

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ekspansif

2.1.1 Definisi Tanah Ekspansif

Tanah dasar (Subgrade) yang ekspansif menimbulkan banyak masalah kerusakan pada perkerasan jalan raya, sehingga perkerasan yang terletak pada tanah dasar ekspansif ini sering membutuhkan biaya pemeliharaan dan rehabilitasi yang besar sebelum perkerasan mencapai umur rancangannya. Tanah ekspansif (expansive soil) adalah tanah atau batuan yang mempunyai potensi penyusutan atau pengembangan oleh pengaruh perubahan kadar air (Hardiyatmo, 2007).

Pada tanah ekspansif, tanah tersebut akan mengalami kembang susut bila terjadi perubahan kadar air. Tanah akan mengembang bila kadar air bertambah, misal pada musim penghujan, dan menyusut bila kering pada musim kemarau. Pada kondisi basah (musim penghujan) tanah mengembang dan menjadi sangat lunak (kekuatan geser tanah berkurang) sehingga tanah mengalami deformasi arah vertikal maupun horizontal dan mengakibatkan kerusakan perkerasan yang ada di atasnya. Pada kondisi kering (musim kemarau) air yang ada pada tanah akan mengalami penguapan (evaporasi) sehingga tanah akan menyusut terutama pada lapisan didekat permukaan. Kondisi ini juga akan menyebabkan retak-retak dan juga menimbulkan kerusakan perkerasan yang ada di atasnya. Pada musim penghujan berikutnya air akan masuk lewat retakan ini sehingga penetrasi air akan semakin dalam, dan tanah akan mengalami pengembangan yang lebih besar dan menjadi lunak (Padmono, 2007).

2.1.2 Karakteristik Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis tanah pada umumnya, yaitu sebagai berikut:

a. Mineral lempung

Mineral lempung yang menyebabkan perubahan volume umumnya mengandung montmorillonite atau vermiculite, sedangkan illite dan kaolinite dapat bersifat ekspansif bila ukuran partikelnya sangat halus.

Tanah ekspansif ini mengandung mineral Montmorillonite dan Wire. Oleh beberapa pihak, khususnya orang teknik sipil dipandang sebagai sesuatu

yang berbahaya. Hal ini disebabkan oleh sifat kembang susutnya yang terlalu besar. Pada umumnya tanah ekspansif merupakan tanah berbutir halus sebagai koloid-koloid yang terdiri dari butiran tanah lempung (2μ) dengan jumlah kandungan lempungnya bervariasi antara 50 % sampai 70 %, dan biasanya mempunyai tekanan kembang yang tinggi bila berinteraksi dengan air.

b. Kimia tanah

Meningkatnya konsentrasi kation dan bertambahnya tinggi valensi kation dapat menghambat pengembangan tanah. Sebagai contoh, kation Mg akan memberikan pengembangan yang lebih kecil dibandingkan dengan Na

c. Plastisitas

Tanah dengan indeks plastisitas dan batas cair yang tinggi mempunyai potensi untuk mengembang yang lebih besar.

d. Struktur tanah

Tanah lempung yang berflokulasi cenderung bersifat lebih ekspansif dibandingkan dengan yang terdispersi.

e. Berat isi kering

Tanah yang mempunyai berat isi kering yang tinggi menunjukkan jarak antar partikel yang kecil, hal ini berarti gaya tolak yang besar dan potensi pengembangan yang tinggi.

2.1.3 Identifikasi dan Klasifikasi Tanah Ekspansif

Identifikasi merupakan pengenalan awal untuk mencirikan apakah tanah mempunyai sifat ekspansif atau tidak, hal ini dapat berguna untuk mengelompokkan panjang jalan pada daerah yang melalui tanah ekspansif dan pada daerah yang tidak melalui tanah ekspansif. Cara identifikasi dapat dilakukan dengan cara tidak langsung dan cara langsung, dimana data laboratorium dihubungkan dengan potensi tingkat pengembangan. Oleh karena itu maka cara identifikasi ini menggunakan beberapa metode yang sering digunakan dalam pengenalan tanah ekspansif. Parameter tanah yang digunakan indeks plastisitas, nilai keaktifan dan batas susut, tekanan mengembang atau persentase perubahan volume tanah (Suherman, 2003).

Sistem kalsifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem kalsifikasi tanah yang

telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Sistem klasifikasi tanah tersebut ada bermacam-macam tetapi tidak ada satupun yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat tanah yang bervariasi (M. Das. Braja,1995).

Identifikasi dan klasifikasi tanah ekspansif secara empiris dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter hasil dari uji indeks. Uji-uji indeks yang diperlukan adalah kadar air (SNI 03-1965-1990), batas cair (SNI 03-1967-1990), batas plastis (SNI 03-1966-1990), batas susut (SNI 03-3422-1994) dan analisis hidrometer (SNI 03-3423-1994). Pada umumnya, tanah dengan indeks plastisitas (PI) kurang dari 15 persen tidak akan memperlihatkan perilaku pengembangan. Untuk tanah dengan PI lebih besar dari 15 persen, kandungan kadar lempung harus dievaluasi di samping nilai -nilai batas Atterberg.

