

DISERTASI

MODEL DEFLEKSI DINDING TURAP DENGAN TIMBUNAN GEOKOMPOSIT RINGAN TANAH – EPS STABILISASI LIMBAH ASPAL BUTON

***DEFLECTION MODEL ON RETAINING WALL WITH LIGHTWEIGHT
GEOCOMPOSITE BACKFILL SOIL-EPS STABILIZED
WITH WASTE OF BUTON ASPHALT***

**ICHSAN RAUF
P0800316417**



**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

DISERTASI

MODEL DEFLEKSI DINDING TURAP DENGAN TIMBUNAN GEOKOMPOSIT RINGAN TANAH – EPS STABILISASI LIMBAH ASPAL BUTON

Disusun dan Diajukan oleh

**ICHSAN RAUF
P0800316417**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
Pada tanggal 6 Oktober 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat

a.n. Sakti Adji

Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M. Eng
Promotor

Abaz

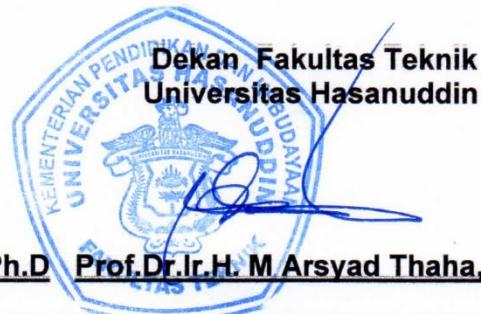
Ardy

Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT
Co-Promotor

Dr.Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc.
Co-Promotor

Ketua Program Studi
S3 Teknik Sipil

Sakti Adji



Prof.Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si.,M.Eng.Sc.Ph.D **Prof.Dr.Ir.H. M Arsyad Thaha, MT**

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : ICHSAN RAUF

NOMOR POKOK : P0800316417

PROGRAM STUDI : TEKNIK SIPIL

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa **DISERTASI** yang saya tulis ini benar-benar merupakan **HASIL KARYA SENDIRI**, bukan merupakan pengambilan tulisan atau hasil dari pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau secara keseluruhan **DISERTASI** ini merupakan karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 06 Oktober 2020

Yang membuat pernyataan,



KATA PENGANTAR

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas perkenan-Nya sehingga penelitian dan penulisan Disertasi kami ini dengan judul “**MODEL DEFLEKSI DINDING TURAP DENGAN TIMBUNAN GEOKOMPOSIT RINGAN TANAH – EPS STABILISASI LIMBAH ASPAL BUTON**” dapat terselesaikan sebagaimana mestinya.

Disadari dengan keterbatasan yang kami miliki, berbagai kendala yang kami hadapi selama penyusunan Disertasi ini tidaklah dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik itu dukungan moril dan bantuan materil yang tak ternilai. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis dengan tulus hati ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Almarhum **Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M. Eng** selaku promotor sekaligus penilai disertasi serta pembimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga peyusunan disertasi ini kami dapat laksanakan dengan baik. **Dr. Eng Ir. Tri Harianto ST., MT** dan **Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc.** selaku Co-Promotor yang telah banyak meluangkan waktu dan ilmunya, dalam memberikan arahan dan bimbingannya yang begitu tulus dan ikhlas.
2. **Prof. Ir. Mary Selintung, M.Sc., Ph.D, Dr. Ir. Abd Rahman Djamaruddin, MT, Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D, Dr. Ir. Achmad Zubair, MS** selaku tim penguji internal yang telah banyak memberikan saran, kritikan, dan masukan untuk kesempurnaan disertasi ini.

3. **Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc, Ph.D** selaku penguji eksternal yang telah memberikan saran, kritikan, dan masukan untuk kesempurnaan disertasi ini.
4. **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA.** Selaku Rektor Universitas Hasanuddin, **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, **Prof. Dr.Ir. H.M. Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik, **Prof. Dr. Ir. H.M. Wihardi Tjaronge, M.Eng**, selaku ketua Departemen Teknik Sipil, **Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc. Ph.D.**, selaku ketua Program Studi S3Teknik Sipil Universitas Hasanuddin sekaligus Pjs Promotor kami.
5. **LPDP - BUDI DN** (Lembaga Pengelola Dana Pendidikan – Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri), Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah menjadi sponsor Pendidikan Doktor kami.
6. Bapak dan ibu dosen serta staf S3 Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang banyak memberikan pengetahuan, bimbingan dan dukungan selama ini.
7. Rektor Universitas Khairun **Prof. Dr. Husen Alting, SH., MH**, Dekan Fakultas Teknik Universitas Khairun Ibu **Lita Asriaty Latif, ST., M.TM.** atas dukungan moril selama Kami melaksanakan pendidikan ini.
8. Rekan-rekan di Fakultas Teknik Universitas Khairun, terkhusus Program Studi Teknik Sipil Universitas Khairun atas dukungan dan motivasinya selama studi kami.
9. Teman-teman S1, S2 dan S3 Teknik Sipil, Saudara Zainal selaku laboran Mekanika Tanah dan jajaran Asisten Laboratorium Mekanika Tanah yang telah banyak memberi dukungan dan bantuan selama penelitian ini berlangsung. Juga teman-teman ku di luar sana yang tidak sempat saya sebutkan namanya satu persatu, yang telah membantu menyelesaikan disertasi ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis sampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta ayahanda **Abdul Rauf Tahir** dan **Munah (alm)**, yang telah membesarkan, mendidik dan selalu memberikan dukungan dan doa. Kakak saya **Iqbal Rauf** dan seluruh keluargaku yang berada di Makassar yang terus memberikan semangat untuk keberhasilan penulis.

Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya terkhusus penulis ucapkan kepada isteri tercinta *Dahniar* untuk ketulusan, keiklasan, pengertian, kesabaran dan pengorbanan yang luar biasa, juga kepada anak-anakku **Muhammad Farras Alkiram** dan **Khairunnisa Azzahra** atas dorongan semangat dalam mengikuti program pendidikan ini.

Akhirnya, penulis menyadari disertasi ini masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Untuk itu dengan kerendahan hati penulis mohon masukan dan kritikan yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.

وَسَلَامٌ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللهِ وَبَرَكَاتُهُ

Makassar, 06 Oktober 2020

Penulis

Ichsan Rauf

MODEL DEFLEKSI DINDING TURAP DENGAN TIMBUNAN GEOKOMPOSIT RINGAN TANAH – EPS STABILISASI LIMBAH ASPAL BUTON

ABSTRAK

Dinding turap menjadi bagian penting dalam pembangunan pada daerah dengan kondisi topografi dengan kemiringan curam. Material timbunan konvensional memiliki massa yang besar terlebih lagi pada saat curah hujan tinggi. Kondisi ini berpotensi pada terjadinya kegagalan dinding tanah. Alternatif timbunan ringan menjadi solusi untuk mereduksi tekanan lateral pada dinding tanah.

Stabilisasi kimia dengan memanfaatkan limbah hasil ekstraksi aspal buton untuk menghasilkan timbunan ringan dengan substitusi *Expanded Polyesterene (EPS)* terhadap tanah menjadi fokus dalam penelitian ini. Kinerja material geokomposit ringan (*lightweight geocomposite material, LWGM*) didasarkan pada nilai kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) dan *California Bearing Ratio (CBR)*. Variasi *EPS* sebesar 0,15% dan 0,30% sebagai substitusi tanah, serta variasi limbah aspal buton (*waste of button asphalt, WBA*) sebesar 3% - 9% didasarkan pada kepadatan kering tanah (γ_{dry}). Selain itu, pemeraman benda uji dilakukan selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari untuk menganalisis pengaruh waktu terhadap peningkatan nilai kekuatan *LWGM*. Perilaku kekuatan benda uji, lebih dalam dianalisis dengan pendekatan mikrostruktur dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*.

