



PENGARUH GEOMEMBRAN TERHADAP PERILAKU KADAR AIR TANAH

M. Suherman

RINGKASAN

Permasalahan pengembangan tanah adalah terutama disebabkan oleh perilaku fluktuasi kadar airnya. Ketidak merataan pengangkatan tanah akan dihasilkan oleh salah satu antara ketidak seragaman perubahan kadar air dan ketidak seragaman kondisi tanah atau kedua-duanya. Apabila fluktuasi kadar air sewaktu-waktu dapat diupayakan untuk menjadi kondisi seragam, maka sebagian masalah tersebut dapat dikurangi.

Prinsip dasar penghalang kadar air adalah bertindak sebagai pemindah jarak tepi dari pondasi atau perkerasan jalan serta mengurangi fluktuasi kadar air musiman pada tanah di bawah struktur. Waktu untuk terjadi perubahan kadar air akan lebih lama karena penghalang dapat memperpanjang jarak tempuh perpindahan air yang ada di bawah struktur. Hal ini menjadikan distribusi kadar air lebih seragam disebabkan adanya kapiler pada bawah tanah sehingga pengangkatan tanah akan lebih lambat dan lebih seragam.

Geomembran telah digunakan dalam upaya penjagaan tanah ekspansif. Karena sifatnya yang kedap air, maka geomembran dapat memberikan solusi dalam menangani tanah ekspansif. Geomembran dapat pula mereduksi perubahan kadar air dan dapat meminimasi perubahan volume pada tanah ekspansif.

SUMMARY

Soil expansion problems are primarily the result of fluctuations in water content. Non uniform heave will result from either non uniform water content change, non uniform soil conditions or both. If fluctuations in water content over time can be made uniform a major part of the problem can be mitigated.

The basic principle on which moisture barriers act is to move edge effect away from the foundation or pavement and minimize seasonal fluctuations of water content directly below the structure. The time during which moisture changes occur is longer because the barrier increases the path length for water migration under the structure. This allows for water content to be more uniformly distributed due to capillary action in the subsoil, so that the heave will occur more slowly and in a more uniform fashion.

Geomembrane have been used in efforts to control expansive soils. Because of its impermeability, a geomembrane offers many solutions to the challenge of expansive soils. Geomembranes reduce moisture change and therefore minimize volumetric changes in expansive soils.

I. PENDAHULUAN

Salah satu metode penanganan tanah ekspansif yang dapat mengakibatkan kerusakan konstruksi perkerasan jalan adalah memasang geomembran, baik secara horisontal maupun secara vertikal atau kombinasi keduanya. Fungsi dari geomembran adalah untuk menahan lajunya migrasi air yaitu sebagai penghalang terhadap penguapan dan peresapan air dalam tanah, sehingga tidak terjadi perubahan kadar air yang terlalu besar. Untuk mengetahui keefektifan penggunaan geomembran

terhadap pengaruh fluktuasi kadar air tanah, maka telah dilakukan percobaan di lapangan dengan mengambil lokasi di pinggir ruas jalan antara Semarang - Purwodadi Km Smg 27⁺⁵⁰⁰ propinsi Jawa Tengah.

Geomembran dipasang di atas permukaan tanah ekspansif secara horisontal dan vertikal, sehingga tanah di bawah geomembran menjadi terkurung di dalamnya. Geomembran yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai sifat kedap air dari tipe HDPE yang terdiri dari komposisi polymer 97,25%

dan karbon hitam 2,5% dengan tebal 0,75 mm. Pengamatan lapangan telah dilakukan meliputi pemantauan muka air tanah dalam pisometer, pengambilan sampel untuk pemeriksaan kadar air dan pengambilan data curah hujan di sekitar lokasi. Pemeriksaan kadar air dilakukan pada setiap kedalaman tanah baik yang tertutup geomembran maupun yang tidak tertutup geomembran. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan perubahan kadar air dalam tanah, baik yang tertutup geomembran maupun yang tidak tertutup. Hasil analisis data kadar air menunjukkan bahwa geomembran mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap fluktuasi kadar air dalam periode satu musim. Penelitian dilakukan pada tahun 1998 sampai tahun 1999.

II. PRINSIP DASAR

Prinsip dasar penggunaan geomembran sebagai penghalang air tanah adalah bahwa geomembran bekerja untuk memindahkan efek tepi (*side effect*) sejauh mungkin dari perkerasan jalan serta meminimasi fluktuasi kadar air musiman yang berada di bawah struktur perkerasan. Geomembran ini berfungsi pula sebagai memperpanjang lintasan migrasi air di bawah struktur (Nelson dan Miller, 1992). Hal ini akan memungkinkan terjadinya keseragaman distribusi kadar air sebagai akibat kapiler pada tanah bawah.

2.1 Jarak Tepi

Pada pelaksanaan lapangan terdapat dua tipe penerapan, yaitu tipe pemasangan geomembran horisontal dan tipe geomembran vertikal. Untuk geomembran horisontal, lebar membran yang dibutuhkan adalah selebar "jarak tepi". Menurut Wray (1980), jarak tepi ini didefinisikan sebagai jarak yang diukur dari tepi slab di mana variasi kadar air cukup besar untuk dapat menimbulkan pergerakan tanah. Pendekatan teoritis mengenai besarnya jarak tepi ini relatif sulit, tetapi Wray berdasarkan pada hasil-hasil pengukuran, berpendapat bahwa jarak tepi ini umumnya berkisar antara 0,6 meter sampai dengan 1,5 meter. Menurut Mc Keen dan Johnson (1990) berpendapat bahwa jarak tepi ini besarnya mendekati besarnya kedalaman zona aktif.

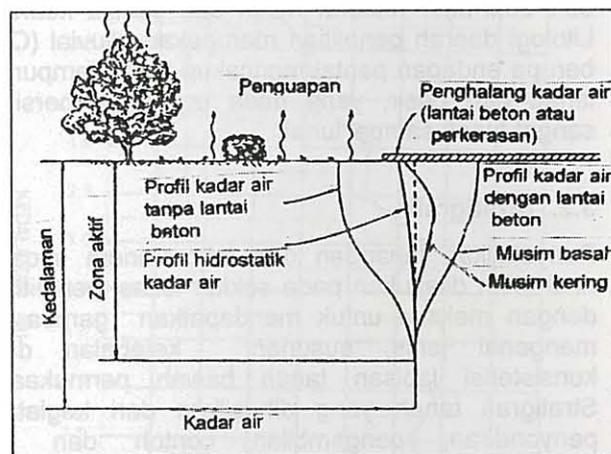
Untuk geomembran vertikal, kedalaman geomembran yang ideal adalah mencapai kedalaman zona aktif, tetapi Nelson dan Miller (1992) berpendapat bahwa secara praktis kedalaman geomembran dapat diambil setengah sampai dua pertiga dari kedalaman zona aktif dan hal ini relatif masih dapat diterima. Sedangkan menurut Suetken (1992) menganjurkan bahwa kedalaman geomembran tidak kurang dari 1,0 meter.

