



ANALISIS TINGKAT POTENSI LIKUIFAKSI DI KAWASAN UNDERPASS YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT

MUHAMAD AGUNG RAHMAN¹, TEUKU FAISAL FATHANI^{2*}, AHMAD RIFA'I², MOCHAMMAD SYIDIK HIDAYAT³

¹Program Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

*Corresponding author: ✉ tfathani@ugm.ac.id

Naskah diterima : 9 Juni 2020. Disetujui: 23 Juli 2020

ABSTRAK

Fenomena likuifaksi akibat gempa merupakan berkurangnya daya dukung tanah karena hilangnya *inter-granular stress* antar butir-butir tanah untuk menahan beban getaran gempa akibat naiknya tegangan air pori. Dampak likuifaksi dapat menimbulkan kerugian dan kerusakan yang besar pada infrastruktur. Analisis potensi likuifaksi dilakukan di kawasan *Underpass Yogyakarta International Airport (YIA)* yang termasuk kedalam formasi endapan alluvial dengan menggunakan data *N-SPT* pada lima data bor. Analisis potensi likuifaksi bertujuan mengetahui nilai *safety factor (SF)* yaitu perbandingan nilai *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* yang merupakan tahanan tanah terhadap likuifaksi dan *Cyclic Stress Ratio (CSR)* yang merupakan tegangan geser yang timbul akibat gempa di kawasan tersebut. Peristiwa likuifaksi akan terjadi jika nilai *SF* kurang dari satu. Analisis tingkat potensi likuifaksi menggunakan metode *Liquefaction Potential Index (LPI)*. Hasil analisis potensi likuifaksi di kawasan *Underpass YIA* menunjukkan bahwa lapisan tanah pasir berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 1 m hingga 6 m dari permukaan tanah pada sisi timur (titik bor BH01, BH02) dan mulut *underpass* sisi barat (BH05). Pada sisi barat (titik bor BH03 dan BH04), lapisan tanah pasir di lokasi *Underpass YIA* tidak berpotensi likuifaksi. Berdasarkan analisis *LPI* menunjukkan seluruh kawasan *Underpass YIA* rentan terhadap ancaman likuifaksi ($LPI > 5$) jika terjadi gempa bumi dengan nilai percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) lebih dari 0,44g.

Kata kunci : gempa bumi, *Liquefaction Potential Index*, *Cyclic Resistance Ratio*, *Cyclic Stress Ratio*, *Factor of Safety*

1. PENDAHULUAN

Underpass Yogyakarta International Airport (YIA) sepanjang 1,3 km, merupakan *underpass* terpanjang di Indonesia. *Underpass* ini dibangun melintasi bandar udara *Yogyakarta International Airport (YIA)* di Daerah Istimewa Yogyakarta/DIY (Gambar 1). Pembangunan *Underpass YIA* dilakukan untuk menghubungkan Jalan Jalur Lintas Selatan (JJLS) Jawa

DOI : <https://doi.org/10.25077/jrs.16.2.91-104.2020>

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

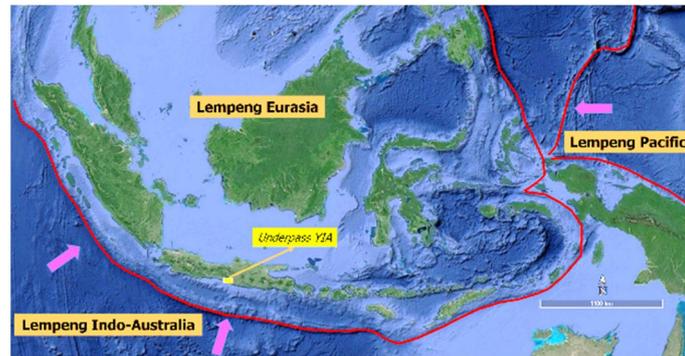
yang terputus sebagai dampak dari pembangunan Bandar Udara *Yogyakarta International Airport (YIA)*. Lokasi *Underpass YIA* yang terletak di pesisir pantai selatan Pulau Jawa rentan terhadap gempa yang berpotensi terjadi likuifaksi. Kerentanan terhadap bencana gempa terjadi dikarenakan daerah pesisir selatan Pulau Jawa dekat dengan pertemuan dua lempeng tektonik aktif yakni lempeng *Eurasia* dan Lempeng Indo-Australia (Gambar 2). Adapun potensi likuifaksi akibat gempa disebabkan oleh kondisi geologi dan geoteknik di kawasan *Underpass YIA*.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Yogyakarta Jawa, lokasi pembangunan *Underpass YIA* termasuk dalam formasi geologi endapan alluvial. Selain itu, menurut Rahardjo, Sukandarrumidi, and Rosidi (1995) stratigrafi Kabupaten Kulon Progo tersusun oleh tatanan stratigrafi regional dari tertua sampai termuda, yaitu Formasi Nanggulan (Teon), Formasi Andesit Tua (Tmork), Formasi Jonggrangan (Tmj), Formasi Sentolo (Tmps), Formasi Wates, Formasi Sleman dan Yogyakarta. Lokasi *Underpass YIA* terdapat di Formasi Wates bagian tengah dan selatan yang terdiri dari endapan alluvial di sebelah utara dan endapan gumpuk pasir di sebelah selatan yang berumur Holosen dan didominasi oleh litologi pasir.