Kinerja *LWGM* terhadap reduksi defleksi pada dinding turap dilihat dengan pemodelan fisik di laboratorium dengan menggunakan bak berdimensi 1,50 m x 1,50 m x 0,60 m. Model dinding turap menggunakan plat baja berdimensi 1,40 m x 0,58 m dengan tebal 3,2 mm. Pembebanan merata diberikan hingga keruntuhan model terjadi. Hasil pengujian model ini kemudian dibandingkan terhadap 2 model timbunan lainnya, yaitu : timbunan sirtu dan blok geofoam.

Hasil rancangan komposisi optimum untuk material geokomposit adalah 7,00% limbah aspal buton dan 0,3% *Expanded Polyesterene*. Adapun hasil pengujian model defleksi dinding turap dengan menggunakan timbunan ringan geokomposit (*LWGM*) memberikan defleksi lebih kecil dibandingkan dengan material-material pembanding lainnya. Pada beban yang sama sebesar 74 kN/m², daya dukung *LWGM* 2 kali lebih baik dibandingkan timbunan sirtu dan sementara terhadap blok *EPS* nilai daya dukung meningkat 1,5 kali.

Kata Kunci : Geokomposit ringan, defleksi, turap, limbah aspal buton

***DEFLECTION MODEL ON RETAINING WALL WITH LIGHTWEIGHT
GEOCOMPOSITE BACKFILL SOIL-EPS STABILIZED
WITH WASTE OF BUTON ASPHALT***

ABSTRACT

Retaining structures are an important structure in the development of steepest region. The conventional embankment materials has a large mass, especially during the high rainfall event can generated the increasing of lateral force. This condition has a potential for structures failure. Lightweight embankments is an alternative solution's to diminish lateral stress on the retaining structure in order to reduce the potential failure.

Chemical stabilization by utilizing the waste from buton asphalt extraction to produce a lightweight embankment through the substitution part of soil with Expanded Polysterene (EPS) became the focus of this research. The performance of lightweight geocomposite materials (LWGM) is based on the unconfined compressive strength and the California Beraing Ratio (CBR). The EPS beads using in this research varies of 0.15% and 0.30% as soil substitution, as well as variation of buton asphalt waste (WBA) by 3% - 9% based on soil dry density (γ_{dry}). Further, curing periode conducted for 7 days, 14 days and 28 days to analyze the time effect on the increasing of LWGM strength. The strength behavior of material, further, were analyzed by using the microstructure approach with X-Ray Difraction (XRD).

The performance of LWGM on deflection reduction of sheet pile walls were analyzed by physical modeling in the laboratory using a tank with dimensions of 1.50 m x 1.50 m x 0.60 m. The sheet pile wall model using a steel plate with dimensions of 1.40 m x 0.58 m with a thickness of 3.2 mm. Evenly loading is applied until the model collapse occurs. The results of this model test are then compared to 2 other embankment models, such as : granular embankment and geofoam block.

The result presented that the optimum composition for geocomposite material design are 7.00% WBA and 0.3% Expanded Polysterene. While, the test results of models deflection comparation by using a lightweight geocomposite (LWGM) effective in reducing the sheet pile deflection than other materials. Where, at load of 74 kN/m², the bearing capacity of LWGM is 2 times bigger than the granular embankment, meanwhile compared to the EPS block, the LWGM is better 1.5 times.

Keyword : lightweight geocomposite, sheet pile deflection, waste of buton asphalt

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	ii
Kata Pengantar.....	iii
Abstrak	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Notasi.....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xviii

BAB I

PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	7
C. TUJUAN PENELITIAN	7
D. BATASAN MASALAH	8
E. MANFAAT PENELITIAN	8
F. SISTEMATIKA PENULISAN	9

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA	11
A. ISU STRATEGIS PERMASALAHAN INSTABILITAS DINDING PENAHAN TANAH.....	11
1. Struktur Penahan Tanah.....	11
2. Turap Penahan Tanah.....	15
3. Kegagalan pada Dinding Turap	17
B. POTENSI LIMBAH ASPAL BUTON SEBAGAI BAHAN STABILISASI	20
C. PENGEMBANGAN MATERIAL RINGANTANAH-EPS SEBAGAI TIMBUNAN	26

1. EPS dalam Aplikasi Geoteknik.....	26
2. Pengembangan Geokomposit Ringan	29
D. MATRIKS PEMETAAN PENELITIAN-PENELITIAN TERDAHULU ..	32
E. KERANGKA PIKIR PENELITIAN	39

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN	42
A. LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN	42
B. PENGAMBILAN SAMPEL MATERIAL	43
1. Tanah Lempung.....	43
2. Material Expanded Polyesterene (EPS).....	43
3. Limbah Aspal Buton.....	44
C. RANCANGAN PENELITIAN.....	45
1. Peralatan Penelitian.....	45
2. Rancangan Benda Uji Penelitian	48
3. Pengujian material dan element geomaterial ringan	51
D. ANALISA FINITE ELEMENT MODEL (FEM) DINDING TURAP DENGAN TIMBUNAN LWGM	56
E. DEFENISI OPERASIONAL	57

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
A. KARAKTERISTIK FISIS MATERIAL-MATERIAL PENYUSUN GEOKOMPOSIT RINGAN.....	59
1. Tanah Lempung	59
2. Limbah Aspal Buton	68
3. Expanded Polyesterene (Eps).....	68
B. KARAKTERISTIK MINERALOGI.....	68
1. Limbah Aspal Buton	69
2. Tanah Lempung	71
3. Tanah Stabilisasi Limbah Aspal Buton.	72

C. PERILAKU MEKANIS ELEMEN GEOKOMPOSIT RINGAN	77
1. Karakteristik Kepadatan Dan Kadar Air Pada Tanah Lempung Stabilisasi Limbah Aspal Buton	77
2. Kuat Tekan Tanah Lempung Stabilisasi Limbah Aspal Buton (WBA)	78
3. Kuat Tekan Bebas Geokomposit Ringan.....	87
4. Pengaruh EPS Terhadap Kepadatan Lwgm.....	94
5. Daya Dukung Lwgm Dengan California Bearing Ratio (Cbr)	97
6. Korelasi Nilai UCS Dan CBR Material LWGM	98
D. PERILAKU DEFLEKSI DAN DEFORMASI DINDING TURAP	100
1. Pemodelan Defleksi Pada Dinding Turap	100
2. Perilaku Deformasi Dinding Turap Pada Pembelahan Statis....	111
3. Perbandingan Jenis Material Timbunan Terhadap Perilaku Defleksi, Settlement Dan Heave.....	125
E. ANALISA DEFLEKSI DINDING TURAP DENGAN FEM.....	129
1. Pemodelan Defleksi Pada Dinding Turap	130
2. Pemodelan Geometri Blok LWGM Dengan FEM.....	134
F. KEBAHARUAN PENELITIAN	137

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN.....	138
A. K E S I M P U L A N	138
B. S A R A N.....	139
DAFTAR PUSTAKA.....	141

DAFTAR NOTASI

WBA	<i>waste of buton asphalt</i> = limbah aspal buton
EPS	<i>expanded polysterene</i>
LWGM	<i>lightweight geocomposite material</i> = material geokomposit ringan
EI	Kekakuan inersia plat baja
EA	Kekakuan axial plat baja
f_y	Tegangan leleh pada baja
ϵ	Regangan LWGM
K_a	Koefisien tekanan tanah aktif
K_p	Koefisien tekanan tanah pasif
K_0	Koefisien tekanan tanah lateral pada kondisi at rest.
$K_h=K_1$	<i>Modulus of subgrade reaction</i>
K_s	Koefisien modulus subgrade tanah dalam arah horisontal
H	Panjang Turap Bebas
D	Kedalaman turap
x	Panjang turap
c	Kohesi
ϕ	Sudut geser
p	tekanan tanah persatuan luas
p_a	Tekanan tanah aktif
p_p	Tekanan tanah pasif
q_u	<i>unconfined compressive strength</i> /kuat tekan bebas
δ_h	Defleksi
φ	Sudut geser dalam
γ_s	Berat isi / kepadatan tanah
γ_{dry}	Berat isi / kepadatan tanah kering
γ_{sat}	Berat isi / kepadatan tanah terendam
γ_{unsat}	Berat isi / kepadatan tanah tidak terendam
γ_w	Berat isi air

