

## STUDI ALTERNATIF SOLUSI MASALAH RETAKAN LANTAI BANGUNAN DI ATAS TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

*Teguh Widodo*

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra  
Jalan TR Mataram No. 55-57 Yogyakarta 55231 Telp./Fax. (0274) 543676

### **ABSTRACT**

*Floor Cracks often occur on a building above ekspansif soil caused by swelling in the rainy season and the shrinkage in the dry season.*

*This study is testing in full scale of four alternative solutions used to overcome the floor cracks; 1) replace the layer of ekspansif with non ekspansif soil, 2) floor reinforced concrete 3) adding of a layer of sand 10 cm thickness at 1,0 m depth below the floor and 4) lime stabilisation of ekspansif soil under the floor. Cracks during the first wet-dry cycles was observed to measure the degree of damage. Budget analysis was conducted to determine the cost of each alternative solution. Drilling and laboratory testing performed to identify ekspansif soil..*

*Based on drilling and laboratory testing known ekspansif soil with high potential swelling are found from the surface to a depth of 2.1 m. Results of the bugged analysis showed that cost per m<sup>2</sup> of floor without improvement, alternative solutions 1, 2, 3 and 4 is Rp. 46,300, - (forty-six thousand three hundred rupiah), Rp. 188 700, - (one hundred and eighty-eight thousand seven hundred rupian), Rp. 58.000, - (fifty eight thousand rupiah), Rp. 103,300, - (one hundred and three thousand three hundred rupiah) and Rp. 76 400, - (seventy six thousand four hundred rupiah). Alternative 2 have a best performance.*

**Key word :** *unconfined compression test, addition of sand, cement and stabilizer.*

### **PENDAHULUAN**

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang memiliki perilaku kembang-susut besar. Jenis dan jumlah mineral lempung menentukan nilai potensi pengembangan tanah ekspansif. Pada saat pembasahan (*wetting*) kadar air tanah naik, dan volume tanah mengembang, sebaliknya pada saat pengeringan (*drying*), volume tanah menyusut. Proses pembasahan-pengeringan dipengaruhi oleh: perubahan iklim, intensitas hujan, evaporasi, fluktuasi muka air tanah, kebocoran pipa air, sistem drainasi permukaan dan pemompaan air tanah. Siklus gerakan kembang-susut pada tanah dapat menyebabkan retakan (*cracking*), kelelahan (*fatigue*) dan pengembangan sebagian (*differential heave*) tanah yang merupakan salah satu penyebab utama kerusakan lantai dan struktur bangunan (Irsyam, 1993).

Menurut Claillere dalam Wahyudi (2002) pada saat pembasahan terjadi penetrasi air ke dalam mikropori *intraparticulaire* khususnya pada mineral *monmorillonite* yang mengakibatkan beberapa beberapa layer bergerak kesamping (*translation mouvement*) bahkan berotasi (*turbostatique mouvement*). Pergerakan layer dalam arah vertikal ini menyebabkan *interlayer distance* ( $d_{001}$ ) semakin besar dan gaya tarik menarik antar partikel semakin kecil. Di sisi lain pembasahan juga mengakibatkan tanah pada zona aktif menjadi jenuh dan tidak ada lagi tekanan negatif akibat peristiwa kapiler. Peristiwa kapiler adalah timbulnya tekanan negatif pada tanah tak jenuh di atas muka air tanah, akibat tanah ekspansif mempunyai butiran partikel dan pori-pori sangat kecil yang saling berhubungan. Sebaliknya pada saat pengeringan air keluar dari mikropori

*intraparticulaire* dan menyebabkan *interlayer distance* ( $d_{001}$ ) mengecil. Di sisi lain tegangan kapiler negatif timbul pada zona aktif akibat tanah tidak lagi jenuh. Tegangan kapiler negatif tersebut akan mengakibatkan tegangan efektif membesar dan tanah seolah-olah tertekan sehingga volumenya menyusut.