2.2 Zona Aktif

Problema tanah ekspansif pada umumnya berkaitan dengan fluktuasi kadar air di daerah permukaan tanah akibat pengaruh lingkungan. Daerah yang terpengaruh ini disebut "zona aktif" dan kedalaman yang paling banyak terpengaruh adalah daerah yang berada di atas permukaan air tanah. Penentuan kedalaman zona aktif dapat dilakukan dengan mengukur kadar air pada berbagai musim yaitu ditentukan berdasarkan kedalaman kadar air yang konstan.

Pada tanah yang relatif homogen, maka zona aktif ini dapat ditentukan dengan menggambarkan hubungan antara nilai kadar air (w) dengan kedalamannya (D), sedangkan untuk tanah yang berlapis dapat diperoleh dengan menggambarkan hubungan antara nilai (w/PI) atau $(LL-w)/PI$ dengan kedalamannya (D)

Menurut Nelson dan Miller (1992), kedalaman zona aktif dan perilaku kadar air dapat digambarkan seperti di bawah ini (Gambar 1)



Gambar 1 : Zona Aktif

2.3 Fungsi Geomembran

Penggunaan geomembran kedap air berfungsi untuk melindungi tanah bawah dari penguapan atau peresapan air yang berlebihan. Dengan terlindungnya tanah dasar oleh geomembran, maka tidak atau kurang terjadi retakan atau bergelombang pada permukaan tanah yang disebabkan oleh perilaku penyusutan dan pengembangan. Kembang-susut tanah ekspansif merupakan kejadian akibat terciptanya penambahan atau pengurangan kadar air yang berlebihan sehingga menyebabkan rongga pori dalam tanah menjadi renggang atau rapat sesuai dengan persentase kadar air yang terkandungnya.. Bertitik tolak dari hal tersebut, maka dalam mempertahankan agar tidak terjadi fluktuasi kadar air yang tinggi pada tanah bawah permukaan, penggunaan geomembran merupakan salah satu alternatif cara penanganan kerusakan jalan yang diakibatkan perilaku tanah ekspansif.

III KONDISI TANAH

3.1. Kondisi Morfologi dan Geologi

Lokasi penelitian berada pada daerah dataran rendah dimana pada bagian selatan terdapat perbukitan rendah dengan tata guna lahan merupakan pesawahan dan permukiman penduduk. Morfologi daerah penelitian berupa dataran rendah pantai yang berada pada sekitar elevasi 1,0 meter di atas permukaan laut dengan kemiringan rata-rata 0 ° sampai 2 ° . Lembah sungai membentuk sejajar dengan pola drainase yang berupa endapan quarter muda yang menempati dataran dan terbentuk sebuah alluvial yang telah termampatkan. Geologi lokal daerah penelitian merupakan alluvial dataran pantai, endapan sungai dan danau. Endapan dataran pantai sebagian besar terdiri dari lempung dan pasir. Batuan sedimen yang berada di bawah permukaan merupakan formasi damar yang berupa batu pasir tufaan, konglomerat, breksi vulkanik dan tufa. Batu pasir terdiri dari felspar dan butir-butir mineral mafik dan sedikit kuarsa. Litologi daerah penelitian merupakan alluvial (Qa) berupa endapan pantai mencakup tanah lempung, lanau dan pasir, yang pada umumnya bersifat sangat lunak sampai lunak.

3.2. Stratigrafi

Penyelidikan lapangan dan laboratorium secara rinci telah dilakukan pada sekitar lokasi penelitian dengan maksud untuk mendapatkan gambaran mengenai jenis, susunan, ketebalan dan konsistensi lapisan tanah bawah permukaan. Stratigrafi tanah yang dihasilkan dari kegiatan penyondiran, pengambilan contoh dan uji laboratorium dapat digambarkan pada Tabel 1.

3.3. Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah dengan cara USCS (*Unified soil classification system*) yang didasarkan pada analisis dengan menggunakan nilai indeks plastisitas (PI) dan batas cair (LL). Berdasarkan hasil uji laboratorium diperoleh nilai PI = 53,82% sampai dengan 65,06% dan nilai LL = 89,5% sampai dengan 101,5 % , bila diplotkan pada grafik Casagrande akan berada di atas garis "A line". Dengan demikian tanah ini termasuk tanah lempungan plastis tinggi (CH) terlihat pada Gambar 2.

3.4. Potensi mengembang

Identifikasi potensi pengembangan tanah ekspansif dilakukan dengan cara tidak langsung yaitu menggunakan data hasil pengujian laboratorium. Cara ini adalah mengkorelasikan antara data uji laboratorium dengan tingkatan pengembangan.

a. Cara Van der Merwe

Dengan menggunakan cara Van der Merwe (1964) yang didasarkan pada nilai indeks plastisitas PI dan persentase fraksi lempung (CF) yang diplotkan pada grafik " Identifikasi tanah lempung ". Dalam grafik ini tanah ekspansif dibagi ke dalam pengembangan kelas rendah (Low), sedang (Medium) dan tinggi (High). Dengan nilai PI = 53,82% - 65,06% dan CF = 21 -27,5% , maka tanah ini tergolong kelas pengembangan tinggi.

b. Cara Chen

Cara ini menggunakan metode Chen (1988) yang didasarkan pada nilai indeks tunggal yaitu dimana nilai indeks plastisitas PI = 20 – 55 % termasuk tanah berpotensi pengembangan tinggi, sedangkan nilai PI > 55 % termasuk berpotensi sangat tinggi. Berdasarkan hasil laboratorium

