SPT Value</b>                     | $N1_{60}$     | -           | In-Situ        | $(N_1)_{60} = C_N \cdot C_{ER} \cdot N$                                                      | Look (2007)                        |
| <b>Post Liquefaction Factor</b>      | $fa_{Cpost}$  | -           | Curve Fitting  | 0.2-1                                                                                        | (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020) |

Sumber: (PLAXIS 3D-Reference Manual, 2020)

Menurut Laera (2015) menyatakan likuefaksi diartikan dengan rasio tekanan pori berlebih ( $r_u$ ), rasio tekanan pori berlebih dan tegangan vertical efektif awal sebelum terjadi beban dinamik pada kedalaman tertentu, pada aplikasi Plaxis 3D dengan menggunakan *material model* UBC3D-PLM,  $r_u$  didefinisikan dalam **Persamaan 1**

$$r_u = 1 - \frac{\sigma'v}{\sigma'v_0} \quad (1)$$

Dimana:

$\sigma'v$  = Tekanan vertikal efektif ketika perhitungan dinamik

$\sigma'v_0$  = Tekanan vertikal efektif awal sebelum Gerakan seismic

## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan Data Parameter Tanah

Pengolahan data parameter tanah didapat berdasarkan hasil pengujian SPT. Dilihat pada **Tabel 2** kedalaman yang didapat berdasarkan data borlog sedalam 29.5 m yang dibagi menjadi 5 lapisan disesuaikan dengan kerapatan tanah pasir tersebut. Pada lapisan 1 kerapatan tanah loose sand, lapisan 2 kerapatan tanah medium dense, lapisan 3 kerapatan tanah very dense, lapisan 4 kerapatan tanah medium dense, dan untuk lapisan 5 kerapatan tanah dense.

**Table 2** Klasifikasi Lapisan Tanah

| Titik Bor | Kedalaman (m) | N-SPT | N-SPT Rata-rata | Jenis Lapisan | Lapisan |
|-----------|---------------|-------|-----------------|---------------|---------|
| BH-03     | 0 - 1,5       | 7     | 6               | Loose         | Sand 1  |
|           | 1,5-3,5       | 6     |                 |               |         |
|           | 3,5-5,5       | 3     |                 |               |         |
|           | 5,5 - 7,5     | 8     |                 |               |         |
|           | 7,5 - 9,5     | 18    | 19              | Med. Dense    | Sand 2  |
|           | 9,5 - 11,5    | 19    |                 |               |         |
|           | 11,5 - 13,5   | 22    |                 |               |         |
|           | 13,5 - 15,5   | 16    |                 |               |         |
|           | 15,5 - 17,5   | 55    | 58              | V. Dense      | Sand 3  |
|           | 17,5 - 19,5   | 60    |                 |               |         |
|           | 19,5 - 21,5   | 21    | 27              | Med. Dense    | Sand 4  |
|           | 21,5 - 23,5   | 24    |                 |               |         |
|           | 23,5 - 25,5   | 35    |                 |               |         |
|           | 25,5 - 27,5   | 27    |                 |               |         |
|           | 27,5 - 29,5   | 50    | 50              | Dense         | Sand 5  |

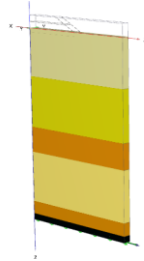
Data parameter tanah pada pemodelan yang digunakan merupakan hasil korelasi berdasarkan nilai N-SPT pada titik bor berdasarkan pada gambar diatas yang telah dirata-ratakan. Adapun data parameter tanah yang akan dimodelkan menggunakan Model 3D dapat dilihat pada **Tabel 3**