Sifat-sifat indeks tanah yang biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan tanah ekspansif adalah sebagai berikut :

a. Uji Klasifikasi Teknik

Hasil pengujian *indeks properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Dari harga indeks plastisitas dan sifat perubahan volume tanah yang berhubungan dengan jumlah partikel yang lebih kecil dari 0,0001 mm, yaitu yang sifatnya tergantung dari gaya permukaan dan bukan gaya gravitasi, Skempton (1953) mengemukakan bahwa dari parameter aktifitas (A_c) sebagai berikut:

$$\text{Aktifitas (A)} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C-10}$$

Dimana C = persentase fraksi lempung < 0,002

$A > 1,25$ merupakan tanah aktif dan bersifat ekspansif

$1,25 < A < 0,75$ merupakan tanah normal

$A < 0,75$ merupakan tanah tidak aktif

Tabel 2.1 Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,99
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

Sumber: Skempton (1953)

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid

Data Indeks Properties			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Colloid (<0,00 mm)	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 15	> 35	< 11	> 30	Very High
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 -28	10 – 16	10 – 20	Medium
< 15	< 28	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz & Gibbs (1956)

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Sarangan No. 200 dan Batas Cair

Laboratory And Field Data			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Persen Passing No. 200	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 95	> 65	> 30	> 10	Very High
60 – 95	40 – 60	20– 30	3 – 10	High
30 – 60	30 - 40	10 – 20	1 – 5	Medium
< 30	< 30	< 20	< 1	Low

Sumber : Chen (1965) dalam Chen (1988)

b. Uji terhadap batas – batas Atterberg

1. Kriteria Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1955)

Kriteria ini menggunakan persen dari tanah lempung karena menurut Altmeyer beberapa laboratorium mekanika tanah tidak menyertakan analisa hidrometer.

Dalam menggolongkan tanah ekspansif menggunakan *linear shrinkage* dan *shrinkage limit* (SL).

Tabel 2.4 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit

Linear Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0,5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
> 8	< 12	> 1,5	Critical

Sumber : Altmeyer (1955) dala Altmeyer (1955)

2. Kriteria Raman (1967)

Kriteria Raman ini menggolongkan batas – batas Atterberg pada tanah ekspansif dengan menggunakan dua parameter yaitu PI (*Plasticity Index*) dan SL (*Shrinkage Limit*).

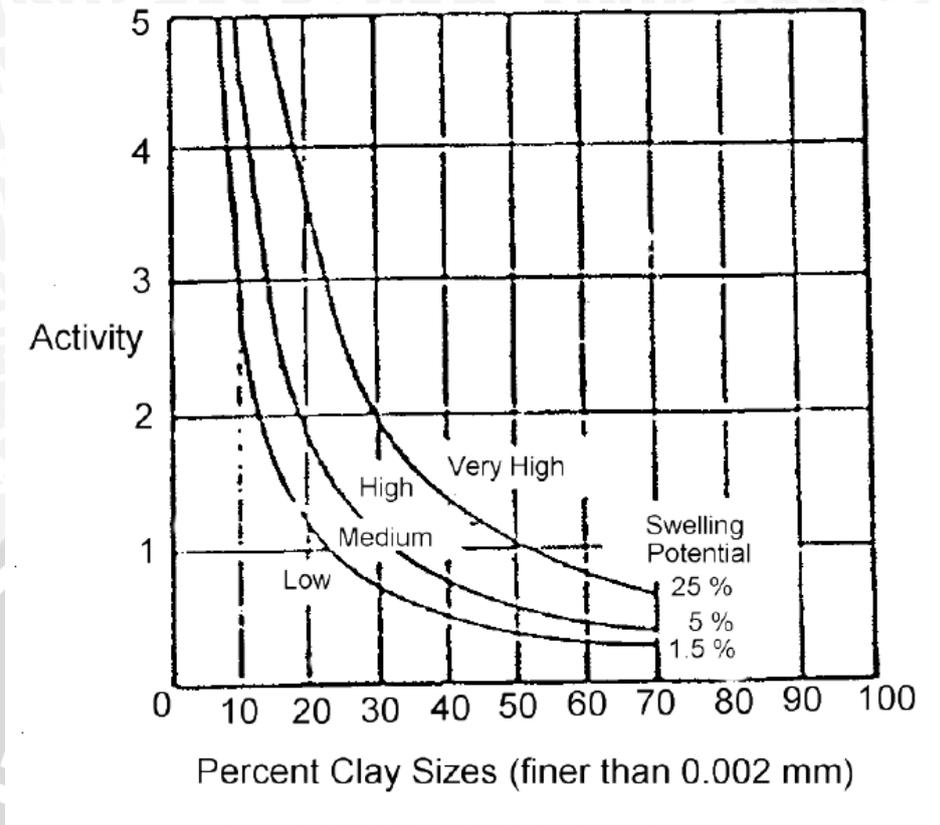
Tabel 2.5 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL

Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)	Degree Of Ekspansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 - 30	30 – 40	High
> 30	> 40	Very High

Sumber : Raman (1967)

3. Kriteria Seed (1962)

Pada kriteria Seed ilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif ditentukan dengan grafik antara jumlah tanah lempung dalam persen dengan parameter aktivitas (A).



Gambar 2.1 Hubungan Prosentase Lempung dan Aktivitas

4. Kriteria Chen (1988)

Pada kriteria Chen nilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif hanya didasarkan pada parameter PI (Plasticity Index) saja.

Tabel 2.6 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

Plasticity Index (%)	Swelling Potensial
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
10 – 35	High
> 35	Very High

Sumber : Chen (1988)

2.1.4 Kerusakan di Atas Tanah Ekspansif

Kerusakan pada jalan raya disebabkan oleh banyak faktor. Salah satu di antaranya adalah sifat fisik yang khusus dimiliki oleh tanah dasar. Sifat fisik khusus tersebut berupa kepekaan tanah dasar tersebut yang tinggi terhadap perubahan kadar airnya. Jenis lapisan tanah dasar tersebut dalam ilmu MEKANIKA TANAH diklasifikasikan

sebagai tanah lempung yang mempunyai plastisitas tinggi ($L.L. > 41\%$ $P.I. > 11\%$) dan lebih umum disebut “Expansive clay” akibat swelling pressure (Sutrisno, 2009). Rusaknya perkerasan yang berada di atas tanah dasar ekspansif adalah karena perkerasan merupakan struktur yang ringan dan sifat bangunannya meluas (Hardiyatmo, 2007).

