

**DISERTASI**

**STUDI EKSPERIMENTAL KAPASITAS  
DUKUNG DAN PERILAKU DEFORMASI LAPISAN  
SUBGRADE PERKERASAN KAKU AKIBAT SIKLUS  
BASAH-KERING**

*EKSPERIMENTAL STUDY OF SUBGRADE  
BEARING CAPACITY AND DEFORMATION BEHAVIOR  
OF RIGID PAVEMENT DUE TO WET-DRY CYCLE*

**SITI FAUZIAH BADARON  
P0800315002**



**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2020**



**DISERTASI**

**STUDI EKSPERIMENTAL KAPASITAS DUKUNG DAN  
PERILAKU DEFORMASI LAPISAN SUBGRADE PERKERASAN  
KAKU AKIBAT PENGARUH SIKLUS BASAH KERING**

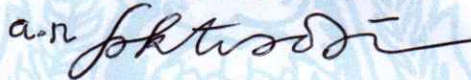
Disusun dan Diajukan Oleh

**SITI FAUZIAH BADARON**  
**Nomor Pokok P0800315002**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
Pada tanggal 06 Januari 2020  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat



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



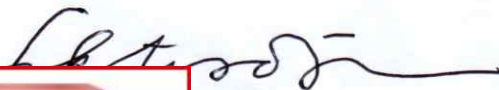
Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT  
Co-Promotor



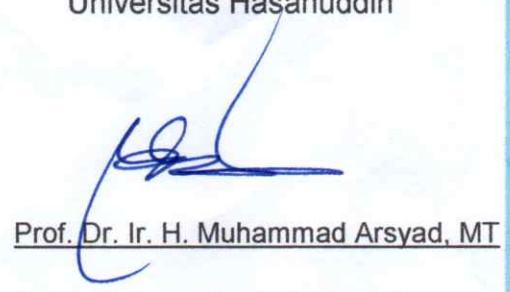
Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT  
Co-Promotor

Ketua Program Studi  
S3 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc., Ph.D



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad, MT



## ABSTRAK

**SITI FAUZIAH BADARON.** Studi Eksperimental Kapasitas Dukung dan Perilaku Deformasi Lapisan Subgrade Perkerasan Kaku Akibat Siklus Basah-Kering (Promotor Lawalenna Samang, Tri Harianto dan A.R. Djamaluddin}

Deteriorasi pada perkerasan jalan adalah suatu proses dimana kerusakan yang terjadi di dalam perkerasan mulai berkembang akibat dampak dari kombinasi beban lalu lintas dan kondisi lingkungan di sekitar lokasi jalan. Kemunduran fungsi perkerasan jalan ini berdampak relatif besar pada tingkat pelayanan, keselamatan dan kualitas berkendara pada jalan tersebut. Secara umum, peneliti bertujuan untuk menganalisis sejauh mana terjadinya perubahan perilaku deformasi lapisan tanah pendukung di bawah lapis perkerasan kaku yang dibebani bila mengalami siklus basah dan kering. Penelitian ini difokuskan pada masalah perilaku fisik, mekanis tanah sebagai bahan material subgrade yang dititikberatkan pada dampak yang timbul akibat perlakuan siklus basah kering dan tidak terlampaui jauh dalam membahas komposisi dan struktur material tanah. Parameter mekanis yang ditinjau adalah nilai CBR dan Kuat Tekan Bebas Tanah terhadap siklus basah-kering dan kering-basah, serta analisis kinerja terhadap model perkerasan jalan. Hasil penyelidikan tanah di laboratorium menunjukkan bahwa akibat siklus basah – kering terjadi penurunan nilai CBR dan UCS terutama pada siklus awal, dimana nilai CBR dan UCS turun secara drastis hingga 82% dan 85 %. Selanjutnya pada siklus 2 dan siklus 3 penurunan nilai CBR dan UCS tidak terlalu signifikan. Penurunan yang relatif besar ini dipengaruhi oleh perubahan formasi partikel mikrostruktur tanah yang ikatan partikelnya menjadi renggang akibat keberadaan air. Sedangkan pada uji model perkerasan menunjukkan bahwa korelasi antara beban dan deformasi tanah pada kadar air 21% dan 31% menunjukkan pola yang hampir sama, sedangkan untuk kadar air 41% agak berbeda, fenomena ini menunjukkan peranan air dalam massa tanah yang sangat besar. Hasil ini dapat menjadi pertimbangan dalam pelaksanaan konstruksi jalan pada daerah yang memiliki musim panas dan hujan, dimana siklus basah-kering dan kering-basah menjadi salah satu faktor yang sangat signifikan terhadap perilaku lapis perkerasan jalan. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut salah satunya adalah menggunakan stabilisasi kimia untuk meningkatkan indeks mekanis terhadap perubahan kadar air. Salah satu bahan yang dinilai dapat digunakan adalah Zeolit. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan pula Tanah Lunak Stabilisasi Zeolit sebagai pembanding.

Keywords : CBR, Dry-wet cycle, Road Pavement, Unconfined Compressive Strength, Wet-dry cycle.



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

*Tri*  
25/11/2019

## ABSTRACT

**SITI FAUZIAH BADARON.** Experimental Study of Subgrade Bearing Capacity and Deformation Behavior of Rigid Pavement Due Wet-Dry Cycles (Supervised by Lawalenna Samang, Tri Harianto and A.R. Djameluddin)

Pavement deterioration is a process in which damage to pavement begins to develop due to combination impact of traffic loads and environmental conditions around location of the road. Impairment of road pavement function has a relatively large impact on the level of service, safety and riding quality. In general, researchers seek to analyze the extent to which changes in the deformation behavior of support layers under rigid pavement layers are hampered by a dry and wet cycle. This research focuses on the physical and mechanical behavior of soil as a foundation material, focused on the impact of Wet-dry cycle influenced of soil. The mechanical parameters examined are the CBR value and the Unconfined Compressive Strength in wet-dry cycles scenario, as well as the analysis of the performance of pavement models. Laboratory investigation results showed that due to wet-dry cycle, the CBR and UCS values had decreased, particularly during the initial cycle, when the CBR and UCS values dropped dramatically by 82% and 85%. Moreover, in second and third cycle, the decrease in CBR and UCS values is not too significant. This relatively large decrease is influenced by changes in the formation of soil microstructure particles, the binding particles of which become tenuous due to the presence of water. While the pavement model test shows that the correlation between load and soil deformation at 21% and 31% moisture content shows almost the same behavior, while for 41% moisture content relatively a bit different, this phenomenon shows the role of water is very large in soil masses. This result can be considered in the implementation of road construction in tropical climate zones, where the wet-dry and dry-wet cycle is a very important factor in the behavior of the road layers. One of the measures to be taken to solve this problem is to use chemical stabilization to increase the mechanical index of water content modification. One of material considered as used is zeolite. For this reason, this study also uses the soft soil-zeolite stabilization as a comparison.

Keywords : CBR, Dry-wet cycle, Road Pavement, Unconfined Compressive Strength, Wet-dry cycle,



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya penulisan disertasi yang diberi judul “ **Studi Eksperimental Kapasitas Dukung dan Perilaku Deformasi Lapisan *Subgrade* Perkerasan Kaku Akibat Siklus Basah-Kering**” ini

Sangat banyak kendala yang penulis hadapi dalam rangka penyusunan disertasi ini, yang hanya berkat bantuan berbagai pihak maka disertasi ini dapat diselesaikan sebagaimana adanya. Untuk itu dengan segala kerendahan hati dan ketulusan, penulis menghaturkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Prof.Dr.Ir. H.Lawalenna Samang,MS ,M.Eng. selaku Promotor, Bapak Dr Eng. Tri Harianto,ST.,MT dan Bapak Dr. Ir. Abd.Rachman Djamaluddin.M.T. selaku Kopromotor, untuk kerelaan meluangkan waktu dan pikirannya yang sangat berharga dalam memberikan bantuan dan bimbingannya mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitiannya, sampai dengan penyusunan disertasi ini.
2. Bapak Prof.Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si.M.Eng.SC.Ph.D, Bapak Ir.H.Ahmad Bakri Muhiddin ,M.Sc.Ph.D, Ibu Dr.Eng.Ir. Hj.Rita Irmawati,ST.MT dan Bapak Dr.Eng.Ardy Arsyad ,ST.M.Eng.Sc, selaku

Penyusunan Penguji, yang telah memberikan masukan dan arahan yang sangat berarti selama proses penyusunan disertasi.



3. Bapak Prof.Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si.M.Eng.SC.Ph.D, selaku Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil atas segala perhatian dan dorongan yang diberikan.
4. Bapak-Bapak dan Ibu-Ibu dosen, Asisten dan Pegawai pada Program Studi S3 Teknik Sipil yang telah memperluas wawasan ilmiah dan membantu penulis selama mengikuti pendidikan.
5. Rektor Universitas Muslim Indonesia dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia yang telah mengizinkan penulis untuk mengikuti pendidikan
6. Suami tercinta Dr.Ir. H. M.Husni Maricar. MT dan putra bungsu M.Fariz.Maricar .ST yang selalu terabaikan selama penulis menjalani pendidikan.Serta Teriring doa buat anakda Almarhum M. Fachrul Israj M yang tidak sempat menyaksikan ibunda menjalani pendidikan.

Semoga seluruh amal dan jerih payah yang telah disumbangkan dapat diterima dan diberi ganjaran oleh Allah Azza Wajallah.

Disertasi ini masih jauh dari sempurna , olehnya itu penulis sangat menghargai dan mengharapkan kritikan konstruktif dari berbagai pihak demi untuk membuat disertasi ini lebih berarti dan bermanfaat.

Makassar, Januari 2020

Siti Fauziah Badaron



## ABSTRAK

**SITI FAUZIAH BADARON.** Studi Eksperimental Kapasitas Dukung dan Perilaku Deformasi Lapisan *Subgrade* Perkerasan Kaku Akibat Siklus Basah-Kering (Promotor Lawalenna Samang, Tri Harianto dan A.R. Djamaluddin}

Deteriorasi pada perkerasan jalan adalah suatu proses dimana kerusakan yang terjadi di dalam perkerasan mulai berkembang akibat dampak dari kombinasi beban lalu lintas dan kondisi lingkungan di sekitar lokasi jalan. Kemunduran fungsi perkerasan jalan ini berdampak relatif besar pada tingkat pelayanan, keselamatan dan kualitas berkendara pada jalan tersebut. Secara umum, penelitian bertujuan untuk menganalisis sejauh mana terjadinya perubahan perilaku deformasi lapisan tanah pendukung di bawah lapis perkerasan kaku yang dibebani bila mengalami siklus basah dan kering. Penelitian ini difokuskan pada masalah perilaku fisik, mekanis tanah sebagai bahan material subgrade yang dititikberatkan pada dampak yang timbul akibat perlakuan siklus basah kering dan tidak terlampau jauh dalam membahas komposisi dan struktur material tanah. Parameter mekanis yang ditinjau adalah nilai CBR dan Kuat Tekan Bebas Tanah terhadap siklus basah-kering dan kering-basah, serta analisis kinerja terhadap model perkerasan jalan. Hasil penyelidikan tanah di laboratorium menunjukkan bahwa akibat siklus basah – kering terjadi penurunan nilai CBR dan UCS terutama pada siklus awal, dimana nilai CBR dan UCS turun secara drastis hingga 82% dan 85 %. Selanjutnya pada siklus 2 dan siklus 3 penurunan nilai CBR dan UCS tidak terlalu signifikan. Penurunan yang relatif besar ini dipengaruhi oleh perubahan formasi partikel mikrostruktur tanah yang ikatan partikelnya menjadi renggang akibat keberadaan air. Sedangkan pada uji model perkerasan menunjukkan bahwa korelasi antara beban dan deformasi tanah pada kadar air 21% dan 31% menunjukkan pola yang hampir sama, sedangkan untuk kadar air 41% agak berbeda, fenomena ini menunjukkan peranan air dalam massa tanah yang sangat besar. Hasil ini dapat menjadi pertimbangan dalam pelaksanaan konstruksi jalan pada daerah yang memiliki musim panas dan hujan, dimana siklus basah-kering dan kering-basah menjadi salah satu faktor yang sangat signifikan terhadap perilaku lapis perkerasan jalan. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut salah satunya adalah menggunakan stabilisasi kimia untuk meningkatkan indeks mekanis terhadap perubahan kadar air. Salah satu bahan yang dinilai dapat digunakan adalah Zeolit. Pada penelitian ini digunakan pula Tanah Lunak Stabilisasi sebagai pembanding.