Menurut Holtz (1959) beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pengembangan tanah antara lain; 1) Jenis dan jumlah mineral lempung, 2) Kepadatan dan kadar air tanah, 3). Kondisi pembebanan, 4) Struktur tanah. 5) Air pori 6) Waktu.

Kontrol kepadatan, pembasahan awal (*pre wetting*), kontrol kadar air, stabilisasi kimia dan modifikasi struktur bangunan adalah metoda yang sering digunakan untuk meminimalkan pengembangan tanah berdasarkan pertimbangan ekonomis dan kemudahan pelaksanaan. Pemahaman terhadap aplikasi dan keterbatasan metode, kondisi tanah, tipe struktur, ketersediaan bahan dan peralatan akan sangat menentukan keberhasilan dari pelaksanaan stabilisasi tanah.

Modifikasi atau desain struktur untuk mengatasi masalah pengembangan tanah pada dasarnya dikelompokkan dalam 3 (tiga) metode yaitu: 1) Memperkuat struktur sehingga mampu untuk menahan pengembangan tanah dengan total pengembangan lebih kecil dari 5 cm, 2) Membuat struktur yang fleksibel sehingga mampu mengikuti pergerakan tanah antara 5 cm sampai dengan 10 cm tanpa runtuh. Metode ini umumnya dipakai untuk tanah dengan total pengembangan. Pembuatan sendi plastis pada sambungan plat lantai dasar dengan balok sloof merupakan salah satu cara membuat struktur menjadi fleksibel, (3) Membuat ruang isolasi antara struktur dan tanah ekspansif sehingga pengembangan tanah tidak mempengaruhi struktur (gambar 3). Metode ini umumnya dipakai untuk tanah dengan total pengembangan lebih besar dari 10 cm.

Salah satu kerusakan bangunan yang didirikan di atas tanah lempung dengan perilaku kembang susut besar adalah retakan-retakan yang terjadi pada lantai. Alternatif solusi

yang untuk mengatasi retakan-retakan lantai tersebut adalah: 1) mengganti lapisan tanah lempung ekspansif dengan tanah non ekspansif, 2) modifikasi bangunan dengan cara membuat plat lantai beton bertulang yang menyatu dengan sloof sehingga mampu menahan pengembangan tanah di bawah lantai, 3) pembuatan lapisan pasir dengan tebal 10 cm pada kedalaman 1,0 m di bawah lantai yang berfungsi sebagai separator untuk menghalangi air masuk ke tanah di bawah untuk meminimalkan pengembangan tanah, dan 4) stabilisasi kimia yaitu menambahkan kapur pada tanah di bawah lantai untuk meminimalkan pengembangan tanah.

Namun demikian penelitian tentang tingkat keberhasilan ke empat alternatif solusi di atas dalam mengatasi masalah retakan-retakan pada lantai (tinjauan teknis) dan analisis anggaran biaya (tinjauan ekonomis) dari ke empat alternatif solusi tersebut di atas yang dilakukan pada skala penuh belum banyak dilakukan.

Penelitian ini merupakan pengujian dalam skala penuh dari 4 (empat) alternatif solusi yang digunakan untuk mengatasi masalah retakan lantai. Tingkat keberhasilan diukur dengan mengamati keretakan yang terjadi. Analisis anggaran biaya pelaksanaan dilakukan untuk mengetahui biaya masing-masing alternatif solusi.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan pengujian dalam skala penuh dari 4 (empat) metode yang digunakan untuk mengatasi masalah retakan-retakan yang terjadi pada lantai rumah yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif. Lokasi penelitian ini adalah di RT 04 RW 23 Dukuh Pereng Dawe, Desa Bale Catur, Kecamatan Gamping, Kabupaten Sleman, Daerah istimewa Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena memiliki perlapisan tanah berupa tanah lempung ekspansif dengan ketebalan 0,5 sampai dengan 2,0 m, terjadi perbedaan muka air tanah yang besar antara musim hujan dan kemarau sehingga banyak terjadi masalah retakan-ratakan lantai di rumah penduduk.

Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (gambar 1) dan diuraikan sebagai berikut ini.

