

DISERTASI

**UJI MODEL PELAT GRID HEKSAGONAL
SEBAGAI LAPIS FONDASI PADA TANAH LUNAK**

*The Model Test Of Heksagonal Grid Plate
As Foundation Layer On Soft Soil*

ERMITHA AMBUN ROMBE DENDO

D013172003



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

DISERTASI

**UJI MODEL PELAT GRID HEKSAGONAL
SEBAGAI LAPIS FONDASI PADA TANAH LUNAK**

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Pada Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan Oleh

**ERMITHA AMBUN ROMBE DENDO
D013172003**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ermitha Ambun Rombe Dendo

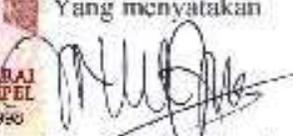
Nomor mahasiswa : 10013172003

Program studi : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul “Uji Model Pelat *Grid* Heksagonal Sebagai Lapis Fondasi Pada Tanah Lunak” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin sebagai Promotor, Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT sebagai co-promotor-1 dan Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D sebagai co-promotor-2. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka pada disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal Design Engineering, Volume 2023, Halaman 1- 15 sebagai artikel dengan judul “*The Model Test Of Hexagonal Grid Plate As Foundation Layer On Soft Soil*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 28 Februari 2023

Yang menyatakan


Ermitha Ambun Rombe Dendo

DISERTASI**UJI MODEL PELAT GRID HEKSAGONAL
SEBAGAI LAPIS PONDASI PADA TANAH LUNAK****ERMITHA AMBUN ROMBE DENDO
NIM : D013172003**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk
dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
tanggal 16 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui, Promotor



Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT.
NIP. 19591010 198703 1 003

Co-Promotor



Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., M.T.
NIP. 19720309 200003 1 002

Co-Promotor



Ir. Achmad Bakri Muhiddin, MSc., Ph.D
NIP. 19600730 198603 1 003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr.Eng. Ir. M. Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil
Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Ir. Rita Irmawati ST., MT.
NIP. 19720619 200012 2 001

PRAKATA

Puji syukur penulis haturkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas perkenaanNYa sehingga penelitian dan penulisan disertasi ini dengan judul *Uji Model Pelat Grid Heksagonal Sebagai Lapis Fondasi Pada Tanah Lunak* dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa berbagai kendala yang dihadapi dalam penelitian dan penyusunan naskah disertasi ini tidak dapat penulis selesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis dengan tulus menghaturkan terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. **Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT** selaku Ketua Komisi Penasehat (Promotor), **Dr. Eng. Tri Harianto, ST., MT** selaku Co-Promotor 1 dan **Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M. Sc., Ph.D** selaku Co-Promotor 2 atas bimbingan dan arahan selama penyusunan proposal, penelitian hingga penulisan naskah disertasi.
2. **Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS., M.Eng.Sc., Ph.D.** selaku Komisi Penguji 1, **Ibu Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, ST., MT** selaku Penguji 2, **Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc** selaku Penguji 3, **Dr. Eng. Andi Arwin Amiruddin, ST., MT** selaku dosen penguji ke-4 dan **Prof. Dr. Ir. Fabian Johannes Manoppo, M.Agr** selaku Penguji Eksternal atas saran dan koreksi untuk perbaikan penulisan naskah disertasi ini.
3. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya dan **Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN. Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta jajarannya atas arahnya selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin dan **Ibu Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST, MT** selaku Ketua Program S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin beserta staf dosen dan staf non akademik di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan dan arahnya selama penulis menempuh pendidikan.
5. **Ir. Herman Rombe D., MT dan Ibu Judith Lobo, SKM (almh)**, yang telah membesarkan dan mendidik serta memberikan dukungan doa untuk keberhasilan penulis. **Saudara Natalia Anggreini Rombe Dendo, ST., Evan Christopher Rombe Dendo, S.BM., Rizky Febrianty RD, A.Md., S.E., Suami tercinta Ruddy Christian Salu, S. R** beserta anak-anak **Christin Gabriella Astri, Judith Matilda R. S, Eirena Claudia R.D dan Valery Manaek B. R, Kel. Lobo-Sampetoding, Kel. Dendo-Banna dan Kel. Salu-Ramba** atas dukungan doa selama penulis menempuh pendidikan.
6. **Enos Karoma, S.E., M.H** selaku Ketua Yayasan Pendidikan Tinggi Kristen Toraja beserta jajarannya, **Dr. Oktavianus Pasoloran, S.E., M.Si., Ak. CA** selaku Rektor Universitas Kristen Indonesia Toraja beserta jajarannya atas dukungan moral dan materil selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. **Staf dosen dan staf non akademik** pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja atas dukungan doa selama penulis menempuh pendidikan.
8. **Rekan-rekan mahasiswa** pada Program S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu selama proses penelitian dan penulisan disertasi.

9. **Rekan-rekan laboran dan asisten** pada Laboratorium Mekanika Tanah dan pada Laboratorium Struktur dan Material Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu selama proses penelitian.
10. **Kel. Simon Pertus, S.Pd., Kel. Stepanus Sipi' Patandean, S.Pd., Kel. Samuel Tambing., Kel. Drs. Y. Boroh Lande, Kel. Pdt. M. M. Randa, S.Th, dan Karlin, S.E** atas dukungan doa selama penulis menempuh pendidikan.
11. **Asruddin, ST dan Chandra, ST., Lukas** beserta semua pihak atas kontribusinya baik moral dan materil yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dalam penelitian dan penyelesaian naskah disertasi ini.

Akhirnya penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Oleh sebab itu, penulis menerima kritik dan saran guna membangun kesempurnaan tulisan disertasi ini.

Gowa, 28 Februari 2022

Ermitha Ambun RD

ABSTRAK

Ermitha Ambun Rombe Dendo, Uji Model Pelat Grid Heksagonal Sebagai Lapis Fondasi Pada Tanah Lunak (Dibimbing oleh Abdul Rachman Djamiluddin, Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin)

Tanah lunak menjadi masalah dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki daya tampung yang rendah. Konstruksi jalan yang dibangun di atas tanah dasar lunak tanpa perbaikan menyebabkan perkerasan jalan lebih mudah rusak. Selain itu, lapisan struktur perkerasan menjadi lebih tebal yang mengakibatkan biaya konstruksi dan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi. Solusi untuk mengatasi masalah tanah lunak adalah penggunaan fondasi untuk perbaikan dan perkuatan tanah lunak. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja pelat tanpa *grid* heksagonal dan pelat dengan *grid* heksagonal sebagai lapisan fondasi pada tanah lunak terhadap penurunan yang terjadi akibat beban yang diberikan melalui uji pembebanan. Hasil uji pembebanan pada pelat dengan *grid* heksagonal dan pelat tanpa *grid* heksagonal pada tanah lunak kemudian dibandingkan untuk mengetahui kinerjanya. *Grid* heksagonal terbentuk dari sel beton heksagonal yang menyerupai sarang lebah. Tanah yang digunakan adalah lanau dengan plastisitas tinggi dengan nilai kuat tekan $0,13 \text{ kg/cm}^2$ dan tergolong tanah lunak. Hasil uji beban menunjukkan kinerja pelat dengan *grid* heksagonal lebih baik dibandingkan kinerja pelat tanpa *grid* heksagonal. Pelat tanpa *grid* heksagonal mudah rusak karena tidak mampu menerima beban yang lebih besar saat beban diaplikasikan. *Grid* heksagonal efektif sebagai lapisan fondasi karena mencegah pelat patah dan dapat mereduksi penurunan tanah. Penurunan yang terjadi pada tanah di bawah pelat lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada tanah di bawah pelat *grid* heksagonal tipe 1 dan pelat *grid* heksagonal tipe 2. Pada saat beban 27,16 kN, pelat *grid* heksagonal tipe 1 dapat mereduksi penurunan sebesar 63%, sedangkan pada pelat *grid* heksagonal tipe 2 dapat mereduksi penurunan sebesar 75%. Kedalaman *grid* heksagonal dan ketebalan tanah disisi *grid* heksagonal mempengaruhi besarnya penurunan yang terjadi. Semakin dalam *grid* heksagonal dan semakin tebal tanah disisi *grid* heksagonal maka penurunan semakin kecil.

Kata Kunci : *Grid* Heksagonal, Pelat, Penurunan, Pondasi, Tanah Lunak

ABSTRACT

Ermitha Ambun Rombe Dendo, *The Model Test Of Heksagonal Grid Plate As Foundation Layer On Soft Soil* (Supervised by **Abdul Rachman Djameluddin, Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin**)

Soft soil is a problem in infrastructure development because it has a low bearing capacity. Road construction built on soft subgrade soil without improvement causes the pavement to be more easily damaged. In addition, the layer of the pavement structure are thicker which results in higher construction and maintenance costs. The solution to overcome the problem of soft soil is use foundations on improvement soft soil. This study aims to analyze the performance of plate without hexagonal grids and plate with hexagonal grids as foundation layers on soft soils against settlements that occur due to the loads applied through loading tests. The loading test results on plates with hexagonal grids and plate without hexagonal grids on soft soils are then compared to determine their performance. The hexagonal grids is formed from hexagonal concrete cells that resemble a honeycomb. The soil used was silt with high plasticity with a compressive strength value of 0.13 kg/cm² and is classified as soft soil. The load test results show that the performance of the plate with hexagonal grids is better than the performance of the plate without hexagonal grids. Plate without hexagonal gratings was to damaged and cannot accept larger loads when loads are applied. The hexagonal grids is effective as a foundation layer because since prevent the plate from breaking and can reduce settlements. The settlement that occurs in the soil under the hexagonal grids plate without hexagonal grating is greater when compared to the settlement that occurs in the soil under the hexagonal grids plate type 1 and the hexagonal grids plate type 2. When the load is 27.16 kN, the hexagonal grids plate type 1 can reduce the settlement by 63%, while at type 2 hexagonal grids plate can reduce the settlement by 75 %. The depth of the hexagonal grids and the thickness of the compacted soil on the sides affect the settlement of the soil. The grids depth and soil thickness increase, and the settlement become small.