Tabel 1.
PROFIL TANAH

Kedalaman (m)	Jenis tanah	Hasil laboratorium
0,0 – 3,5	Lanau lempungan, sifat lunak, warna abu-abu coklat.	<ul style="list-style-type: none"> • Berat isi $\gamma = 1,70 - 1,82 \text{ t/m}^3$ • Angka pori $e = 0,99 - 1,43$ • Lolos No.200 = 93,8-96,2% • Indeks plastisitas PI = 53,82 -65,06% • Kadar air $w = 30,0 - 59,3\%$ • Kadar lempung 21,0 – 27,5% • Batas cair LL = 89,5-101,5%
3,5 – 9,5	Lanau lempungan, sifat lunak, warna abu-abu.	<ul style="list-style-type: none"> • Berat isi $\gamma = 1,58 - 1,80 \text{ t/m}^3$ • Angka pori $e = 0,89 - 1,41$ • Lolos No.200 = 92,6-988% • Indeks plastisitas PI = 47,38 -68,6% • Kadar air $w = 62,0 - 71,71\%$ • Kadar lempung 25,0 – 35,0% • Batas cair LL = 88,0-135,5%

tanah pada lokasi penelitian mempunyai nilai indeks plastisitas $PI = 53,82\%$ sampai dengan $65,06\%$, maka menurut Chen tanah ini tergolong tingkat pengembangan sangat tinggi.

c. Cara Seed et all

Menurut Seed et all (1962) besarnya nilai aktivitas tanah dapat dinyatakan dengan $A_c = PI/CF-10$. Untuk tanah dengan nilai $PI = 65,05$ dan $CF = 27,5$ didapat nilai $A_c = 3,71$, maka tanah ini termasuk pengembangan tinggi.

3.5. Kedalaman zona Aktif

Penentuan kedalaman zona aktif dapat dilakukan dengan pengukuran kadar air pada setiap kedalaman tanah. Berdasarkan grafik profil kadar air ini dapat ditentukan kedalaman zona aktif yaitu dengan memperhatikan ketebalan tanah dimana fluktuasi nilai kadar air relatif besar. Hubungan besarnya nilai kadar air (w) dengan kedalaman (D) pada titik A1 diperoleh bahwa fluktuasi kadar air yang relatif besar berada mulai dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 2,5 meter, sedangkan mulai kedalaman -2,5 meter sampai dengan kedalaman -10,0 meter nilai kadar air relatif homogen. Dengan demikian maka zona aktif dapat ditentukan sedalam 2,5 meter (Gambar 3)

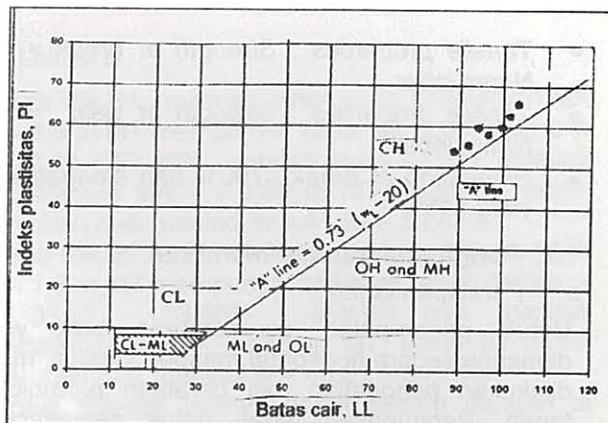
3.6. Kimia dan Mineral Tanah

Pemeriksaan kimia tanah telah dilakukan untuk mengetahui kandungan besarnya persentase senyawa kimia untuk tanah lempungan. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kimia tanah yang dominan adalah silikon dioksida (SiO_2) mencapai $44,90\%$, disusul aluminium oksida (Al_2O_3) besarnya $16,34\%$. Senyawa kimia selengkapnya dapat disajikan seperti tabel di bawah ini.

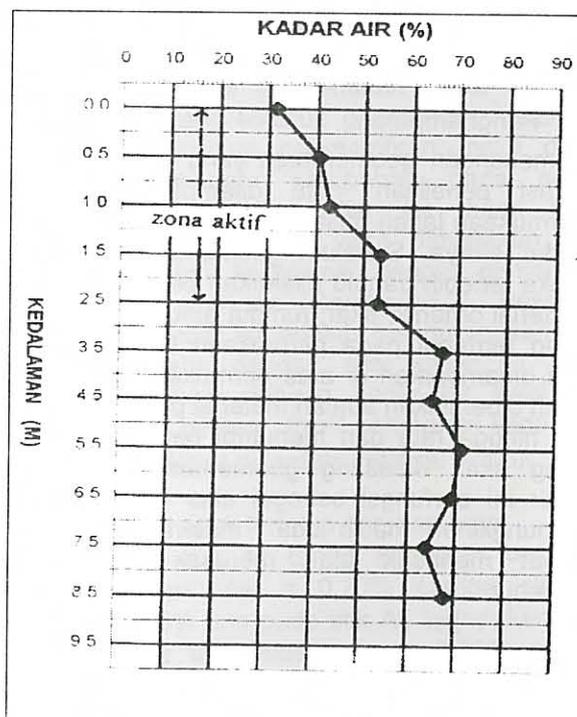
Tabel 2
KIMIA TANAH

Kimia Tanah	Persentase (%)	Kimia Tanah	Persentase (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	44,90	Natrium Oksida (Na_2O)	0,16
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	16,34	Kalium Oksida (K_2O)	0,85
Ferri Oksida (Fe_2O_3)	6,98	Hidroksida (H_2O)	8,87
Magnesium Oksida (MgO)	1,90		

Mineral lempung yang diidentifikasi dari hasil pemeriksaan X Ray Diffraction terdiri dari : halloysite = $20,12\%$, montmorillonite = $15,8\%$ dan alpha quartz = $31,14\%$.



Gambar 2 : Grafik plastisitas



Gambar 3 : Kedalaman zona aktif

IV. PEMASANGAN GEOMEMBRAN

4.1. Bahan membran

Geomembran yang digunakan berupa lembaran bersifat kedap air dari jenis HDPE dengan komposisi terdiri dari : polymer = $97,5\%$ dan karbon hitam = $2,5\%$.

Karakteristik membran meliputi :

- Tebal membran $0,75\text{ mm}$ dan lebar $6,86\text{ meter}$.
- $Density = 0,946\text{ gr/cm}^3$

- *Tensile properties* : *Strength at break* = 26 N/mm lebar
- *Tensile properties* : *Strength at yield* = 12 N/mm lebar
- *Elongation at break* = 700% dan *elongation at yield* = 15%

4.2. Penghamparan geomembran

a. Persiapan lahan

Untuk penempatan geomembran baik yang dipasang secara horisontal maupun vertikal, maka dilakukan penggalian dan perataan permukaan tanah. Pengupasan tanah untuk pemasangan geomembran horisontal dilakukan mencapai kedalaman terdapatnya tanah lempungan yang ekspansif, sedangkan untuk pemasangan membran vertikal dilakukan penggalian mencapai kedalaman 1,0 sampai 1,5 meter dari muka tanah setempat.