Is : Kapasitas Dukung, Deformasi, Siklus Basah-Kering,



## ABSTRACT

**SITI FAUZIAH BADARON.** Experimental Study of Subgrade Bearing Capacity and Deformation Behavior of Rigid Pavement Due To Wet-Dry Cycle (Supervised by Lawalenna Samang, Tri Harianto and A.R. Djamaluddin}

Pavement deterioration is a process in which damage to pavement begins to develop due to combination impact of traffic loads and environmental conditions around location of the road. Impairment of road pavement function has a relatively large impact on the level of service, safety and riding quality. In general, researchers seek to analyze the extent to which changes in the deformation behavior of support layers under rigid pavement layers are hampered by a dry and wet cycle. This research focuses on the physical and mechanical behavior of soil as a foundation material, focused on the impact of Wet-dry cycle influenced of soil. The mechanical parameters examined are the CBR value and the Unconfined Compressive Strength in wet-dry cycles scenario, as well as the analysis of the performance of pavement models. Laboratory investigation results showed that due to wet-dry cycle, the CBR and UCS values had decreased, particularly during the initial cycle, when the CBR and UCS values dropped dramatically by 82% and 85%. Moreover, in second and third cycle, the decrease in CBR and UCS values is not too significant. This relatively large decrease is influenced by changes in the formation of soil microstructure particles, the binding particles of which become tenuous due to the presence of water. While the pavement model test shows that the correlation between load and soil deformation at 21% and 31% moisture content shows almost the same behavior, while for 41% moisture content relatively a bit different, this phenomenon shows the role of water is very large in soil masses. This result can be considered in the implementation of road construction in tropical climate zones, where the wet-dry and dry-wet cycle is a very important factor in the behavior of the road layers. One of the measures to be taken to solve this problem is to use chemical stabilization to increase the mechanical index of water content modification. One of material considered as used is zeolite. For this reason, this study also uses the soft soil-zeolite stabilization as a comparison.

Keywords : Bearing Capacity, Deformation, Wet-dry cycle,





## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	1
ABSTRAK.....	3
ABSTRACT.....	4
DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR TABEL.....	7
BAB I PENDAHULUAN.....	12
A. Latar Belakang.....	12
B. Rumusan Masalah.....	15
C. Tujuan Penelitian .....	16
D. Manfaat Penelitian .....	17
E. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah Penelitian .....	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	19
A. Permasalahan Strategis Perkerasan Jalan yang Sering Terendam Air .....	19
B. Interaksi Lapisan Subgrade dan Lapisan Perkerasan Kaku	21
C. Modulus Elastisitas Tanah dan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> .	24
D. Hubungan Empirik Nilai CBR dengan Elastisitas Tanah / Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> .....	27
E. Karakteristik Lapisan <i>Subgrade</i> .....	28



F.	Kapasitas Daya Dukung Tanah .....	29
G.	Zeolit sebagai Bahan Tambah pada Material <i>Subgrade</i> .....	33
H.	Studi Penelitian Terdahulu .....	41
I.	Kerangka Fikir Penelitian .....	52
BAB III	METODE PENELITIAN .....	53
A.	Umum.....	53
B.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	53
C.	Rancangan Pengujian dan Model Fisik.....	54
D.	Defenisi Operasional Variabel Penelitian .....	66
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	68
A.	Karakteristik Fisik, Mekanik dan Mikrostruktur .....	68
B.	Hasil Uji Kapasitas Dukung Tanah pada Kondisi Siklus Basah-Kering .....	83
C.	Hasil Uji Kapasitas Dukung Tanah Terhadap Variasi Kadar Air .....	85
D.	Model Perilaku Deformasi Lapisan <i>Sugrade</i> .....	89
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	110
A....	Kesimpulan .....	110
B....	Saran.....	111
C....	Daftar Pustaka.....	112



## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Efek genangan banjir pada satuan berat material <i>subgrade</i> ....	20
Tabel 2	Efek genangan air oleh banjir terhadap nilai CBR material <i>subgrade</i> .....	20
Tabel 3	Tipikal nilai dari modulus Young untuk material granular (MPa) (berdasarkan Obrzud & Truty 2012 dalam Kezdi 1974 dan Prat et al. 1995).....	25
Tabel 4	Modulus Young untuk material kohesif (MPa) (berdasarkan Obrzud & Truty 2012 dikompilasi dari Kezdi 1974 dan Prat et al. 1995).....	25
Tabel 5.	Contoh zeolit alam yang umum ditemukan (Subagjo, 1993)....	35
Tabel 6.	Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetis (Georgiev et al., 2009).....	36
Tabel 7.	Hasil pengujian sifat indeks tanah .....	69
Tabel 8.	Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO.....	72
Tabel 9.	Klasifikasi keandalan Tanah Berdasarkan AASHTO .....	74
Tabel 10.	Nilai CBR tanah asli pada penurunan 0,1 inch dan 0,2 inch....	76
Tabel 11.	Kandungan mineral dan bukan mineral lempung .....	78
Tabel 12.	Komposisi mineral Zeolit .....	83
Tabel 13.	Rekapitulasi Hasil Uji Nilai CBR dan UCS terhadap Siklus Basah-Kering .....	83
Tabel 14.	Nilai CBR dan $\gamma_{Dry}$ pada tanah asli dan tanah 3% Zeolit .....	85
Tabel 15.	Nilai UCT dan $\gamma_{Dry}$ pada tanah asli dan tanah 3% Zeolit .....	88
Tabel 16	Hubungan Deformasi dan Beban pada Kadar Air 21,00 %.....	89
Tabel 17.	Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan pada kadar air 21 %.....	90
Tabel 18.	Hubungan Deformasi dengan Beban pada Kadar Air 31,00 %	91
	9. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan lapisan tanah pada kadar air 31 % .....	92
	9. Hubungan Deformasi dengan Beban pada Kadar Air 41,00 %	93



Tabel 21. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan pada kadar 41% .....	94
Tabel 22. Hub. Deformasi dengan Beban lapisan tanah distabilisasi 3 % zeolite pada Kadar Air 21,00 % .....	96
Tabel 23. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan lapisan tanah yang distabilisasi dengan zeolite pada kadar air 31 % .....	97
Tabel 24. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan lapisan tanah yang distabilisasi dengan zeolite pada kadar air 31 % .....	98
Tabel 25. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan lapisan tanah yang distabilisasi dengan zeolite pada kadar air 31 % .....	99
Tabel 26. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan lapisan tanah yang distabilisasi dengan zeolite pada kadar air 41 % .....	100
Tabel 27. Hubungan Deformasi dengan Jarak Pengamatan lapisan.....	101
Tabel 28. Hubungan Kadar air dengan Deformasi pada Tanah Asli dan tanah yang distabilisasi dengan 3% Zeolite .....	102



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Efek genangan akibat banjir terhadap nilai CBR <i>subgrade</i> .20
Gambar 2	Model Winkler interaksi tanah dan perkerasan kaku dengan sistem pegas.....22
Gambar 3	Grafik hubungan ks dan CBR (NAASRA, 1987).....26
Gambar 4	Nilai CBR versus Modulus Elastisitas .....27
Gambar 5.	Proses Keruntuhan tanah .....31
Gambar 6.	Bentuk-bentuk Keruntuhan daya dukung tanah .....32
Gambar 7.	Struktur kimia zeolit (Haag, 1984) .....34
Gambar 8.	Kerangka fikir penelitian.....52
Gambar 9	Bagan Alir Penelitian.....54
Gambar 10.	Siklus Basah-Kering.....63
Gambar 11.	Siklus Kering-Basah.....63
Gambar 12.	Bak Uji/Wadah untuk pengujian Model Pembebanan Statik65
Gambar 13	a. Wadah uji model pembebanan statik , b.sampel tanah setelah dipadatkan c, siap untuk diuji pembebanan statik c.Pembacaan penurunan pada setiap dial, selanjutnya dianalisis.....66
Gambar 14.	Distribusi Ukuran Partikel Tanah.....70
Gambar 15.	Grafik Batas Cair .....71
Gambar 16.	Grafik Batas Cair Diagram Plastisitas .....71
Gambar 17.	Grafik hubungan antara kadar air dan berat isi kering.....75
Gambar 18.	Grafik Hubungan Penurunan – Beban .....76
Gambar 19.	Grafik Hubungan Regangan-Tegangan pada uji kuat tekan bebas pada tanah asli.....77
Gambar 20	Grafik hasil pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> .....78
Gambar 21.	Hasil Foto SEM Kondisi tanah asli (a) pembesaran 5x, (b) pembesaran 10x, (c) pembesaran 20x dan (d) dengan pembesaran 30 x .....80
22.	Hasil Foto SEM Kondisi kering awal (a) pembesaran 5x, (b) pembesaran 10x, (c) pembesaran 20x dan (d) dengan pembesaran 30 x .....81



Gambar 23. Hasil Foto SEM Kondisi basah (a) pembesaran 5x, (b) pembesaran 10x, (c) pembesaran 20x dan (d) dengan pembesaran 30 x.....	81
Gambar 24. EDS Spektrum Struktur zeolit .....	82
Gambar 25. Hubungan antara Nilai CBR dan Kuat Tekan Bebas terhadap Siklus Basah-Kering.....	84
Gambar 26. Hubungan Kadar air dan $\gamma_{Dry}$ terhadap Variasi Kadar Air Pada Tanah Asli dan Tanah 3% Zeolit.....	86
Gambar 27. Hubungan Kadar air dan CBR terhadap Variasi Kadar Air Pada Tanah Asli dan Tanah 3% Zeolit.....	87
Gambar 28. Hubungan Kadar air dan UCT terhadap Variasi Kadar Air Pada Tanah Asli dan Tanah 3% Zeolit.....	88
Gambar 29. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah pada kadar air 21,00% .....	90
Gambar 30. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah pada kadar air 21,00% .....	91
Gambar 31. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah pada kadar air 31,00% .....	92
Gambar 32. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah pada kadar air 31,00% .....	93
Gambar 33. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah pada kadar air 41,00% .....	94
Gambar 34. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah pada kadar air 41,00% .....	95
Gambar 35. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah yang distabilisasi dengan 3% zeolite pada kadar air 21,00%.....	96
Gambar 36. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah yang distabilisasi dengan 3% zeolite pada kadar air 21,00%.....	97
Gambar 37. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah yang distabilisasi dengan 3% zeolite pada kadar air 31,00%.....	98
Gambar 38. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah yang distabilisasi dengan 3% zeolite pada kadar air 31,00%.....	99
Gambar 39. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah yang distabilisasi dengan 3% zeolite pada kadar air 41,00%.....	100