Keywords : Foundation, Hexagonal Grids, Plate, Settlement, Soft Soil

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGAJUAN DISERTASI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	8
E. Batasan Penelitian	9
F. Sistematika Penulisan	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
A. Isu Strategis Infrastruktur Jalan di Atas Tanah	12
B. Fondasi	13

C. Struktur Lapis Perkerasan	18
D. Landasan Teori Struktur Perkerasan Jalan Pada Tanah Lunak	21
E. Penelitian Terdahulu Yang Terkait	29
F. Kerangka Pikir Penelitian	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
A. Jenis Penelitian.....	36
B. Lokasi Penelitian.....	36
C. Bahan Penelitian.....	36
D. Peralatan Pengujian	38
E. Rancangan Pengujian.....	43
F. Mekanisme Pengujian Model Pelat Grid Heksagonal Sebagai Lapis Fondasi Pada Tanah Lunak	52
G. Analisa Data Penelitian	55
H. Kerangka Alur Penelitian.....	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	61
A. Material Pelat Dan Grid Heksagonal	61
B. Karakteristik Fisik Tanah.....	62
C. Uji Pembebanan Pelat Dan Grid Heksagonal Pada Tanah Lunak	68
D. Temuan Empirik	80
E. Novelty.....	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	82
A. Kesimpulan	82
B. Saran.....	83

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

1.	Hubungan sudut gesek dalam tanah (ϕ) dan N_c , N_q dan N_γ	16
2.	Kurva Hubungan Penurunan Terhadap Beban	17
3.	Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Jalan	21
4.	Kerangka Pikir Penelitian.....	35
5.	Material Penyusun Beton	31
6.	Material Tanah.....	32
7.	Persiapan dan Pengukuran Pada Bak Uji	43
8.	Pencampuran Tanah dengan Air Menggunakan Mixer.....	44
9.	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	45
10.	Model Tiga Dimensi Model Fisik Pelat Grid Heksagonal	46
11.	Dimensi Fisik Pelat Grid Heksagonal	47
12.	Benda Uji Pelat, Grid Heksagonal 10 cm dan Grid Heksagonal 20 cm.....	47
13.	Skema Model Pengujian Pelat Tanpa Grid Heksagonal.....	49
13.	Peralatan Uji Kuat Tekan Beton dan Benda Uji.....	47
14.	Letak Sensor LVDT Pada Pelat dan Tanah	47
15.	Skema Model Pengujian Pelat Grid Heksagonal Tipe 1	50
16.	Letak Sensor LVDT Pada Pelat dan Tanah	50
17.	Skema Model Pengujian Pelat Grid Heksagonal Tipe 2	51
18.	Letak Sensor LVDT Pada Pelat dan Tanah	52
19.	Uji Model Pelat Tanpa Grid Heksagonal Pada Tanah Lunak	53
20.	Uji Model Pelat Grid Heksagonal Tipe 1 Pada Tanah Lunak	54
21.	Uji Model Pelat Grid Heksagonal Tipe 2 Pada Tanah Lunak	55
22.	Kerangka Analisis Data Penelitian	57

23.	Diagram Alir Penelitian.....	60
24.	Benda Uji Pelat, Grid Heksagonal 10 cm dan Grid Heksagonal 20 cm.....	62
25.	Diagram Plastisitas Unified Soil Classification System.....	64
26.	Hubungan Beban dan Penurunan Pada Tanah Lunak	68
27.	Modulus Elastisitas Uji Pelat.....	69
28.	Hubungan Beban dan Penurunan Pada Tanah Lunak	71
29.	Modulus Elastisitas Uji Pelat Grid Heksagonal Tipe 1	72
30.	Hubungan Beban dan Penurunan Pada Tanah Lunak	73
31.	Modulus Elastisitas Uji Pelat Grid Heksagonal Tipe 2.....	74
32.	Perbandingan Kinerja Pelat dan Pelat Grid Heksagonal Pada Tanah Lunak	75
33.	Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas	76
34.	Perbandingan Beban Pada Pelat dan Pelat Grid Heksagonal	77
35.	Hubungan Daya Dukung dan Penurunan	79
36.	Hubungan Daya Dukung dan Kedalaman	79

DAFTAR TABEL

1	Penelitian Terdahulu Yang Terkait	29
2	Daftar Alat – Alat Pengujian	39
3.	Parameter Uji dan Standar Pengujian Fisik serta Mekanik	41
4.	Klasifikasi Mutu Beton Berdasar Kekuatan dan Peruntukannya	61
5.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah	63
6.	Klasifikasi Tanah Lunak Berdasarkan USCS.....	65
7.	Kategori kekuatan tanah	65
8.	Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO.....	66
9.	Hubungan Beban dan Deformasi Tanah Lunak (Pelat).....	67
10.	Hubungan Beban dan Deformasi Tanah Lunak (Pelat Grid Heksagonal Tipe 1).....	70
11.	Hubungan Beban dan Deformasi Tanah Lunak (Pelat Grid Heksagonal Tipe 2).....	72
12.	Rekapitulasi Hasil Pengujian.....	78
13.	Hasil Uji Korelasi Daya Dukung, Kedalaman Dan Penurunan.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur terus dilakukan di semua wilayah. Pembangunan infrastruktur memerlukan lahan yang cukup luas dan akan terus berlangsung. Hal ini menyebabkan lahan yang ada akan berkurang. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut salah satunya melalui pembangunan infrastruktur diatas tanah hasil reklamasi pantai atau diatas tanah lunak (Djamiluddin et al., 2020; Harianto et al., 2010). Kondisi seperti ini dapat dijumpai pada pembangunan konstruksi bandar udara, jalan rel kereta, jembatan penghubung antar pulau, jalan raya dan reklamasi pantai yang diperuntukkan untuk pembangunan bandara, kawasan perumahan, kawasan bisnis dan perkantoran (Bo et al., 2015). Masalah utama pembangunan konstruksi di tanah lunak adalah terbatasnya daya dukung dan penurunan tanah yang besar dan cenderung tidak seragam. Sifat tanah seperti itu sering menyebabkan kegagalan konstruksi, tingginya biaya konstruksi dan pemeliharaan (Gultom et al., 2022).

Berdasarkan data penyebaran tanah lunak di wilayah Indonesia, diperkirakan sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia (Kementerian ESDM, 2019). Tanah lunak berumur Holosen (<10.000 tahun), secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan di dataran alluvial pantai, sungai, danau dan rawa. Tanah lunak dapat dibagi dalam dua tipe yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut. Tanah lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah, sedangkan tanah gambut pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan (Departemen

Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002). Sifat-sifat tanah lunak, antara lain konsistensi lunak-sangat lunak, kadar air tinggi, gaya geser kecil, kemampuan besar, daya dukung rendah dan tingkat penurunan tinggi. Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonsolidasi normal atau over konsolidasi (*lightly over consolidated*) dengan nilai CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (q_c) lebih kecil dari 7,5 kPa, dan umumnya $IP > 25$ (Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Tanah lunak umumnya berupa tanah lempung yang memiliki kuat geser yang sangat rendah antara 25 kPa sampai 50 kPa (Terzaghi et al., 1996).

Jaringan jalan sering menggunakan tanah dasar dengan daya dukung rendah dan bersifat lunak. Pembangunan jalan sebagai salahsatu infrastruktur transportasi saat menjadi hal yang sangat penting sebab jalan yang berkualitas akan bermanfaat bagi masyarakat masyarakat dan dapat memfasilitasi tercapainya pertumbuhan ekonomi negara (Jayakumar & Soon, 2015). Kontruksi jalan yang baik akan menghasilkan masa layanan yang lebih lama, dimana tanah dasar dan lapis fondasi merupakan salah satu hal yang berperan penting didalamnya. Pada tanah dengan daya dukung yang rendah, seperti tanah lunak atau tanah hasil reklamasi, jenis konstuksi jalan yang dibuat diatasnya adalah perkerasan kaku (*rigid pavement*). Struktur lapis perkerasan kaku terdiri atas tanah dasar, lapis fondasi dan lapis permukaan. Lapis permukaan perkerasan kaku dapat menumpu di atas lapis fondasi jalan dan atau langsung diatas tanah dasar lunak. Namun perkerasan yang dibuat diatas tanah dasar yang lunak akan sering mengalami kerusakan. Rendahnya kekuatan geser serta kompresibilitas yang tinggi pada tanah lunak menimbulkan masalah seperti kegagalan daya dukung dan penurunan tanah berlebihan dan cenderung bersifat tidak seragam (*differential settlement*) pada arah melintang trase jalan sebagai akibat distribusi beban yang tidak merata sepanjang lebar perkerasan. Penurunan tanah dapat terjadi selama atau setelah

tahap konstruksi sehingga mengakibatkan seperti terjadinya gelombang, amblas dan retak pada permukaan jalan. Selain menerima beban siklik oleh kendaraan, perkerasan juga menerima beban akibat temperatur yang membuat perkerasan mengalami momen tekuk bolak-balik. Hal-hal tersebut dapat mengakibatkan bergelombangnya jalan dan/ atau patahnya struktur perkerasan (Fauzi & Ikhya, 2016).