### Persiapan Penelitian

Sebagai langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan uji pemboran, pengambilan dan pengujian laboratorium contoh tanah di lokasi. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui perlapisan tanah, ketebalan dan sifat fisis lapisan lempung ekspansif. Pengambilan contoh tanah dilakukan pada kedalaman 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, dan 2,0 m. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah:

- 1) Pengujian batas-batas Atterberg
- 2) Kadar air
- 3) Berat volume
- 4) *Specific gravity*
- 5) Distribusi ukuran butir

Persiapan penelitian ini menghasilkan perkiraan potensi pengembangan tanah yang menyebabkan keretakan lantai di lokasi.

### Pelaksanaan Penelitian

#### 1. *Pembuatan sistem lantai-fondasi*

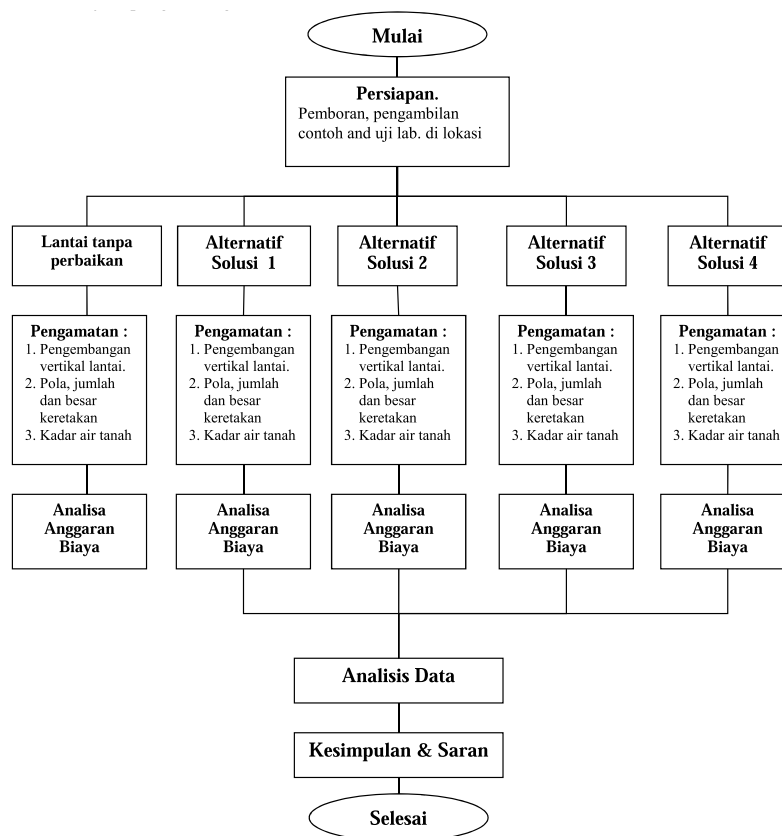
Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan membuat 5 (lima) sistem lantai-fondasi berukuran 300 X 300 cm<sup>2</sup> yang biasa digunakan pada bangunan rumah dalam skala penuh (gambar 5). Ukuran fondasi batu kali adalah ukuran yang biasa digunakan oleh masyarakat di lokasi dan secara empiris sudah terbukti mampu menahan beban kembang susut tanah sehingga tidak mempengaruhi struktur bangunan.

Sistem lantai-fondasi yang dibuat adalah sebaga berikut:

- 1). Sistem lantai-fondasi tanpa perbaikan merupakan sistem lantai fondasi biasa di atas tanah lempung ekspansif. Sistem lantai-fondasi tanpa perbaikan ini di buat untuk mengetahui sejauh mana keretakan yang dialami lantai jika tidak dilakukan upaya perbaikan.
- 2). Sistem lantai-fondasi alternatif solusi 1, yaitu mengganti tanah dibawah lantai dengan tanah non ekspansif. Tanah di bawah

lantai digali sampai dengan kedalaman 1,0 m dan diurug kembali menggunakan tanah non ekspansif. Alternatif solusi 1 ini membutuhkan tanah urugan dari lokasi lain dan pembuangan tanah ekspansif galian di bawah lantai.