b. Penghamparan

Pemasangan geomembran yang dilakukan pada lokasi penelitian yaitu ditempatkan di atas permukaan tanah dasar yang akan diteliti perilaku kadar airnya. Sebelum geomembran dihampar, maka terlebih dahulu dilakukan pembersihan dari material organik, akar, rumput atau material tajam yang terdapat pada permukaan tanah. Pertama kali dihamparkan di atas permukaan tanah yang telah dibersihkan adalah material pasir setebal 3,0 cm hingga rata dan menutupi permukaan tanah yang akan dipasang geomembran. Hamparan pasir ini berfungsi sebagai alas untuk menjaga kemungkinan masih ada material tajam yang dapat menusuk atau merusak geomembran tersebut.

c. Pengurugan

Setelah geomembran terpasang dengan rapih baik membran horisontal maupun membran vertikal, maka dilakukan pengurugan dengan hamparan pasir setebal 3,0 cm dan selanjutnya diratakan. Setelah geomembran tertutup pasir, selanjutnya pengurugan material timbunan yang berupa material tanah sirtu setebal 20,0 cm dilaksanakan.

4.4 Pisometer

Pemasangan pisometer dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan data mengenai fluktuasi muka air tanah yang berada di bawah permukaan pada musim hujan atau kemarau. Pisometer yang digunakan berupa pisometer biasa yang terdiri dari tip pisometer dari bahan keramik yang berlubang dan pipa PVC untuk memperpanjang sampai di atas permukaan tanah. Di samping itu telah dikumpulkan pula data curah hujan pada daerah setempat yang diperoleh dari Dinas Pengairan setempat.

V HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

5,1 Hasil Penelitian

5.1.1 Pemantauan kadar air

Dalam memantau kadar air tanah baik sebelum maupun sesudah dipasang geomembran diperlukan pengambilan contoh tanah pada interval kedalaman tertentu. Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan menggunakan pemboran mencapai kedalaman 2,5 meter di bawah muka tanah setempat. Sampel tanah yang diambil untuk keperluan pemeriksaan laboratorium dilaksanakan mulai dari permukaan sampai dengan kedalaman 0,25 m dengan interval 5,0 cm, sedangkan selanjutnya yaitu mulai kedalaman 0,25 m sampai dengan kedalaman 2,5 meter dilakukan interval 25 cm. Semua contoh yang diambil dari lapangan dilakukan pemeriksaan kadar airnya secara langsung pada setiap kali pemantauan.

Pemantauan kadar air ini dilakukan terhadap tanah, baik tanah yang berada di bawah geomembran (tertutup geomembran) maupun tanah yang berada di luar geomembran (tidak tertutup geomembran). Titik-titik lokasi pengukuran meliputi : titik A1, A5 dan B1, B5 terletak pada daerah di luar membran, sedangkan titik A2, A3, A4 dan B2, B3, B4 terletak pada daerah di dalam membran (tertutup membran). Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6.

5.1.2 Pengukuran muka air tanah dan data curah hujan

Data muka air tanah pada lokasi penelitian dan data curah hujan yang diukur oleh Dinas pengairan setempat yang dilakukan dari bulan September 1998 sampai dengan bulan Februari 1999 dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 :
MUKA AIR TANAH DAN CURAH HUJAN

NO	Waktu Pengamatan	Muka air tanah (m MT)	Curah hujan total (mm)
1.	September 1998	- 1,55	128
2.	Oktober 1998	- 1,50	262
3.	November 1998	- 1,20	276
4.	Desember 1998	- 1,00	284
5.	Januari 1999	tidak diukur	355
6.	Februari 1999	- 0,80	belum diamati

Berdasarkan dari data curah hujan yang didapat dari bulan September 1998 sampai dengan bulan Februari 1999 menunjukkan adanya kenaikan, sehingga waktu pengamatan penelitian ini pergerakan musim ke arah musim hujan dan terlihat juga dari ketinggian muka air yang diukur dalam pipa pisometer semakin meninggi.

5.1.3 Perubahan kadar air

Perubahan nilai kadar air tanah antara sebelum dipasang geomembran dengan sesudah dipasang geomembran pada setiap pengamatan selanjutnya diolah dan dibuat dalam bentuk grafik. Hubungan antara perubahan kadar air dengan kedalaman lapisan

tanah seperti tampak pada Gambar 4, sedangkan hubungan antara perubahan kadar air dengan arah melintang seperti tampak pada Gambar 5.

5.2 Analisis Data

Dari data hasil keseluruhan kegiatan beserta pemantauan kadar air, selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan perilaku tanah meliputi kenaikan atau pengurangan kadar air terhadap tanah yang tertutup maupun yang tidak tertutup geomembran.

5.2.1 Pengaruh curah hujan terhadap kenaikan muka air tanah.

Fluktuasi kedalaman muka air tanah selama penelitian berlangsung (Tabel 2) menunjukkan kenaikan yang cukup berarti, sehingga dapat berpengaruh terhadap perilaku tanah ekspansif. Muka air tanah pada bulan Oktober 1998 berada pada kedalaman -1,5 meter MT (muka tanah), sedangkan muka air tanah pada bulan Februari 1999 berada pada kedalaman 0,8 meter MT, atau terjadi kenaikan muka air tanah sebesar 0,7 meter. Begitu pula data curah hujan (Tabel 2) yaitu pada bulan Oktober 1998 sebesar 128 mm, sedangkan pada bulan Februari 1999 sebesar 355 mm atau terjadi kenaikan sebesar 227 mm. Dengan demikian maka kegiatan penelitian ini dilakukan menuju arah musim penghujan.

5.2.2 Pengaruh muka air terhadap perubahan kadar air tanah

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan muka air (MA) terhadap besarnya perubahan kadar air tanah (w) dapat dievaluasi dari fluktuasi air tanah pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7. Kedalaman kadar air (w) yang dievaluasi mulai dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman -2,50 meter di bawah muka tanah setempat (MT)

a. Lokasi A

Pada titik A1, muka air tanah pada kedalaman MA = - 1,5 m MT mempunyai kadar air tanah antara $w = 31,07 - 53,34\%$, setelah muka air naik menjadi kedalaman MA = - 0,80 m MT, kadar air tanah berubah naik menjadi $w = 40,32 - 55,13\%$.

Pada titik A2, muka air tanah pada kedalaman MA = - 1,5 m MT mempunyai kadar air tanah antara $w = 33,65 - 52,18\%$, setelah muka air naik menjadi kedalaman MA = - 0,80 m MT, kadar air tanah berubah naik menjadi $w = 42,32 - 52,73\%$.