Perencanaan perkerasan telah banyak distandarisasi didasarkan pada kondisi dimana perkerasan terletak di atas tanah dasar yang mempunyai kekakuan yang cukup untuk menerima beban lalu lintas. Namun terbatasnya lahan dengan kekakuan yang cukup membuat konstruksi perkerasan seringkali harus dibuat diatas tanah lunak. Pada tanah lunak diperlukan lapis perkerasan yang lebih tebal sehingga beban struktur juga bertambah dan memerlukan biaya serta jumlah material yang lebih banyak terutama jika harus mendatangkan material dari tempat lain yang cukup jauh. Seiring perkembangan teknologi di bidang beberapa metode konstruksi telah dikembangkan untuk mengatasi atau meminimalisir masalah pada tanah lunak, misalnya penggunaan stabilisasi tanah, perkuatan tanah, embankment on pile (dengan individual pile cap maupun continous pile cap), mengganti lapisan tanah lunak dengan tanah yang memiliki propertis yang lebih baik, stabilisasi tanah lunak, mempertebal setiap lapisan struktur perkerasan jalan, dan penggunaan fondasi untuk menambah daya dukung tanah (Oloo et al., 1997; Puri, 2017; Zariņš, 2015).

Penggunaan fondasi pada tanah yang berdaya dukung rendah untuk bangunan tertentu, dirancang menggunakan fondasi yang dipancang sampai kedalaman tanah keras. Namun untuk bangunan sederhana seperti rumah tinggal, sekolah, jalan dan sebagainya yang dibangun pada tanah lunak, tentu tidak mungkin menggunakan fondasi dalam sebab akan meningkatkan biaya konstruksi. Beberapa jenis fondasi

yang pernah diaplikasikan untuk perkerasan kaku seperti fondasi sistem cakar ayam modifikasi, fondasi sistem rakit kombinasi tiang, fondasi sistem pelat terpaku dan sistem sarang laba-laba. Jenis fondasi tersebut merupakan fondasi dangkal (Situmorang, 2017) Fondasi dangkal adalah fondasi dengan kedalaman (D_f) kurang atau sama dengan lebar fondasi (B) (Terzaghi et al., 1996).

Fondasi sistem fondasi cakar ayam modifikasi (CAM) merupakan pengembangan dari fondasi sistem cakar ayam. Sistem fondasi cakar ayam menggunakan kombinasi pelat tipis dan tiang, dimana tiang berfungsi sebagai cakar yang tertanam dalam tanah. Sistem fondasi cakar ayam dan sistem fondasi cakar ayam modifikasi memberikan daya dukung yang lebih besar dan tahan lama jika dibandingkan dengan sistem fondasi lainnya pada perkerasan jalan. Sistem fondasi cakar ayam modifikasi dapat mereduksi penurunan hingga 58% (Hardiyatmo, 2019) Jenis fondasi lainnya yang mirip dengan sistem cakar ayam modifikasi yaitu fondasi sistem pelat terpaku. Perbedaannya terletak pada pelat penutup tepi yang hanya ada pada fondasi cakar ayam modifikasi. Pada sistem pelat terpaku, tiang yang dipasang di bawah pelat berfungsi sebagai cakar dan jangkar sekaligus penguat pelat sehingga pelat tetap bersentuhan dengan tanah dan beban dapat disebarkan secara luas ke tanah lunak sehingga dengan demikian, pemompaan dapat dihindari dan daya tahan perkerasan dapat lebih lama (Hardiyatmo, 2016; Puri et al., 2013). Pada fondasi sistem pelat terpaku dan cakar ayam modifikasi, pelat beton yang ada diatas tiang-tiang cakar juga dapat dibuat lebih tipis dari tebal pelat pada konvensional yang digunakan pada perkerasan kaku dengan fondasi material berbutir sehingga berat pelat yang ditopang oleh tiang-tiang cakar juga lebih kecil (Hardiyatmo, 2019). Penggunaan sistem pelat terpaku dan cakar ayam modifikasi menjadi sebuah solusi bagi permasalahan tanah lunak untuk pembangunan perkerasan jalan pada subgrade

berdaya dukung rendah memberikan dampak yang sangat baik pada konstruksi jalan. Sistem pelat terpakai dan cakar ayam modifikasi dapat meminimalkan penurunan tidak seragam terutama pada tanah-dasar yang tidak stabil akibat kembang susut tanah, sehingga menjaga kerataan permukaan jalan beton (Agustin et al., 2017; Hardiyatmo, 2016).

Jenis fondasi lainnya yang digunakan pada tanah lunak yaitu sistem sarang laba-laba. Prinsip yang digunakan kerja sistem sarang laba-laba yaitu memanfaatkan tanah sebagai bagian dari struktur fondasi dan menyatukan elemen-elemen pada sistem fondasi menjadi satu kesatuan fungsi yang harmonis dan monolit diberi tulang rusuk penyangga penyangga sehingga struktur menjadi kaku berfungsi sebagai beban gravitasi dan beban gempa. Struktur fondasi relative lebih ringan karena sebagian volume beton digantikan oleh tanah yang dipadatkan (Astawa Made & Anggriawan, 2018). Fondasi sistem sarang laba-laba merupakan kombinasi konstruksi pelat beton menerus yang di bawahnya diperkuat oleh dinding sel dan sistem perbaikan tanah di dalam sel-sel. Kombinasi ini menghasilkan kerjasama yang baik sehingga memiliki konstruksi ini menghasilkan kekakuan yang lebih besar daripada jenis fondasi dangkal lainnya (Magfira et al., 2014). Pada kondisi tanah yang lunak, distribusi tegangan cenderung tidak merata, namun melalui penggunaan sistem sarang laba-laba tingkat kekakuan yang lebih tinggi karena masing-masing kolom dijepit dengan rib-rib beton yang saling mengunci, maka penurunan yang terjadi akan merata. Pemanfaatan tanah yang mencapai 90% bahan konstruksi ini membuat konstruksi sarang laba-laba menjadi lebih ekonomis, dengan menghemat penggunaan beton dan besi beton dan jika terjadi penurunan yang terjadi bukan sebagian tetapi seluruhnya (Haryono & Maulana, 2007). Penyebaran beban dimulai dari dasar pelat yang terletak di bagian atas rib dimana beban yang timbul sudah merata sehingga beban yang

diterima pada lapisan pendukung juga sudah merata dan lebih kecil. Inisiasi penambahan beban diteruskan ke tanah melalui ujung rib, selanjutnya bila telah terakomodasi kemampuan kuat dukung tanah di bawah rib maka kuat dukung tanah diteruskan ke sisi rib kemudian dengan cara yang sama beban akan diteruskan ke bawah pelat. Saat penambahan beban ditingkatkan hingga tegangan deformasi tanah menuju plastis maka seluruh beban akan dipikul oleh sistem KSSL dan tanah pengisinya menekan lapisan tanah di bawahnya sehingga penurunan yang terjadi menjadi lebih kecil dan merata (Darjanto et al., 2016).

Berdasarkan hal yang telah dikemukakan dapat diketahui bahwa penggunaan fondasi meminimalisir permasalahan pada tanah lunak yaitu meningkatkan daya dukung tanah dan meminimalisir penurunan terutama penurunan yang tidak seragam pada tanah lunak serta lapis permukaan pada perkerasan kaku juga dapat dibuat lebih tipis. Fondasi sistem cakar ayam, cakar ayam modifikasi dan sistem pelat terpaku, menggunakan kombinasi tiang dan pelat sebagai satu sistem yang monolit. Namun pada sistem cakar ayam modifikasi tiang cakar tidak terikat satu dengan lainnya sehingga jungkit pada ujung pelat dan lendutan akibat beban titik masih dimungkinkan terjadi. Kondisi tersebut menjadi alasan untuk menghubungkan tiang-tiang melalui dinding (rib) yang ada diantara tiang sehingga membentuk sel-sel atau grid seperti pada konstruksi sarang laba-laba. Sel-sel berfungsi mencegah penyebaran lateral tanah pada saat beban di aplikasikan. Pada fondasi sarang laba-laba terdapat 8 buah dinding (rib) yang bertemu pada satu titik kumpul sehingga dalam pengerjaannya di lapangan menjadi lebih rumit. Jarak antara rib yang lebih lebar masih memungkinkan pelat penutup mengalami lendutan akibat beban titik.