Banyak kasus kerusakan jalan terjadi pada jalan yang melewati daerah yang memiliki tanah ekspansif seperti di Propinsi Jawa Tengah (ruas jalan Semarang-Purwodadi, Demak-Godong, Demak-Kudus, Wirosari-Cepu), di Propinsi Jawa Timur (ruas jalan Ngawi-Caruban, Surabaya-Gresik, Gresik-Lamongan), di Propinsi Yogyakarta (ruas jalan Yogya-Wates) dan di Propinsi Jawa Barat (jalan tol Jakarta-Cikampek). Kejadian ini disebabkan oleh perilaku tanah ekspansif yang berada dibawah perkerasan jalan yang mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar. Sifat kembang-susut ini merupakan faktor penyebab yang dominan terhadap kejadian kerusakan karena dapat mendorong perkerasan jalan ke arah vertikal dan dapat menarik secara lateral. Masalah kembang-susut ini terjadi pada tanah kelempungan dengan perubahan kadar air yang tinggi, sehingga fleksibilitas perkerasan tidak mampu mengikuti perubahan sifat tanah ekspansif, maka kerusakanpun tak dapat dihindari (Suherman, 2005).

Kerusakan perkerasan jalan diatas tanah ekspansif umumnya adalah retak memanjang dan atau ambles/penurunan badan jalan yang diperkirakan adanya kembang susut yang terjadi dibawah perkerasan. Pada musim hujan kadar air tinggi tanah mengembang. Apabila lapisan bawah ini tidak cukup kuat mendukung perkerasan akan terjadi kerusakan ambles atau penurunan dan pada musim panas dimana kadar air berkurang terjadi penyusutan akan terjadi retak. Rendahnya daya dukung tanah dasar umumnya menjadi masalah yang sangat serius untuk dipecahkan dalam perencanaan bangunan teknik sipil. Kondisi ini misalnya terjadi didaerah rawa, tanah kohesif (lempung) dan tanah gambut. Akibat adanya penurunan yang tidak merata pada lapis pondasi menyebabkan retak-retak pada lapis permukaan perkerasan (*surface coarse*). Retak akan merambat ke atas sejalan dengan waktu selama lapis keras tersebut dibebani secara dinamik (lalu lintas) yang lewat diatasnya. Salah satu jenis kerusakan jalan adalah retak refleksi yaitu retak yang menggambarkan pola retakan dibawahnya (Nugroho dan Kurniati, 2006).

Persoalan tanah mengembang merupakan persoalan yang relatif sulit diatasi (Padmono, 2007). Kegagalan konstruksi yang terjadi pada tanah ekspansif pada prinsipnya sebagian besar disebabkan oleh pemahaman yang masih terbatas terhadap sifat-sifat tanah tersebut. Hal ini mengakibatkan metode analisis yang digunakan dalam penentuan penanganan menjadi kurang relevan. Dalam desain untuk pembuatan dan penanganan konstruksi jalan di atas tanah ekspansif perlu mempertimbangkan beberapa aspek penting sehubungan dengan sifat tanah yang berada di bawah badan jalan sehingga pengaruh jelek dari sifat ini dapat diantisipasi sebelumnya oleh para perencana. Aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan dalam desain antara lain: sifat kembang susut, kondisi retak, parameter tanah, pengangkatan ke atas dan tekanan tanah lateral. Stabilitas timbunan dan stabilitas lereng akan menyangkut persoalan daya dukung dan pergerakan ke samping yang didasarkan pada kriteria keruntuhan batas atau kriteria elastisitas tanah. Besaran faktor keamanan diambil berdasarkan kondisi kemantapan lereng statis atau dinamis dengan mereduksi kekuatan besaran tanah (Anonim, 2003).

Dikenal beberapa metode penanganan untuk daerah tanah ekspansif seperti penggantian material ekspansif, memperbaiki karakteristik material ekspansif secara mekanis dan atau kimiawi, counterweight, pemasangan geomembran horisontal dan atau vertikal. Berdasarkan pengamatan lapangan badan jalan relatif stabil pada daerah seperti adanya pemukiman atau perumahan di kiri kanan jalan, adanya lapisan aspal pada bahu jalan dan bahu yang cukup lebar, adanya tembok penahan tanah pada tepi badan jalan. Hal ini diperkirakan karena tanah dengan kadar air tetap (seimbang) badan jalan akan relatif stabil sedangkan pada tanah dasar dengan kadar air berubah-ubah naik turun badan jalan akan tidak stabil, terjadi perubahan volume, terjadi retakan ketika kering dan mengembang ketika terkena air.

Kerusakan jalan yang diakibatkan oleh perilaku tanah ekspansif dapat dilihat dengan ciri-ciri seperti di bawah ini :

a. Retakan

Retak pada perkerasan terjadi akibat penyusutan maupun pengembangan tanah. Retak ini merupakan retak memanjang yang dimulai dari tepi bahu jalan menuju ke tengah perkerasan. Lebar retakan bervariasi mulai dari retak rambut sampai retak berbentuk celah hingga mencapai 10 cm. Kedalaman retakan bervariasi mulai dari 1,0 cm sampai dengan kedalaman 50 cm. Retakan memanjang arah jalan disebabkan oleh retak yang

terjadi pada tanah dasar, dan secara refleksi menjalar ke struktur perkerasan yang berada di atasnya dimulai dari samping perkerasan jalan.

b. Pengangkatan Tanah

Pengangkatan tanah atau cembungan perkerasan jalan dapat diakibatkan oleh mengembangnya tanah ekspansif yang berada di bawah perkerasan. Cembungan ini dapat mempengaruhi struktur perkerasan sehingga menyebabkan permukaan jalan bergelombang. Pada saat-saat tertentu cembungan terjadi pada tepi perkerasan akibat pemompaan tanah dasar yang lunak oleh repetisi roda kendaraan

c. Deformasi (Penurunan)

Penurunan permukaan perkerasan jalan dapat terjadi akibat berubahnya sifat tanah dasar menjadi tanah lunak atau terjadinya pengecilan volume akibat proses penyusutan. Penurunan permukaan yang terjadi dapat mencapai kedalaman 30 cm sehingga mengganggu kelancaran pengguna jalan

d. Longsoran

Air permukaan yang berada di atas perkerasan dapat masuk ke dalam celah yang besar, sehingga tanah menjadi jenuh air dan kadar air di dalamnya meningkat. Dengan adanya peningkatan kadar air pada tanah ekspansif, maka kuat geser tanah semakin berkurang dan akan mencapai kuat geser kritisnya. Semakin berkurangnya kuat geser tanah akan berakibat semakin berkurang pula daya dukungnya, sehingga pada saat faktor keamanan mendekati satu, tanah dasar tidak mampu lagi menahan beban di atasnya dan longsoranpun tidak dapat dihindari.