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kondisi instabilitas pada Lereng.....	12
Gambar 2.	Sistem penahan tanah dan gaya-gaya yang bekerja.....	13
Gambar 3.	Tipe Dinding Penahan Tanah	14
Gambar 4.	Tekanan Tanah pada Turap.....	16
Gambar 5.	Beberapa kasus kegagalan dinding penahan tanah.....	18
Gambar 6.	Deposit aspal alam di pulau Buton (a) Pulau Sulawesi (b) Pulau Buton	23
Gambar 7.	Proses ekstraksi aspal buton.	24
Gambar 8.	EPS dan pemanfaatannya dalam dunia industri.....	27
Gambar 9.	EPS blok Geofoam sebagai timbunan badan jalan	28
Gambar 10.	Diagram klasifikasi bahan komposit	29
Gambar 11.	Skema kerangka Pikir Penelitian.....	40
Gambar 12.	Rancangan Model Penelitian	41
Gambar 12.	Lokasi quarry tanah lempung.....	43
Gambar 13.	Material EPS yang digunakan.....	44
Gambar 14.	Model blok LWGM	49
Gambar 15.	Proses pembuatan elemen geokomposit ringan dengan Pemadatan Statis.....	50
Gambar 16.	Metode Pengujian Kuat Tekan dengan UTM	52
Gambar 17.	Model uji laboratorium geomaterial ringan sebagai <i>backfill</i> dibelakang turap.	55
Gambar 18.	Model uji laboratorium EPS sebagai <i>backfill</i> dibelakang turap.	55
Gambar 19.	Model laboratorium geomaterial ringan sebagai <i>backfill</i> dibelakang turap.	56
Gambar 20.	Simulasi deformasi lateral dan vertikal dengan Plaxis.....	57
Gambar 21.	Diagram Klasifikasi Tanah Casagrande	61

Gambar 22. Hubung Kadar Air dan Kepadatan Kering Optimum Sampel Tanah.....	62
Gambar 23. Hubung kuat tekan bebas terhadap regangan pada tanah lempung	64
Gambar 24. Pengujian geser langsung (a) Alat uji geser langsung (b) benda uji geser langsung.....	65
Gambar 25. Hubungan Tegangan Normal dan Geser.....	65
Gambar 26. Daya dukung tanah lempung dengan CBR	66
Gambar 27. X-ray Difraction Limbah Aspal Buton	70
Gambar 28. X-ray Difraction tanah lempung.....	72
Gambar 29. Intensitas XRD Tanah+WBA pada pemeraman 14 hari	73
Gambar 30. Intensitas XRD Tanah+WBA pada pemeraman 28 hari	74
Gambar 31. Hubungan Kepadatan Tanah Lempung Stabilisasi WBA terhadap Kadar Air.....	78
Gambar 32. Hubungan tegangan terhadap regangan tanah stabilisasi WBA pada pemeraman 7 hari.....	79
Gambar 33. Hubungan tegangan terhadap regangan tanah stabilisasi WBA pada pemeraman 14 hari.....	80
Gambar 34. Hubungan tegangan terhadap regangan tanah stabilisasi WBA pada pemeraman 28 hari.....	80
Gambar 35. Variasi nilai kuat tekan bebas terhadap regangan pada tanah stabilisasi WBA pada pemeraman 7 hari.....	81
Gambar 36. Variasi nilai kuat tekan bebas terhadap regangan pada tanah stabilisasi WBA pada pemeraman 28 hari.....	82
Gambar 37. Perbandingan nilai kuat tekan tanah bebas dengan variasi WBA.....	83
Gambar 38. Perbandingan nilai kuat tekan tanah stabilisasi WBA terhadap beberapa standar.....	84
Gambar 39. Hubungan nilai kuat tekan bebas terhadap masa pemeraman.....	86

Gambar 40. Grafik tegangan-regangan material geokomposit pada pemeraman 7.....	88
Gambar 41. Grafik tegangan-regangan material geokomposit pada pemeraman 14 Hari.....	89
Gambar 42. Grafik tegangan-regangan material geokomposit pada pemeraman 28 Hari.....	89
Gambar 43. Variasi nilai kuat tekan bebas terhadap regangan LWGM 20% pada pemeraman 7 hari.....	90
Gambar 44. Variasi nilai kuat tekan bebas terhadap regangan LWGM 20% pada pemeraman 28 hari.....	91
Gambar 45. Variasi Nilai Kuat Tekan Bebas Geokomposit Ringan terhadap Tanah tanpa Stabilisasi pada 7, 14 dan 28 hari. ..	93
Gambar 46. Reduksi berat sampel LWGM akibat variasi EPS.....	94
Gambar 47. Perbandingan LWGM akibat variasi WBA dan EPS	95
Gambar 48. Hubungan variasi EPS dan waktu peram terhadap kepadatan material komposit	96
Gambar 49. Nilai Kuat Tekan Bebas pada LWGM untuk Pemeraman 28 Hari.....	97
Gambar 50. Kriteria rancangan campuran LWGM.....	99
Gambar 51. Sampel material timbunan yang digunakan dalam penelitian.	
.....	100
Gambar 52. Blok timbunan ringan tanah-EPS Stabilisasi WBA.	101
Gambar 53. Blok EPS D17	102
Gambar 54. Sampel sirtu yang digunakan sebagai timbunan granular.	104
Gambar 55. Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Kepadatan Kering Agregat Sirtu.....	104
Gambar 56. Uji kuat tarik baja sebagai model turap sheet pile.	106
Gambar 57. Tegangan Regangan Plat Baja.	107
Gambar 58. Modulus Elastisitas Turap Baja 3 mm.	107
Gambar 59. Pengujian Model (a) Bak Uji (b) Pompa Hidrolik (c) Data Logger (d) Komputer (e) LVDT (f) Load Cell 100 kN.	108

Gambar 60. Pengujian defleksi dinding turap dengan timbunan agregat sirtu.....	109
Gambar 61. Model turap dengan timbunan blok EPS	110
Gambar 62. Model turap dengan timbunan LWGM	110
Gambar 63. Model defleksi akibat timbunan material Sirtu	111
Gambar 64. Hubungan beban terhadap defleksi pada dinding turap. ...	112
Gambar 65. Hubungan beban dan heaving dengan timbunan material Sirtu	114
Gambar 66. Hubungan beban dan settlement pada timbunan Sirtu.....	114
Gambar 67. Model defleksi dengan timbunan material EPS	115
Gambar 68. Hubungan beban dan defleksi tanah akibat material EPS.	116
Gambar 69. Perilaku defleksi dinding turap dengan timbunan blok EPS....	
.....	117
Gambar 70. Hubungan beban terhadap heaving pada material EPS....	118
Gambar 71. Hubungan beban terhadap settlement pada material EPS.	
.....	119
Gambar 72. Model defleksi akibat material LWGM.....	120
Gambar 73. Hubungan beban dan Defleksi akibat material LWGM	121
Gambar 74. Blok LWGM sebelum pembebanan.....	122
Gambar 76. Hubungan Beban terhadap pengembangan tanah (heave) akibat material LWGM.	124
Gambar 76. Hubungan beban terhadap settlement dan heave pada timbunan LWGM.....	125
Gambar 77. Hubungan beban terhadap defleksi dinding turap dengan timbunan LWGM, EPS dan Sirtu.....	126
Gambar 78. Hubungan beban terhadap settlement timbunan LWGM, EPS dan Sirtu dibelakang turap.	127
Gambar 79. Perbandingan efek pengembangan tanah pada timbunan LWGM, EPS dan Sirtu dibelakang turap akibat pembebangan.	
.....	128
Gambar 80. Pemodelan defleksi LWGM dengan Plaxis 8.5.....	131

Gambar 81. Model jaring elemen untuk perpindahan total pada Plaxis.	131
Gambar 82. Model <i>shading</i> perpindahan	132
Gambar 83. Defleksi dinding turap pada Plaxis.	132
Gambar 84. Perbandingan hasil analisa FEM terhadap Model Fisik.....	133
Gambar 85. Pemodelan Geometri LWGM dalam analisa FEM.	134
Gambar 86. Perbandingan hasil analisa FEM untuk Pengaruh Geometri LWGM terhadap Defleksi Turap.....	135