Berlandaskan paparan permasalahan yang telah dikemukakan maka pada penelitian ini dilakukan pengujian model pelat grid heksagonal sebagai lapis fondasi jalan pada tanah lunak. Pelat diasumsikan sebagai lapis permukaan perkerasan kaku (rigid pavement) sedangkan grid heksagonal diasumsikan sebagai lapis fondasi yang diletakkan diatas tanah lunak. Pemilihan model heksagonal dengan tujuan mengurangi jumlah dinding (rib) yang berkumpul pada satu titik yang membentuk sel-sel (grid). Jumlah grid atau sel yang dibuat lebih banyak dan tersebar merata pada satu luasan fondasi, sehingga jarak antar dinding sel menjadi lebih pendek. Dengan jarak yang lebih pendek, maka diharapkan lendutan pada pelat dapat diminimalisir. Model heksagonal merupakan peralihan dari model kotak ke lingkaran. Model hexagonal juga didasarkan pada banyaknya bidang permukaan yang memberikan bidang kontak yang lebih besar antara tanah dengan dinding beton. Permukaan dinding beton yang lebih luas dan kasar memberikan bidang kontak yang lebih luas pada tanah dengan dinding beton dan pelat sehingga dapat menjaga kedudukan grid heksagonal tetap pada tempatnya dan pelat tetap rata dan pumping dapat dihindari membuat durabilitas perkerasan menjadi lebih panjang (Vesic dalam Hardiyatmo, 2016). Melalui penahanan berbentuk sel-sel yang kokoh dan saling berhubungan akan dihasilkan kinerja hasil studi eksperimental ini akan diperoleh temuan empiris dan gambaran terhadap perilaku grid heksagonal. Atas dasar pertimbangan teori yang telah dilakukan, maka ditetapkan tema penelitian Uji Model Pelat Grid Heksagonal Sebagai Lapis Fondasi Pada Tanah Lunak.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini dijabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis tanah lunak yang terletak dibawah pelat tanpa grid heksagonal dan pelat *grid* heksagonal?
2. Bagaimana kinerja pelat tanpa grid heksagonal sebagai lapis fondasi terhadap penurunan yang terjadi pada tanah lunak dibawah pelat?
3. Bagaimana kinerja pelat grid heksagonal lapis fondasi terhadap penurunan yang terjadi pada tanah dibawah fondasi ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian mengenai fondasi heksagonal pada tanah lunak adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis karakteristik fisik dan mekanis tanah lunak yang terletak dibawah pelat tanpa grid heksagonal dan pelat *grid* heksagonal?
2. Menganalisis kinerja pelat tanpa grid heksagonal sebagai lapis fondasi terhadap penurunan yang terjadi pada tanah lunak dibawah pelat?
3. Menganalisis kinerja pelat grid heksagonal lapis fondasi terhadap penurunan yang terjadi pada tanah dibawah fondasi.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian mengenai uji model pelat *grid* heksagonal ini sebagai lapis fondasi pada perkerasan jalan adalah :

1. Hasil uji model pelat *grid* heksagonal dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan *grid* heksagonal sebagai lapis fondasi jalan yang dapat

diaplikasikan secara langsung pada tanah lunak tanpa perbaikan tanah terlebih dahulu.

2. Hasil uji model pelat *grid* heksagonal dapat memberikan kontribusi mendasar pada bidang ilmu geoteknik, khususnya pada pemanfaatan *grid* heksagonal sebagai lapis fondasi sebagai struktur perkerasan kaku.
3. Dapat menjadi landasan berpikir bagi perencana jalan dalam memecah permasalahan pembangunan konstruksi yang dilakukan diatas tanah lunak.

E. Batasan Penelitian

Penelitian ini mencakup uji eksperimental di laboratorium terhadap karakteristik tanah lunak meliputi sifat fisik, sifat mekanis, uji kuat tekan beton sebagai pelat dan *grid* heksagonal serta uji model fisik pelat dan pelat *grid* heksagonal sebagai lapis fondasi pada tanah lunak. Analisa yang dilakukan dibatasi sampai pada pengukuran deformasi vertical dan penurunan, sehingga untuk menyederhanakan proses penelitian maka dilakukan batasan sebagai berikut :

1. Tanah yang diteliti termasuk dalam kategori tanah lunak.
2. Benda uji pelat berupa pelat beton dengan dimensi panjang 120 cm, lebar 80 cm dan tebal 6 cm.
3. Benda uji *grid* heksagonal tipe 1 terbuat dari beton dengan dengan panjang 120 cm, lebar 80 cm, kedalaman rib heksagonal 10 cm rib penutup 17 cm.
4. Benda uji *grid* heksagonal tipe 2 terbuat dari beton dengan dengan panjang 120 cm, lebar 80 cm, kedalaman rib heksagonal 20 cm dan kedalaman rib penutup 27 cm.
5. Dimensi panjang bak uji 240 cm dan lebar bak uji 140 cm.

6. Ketebalan tanah lunak 150 cm.

F. Sistematika Penulisan

Gambaran umum mengenai penulisan isi penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut :

1. **BAB I Pendahuluan**

Dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah yang menjabarkan permasalahan yang diamati dan dilakukan, tujuan dilakukannya penelitian, manfaat penelitian menjelaskan luaran yang dihasilkan dari penelitian dan diharapkan memberikan manfaat terhadap ilmu pengetahuan serta sistematika penulisan yang menjabarkan tentang isi setiap bab dalam penulisan ini.

2. **BAB II Tinjauan Pustaka**

Memaparkan isu strategis mengenai perkerasan jalan, teori dasar tentang struktur lapis perkerasan jalan, teori dasar mengenai kapasitas dukung tanah dan fondasi serta teori penurunan dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan saat ini.

3. **BAB III Metode Penelitian**

Memaparkan teknis penelitian yang akan dilakukan, urutan kerja dan tata cara kerja penelitian yang dimulai dari pengambilan tanah, pemeriksaan karakteristik fisik dan mekanis tanah, pemeriksaan karakteristik fisik agregat penyusun beton, pembuatan pelat beton, pembuatan grid heksagonal, persiapan media bak uji, pengkondisian tanah lunak pada bak uji dan pengujian model pelat dan pelat *grid* heksagonal pada tanah lunak.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menyajikan hasil analisis dari pengujian dan pembahasan terhadap hasil yang dilakukan dari pengujian terhadap karakteristik fisik dan mekanis tanah lunak dan uji model pelat dan pelat *grid* heksagonal sebagai lapis fondasi pada tanah lunak.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Menerangkan tentang kesimpulan dari capaian yang diperoleh sebagai rujukan dalam suatu bidang akademik dan bidang rekayasa serta memberikan saran untuk penelitian yang berkelanjutan.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

A. Isu Strategis Infrastruktur Jalan di Atas Tanah Lunak

Kebutuhan lahan infrastruktur meningkat seiring dengan pesatnya pembangunan sektor infrastruktur seperti jalan raya, jalan rel kereta, bandar udara dan pelabuhan. Untuk memenuhi kebutuhan lahan tersebut maka pembangunan konstruksi diatas tanah lunak dan reklamasi pantai menjadi salah satu alternative yang banyak dipilih. Namun hal ini tidak menyelesaikan permasalahan yang ada. Daya dukung tanah lunak yang rendah, besarnya biaya konstruksi untuk pembangunan di atas tanah lunak serta menurunnya kualitas dan kuantitas material infrastruktur berakibat pada rendahnya kualitas infrastruktur sekaligus menjadi tantangan bagi dunia konstruksi sekaligus.

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002) tanah lunak memiliki kuat geser 12,5 – 25 kN/m² dan mempunyai kompresibilitas tinggi. Tanah lunak dapat dibagi dalam dua tip yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut. Tanah lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah, sedangkan tanah gambut pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Jenis tanah lunak yang lain yaitu lempung organic berupa campuran antara tanah lempung dan tanah gambut, tergantung pada jenis dan

kuantitas sisa-sisa tumbuhan, tanah organik bisa berperilaku seperti lempung atau gambut.

Terbangunnya infrastruktur jalan pada suatu daerah dapat memperlancar pembangunan dari berbagai segi. Oleh sebab itu pembangunan infrastuktur perkerasan jalan yang berkualitas di Indonesia terus dilakukan. Tantangan dari pembangunan lokasi untuk tempat pembangunan infrastuktur jalan. Banyak kontruksi jalan di Indonesia saat ini dibangun diatas tanah lunak. Permasalahan utama pada pembangunan jalan di atas tanah lunak adalah daya dukung tanah dasarnya yang relatif rendah dan pemampatan tanah yang relatif besar serta berlangsung relatif lama serta lapisan stuktur perkerasan jalan menjadi lebih tebal. Apabila tanpa dilakukan perbaikan pada tanah dasarnya terlebih dahulu maka infrastruktur yang dibangun diatasnya akan berpotensi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur yang direncanakan. Selain daripada itu pembangunan jalan di atas tanah lunak menyebabkan stuktur perkerasan dibuat menjadi lebih tebal agar mampu mendukung beban lalu lintas yang diterimanya sehingga biaya yang diperlukan menjadi lebih besar pula.

B. Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari kontruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan kontruksi bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas menuju lapisan tanah pendukung dibawahnya. Jika kekuatan tanah terlampaui, maka akan terjadi keruntuhan dan penurunan yang berlebihan pada tanah

(Das, 2011). Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi yang berada di atas fondasi. Oleh sebab itu dalam pemilihan dan perancangan fondasi kondisi tanah harus diperhitungkan dengan baik. Fondasi yang dipilih harus mampu menjamin kedudukan struktur terhadap semua gaya yang bekerja.

Beberapa faktor yang berpengaruh dalam pemilihan fondasi antara lain yaitu beban yang direncanakan, jenis tanah dan daya dukung tanah. Jenis fondasi yang digunakan akan berpengaruh terhadap keamanan struktur yang berada di atas fondasi. Penggunaan fondasi didasarkan pada jenis struktur dan tanah. Jika tanah dekat permukaan mampu mendukung beban struktur maka jenis fondasi dangkal yang dapat digunakan berupa fondasi telapak (*spread footing*) atau fondasi rakit (*raft foundation*), namun jika tanah dekat permukaan tidak mampu mendukung beban struktur di atasnya maka jenis fondasi sumuran/kaisan (*peer foundation*) atau fondasi tiang (*pile foundation*) dapat menjadi solusi (Hardiyatmo, 2003).