Gambar 1. Lokasi *Underpass YIA* (Rahman, 2019)

Likuifaksi merupakan proses transformasi tanah padat (solid) yang jenuh air dan dalam kondisi tak terdrainase menjadi seperti cairan (liquid) yang terjadi akibat beban siklik (Iqbal, Tohari, Sadisun, & Nugroho, 2014). Perambatan gelombang geser gempa menimbulkan beban siklik pada tanah sehingga menyebabkan kenaikan tekanan air pori. Jika peningkatan tekanan air pori sama dengan tekanan efektif tanah maka tanah tersebut mengalami likuifaksi. Korelasi antara kedalaman tanah dan tegangan efektif tanah dapat digunakan untuk mengevaluasi fenomena likuifaksi di suatu daerah (Jalil, Fathani, Satyarno, & Wilopo, 2020).



Gambar 2. Peta lempeng tektonik Indonesia (Rahman, 2019)

Di lokasi *Underpass YIA* terdapat lapisan pasir dengan kepadatan relatif *medium dense* dan nilai *N-SPT* berkisar antara 13-22 yang berlokasi di bawah muka air tanah atau jenuh (KSO WIKI_MCM, 2018). Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis apakah lapisan pasir dengan kondisi jenuh tersebut berpotensi mengalami likuifaksi atau tidak.

2. POTENSI LUKUIFAKSI

2.1. Evaluasi Potensi Likuifaksi

Evaluasi potensi likuifaksi bertujuan untuk mengetahui nilai *Factor Safety (FS)* terhadap terjadinya likuifaksi di suatu kawasan. Likuifaksi akan terjadi jika nilai *FS* lebih kecil dari satu ($FS < 1$). Nilai *FS* adalah perbandingan nilai *Cyclic Stress Ratio (CSR)* yang merupakan tegangan geser yang timbul akibat gempa dan nilai *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* yang merupakan ketahanan tanah terhadap likuifaksi. Nilai *CSR* dievaluasi dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh (Seed & Idriss, 1970), yaitu:

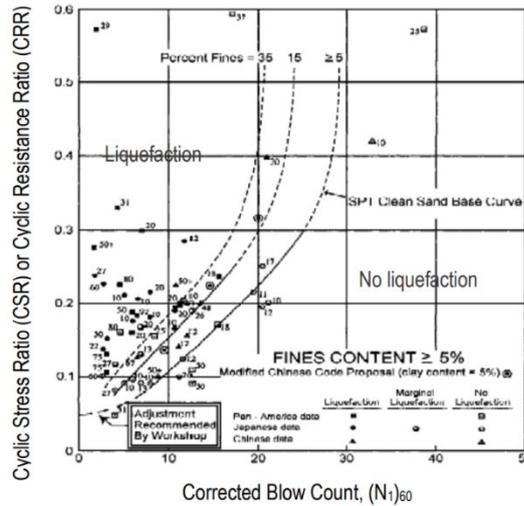
$$CSR = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma}{\sigma'} \cdot r_d \quad (1)$$

Cyclic Stress Ratio (CSR) merupakan sebuah variable yang digunakan untuk mendefinisikan gejala kegenpaan yang terjadi pada lapisan tanah (Warman & Jumas, 2013). Nilai percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) ditentukan dengan berpedoman pada peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Sedangkan nilai momen magnitude M_w digunakan data historis gempa Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2006 menurut *USGS* sebesar 6,3.

Rauch dalam Youd et al. (2001) mengembangkan rumus evaluasi *CRR* berdasarkan grafik hubungan hasil nilai *SPT* terkoreksi *overburden* dan efisiensi energi dengan *CRR* yang ditunjukkan pada Gambar 6. Kurva pasir bersih pada besaran magnitudo gempa 7,5 menjadi dasar dalam perumusan evaluasi $CRR_{7,5}$ yang disajikan pada persamaan berikut:

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (2)$$

dengan $CRR_{7,5}$ adalah nilai *CRR* dan $(N_1)_{60cs}$ adalah *N-SPT* terkoreksi *finis content*.



Gambar 3. Kurva variasi fines content untuk magnitudo gempa, $M_w = 7,5$ (Youd et al., 2001)

Persamaan $CRR_{7,5}$ hanya berlaku untuk $(N_1)_{60cs} < 30$ sedangkan $(N_1)_{60cs} \geq 30$ tanah dianggap sangat padat, kemungkinan terjadi likuifaksi sangat kecil. Selanjutnya nilai factor keamanan/ *Factor of Safety* (FS) terhadap likuifaksi dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan Youd et al. (2001) sebagai berikut:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \times MSF \tag{3}$$

dengan MSF adalah faktor pengali magnitudo gempa (*Magnitude Scaling Factor*) dalam skala momen agar setara dengan CRR untuk gempa $M_w = 7,5$. Nilai MSF yang direkomendasikan oleh Youd et al. (2001) dengan M merupakan besaran magnitudo gempa yaitu:

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \tag{4}$$

2.2. Evaluasi *Liquefaction Potential Index* (LPI)

Liquefaction Potential Index (LPI) adalah metode untuk memprediksi tingkat potensi likuifaksi yang diperkenalkan oleh Iwasaki, Tokida, and Tatsuoka (1981). Nilai LPI ekuivalen dengan ketebalan tanah yang mengalami likuifaksi, kedalaman lapisan tanah yang terlikuifaksi, dan faktor keamanan. Iwasaki et al. (1981) mengusulkan rumus LPI seperti disajikan pada persamaan di bawah ini. Adapun klasifikasi nilai LPI terdapat pada Tabel 1.