Untuk titik-titik lainnya dapat analog dengan di atas.

b. Lokasi B

Pada titik B1, muka air tanah pada kedalaman MA = - 1,5 m MT mempunyai kadar air tanah antara $w = 32,24 - 52,48\%$, setelah muka air naik menjadi kedalaman MA = - 0,80 m MT, kadar air tanah berubah naik menjadi $w = 41,62 - 53,41\%$.

Pada titik B2, muka air tanah pada kedalaman MA = - 1,5 m MT mempunyai kadar air tanah antara $w = 33,22 - 53,88\%$, setelah naik menjadi kedalaman MA = - 0,80 m MT, kadar air tanah berubah naik menjadi $w = 40,61 - 54,73\%$.

Untuk titik-titik lainnya dapat analog dengan di atas.

Dengan demikian maka fluktuasi kedalaman muka air tanah mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan kadar air.

5.2.3. Pengaruh geomembran terhadap perilaku kadar air tanah

Berdasarkan hasil pengamatan kadar air baik pada tanah yang tertutup geomembran maupun yang tidak tertutup geomembran maka dapat diketahui besarnya perubahan pada setiap kedalaman. Perubahan kadar air tanah pada setiap titik pengamatan yang dinyatakan oleh hubungan antara kedalaman dengan persentase perubahan kadar air (Gambar 5.2). Besarnya perubahan kadar air adalah mengurangkan nilai kadar air akhir dengan nilai kadar air awal, kemudian dibagi dengan kadar air awal dan dikalikan 100 persen. Profil perubahan kadar air (Δ dalam %) dapat dianalisis sebagai berikut :

a. Lokasi A

- Tanah tidak tertutup geomembran

Pada titik A1 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,70\%$ sampai dengan 10,10% dan pada titik A5 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,70\%$ sampai dengan 18,93%.

- Tanah tertutup geomembran

Pada titik A2 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,40\%$ sampai dengan 8,48%, pada titik A3 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 1,09\%$ sampai dengan 7,41% dan pada titik A4 sebesar $\Delta w = 0,71\%$ sampai dengan 9,24%.

b. Lokasi B

- Tanah tidak tertutup geomembran

Pada titik B1 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,49\%$ sampai dengan 9,38% dan pada titik B5 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,21\%$ sampai dengan 10,88%.

- Tanah tertutup geomembran

Pada titik B2 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,85\%$ sampai dengan 7,39%, pada titik B3 terjadi kenaikan kadar air sebesar $\Delta w = 0,17\%$ sampai dengan 4,52% dan pada titik B4 sebesar $\Delta w = 0,52\%$ sampai dengan 6,64%.

Dari ulasan di atas ternyata bahwa pada tanah yang tidak tertutup geomembran mempunyai fluktuasi kadar air yang lebih besar dibandingkan dengan tanah yang tertutup geomembran. Dengan demikian geomembran dapat mengurangi fluktuasi kadar air musiman dikarenakan dapat menghalangi penguapan dan perembesan air.

5.2.4. Pengaruh geomembran terhadap jarak tepi
Fungsi geomembran dapat juga memindahkan jarak pengaruh fluktuasi kadar air tanah, seperti terlihat pada Gambar 5.3 dapat dinyatakan bahwa adanya perbedaan besarnya fluktuasi kadar air antara tanah yang tidak tertutup (di luar) geomembran, di bagian tepi yang tertutup geomembran dan di bagian tengah-tengah tertutup geomembran

a. Daerah di luar geomembran.

Pada daerah di luar geomembran yaitu titik A1 berfluktuasi sebesar 0,70 % sampai dengan 10,10%, pada titik A5 berfluktuasi sebesar 0,70% sampai dengan 18,93%, sedangkan pada titik B1 berfluktuasi sebesar 0,49% sampai dengan 9,38%, dan pada titik B5 berfluktuasi sebesar 0,21% sampai dengan 10,88%.

b. Daerah tepi di dalam geomembran.

Pada daerah tepi di dalam geomembran dengan jarak 1,0 meter dari tepi geomembran, yaitu titik A2 berfluktuasi sebesar 0,40 % sampai dengan 8,48%, pada titik A4 berfluktuasi sebesar 0,71% sampai dengan 9,24%, sedangkan pada titik B2 berfluktuasi sebesar 0,85% sampai dengan 7,39%, dan pada titik B4 berfluktuasi sebesar 0,52% sampai dengan 6,64%.

c. Daerah tengah-tengah geomembran

Pada daerah di tengah-tengah geomembran dengan jarak 2,25 meter dari tepi geomembran yaitu titik A3 berfluktuasi sebesar 1,09 % sampai dengan 7,41%, pada titik B3 berfluktuasi sebesar 0,17% sampai dengan 4,52%.

Jarak tepi (e) yang diukur dari tepi geomembran ke arah tengah, yaitu mengenai terjadinya perbedaan fluktuasi kadar air. Hasil pemantauan diperoleh bahwa perubahan kadar air di tengah-tengah geomembran mempunyai nilai yang terkecil, sedangkan pada tepi geomembran (titik antara tepi dan tengah-tengah) menunjukkan nilai perubahan kadar air yang relatif lebih besar dibandingkan dengan titik yang berada di tengah-tengah. Menurut Walsh (1978 dan Swinburne (Holland et al,1980) jarak tepi ini membentuk garis parabolik yang dimulai dari titik tertentu di bawah slab sampai ke tepi.