Terdapat dua jenis fondasi yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal didefinisikan sebagai fondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: fondasi telapak, fondasi memanjang dan fondasi rakit. Fondasi dangkal didasarkan atas perbandingan antara kedalaman perletakan (D_f) dengan lebar kurang dari empat (Budhu, 2010; Das, 2011). Fondasi dangkal sudah banyak dikembangkan sehingga jenis fondasi ini menjadi beragam seperti fondasi telapak, fondasi menerus dan fondasi rakit. Fondasi dalam didefinisikan sebagai fondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya fondasi sumuran dan fondasi tiang. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi antara lain (Hardiyatmo, 2014):

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah harus dipenuhi. Faktor aman umumnya digunakan 3.

2. Penurunan fondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tak seragam (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Kapasitas dukung pertama kali dilakukan oleh Prandtl (1921) dan kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955) dan lain-lain. Analisis pada umumnya didasarkan pada konsep Mohr-Coulomb. Terzaghi (1943) mengembangkan konsep dengan menambahkan beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kapasitas dukung fondasi seperti kohesi tanah (c), kedalaman fondasi (D_f), berat volume tanah (γ), lebar fondasi serta faktor kapasitas dukung (N_γ, N_c, N_q). Analisis kapasitas dukung fondasi Terzaghi didasarkan dengan anggapan fondasi terletak di atas tanah homogen dan berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar B dan dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_{ult} = cN_c + qN_q + 0,5 \gamma BN_\gamma \dots\dots\dots(1)$$

sedangkan untuk fondasi berbentuk bujur sangkar dan lingkaran dapat digunakan persamaan daya dukung batas yaitu :

untuk fondasi berbentuk bujur sangkar, kapasitas dukung ultimit (q_u) :

$$q_{ult} = 1,3 cN_c + qN_q + 0,3 \gamma BN_\gamma \dots\dots\dots(2)$$

untuk fondasi berbentuk lingkaran, kapasitas dukung ultimit (q_u) :

$$q_{ult} = 1,3 cN_c + qN_q + 0,4 \gamma BN_\gamma \dots\dots\dots(3)$$

dengan:

q_{ult} = daya dukung ultimit untuk fondasi (kN/m^2)

c = kohesi (kN/m^2)

q = $D_f\gamma$ = tekanan overburden pada dasar fondasi (kN/m^2)

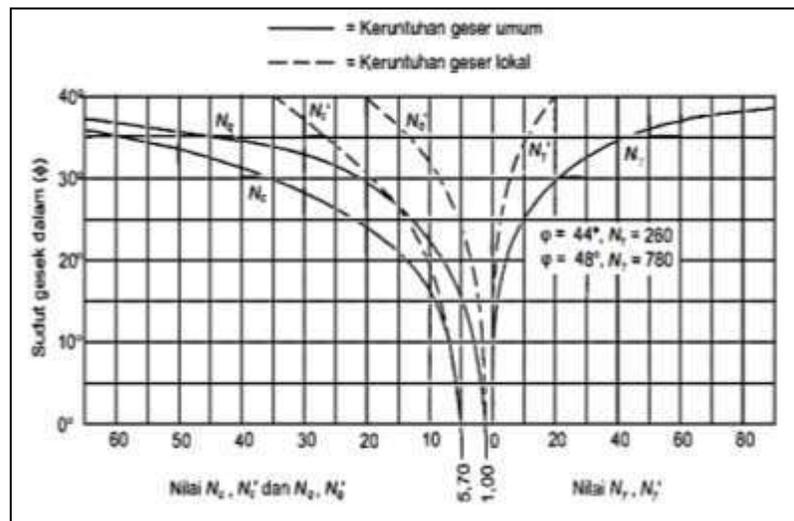
D_f = kedalaman fondasi (m)

B = lebar fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^2)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung Terzaghi tergantung pada sudut gesek dalam tanah (φ).

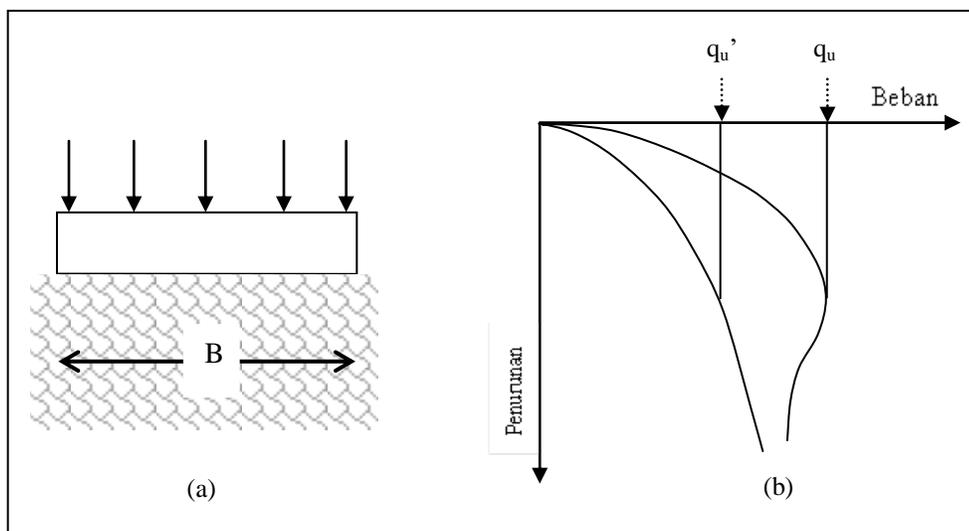
Nilai-nilai N_c, N_q dan N_γ merupakan faktor-faktor kapasitas dukung tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek dalam tanah (φ) dari Terzaghi. Nilai-nilai N_c, N_q dan N_γ dapat diperoleh dari Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan sudut gesek dalam tanah (φ) dan N_c, N_q dan N_γ

Tanah sebagai dasar berdirinya struktur diharapkan dapat memberikan daya dukung bagi konstruksi yang ada di atasnya sehingga dapat bertahan selama masa pelayanan. Bila tanah mengalami pembebanan, maka tanah akan mengalami distorsi dan penurunan. Jika beban ditambah maka penurunan pun akan bertambah. Pada suatu masa, ketika terjadi kondisi dimana pada beban tetap, fondasi mengalami keruntuhan yang sangat besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan kapasitas dukung telah terjadi (Hardiyatmo, 2003). Penurunan yang kecil terjadi pada tanah yang kondisinya padat, sedangkan pada tanah yang tidak padat atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan sangat besar.

Pada model fondasi bentuk persegi yang memanjang dengan lebar B yang diletakkan pada permukaan lapisan tanah pasir padat (atau tanah yang kaku) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-a. Jika diberikan beban terbagi rata q per satuan luas diatas fondasi, maka fondasi tersebut akan mengalami penurunan. Jika beban terbagi rata (q) tersebut ditambah, tentu saja penurunan fondasi yang bersangkutan akan bertambah pula. Tetapi, bila besar $q = q_u$ telah dicapai, maka keruntuhan daya dukung akan terjadi dan fondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar tanpa penambahan beban q lebih lanjut. Tanah di sebelah kanan dan kiri fondasi akan menyembul dan bidang longsor akan mencapai permukaan tanah. Hubungan antara beban dan penurunan seperti terlihat pada Gambar 2-b.



Gambar 2. Kurva Hubungan Penurunan Terhadap Beban

Faktor keamanan merupakan hal penting yang harus diperhatikan dalam perancangan fondasi. Pada umumnya faktor keamanan yang digunakan bernilai 3. Faktor keamanan digunakan untuk menghitung daya dukung yang diijinkan. Hal ini sangat perlu dilakukan mengingat bahwa dalam kondisi sebenarnya tanah tidak homogen dan tidak isotropis.

C. Struktur Lapis Perkerasan Jalan

Kebutuhan lahan infrastruktur meningkat seiring dengan pesatnya pembangunan sektor infrastruktur seperti jalan raya, jalan rel kereta, bandar udara dan pelabuhan. Untuk memenuhi kebutuhan lahan tersebut maka pembangunan konstruksi diatas tanah lunak dan reklamasi pantai menjadi salah satu alternative yang banyak dipilih. Namun hal ini tidak menyelesaikan permasalahan yang ada. Daya dukung tanah lunak yang rendah, besarnya biaya konstruksi untuk pembangunan di atas tanah lunak serta menurunnya kualitas dan kuantitas material infrastruktur berakibat pada rendahnya kualitas infrastruktur sekaligus menjadi tantangan bagi dunia konstruksi sekaligus.