$$LPI = \int_0^{20\text{ m}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \tag{5}$$

$$F(z) = 1 - FS \quad \text{untuk } FS < 1 \tag{6}$$

$$F(z) = 0 \quad \text{untuk } FS \geq 1 \tag{7}$$

$$w(z) = 10 - 0,5z \quad \text{untuk } z < 20 \text{ m} \tag{8}$$

$$w(z) = 0 \quad \text{untuk } z \geq 20 \text{ m} \tag{9}$$

dengan $F(z)$ adalah tingkat kerusakan dari suatu lapisan dalam analisis likuifaksi, dan $w(z)$ adalah faktor bobot kedalaman. Apabila semakin dalam lapisan yang terlikuifaksi maka pengaruhnya terhadap kerusakan di permukaan tanah semakin kecil.

Tabel 1. Kategori potensi likuifaksi berdasarkan LPI (Iwasaki et al., 1981)

Nilai <i>LPI</i>	Tingkat
$LPI = 0$	Sangat rendah
$0 < LPI \leq 5$	Rendah
$5 < LPI \leq 15$	Tinggi
$LPI > 15$	Sangat Tinggi

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan yang meliputi : (1) Pengumpulan data lapangan berupa data N-SPT di kawasan *Underpass YIA*, (2) Analisis likuifaksi menggunakan metode *simplified procedure*, (3) Analisis *Liquefaction Potential Index (LPI)* yang dikembangkan oleh Iwasaki et al. (1981).

Lokasi penelitian dilaksanakan di kawasan *Underpass Yogyakarta International Airport (YIA)*. Data yang digunakan berupa data geoteknik berupa data uji lapangan yaitu *Standard Penetration Test (SPT)* pada kawasan *Underpass YIA* sebanyak 5 (lima) titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Tahapan analisis potensi likuifaksi dibagi menjadi tiga tahap (Day, 2002) yaitu analisis *Cyclic Stress Ratio (CSR)* menggunakan metode *simplified procedure* yang dikemukakan oleh Seed and Idriss (1970), analisis *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* yang dikembangkan oleh Rauch, dan analisis faktor keamanan (*Factor of Safety*) terhadap likuifaksi. Dalam analisis ini, digunakan nilai percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) berdasarkan SNI 1726-2012. Sedangkan nilai momen magnitudo gempa, M_w sebesar 6,3.



Gambar 3. Lokasi 5 titik bor di kawasan *Underpass YIA*

Selanjutnya dilakukan analisis tingkat potensi likuifaksi menggunakan metode *Liquefaction Potential Index (LPI)* yang diperkenalkan oleh Iwasaki et al. (1981). Maka diperoleh hasil berupa indeks/tingkat potensi likuifaksi di kawasan *Underpass YIA* dengan kategori sangat rendah sampai dengan sangat tinggi.

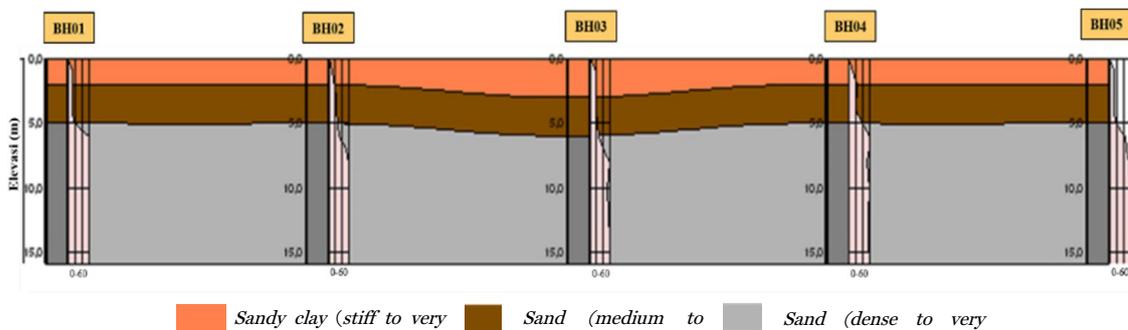
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Tanah

Hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium dari lima titik bor di sepanjang *Underpass YIA* diketahui secara umum lapisan tanah yang ditemukan di sebagian besar lokasi pada bagian permukaan ditemukan lapisan lempung lanauan atau lempung pasir (tanah kohesif). Lapisan tanah lempung pasir tersebut ditemukan dengan bervariasi dari 0,5 m

hingga 3 m. berdasarkan nilai $N-SPT$ lapisan lempung pasir tersebut memiliki konsistensi *stiff to very stiff*.

Di bawah lapisan lempung ditemukan lapisan pasir (non-kohefif) hingga akhir pengeboran pada kedalaman 16 m. untuk kedalaman 6-8 m dari permukaan tanah asli, lapisan pasir yang ditemukan memiliki ukuran butiran yang halus. Berdasarkan nilai $N-SPT$ nya lapisan pasir ini memiliki kepadatan *medium dense*. Sedangkan untuk lapisan pasir dari kedalaman 8 m atau lebih, tanah pasir ini memiliki ukuran butiran sedang hingga kasar, dan memiliki kepadatan *dense to very dense*. Gambar 4 menunjukkan lokasi titik bor dan Adapun Gambar 5 menunjukkan penampang melintang litologi Kawasan *Underpass YIA*. Hasil pengamatan muka air tanah pada saat proses pengeboran menunjukkan bahwa posisi muka air tanah yang ditemukan bervariasi antara -3,7 m hingga -4,5 m dari permukaan tanah. Sehingga terdapat lapisan *medium dense* yang terendam atau jenuh pada kedalaman 4-6 m. Muka air tanah yang dangkal (dari permukaan) sangat mempengaruhi tanah terhadap potensi likuifaksi karena akan mempercepat naiknya tegangan air pori (Putra, Hakam, & Lastaruna, 2009).