- Gambar 40. Hubungan beban dan Jarak Dial lapisan tanah yang distabilisasi dengan 3% zeolite pada kadar air 41,00%.....101
- Gambar 41. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah Asli dan Tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 21 % ...103
- Gambar 42. Hubungan beban dan Jarak dial lapisan tanah Asli dan Tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 21 % ...103
- Gambar 43. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah Asli dan Tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 31 % ...104
- Gambar 44. Hubungan beban dan Jarak dial lapisan tanah Asli dan Tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 31 % ...105
- Gambar 45. Hubungan beban dan deformasi lapisan tanah Asli dan Tanah yang distabilisasi 3% Zeolite pada kadar air 41 % .106
- Gambar 46. Hubungan beban dan Jarak dial lapisan tanah Asli dan Tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 41 % ..106
- Gambar 47. Hubungan beban dan deformasi tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 21%, 31% dan 41 % .....108
- Gambar 48. Hubungan beban dan Jarak dial lapisan tanah yang distabilisasi 3% Zeolit pada kadar air 21%,31% dan 41 % 108



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Deteriorasi pada perkerasan jalan adalah suatu proses dimana kerusakan yang terjadi di dalam perkerasan mulai berkembang akibat dampak dari kombinasi beban lalu lintas dan kondisi lingkungan di sekitar lokasi jalan. Kemunduran fungsi perkerasan jalan ini berdampak relatif besar pada tingkat pelayanan, keselamatan dan kualitas berkendara pada jalan tersebut. Idealnya, perkerasan jalan yang baru dikonstruksi akan mengalami penurunan mutu dan fungsinya sangat lambat dalam sepuluh sampai dengan lima belas tahun pertama dari umur rencana pelayanannya (*service life*) dan kemudian akan mengalami penurunan mutu dengan cepat, apalagi jika program pemeliharaan tidak dijalankan sebagaimana mestinya (Zumrawi, 2015). Pada studi-studi terdahulu telah dikemukakan bahwa kegagalan perkerasan jalan umumnya disebabkan oleh alasan-alasan berikut: (Ogundipe, 2008)

1. Kelalaian dalam implementasi program pemeliharaan jalan.
2. Ketidaccakapan dalam pembuatan perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan jalan.

...arakteristik tanah dasar yang buruk, seperti nilai CBR lapisan tanah yang rendah.





Berbicara lebih jauh tentang alasan karakteristik tanah yang buruk di atas, sebenarnya paling tidak ada 2 kondisi yang sangat berpengaruh terhadap penurunan mutu dan fungsi perkerasan jalan, yaitu rendahnya kemampuan kapasitas dukung dari tanah dan deformasi yang mungkin terjadi selama masa operasional jalan tersebut. Daya dukung tanah yang rendah tidak akan mampu mengimbangi penyebaran tegangan-tegangan yang terjadi pada struktur perkerasan selama bekerjanya beban lalu lintas dan selanjutnya akan mengakibatkan lapisan perkerasan amblas. Deformasi yang terjadi secara fluktuatif karena adanya repetisi beban lalu lintas menyebabkan struktur lapisan perkerasan akan lebih cepat mengalami kelelahan (*fatigue*) dan selanjutnya dapat menimbulkan retakan-retakan pada lapis perkerasan.

Secara mendasar karakteristik geoteknik (*geotechnical properties*) ditentukan oleh 3 komponen utama, yaitu: beban yang bekerja, jenis dan sifat material tanah itu sendiri, serta air yang berpengaruh dalam badan atau lapisan tanah tersebut. Beban yang bekerja akan menimbulkan tegangan-tegangan internal ke berbagai arah sebagai bentuk reaksi perlawanan dari struktur lapisan tanah. Untuk jenis dan sifat material tanah, tergantung pada proses pembentukan serta tipe dan kuantitas mineral yang dikandungnya, setiap material tanah akan memberikan respon yang berbeda-beda terhadap beban maupun faktor lingkungan

terlalu padanya. Komponen air sendiri bisa dalam bentuk volume berdiam di dalam pori-pori massa tanah ataupun volume air yang



berpenetrasi dan/atau berevaporasi dalam massa tanah. Komponen air dalam massa tanah ini memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap karakteristik geoteknik yang dimaksud di atas.

Sedikit lebih terfokus tentang pentingnya peranan komponen air dalam pembentukan karakteristik geoteknik, bisa dilihat dalam pernyataan yang tertulis dalam kata pengantar buku manual *Vadose Zone Modeling with Vadose/W 2007* (Geo slope 2008) sebagai berikut: *“In fact, if water were not present in the soil, there would not be a need for geotechnical engineering. This is a nonsensical statement: if there were no water in the soil, there would be no way to sustain an ecosystem, no humans on earth and no need for geotechnical and geo-environmental engineering. However, the statement does highlight the importance of water in working with soil and rock”*. Jadi sangatlah jelas bahwa komponen air sangat berpengaruh pada pembentukan karakteristik geoteknik, sedang air ini juga bergantung pada kondisi iklim dan lingkungan dari waktu ke waktu mengakibatkan karakteristik geoteknikpun akan bervariasi sesuai iklim, lingkungan dan waktu yang silih berganti.

Pada daerah-daerah tropis dimana kadar air di dalam tanah dasar relatif lebih ekstrim berfluktuasi dari musim panas dan musim hujan secara bergantian akan menimbulkan fenomena sebagai salah satu penyebab yang cukup signifikan terhadap kerusakan dini infrastruktur, khususnya

san jalan. Kenyataan ini memberikan inspirasi dalam mengajukan penelitian untuk mendapatkan “perilaku” karakteristik mekanis tanah



dasar di bawah struktur perkerasan jalan akibat fluktuasi perubahan kadar air dari musim ke musim disepanjang tahun masa layanannya. Pertanyaan yang muncul kemudian adalah: “Apa signifikansi dari topik penelitian ini?”. Argumentasi yang dapat dikemukakan antara lain bahwa, sebagaimana diketahui kebanyakan metode analisa struktur perkerasan merupakan metode empiris yang diadopsi dari standar luar dimana sebagian besar berada pada daerah non-tropis. Memang ada penyesuaian terhadap beberapa parameter di dalamnya, seperti faktor iklim yang disesuaikan. Namun faktor penyesuaian ini belum dilatar belakangi dengan penelitian yang memadai terutama tentang perilaku lapisan perkerasan, khususnya lapisan tanah pendukung di bawahnya selama terjadinya perubahan musim dari tahun ke tahun selama masa layan lapis perkerasan tersebut.

## B. Rumusan Masalah

Lapisan perkerasan kaku yang dikonstruksi di atas lapisan *subgrade* diharapkan dapat bertahan melayani beban lalu lintas yang bekerja selama umur rencananya melewati pergantian musim hujan dan kemarau sebagaimana iklim pada daerah tropis. Selain kekuatan, kestabilan dan keawetan dari perkerasan kaku tersebut, keberhasilannya tentu saja banyak bergantung pada perilaku karakteristik mekanis dari lapisan tanah pendukungnya, berikut resistensinya terhadap perubahan basah dan kering secara berulang yang terjadi pada saat musim hujan dan kemarau secara bergantian di sepanjang tahun.



Dua hipotesa yang muncul disini dapat dikemukakan dalam pertanyaan penelitian: “Apakah ada perubahan secara signifikan perilaku karakteristik mekanis dari lapisan tanah *subgrade* perkerasan kaku yang memikul beban lalu lintas selama terjadinya proses basah dan kering sebagaimana proses/siklus pergantian musim berlangsung?”; serta “Apakah stabilisasi dengan bahan zeolite dapat menjadi alternatif solusi yang potensial untuk menjawab fenomena perubahan karakteristik mekanis lapisan tanah *subgrade* tersebut?”. Kedua hipotesa ini akan diuji melalui pembuatan model fisik/eksperimental di laboratorium yang kemudian akan memunculkan sub-permasalahan penelitian dengan fokus pada perilaku karakteristik tanah dan deformasi lapisan *subgrade* model perkerasan kaku yang dibebani dengan menerapkan skenario siklus pembasahan dan pengeringan, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh siklus basah-kering lapisan *subgrade* tanah lempung terhadap karakteristik mekanis berdasarkan nilai CBR dan nilai kuat tekan bebas UCS ?.
2. Bagaimana pemodelan skala laboratorium terhadap perilaku deformasi lapisan *subgrade* tanah lempung dan tanah stabilisasi bahan zeolite dengan skenario pemadatan pada posisi kering dan basah?.

### C. Tujuan Penelitian

Pembuatan model fisik/eksperimental di laboratorium diharapkan menguji sekaligus menjawab hipotesis dan pertanyaan penelitian



pada rumusan masalah di atas. Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sejauh mana terjadinya perubahan perilaku deformasi lapisan tanah pendukung di bawah lapis perkerasan kaku yang dibebani bila mengalami siklus basah dan kering.

Secara khusus tujuan penelitian studi model eksperimental ini adalah untuk memperoleh informasi ilmiah dalam hal:

1. Menganalisis pengaruh siklus basah-kering lapisan *subgrade* tanah lempung terhadap karakteristik mekanis berdasarkan nilai CBR dan kuat tekan bebas UCS
2. Pemodelan skala laboratorium terhadap perilaku deformasi lapisan *subgrade* tanah lempung dan tanah stabilisasi bahan zeolite dengan skenario pemadatan pada posisi kering dan basah

#### **D. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat terutama bagi pihak-pihak yang tertarik dan sering bergelut dengan permasalahan tanah, khususnya bagi para praktisi perencanaan jalan untuk dapat dijadikan bahan pertimbangan faktor perubahan perilaku karakteristik mekanis tanah dasar sebagai lapisan subgrade pendukung perkerasan kaku. Manfaat lainnya diantaranya adalah :

untuk memberi landasan berpikir untuk perencana jalan tentang kesadaran pentingnya masalah drainase.



- Hasil penelitian ini diharapkan dapat menyumbang masukan dalam memperkaya khasanah ilmu pengetahuan.

### **E. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah Penelitian**

Ruang lingkup Penelitian ini hanya mencakup uji laboratorium dengan model yang dibuat dengan skala laboratorium menyerupai kondisi actual di lapangan berupa lapisan perkerasan kaku diatas lapisan tanah dasar sebagai lapisan subgrade pendukung perkerasan kaku. Sedang batasan masalah penelitiannya adalah :

1. Difokuskan pada masalah perilaku fisik, mekanis tanah sebagai bahan material subgrade yang dititiberatkan pada dampak yang timbul akibat perlakuan siklus basah kering dan tidak terlampaui jauh dalam membahas komposisi dan struktur material tanah (*macro strucure* dan *micro structure*).
2. Penelitian ini difokuskan pada hubungan beban dan deformasi untuk masing–masing kondisi pembasahan dan pengeringan yang berbeda.
3. Penelitian ini difokuskan pada pengamatan dan pengukuran daya dukung tanah dan deformasi yang terjadi, dibawah pembebanan yang setara dengan beban standar lalu lintas.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Permasalahan Strategis Perkerasan Jalan yang Sering Terendam Air

Di daerah–daerah tropis banyak kejadian dimana badan jalan terendam air dimusim hujan, baik karena intensitas curah hujan yang tinggi maupun kondisi drainase jalannya yang buruk. Kondisi ini berdampak sangat merugikan, karena akan menurunkan performa infrastruktur jalan dan juga akan menjadi pemborosan konsumsi sumber daya yang berujung pada pengalokasian biaya pemeliharaan maupun rehabilitasi yang relatif besar.

Kebijakan yang berkaitan dengan antisipasi kerusakan jalan akibat pengaruh air dituangkan dalam Manual Perencanaan Jalan diantaranya: (Kementerian Pekerjaan umum. Direktorat Bina Marga, 2013)

- Penetapan ketinggian minimum tinggi tanah dasar diatas muka air tanah minimum 400 mm.
- Anjuran untuk menggunakan koefisien drainase yang tinggi dalam perencanaan tebal perkerasan.