Daftar Tabel

Tabel 1.	Karakteristik Teknis EPS Geofoam	27
Tabel 2.	Penelitian-penelitian yang telah dilakukan dalam terkait Material Geokomposit Ringan.....	32
Tabel 3.	Komposisi campuran Pembuatan Benda Uji	48
Tabel 4.	Standar pengujian fisis dan mekanis tanah	51
Tabel 5.	Hasil pengujian sifat fisis tanah lempung.....	60
Tabel 6.	Nilai CBR tanah asli.....	67
Tabel 7.	Hasil pengujian sifat mekanis tanah lempung.....	68
Tabel 8.	Komposisi mineralogi sampel WBA	71
Tabel 9.	Komposisi mineralogi sampel tanah	71
Tabel 10.	Komposisi mineralogi sampel tanah stabilisasi WBA.....	76
Tabel 11.	Persamaan empiris hubungan waktu pemeraman terhadap kuat tekan bebas	87
Tabel 12.	Karakteristik Blok LWGM	102
Tabel 13.	Komposisi blok EPS.....	103
Tabel 13.	Karakteristik Mekanis Agregat Sirtu	105
Tabel 15.	Karakteristik Mekanis Material sebagai input pada Plaxis.	130

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Laju pembangunan infrastruktur meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi. Pembangunan itu sendiri terkadang dihadapkan pada kondisi medan topografi permukaan bumi merupakan kombinasi dari dataran, pegunungan, lembah maupun daerah pesisir pantai yang memiliki kemiringan yang cukup terjal.

Struktur dinding penahan tanah merupakan upaya teknis untuk melindungi infrastruktur yang akan dibangun pada daerah lereng dari potensi longsor. Upaya stabilisasi lereng secara mekanis ini pada prinsipnya dilakukan untuk memperbesar momen penahan longsor (momen lawan), sehingga struktur mampu menahan gaya-gaya penggerak yang menyebabkan keruntuhan lereng (Braja M. Das, 2014).

Pada dasarnya instabilitas dinding penahan tanah dapat dibedakan atas eksternal dan internal yang digerakkan oleh alam maupun manusia, seperti: perubahan kadar air baik itu akibat curah hujan yang tinggi maupun naiknya elevasi muka air tanah menjadi penyebab terjadinya peningkatan tekanan air pori material timbunan di belakang dinding penahan tanah (Farshid Vahedifard, et al., 2017) (Chungsik Yoo & Jung, 2006) (Koerner & Koerner, 2013), sehingga menyebabkan peningkatan tekanan lateral tanah. Dengan kata lain, air menjadi faktor penggerak

naiknya tekanan lateral pada dinding penahan tanah. Selain itu, aktifitas seismik menjadi faktor penggerak lainnya yang menyebabkan menurunnya kekuatan geser dinding penahan tanah maupun material timbunan dibelakang turap (Ibrahim, 2014).

Material timbunan konvensional umumnya dikenal dengan istilah “urugan” yang secara spesifik dapat berupa tanah lempung, lanau, pasir dan kerakal dengan nilai kepadatan bervariasi antara $1600 - 2100 \text{ kg/m}^3$. Berat isi yang besar menjadi permasalahan, jika ditempatkan diatas tanah lunak atau sebagai timbunan dibelakang struktur penahan tanah. Hasil Investigasi teknis *Department Chief Structural Engineer* pada dinding penahan tua di Kota New York yang menunjukkan 53% dinding penahan tanah mengalami guling (*outward progressive*). Penyelidikan terhadap material pada pondasi dan timbunan menunjukkan bahwa 64% merupakan material lempung dan material berbutir. Demikian halnya dengan investigasi yang dilakukan oleh (Koerner & Koerner, 2013) yang menunjukkan bahwa 61% kegagalan struktur dinding penahan tanah disebabkan oleh penggunaan material lempung maupun berbutir sebagai urugan dibelakang dinding turap dengan perkuatan geosintetik.

Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan terdapat korelasi yang signifikan antara material timbunan yang digunakan terhadap kegagalan struktur penahan tanah. Dengan demikian, hal ini bisa membahayakan struktur yang berada diatasnya. Pada prinsipnya material timbunan harus memiliki daya dukung yang baik, namun tidak

menimbulkan permasalahan akibat berat sendiri pada struktur lapisan yang ada dibawahnya (Hidayat, et al., 2016).

Upaya untuk mereduksi kegagalan struktur penahan tanah dengan mengganti material timbunan ringan konvensional dengan material ringan menjadi sebuah solusi, seperti dengan memanfaatkan material *expanded polysterene* (EPS). *Expanded Polysterene* atau yang umum dikenal sebagai *Styrofoam* merupakan material plastik yang umumnya digunakan untuk pengepakan produk-produk makanan, elektronik, dll.

Pemanfaatan EPS dibidang Geoteknik telah dimulai sejak 1980 di Jepang dalam bentuk *geoblock*. Timbunan ringan sebagai alternatif sebagai material timbunan diatas tanah lunak telah dimulai sejak 1980 di Jepang dengan memanfaatkan Expanded Polyesterene (EPS) dalam bentuk geoblock. Material ini memiliki keunggulan teknis seperti : ringan, densitas yang rendah, insulasi panas, absorbs rendah dan tidak terurai BASF,1990 dalam (Horvath, 1994).

Kinerja material ringan yang mengaplikasikan EPS sebagai lapis pondasi jalan (Rygg & Sorlie, 1981), (Zou, et al., 2000), (Sinnathamby, et al., 2018) menunjukkan bahwa penggunaan EPS Blok mampu mereduksi dan mengendalikan laju deformasi yang terjadi diatas tanah lunak, adapun pemanfaatan EPS sebagai timbunan dibelakang sturktur penahan tanah mampu mereduksi tekanan lateral yang terjadi pada struktur penahan tanah (Ertugrul & Trandafir, 2013), (Horvath, 2008). Namun demikian, penggunaannya masih sangat terbatas karena mahal, memiliki daya

apung yang tinggi, serta tidak tahan terhadap produk minyak bumi (Negussey & Jahanandish, 1993). Selain itu, penyesuaian faktor geometri, kekakuan dan propertis terhadap kondisi lapangan menjadi kendala dalam proses pelaksanaan (Abdelrahman, 2010).

Ketika pemanfaatan *geoblock* menjadi sulit, upaya mengkompositkan tanah dengan material ringan berbahan plastik dan karet dengan stabilisasi kimia kemudian menjadi pertimbangan, seperti : penggunaan material limbah plastik botol bekas (Graettinger, et al., 2005) (Hasanah, et al., 2014), pemanfaatan limbah ban bekas sebagai pondasi jalan (Engstrom & Lamb, 1994) (Soni & Sagane, 2014), dan pemanfaatan limbah Expanded Polysterene (*EPS*) (Okonta, 2013) (Abdelrahman, 2010) (Golait & Patode, 2015).

Studi-studi material ringan yang mengkompositkan tanah dan *EPS*, umumnya hanya mengkaji sifat-sifat fisik dan mekanis material berdasarkan uji laboratorium, dimana secara umum menunjukkan bahwa campuran tanah dan *EPS* dengan stabilisasi material tertentu, umumnya dapat mereduksi kepadatan material, meningkatkan daya dukung, mereduksi kompresibilitas, mereduksi deformasi dan efek pengembangan tanah, (Liu, 2009), (Padede & Mandal, 2014), (Abdelrahman, et al., 2013) (Abdelrahman, 2010). Adapun kinerja material geokomposit ringan (tanah dengan *EPS* dan distabilisasi dengan material tertentu) yang diaplikasikan sebagai material *backfill* ataupun lapis pondasi masih sangat terbatas,

demikian pula dengan pengaruh bentuk geometri blok timbunan ringan terhadap perilaku defleksi dinding turap.