**Table 3** Input Parameter UBC3D-PLM

| Material model   |                   | sand1       | sand2       | sand3       | sand4       | sand5       |
|------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                  |                   | UBC3D-PLM   | UBC3D-PLM   | UBC3D-PLM   | UBC3D-PLM   | UBC3D-PLM   |
| type of behavior |                   | Undrained A | Undrained A | Undrained A | Undrained A | Undrained A |
| Parameter        | Satuan            | Loose       | Med. Dense  | V. Dense    | Med. Dense  | V. Dense    |
| Kedalaman        | m                 | 0 - 7,5     | 7,5 - 15,5  | 15,5 - 19,5 | 19,5 - 27,5 | 27,5 - 29,5 |
| $\gamma_{sat}$   | kN/m <sup>3</sup> | 17,5        | 17,5        | 22          | 20          | 22          |
| $\gamma_{unsat}$ | kN/m <sup>4</sup> | 16,5        | 16,5        | 21          | 19          | 21          |
| $K_B^e$          | [-]               | 604,66      | 786,53      | 1077,25     | 781,86      | 945,14      |
| $K_G^e$          | [-]               | 863,79      | 1123,62     | 1538,92     | 1116,94     | 1350,20     |
| $K_G^p$          | [-]               | 261,75      | 1120,91     | 9347,00     | 1079,15     | 3797,77     |
| <b>me</b>        | [-]               | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0,5         |
| <b>ne</b>        | [-]               | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0,5         |
| <b>np</b>        | [-]               | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0,5         |
| $\Phi_{cv}$      | °                 | 34,87       | 36,85       | 37,94       | 36,81       | 37,76       |
| $\phi_p$         | °                 | 35,66       | 38,59       | 42,41       | 38,52       | 40,78       |
| $(N_1)_{60}$     | [-]               | 7,90        | 17,40       | 44,75       | 17,09       | 30,21       |
| $f_{dens}$       | [-]               | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |
| $f_{epost}$      | [-]               | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |
| $R_f$            | [-]               | 0,8068      | 0,7166      | 0,6219      | 0,7186      | 0,6600      |

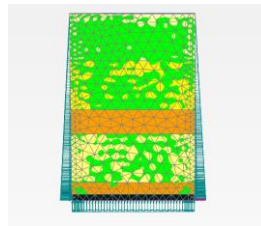
#### 4.2 Analisis Kondisi Eksisting

Analisis potensi likuefaksi dimodelkan dengan adanya penambahan beban dinamik untuk mengetahui potensi likuefaksi yang terjadi. Berikut merupakan geometri kondisi eksisting yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



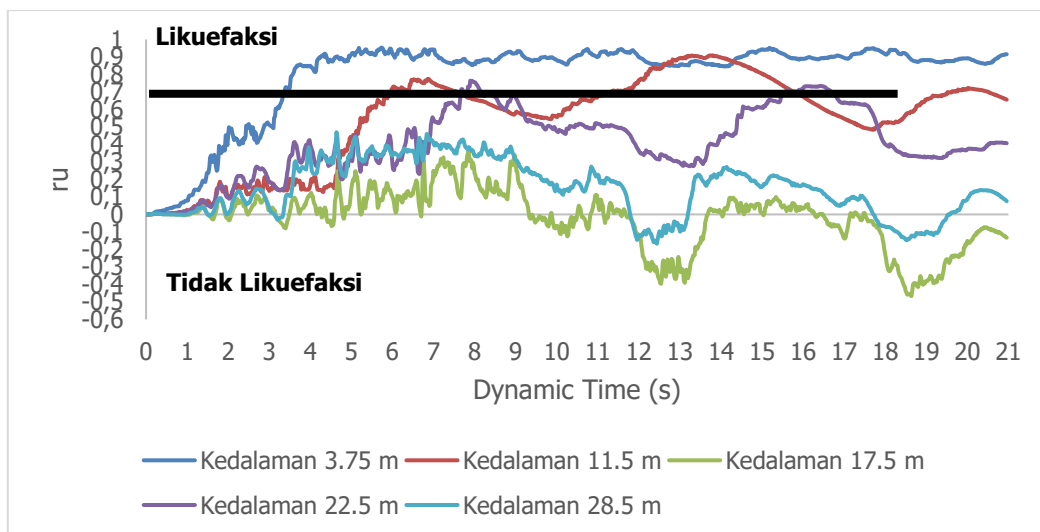
**Gambar 3.** Geometri Pemodelan

Berdasarkan **Gambar 4** lapisan tanah yang berpotensi likuefaksi terjadi pada lapisan 1, 2, dan 4 yang dimana lapisan tersebut termasuk kedalam kategori *loose sand* dan *medium sand* dengan memiliki N-SPT dibawah 23, sedangkan untuk lapisan 3 dan 5 tidak terjadi likuefaksi dikarenakan pada lapisan tersebut sudah memiliki N-SPT lebih dari 30 dikarenakan apabila lapisan tanah dengan N-SPT tersebut sudah dianggap terlalu padat untuk terjadinya likuefaksi.