Gambar 4. Penampang melintang litologi Kawasan *Underpass YIA*

4.2. Analisis Potensi Likuifaksi

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa kawasan *Underpass YIA* termasuk ke dalam situs tanah sedang (SD). Besar nilai koefisien kelas situs F_{PGA} bergantung pada percepatan batuan dasar puncak. Nilai koefisien kelas situs F_{PGA} setelah dilakukan interpolasi didapatkan sebesar 1,098. Dari hasil analisis seismik berdasarkan SNI 1726:2012 pada kawasan *Underpass YIA* didapatkan nilai percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) sebesar 0,440g atau 4,326 m/s. Sedangkan analisis momen magnitudo gempa, M_w didasarkan pada data historis gempa besar pada Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2006 menurut *USGS* dimana besar momen magnitudo gempa M_w yang terjadi sebesar 6,3.

Perhitungan dilakukan pada titik pengujian BH01, dengan kedudukan muka air tanah berada pada kedalaman 4 meter. Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau adalah pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah. Pada kedalaman ini, berat volume tanah sebesar 17 kN/m³. Besarnya tegangan total tanah (σ) dan tegangan efektif tanah (σ') pada kedalaman 1 meter di titik BH01 sebagai berikut:

Tegangan total tanah (σ) :

$$\sigma = \gamma_{sat} \cdot Z$$

$$\sigma = 17 \times 1 = 17 \text{ kN/m}^3$$

Tegangan efektif tanah (σ') :

$$\begin{aligned}\sigma' &= (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot z \\ \sigma' &= (17 - 0) \times 1 = 17 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

Tahap selanjutnya menentukan nilai koefisien *stress reduction*, r_d yang digunakan untuk mengasumsikan gerakan tanah sebagai gerakan yang lebih fleksibel, dimana tanah akan berdeformasi jika mendapatkan gaya dari luar. Nilai r_d merupakan fungsi dari kedalaman yang akan berkurang seiring dengan kedalaman tanah. Hasil perhitungan koefisien *stress reduction* (r_d) titik pengujian BH01 pada kedalaman 1 meter adalah 0,99. Semakin dalam lapisan tanah maka semakin kecil koefisien *stress reduction* (r_d) dari lapisan tanah yang ditinjau. Nilai *CSR* dapat ditentukan seperti pada perhitungan di bawah ini.

$$CSR = 0,65 \times \frac{0,44g}{g} \times \frac{17}{17} \times 0,99 = 0,29$$

Dengan cara yang sama, nilai seluruh *CSR* tiap lapisan tanah pada seluruh titik pengujian dapat dihitung. Hasil seluruh nilai *CSR* pada 5 titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 - Tabel 6. Koreksi *overburden* dilakukan karena nilai SPT akan lebih besar jika kedalaman tanah semakin dalam meskipun kondisi tanahnya sama (Hardiyatmo, 2018). Koreksi *overburden* pada kedalaman 1 meter di titik pengujian BH01 adalah sebagai berikut :

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'}} = \sqrt{\frac{100}{17}} = 2,425 > 1,7$$

Koreksi *overburden* pada kedalaman 1 meter adalah 2,425. Nilai koreksi *overburden* melebihi dari batas atas dari koreksi *overburden* yaitu 1,70 sehingga nilai koreksi yang dipakai adalah nilai koreksi *overburden* maksimum yaitu 1,70. Pada analisis ini, diasumsikan nilai C_E , C_B , dan C_S adalah 1. Nilai $N\text{-SPT}$ di titik BH01 pada kedalaman 1 meter adalah 10 pukulan. sehingga N SPT terhadap pengujian di lapangan dapat dihitung seperti perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned}(N_1)_{60} &= N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \\ (N_1)_{60} &= 10 \times 1,7 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1 = 12,75\end{aligned}$$

Fines Content (FC) merupakan partikel tanah yang lebih kecil dari 0,075 mm (saringan no.200). Dasar dari analisis potensi likuifaksi adalah pasir bersih (*clean sand*) yang mana kandungan butiran halusnya kurang dari 5%. Nilai *SPT* perlu dikoreksi terhadap pengaruh *fines content* agar analisis potensi likuifaksi sesuai dengan kondisi lapangan (Pawirodikromo, 2012). *Fines content* di titik BH01 pada kedalaman 1 meter diasumsikan kurang dari 5%. Nilai koreksi *FC* pada kedalaman 1 meter adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\alpha &= 0 \text{ untuk } FC \leq 5\% \\ \beta &= 1 \text{ untuk } FC > 5\% \\ (N_1)_{60cs} &= \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60} \\ (N_1)_{60cs} &= 0 + 1 \times 12,75 = 12,75\end{aligned}$$

Nilai $N\text{-SPT}$ terkoreksi pada kedalaman 1 meter adalah 12,75. Nilai *CRR* pada kedalaman 1 meter dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} = 0,14$$

Nilai *CRR* pada kedalaman 1 meter adalah 0,14. Hasil seluruh nilai *CRR* pada 5 titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 - Tabel 6.