Hasil penelitian yang berkaitan dengan jalan terendam air akibat

penelitian yang telah dilakukan di banyak negara, diantaranya penelitian yang dilakukan di Bangladesh mencoba menyelidiki hubungan efek genangan



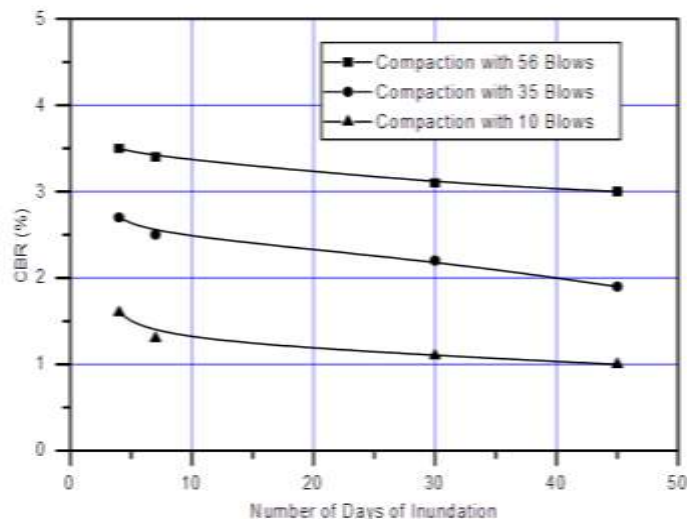
air pada perkerasan jalan terhadap kepadatan tanah lapisan *subgrade* dan hubungan dampak genangan air terhadap nilai CBR yang tertuang di dalam Tabel 1, Tabel 2 dan Gambar 1. (M. J. B. Alam and M. Zakaria, 2012).

Tabel 1 Efek genangan banjir pada satuan berat material *subgrade*

Kompaksi (jumlah tumbukan)	Berat isi rata-rata (pcf)			
	4 hari	7 hari	30 hari	45 hari
56	108	106	104	103
35	103	100	98	97
10	94	89	86	84

Tabel 2 Efek genangan air oleh banjir terhadap nilai CBR material *subgrade*

Kompaksi (Jumlah tumbukan)	Rata-rata nilai California Bearing Ratio (CBR)			
	4 hari	7 hari	30 hari	45 hari
56	3,5	3,4	3,1	3,0
35	2,7	2,5	2,2	1,9
10	1,6	1,2	1,1	1,0



Gambar 1. Efek genangan akibat banjir terhadap nilai CBR *subgrade*





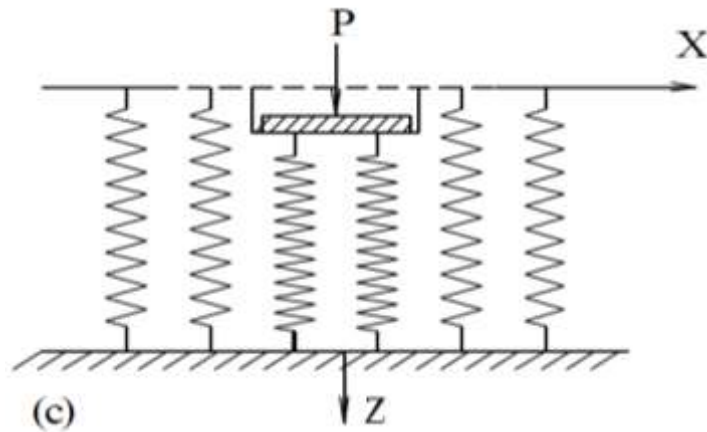
## B. Interaksi Lapisan Subgrade dan Lapisan Perkerasan Kaku

Interaksi mekanis tanah yang terjadi secara alamiah terhadap lapis perkerasan di atasnya banyak dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya (i) bentuk, ukuran dan sifat mekanik dari partikel tanah (ii) konfigurasi dari struktur tanah (iii) riwayat tegangan dan tegangan antar partikel tanah (iv) kandungan air, tingkat kejenuhan dan permeabilitas tanah (Selvadurai & Gladwell, 1980). Ada beberapa model interaksi antara tanah dan lapisan perkerasan jalan yang telah lama dikenal dengan menganggap tanah sebagai medium elastis yaitu: model Winkler, model elastis continuum dan model elastis dua parameter. Satu kekurangan dari model Winkler adalah bahwa *displacement* yang nampak tidak menerus diantara bagian yang dibebani dan tidak dibebani pada permukaan tanah dibawah lapisan perkerasan kaku. Model ideal media tanah yang diprakarsai oleh Winkler mengasumsikan bahwa defleksi,  $w$ , media tanah pada setiap titik di permukaan proporsional secara langsung terhadap tegangan,  $q$  diterapkan pada titik itu dan bebas dari tekanan yang terjadi pada lokasi lain. Dimana  $k$  disebut modulus reaksi tanah dasar dengan satuan tegangan per satuan panjang. Secara fisik, idealisasi Winkler untuk media tanah terdiri dari suatu sistem elemen pegas yang bebas secara sempurna dengan konstanta pegas  $k$ . Salah satu ciri penting

Media tanah ini adalah *displacement* terjadi tepat di bawah area yang di bebani dan di luar daerah ini *displacement*nya adalah nol. Juga, dapat dikatakan bahwa, untuk model Winkler, *displacement* pada suatu daerah



pembebanan akan konstan apabila tanah dibebani suatu beban kaku yang terbatas atau beban fleksibel yg seragam (Prof. P.C. Vasani, n.d.).



Gambar 2 Model Winkler interaksi tanah dan perkerasan kaku dengan sistem pegas

Formulasi sederhana untuk model wingler dengan sistem pegas, sebagai berikut :

$$q(x,y) = kw(x,y) \quad ( 1 )$$

dimana :

$k$  = modulus reaksi subgrade

$w$  = Lendutan

$q$  = tegangan

- a) Model elastis continuum, karena defleksi permukaan yang terjadi pada model winkler terbatas pada daerah yang dibebani, ini membatasi penerapannya pada media tanah yang memiliki nilai kohesi atau transmisiabilitas yang kecil terhadap beban yg diberikan.



ngalaman secara umum menunjukkan bahwa, dalam kasus media ah, defleksi permukaannya tidak hanya terjadi langsung dibawa

areal pembebanan tetapi juga pada zona terbatas tertentu diluar areal beban tersebut.

Dalam upaya untuk memperhitungkan perilaku menerus ini, media tanah sering diidealisasikan sebagai bahan elastis menerus tiga dimensi atau elastis menerus. Umumnya distribusi dari displacement dan regangan pada media tersebut tetap menerus dibawah sistem gaya luar yang bekerja.

Umumnya penerapan dari teori continuum elastis pada interaksi tanah dan lapisan perkerasan kaku memunculkan permasalahan matematik yang kompleks. Sejumlah solusi untuk untuk berbagai nilai batas masalah interaksi tanah dan perkerasan kaku telah diteliti oleh beberapa peneliti (Prof. P.C. Vasani, n.d.)

Tiga kondisi yang dibahas dalam pemodelan ini yaitu :

- (i) elastis continuum isotropik
  - (ii) elastis continuum non isotropik dan non homogen
  - (iii) lapisan dan struktur media elastis
- b) Model elastis dua parameter

Kekurangan dari Model Winkler dalam menguraikan kelakuan menerus dari kenyataan massa tanah dan kompleksitas matematik dari elastis continuum telah mendasari pengembangan dari banyak model kelakuan tanah yang sederhana lainnya. Model ini memiliki

perapa gambaran karakteristik dari material solid plastis yang menerus. Pengertian dua parameter menandakan bahwa model ini



ditentukan oleh dua konstanta elastis yang bebas. Pengembangan dari model ini telah didekati melalui sisi berbeda sebagai berikut :

- (I) Jenis pertama berasal dari model tidak menerus Winkler dengan menghilangkan kelakuan tidak menerusya dengan memberikan interaksi mekanis diantara individu elemen elemen pegas melalui membran elastis, balok elastis atau lapisan elastis yang mampu secara murni berdeformasi akibat kekuatan geser (yaitu Filonenko-Borodich, Hetenyi, Pasternak dan Kerr).
- (II) Proses pendekatan kedua dari model elastis kontinum dengan memperkenalkan batasan batasan atau asumsi asumsi penyederhanaan dengan yang difokuskan pada distribusi dari penurunan dan tegangan

### **C. Modulus Elastisitas Tanah dan Modulus Reaksi *Subgrade***

Berbicara mengenai penurunan tanah dan analisa deformasi elastis tidak terlepas dari parameter modulus young (E) yang biasanya disebut sebagai modulus elastisitas tanah yang merupakan parameter elastisitas tanah dan suatu ukuran dari kekakuan tanah.(T.Daloglu, 2000)

Modulus elastisitas tanah didefinisikan sebagai ratio antara tegangan dan regangan pada suatu sumbu didalam tanah dalam batasan elastisitas dari tanah. Modulus elastisitas tanah dapat diukur melalui uji kompresi dari laboratorium atau pengujian lapangan atau berdasarkan hubungan dengan sifat-sifat tanah lainnya (Teodoru, 2009)



Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas tanah bisa diperoleh melalui:

- **Pengukuran tidak langsung (*Indirect measurement*)**, diperoleh dengan cara melihat hubungan empirik antara jenis material dan tingkat kepadatannya terhadap besaran modulus elastisitas tanah sebagaimana yang tertera pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut :

Tabel 3 Tipikal nilai dari modulus Young untuk material granular (MPa) (berdasarkan Obrzud & Truty 2012 dalam Kezdi 1974 dan Prat et al. 1995)

Klasifikasi Sistem USCS	Uraian	Tingkat Kepadatan		
		Lepas	Sedang	Padat
GW, SW	Gravels/Sand well-graded	30-80	80-160	160-320
SP	Sand, uniform	10-30	30-50	50-80
GM, SM	Sand/Gravel silty	7-12	12-20	20-30

Tabel 4 Modulus Young untuk material kohesif (MPa) (berdasarkan Obrzud & Truty 2012 dikompilasi dari Kezdi 1974 dan Prat et al. 1995)

Klasifikasi sistem USCS	Uraian	Tingkat Kepadatan			
		Very soft to soft	Medium	Stiff to very stiff	Hard
ML	Silts with slight plasticity	2.5 - 8	10 - 15	15 -40	40 - 80
ML, CL	Silts with low plasticity	1.5 - 6	6 -10	10 - 30	30 -60
CL	Clays with low-medium plasticity	0.5 - 5	5 -8	8 - 30	30 - 70
CH	Clays with high plasticity	0.35 - 4	4 -7	7 - 20	20 - 32
OL	Organic silts	-	0.5 -5	-	-
OH	Organic clays	-	0.5 -4	-	-

- Pengukuran langsung, dapat diinterpretasikan dilaboratorium melalui percobaan triaxial dan dilapangan dapat interpretasikan dengan

percobaan odometer



Modulus reaksi subgrade adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1996). Berdasarkan uji beban pelat, nilai modulus reaksi subgrade dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$K_s = \frac{P}{\Delta} \quad (1)$$

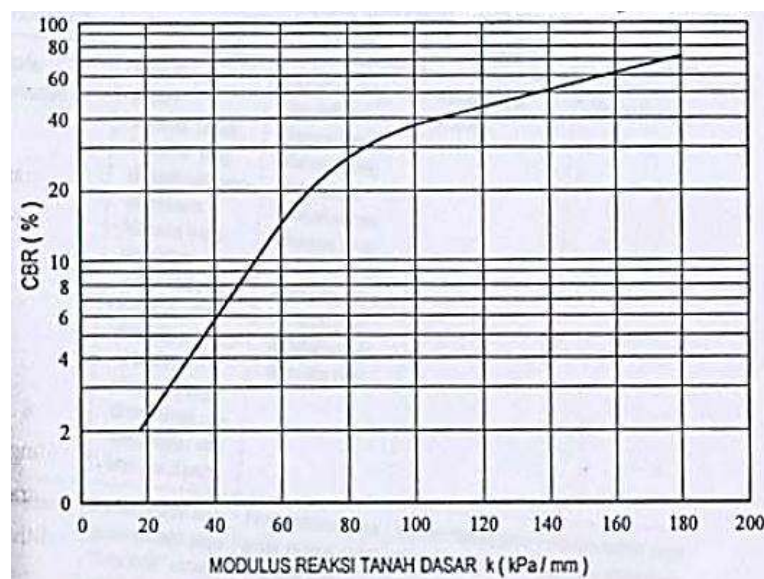
Dimana:

$P$  = tekanan yang diterima pelat ( $\text{kN/m}^2$ )

$\Delta$  = defleksi yang terjadi pada plat (m)

Berdasarkan uji CBR, nilai  $k_s$  dapat diperoleh secara grafis dan analitis.