Pada teknik stabilisasi tanah secara kimia, semen dan kapur menjadi material stabilisasi yang umum digunakan. namun material tersebut dinilai tidak ramah lingkungan dalam hal proses produksi dan lebih mahal jika untuk pekerjaan dengan volume yang besar. Penggunaan material daur ulang maupun limbah menjadi arah pengembangan material stabilisasi di masa depan, seiring dengan kemajuan teknologi material (Das, 2013), seperti pemanfaatan : abu terbang, slag batu bara, dll.

Aspal alam buton sendiri telah menjadi produk nasional yang pemanfaatannya masih sangat terbatas dengan potensi deposit yang mencapai 677 juta ton. Zweisky (1925) dalam (Azhar & Arisona, 2002). mengungkapkan bahwa Aspal alam buton berasal dari minyak bumi yang terdesak ke permukaan dan masuk pada lapisan neogen yang terdiri dari konglomerat, napal dan batu gamping

Pada proses produksi aspal buton, ekstraksi aspal alam memisahkan mineral aspal dari material granularnya yang umumnya berupa batu gamping. Hasil dari proses ini berupa material buangan yang kemudian disebut sebagai limbah aspal buton, dimana volume material sisa proses ini dapat mencapai 15%-20%. Hasil uji *X-ray Difraction (XRD)* material ini menunjukkan kandungan mineral yang terkandung didalam sisa produk aspal buton ini sebagian besar adalah kalsium sulfat (CaSO_4) sebesar 63% dan CaCO_3 sebesar 15%. Hasil ini menunjukkan bahwa kandungan

material ini memenuhi syarat kualitas yang dapat dipergunakan sebagai bahan baku semen *Portland* (Widhiyatna, et al., n.d.). Sementara kapur sendiri merupakan golongan alkali tanah yang bersifat pozzolan yang paling cepat bereaksi terhadap air dan material dasar pembentuk ikatan dan pemanjangan antar partikel yang cukup besar. Dengan dasar itu, maka limbah aspal buton memiliki potensi untuk dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi pada material timbunan, khususnya pada material dengan daya dukung yang rendah.

Pemanfaatan potensi lokal, dalam hal ini limbah aspal buton sebagai bahan stabilisasi pada tanah lunak, diharapkan menjadi sebuah kontribusi dalam pengembangan metode perbaikan tanah secara kimia. Selain itu, ini menjadi solusi dalam mengurangi dampak lingkungan akibat pemanfaatan material stabilisasi semen dan kapur yang tidak ramah lingkungan dalam proses pembuatannya.

Berdasarkan pemaparan diatas, studi ini difokuskan untuk mengetahui kinerja mekanis material geokomposit ringan (tanah dan EPS stabilisasi WBA) sebagai material timbunan blok dibelakang dinding turap. Kinerja tersebut dilihat berdasarkan perilaku defleksi pada dinding turap dan deformasi yang terjadi melalui pemodelan pada skala laboratorium dan pemodelan dengan finite elemen.

Pengembangan geomaterial ringan dengan memanfaatkan potensi lokal dan limbah EPS diharapkan dapat menjadi inovasi baru material geocomposite ringan yang diaplikasikan pada bidang geoteknik,

khususnya pada dinding penahan tanah guna mereduksi defleksi yang merupakan awal dari kegagalan struktur.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan permasalahan dan potensi yang dimiliki oleh limbah alam dan plastik seperti yang telah diungkapkan, maka rumusan penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik fisik, mekanis dan mikrostruktur material tanah dan geokomposit ringan ?
2. Bagaimana karakteristik kekuatan elemen struktur geokomposit ringan tanah – EPS stabilisasi limbah aspal buton ?
3. Bagaimana defleksi model turap dengan backfill geokomposit ringan tanah – EPS stabilisasi limbah aspal buton ?

C. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang dan rumusan permasalahan yang telah dikemukakan, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis sifat fisis, mekanis dan mikrostruktur material penyusun geokomposit ringan (LWGM).
2. Merancang model timbunan komposit ringan tanah-EPS stabilisasi WBA yang memenuhi spesifikasi timbunan (*backfill*).
3. Menganalisis perilaku defleksi pada dinding turap yang menggunakan material timbunan ringan komposit.

D. BATASAN MASALAH

1. Penelitian mencakup pengujian eksperimental laboratorium terhadap karakteristik tanah lunak – EPS stabilisasi Limbah Aspal Buton meliputi : Sifat fisik, mineralogi, kimia, mekanik, dan mikrostruktur.
2. Uji model fisik geomaterial komposit ringan menggunakan model struktur penahan tanah fleksibel kantilever (turap) yang dimensinya didasarkan pada analisis perhitungan empiris.
3. Material timbunan pembanding yang digunakan adalah sirtu yang dipadatkan dan blok EPS diatas tanah dasar berupa tanah lempung.
4. Penelitian dibatasi sampai pada pengukuran dan analisis deformasi vertikal dan horisontal untuk kondisi “*unsaturated*”, dimana diasumsikan muka air tanah berada dibawah lapisan tanah dasar sehingga pengaruh air tanah diabaikan.

E. MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, maka hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat menjadi :

1. Memberikan informasi tentang pemanfaatan limbah aspal buton sebagai bahan stabilisasi pada tanah lunak.
2. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam pengembangan material geokomposit ringan yang dapat digunakan baik pada

infrastruktur, khususnya untuk sebagai material timbunan dibelakang turap.

3. Pemodelan geometri timbunan dengan menggunakan analisa FEM (*Plaxis*) diharapkan menjadi rekomendasi dalam penerapan geomaterial ringan untuk kondisi lapangan.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memahami lebih jelas mengenai penelitian ini, maka materi-materi yang tertera pada isi disertasi ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, hipotesis dan fokus penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan definisi yang diambil dari kutipan buku yang berkaitan dengan penyusunan disertasi ini serta beberapa literature review yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mendeskripsikan tentang standar-standar pengujian laboratorium yang digunakan (ASTM, AASTHO, SNI), menjelaskan

tentang peralatan yang digunakan pada setiap pengujian serta tahapan-tahapan pengujian, gambar detail dari setiap pengujian model juga diperjelas pada bab ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil-hasil yang didapat dari pengujian-pengujian baik elemen benda, pemodelan fisik dan pemodelan FEM yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. ISU STRATEGIS PERMASALAHAN INSTABILITAS DINDING PENAHAN TANAH

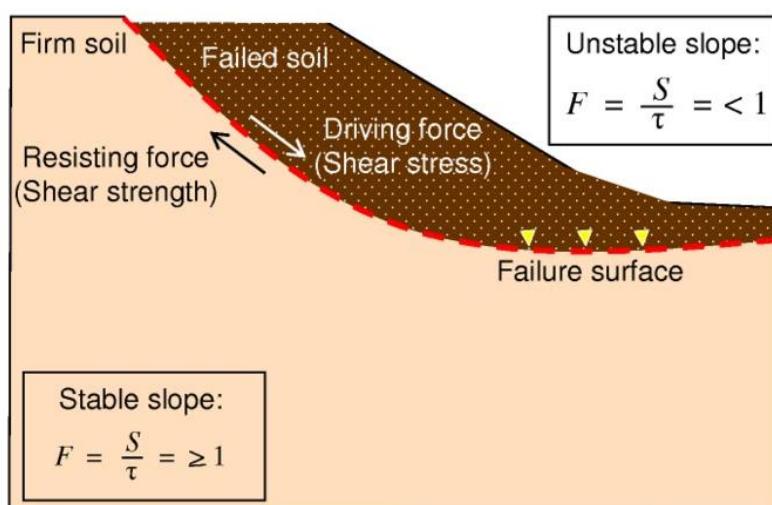
1. Struktur Penahan Tanah

Indonesia merupakan negara kepulauan yang topografinya berupa dataran rendah, dataran tinggi, perbukitan, pegunungan serta garis pantai yang panjang. Kondisi topografi ini menjadi tantangan bagi pemerintah dalam pemerataan pembangunan diseluruh wilayahnya.