- 3). Sistem lantai-fondasi alternatif solusi 2, yaitu pembuatan plat beton bertulang yang disambungkan balok sloof yang berfungsi menahan kembang susut tanah ekspansif di bawah lantai. Ketebalan plat beton bertulang yang biasa digunakan oleh masyarakat di lokasi adalah 10-12 cm, sedangkan tulangan yang digunakan adalah  $\phi 8 - 400$ . Tulangan plat beton bertulang ditanam/disambungkan dengan *balok sloof*.
- 4). Sistem lantai-fondasi alternatif solusi 3, yaitu stabilisasi tanah menggunakan kapur. Tanah sampai dengan kedalaman 1,0 m di bawah lantai digali dan kemudian dicampur dengan kapur dengan kadar 2,5 % berat kering tanah. Kelebihan alternatif solusi ini adalah tidak diperlukan tanah urugan dari lokasi dan tanah ekspansif tidak dibuang tetapi distabilisasi sehingga tidak terjadi pengembangan besar yang dapat merusak lantai. Namun demikian tingkat keberhasilan dari alternatif solusi ini tergantung pada cara dan homogenitas campuran tanah-kapur.
- 5). Sistem lantai-fondasi alternatif solusi 4, yaitu memanfaatkan pasir yang berfungsi sebagai separator sehingga air tidak bisa merembes ke dalam tanah di bawah lantai sehingga tidak terjadi pengembangan tanah di bawah lantai. Tanah di bawah lantai digali sampai dengan kedalaman 1,0 m. Pada dasar galian diurug dengan lapisan pasir setebal 10 cm untuk mencegah rembesan air. Alternatif solusi ini sangat sederhana, namun demikian keberhasilan dari alternatif solusi ini tergantung pada keberhasilan lapisan pasir mencegah rembesan air.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

**2. Pengamatan**

Pengamatan dimaksudkan untuk memperoleh data yang menggambarkan tingkat keberhasilan dari masing-masing alternatif solusi. Pengamatan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1). Pengembangan vertikal lantai.
- 2). Pola, jumlah dan besarnya retakan lantai.
- 3). Perubahan kadar air tanah di lokasi akibat perubahan cuaca.

**3. Analisa anggaran biaya**

Analisa anggaran biaya dilakukan untuk mengetahui biaya pembuatan masing-masing alternatif solusi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perlapisan Tanah di Lokasi**

Uji Pemboran dangkal dilakukan di lokasi penelitian menggunakan bor tangan dan mencapai kedalaman 4,0 m dibawah permukaan

tanah. Hasil uji pemboran menunjukkan dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 2,1 m terdapat lapisan lempung hitam mengandung lapukan batu kapur dan di bawahnya sampai dengan kedalaman 4,0 m (akhir pemboran) terdapat lapisan lempung coklat muda berpasir halus dengan konsistensi padat. Pada kedalaman 1,5 m dan 3,0 m di bawah permukaan tanah diambil contoh tanah terganggu untuk keperluan uji kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg dan distribusi ukuran butiran di laboratorium. Hasil uji sifat fisis contoh tanah terganggu pada kedalaman 1,5 m dan 3,0 m dari permukaan tanah dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Ploting nilai batas cair dan indek plastisitas tanah pada diagram plastisitas unified soil clasification system (USCS) seperti terlihat pada gambar 2 menunjukkan bahwa tanah pada kedalaman 1,5 m adalah tanah lempung berplastisitas tinggi (CH), sedangkan tanah pada kedalaman 3,0 adalah tanah lanau yang mengandung pasir (MS).