2.2 Perkerasan Jalan di Atas Tanah Ekspansif

2.2.1 Desain Konstruksi Jalan di Atas Tanah Ekspansif

Dalam desain untuk pembuatan dan penanganan konstruksi jalan di atas tanah ekspansif perlu mempertimbangkan beberapa aspek penting sehubungan dengan sifat tanah yang berada di bawah badan jalan sehingga pengaruh jelek dari sifat ini dapat diantisipasi sebelumnya oleh para perencana. Aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan dalam desain antara lain: sifat kembang-susut, kondisi retak, parameter tanah, pengangkatan ke atas dan tekanan tanah lateral. Stabilitas timbunan dan stabilitas lereng akan menyangkut persoalan daya dukung dan pergerakan ke samping yang didasarkan pada kriteria keruntuhan batas atau kriteria elastisitas tanah. Besaran faktor keamanan

diambil berdasarkan kondisi kemantapan lereng statis atau dinamis dengan mereduksi kekuatan besaran tanah (Suherman, 2003).

Desain konstruksi jalan di atas tanah ekspansif membutuhkan analisis data hasil penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium yang dapat memberikan informasi mengenai prosedur perencanaan atau pemilihan metode penanganan. Faktor-faktor yang di jadikan dasar dalam desain konstruksi jalan di atas tanah ekspansif yaitu:

A. Zona Aktif

Zona aktif dapat ditentukan dengan memetakan nilai kadar air (w) terhadap kedalaman (D) dari contoh tanah yang diambil selama musim basah dan kering. Kedalaman pada saat kadar air hampir konstan adalah batasan zona aktif, atau disebut juga tebal perubahan kadar air musiman.

B. Pemadatan Tanah

Pada prinsipnya pemadatan tanah merupakan suatu proses dimana partikel tanah saling berdekatan, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil akibat tumbukan mekanik. Dengan melakukan pemadatan tanah pada kondisi kadar air yang mendekati optimum, rongga udara dapat dieliminir sehingga perubahan kadar air pun berkurang. Pemadatan yang baik pada timbunan badan jalan akan mengurangi bahkan meniadakan penurunan timbunan. Melalui pemadatan tanah yang baik kuat geser tanah akan meningkat dan tahan terhadap deformasi.

C. Kuat Geser Tanah Tak Jenuh

Kuat geser tanah tak jenuh dapat diformulasikan sebagai variabel kondisi tegangan. Ada dua variabel yang dapat dimasukkan ke dalam persamaan kuat geser tanah tak jenuh, yaitu variabel (σ - u_a) dan (u_a - u_w). Bila dibandingkan dengan kuat geser tanah jenuh, maka tanah tak jenuh memiliki kuat geser yang lebih tinggi.

D. Perilaku Kuat Geser Akibat Siklus Berulang

Terdapat dua kemungkinan yang terjadi akibat proses berulangnya basah-kering terhadap partikel-partikel tanah, yaitu terjadinya penyatuan butiran sehingga ukuran menjadi lebih besar, dan terjadinya pengurangan butiran sehingga ukuran menjadi lebih kecil. Partikel kuat geser tanah lempung akibat siklus berulang basah-kering akan mengakibatkan terjadinya hal-hal berikut:

- 1) Peningkatan kekakuan susunan partikel tanah yang ditandai dengan meningkatnya nilai modulus tangen awal pada siklus tertentu dari berulangnya basah-kering;
- 2) Peningkatan kuat geser tanah lempung yang merupakan peningkatan tegangan efektif intrinsik (intrinsic effective stress) akibat munculnya ikatan antar partikel;
- 3) Peningkatan kohesi tanah seiring dengan meningkatnya siklus berulang basah-kering. Hal ini membuktikan bahwa proses selama siklus berulang terjadi ikatan partikel yang dinilai sebagai tegangan efektif intrinsik dalam tanah.

E. Perilaku Mengembang Akibat Siklus Berulang

Perilaku potensi mengembang pada tanah ekspansif akan berkurang akibat bertambahnya siklus berulang basah-kering. Pengurangan tersebut semakin kecil setelah melewati siklus kelima. Permukaan jalan mengalami pergerakan setiap siklus musim hujan hingga empat siklus dan pergerakan menjadi sangat kecil setelah mengalami siklus kelima. Kondisi berulangnya pengembangan tanah akan mengakibatkan kelelahan pengembangan.

F. Tekanan Tanah Lateral

Untuk keperluan konstruksi dinding penahan tanah yang ditempatkan di atas tanah ekspansif, maka analisis perhitungan dapat dipertimbangkan terhadap dua kondisi, yaitu:

- 1) untuk tanah timbunan yang berupa tanah ekspansif, analisis perhitungan dipertimbangkan terhadap keadaan remasan (remolded).
- 2) untuk tanah galian yang berupa tanah ekspansif, analisis perhitungan dipertimbangkan terhadap keadaan asli.