Factor of Safety (FS) adalah rasio antara *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* dengan *Cyclic Stress Ratio (CSR)* yang menunjukkan indikasi bahaya potensi likuifaksi. Apabila nilai $FS < 1$ maka tanah di lapisan tersebut berpotensi mengalami likuifaksi sedangkan jika $FS \geq 1$ maka tanah tidak akan mengalami likuifaksi.

Magnitude Scaling Factor (MSF) didefinisikan sebagai faktor pengali magnitudo gempa dalam skala momen agar setara dengan $CRR_{7,5}$. *MSF* diperkenalkan oleh Seed and Idriss (1982). Besar magnitudo yang digunakan dalam analisis ini adalah gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 dengan Magnitudo sebesar 6,3 M_w . Hasil perhitungan *MSF* di titik BH01 sebagai berikut:

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} = \frac{10^{2,24}}{6,3^{2,56}} = 1,56$$

Evaluasi *factor of safety* pada kedalaman 1 meter dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan Youd et al. (2001) sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \times MSF = \frac{0,14}{0,29} \times 1,56 = 0,76$$

Dari perhitungan di atas, nilai *FS* pada kedalaman 1 meter di titik pengujian BH01 memiliki nilai sebesar 0,76. Nilai *FS* yang diperoleh memiliki nilai kurang dari 1, hal ini menandakan bahwa titik BH01 pada kedalaman 1 meter berpotensi terjadi likuifaksi. Hasil perhitungan nilai *FS* setiap kedalaman lapisan tanah pada 5 titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 - Tabel 6.

Tabel 2. Hasil analisis potensi likuifaksi titik pengujian BH01

No	Kedalaman (m)	N	CSR	$CRR_{7,5}$	FS	Status	Keterangan
1	-1	10	0,29	0,14	0,76	Likuifaksi	$FS < 1$
2	-3	11	0,28	0,13	0,75	Likuifaksi	$FS < 1$
3	-4	13	0,28	0,14	0,76	Likuifaksi	$FS < 1$
4	-5	17	0,31	0,18	0,88	Likuifaksi	$FS < 1$
5	-6	60	0,33	0,34	1,61	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
6	-7	60	0,35	0,37	1,64	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
7	-8	60	0,36	0,33	1,45	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
8	-10	60	0,40	0,30	1,18	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
9	-12	60	0,43	0,31	1,12	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
10	-14	60	0,43	0,28	1,02	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
11	-16	60	0,42	0,26	0,95	Tidak likuifaksi	$(N_1)_{60cs} \geq 30$

Tabel 3. Hasil analisis potensi likuifaksi titik pengujian BH02

No	Kedalaman (m)	N	CSR	$CRR_{7,5}$	FS	Status	Keterangan
1	-1	11	0,29	0,15	0,82	Likuifaksi	$FS < 1$
2	-3	22	0,28	0,27	1,53	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
3	-4	24	0,29	0,26	1,39	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
4	-5	28	0,32	0,34	1,64	Tidak likuifaksi	$FS > 1$
5	-6	29	0,35	0,32	1,46	Tidak likuifaksi	$FS > 1$

No	Kedalaman (m)	N	CSR	CRR _{7,5}	FS	Status	Keterangan
6	-7	49	0,36	0,27	1,15	Tidak likuifaksi	FS > 1
7	-8	60	0,37	0,35	1,46	Tidak likuifaksi	FS > 1
8	-10	60	0,38	0,29	1,19	Tidak likuifaksi	FS > 1
9	-12	60	0,37	0,26	1,12	Tidak likuifaksi	FS > 1
10	-14	60	0,35	0,21	0,95	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
11	-16	60	0,32	0,15	0,72	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30

Tabel 4. Hasil analisis potensi likuifaksi titik pengujian BH03

No	Kedalaman (m)	N	CSR	CRR _{7,5}	FS	Status	Keterangan
1	-1	18	0,29	0,26	1,40	Tidak likuifaksi	FS > 1
2	-3	17	0,28	0,20	1,11	Tidak likuifaksi	FS > 1
3	-4	20	0,28	0,20	1,14	Tidak likuifaksi	FS > 1
4	-5	22	0,30	0,22	1,16	Tidak likuifaksi	FS > 1
5	-6	28	0,33	0,29	1,39	Tidak likuifaksi	FS > 1
6	-7	40	0,35	0,02	0,08	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
7	-8	60	0,36	0,34	1,49	Tidak likuifaksi	FS > 1
8	-10	52	0,37	0,19	0,80	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
9	-12	54	0,36	0,20	0,84	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
10	-14	60	0,34	0,22	0,99	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
11	-16	60	0,32	0,16	0,77	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30

Tabel 5. Hasil analisis potensi likuifaksi titik pengujian BH04

No	Kedalaman (m)	N	CSR	CRR _{7,5}	FS	Status	Keterangan
1	-2	22	0,28	0,35	1,92	Tidak likuifaksi	FS > 1
2	-4	19	0,28	0,19	1,07	Tidak likuifaksi	FS > 1
3	-6	60	0,31	0,30	1,52	Tidak likuifaksi	FS > 1
4	-7	60	0,33	0,33	1,58	Tidak likuifaksi	FS > 1
5	-8	52	0,34	0,21	0,99	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
6	-10	60	0,35	0,25	1,12	Tidak likuifaksi	FS > 1
7	-12	57	0,35	0,19	0,87	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
8	-14	54	0,33	0,02	0,09	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
9	-16	60	0,31	0,11	0,55	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30