Tabel 1. Sifat fisis tanah

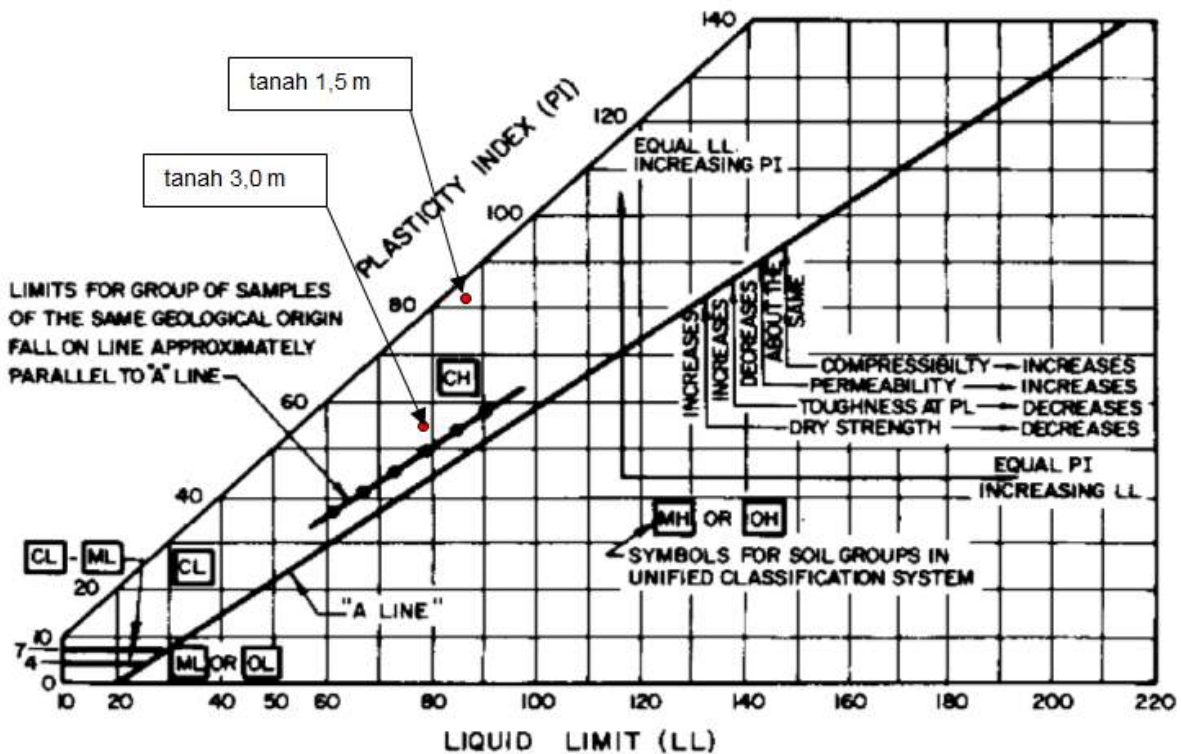
No	Uji Laboratorium	Tanah (1,5 m)	Tanah (3,0 m)
1	Kadar air (%)	11,92	8,15
2	Berat jenis	2,62	2,57
3	Batas cair (%)	67,50	53,20
4	Batas plastis (%)	20,19	40,11
5	Indek plastisitas (%)	47,31	13,09
6	Fraksi lempung, < 0.002 mm (%)	23	0
7	Kandungan butiran halus (%)	97,50	63,00

**Identifikasi Tanah Ekspansif**

Identifikasi tanah di lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui tingkat ekspansif tanah tersebut. Kriteria yang digunakan adalah Seed dkk. (1962), Chen (1962), Snethen (1977), dan Carter dan Bentley (1991).

Tanah pada kedalaman 1,5 m mengandung butiran lempung (< 0,002 mm), C sebesar 23 % dan indeks plastisitas, PI sebesar 47,5 %, sehingga nilai aktifitas adalah:

$$A = \frac{PI}{C - 10} = \frac{47,31}{23 - 10} = \frac{47,31}{13} = 3,64$$

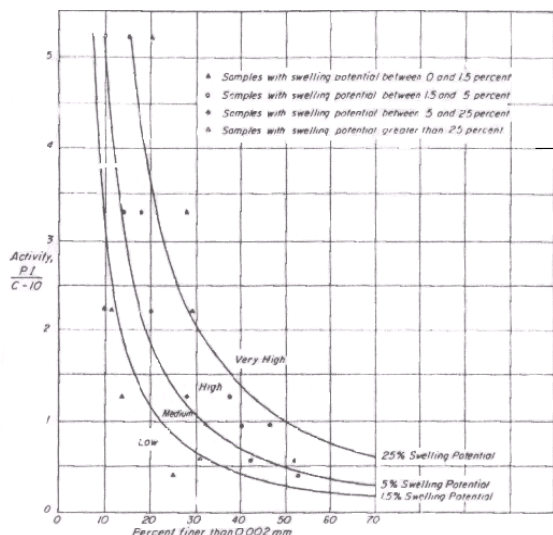


Gambar 2. Diagram plastisitas

Gambar 3 menunjukkan plotting nilai prosentase butiran lempung (<0,002 mm) dan nilai aktivitas dari contoh tanah pada kedalaman 1,5 m pada grafik Seed dkk. (1962). Hasil plotting menunjukkan bahwa tingkat pengembangan contoh tanah pada kedalaman 1,5 m adalah sangat tinggi (*very high*).

Chen (1962), Snethen (1977), dan Carter dan Bentley (1991) menggunakan nilai batas-batas plastisitas tanah untuk identifikasi tanah ekspansif. Hasil identifikasi contoh tanah di lokasi berdasarkan kriteria Chen (1962), Snethen (1977), dan Carter dan Bentley (1991) dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Berdasarkan perlapisan dan identifikasi sifat kembang-susut dapat diketahui bahwa di lokasi penelitian terdapat tanah dengan potensial pengembangan sangat tinggi dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 2,1 m di bawah permukaan tanah. Kondisi ini sangat potensial untuk menimbulkan masalah retakan lantai bangunan.



Gambar 3. Potensi pengembangan contoh tanah pada kedalaman 1,5 m.

Tabel 2. Sifat ekspansif tanah

No	Kriteria	Contoh Tanah (1,5 m)	Contoh Tanah (3,0 m)
1	Chen, 1962	sangat tinggi	rendah
2	Snethen (1977)	tinggi	rendah
3	Carter dan Bentley (1991)	tinggi	rendah

**Analisis Anggaran Biaya**

Analisis anggaran biaya dilakukan didasarkan pada kebutuhan bahan, tenaga, alat dan komponen biaya lainnya pada saat pelaksanaan penelitian dengan maksud mengetahui biaya pelaksanaan dari alternatif solusi sebagaimana telah dijelaskan pada metodologi penelitian sehingga dapat diketahui metode mana yang memiliki biaya pelaksanaan paling murah. Analisis anggaran biaya dilakukan pada pekerjaan pembuatan lantai tanpa dan dengan perbaikan. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 8.

**Pengamatan Retakan Plat Lantai**

Pengamatan retakan yang mungkin terjadi pada saat terjadi pengembangan tanah akibat perubahan kadar air tanah (musim penghujan) dan kenyamanan penggunaan plat lantai diamati untuk mengukur tingkat keberhasilan alternatif solusi dalam mengatasi masalah retakan plat lantai. Hasil pengamatan adalah sebagai berikut:

1. pelat lantai di atas tanah lempung ekspansif tanpa perbaikan mengalami retakan besar, terangkat ke atas, miring dan pecah,
2. pelat lantai alternatif solusi 3 mengalami retakan sedang, terangkat ke atas, dan miring.
3. pelat lantai alternatif solusi 1 dan 4 mengalami retakan kecil lebar 1-2 mm (retak rambut),
4. pelat lantai alternatif solusi 4 tidak mengalami retakan
5. pelat lantai di atas tanah lempung ekspansif tanpa perbaikan mengalami retakan sedang, terangkat ke atas, dan miring.

Perbandingan dari alternatif solusi masalah retakan lantai bangunan di atas tanah lempung ekspansif disajikan pada Tabel 4.4 berikut ini. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif solusi 1, 3, dan 4 yang didasarkan pada prinsip mencegah pengembangan tanah di bawah lantai sedalam 1,0 m kurang efektif mengatasi retakan lantai. Hal ini disebabkan oleh lapisan tanah ekspansif di lokasi dijumpai sampai kedalaman 2,1 m, sehingga masih ada lapisan setebal 1,1 m yang mengalami pengembangan dan mendesak plat lantai. Alternatif solusi 2 yang didasarkan pada modifikasi struktur untuk mengatasi pengembangan bekerja lebih efektif.