Secara grafis, dapat diperoleh melalui grafik dibawah ini :



Gambar 3 Grafik hubungan  $k_s$  dan CBR (NAASRA, 1987)

Modulus reaksi subgrade ( $k_s$ ) dapat juga dinyatakan dalam persamaan diperoleh dari teori elastisitas tanah, yaitu sebagai berikut:



$$k_s = 1.13 \frac{E}{(1-\nu^2)} \frac{1}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Dimana :

Ks = Modulus reaksi *subgrade* (kN/m<sup>3</sup>)

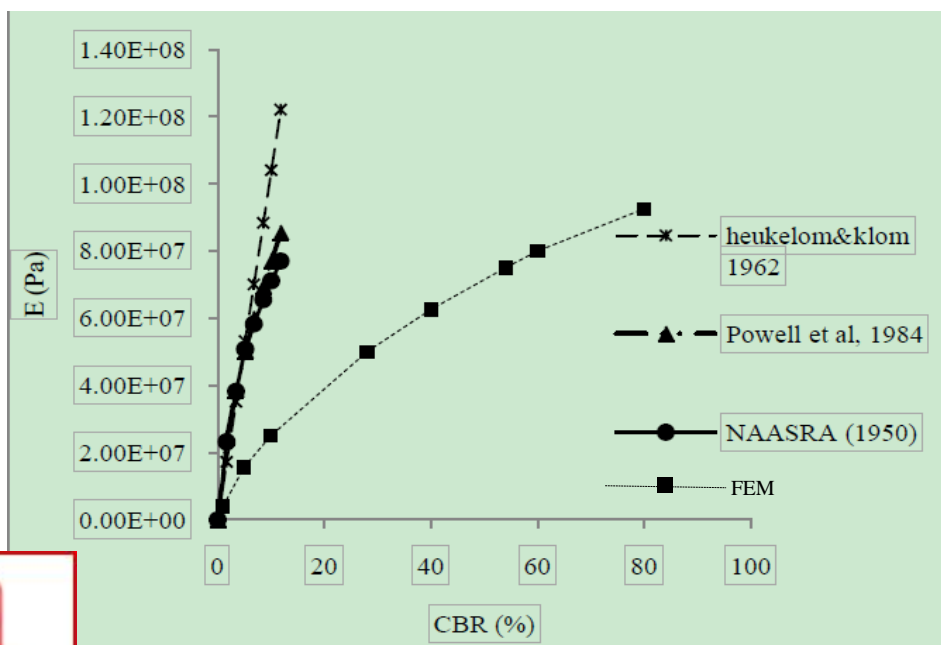
V = Poisson's ratio

A = luas penampang pendorong pada uji CBR (m<sup>2</sup>)

E = modulus elastisitas tanah (kPa)

#### D. Hubungan Empirik Nilai CBR dengan Elastisitas Tanah / Modulus Reaksi *Subgrade*

Beberapa studi telah dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara nilai Modulus elastisitas tanah dan nilai CBR diantaranya oleh terzaghi (1995), Heukelom and Klomp (1962), Powell et al (1984) dan NAASRA (1950) sebagaimana terlihat pada dibawah ini



Gambar 4 Nilai CBR versus Modulus Elastisitas



Penelitian Heukelom and Klomp (1962), hubungan nilai CBR dengan modulus elastisitas sebagai berikut :

$$E = 1500 \text{ CBR (Psi)}$$

Penelitian Powell et.al (1984), hubungan nilai CBR dengan modulus elastisitas adalah :

$$E = 17.6 \text{ CBR}^{0.64} \text{ (MPa)}$$

Penelitian yang terkini berdasarkan analisa numerik dengan metode *finite element* (FEM) menyatakan bahwa model terzaghi yang paling sesuai (Putri, Rao, & Mannan, 2012)

Hasil penelitian berdasarkan metode *finite element* didapatkan hasil sebagai berikut :

1.  $E = 863.82 \text{ CBR (kPa) , } v = 0.0$
2.  $E = 840.53 \text{ CBR (kPa) , } v = 0.3$
3.  $E = 751 \text{ CBR (kPa) , } v = 0.4;$

Jika nilai *poisson ratio* tidak diketahui, dapat digunakan nilai empiris sebesar  $E = 810 \text{ CBR (kPa)}$ .

### **E. Karakteristik Lapisan *Subgrade***

Tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah asli, permukaan galian, atau permukaan tanah timbunan yang merupakan permukaan

berletakan bagian-bagian lapis perkerasan lainnya. Fungsi e adalah menerima tekanan akibat beban lalu lintas yang ada di





atasnya, oleh karena itu lapisan subgrade harus memiliki kapasitas dukung yang optimal sehingga mampu menerima gaya akibat beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan. Kualitas lapisan subgrade sangat menentukan ketebalan lapisan perkerasan di atasnya sehingga kecermatan dalam menilai kualitas subgrade akan berdampak pada aspek biaya dari jalan tersebut, artinya jika kualitas subgrade bagus maka biaya perkerasan lebih murah namun jika salah menginterpretasi kapasitas dukung subgrade akan berakibat pada kerusakan dini perkerasan jalan yang bermuara pada kerugian finansial.

## F. Kapasitas Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah merupakan tahanan geser untuk melawan penurunan tanah akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang gesernya. Sedangkan kapasitas daya dukung adalah besarnya kemampuan tanah untuk menahan beban yang bekerja pada tanah tersebut. Beban yang timbul akibat transfer beban struktur melalui pondasi dan beban bergerak pada perkerasan jalan. Jika terjadi keruntuhan pada tanah akibat runtuhnya kapasitas daya dukung tanah, maka terjadi penurunan tanah dan mengakibatkan ketidakstabilan struktur, oleh karena itu sangat penting

empelajari kapasitas daya dukung tanah.

roses keruntuhan tanah dasar terjadi dalam beberapa fase;

, tanah di bawah fondasi turun mengakibatkan terjadinya



deformasi tanah pada arah vertikal dan horisontal ke bawah, penurunan yang terjadi sebanding dengan besar beban ( selama beban yang bekerja cukup kecil), tanah dalam kondisi keseimbangan elastis, massa tanah di bawah pondasi mengalami kompresi mengakibatkan kenaikan kuat geser tanah sehingga kapasitas dukung bertambah; kedua, terbentuk baji tanah pada dasar pondasi dimana deformasi plastis dimulai dari ujung tepi pondasi mengakibatkan zona plastis semakin berkembang seiring dengan penambahan beban, selanjutnya gerakan tanah arah lateral makin tampak ditandai oleh retakan lokal dan geseran tanah di sekeliling tepi pondasi, kuat geser tanah sepenuhnya berkembang untuk menahan beban pada zona plastis; dan ketiga, deformasi tanah semakin bertambah dan diikuti menggelembungkannya tanah permukaan akibatnya tanah mengalami keruntuhan , bidang runtuh berbentuk lengkungan dan garis yang disebut bidang geser radial dan bidang geser linear.

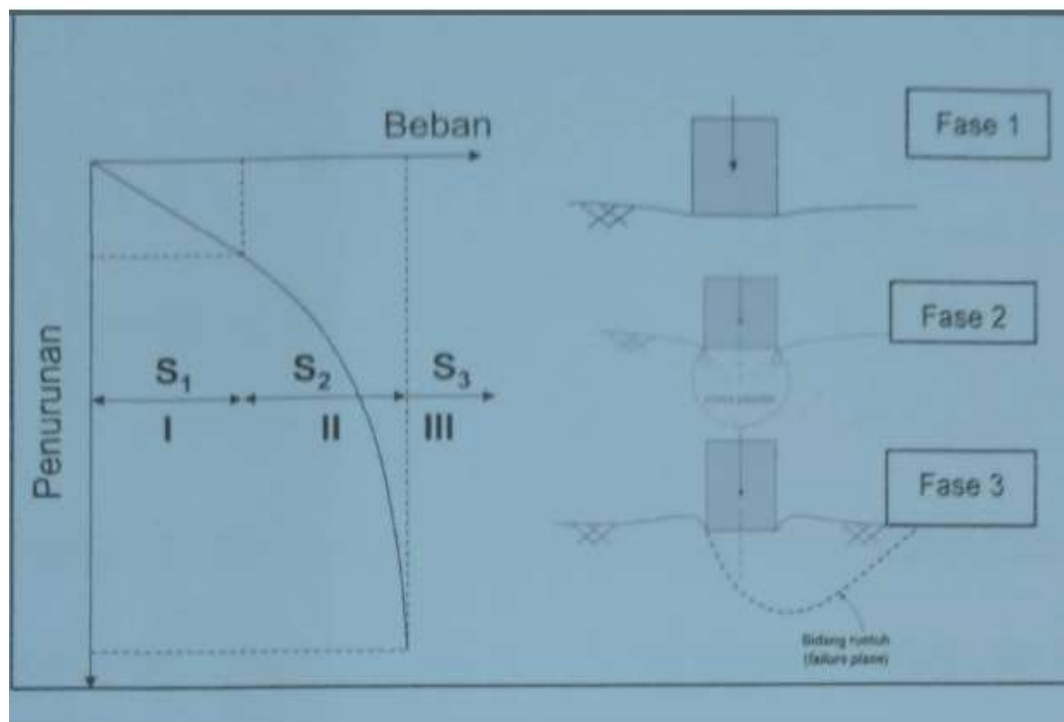
Vesic (1973) membagi keruntuhan daya dukung tanah menjadi 3 tipe, yaitu; keruntuhan geser umum (general shear failure) ; keruntuhan geser lokal (lokal shear failure), dan keruntuhan penetrasi (penetration failure atau punching shear failure). Keruntuhan geser umum terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas. Suatu baji tanah terbentuk tepat pada dasar pondasi (zona A) yang menekan tanah ke bawah hingga menyebabkan aliran tanah secara plastis pada zona B.

ke arah luar dan kedua zona tersebut, ditahan oleh tahanan tanah bagian C. Saat tahanan tanah pasif bagian C terlampaui, terjadi