Tabel 6. Hasil analisis potensi likuifaksi titik pengujian BH05

No	Kedalaman (m)	N	CSR	CRR _{7,5}	FS	Status	Keterangan
1	-1	12	0,29	0,16	0,89	Likuifaksi	FS < 1
2	-3	12	0,28	0,14	0,80	Likuifaksi	FS < 1
3	-4	14	0,29	0,15	0,79	Likuifaksi	FS < 1
4	-5	16	0,32	0,17	0,81	Likuifaksi	FS < 1
5	-6	44	0,35	0,15	0,66	Likuifaksi	FS < 1
6	-7	50	0,36	0,29	1,23	Tidak likuifaksi	FS > 1
7	-8	58	0,37	0,33	1,40	Tidak likuifaksi	FS > 1
8	-10	60	0,38	0,29	1,21	Tidak likuifaksi	FS > 1
9	-12	60	0,37	0,27	1,14	Tidak likuifaksi	FS > 1
10	-14	60	0,35	0,22	0,97	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30
11	-16	60	0,33	0,16	0,75	Tidak likuifaksi	(N ₁) _{60cs} ≥ 30

Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi pada 5 titik pengujian di kawasan *Underpass YIA*, umumnya potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 1-6 m di titik pengujian BH01,

BH02, dan BH05. Sedangkan di titik pengujian BH03, dan BH04 tidak berpotensi terjadi likuifaksi.

Pada keseluruhan titik pengujian, terdapat nilai FS lebih kecil dari 1 ($FS < 1$) pada kedalaman 10 m -16 m, akan tetapi lapisan tanah tersebut tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Hal ini dikarenakan nilai $N-SPT$ terkoreksi *finer content* lebih besar dari tiga puluh ($(N_1)_{60cs} \geq 30$), sehingga tanah dianggap sangat padat dengan kemungkinan terjadi likuifaksi sangat kecil dan bisa dikategorikan sebagai tanah yang tidak terlikuifaksi. Nilai CRR dari $(N_1)_{60cs} \geq 30$ dianggap sama dengan satu.

4.3. Analisis Indeks Potensi Likuifaksi

Daerah yang rawan atau tidak terhadap bahaya likuifaksi dapat dipetakan dengan analisis tingkat potensi likuifaksi. Analisis tingkat potensi likuifaksi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Liquefaction Potential Index (LPI)* yang diusulkan oleh Iwasaki et al. (1981). *LPI* membagi wilayah menjadi empat zonasi yaitu sangat tinggi, tinggi, rendah, dan sangat rendah. Analisis ini dilakukan melalui tiga tahapan yaitu:

1. Penentuan nilai tingkat kerusakan akibat likuifaksi

Nilai tingkat kerusakan akibat likuifaksi berasal dari nilai *Factor of Safety (FS)*. Nilai *FS* yang lebih dari satu menandakan bahwa lapisan tersebut tidak terjadi likuifaksi dan tidak terjadi kerusakan. Sebaliknya, *FS* kurang dari satu menandakan lapisan tersebut mengalami likuifaksi dan kerusakan. Tingkat kerusakan akibat likuifaksi dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$F(1) = 1 - FS = 1 - 0,758 = 0,242$$

2. Penentuan faktor bobot kedalaman

Penentuan faktor bobot kedalaman diperlukan untuk koreksi, karena semakin dalam lapisan terlikuifaksi maka pengaruh terhadap kerusakan di permukaan tanah akan kecil. Berikut adalah faktor bobot untuk kedalaman 1 meter hasil perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$w(1) = 10 - 0,5z = 10 - 0,5(1) = 9,5$$

3. Penentuan nilai *Liquefaction Potential Index (LPI)*

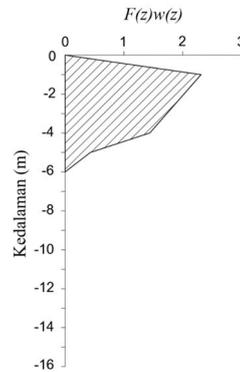
Nilai *LPI* ditentukan dengan cara numerik dengan menggunakan metode trapesium banyak pias. Pemilihan metode trapesium banyak pias dilakukan dengan pertimbangan lebih sederhana dan mewakili perhitungan. Sebelum di integralkan, nilai tingkat kerusakan dan faktor bobot dikalikan terlebih dahulu, seperti perhitungan di bawah ini.

$$Y(1) = F(z).w(z) = F(1).w(1) = 0,242 \times 9,5 = 2,303$$

Kemudian hasil perkalian diintegalkan dengan metode trapesium banyak pias. Cara menghitung metode tersebut yaitu dengan menjumlahkan luasan yang diarsir seperti pada Gambar 7.

Luasan grafik fungsi pada Gambar 7 menunjukkan nilai *Liquefaction Potential Index (LPI)* di titik pengujian BH01. Cara menghitung jumlah luasan pada Gambar 7 kedalaman 1 meter adalah dengan cara sebagai berikut:

$$I = \sum \Delta x \frac{f(x_n) + f(x_{n-1})}{2} = (1 - 0) \frac{2,303 + 0}{1} = 2,31$$



Gambar 6 Grafik fungsi $F(z).w(z)$

Dari perhitungan di atas, nilai *LPI* hingga kedalaman 1 meter pada titik pengujian BH01 adalah 2,31. Dengan cara yang sama, nilai seluruh *LPI* tiap lapisan pada seluruh titik pengujian dapat dihitung. Hasil seluruh nilai *LPI* pada setiap titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 7 – Tabel 11.