5.2.5 Pengaruh Geomembran arah vertikal

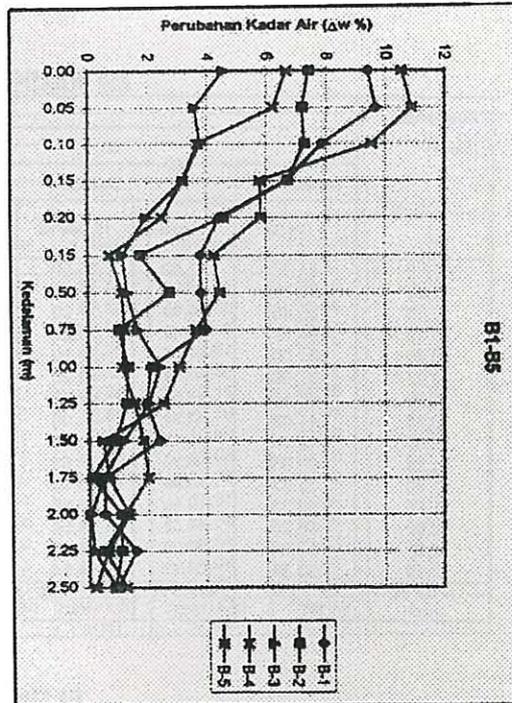
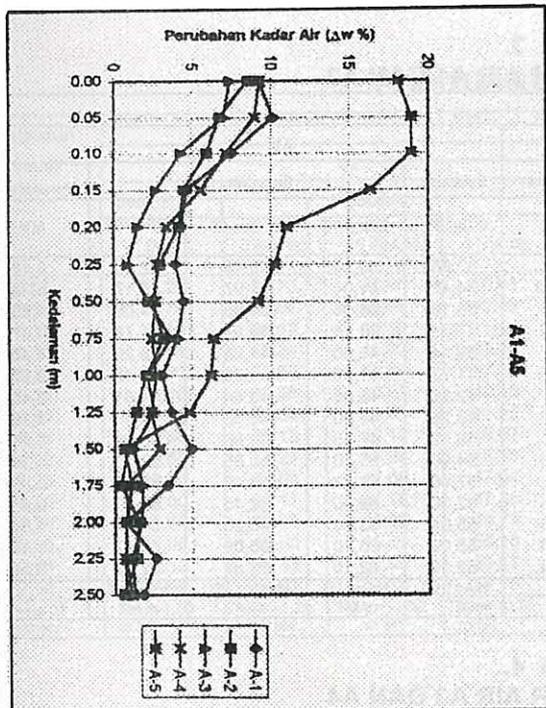
Geomembran yang dipasang secara vertikal mempunyai fungsi sebagai penahan rembesan dan penguapan air pada arah bagian samping jalan Geomembran vertikal dapat berpengaruh terhadap fluktuasi kadar air tanah, seperti terlihat pada Gambar 5. Hal ini dapat dinyatakan bahwa adanya perbedaan besarnya fluktuasi kadar air antara tanah yang tertutup geomembran dengan tanah yang tidak tertutup geomembran yang berada pada pinggir lereng sawah.

a. Lokasi A.

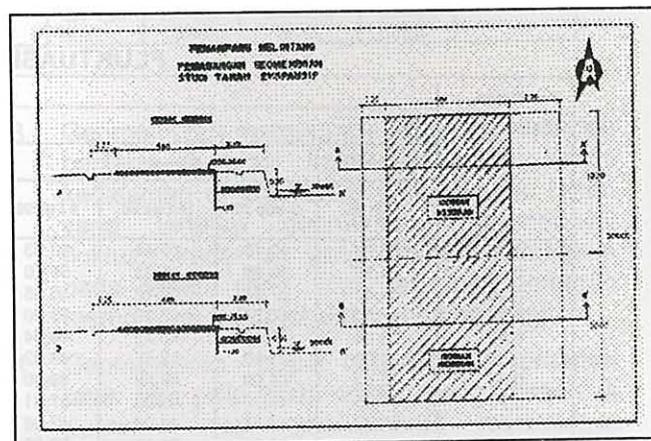
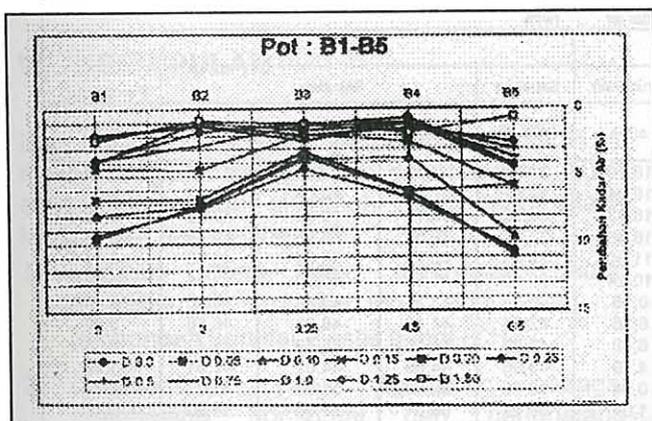
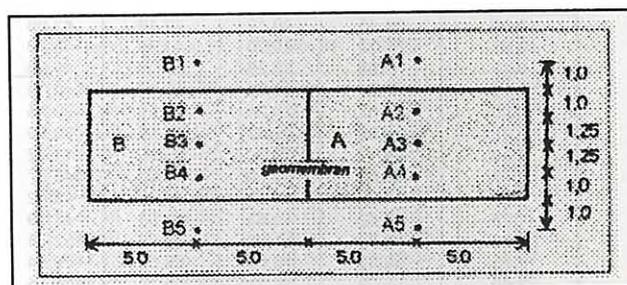
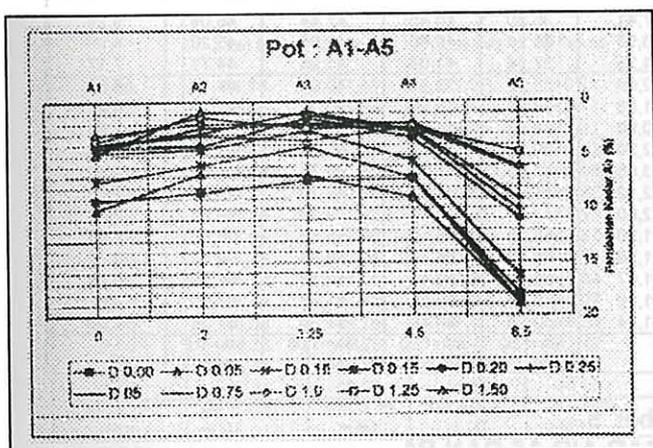
Pada daerah yang tertutup geomembran yaitu pada titik A4, kadar air berfluktuasi sebesar 0,71% sampai dengan 9,24%, sedangkan pada daerah yang tidak tertutup geomembran, yaitu pada titik A5 kadar air berfluktuasi sebesar 0,70% sampai dengan 18,93%.

b. Lokasi B.

Pada daerah yang tertutup geomembran yaitu pada titik B4, kadar air berfluktuasi sebesar 0,52% sampai dengan 6,64%., sedangkan pada daerah yang tidak tertutup geomembran, yaitu pada titik B5 berfluktuasi sebesar 0,21% sampai dengan 10,88%.