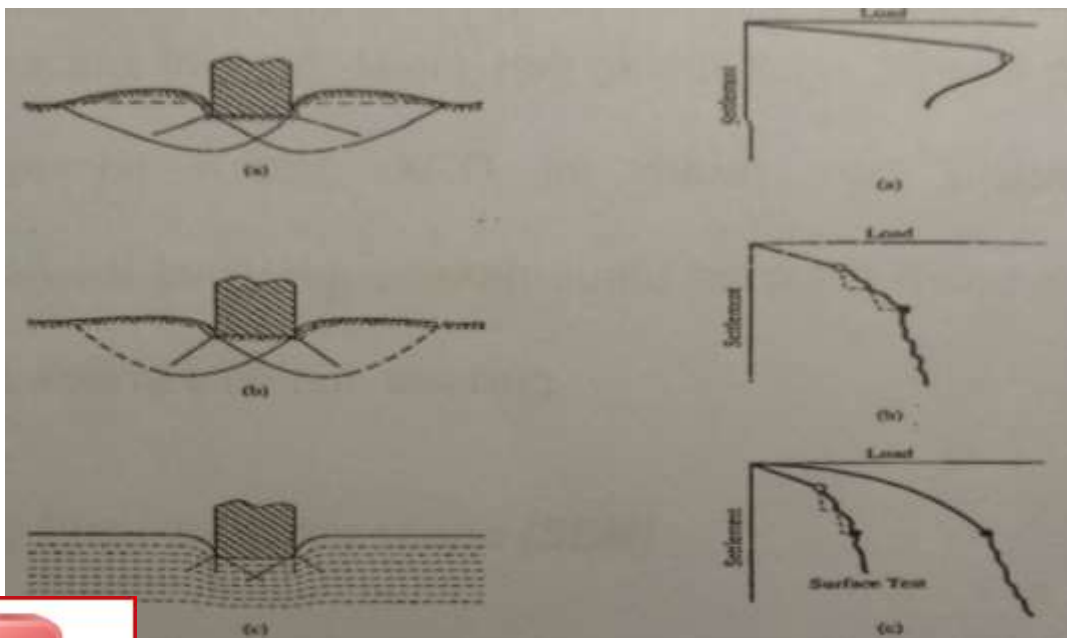
gerakan tanah yang mengakibatkan penggelembungan tanah di sekitar pondasi. Bidang longsor yang terbentuk, berupa lengkungan dan garis lurus yang menembus hingga mencapai permukaan tanah. Saat keruntuhan terjadi gerakan massa tanah ke arah luar dan ke atas.

Keruntuhan geser umum terjadi dalam waktu yang relatif mendadak yang diikuti oleh penggulingan pondasinya. Tipe keruntuhan geser lokal sama dengan keruntuhan geser umum, namun bidang runtuh yang terbentuk tidak sampai mencapai permukaan tanah, jadi bidang runtuh yang kontinu tidak berkembang.



Gambar 5. Proses Keruntuhan tanah

Pondasi tenggelam akibat bertambahnya beban pada kedalaman yang relatif dalam, yang menyebabkan tanah di dekatnya manfaat. tetapi manapnya tanah tidak sampai mengakibatkan kedudukan kritis keruntuhan geser umum. dalam tipe keruntuhan lokal, terdapat sedikit pengembangan tanah disekitar pondasi, namun tidak terjadi penggulingan pondasi. Pada tipe keruntuhan penetrasi, tidak terjadi keruntuhan geser tanah. Akibat bebannya, pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke samping yang menyebabkan pemampatan tanah di dekat pondasi. Penurunan pondasi bertambah hampir secara linear dengan penambahan bebannya. Pemampatan tanah akibat penetrasi pondasi berkembang, hanya pada zona terbatas tepat di dasar dan disekitar tepi pondasi.



Gambar 6. Bentuk-bentuk Keruntuhan daya dukung tanah

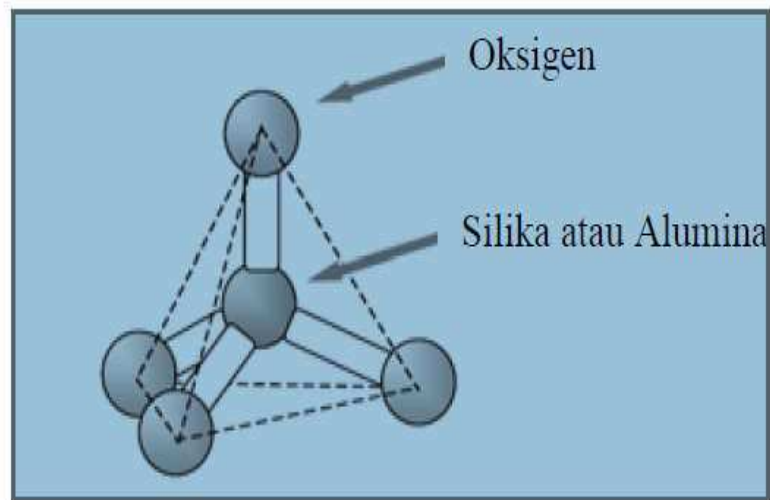
Penurunan yang terjadi tak menghasilkan cukup gerakan arah lateral yang menuju kedudukan kritis keruntuhan tanahnya, sehingga kuat geser ultimit tanah tak dapat berkembang.

### **G. Zeolit sebagai Bahan Tambah pada Material *Subgrade***

Zeolit adalah mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk dari tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Kedua tetrahedral di atas dihubungkan oleh atom-atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Breck, 1974; Chetam, 1992; Scot *et al.*, 2003).

Umumnya, struktur zeolit adalah suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral unit  $\text{TO}_4$ , dimana T adalah ion  $\text{Si}^{+4}$  atau  $\text{Al}^{+3}$  dengan atom O berada diantara dua atom T, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.





Gambar 7. Struktur kimia zeolit (Haag, 1984)

Struktur zeolit memiliki rumus umum  $M_x/n [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot wH_2O$ , dimana M adalah kation alkali atau alkali tanah, n adalah jumlah valensi kation, w adalah banyaknya molekul air per satuan unit sel, x dan y adalah angka total tetrahedral per satuan unit sel, dan nisbah  $y/x$  biasanya bernilai 1 sampai 5, meskipun ditemukan juga zeolit dengan nisbah  $y/x$  antara 10 sampai 100 (Bekkum *et al.*, 1991). Dewasa ini dikenal dua jenis zeolit, yakni zeolit alam dan zeolit sintesis, namun sekarang zeolit yang paling banyak digunakan adalah zeolit sintesis.

Zeolit alam ditemukan dalam bentuk mineral dengan komposisi yang berbeda, terutama dalam nisbah Si/Al dan jenis logam yang menjadi komponen minor, seperti diperlihatkan dalam Tabel 5.



Tabel 5. Contoh zeolit alam yang umum ditemukan (Subagjo, 1993)

NO.	Zeolith Alam	Komposisi
1.	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
2.	Kabazit	$\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
3.	Klinoptilotit	$\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
4.	Erionit	$\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
5.	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
6.	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
7.	Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
8.	Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
9.	Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
10.	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
11.	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Zeolite alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin (Lestari, 2010). Sebagai produk alam, zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah silika dan alumina. Di samping komponen utama ini, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca (Bogdanov *et al.*, 2009), Mg, dan Fe (Akimkhan, 2012). Terlepas dari aplikasinya yang luas, zeolit alam

beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik.



Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Mockovciakova *et al.*, 2007).

Zeolit sintetik adalah zeolit yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar produksi zeolit sintetik adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas. Komponen minor dalam zeolit juga dapat ditambahkan dengan mudah menggunakan senyawa murni, sehingga zeolit sintetik memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Dengan perkembangan penelitian, dewasa ini telah dikenal beragam zeolit sintetik, dan beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetik (Georgiev *et al.*, 2009)

Zeolit	Rumus Oksida
Zeolit A	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit N-A	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit H	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Zeolit L	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit X	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zeolit Y	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
Zeolit P	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2-5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit O	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit $\Omega$	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit ZK-4	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
ZK-5	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$





Dewasa ini zeolit sintetis terus dikembangkan, dengan dua fokus utama yaitu bahan baku dan metode. Dari segi bahan baku utama, digunakan 2 jenis bahan baku yakni bahan baku sintetis dan bahan baku limbah. Wongkasemjit *et al.* (2002) mensintesis zeolit *Analcium* (ANA) dan Na-P1 (GIS) dari bahan baku sintetis aluminat dan silikat dengan proses *sol-gel* dan teknik *microwave*. Aluminat dan silikat digunakan sebagai prekursor untuk menghasilkan aluminosilikat melalui proses *sol-gel*. NaCl dan NaOH digunakan sebagai agen hidrolisis. Konsentrasi NaOH mempengaruhi bentuk kristalnya, kristal yang sangat baik terbentuk pada konsentrasi NaOH yang tinggi. Proses pembentukan *gel* adalah reaksi endotermik. Proses pertumbuhan kristal maksimum diketahui menggunakan *differential scanning calorimetry* (DSC) terjadi pada suhu 106°C. Dengan NaOH/ H<sub>2</sub>O sebagai agen hidrolisis dan rasio SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O dan H<sub>2</sub>O 1:0,25:3:410, GIS terbentuk dengan perlakuan hidrotermal selama 3 jam pada suhu 110°C, sedangkan ANA terbentuk pada suhu 130°C selama 8 jam. Ukuran partikel yang terbentuk, GIS 4,55 µm dan ANA berukuran 9,96 µm.

Sunardi dan Abdullah (2007) melaporkan telah mensintesis zeolit dengan bahan baku abu layang batu bara dengan metode peleburan menggunakan NaOH serta aplikasinya sebagai adsorben logam merkuri (II). Abu layang dan NaOH dicampur dan dihomogenkan lalu dilebur pada

550°C selama 60 menit. Hasil peleburan ditambahkan, diaduk selama 12 jam dan dihidrotermalkan pada temperatur



90°C selama 24 jam. Hasil karakterisasi menggunakan *Fourrier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa telah terbentuk zeolit tipe faujasit. Dengan bahan baku yang sama, Laosiripojana *et al.* (2010) berhasil mensintesis zeolit dengan metode fusi. Abu layang dicampur dengan NaOH kondisi udara pada suhu 450°C di dalam *furnace*. Produk yang dihasilkan dilarutkan dengan akuades kemudian diaduk dengan mesin pengaduk selama 12 jam. Kristal yang dihasilkan dicuci dengan akuades dan dikeringkan semalaman dengan suhu 105°C. Karakterisasi zeolit menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) diketahui bahwa zeolit hasil sintesis memiliki rumus oksida  $1.08\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ . Luas permukaan zeolit hasil sintesis diketahui menggunakan *X-ray flouresensi* (XRF) dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) adalah 49-69 m<sup>2</sup>/g.

Bahan baku lain yang digunakan dalam sintesis zeolit adalah silika sekam padi. Kamarudin *et al.* (2004) melaporkan telah mensintesis zeolit dari silika sekam padi, mula-mula sekam padi dibakar dalam *furnace* pada suhu 450, 600 dan 800°C dengan rata-rata pemanasan 5°C/menit. Abu yang terbentuk dicuci dengan NaOH pada suhu 80°C selama 2 jam, kemudian dicampurkan dengan gel (natrium aluminat dan natrium hidoksida) dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 14 jam. Zeolit yang terbentuk dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), diketahui zeolit

terbentuk bertipe zeolit Y dan P. Luas permukaan zeolit yang



terbentuk dengan analisis adsorpsi nitrogen diketahui 39-211 m<sup>2</sup>/g, volume pori 0,014-0,075 cm<sup>3</sup>/g dan rata-rata diameter pori 2,95-6 nm.

Wittayakun *et al.* (2008) melaporkan telah mensintesis zeolit NaP dan NaY dari silika sekam padi dengan metode hidrotermal. Dalam pelaksanaannya, proses dilakukan secara hidrotermal pada suhu 100°C dengan rasio optimum dari SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Na<sub>2</sub>O adalah 10:1:4,6. Parameter yang dipelajari adalah waktu *aging* dan waktu kristalisasi. Dari hasil yang diberikan, waktu *aging* tidak memberikan efek yang besar, akan tetapi perubahan waktu kristalisasi memberikan hasil transformasi yang signifikan.