Tantangan bagi rekayawasan teknik sipil untuk pembangunan infrastruktur pada daerah lembah dan pegunungan adalah instabilitas lereng akibat perubahan fungsi lahan menjadi bangunan, jalan, bendungan, dll. Instabilitas ini tentu saja selain disebabkan oleh aktivitas pembangunan juga disebabkan oleh kondisi alam itu sendiri, seperti: karakteristik geologi, hidrologi dan gempa (Sha, 2016). Dengan demikian stabilitas lereng isu penting dalam perencanaan dan perancangan bangunan-bangunan sipil pada daerah lereng.

Stabilitas lereng secara teoritis dapat diartikan sebagai kemantapan permukaan lereng dari potensi kegagalan baik itu longsor maupun runtuh (Kliche, 1999). Kemantapan lereng sangat ditentukan oleh keseimbangan antara besarnya tegangan geser yang terjadi terhadap kekuatan geser yang dimiliki oleh lereng tersebut (Das, 2012). Perbandingan antara

besarnya kekuatan geser terhadap tegangan geser ini kemudian dikenal dengan Faktor Keamanan (Gambar 1). Dengan demikian, secara prinsip upaya teknis untuk meningkatkan stabilitas lereng harus dengan memperbesar kekuatan geser.



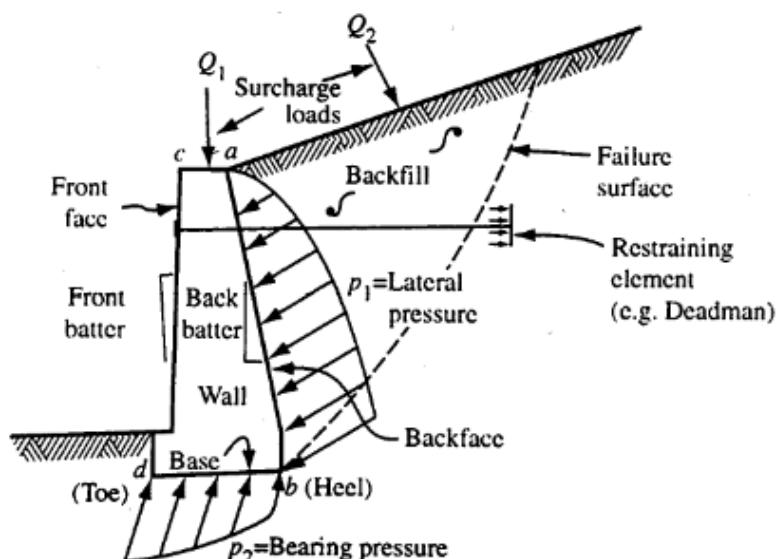
Gambar 1. Kondisi instabilitas pada Lereng

Metode untuk meningkatkan kekuatan geser pada daerah yang memiliki potensi keruntuhan tinggi, dapat dilakukan dengan: (a) memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor dengan merubah bentuk lereng, seperti dengan: memperkecil sudut lereng dan membuat teras sering. (b) memperbesar gaya lawan atau momen penahan longsor, seperti : membangun *counter weight*, membangun dinding penahan tanah (*retaining wall*).

Penerapan metode-metode untuk mempertahankan stabilitas lereng sering terkendala oleh keterbatasan lahan pada daerah terjal, sehingga secara umum memperbesar momen lawan dengan

menggunakan struktur penahan tanah menjadi pilihan utama., khususnya pada pembangunan infrastruktur pada kondisi lereng yang ekstrim.

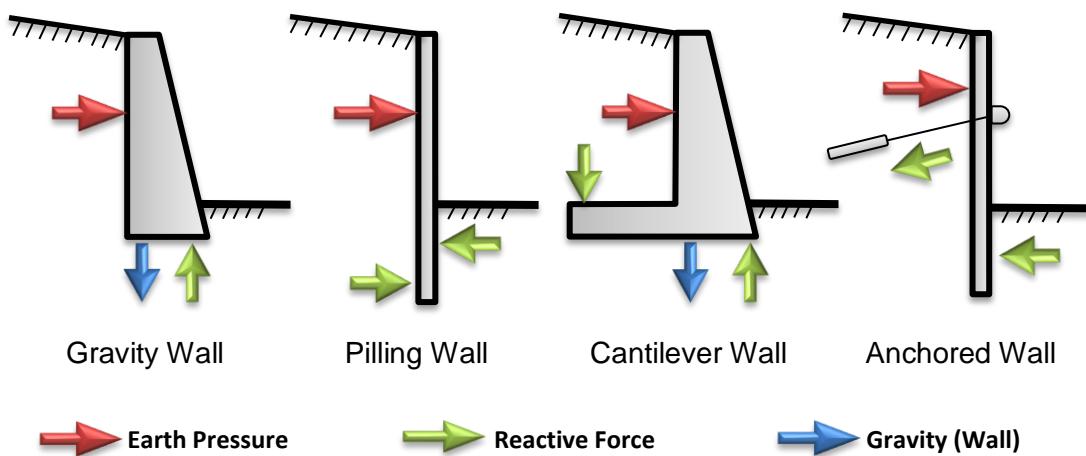
Defenisi sistem penahan tanah menurut (FHWA, 2006) adalah sistem/struktur yang berfungsi menahan tanah dibelakangnya sehingga perbedaan elevasi akibat kemiringan dapat dipertahankan. Struktur penahan ini harus mampu melawan gaya-gaya yang bekerja baik itu internal maupun external, dan meneruskan gaya-gaya tersebut ke pondasi maupun bagian perkuatan yang berada luar area longsor (Gambar 2).



Gambar 2. Sistem penahan tanah dan gaya-gaya yang bekerja (FHWA, 2006)

Dinding penahan dapat diklasifikasikan berdasarkan: mekanisme pembebanan yang bekerja, metode konstruksi dan sistem kekakuannya (O'Rourke & Jones, 1990). Gambar 3 menunjukkan tipe-tipe dinding penahan tanah secara sederhana serta gaya-gaya yang bekerja baik itu,

akibat tekanan tanah, perlawanan tanah maupun gaya akibat beban struktur penahan tanah sendiri.



Gambar 3. Tipe Dinding Penahan Tanah

- Gravity Wall**, dinding standar yang digunakan sebagai penahan tanah. Dinding ini menggunakan berat sendiri untuk mempertahankan stabilitasnya, sehingga strukturnya lebih besar dan berat. Dinding ini umumnya terbuat dari pasangan batu dan beton tanpa tulangan.
- Piling Wall**, Jenis konstruksi dinding penahan tipe turap merupakan jenis konstruksi yang banyak digunakan untuk menahan tekanan tanah aktif lateral tanah pada timbunan maupun untuk membendung air (*coverdam*).
- Cantilever Wall**, Dinding kantilever memanfaatkan berat sendiri dan berat tanah diatas tumit tapak dari bentuk strukturnya untuk mempertahankan stabilitas konstruksinya. Bentuk dinding kantilever

ini biasanya menyerupai huruf T, penulangan pada dinding yang lebih tipis digunakan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja pada dinding tersebut.

- d. **Anchored Wall**, Dinding penahan tanah dengan penambahan jangkar untuk meningkatkan stabilitas dinding.

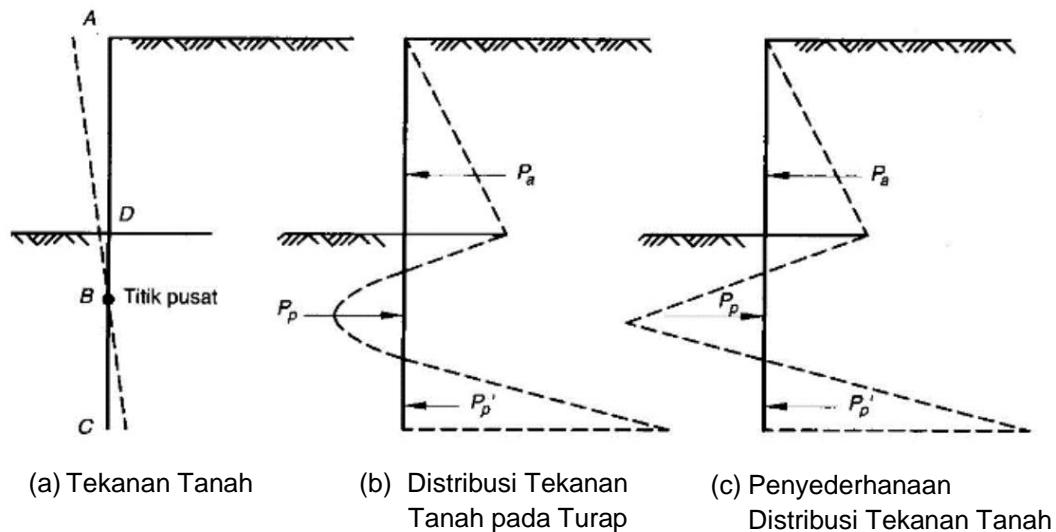
2. Turap Penahan Tanah

Dinding turap merupakan struktur dinding vertikal yang relatif tipis dan fleksibel. Struktur ini berfungsi mempertahankan stabilitas tanah dibelakang turap, dimana umumnya, jenis material penyusunnya berupa plat baja, plat beton dan kayu.