Terbangunnya infrastruktur jalan pada suatu daerah dapat memperlancar pembangunan sektor lainnya. Oleh sebab itu pembangunan infrastuktur perkerasan jalan yang berkualitas terus dilakukan. Banyak kontruksi jalan saat ini harus dibangun diatas tanah lunak. Permasalahan utama pada pembangunan jalan di atas tanah lunak adalah daya dukung tanah dasarnya yang relatif rendah dan pemampatan tanah yang relatif besar serta berlangsung relatif lama serta lapisan stuktur perkerasan jalan menjadi lebih tebal. Tanah lunak memiliki kuat geser $12,5 - 25 \text{ kN/m}^2$ dan mempunyai kompresibilitas tinggi. Tanah lunak dapat dibagi dalam dua tip yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut. Tanah lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah, sedangkan tanah gambut pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Jenis tanah lunak yang lain yaitu lempung organic berupa campuran antara tanah lempung dan tanah gambut, tergantung pada jenis dan kuantitas sisa-sisa tumbuhan, tanah organik bisa berperilaku seperti lempung atau gambut (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002). Apabila tanpa dilakukan perbaikan pada

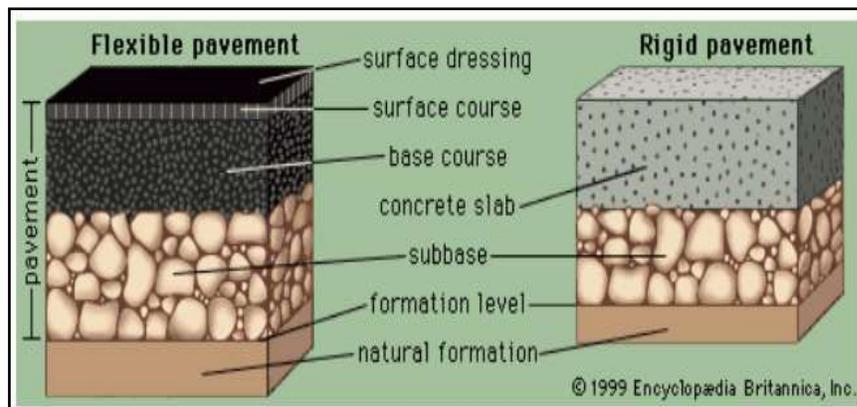
tanah dasarnya terlebih dahulu, maka infrastruktur yang dibangun di atasnya akan berpotensi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur yang direncanakan. Selain daripada itu pembangunan jalan di atas tanah lunak menyebabkan stuktur perkerasan dibuat menjadi lebih tebal agar mampu mendukung beban lalu lintas yang diterimanya sehingga diperlukan biaya konstruksi yang besar pula.

Perkerasan jalan didefinisikan sebagai struktur berlapis yang didukung oleh tanah dasar untuk membentuk jalur lalu lintas jalan yang dikenal sebagai perkerasan jalan. Susunan struktur konstruksi jalan yang terdiri atas lapis permukaan, lapis fondasi dan lapis tanah dasar. Materi penyusun perkerasan jalan berupa agregat halus, agregat kasar dan bahan ikat agregat berupa aspal maupun pasta semen. Agregat yang dipakai dapat berupa pasir, kerikul, batu pecah dan batu belah, sedangkan bahan ikat dapat berupa aspal cair maupun pasta semen. Perkerasan disusun atas beberapa lapisan seperti terlihat pada Gambar 3. Susunan lapis perkerasan jalan terdiri dari (Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018):

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*), merupakan lapisan paling atas pada struktur perkerasan jalan. Lapis permukaan dapat berupa lapis perkerasan kaku maupun lapis perkerasan lentur. Fungsi lapis permukaan sebagai
 - a. lapis aus dimana bersentuhan langsung dengan roda kendaraan sehingga menerima gesekan akibat pengereman dan menahan beban roda selama masa pelayanan;
 - b. lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya yang dapat melemahkan lapisan tersebut;
 - c. lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain.

2. Lapis fondasi jalan terletak diantara lapis permukaan dan lapis tanah dasar. Lapisan ini terbagi atas 2 (dua) yaitu lapis fondasi atas (*base course*) dan lapis fondasi bawah (*sub-base course*). Lapis fondasi atas berfungsi sebagai
 - a. bagian perkerasan yang menahan beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya;
 - b. perletakan terhadap lapis permukaan.Sedangkan untuk lapis fondasi bawah berfungsi sebagai
 - a. bagian perkerasan yang menahan beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan tanah dasar;
 - b. lapis peresapan agar air tanah tidak terkumpul di fondasi;
 - c. lapis untuk mencagah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis fondasi atas.
3. Tanah Dasar (*Subgrade*), merupakan lapis paling bawah yang terletak setelah lapis fondasi bawah. Lapis ini berupa tanah asli yang dipadatkan atau tanah asli yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya untuk meperoleh daya dukung yang cukup. Untuk memperoleh kepadatan dan kestabilan yang baik, pelaksanaan pemadatan dilakukan jika kadar air optimum dan diusahakan konstan selama umur pelayanan. Kondisi tanah dasar yang bervariasi dapat diketahui dari hasil penyelidikan tanah.

Beban kendaraan pada permukaan perkerasan mengakibatkan lendutan pada perkerasan dan tanah dasar. Akibat adanya beban, tanah dasar akan mengalami tegangan. Tegangan akan berkurang jika kedalaman lapis tanah dasar bertambah. Perkerasan diatas tanah dasar harus mampu mereduksi tegangan yang diterima sehingga dapat mencegah deformasi berlebihan pada tanah dasar tersebut.



Gambar 3. Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan merupakan lapisan yang bersifat konstruktif sehingga memiliki nilai struktural dan fungsional. Nilai struktural berkaitan dengan daya dukung perkerasan untuk mendukung repetisi beban lalu lintas kendaraan dan kemampuannya untuk tetap stabil, mantap dan aman terhadap pengaruh infiltrasi air permukaan dan perubahan cuaca. Oleh karena sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan akan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil, maka lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis fondasi menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja (Sukirman, 2010).

D. Landasan Teori Struktur Perkerasan Jalan Pada Tanah Lunak

Pada struktur perkerasan jalan, tanah akan mengalami tegangan akibat beban roda kendaraan. Tegangan akibat beban roda akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Perkerasan yang dibangun diatas tanah harus mampu mereduksi tegangan yang diterima oleh tanah pada suatu nilai yang cukup rendah sehingga dapat meminimalisir deformasi yang berlebihan pada tanah tersebut. Reduksi

tegangan sangat dipengaruhi oleh lapis fondasi dan kondisi tanah dasar. Beban kendaraan pada permukaan perkerasan dapat mengakibatkan lendutan pada perkerasan jalan dan tanah dasar. Lendutan yang dihasilkan harus cukup kecil untuk menjaga perkerasan tidak mudah rusak. Jika tanah dasar bergerak secara lateral atau terkompresi melebihi kemampuan perkerasan dalam menahan lendutan, maka keruntuhan akan terjadi. Oleh sebab itu, dalam perancangan struktur perkerasan jalan perlu diketahui sifat –sifat material penyusun perkerasan.

Salah satu factor yang berpengaruh pada umur layanan perkerasan yaitu daya dukung tanah yang terletak dibawah lapis fondasi ataupun berada langsung dibawah lapis permukaan perkerasan kaku. Umumnya daya dukung tanah yang ada saat ini tergolong rendah. Rendahnya daya dukung tanah dibawah lapis perkerasan jalan dapat menyebabkan perkerasan mudah berkurang kewanuhannya dan pada perkerasan kaku dapat menyebabkan pelat menjadi mudah retak. Selain itu, daya dukung tanah dasar juga mempengaruhi tebal perkerasan yang dibutuhkan. Semakin rendah daya dukung tanah dasar, maka dibutuhkan perkerasan yang lebih tebal (Mallick & El-Korchi, 2013; Papagiannakis & Masad, 2012).

Pembangunan konstruksi jalan saat ini sedang berkembang pesat. Kurangnya lahan yang memiliki daya dukung yang sesuai standar, menyebabkan pembangunan konstruksi jalan harus dilakukan diatas tanah yang berdaya dukung rendah atau tanah lunak. Jenis perkerasan yang cocok digunakan pada tanah lunak, yaitu perkerasan kaku. Perkerasan kaku adalah perkerasan yang terdiri dari pelat beton yang dibangun diatas lapis fondasi (base) yang berada diatas tanah dasar (*U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2019*). Pelat beton dianggap lebih kuat menahan beban berulang dari lalu lintas. Namun pada kondisi tanah yang lunak hingga sangat lunak, lapis fondasi konvensional dibuat lebih tebal agar mampu

menerima dan mereduksi beban, sehingga ketika beban diterima oleh tanah dasar, beban sudah menjadi jauh lebih kecil. Bertambahnya ketebalan lapisan menyebabkan biaya yang ditimbulkan menjadi lebih besar dan jumlah material juga bertambah banyak sehingga penyelesaian masalah tanah lunak perlu dilakukan.

Penyelesaian permasalahan pada tanah lunak dapat dilakukan melalui perkuatan pada tanah lunak seperti membuat fondasi pada tanah lunak. Secara umum fondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban pada tanah, baik beban dalam arah vertical maupun arah horizontal. Pemakaian fondasi pada suatu konstruksi, apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam. Pada struktur perkerasan kaku konvensional dengan bahan penyusun lapis fondasi bawah dapat berupa material berbutir kasar (*granular*) dan harus bergradasi baik dengan persyaratan nilai batas cair (*liquid limit*) ≤ 25 dan indeks plastisitas (*plasticity indeks*) ≤ 5 . Nilai CBR minimum 30% dan tebal lapis minimum fondasi 15 cm. Pemadatan lapis fondasi bawah dan lapis tanah dasar, minimum 95% dari kepadatan maksimum laboratorium. Persyaratan Nilai CBR minimum 6% untuk tanah dasar dan 20% untuk lapis fondasi bawah (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).