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul H<sub>2</sub>O) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H<sub>2</sub>O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi.

Zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah sangat

digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material jelek/dibawah standar. Penambahan zeolit ini akan



meningkatkan kepadatan, meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atasnya.



## H. Studi Penelitian Terdahulu

Penelitian – penelitian terdahulu yang dipublikasikan dan berkaitan dengan topik rencana penelitian ini diantaranya dapat dipaparkan secara tabelaris sebagaimana terlihat pada tabel dibawah ini :

Peneliti	Tahun	Judul	Isi penelitian
(Hary Christady Hardiyatmo, 2009)	2009	<i>Calculation Method Of Slab Deflection Using An Equivalent Modulus Of Subgrade Reaction For Flexible Slab Structures</i>	Metoda penentuan nilai modulus reaksi tanah dasar dengan menggunakan hasil pengukuran lendutan rerata baik digunakan untuk pelat fleksibel. Perbandingan hasil pengamatan dan hitungan dengan menggunakan teori balok pada fondasi elastis menunjukkan selisih lendutan yang berkisar antara 2,6 sampai 25%. Hasil ini menunjukkan bahwa teori tersebut, walaupun berlaku untuk balok, tapi cukup baik untuk mengevaluasi lendutan pelat fleksibel. Kinerja pelat melebar yang berada di atas tanah dasar dapat dievaluasi dengan melakukan uji beban pelat dan menganalisis besarnya lendutan dari waktu ke waktu. Metoda balok pada fondasi elastik (BoEF) cocok digunakan untuk memprediksi perilaku pelat fleksibel yang didukung kelompok tiang



(Wang, Zhang, Qiu, Ji, & Zhang, 2015)	2015	<b>Research on Wetting-Drying Cycles'Effect on the Physical and Mechanical Properties of Expansive Soil Improved by OTAC-KCl</b>	Pengaruh siklus basah – kering pada sifat fisik dan mekanik tanah dari tanah ekspansif yang ditingkatkan dengan OTAC-KCl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi swell pada sampel tanah eksspansif stabil dengan menggunakan OTAC-KCl ditekan secara efisien, dan tidak diobat distabilisasi tanah spesimen akan runtuh ketika tenggelam dalam air saat diperlakukan spesimen tetap dalam kondisi baik. Selain itu, sampel tanah luas diubah dengan 0.3% OTAC + 3% KCl Tampilkan cukup ketahanan pada kemampuan pembengkakan, kekuatan geser, dan kekuatan tekan unconfined, yang berarti, bahwa kedua fisik dan sifat mekanik dari tanah luas yang stabil yang telah diperbaiki secara efektif.
(Putri et al., 2012)	2012	Evaluation of Modulus of Elasticity and Modulus of Subgrade Reaction of Soils Using CBR Test	Makalah ini menyajikan prosedur evaluasi modulus elastisitas (E) dan modulus reaksi tanah (ks) berdasarkan tes California Bearing Ratio (CBR) dan analisis FEM. Tekanan-perpindahan re-sponse tanah dalam cetakan CBR disimulasikan menggunakan model FEM,dimana tanah, plunger beban, dan cetakan baja CBR ditunjukkan. Korelasi dari Modulus dari elastisitas (E) dengan California Bearing Ratio (CBR) dikembangkan berdasarkan sifat elastis sampel tanah. Selain itu, korelasi antara E dan CBR diusulkan. Menggunakan nilai E, modulus reaksi tanah dapat dihitung dan sebaliknya juga. Dengan demikian CBR test diharapkan untuk



			menyederhanakan upaya dalam penentuan modulus reaksi tanah yang digunakan dalam desain pondasi interaksi tanah struktural, desain highway formasi dll
(Alam & Zakaria, n.d.)	2016	Design and Construction of Roads in Flood Affected Areas	Menyelidiki hubungan efek genangan air pada perkerasan jalan terhadap kepadatan tanah lapisan <i>subgrade</i> dan hubungan dampak genangan air terhadap nilai CBR. dimana hasil penelitian dapat menyimpulkan bahwa periode genangan oleh air banjir mempengaruhi kekuatan lapisan perkerasan secara signifikan.
(Aulia Rahmawati, Yulvi Zaika, n.d.)	2014	Perbandingan Modulus Reaksi Subgrade Berdasarkan Uji CBR terhadap hasil uji beban Pelat(studi kasus:perencanaan perkerasan kaku)	Menyelidiki perbandingan Nilai modulus reaksi subgrade hasil uji beban pelat berkisar antara 50-90 pci dan Nilai modulus reaksi subgrade hasil uji CBR diperoleh dari dua pendekatan yaitu berdasarkan grafik hubungan ks dan CBR dan berdasarkan analisa Elsa
(Maina & Matsui, 2005)*	2005	Elastic Multi-layered Analysis Using DE-Integration	Dengan menggunakan fungsi stres dan transformasi Hankel, kode komputer untuk analisis umum sistem elastis multilayer(GAMES)telahberhasildikembangkan. Identifikasi area masalah membantu memperbaiki akurasi perhitungan. Akurasi ditingkatkan melalui pengenalan ekstrapolasi Richardson di sekitar $z = 0$ . Untuk aplikasi praktis, direkomendasikan agar DE-integrasi semi-tak terbatas digunakan karena hasil yang dapat diterima untuk pekerjaan teknik diperoleh dalam waktu komputasi yang sangat singkat.



Hamzah Yusuf, Muh. Saleh Pallu, Lawalenna Samang	2013	Model Deformasi Perkerasan Rigid dengan Subgrade Sedimen Pengerukan Stabilisasi Semen	Karakteristik dasar sedimen pengerukan tergolong sebagai mineral ilite dengan klasifikasi tanah berbutir halus (lanau-lempung) dengan index plastis 17,205 % termasuk tanah sedang dengan penambahan variasi persentase kadar semen (stabilisasi semen) menunjukkan terjadinya peningkatan kapasitas kekuatan/daya dukung tanah memenuhi syarat subgrade jalan. Hasil uji model pembebanan subgrade (loading test) diperoleh modulus reaksi tanah dasar (k), uji beban untuk perkerasan rigid diperoleh model deformasi elastis dengan pembebanan sentris 9 ton. Hasil uji model sesuai dengan validasi numerik dan spesifikasi jalan perkerasan rigid yang telah dipersyaratkan
Lusmeilia Afriani1) Iswan1) Armen Febri2)	2015	Pengaruh Kuat Tekan dan Kuat Geser Sampel Dry side of Optimum (kering optimum) dan Wetside of Optimum (basah optimum) pada tanah lempung	Dari hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) serta nilai kohesi (c) dan kuat geser maksimum tanah dalam kondisi kadar air basah optimum, kering optimum dan optimum. Pada kondisi optimum menghasilkan nilai yang paling tinggi untuk nilai kuat tekan bebas, kuat geser langsung dan nilai kohesi. Hal ini dikarenakan pada kondisi optimum kepadatan tanah maksimal, sehingga tanah tidak mudah mengembang. Pada kondisi kering optimum tanah lempung memiliki kepadatan tanah yang tidak stabil, sehingga butiran – butiran tanah tidak saling mengikat, sebaliknya dalam kondisi basah optimum tekanan pada butiran tanah sangat tinggi, sehingga tanah memiliki plastisitas yang tinggi.





R.Ziaie-Moayed and M.Janbaz	2009	Effective Parameter on Modulus of Subgrade Reaction in Clayey Soil	Dalam studi ini pondasi pada tanah lempung dimodelkan dengan perangkat lunak elemen hingga untuk menyelidiki validasi rumus Terzaghi dan pengaruh parameter yang berbeda pada modulus reaksi tanah dasar. Karena hasil yang didapat, formula Terzaghi tidak mempertimbangkan pengaruh konsistensi tanah dan bentuk pondasi; oleh karena itu menghasilkan nilai yang tidak pasti. Sebagai kedalaman perletakan dasar pondasi bertambah, modulus reaksi tanah dasar meningkat. Kelenturan kekakuan pondasi dapat meningkatkan status dari modulus reaksi tanah dasar
Farian Albajili1, Ferry Fatnanta2, Soewignyo Agus Nugroho2	2014	Korelasi antara Nilai CBR dan Nilai Kuat Geser sebagai Tanah Timbun	Dalam studi berdasarkan pengujian CBR menunjukkan bahwa semakin besar berat volume kering maka semakin besar nilai CBR, berdasarkan korelasi antara nilai CBR dan nilai $c_u$ didapat persamaan $c_u = 4,323CBR^{0,849}$ untuk <i>Quarry Garuda Sakti</i> dan $c_u = 5,817CBR^{1,194}$ untuk <i>Quarry Kulim dan Palas</i> . Persamaan untuk <i>Quarry Garuda Sakti</i> hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan $c_u$ paling besar yaitu 43,40 % dan 90,77 kPa, sedangkan CBR dan $c_u$ paling kecil yaitu 6,49 % dan 16,29 kPa. Persamaan <i>Quarry Kulim dan Palas</i> hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan $c_u$ paling besar yaitu 21,47 % dan 187,28 kPa, sedangkan CBR dan $c_u$ paling kecil yaitu 4,09 % dan 21,17 kPa.



Ayse T. Daloglu <sup>1</sup> and C. V. Girija Vallabh	2000	Values of $k$ for Slab on Winkler Foundation	Menggunakan parameter nondimensional untuk analisis lempengan pada medium tanah berlapis, sebuah metode yang dikembangkan untuk mengevaluasi modulus setara reaksi subgrade $k$ yang akan digunakan dalam model Winkler. Di sini, nilai konstan rasio Poisson untuk tanah, $\nu_s = 0,25$ digunakan. Grafik disediakan dari mana nilai setara $k$ dapat dihitung segera setelah geometri lengkap dan sifat-sifat sistem keseluruhan diketahui. Contoh numerik diberikan untuk menunjukkan perbandingan hasil dari parameter Winkler $k$ setara dengan yang dari model Vlasov yang dimodifikasi dan dengan menggunakan nilai $k$ yang disarankan oleh Biot dan Vesic.
Sekhar Chandra Dutta *, Rana Roy	2002	A critical review on idealization and modeling for interaction among soil–foundation structure system	Interaksi antara struktur, fondasi mereka dan medium tanah di bawah fondasi mengubah perilaku sebenarnya dari struktur jauh dari apa yang diperoleh dari pertimbangan struktur saja. Dengan demikian, model yang cukup akurat untuk sistem interaksi tanah-fondasi-struktur dengan validitas, efisiensi dan akurasi komputatif diperlukan dalam desain struktur penting yang ditingkatkan. Penelitian ini berusaha untuk mengumpulkan model alternatif yang tersedia dalam literatur untuk tujuan ini. Penekanan telah diberikan pada pemodelan fisik dari media tanah, karena tampak bahwa pemodelan struktur agak mudah. Kekuatan dan keterbatasan model yang dijelaskan dalam satu kertas dapat membantu para



			insinyur sipil untuk memilih yang cocok untuk studi dan desain mereka.
Altan YILMAZ1, Şebnem SARGIN2	2012	Water Effect on Deteriorations of Asphalt Pavements	Air memiliki banyak efek buruk pada kinerja perkerasan. Bahkan, kerusakan kelembaban di trotoar aspal adalah kepedulian global. Kerusakan kelembaban dapat didefinisikan sebagai hilangnya kekuatandan daya tahan dalam campuran aspal yang disebabkan oleh keberadaan air. Oleh karena itu, perlu mengidentifikasi masalah dengan benar dan mengisolasi masalah faktor yang berkontribusi seperti variabilitas material dan praktek konstruksi untuk pemahaman yang lebih baik tentang efek air pada kerusakan perkerasan. Studi ini telah membahas beberapa mekanisme kegagalan utama yang terkait dengan kehadiran air. Selain itu penelitian ini juga telah meringkas beberapa metodologi yang banyak digunakan untuk evaluasi kerentanan air. Ditemukan bahwa sifat empiris dari metode pengujian dan variabilitas inheren dari hasil adalah dua tantangan utama yang menghambat keandalan karakteristik dan penilaian efek air pada kerusakan perkerasan.
Sultana, Masuda, Chai, Gary, Martin, Tim, Chowdhury, Sanaul	2015	A Study on the Flood Affected Flexible Pavements in Australia	Hasil dari studi menunjukkan bahwa trotoar yang terkena dampak banjir menderita kehilangan strukturnya kekuatan lebih cepat dari tingkat deteriorasi normal mereka. Pengurangan nilai CBR subgrade hingga 67% dan jumlah struktural hingga 50% telah diamati. Pengurangan dalam subgrade CBR dan jumlah struktural tidak akan begitu tinggi