Beberapa alternatif desain perkerasan jalan di atas tanah ekspansif telah dilakukan di Indonesia. Untuk mengatasi kerusakan jalan pada tanah dasar lempung dapat menggunakan perkerasan beton atau perkerasan kaku. Kelemahan dan kelebihan yaitu biaya konstruksi yang mahal, biaya pemeliharaan rendah dan waktu konstruksi lama (Aly, 2004). Sedangkan kelebihannya adalah perkerasan beton mampu mendukung beban lalu lintas yang besar. Untuk menangani gangguan ketidakrataan permukaan jalan akibat pengembangan tanah dasar dapat dicoba perkerasan kaku dengan menggunakan sistem cakar ayam yang dilengkapi dengan struktur penghalang vertikal (Hardiyatmo,

2007). Konstruksi Cakar ayam modifikasi juga merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kerusakan perkerasan jalan yang berada diatas timbunan di daerah tanah lunak (Daud, 2009).

2.2.2 Teknik Konstruksi Jalan di Atas Tanah Ekspansif

Teknik konstruksi untuk menangani masalah tanah ekspansif perlu mendapat perhatian mengenai cara penerapannya yang disesuaikan dengan tujuan, biaya dan kecocokan lapangan yang ada. Berikut beberapa alternatif metode-metode konstruksi di atas tanah ekspansif:

1. Penggantian Material

Metode penggantian material tanah ekspansif pada prinsipnya merupakan pengurangan seluruh atau sebagian tanah ekspansif sampai pada kedalaman tertentu, sehingga fluktuasi kadar air akan terjadi sekitar ketebalan tanah pengganti. Material tanah pengganti harus terdiri dari tanah yang non ekspansif agar tidak menimbulkan masalah kembang-susut tanah lagi dibawah konstruksi jalan.

Meskipun demikian masalah akan timbul apabila lapisan tanah yang berpotensi ekspansif sangat tebal, sehingga penggantian tanah seluruhnya menjadi tidak ekonomis. Untuk itu, penentuan kedalaman tanah yang akan diganti perlu dipertimbangkan terhadap besarnya kekuatan mengembang yang berlebih. Berat sendiri timbunan material pengganti harus cukup mampu menahan gaya angkat tanah ekspansif yang berada di bawah material pengganti, sehingga pengembangan atau penyusutan tidak lagi berpengaruh terhadap material di atasnya. Secara teoritis besarnya pengangkatan tanah dapat dihitung dari hasil uji laboratorium, tetapi pengangkatan tanah di lapangan umumnya kurang lebih sepertiga dari estimasi hasil uji laboratorium. Kedalaman tanah ekspansif yang akan diganti minimal setebal 1,0 meter.

2. Manajemen air

Desain drainase merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam manajemen air pada konstruksi jalan diatas tanah ekspansif. Baik buruknya kinerja perkerasan jalan tergantung kepada kondisi drainase permukaan maupun bawah permukaan. Salah satu faktor yang memicu perubahan volume tanah ekspansif sehingga dapat merusak lapis perkerasan adalah kurang berfungsinyadrainase permukaan.Hal ini ditandai dengan terjadinya genangan air

pada saluran samping, lunaknya tanah pada saluran dan tumbuhnya tanaman atau pepohonan akibat terendahnya lingkungan sekitar.

Drainase bawah permukaan berfungsi untuk mencegah aliran air bebas dan menurunkan muka air tanah. Aliran air yang menuju ke arah bawah badan jalan akan terhalangi oleh drainase tersebut, sehingga aliran air akan terputus dan mengalir melalui saluran drainase ke daerah pembuangan air. Dengan tidak masuknya air ke bawah badan jalan, maka pengaruh muka air tanah terhadap lapisan perkerasan akan berkurang, sehingga perubahan kadar air yang besar akan relatif terjaga.

3. *Stabilisasi*

Penggunaan metode stabilisasi tanah ekspansif bertujuan untuk menurunkan nilai indeks plastisitas dan potensi mengembang yaitu dengan mengurangi prosentase butiran halus atau kadar lempungnya antara lain:

- Stabilisasi dengan kapur
- Stabilisasi dengan semen
- Stabilisasi dengan membran
- Stabilisasi dengan pembebanan

Penanganan konstruksi jalan di atas tanah ekspansif pada prinsipnya adalah menjaga agar perubahan kadar air tidak terlalu tinggi atau dengan mengubah sifat tanah lempung ekspansif menjadi tidak ekspansif. Metode penanganan tanah ekspansif difokuskan ke dalam dua hal, yaitu perencanaan konstruksi jalan baru dan perbaikan konstruksi jalan lama. Usaha penanganan yang paling penting adalah mengupayakan agar tanah lempung tidak menimbulkan kerusakan pada struktur perkerasan jalan. Oleh karena itu penanganan harus dilakukan dengan beberapa alternatif, untuk mengetahui sifat tanah lempung yang akan dicegah atau diubah sifatnya.

Hal-hal penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan metode konstruksi serta belum tercantum didalam sub-sub pasal di atas dirangkum pada Tabel 2.5 di bawah ini:

Tabel 2.7 Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan metode konstruksi

No	Metode Kontruksi	Hal-hal yang perlu dipertimbangkan
1.	Penggantian Material	<ul style="list-style-type: none"> a. Material pengganti yang digunakan harus bersifat non ekspansif serta tidak lolos air. b. Tanah tersebut harus dipadatkan melebihi kepadatan tanah ekspansif untuk mendapatkan daya dukung yang tinggi. c. Jika menggunakan material granular, maka perlu dilakukan kontrol pengaliran air dari timbunan agar tidak berkumpul pada material ini. d. Penggalian harus mencapai kedalaman yang dianggap stabil serta dilindungi dengan menggunakan membran.
2.	Stabilisasi dengan kapur	<ul style="list-style-type: none"> a. Persentase kapur yang diberikan sebesar 2 – 10 % umumnya dapat digunakan. b. Harus dilakukan pengujian awal terhadap tanah yang akan distabilisasi untuk menentukan reaksi kapur dan persentase kapur yang dibutuhkan. c. Kedalaman pencampuran terbatas antara 30 – 45 cm, tergantung pada peralatan pencampurnya. d. Kapur dapat digunakan dalam bentuk kering maupun encer(slurry), tetapi penambahan air harus tetap dilakukan. e. Pengawasan kualitas sangat penting dilakukan selama pengemburan, pencampuran dan pemadatan. f. Stabilisasi dengan kapur harus dilindungi dari air permukaan dan air tanah karena air tersebut dapat mengeluarkan kapur dari dalam campuran sehingga tanah akan kehilangan kekuatan akibat jenuh air.
3.	Stabilisasi dengan semen	<ul style="list-style-type: none"> a. Tipe semen yang digunakan adalah semen Portland dengan persentase 4 – 6%, dengan tujuan mengurangi potensi perubahan volume.