Tabel 3. Tabel matrik perbandingan alternatif solusi.

Item Pertimbangan	Metode Perbaikan Tanah			
	Alternatif Solusi 1	Alternatif Solusi 2	Alternatif Solusi 3	Alternatif Solusi 4
1. Ketersediaan Bahan	Baik	Baik	Baik	Baik
2. Pelaksanaan Pekerjaan	Cukup	Baik	Kurang	Cukup
3. Biaya	Rp. 188.700,	Rp. 58.000,	Rp. 103.300,	Rp. 76.400,
4. Ketahanan Retakan	Cukup	Baik	Kurang	Cukup
5. Kenyamanan	Cukup	Cukup	-	Cukup
<b>Rekomendasi</b>	<b>Kurang</b>	<b>Baik</b>	<b>Tidak</b>	<b>Baik</b>

Tabel 4. Analisa harga satuan per m<sup>2</sup> pembuatan lantai tanpa perbaikan.

	Komponen Biaya	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
a	<b>Bahan</b>				
	1) tanah urug setempat		m <sup>3</sup>	-	-
	2) beton rabat 1:3:5	0.90	m <sup>3</sup>	400,000.00	360,000.00
b	<b>Tenaga</b>				
	1) tukang batu	0.33	hari	40,000.00	13,200.00
	2) pekerja	1.46	hari	30,000.00	43,800.00
c	<b>Alat</b>				
	-				
d	<b>Lain-lain</b>				
	-				
Total Biaya Pembuatan Lantai 9 m <sup>2</sup>					417,000.00
<b>Harga Satuan per m<sup>2</sup></b>					<b>46,300.00</b>

Tabel 5. Analisa harga satuan per m<sup>2</sup> alternatif solusi 1.

	Komponen Biaya	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
a	<b>Bahan</b>				
	1) tanah urug (pasir)	10.80	m <sup>3</sup>	70,000.00	756,000.00
	2) beton rabat 1:3:5	0.90	m <sup>3</sup>	400,000.00	360,000.00
b	<b>Tenaga</b>				
	1) tukang batu	0.33	hari	40,000.00	13,200.00
	2) pekerja	8.16	hari	30,000.00	244,800.00
c	<b>Alat</b>				
	-				
d	<b>Lain-lain</b>				
	buangan tanah ekspansif	8.10	m <sup>3</sup>	40,000.00	324,000.00
Total Biaya Pembuatan Lantai 9 m <sup>2</sup>					1,698,000.00
<b>Harga Satuan per m<sup>2</sup></b>					<b>188,700.00</b>

Tabel 6. Analisa harga satuan per m<sup>2</sup> alternatif solusi 2.

	Komponen Biaya	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
a	<b>Bahan</b>				
	1) tanah urug setempat		m <sup>3</sup>	-	-
	2) beton rabat 1:3:5	0.90	m <sup>3</sup>	400,000.00	360,000.00
	3) tulangan 8 mm	3.50	btg	33,000.00	115,500.00
b	<b>Tenaga</b>				
	1) tukang batu	0.33	hari	40,000.00	13,200.00
	2) tukang besi	0.33	hari	40,000.00	13,200.00
	3) pekerja	0.66	hari	30,000.00	19,800.00
c	<b>Alat</b>				
	-				
d	<b>Lain-lain</b>				
	-				
Total Biaya Pembuatan Lantai 9 m <sup>2</sup>					521,700.00
<b>Harga Satuan per m<sup>2</sup></b>					<b>58,000.00</b>

Tabel 7. Analisa harga satuan per m<sup>2</sup> alternatif solusi 3.