**Gambar 4.** Kondisi Likuefaksi

Hasil dari pemodelan pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa terdapat garis berwarna hitam yang menunjukan ambang batas untuk potensi likuefaksi yaitu  $r_u$  dengan nilai ambang batas sebesar 0,7, apabila grafik berada di bawah dari garis hitam tersebut maka tanah tidak berpotensi likuefaksi dan apabila berada di atas dari garis hitam maka akan berpotensi terjadinya likuefaksi.



**Gambar 5.** Grafik Tekanan Air Pori Berlebih Berbanding *Dynamic Time*

## 5. KESIMPULAN

Evaluasi untuk tanah berpotensi likuefaksi dapat dilakukan dengan menggunakan *material mode/UBC3D-PLM* untuk memodelkan potensi likuefaksi. Berdasarkan hasil dari grafik tekanan air pori berlebih berbanding waktu gempa dapat disimpulkan dari peninjauan likuefaksi dilakukan pada kedalaman tanah yang berbeda-beda yaitu 3,75 m, 11,5 m, 17,5 m, 22,5 m dan 28,5 m. Likuefaksi terjadi pada kedalaman 3,75 m, 11,5 m, dan 22,5 m, dengan grafik yang berada diatas ambang batas dari nilai  $r_u$  sebesar 0.7 namun pada kedalaman 17,5 m dan 28,5 m tidak terjadi likuefaksi dikarenakan pada kedalaman tersebut memiliki N-SPT lebih dari 30 dan pada grafik berada dibawah dari ambang batas yang menandakan lapisan tersebut tidak berpotensi likuefaksi.

## DAFTAR RUJUKAN

- Beaty, M. H., & Perlea, V. G. (2011). *Several observations on advanced analyses with liquefiable materials. Thirty first annual USSD conference on 21st century dam design-advances and adaptations.*
- Cheng, C. T., Chiou, S. J., Lee, C. T., & Tsai, Y. Ben. (2007). Study on probabilistic seismic hazard maps of taiwan after chi-chi earthquake. *Journal of GeoEngineering*, 2(1), 19–28. [https://doi.org/10.6310/jog.2007.2\(1\).3](https://doi.org/10.6310/jog.2007.2(1).3)
- Day, R. W. (2002). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Kalhor, K. M., Almani, Z. A., & Kumar, A. (2023). Numerical Modelling of The Behavior of Shallow Foundation on The Liquefiable Soil Treated with Jet-Grouted Columns. *Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5(3), 2289–2301.
- Laera, A., & Brinkgreve, R. B. J. (2015). *Site response analysis and liquefaction evaluation*. Netherlands: Delft University of Technology & PLAXIS bv.
- Mangunpraja, D. M., & Prihatiningsih, A. (2019). Analisis Perbaikan Tanah Sebagai Bentuk Mitigasi Bencana Likuefaksi Yang Dapat Diaplikasikan Masyarakat Di Palu. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 95. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6167>
- Petalas, A., & Galavi, V. (2013). *Plaxis Liquefaction Model UBC3D-PLM*. PLAXIS Knowledge Base.
- PLAXIS 3D-Reference Manual. (2020). *CONNECT Edition V20.02*. Bentley.
- Rosyidi, S. A. P. (2020). *Analisis Potensi Likuefaksi Tanah Berbasis Teknik Gelombang Seismik*. Yogyakarta: The Phinisi Press.
- Tijow, K. C., Sompie, O. B. A., & Ticoh, J. H. (2018). Analisis Potensi Likuefaksi Tanah Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT). Studi Kasus: Dermaga Bitung, Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 491–500.
- Tsani, M. A. (2022). *Pemodelan 3D Geotextile-Encased Stone Column (GESC) dalam Perbaikan Tanah Lunak pada Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing*. Institut Teknologi Nasional.
- Tohari, A. (2007). *Kajian Likuefaksi dan Sumber Daya Air*. Puslit Geoteknologi LIPI.
- Warouw, A. G. D., Manoppo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2019). Analisis Potensi Likuefaksi dengan Menggunakan Nilai SPT. *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1453–1464.