Prinsip dasar pada metode kerja sistem turap dibedakan atas 2 (dua), yaitu : turap cantilever yang stabilitas strukturnya sangat tergantung pada tekanan tanah pasif, adapun turap berjangkar mengkombinasikan antara tekanan tanah pasif dan jangkar/angkur (Budhu, 2010). Dengan demikian, pada perancangan turap menitikberatkan pada penentuan panjang turap tertanam (d) sebagai dasar analisa stabilitas sistem penahan tanah.

Pada dinding turap yang kaku sempurna seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Timbunan dibelakang turapa akan memberikan tekanan aktif secara lateral terhadap dinding sehingga turap akan berputar pada titik B dan terdesak keluar (4a). Pada turap yang tertanam, turap akan menerima tekanan yang sama baik dari depan maupun dari belakang

turap, dengan demikian tekanan pada titik rotasi akan sama dengan nol (4b). Namun demikian, tekanan tanah ini akan sangat dipengaruhi oleh jenis material timbunannya, baik itu material kohesif maupun non kohesif.



Gambar 4. Tekanan Tanah pada Turap.

Stabilitas turap didasarkan pada teori tekanan tanah yang dikemukakan oleh Rankine (1857) yang mempelajari kondisi tegangan terhadap kesetimbangan plastik dari massa semi-tak terbatas dengan permukaan bidang, dimana dia mengemukakan bahwa batas tekanan tercapai ketika lingkaran Mohr menyentuh kurva keruntuhan (Pradel, 1994). Kondisi tekanan tanah aktif terjadi ketika turap penahan tanah dapat bergerak dengan nilai tertentu untuk mengembangkan kondisi batas kesetimbangan tanah. Selanjutnya, tegangan lateral dapat ditemukan secara geometris dari tegangan vertikal yang merupakan fungsi

dari kepadatan tanah (γ_s) dan kedalaman (h). Tekanan tanah lateral yang terjadi pada dinding turap secara matematis dinyatakan dengan :

$$p_a = \frac{1}{2} K a \gamma s \sqrt{H^2} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$p_p = \frac{1}{2} K p \gamma s \sqrt{H^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Dimana, nilai koefisien tanah aktif yang terjadi dan diformulasikan sebagai berikut :

$$Ka = \frac{\cos \beta - (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{1/2}}{\cos \beta + (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{1/2}} * \cos \beta \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$Kp = \frac{\cos \beta + (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{1/2}}{\cos \beta - (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{1/2}} * \cos \beta \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

Adapun pada kasus $\beta = 0$, maka koefisien tanah aktif dan tanah pasif dapat disederhanakan menjadi :

Dimana, p_a = Tekanan tanah aktif, p_p = tekanan tanah pasif, K_a = koef. tekanan tanah aktif , K_p = koef. tekanan tanah pasif, horizontal, H = tinggi turap, γ_s = kepadatan tanah dan ϕ = sudut geser tanah.

3. Kegagalan pada Dinding Turap

Perancangan dinding penahan tanah perlu mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu: tinggi dinding, jenis timbunan, kemiringan lahan, beban yang bekerja baik dari atas maupun dibelakang struktur dinding (Lahande, 2016) (FHWA, 2006). Kondisi batas keruntuhan pada dinding penahan tanah dapat diklasifikasikan kedalam 5 kategori (Bolton & Pang,

1982), yaitu : terangkut oleh tanah longsor, keruntuhan monolitik, keruntuhan geser internal, keruntuhan akibat kegagalan tarik dari perkuatan dan keruntuhan akibat pecahnya panel dinding. Adapun bentuk kegagalan struktur penahan tanah flexibel umumnya diakibatkan oleh instabilitas external lereng, rotasional struktur pada dasar, rotasional struktur akibat penjangkaran, kegagalan sistem jangkar, tekukan dinding struktur, atau kegagalan akibat rembesan (Budhu, 2010), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Beberapa kasus kegagalan dinding penahan tanah.

Kegagalan rotasional pada dinding turap tentu saja diawali oleh pergerakan dinding secara horizontal atau disebut “defleksi”. Parameter ini merupakan praduga awal terjadinya kegagalan struktur penahan tanah,

baik pada proses pelaksanaan maupun pada masa layanan. Selain diakibatkan oleh tekanan tanah, baik itu gaya internal maupun gaya eksternal, besar nilai defleksi ini juga dipengaruhi oleh jenis material dinding turap.

Defleksi dinding turap pada prinsipnya dibutuhkan untuk memobilisasi kuat geser tanah dibelakang turap untuk mereduksi tekaanan lateral yang terjadi (Broms, 1988). Lebih jauh dijelaskan bahwa defleksi minimum pada tanah padat sebesar 0,05% dari tinggi turap bebas, sementara untuk kondisi tanah lepas defleksi maksimum ditetapkan sebesar 0,2%. Nilai defleksi ijin juga dikemukakan oleh Bolton (1993, 1996) dalam (Fok, et al., 2012), dimana dipertimbangkan nilai maksimum defleksi sebesar 1/200 atau ekivalen sebesar 0,5% dari tinggi turap bebas. Adapun jika mengacu pada nilai ambang batas maksimum defleksi lateral dinding turap berdasarkan *Australia Standard* (AS5100) adalah 1% dari tinggi dinding, demikian pula pada *British Standard* (BS8002) merekomendasikan perpindahan lateral turap maksimal sebesar 0.5% dari tinggi dinding turap.

Analisa defleksi pada dinding penahan tanah secara teoritis didasarkan oleh konsep Winkler (HCED, 1993). Konsep ini memodelkan dinding penahan tanah sebagai balok (*beam*) yang didukung oleh tanah sebagai pegas (*winkler-spring*) dengan kekakuan sebesar k_h . Konsep ini dikenal dengan *Beam on Elastic Subgrade Theory*.

Adapun persamaan dasar yang digunakan untuk menghitung defleksi pada dinding penahan tanah secara matematis dituliskan sebagai berikut :

Dimana, EI : kekakuan dinding, x : panjang dinding (m), δ_h : defleksi dinding (m), k_h : modulus subgrade reaction horisontal, dan p : tekanan tanah per satuan panjang (MPa).

B. POTENSI LIMBAH ASPAL BUTON SEBAGAI BAHAN STABILISASI

Perbaikan tanah atau stabilisasi tanah didefinisikan sebagai upaya mengubah atau menjaga properti tanah untuk meningkatkan karakteristik dan kinerja teknis tanah, baik itu secara dinamis, mekanis dan kimiawi. Stabilisasi tanah secara kimiawi telah lama dikenal dengan menggunakan material yang dapat bereaksi dengan tanah sehingga dapat meningkatkan kuat geser dan kohesivitas pada tanah lunak.