Pada beberapa penelitian sebelumnya, kondisi tanah dasar yang terkondisi lunak hingga sangat lunak ditingkatkan daya dukungnya melalui penggunaan beberapa jenis fondasi seperti fondasi sistem cakar ayam modifikasi, fondasi sistem rakit kombinasi tiang, fondasi sistem pelat terpaku dan sistem sarang laba-laba dan merupakan fondasi dangkal (Situmorang, 2017). Penggunaan fondasi-fondasi

tersebut telah diaplikasikan pada beberapa pekerjaan konstruksi sipil seperti fondasi cakar ayam untuk perkerasan jalan di Jalan Tol Prof. Sedyatmo, fondasi sistem cakar ayam modifikasi untuk perkerasan jalan di Bandara Sukarno Hatta – Cengkareng, Bandara Polonia – Medan, Banda Juanda – Surabaya, ruas Tol Kampung Kayan – Sitiawan – Malaysia. Penggunaan fondasi sarang laba – laba di juga telah dilakukan pada beberapa konstruksi bangunan sipil seperti pada Gedung Bank BNI 46 - Semarang, bangunan Palu Grand Mall, Gedung Kanwil Perhubungan Banda Aceh – NAD dan Gedung Kantor TASPEN Cabang Banda Aceh – NAD. Pada gedung yang menggunakan konstruksi sarang laba-laba sebagai lapis fondasinya, dinyatakan terhadap kerusakan (Suryabumi, 2020).

Fondasi Konstruksi Sarang Laba-laba (KSL) merupakan struktur yang memanfaatkan media tanah sebagai bagian dari struktur fondasi yang mampu mengantisipasi gaya gempa baik secara horizontal maupun vertical (Raharja dan Sutjipto, 1984; Raharja, 2015). Disebut Sarang Laba-laba karena perkuatan pelat fondasi di sekeliling kolom berbentuk jaring-jaring yang saling bertautan secara monolit menyerupai Sarang Laba-laba. Pelat fondasi diberi tulang rusuk monolit diagonal penyangga penyangga sehingga struktur menjadi kaku yang berfungsi sebagai beban gravitasi dan beban gempa. Struktur fondasi relatif lebih ringan karena sebagian volume beton tergantung oleh tanah yang dipadatkan . Prinsip kerja pada konstruksi sarang laba-laba yaitu memanfaatkan tanah sebagai bagian dari struktur fondasi dan menyatukan elemen-elemen pada sistem fondasi menjadi satu kesatuan fungsi yang harmonis dan monolit. Penggunaan konstruksi sarang laba-laba memberikan daya dukung menjadi lebih besar dari 1,5 kali daya dukung dari fondasi rakit disebabkan kekakuan lebih tinggi dibandingkan dengan fondasi rakit. Pada konstruksi sarang laba-laba, penyebaran beban dimulai dari dasar pelat yang terletak

di bagian atas rib sehingga beban yang timbul sudah merata pada lapisan pendukung dan memiliki kemampuan melindungi secara permanen stabilitas dari perbaikan tanah didalamnya. Perbedaan tinggi dari rib konstruksi dengan rib settlement menjadikan perbaikan tanah didalam konstruksi sarang laba-laba memiliki kestabilan yang bersifat permanent dan mencegah terhadap pergerakan tanah arah lateral sehingga penurunan menjadi lebih kecil. Pengaruh terhadap pemadatan yang efektif pada lapisan tanah dan bekerjanya tegangan geser pada rib terluar dari konstruksi sarang laba-laba karena adanya rib-rib diagonal disamping rib-rib yang melintang dan membujur sehingga konstruksi sarang laba-laba menjadi monolit dan kaku (Haryono & Maulana, 2007). Mekanisme transfer beban melalui pertambahan beban diteruskan ke tanah melalui ujung rib selanjutnya bila telah terakomodasi kemampuan kuat dukung tanah di bawah rib maka kuat dukung tanah diteruskan ke sisi rib kemudian dengan cara yang sama beban akan diteruskan ke bawah pelat. Saat pertambahan beban ditingkatkan hingga tegangan deformasi tanah menuju plastis maka seluruh beban akan dipikul oleh sistem KSSL dan tanah pengisinya menekan lapisan tanah di bawahnya. Ini berlaku untuk kondisi titik beban berada di atas rib maupun di tengah area berbatasan dengan rib (Darjanto et al., 2016).

Perkuatan lainnya yang dilakukan pada tanah lunak yaitu penggunaan geocell sebagai lapis fondasi. Geocell adalah salah satu jenis geosynthetics berbahan *High Density Polyethylene* (HDPE) yang mengandalkan ketahanan terhadap panas matahari dan berbentuk segi enam (hexagonal) menyerupai seperti sarang lebah / tawon dan sistem produksi penyatuan dengan menggunakan ultrasonic welding agar terbentuk struktur cell yang kuat. Geocell adalah produk tiga dimensi yang menyediakan kurungan pada tanah. Geocell seperti tikar semi-kaku dalam mendistribusikan beban permukaan pada area yang luas dari tanah fondasi. Sejumlah peneliti telah

menyelidiki sifat dasar tanah yang diperkuat dengan geocells (Rajagopal et al., 1999) dan kinerja geocell basis fondasi (Bush et al., 1990; Han et al., 2010; Latha et al., 2009; Madhavi Latha et al., 2008). Sistem kurungan/kekangan pada geocells memberikan penguatan struktural yang lebih baik untuk konstruksi jalan, juga mengurangi ketebalan perkerasan dan meningkatkan umur perkerasan lentur, khususnya pada tanah lunak.

Geocell dapat diisi menggunakan tanah ataupun agregat. Agar bisa mencegah tergerusnya atau keluarnya material isian lembaran geocell disekat-sekat membentuk sel-sel yang berbentuk segi enam. Pada kondisi tanah jelek fungsi pengekangan geocell terhadap material agregat akan bekerja dengan baik. Penggunaan geocell dapat menghambat pergeseran di bawah beban siklik, penerapan kurungan geocell yang memberikan efek kekangan terhadap material isian menunjukkan manfaat yang signifikan dengan mendistribusikan tekanan tanah dasar yang lebih seragam dan meningkatkan daya dukung (Han et al., 2013; Leshchinsky & Ling, 2013). Fondasi yang diperkuat geocell di bawah pembebanan berulang memiliki modulus yang lebih tinggi daripada lapis fondasi tanpa perkuatan dengan faktor peningkatan modulus berkisar antara 1,26 hingga 2,04. Selain itu, perkuatan dengan geocell secara signifikan mengurangi deformasi permanen dibandingkan dengan lapis fondasi yang tidak diperkuat dari ketiga bahan pengisi di bawah pemuatan berulang. (Han et al., 2013; Pokharel et al., 2018). Penggunaan geocell untuk perbaikan tanah secara signifikan meningkatkan kapasitas bantalan tanah lunak, khususnya pada fondasi dan aplikasi jalan. Selain meningkatkan kekuatan tanah, geocell juga telah secara luas digunakan dalam berbagai stabilisasi lereng, konstruksi tanggul dan aplikasi jalur kereta api (Biswas & Krishna, 2017; Krishna & Biswas, 2017).

Penggunaan lapisan geocell secara pada system perkerasan jalan terbukti meningkatkan kekakuan struktur sistem perkerasan jalan masa pelayanan perkerasan. Penggunaan lapisan geocell dapat mengurangi ketebalan lapisan granular sebanyak 50%. Penyelidikan eksperimental dilakukan untuk mempelajari efeknya penyediaan geocell subgrade dan sub-base lapisan kursus dan propertinya pada kinerja fleksibel trotoar. Serangkaian uji beban berulang dilakukan baik bagian perkerasan tanpa geocell dan dengan geocell-reinforced pada perkerasan tidak beraspal. Penyediaan geocell pada permukaan tanah dasar dan sub-base meningkatkan umur layanan dari perkerasan dengan faktor 1,6 sampai 3,5 tergantung pada ketebalan perkerasan jalan dan rasio aspek geocell (Mamatha & Dinesh, 2017, 2018).

Kapasitas dukung tanah yang diperkuat geocell lebih baik dibandingkan dengan tanpa perkuatan geocell. Penurunan plastis merupakan hal utama yang menyebabkan terjadinya rutting pada perkerasan jalan. Penggunaan geocell dapat mengurangi deformasi total dan deformasi plastis secara signifikan. Potensi rutting bisa direduksi sekitar 13% – 71%. Penyediaan geocell menyebabkan berkurangnya gelombang pada tepi perkerasan sehingga dapat memberikan kenyamanan berkendara yang baik. Selain itu penggunaan geocell pada tanah dasar dan lapis fondasi dapat meningkatkan umur layanan dari perkerasan. Reaksi peningkatan nilai modulus tanah dasar reaksi menunjukkan bahwa ada kontribusi penguatan pada tanah lunak (Hegde & Sitharam, 2013). Daya dukung akhir dari pasir yang diperkuat dengan geocell meningkat secara signifikan dengan kekakuan dan tinggi geocell. Kekakuan geocell memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kinerja pasir yang diperkuat geocell dan pengurangan penurunan diperoleh dengan peningkatan modulus geocell (Kargar & Mir Mohammad Hosseini, 2018).

Pada penelitian ini digunakan prinsip kerja pada konstruksi sarang laba-laba dan geocell yang dasar penelitian uji model pelat grid heksagonal yaitu membatasi pergerakan tanah arah lateral melalui sel-sel beton yang kaku sehingga menahan gaya tarik tanah melalui mobilisasi resistensi gesekan antara dinding sel dengan tanah. Material penyusun rangka fondasi sistem sarang laba-laba berupa beton yang kokoh dan saling berhubungan membentuk sel-sel yang memberikan konfigurasi yang kuat akibat kekakuan dari dinding sel yang penyusun rangka. Sel-sel berfungsi mencegah penyebaran lateral tanah pada saat beban di aplikasikan dan memberikan peningkatan ketahanan terhadap deformasi karena tanah dapat mengambil lebih banyak beban sehingga deformasi menjadi lebih kecil dan merata.