Tabel 7. Nilai *LPI* setiap lapisan di titik BH01

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	F(z)	w(z)	F(z). w(z)	Luasan	Σ	Keterangan <i>LPI</i>
1	-1	1	0,76	0,24	9,50	2,31	2,31	2,31	Rendah
2	-3	2	0,75	0,25	8,50	2,17	4,47	6,78	Tinggi
3	-4	1	0,76	0,24	8,00	1,88	4,05	10,82	Tinggi
4	-5	1	0,88	0,12	7,50	0,90	2,79	13,61	Tinggi
5	-6	1	1,61	0,00	7,00	0,00	0,90	14,51	Tinggi
6	-7	1	1,64	0,00	6,50	0,00	0,00	14,51	Tinggi
7	-8	1	1,45	0,00	6,00	0,00	0,00	14,51	Tinggi
8	-10	2	1,18	0,00	5,00	0,00	0,00	14,51	Tinggi
9	-12	2	1,12	0,00	4,00	0,00	0,00	14,51	Tinggi
10	-14	2	1,02	0,00	3,00	0,00	0,00	14,51	Tinggi
11	-16	2	0,95	0,05	2,00	0,10	0,10	14,61	Tinggi

Tabel 8. Nilai *LPI* setiap lapisan di titik BH02

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	F(z)	w(z)	F(z). w(z)	Luasan	Σ	Keterangan <i>LPI</i>
1	-1	1	0,82	0,18	9,50	1,67	1,67	1,67	Rendah
2	-3	2	1,53	0,00	8,50	0,00	1,67	3,34	Rendah
3	-4	1	1,39	0,00	8,00	0,00	0,00	3,34	Rendah
4	-5	1	1,64	0,00	7,50	0,00	0,00	3,34	Rendah
5	-6	1	1,46	0,00	7,00	0,00	0,00	3,34	Rendah
6	-7	1	1,15	0,00	6,50	0,00	0,00	3,34	Rendah
7	-8	1	1,46	0,00	6,00	0,00	0,00	3,34	Rendah
8	-10	2	1,19	0,00	5,00	0,00	0,00	3,34	Rendah
9	-12	2	1,12	0,00	4,00	0,00	0,00	3,34	Rendah
10	-14	2	0,95	0,00	3,00	0,00	0,00	3,34	Rendah

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	F(z)	w(z)	F(z). w(z)	Luasan	Σ	Keterangan LPI
11	-16	2	0,72	0,28	2,00	0,57	0,57	3,90	Rendah

Tabel 9. Nilai LPI setiap lapisan di titik BH03

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	F(z)	w(z)	F(z). w(z)	Luasan	Σ	Keterangan LPI
1	-1	1	1,40	0,00	9,50	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
2	-3	2	1,11	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
3	-4	1	1,14	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
4	-5	1	1,16	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
5	-6	1	1,39	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
6	-7	1	0,08	0,92	6,50	6,01	6,01	6,01	Tinggi
7	-8	1	1,49	0,00	6,00	0,00	6,01	12,02	Tinggi
8	-10	2	0,80	0,00	5,00	0,00	0,00	12,02	Tinggi
9	-12	2	0,84	0,00	4,00	0,00	0,00	12,02	Tinggi
10	-14	2	0,99	0,00	3,00	0,00	0,00	12,02	Tinggi
11	-16	2	0,99	0,23	2,00	0,46	0,46	12,48	Tinggi

Tabel 10. Nilai LPI setiap lapisan di titik BH04

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	F(z)	w(z)	F(z). w(z)	Luasan	Σ	Keterangan LPI
1	-2	2	1,92	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
2	-4	2	1,07	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
3	-6	2	1,52	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
4	-7	1	1,58	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	Sangat rendah
5	-8	1	0,99	0,01	6,00	0,09	0,09	0,09	Rendah
6	-10	2	1,12	0,00	5,00	0,00	0,09	0,17	Rendah
7	-12	2	0,87	0,13	4,00	0,51	0,51	0,68	Rendah
8	-14	2	0,09	0,91	3,00	2,74	3,25	3,93	Rendah
9	-16	2	0,55	0,45	2,00	0,90	3,64	7,57	Tinggi

Tabel 11. Nilai LPI setiap lapisan di titik BH05

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	F(z)	w(z)	F(z). w(z)	Luasan	Σ	Keterangan LPI
1	-1	1	0,89	0,11	9,50	1,01	1,01	1,01	Rendah
2	-3	2	0,80	0,20	8,50	1,69	2,70	3,71	Rendah
3	-4	1	0,79	0,21	8,00	1,65	3,34	7,04	Tinggi
4	-5	1	0,81	0,19	7,50	1,42	3,07	10,11	Tinggi
5	-6	1	0,66	0,00	7,00	0,00	1,42	11,53	Tinggi
6	-7	1	1,23	0,00	6,50	0,00	0,00	11,53	Tinggi
7	-8	1	1,40	0,00	6,00	0,00	0,00	11,53	Tinggi
8	-10	2	1,21	0,00	5,00	0,00	0,00	11,53	Tinggi
9	-12	2	1,14	0,00	4,00	0,00	0,00	11,53	Tinggi
10	-14	2	0,97	0,00	3,00	0,00	0,00	11,53	Tinggi