Gambar 4. Grafik perubahan kadar air per kedalaman



Gambar 5 : Grafik perubahan kadar air per lebar penampang

Gambar 6 : Titik – titik Pengukuran (dalam meter)

Tabel 3.
FLUKTUASI KADAR AIR A1 DAN A2

Kedalaman (meter)	Kadar air (w)%									
	A1					A2				
	Sebelum	Sesudah			Perubahan	Sebelum	Sesudah			Perubahan
	6 Okt 98	2 Nop 98	15 Des 98	8 Feb 99	Δ(%)	6 Okt 98	2 Nop 98	15 Des 98	8 Feb 99	Δ(%)
0,00	31,07	33,80	35,50	40,32	9,25	33,65	39,14	40,49	42,13	8,48
0,05	31,85	34,88	37,47	41,95	10,10	34,45	41,04	41,07	41,17	6,72
0,10	33,45	35,00	37,90	40,93	7,48	35,16	38,08	39,65	41,05	5,89
0,15	36,77	37,42	39,27	41,46	4,69	37,31	38,16	39,94	41,78	4,47
0,20	37,00	37,85	39,59	41,32	4,32	39,14	41,00	41,28	43,29	4,15
0,25	37,06	40,08	40,26	41,01	3,95	41,72	41,90	42,30	44,65	2,93
0,50	40,55	41,57	44,83	45,02	4,47	42,16	43,08	43,44	44,61	2,45
0,75	41,03	42,34	43,00	45,06	4,03	43,28	44,90	45,30	46,44	3,16
1,00	42,75	43,12	44,59	45,82	3,07	46,19	47,35	47,80	48,20	2,01
1,25	44,35	46,50	47,53	47,98	3,63	54,90	55,70	55,65	56,29	1,39
1,50	53,63	55,46	56,16	58,54	4,91	57,46	58,23	58,19	58,31	0,85
1,75	59,30	61,98	62,50	62,70	3,40	62,30	62,60	62,45	62,70	0,40
2,00	58,20	59,02	58,54	58,90	0,70	55,04	55,10	55,20	56,57	1,53
2,25	53,26	53,08	53,33	55,89	2,63	55,09	55,10	55,09	56,47	1,38
2,50	53,34	53,93	54,64	55,13	1,79	52,18	52,15	52,57	52,73	0,55
Muka air tanah	MA = -1,50 m MT	MA = -1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,80 m MT		MA = 1,50 m MT	MA = 1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,8 m MT	

Tabel 4.
FLUKTUASI KADAR AIR A3 DAN A4

Kedalaman (meter)	Kadar air (w)%									
	A3					A4				
	Sebelum	Sesudah			Perubahan	Sebelum	Sesudah			Perubahan
	6 Okt 98	2 Nop 98	15 Des 98	8 Feb 99	Δ(%)	6 Okt 98	2 Nop 98	15 Des 98	8 Feb 99	Δ(%)
0,00	35,45	40,12	40,49	42,86	7,41	36,80	40,45	47,44	46,04	9,24
0,05	36,23	41,20	41,90	43,19	6,96	36,24	40,80	41,68	45,20	8,96
0,10	36,68	39,28	39,33	40,96	4,28	37,54	41,08	41,26	44,71	7,17
0,15	37,34	39,68	40,00	40,03	2,69	38,62	39,84	40,01	44,19	5,57
0,20	38,32	39,24	39,57	39,85	1,53	38,86	39,90	40,21	42,26	3,40
0,25	38,60	39,32	39,54	39,50	0,90	38,92	39,01	39,14	41,66	2,74
0,50	39,12	40,34	40,90	41,32	2,20	39,05	40,44	40,55	41,68	2,63
0,75	40,02	40,40	40,93	43,67	3,65	43,40	45,72	45,77	45,82	2,42
1,00	41,30	43,40	43,45	43,42	2,12	45,56	48,12	48,10	48,22	2,66
1,25	44,69	45,85	46,54	47,19	2,50	47,28	49,00	49,23	49,65	2,37
1,50	51,54	51,98	52,06	52,74	1,20	55,16	55,18	55,55	58,02	2,86
1,75	58,08	58,60	59,50	59,84	1,76	58,72	58,77	58,86	59,47	0,75
2,00	55,09	55,21	55,17	56,76	1,67	52,04	52,13	52,16	52,82	0,78
2,25	55,22	55,42	55,86	56,31	1,09	53,14	50,84	51,75	53,85	0,71
2,50	49,03	48,72	48,70	50,27	1,24	50,28	50,40	51,30	51,36	1,08
Muka air tanah	MA = -1,50 m MT	MA = -1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,80 m MT		MA = 1,50 m MT	MA = 1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,8 m MT	

Tabel 5.
FLUKTUASI KADAR AIR A5 DAN B1

Kedalaman (meter)	Kadar air (w)%									
	A5					B1				
	Sebelum	Sesudah			Perubahan	Sebelum	Sesudah			Perubahan
	7 Okt 98	3 Nop 98	16 Des 98	9 Feb 99	Δ(%)	7 Okt 98	3 Nop 98	16 Des 98	9 Feb 99	Δ(%)
0,00	35,23	40,16	45,44	53,33	18,10	32,24	36,34	39,65	41,62	9,38
0,05	36,16	36,86	41,23	55,10	18,94	32,62	37,20	40,54	42,27	9,65
0,10	36,42	37,35	40,12	55,35	18,93	34,56	38,16	40,83	42,42	7,86
0,15	37,54	40,24	42,30	53,90	16,36	37,00	39,59	41,45	43,69	6,69
0,20	38,34	41,66	43,33	49,34	11,00	39,45	40,70	43,00	43,86	4,41
0,25	38,68	41,90	42,47	48,92	10,24	39,60	41,57	45,32	43,38	3,78
0,50	40,72	44,09	48,28	49,90	0,18	42,48	43,24	45,28	46,26	3,78
0,75	41,45	44,17	45,03	47,81	6,36	42,64	44,16	46,93	46,60	3,96
1,00	41,68	43,44	44,28	47,86	6,18	43,33	44,13	45,83	45,41	2,08
1,25	45,50	50,00	50,13	50,29	4,79	43,06	44,08	44,01	45,01	1,95
1,50	53,64	54,05	54,33	54,28	0,64	50,70	52,00	53,05	53,08	2,38
1,75	49,21	49,75	50,15	50,28	1,07	55,11	55,54	55,68	55,60	0,49
2,00	50,04	50,24	50,26	50,76	0,72	59,04	59,19	59,02	59,56	0,52
2,25	46,00	46,36	46,27	46,67	0,67	52,68	52,80	53,47	54,24	1,56
2,50	46,74	46,80	46,98	47,44	0,70	52,48	53,43	53,33	53,41	0,93
Muka air tanah	MA = -1,50 m MT	MA = -1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,80 m MT		MA = 1,50 m MT	MA = 1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,8 m MT	