No	Metode Kontruksi	Hal-hal yang perlu dipertimbangkan
		<ul style="list-style-type: none"> b. Pelaksanaan stabilisasi dengan semen sama dengan yang dilakukan pada stabilisasi dengan kapur. c. Penggunaan stabilisasi dengan semen tidak seefektif stabilisasi dengan kapur untuk tanah lempung berplastisitas tinggi.
4.	Pelat Beton	<ul style="list-style-type: none"> a. Trotoar yang terbuat dari pelat beton sebaiknya diberikan tulangan. b. Sambungan lentur harus dapat menghubungkan trotoar dengan fondasinya. c. Harus sering dilakukan pemeriksaan terhadap retak dan kebocoran.
5.	Aspal	<ul style="list-style-type: none"> a. Membran menerus harus ditempatkan di sepanjang tanah dasar dan saluran samping apabila aspal digunakan pada konstruksi jalan raya.
6.	Membran Horisontal	<ul style="list-style-type: none"> a. Membran horisontal harus diperpanjang hingga cukup jauh dari perkerasan jalan atau fondasi untuk mencegah pergerakan air secara horisontal ke dalam tanah pondasi. b. Dibutuhkan kehati-hatian pada saat memasang membran di atas fondasi, merekatkan sambungan, serta memiringkan membran hingga berada di bawah dan jauh dari struktur. c. Bahan membran harus tahan lama dan terbuat dari bahan yang tidak mudah terdegradasi. d. Sambungan yang menghubungkan membran dengan struktur harus kuat dan tidak tembus air. e. Dibutuhkan kemiringan yang cukup untuk mengalirkan drainase permukaan langsung dari ujung-ujung membran.
7.	Membran Vertikal	<ul style="list-style-type: none"> a. Membran harus dipasang sedalam mungkin sesuai dengan peralatan yang digunakan.

No	Metode Kontruksi	Hal-hal yang perlu dipertimbangkan
		b. Kedalaman pemasangan minimum yang digunakan adalah setengah dari kedalaman zona aktif. c. Tanah timbunan yang digunakan untuk mengisi parit harus kedap air.
8.	Membran Pembungkus Lapisan Tanah	a. Setiap sambungan harus tertutup rapat. b. Material yang digunakan harus tahan lama dan kuat terhadap urugan pasir. c. Penempatan lapisan pertama di atas membran bawah harus diawasi untuk mencegah kerusakan.
9.	Pembebanan	a. Apabila tekanan mengembang relatif rendah serta deformasinya masih dapat ditolerir, maka penggunaan metode pembebanan ini cukup efektif. b. Diperlukan pengujian tanah untuk menentukan kedalaman zona aktif dan besarnya tekanan mengembang maksimum yang akan dibebani. c. Pengawasan drainase sangat diperlukan selama pembebanan berlangsung untuk mencegah pengaliran air baik pada arah vertikal maupun horisontal.

2.2.3 Parameter Desain

Parameter desain perkerasan jalan di atas tanah ekspansif yang biasa dipakai antara lain:

- Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan fungsi dari parameter-parameter kekuatan tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

- *Poisson's ratio*

Poisson's ratio (μ) tanah lempung dinyatakan di dalam Tabel 2.8 berikut ini:

Tabel 2.8 Nilai *Poisson's Ratio* Tanah Lempung

Kondisi Tanah	<i>poisson's ratio</i>
Lempung Jenuh	0,4-0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1-0,3

- *California Bearing Ratio (CBR)*

Uji CBR adalah suatu cara empiris untuk menentukan kekuatan tanah dasar dimana konstruksi akan diletakkan. Cara ini dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Prinsip percobaan ini adalah penetrasi dengan kecepatan tertentu pada berbagai sampel tanah dengan tingkat kepadatan dan kadar air tertentu. Percobaan CBR dimaksudkan mengidentifikasi stabilitas relative dari tanah pada suatu kadar air dan berat isi kering tertentu. Percobaan CBR laboratorium dilakukan pada sampel tanah yang dipadatkan pada *mold* silinder. Sebuah piston standar dengan luas 3 inchi persegi berbentuk lingkaran dipenetrasi.

2.2.4 Desain Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan dimaksudkan untuk memberikan permukaan yang halus dan aman di segala cuaca, serta tebal dari setiap lapisan harus cukup untuk menjamin bahwa beban yang bekerja tidak merusakkan perkerasan atau lapisan di bawahnya. Perkerasan atau struktur perkerasan didefinisikan sebagai struktur yang terdiri dari satu lapisan atau lebih dari bahan-bahan yang diproses.

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Beton dengan tulangan atau tanpa tulangan diletakkan di atas lapis pondasi bawah atau langsung di atas tanah dasar yang sudah disiapkan, dengan atau tanpa lapisan aspal sebagai lapis permukaan. Kekuatan perkerasan kaku ditentukan oleh kekuatan lapisan beton itu sendiri, sedangkan kekuatan tanah dasar tidak begitu menentukan. Kekuatan plat beton yang tinggi dapat memikul sebagian besar beban lalu lintas sehingga pengaruh pada daya dukung tanah dasar kecil. Karena kekakuan pelat beton yang relatif tinggi sehingga dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas. Tegangan yang timbul pada lapis pondasi bawah relatif kecil karena beban telah disebarkan oleh pelat beton.