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	FS	$F(z)$	$w(z)$	$\frac{F(z)}{w(z)}$	Luasan	Σ	Keterangan LPI
11	-16	2	0,75	0,25	2,00	0,50	0,50	12,03	Tinggi

Tabel 12. Rekapitulasi analisis *Liquefaction Potential Index (LPI) Underpass YIA*

No.	Titik bor	Kode	Koordinat (UTM)		Nilai LPI	Keterangan
			E (m)	N (m)		
1	1	BH01	396875,482	9126727,963	14,61	Tinggi
2	2	BH02	396686,072	9126890,560	3,90	Rendah
3	3	BH03	396456,732	9126991,157	12,48	Tinggi
4	4	BH04	396222,437	9127074,880	7,57	Tinggi
5	5	BH05	395988,200	9127161,081	12,03	Tinggi

Hasil analisis *LPI* pada kawasan *Underpass YIA* ditunjukkan pada Tabel 7 - Tabel 11. Tampak bahwa nilai *LPI* terbesar terdapat pada titik pengujian BH01 sebesar 14,61. Nilai tersebut menunjukkan tingkat potensi likuifaksi tinggi pada titik pengujian BH01. Sedangkan nilai *LPI* terkecil terdapat pada titik pengujian BH02 sebesar 3,90 yang berarti bahwa tingkat potensi likuifaksi pada titik pengujian BH02 rendah karena hasil analisis likuifaksi pada titik BH02 menunjukkan nilai *Safety Factor* (SF) dominan diatas satu atau aman. Secara keseluruhan hasil analisis tingkat potensi kejadian likuifaksi dengan menggunakan metode *Liquefaction Potential Index (LPI)* diperoleh hasil bahwa di kawasan *Underpass YIA*, secara keseluruhan kemungkinan potensi likuifaksi pada tanah dasar *Underpass YIA* rendah dan tinggi. Sehingga *Underpass YIA* dikategorikan rentan terhadap ancaman kejadian likuifaksi. Tingkat potensi terbesar terjadi fenomena likuifaksi berada di sisi timur *underpass* (BH01). Tabel 12 menunjukkan rekapitulasi hasil analisis *LPI* pada kawasan *Underpass YIA*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi di kawasan *Underpass YIA*, lapisan tanah pasir berpotensi likuifaksi pada kedalaman 1-6 m dari permukaan tanah pada titik BH01, BH02 dan BH05. Sedangkan pada titik-titik BH03 dan BH04 lapisan tanah pasir tidak berpotensi likuifaksi. Tingkat potensi likuifaksi pada *Underpass YIA* berdasarkan analisis menggunakan metode *Liquefaction Potential Index (LPI)* terbagi menjadi dua kategori yakni rendah dan tinggi. Potensi likuifaksi rendah terjadi pada titik BH02. Sedangkan potensi likuifaksi tinggi terjadi pada titik BH01, BH03, BH04 dan BH05. Berdasarkan nilai *LPI* menunjukkan potensi likuifaksi pada kawasan *Underpass YIA* didominasi oleh kategori tinggi sehingga tanah dasar pada kawasan ini dikategorikan rentan terhadap ancaman kejadian likuifaksi. Hal ini sesuai dengan kondisi elevasi muka air tanah yang relatif dangkal dan kondisi geologi yang berupa tanah endapan Merapi muda di kawasan *Underpass YIA* sehingga mempunyai potensi besar untuk terjadi likuifaksi.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, serta Unit Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas dukungan dan bantuan data dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN. (2012). *SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*: Badan Standarisasi Nasional.
- Day, R. W. (2002). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*: McGraw-Hill.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah 2 (Edisi Keen)*: Gadjah Mada University Press.
- Iqbal, P., Tohari, A., Sadisun, I. A., & Nugroho, D. (2014). Fasies Sedimen Kuarter berpotensi likuifaksi Pesisir Kota Padang, Provinsi Sumatra Barat berdasarkan Data Inti Bor dan CPTu. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 5(1), 1-18.
- Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1981). *Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of the Simplified Procedure*. Paper presented at the International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics.
- Jalil, A., Fathani, T. F., Satyarno, I., & Wilopo, W. (2020). A Study on The Liquefaction Potential in Banda Aceh City After the 2004 Sumatera Earthquake. *International Journal of GEOMATE*, 18(65), 147-155. doi:<https://doi.org/10.21660/2020.65.94557>
- KSO WIKA_MCM. (2018). *Laporan Perencanaan Pembangunan Underpass Bandara New Yogyakarta International Airport*.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan (Edisi Pert)*: Pustaka Pelajar.
- Putra, H. G., Hakam, A., & Lastaruna, D. (2009). Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai, Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 5(1), 11-22.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. (1995). *Peta Geologi lembar Yogyakarta, Jawa skala 1:100.000 (Edisi II)*: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Rahman, M. A. (2019). *Laporan Magang Pembangunan Underpass New Yogyakarta International Airport (NYIA)*.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1970). *A Simplified Procedure For Evaluating Soil Liquefaction Potential*. Paper presented at the EERC.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1982). Ground Motions and Soil Liquefaction during Earthquake. *Earthquake Engineering Research Institute Monograph*.
- Warman, H., & Jumas, D. (2013). Kajian Potensi Likuifaksi Pasca Gempa Dalam Rangka Mitigasi Bencana di Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(2), 1-19.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., . . . Stokoe, K. H. (2001). Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10), 817-833. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))