Mekanisme stabilisasi tanah secara kimiawi tergantung pada reaksi kimia antara stabilizer (bahan semen) dan mineral tanah (bahan pozzolan) untuk mencapai efek yang diinginkan (Murthy, et al., 2016). Material semen maupun kapur, telah banyak digunakan sebagai material stabilisasi pada tanah lunak dan terbukti mampu meningkatkan karakteristik mekanis tanah lunak. Namun demikian penggunaan kedua material ini tidak ramah

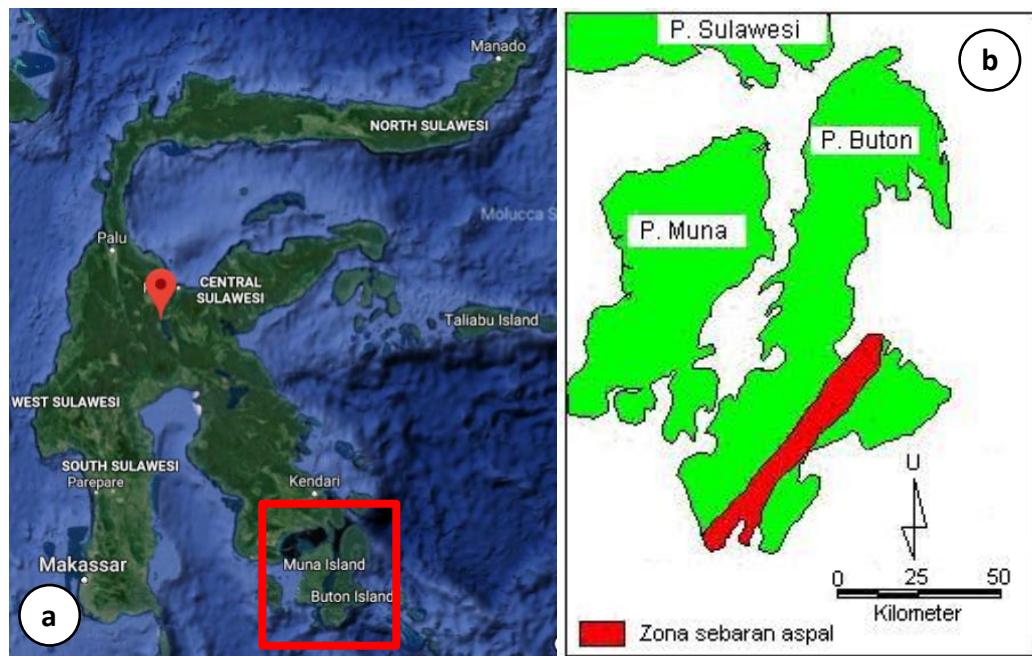
lingkungan oleh karena menghasilkan material polutan pada proses pembuatanya. dianggap tidak efisien karena dalam produksinya.

Seiring dengan kemajuan teknologi material dan pertumbuhan ekonomi, maka arah pengembangan material stabilisasi kimia juga mengalami inovasi untuk meningkatkan kekompakan, ketahanan, dan kekuatannya, seperti dengan pemanfaatan material daur ulang maupun material buangan (Das, 2013), seperti : abu terbang (*fly ash*), slag batu bara, dll.

Diamond and Kinter (1965) dan Assarson et al. (1974) dalam (Porbaha, et al., 2000) mendeskripsikan bahwa mekanisme pengerasan tanah pada proses stabilisasi kimiawi meliputi 3 (tiga) reaksi, yaitu : Proses dehidrasi (*hydration process*) merupakan reaksi awal stabilisasi secara kimia, dimana pada proses pencampuran material tanah, bahan stabilisasi dan air, material stabilizer akan menyerap air sehingga akan membentuk kalsium hidroksida atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Selanjutnya terjadi proses pertukaran ion (*ion exchange*) atau umumny disebut proses flokulasi, dimana disosiasi dan kalsium hidroksida dalam air akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi elektrolit dan pH air pori, sehingga mengakibatkan kation Ca tertarik pada partikel tanah liat (anion) bermuatan negatif. Pada akhirnya reaksi pozzolan terjadi, dimana kalsium hidroksida dalam air tanah bereaksi dengan mineral pozzolan (silikat dan aluminat) dalam tanah liat untuk membentuk bahan pengikat atau semen.

Asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, umumnya dikenal dengan nama Asbuton. Proses pembentukan material ini terjadi akibat proses geologi yang berasal dari minyak bumi dan terdesak keluar dan mengisi rongga-rongga batuan yang porous.

Deposit mineral alam ini sangat besar dan merupakan cadangan aspal minyak terbesar kedua di Dunia. Kurniaji, 2010 dalam (Suaryana, et al., 2018) melakukan investigasi dan pemetaan cadangan deposit aspal yang terdapat di pulau Buton, dimana hasil tersebut menunjukkan bahwa deposit Asbuton ditaksir mencapai 677.247 juta ton, seperti pada Gambar 6. Gompul (1991) dalam (Zuhri, et al., 2017) menyatakan bahwa mineral aspal alam ini tersebar dari teluk dengan lebar 12 km. Sampolawa sampai dengan teluk Lawele dengan jarak 75 km. Selain itu, Supriyadi (1989) dalam (Zuhri, et al., 2017) menjelaskan bahwa Luas daerah penyebaranya mencapai \pm 1.527 Km² dengan kedalaman bervariasi antara dari 9 km – 45 km, atau dengan kata lain tebal rata-rata asbuton adalah 29,88 m.



Gambar 6. Deposit aspal alam di pulau Buton (a) Pulau Sulawesi (b) Pulau Buton.

Proses ekstraksi asbuton merupakan ekstraksi padat cair atau leaching dimana terjadi transfer difusi komponen terlarut (bitumen asbuton) dari padat inert (batuan asbuton) kedalam pelarut, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7. Proses ini diawali dengan penghancuran dan penggilingan (grinding) batuan asbuton sampai ukuran tertentu yang kemudian dilanjutkan dengan pelarutan asbuton dengan memasukkan cairan pelarut, seperti : heksana, kerosene, algosol, dll.



Gambar 7. Proses ekstraksi aspal buton. (a) Buton Granular Aspal (b) Aspal (c) mesin ekstraksi Aspal (d) lumpur limbah aspal buton (e) fraksi WBA.

Dari hasil ekstraksi ini, selain menghasilkan aspal dengan kadar yang bervariasi antara 15 – 40 %, juga menghasilkan produk buangan yang berbentuk lumpur sebesar \pm 20%. Hasil sisa ekstraksi aspal ini yang kemudian masyarakat sebut sebagai limbah aspal buton. Dengan volume deposit aspal buton yang mencapai 677 juta ton, maka potensi limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi ini juga sangat besar atau ditaksir dapat mencapai \pm 135 juta ton.

Penelitian mengenai limbah aspal buton (WBA) masih sangat terbatas, namun pemanfaatan aspal sebagai bahan stabilisasi pada tanah lunak telah banyak dikaji seperti yang dilakukan oleh (Alhaji & Alhassan,

2018) yang memanfaatkan aspal daur ulang sebagai material stabilisasi pada tanah lunak, (Çalışıcı, 2018) menggunakan bitumen aspal sebagai bahan stabilisasi pada lapisan subgrade jalan. Adapun pemanfaatan aspal buton sebagai bahan stabilisasi juga telah dikaji seperti yang dilakukan oleh (Amiruddin & Yaurentius, 2001), (Kusnianti, 2008), (Tanari, 2013).

Hasil analisis kimia dari mineral aspal buton dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Hermadi, et al., n.d.) dan (Hadiwisastra, 2009) menunjukkan bahwa mineral yang terkandung dalam aspal buton meliputi : CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 , CaS , SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan residu. Lebih jauh dijelaskan bahwa mineralogi yang dominan dalam aspal buton ini berupa CaCO_3 (kapur) dan CaSO_4 (gypsum).

Kapur telah dikenal luas sebagai material stabilisasi pada tanah lunak, selain dari semen. Penilitian-penelitian yang memanfaatkan kapur juga telah banyak dilakukan seperti. Dengan keberadaan mineral kapur dalam aspal buton menunjukkan besarnya potensi limbah aspal buton sebagai material stabilisasi. Berdasarkan hasil analisis kimia ini, maka secara general material Aspal Buton dengan kandungan kapur yang dominan memiliki potensi yang cukup besar untuk dapat dijadikan sebagai alternatif material stabilisasi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan dengan material-material yang telah umum dikenal, seperti : semen dan kapur.