			<p>dan cepat jika jalan memburuk di bawah normal kondisi cuaca tanpa peristiwa banjir. Namun, ulangan ulang sejumlah trotoar bagian, beberapa bulan atau tahun setelah banjir, menunjukkan kecenderungan yang konsisten untuk mendapatkan kekuatan terutama karena pekerjaan rehabilitasi pasca-banjir. Analisis awal dilakukan di permukaan kondisi trotoar yang terkena dampak banjir menunjukkan hilangnya kekasaran, rutting dan retak. Penelitian ini akan meningkatkan prediksi kondisi jaringan jalan untuk kejadian banjir dan diharapkan untuk mengidentifikasi opsi adaptasi untuk mengurangi dampak banjir dalam hal biaya di jalan tingkat jaringan.</p>
Seyed Abolhasan Naeini and Masoud Ghorbanilizadeh	2010	Effectof Wet-Dry Conditions on Strength of Silty sand Soil Stabilized with Epoxy Resin Polymer	<p>Studi ini melakukan percobaan laboratorium yang dilakukan untuk mengevaluasi stabilisasi bahan pasir-silty dengan resin epoksi dan pengaruh kondisi basah dan kering pada kekuatan pasir silty yang distabilkan. Campuran aditif terdiri dari 1: 0,15 resin epoksi untuk pengeras polymide. Spesimen dibuat dengan menambahkan jumlah yang berbeda dari emulsi polimer epoksi resin (3,4 dan 5%) ke pasir berlumpur dengan (0,10,20,30,35,45 dan 60%) kandungan lumpur pada kepadatan kering <math>0f\ 17\ kN\ m^{-3}</math>. Kekuatan tekan bebas spesimen ditentukan dengan uji uniaksial dan dibandingkan satu sama lain di bawah kondisi pencampuran, pemadatan dan pemeraman yang sama untuk menurunkan efek emulsi polimer pada pasir berlanau. Semua spesimen terendam</p>



			dalam air selama 24,96 dan 168 jam dan kemudian diambil dari air dan kekuatan tekan bebas mereka catat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan resin epoksi meningkatkan secara signifikan kekuatan tekan dan modulus elastisitas sampel dalam kondisi kering. Peningkatan ini tergantung pada kandungan polimer dan endapan lumpur. Namun, polimer secara signifikan meningkatkan kekuatan sampel setelah 7 hari terendam dalam air tetapi kekuatan sampel basah kurang dari sampel kering.
Sharad.S.Adlinge, Prof.A.K.Gupta	2015	Pavement Deterioration and its Causes	Konstruksi fondasi sebagian besar struktur teknik membutuhkan informasi yang memadai tentang sifat-sifat rekayasa dari kondisi tanah dan sub-tanah dari daerah ini lebih penting terutama dalam desain dan pembangunan jalan raya. Biasanya kekuatan tanah dasar sebagian besar diekspresikan dalam bentuk CBR (California Rasio Bearing). Lebih lemah subgrade pada dasarnya membutuhkan lapisan tebal dimana subgrade kuat bekerja dengan baik lapisan trotoar lebih tipis. Trotoar dan subgrade bersama-sama harus menahan volume lalu lintas. Saat ini makalah berfokus untuk menyelidiki dan menetapkan jenis dan profil sub-tanah untuk menentukan rekayasa karakteristik tanah yang mendasari. Sampel tanah yang representatif dikumpulkan dan dianalisis di laboratorium untuk standar rekayasa geoteknik. Investigasi laboratorium telah dilakukan pada



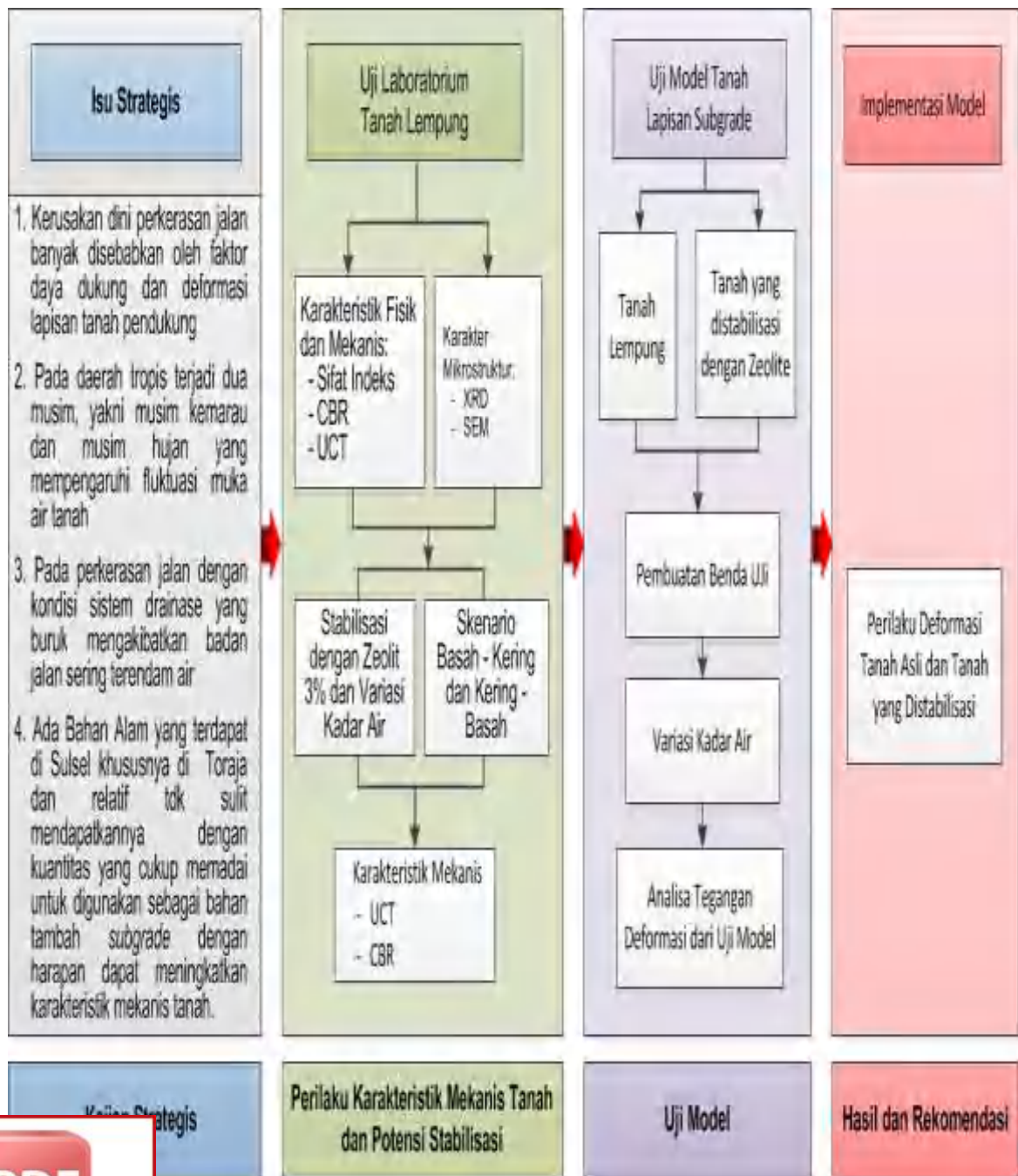
			<p>sejumlah sampel tanah diperoleh dari berbagai situs perbaikan jalan di lokasi yang diusulkan. Situs ditandai dengan jalan pedesaan volume rendah di mana beban berkelanjutan terbatas pada 3tonns. Total panjang jalan adalah 3350 meter melewati dua desa. Muatan daya dukung trotoar dianalisis menggunakan perangkat lunak Plaxis dan menyimpulkan mengenai stabilitas dan karakteristik deformasi jalan.</p>
Ekwulo E. O and Bresford J.	2013	Development of design tool for Nigerian (CBR) design of flexible pavement	<p>Penelitian ini didasarkan pada Nigeria (CBR) metode desain untuk perkerasan lentur. Ketebalan lapisan di atas untuk setiap material perkerasan diperoleh dengan interpolasi pada interval 1% CBR. Dengan menggunakan data yang diperoleh, persamaan untuk kurva A sampai F dikembangkan. Menggunakan persamaan yang dikembangkan, Algoritma dan kode ditulis sesuai dengan prosedur desain Nigeria (CBR). Hasil dari program yang dikembangkan, N-Flex-Pave divalidasi dengan membandingkan hasilnya dengan yang konvensional prosedur (kurva desain CBR). Hasil menunjukkan bahwa desain ketebalan struktural menggunakan N-Flex-Pave dibandingkan positif dengan prosedur konvensional dengan rasio minimum 0,97 dan rasio maksimum 1,10. Kalibrasi hasil N-Flex-Pave-dihitung dan Desain Curve-diukur dibandingkan dengan menggunakan analisis regresi linier dan Hasilnya ditemukan baik dengan koefisien determinasi R2 minimal 0,996 dan R2 maksimum</p>



			0,999 menunjukkan bahwa N-Flex-Pave adalah pengukur ketebalan lapisan perkerasan yang baik menggunakan desain Nigeria (CBR) prosedur. Hasil juga menunjukkan bahwa desain dapat diselesaikan dalam beberapa detik jika dibandingkan dengan waktu yang dihabiskan saat prosedur konvensional digunakan. Sebuah kesimpulan dibuat bahwa N-Flex-Pave mampu melaksanakannya desain ketebalan struktural untuk metode Nigeria (CBR) dan harus direkomendasikan untuk digunakan dengan trotoar insinyur di Nigeria.
1Sathawara Jigar K., 2Prof. A.K.Patel	2013	Comparison Between Soaked and Unsoaked CBR	Tanah adalah akumulasi atau endapan material bumi, yang berasal secara alami dari disintegrasi batuan ataupunbusukan vegetasi, yang dapat digali dengan mudah dengan peralatan listrik di lapangan atau dihancurkan dengan cara mekanis yang lembut di laboratorium. Tanah pendukung di bawah trotoar dan program khusus di bawahnya disebut sub grade. Tanah yang tidak terganggu di bawah trotoar disebut sub kelas alami. Sub kelas yang dipadatkan adalah tanah yang dipadatkan oleh gerakan pemadat berat yang dikendalikan. Kinerja trotoar sangat bergantung pada kekuatan dan kekakuan dari subgrades. Di antara berbagai metode evaluasi kekuatan subgrade, uji CBR penting tetapi perkiraan cepat CBR sangat penting untuk insinyur jalan raya sehingga makalah ini fokus pada kompresi nilai CBR yang direndam dan tidak direndam.



## I. Kerangka Fikir Penelitian



Gambar 8. Kerangka fikir penelitian