Perkerasan beton mempunyai kekakuan atau modulus elastisitas yang tinggi dari perkerasan lentur. Beban yang diterima akan disebarkan ke lapisan dibawahnya sampai ke lapis tanah dasar. Dengan kekakuan beton yang tinggi, maka beban yang disalurkan tersebut berkurang tekanannya karena makin luasnya areal yang menampung

tekanan beban sehingga mampu dipikul oleh lapisan dibawah (tanah dasar) sesuai dengan kemampuan CBR. Dalam perkerasan kaku, tebal plat beton didesain agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh beban roda kendaraan, perubahan suhu dan kadar air, serta perubahan volume yang terjadi pada lapisan dibawahnya. Untuk memikul repetisi/pengulangan pembebanan lalu lintas sesuai dengan konfigurasi sumbu dan bebannya, dalam perhitungan tebal plat beton diterapkan kelelahan (fatigue). Pada prinsipnya, perkerasan kaku didesain atas dasar:

- 1) Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dalam modulus reaksi tanah dasar (k).
- 2) Tebal dan jenis lapisan pondasi bawah yang salah satunya untuk mendapatkan keseragaman daya dukung di bawah pelat.
- 3) Kekuatan beton yang dinyatakan dalam kekuatan lentur tarik mengingat keruntuhan pada perkerasan beton berupa retakan oleh tegangan lentur tarik yang berlebihan.

2.3 Analisis Struktur Perkerasan Kaku di Atas Tanah Ekspansif

Supaya didapatkan alternatif solusi terbaik untuk menangani perkerasan jalan diatas tanah ekspansif agar umur layan perkerasan jalan dapat tercapai sesuai dengan umur rencana yang telah direncanakan maka sangat penting dilakukan identifikasi terhadap karakteristik tanah ekspansif dan analisis struktur perkerasan jalan diatas tanah ekspansif agar didapatkan hasil desain perbaikan perkerasan jalan yang paling optimal untuk dilaksanakan diatas tanah ekspansif. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis struktur perkerasan jalan dapat dilakukan menggunakan bantuan pemrograman komputer melalui program analisis desain struktur SAP-2000. Program SAP-2000 dapat melakukan analisis desain struktur perkerasan jalan sehingga besaran gaya-gaya dalam berupa momen, tegangan, dan lendutan dari suatu jenis perkerasan jalan pada tanah ekspansif dapat diketahui.

Program komputer SAP (Structure Analysis Programme) dikembangkan oleh Profesor Edward L. Wilson di Universitas California Barkeley selama 25 tahun, yang merupakan solusi berbasis komputer terhadap metode analisa struktur dengan menggunakan metode elemen hingga. Di dalam Program SAP-2000, elemen yang dapat merepresentasikan struktur perkerasan adalah elemen ASOLID. Banyak problem praktis tentang analisis tegangan menggunakan bentuk aksisimetris, seperti cerobong, piringan, dan juga dapat dikembangkan ke bentuk perkerasan. Pada struktur perkerasan baik bentuk perkerasan maupun beban yang bekerja, dimodelkan dalam bentuk aksisimetris.

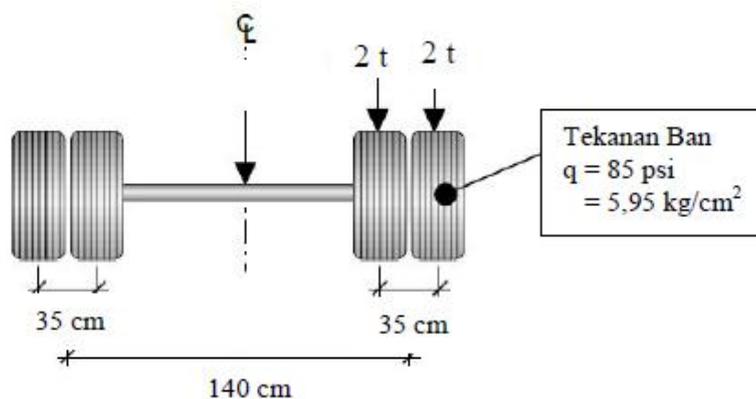
Program SAP-2000 dapat digunakan untuk menganalisis model perkerasan lentur multilayer dengan memakai elemen ASOLID (Hariyadi, 2006).

2.3.1 Pemodelan Pembebanan

Struktur perkerasan akan mengalami lendutan pada saat menerima beban roda kendaraan (Kosasih, 2004). Secara teoritis, Kosasih (2004) menjelaskan bahwa besarnya lendutan struktur perkerasan dapat dihitung dari data komposisi dan tebal lapisan perkerasan, karakteristik bahan perkerasan (modulus elastisitas dan konstanta poisson), dan konfigurasi beban roda kendaraan.

Model pembebanan yang dipakai dalam analisis desain struktur perkerasan mengacu pada beban gandar (*axle load*) yang digunakan untuk perancangan perkerasan jalan mengacu pada peraturan Bina Marga (1987) mengenai beban gandar tunggal standar (*Standard Single Axle Load*) = 8,16 ton. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalulintas Jalan menyatakan bahwa Muatan Sumbu Terberat (MST) yang diijinkan untuk jalan kelas III adalah sebesar 8 ton. Sedangkan untuk kelas jalan V atau yang paling minimum adalah 1,5 ton.