	Komponen Biaya	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
a	<b>Bahan</b>				
	1) tanah urug setempat		m <sup>3</sup>	-	-
	2) beton rabat 1:3:5	0.90	m <sup>3</sup>	400,000.00	360,000.00
	3) kapur	30.00	sak	9,000.00	270,000.00
b	<b>Tenaga</b>				
	1) tukang batu	0.33	hari	40,000.00	13,200.00
	2) pekerja	9.56	hari	30,000.00	286,800.00
c	<b>Alat</b>				
	-				
d	<b>Lain-lain</b>				
	-				
Total Biaya Pembuatan Lantai 9 m <sup>2</sup>					930,000.00
Harga Satuan per m <sup>2</sup>					103,300.00

Tabel 8. Analisa harga satuan per m<sup>2</sup> alternatif solusi 4.

	Komponen Biaya	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
a	<b>Bahan</b>				
	1) tanah urug setempat		m <sup>3</sup>	-	-
	2) beton rabat 1:3:5	0.90	m <sup>3</sup>	400,000.00	360,000.00
	3) lapisan pasir separator	0.99	m <sup>3</sup>	70,000.00	69,300.00
b	<b>Tenaga</b>				
	1) tukang batu	0.33	hari	40,000.00	13,200.00
	2) pekerja	8.16	hari	30,000.00	244,800.00
c	<b>Alat</b>				
	-				
d	<b>Lain-lain</b>				
	-				
Total Biaya Pembuatan Lantai 9 m <sup>2</sup>					687,300.00
Harga Satuan per m <sup>2</sup>					76,400.00

## KESIMPULAN

- Berdasarkan bor log dan identifikasi contoh tanah dapat diketahui bahwa di lokasi penelitian terdapat tanah ekspansif dengan potensial pengembangan sangat tinggi dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 2,1 m di bawah permukaan tanah.
- Hasil analisis anggaran biaya per m<sup>2</sup> pekerjaan pelat lantai tanpa perbaikan tanah, alternatif solusi 1, 2, 3 dan 4 adalah Rp. 46.300,- (empat puluh enam ribu tiga ratus rupiah), Rp. 188.700,- (seratus delapan puluh delapan ribu tujuh ratus rupiah), Rp. 58.000,- (lima puluh delapan ribu rupiah), Rp. 103.300,- (seratus tiga ribu tiga ratus rupiah), dan Rp. 76.400,- (tujuh puluh enam ribu empat ratus rupiah).
- Alternatif solusi yang bekerja optimal dalam mengatasi masalah retakan bangunan dan paling murah diantara alternatif solusi adalah pembuatan plat lantai beton bertulang (alternatif solusi 2)



**DAFTAR PUSTAKA**

- Carter, M., Bently, S.P., 1982, *Corellation of Soil Properties*. Pentech Press, Publisher, London
- Holtz, W.G., 1959, *Expabsive Clays-Properties and Problems*, Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 54, No. 4.
- Irsyam, M., 1993, *Tanah Mengembang dan Stabilitasinya*, Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Mittchell, J.K., 1993, *Fundamental of Soil Behavior*, John Wiley & Sons, Inc New York.
- Seed, H. B., Woodward, R.J., dan Lundgren, R., 1962, *Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays*, Journal of the Soil Machanics and Foundation Division, ASCE
- Seed, H. B., dan Ghan C.K., 1959, *Structure and Strength Characteristic of Compacted Clays*, Journal of the Soil Machanics and Foundation Division, ASCE
- Tessier, D., 1989, *Behavior and Microstructure of Clay Water System*, Incrisat Center
- Tucker, R.L. dan Poor, A.R., 1978, *Field Study of Moisture Effects on Slab Movement*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE.
- Wahyudi, H., 2002, *Swelling Soil Ditinjau dari Aspek Mikroskopis*, Seminar tentang Perkembangan Terkini dalam Pemecahan Masalah-masalah Geoteknikdi Indonesia, HATTI, Surabaya
- Widodo, T., 2005, *Perilaku dan Permasalahan Tanah Ekpansif*, Jurnal Janateknika, Fakultas Teknik Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- Widodo, T., 2005, *Studi Alaternatif Solusi Masalah Retakan Lantai Bangunan di Atas Tanah Lempung Ekpansif*, Laporan Penelitian Dosen Muda, Yogyakarta.