Tabel 6.
FLUKTUASI KADAR AIR B2 DAN B3

Kedalaman (meter)	Kadar air (w)%									
	B2					B3				
	Sebelum	Sesudah			Perubahan	Sebelum	Sesudah			Perubahan
	7 Okt 98	3 Nop 98	16 Des 98	9 Feb 99	Δ(%)	7 Okt 98	3 Nop 98	16 Des 98	9 Feb 99	Δ(%)
0,00	33,22	36,38	37,86	40,61	7,39	34,58	37,44	38,27	39,10	4,52
0,05	33,75	37,66	38,58	40,93	7,18	34,80	37,12	38,86	38,38	3,58
0,10	34,18	39,42	40,48	41,44	7,26	35,40	38,21	39,01	39,15	3,75
0,15	36,44	40,24	41,72	43,15	6,71	36,58	38,75	39,67	39,77	3,19
0,20	37,82	42,02	42,19	42,35	4,53	38,24	39,46	39,80	40,17	1,93
0,25	38,46	40,86	40,52	40,18	1,72	39,22	40,04	40,11	40,35	1,13
0,50	44,24	44,34	46,86	46,95	2,71	40,68	40,69	40,70	41,94	1,26
0,75	45,66	46,13	46,14	46,67	1,01	40,04	40,33	40,99	41,68	1,64
1,00	45,68	46,24	46,96	46,98	1,30	43,44	44,90	45,98	45,85	2,41
1,25	46,70	47,00	47,08	47,94	1,24	44,70	45,45	45,75	46,72	2,02
1,50	47,00	47,11	47,18	47,86	0,86	46,34	46,82	47,67	47,50	1,16
1,75	49,64	49,75	49,09	49,73	0,09	52,44	52,32	52,54	52,93	0,49
2,00	49,08	49,50	49,59	50,13	1,05	54,40	54,45	54,48	54,45	0,05
2,25	52,13	52,33	52,90	53,17	1,04	54,43	54,50	54,94	54,60	0,17
2,50	53,88	54,01	54,34	54,73	0,85	55,13	56,20	56,25	56,00	0,87
Muka air tanah	MA = -1,50 m MT	MA = -1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,80 m MT		MA = 1,50 m MT	MA = 1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,8 m MT	

Tabel 7.
FLUKTUASI KADAR AIR B4 DAN B5

Kedalaman (meter)	Kadar air (w)%									
	B4					B5				
	Sebelum	Sesudah			Perubahan	Sebelum	Sesudah			Perubahan
	7 Okt 98	3 Nop 98	16 Des 98	9 Feb 99	Δ(%)	7 Okt 98	3 Nop 98	16 Des 98	9 Feb 99	Δ(%)
0,00	34,13	37,45	38,92	40,77	6,64	34,08	36,77	38,44	44,61	10,53
0,05	35,55	40,64	41,57	41,78	6,21	35,06	36,20	40,23	45,94	10,88
0,10	36,56	40,40	40,05	40,21	3,65	36,42	37,55	42,16	45,95	9,53
0,15	37,44	39,33	40,13	40,62	3,18	37,14	41,24	42,85	42,91	5,77
0,20	38,50	40,12	40,33	40,98	2,48	38,03	38,23	41,01	43,85	5,82
0,25	39,21	39,43	39,87	39,92	0,71	42,33	42,32	42,51	46,57	4,24
0,50	40,33	41,02	41,08	41,43	1,10	44,16	45,09	45,63	48,57	4,41
0,75	41,68	42,48	42,98	42,87	1,19	46,06	46,40	48,95	49,69	3,63
1,00	41,22	42,03	42,06	42,33	1,11	47,33	48,12	48,37	50,38	3,05
1,25	44,32	44,55	45,00	45,84	1,52	49,96	51,05	51,71	52,49	2,53
1,50	46,45	47,42	49,08	48,27	1,82	47,12	47,18	47,24	47,59	0,47
1,75	46,56	46,75	47,61	48,54	1,98	47,19	47,03	47,50	47,82	0,63
2,00	46,23	47,23	47,43	47,42	1,19	47,26	47,42	47,97	48,57	1,31
2,25	46,44	46,76	46,79	46,96	0,52	48,05	48,24	48,52	48,66	0,61
2,50	45,34	46,33	46,53	46,56	1,22	49,12	49,30	49,34	49,33	0,21
Muka air tanah	MA = -1,50 m MT	MA = -1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,80 m MT		MA = 1,50 m MT	MA = 1,20 m MT	MA = -1,00 m MT	MA = -0,8 m MT	

VI. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang telah diuraikan di muka mengenai penggunaan geomembran untuk pengendalian kadar air tanah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Lapisan tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis tanah lanau lempungan bersifat plastis tinggi (CH).
- Geomembran yang digunakan sebagai penghalang horisontal dan penghalang vertikal adalah bersifat kedap air tipe HDPE yang terdiri dari komposisi polymer 97,25% dan karbon hitam 2,5% dengan tebal 0,75 mm.
- Geomembran mempunyai pengaruh terhadap perilaku fluktuasi kadar air pada setiap kedalaman di atas zona aktif, dimana tanah yang tertutup geomembran mempunyai fluktuasi kadar air yang rendah, sedangkan pada tanah yang tidak tertutup membran mempunyai fluktuasi kadar air yang tinggi.
- Geomembran dapat berpengaruh terhadap jarak tepi yaitu pada tanah yang berada di daerah tepi geomembran mempunyai fluktuasi lebih besar dibandingkan dengan daerah di tengah-tengah geomembran. Sedangkan tanah yang tidak tertutup geomembran mempunyai fluktuasi kadar air yang cukup besar. Maka dari itu geomembran sebagai penghalang migrasi kadar air dapat

berfungsi memindahkan pengaruh jarak tepi dari bagian tengah ke arah bagian tepi.

5. Geomembran yang dipasang secara vertikal dapat menghalangi lajunya rembesan air dari arah samping, sehingga perubahan fluktuasi kadar air tanah yang terlindung geomembran tidak banyak dipengaruhi oleh fluktuasi muka air tanah yang berada di sampingnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fredlund DG dan Rahardjo H, Soil mechanics for unsaturated soils, John Wiley & Sons, Inc, 1993
2. John D Nelson and Debora J Miller, Expansive soils Problems and practice in foundation and pavement engineering, John Wiley & Sons, Inc, 1992

3. Joseph E Bowles, Foundation analysis and design, Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd, 1972.
4. Malcolm Steinberg, Geomembrans and the control of expansive soils in construction, Mc Graw-Hill, 1998.
5. M. Suherman, Laporan pengembangan teknologi penanggulangan tanah ekspansif dengan horizontal barrier, Pusat penelitian dan pengembangan jalan, 1999.

Penulis :

Drs. M. Suherman, Peneliti Madya Bidang Geoteknik, Puslitbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.