Didalam analisis struktur perkerasan ditentukan MST = 8 ton sebagai beban statis. Untuk analisis beban MST = 8 ton, Design Axle load dapat dilihat pada Gambar 2.7 design axle load standard axle load = 80 KN = 8,16 ton seperti terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.2 Design axle load standard axle load = 80 KN = 8,16 ton

2.3.2 Parameter Karakteristik Tanah Dasar (*Subgrade*)

Beberapa parameter karakteristik tanah dasar yang sangat penting dipakai dalam analisis struktur perkerasan jalan antara lain :

- Modulus reaksi tanah dasar

Koefisien *Modulus of Subgrade Reaction* (k_s) yang digunakan untuk analisis struktur perkerasan dapat dihitung berdasarkan nilai CBR tanah dasarnya.

- Modulus elastisitas tanah dasar

Modulus elastisitas tanah dapat diukur dari korelasi antara *modulus resilient* tanah dasar dengan CBR yaitu sebagai berikut :

$$\text{MR tanah dasar (MPa)} = 10 \times \text{CBR(\%)}$$

- Angka *Poisson's Ratio* tanah dasar

Menurut *Bowles (1998)*, besarnya nilai *Poisson's Ratio* (μ) berdasarkan jenis tanahnya disajikan pada Tabel. 2.9 Jangkauan Nilai Banding *Poisson's Ratio*, sebagai berikut :

Tabel. 2.9 Jangkauan Nilai Banding *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	μ
Lempung Jenuh	0,40-0,50
Lempung Tak Jenuh	0,2-0,30
Lempung Berpasir	0,10-0,30
Lanau Pasir (padat)	0,30-0,35
Pasir berkerikil	0,10-1,00
Biasa dipakai	0,30-0,40
Batuan	0,10-0,40
Tanah Lus	0,10-0,30
Es	0,36
Beton	0,15

- Daya dukung ultimit tanah dasar

Daya dukung tanah ultimate dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan yang diberikan oleh J.E. Bowles dengan rumus sebagai berikut :

$$K_s = 40 \times q_u$$

$$q_u = \frac{K_s}{40}$$

dimana :

K_s : Modulus Reaksi Tanah Dasar (kN/m³)

q_u : Daya dukung tanah ultimit (kN/m²)

- Lendutan ijin pada tanah dasar

Lendutan maksimal yang diijinkan terjadi pada struktur perkerasan yang berada diatas subgrade dapat dihitung dengan rumus :

$$\delta = \frac{qu}{K_s}$$

dimana :

δ = lendutan yang diijinkan (m)

qu = daya dukung tanah ultimit (kN/m²)

K_s = Modulus reaksi tanah dasar (kN/m³)

- Tekanan Mengembang (Swelling Pressure)

Tekanan mengembang (swelling pressure) tanah dasar menyatakan tentang nilai besaran tekanan pengembangan tanah dasar yang diakibatkan karena sifat

ekspansif pada tanah tersebut. Jika tekanan yang terjadi akibat berat struktur perkerasan lebih besar dari tekanan pengembangan tanah dasarnya maka struktur perkerasan tersebut akan aman dari bahaya potensi pengembangan tanah dasarnya. Nilai tekanan struktur perkerasan dapat dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{W}{A}$$

dimana :

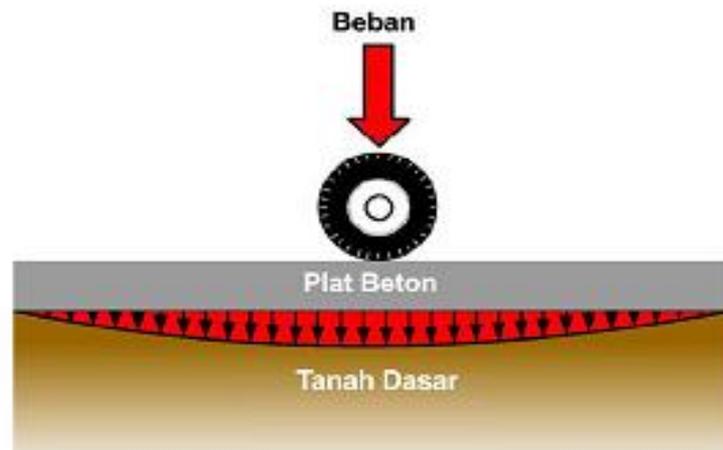
P = Tekanan yang terjadi akibat berat struktur perkerasan

W = Berat struktur perkerasan

A = Luas struktur perkerasan yang ditinjau

2.3.3 Pemodelan Struktur Perkerasan Dengan SAP-2000

Dalam aspek konfigurasi struktur perkerasan kaku, parameter yang harus ditentukan adalah geometri perkerasan serta jenis material setiap lapis perkerasannya. Pada model struktur perkerasan kaku ini, secara umum konfigurasi strukturnya terlihat pada Gambar 2.3 berikut, yang berupa sistem struktur perkerasan satu lapis (Single layer system) untuk perkerasan kaku.



Gambar 2.3. Konfigurasi Struktur Perkerasan Kaku

Sumber: DPU, 2005

Tanah pada pemodelan ini di asumsikan sebagai Model *plane strain* yang digunakan pada struktur dengan potongan melintang yang seragam dan menghubungkan skema tegangan dan pembebanan pada sekitar daerah potongan melintang dan memanjang.

2.3.4 Evaluasi Hasil Analisis Struktur Pekerasan Kaku di Atas Tanah Ekspansif

Evaluasi hasil analisis desain struktur perkerasan dilakukan untuk mengetahui besaran momen, tegangan dan lendutan serta stabilitas struktur perkerasan terhadap kapasitas daya dukung tanah dasarnya yaitu tanah ekspansif. Analisis stabilitas dilakukan berdasarkan tingkat keamanan terhadap deformasi dan tegangan yang terjadi pada lapisan paling bawah dari struktur perkerasan kaku tersebut. Struktur perkerasan dianggap mempunyai stabilitas struktur yang baik apabila hasil analisis lendutan dan tegangan yang terjadi akibat pembebanan pada struktur perkerasan tidak melebihi lendutan dan kapasitas daya dukung dari tanah dasar (*subgrade*) jalan.