Pada penelitian ini dilakukan uji model pelat *grid* heksagonal sebagai lapis fondasi jalan pada tanah lunak. Pelat diasumsikan sebagai lapis permukaan perkerasan sedangkan grid heksagonal diasumsikan sebagai lapis fondasi yang diletakkan diatas tanah lunak. Grid ditopang oleh dinding dan membentuk sel-sel yang diisi oleh tanah yang dipadatkan. Material penyusun pelat dan dinding sel grid heksagonal terbuat dari beton memberikan konfigurasi yang kuat akibat adanya kekakuan dari beton. Model heksagonal merupakan peralihan dari model kotak ke lingkaran. Model hexagonal dipilih karena banyaknya bidang permukaan yang memberikan bidang kontak yang lebih besar antara tanah dengan dinding beton. Permukaan dinding beton yang lebih luas dan kasar memberikan bidang kontak yang lebih luas pada tanah dengan dinding beton dan pelat sehingga dapat menjaga kedudukan grid heksagonal tetap pada tempatnya dan pelat tetap rata dan *pumping* dapat dihindari membuat durabilitas perkerasan menjadi lebih panjang (Vesic dalam Hardiyatmo, 2016).

E. Penelitian Terdahulu Yang Terkait

Tabel 1. Penelitian Terdahulu Yang Terkait

Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil	Publikasi
Ratna Sari Cipto Haryono dan Tirta Rahman Maulana / 2007	Analisis Penggunaan Struktur Fondasi Sarang Laba-Laba Pada Gedung BNI '46 Wilayah 05 Semarang	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan konstruksi sarang laba-laba memberikan daya dukung menjadi lebih besar dari 1,5 kali daya dukung dari fondasi rakit • Konstruksi sarang laba-laba memiliki kekakuan lebih tinggi dibandingkan dengan fondasi rakit, pemadatan tanah yang efektif didalam konstruksi sarang laba-laba. • Penyebaran beban dimulai dari dasar pelat yang terletak di bagian atas rib sehingga beban yang timbul sudah merata pada lapisan pendukung dan memiliki kemampuan melindungi secara permanen stabilitas dari perbaikan tanah didalamnya. 	Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang, 2007
Dwi Magfira, Arifin B., dan Astri Rayahu / 2014	Perencanaan Alternatif Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba Pada Palu Grand Mall	<ul style="list-style-type: none"> • Penurunan potensial dapat dicapai dalam periode 12 tahun. • Disarankan agar bangunan gedung yang bertingkat 2 sampai 10 lantai berada ditanah lunak disarankan untuk menggunakan fondasi konstruksi sarang laba-laba (KSSL) karena sistem fondasi ini memiliki kekakuan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sistem fondasi lainnya dengan mempertimbangkan total penurunan yang akan terjadi serta penurunan yang terjadi akan merata. 	Jurnal Infrastruktur Vol. 4 No. 1, Juni 2014, Hal. 58 - 71

Anas Puri, Hary Christady Hardiyatmo, Bambang Suhendro, Ahmad Rifa'I / 2015	Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak	Tiang-tiang memobilisasi kapasitas dukung tekan dan berfungsi sebagai angkur mencegah pelat terjungkit pada bagian yang menerima jungkitan. Pelat Terpaku skala penuh mempunyai kekakuan yang besar dalam memikul beban. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kinerja sistem ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan.	Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2015, 12 Nopember 2015, ISSN 2477-0086
Hary C. Hardiyatmo / 2016	Alternatif Solusi Pembangunan Perkerasan Jalan Pada Subgrade Berdaya Dukung Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem cakar ayam modifikasi dan sistem pelat terpaku. • Sistem ini bila digunakan pada tanah-dasar ekspansif, memberikan ketahanan jangka panjang dan menjaga kerataan permukaan perkerasan terhadap pengaruh kembang susut tanah dasar 	Prosiding Seminar Nasional Geoteknik 2016, PS S1 Teknik Sipil UNLAM, Banjarmasin, 1 Okt 2016, ISBN : 978-602-6483-02-7
Helmy Darjanto, Masyhur Irsyam, Sri Prabandiyani Retno W / 2016	Mekanisme Transfer Beban Fondasi Konstruksi Sarang LabaLaba Melalui Uji Beban Statis Vertikal Skala Penuh Dan Analisis Numerik 3D Untuk Kondisi Small Strain	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini memodelkan mekanisme transfer beban. Inisiasi penambahan beban diteruskan ke tanah melalui ujung rib, selanjutnya bila telah terakomodasi kemampuan kuat dukung tanah di bawah rib maka kuat dukung tanah diteruskan ke sisi rib (ribsisi) kemudian dengan cara yang sama beban akan diteruskan ke bawah pelat. • Saat penambahan beban ditingkatkan hingga tegangan deformasi tanah menuju plastis maka seluruh beban akan dipikul oleh sistem KSSL dan tanah pengisinya menekan lapisan tanah di bawahnya. 	Narotama Jurnal Teknik Sipil, Vol. 2 No. 1, Juni 2016, E-ISSN: 2460-3430, Hal. 8-19
Niken Silmi Surjandari, Bambang Setiawan,	Analisis Kapasitas Dukung Dan Penurunan Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba	Hasil penelitian menunjukkan semakin besar kapasitas daya dukung ultimit konstruksi sarang laba-laba, yang diperoleh, maka penurunan juga	e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/Juni 2017/556

dan Jermy Iwada Sawato Gea/2017	Dengan Perkuatan Geotextile Woven Pada Tanah Lunak	semakin kecil.	
Willis Diana, Hary Christady, Bambang Suhendro / 2017	Small-scale Experimental Investigation on the Behaviour of Nailed Slab System in Expansive Soil	Pada tanah lunak, sistem pelat terpaku dapat meningkatkan modulus reaksi tanah dasar dan menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada kaku konvensional sistem perkerasan dalam kemampuannya untuk mendukung beban.	InternationalJournalofGEOMAT E, April, 2017, Vol. 12, Issue 32, pp. 134-141, Geotec., Const. Mat. & Env., ISSN: 2186-2990, DOI: http://dx.doi.org/10.21660/2017.32.42773
Anas Puri / 2017	Infrastruktur Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku Untuk Pembangunan Jalan Berkelanjutan Pada Tanah Dasar Lunak Dan Ekspansif	<ul style="list-style-type: none"> • Tiang-tiang di bawah pelat yang tertanam di dalam tanah dapat berfungsi dengan baik sebagai pengaku dan memberikan respons yang sama ke segala arah sehingga differential settlement yang teramati sangat kecil. • Sistem Pelat Terpaku ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan. Oleh karena itu perlu dilakukan field trial pada suatu ruas jalan dengan kondisi tanah lempung lunak atau ekspansif. 	Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017, Pekanbaru, 9 Februari 2017. ISBN 978-602-61059-0-5
Yeti Nur Hayati dan Ida Farida / 2017	Desain Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba Pada Proyek Mini Extraction Plant for Asphalt Buton	<ul style="list-style-type: none"> • Daya dukung fondasi sarang laba-laba 1,5 kali daya dukung fondasi rakit • Faktor yang menguntungkan, pada fondasi KSSL adalah pembesian minimum pada rib dan pelat, ketahanan terhadap differensial settlement karena tegangan akibat beban sudah merata pada lapisan tanah pendukung, total settlement menjadi lebih kecil, • Pengaruh terhadap pemadatan yang efektif pada lapisan tanah dan bekerjanya tegangan geser pada rib terluar dari KSSL, ketahanan terhadap 	Jurnal Konstruksi, Vol. 15 No. 1, 2017, Hal. 31 – 45, E-ISSN : 2302-7312

		gempa menjadi lebih tinggi karena adanya rib-rib diagonal disamping rib-rib yang melintang dan membujur, dan KSSL merupakan suatu konstruksi yang monolit dan kaku.	
Hayatul Hamida dan Herman Wahyudi / 2018	Study Of The Dimension Variation Of The Pheriperic Rib Of The Spider Web Structuring Against Displacement As A Road Pavement On Soft Soil.	Penelitian dilakukan variasi tulang rusuk perifer dengan beban seragam dan terpusat untuk mengetahui bagaimana perpindahan terjadi. Pemodelan numerik dilakukan dengan menggunakan Plaxis 2D. Hasil, penelitian menunjukkan adanya hubungan antara maksimum displacement dan ketebalan rusuk tepi yang signifikan.	International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), vol. 08, no. 07, 2018, pp.83-87
Astawa D. Made, Sumaidi, Faizal Anggriawan / 2018	Combined Structure Spider Nest And Reinforced Concrete Pile As An Alternative Story Building Foundation	Hasil analisa daya dukung meningkat setelah diberi perkuatan tiang pancang. Penurunan konsolidasi jangka panjang sebesar 14,4 cm memenuhi syarat < 15 cm. Pada sistem gabungan Fondasi KSSL dengan tiang pancang beton bertulang as sedalam 11,00 m, nilai penurunannya hanya 7,92 cm, sehingga struktur Fondasi KSSL dikombinasikan dengan tiang sangat stabil dan memenuhi syarat sebagai fondasi bangunan 8 lantai.	International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 9, Issue 5, May 2018, pp. 857 - 867, ISSN Print: 0976-6308 and ISSN Online: 0976-6316
Haryono, R. S., & Maulana, T. R. / 2007	Struktur Fondasi Sarang Laba-Laba	Perbedaan tinggi dari rib konstruksi dengan rib settlement menjadikan perbaikan tanah didalam Konstruksi Sarang Laba-Laba memiliki kestabilan yang bersifat permanent, selain itu rib settlement juga memberikan perlindungan terhadap perbaikan tanah didalam rib-rib.	Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, 2007

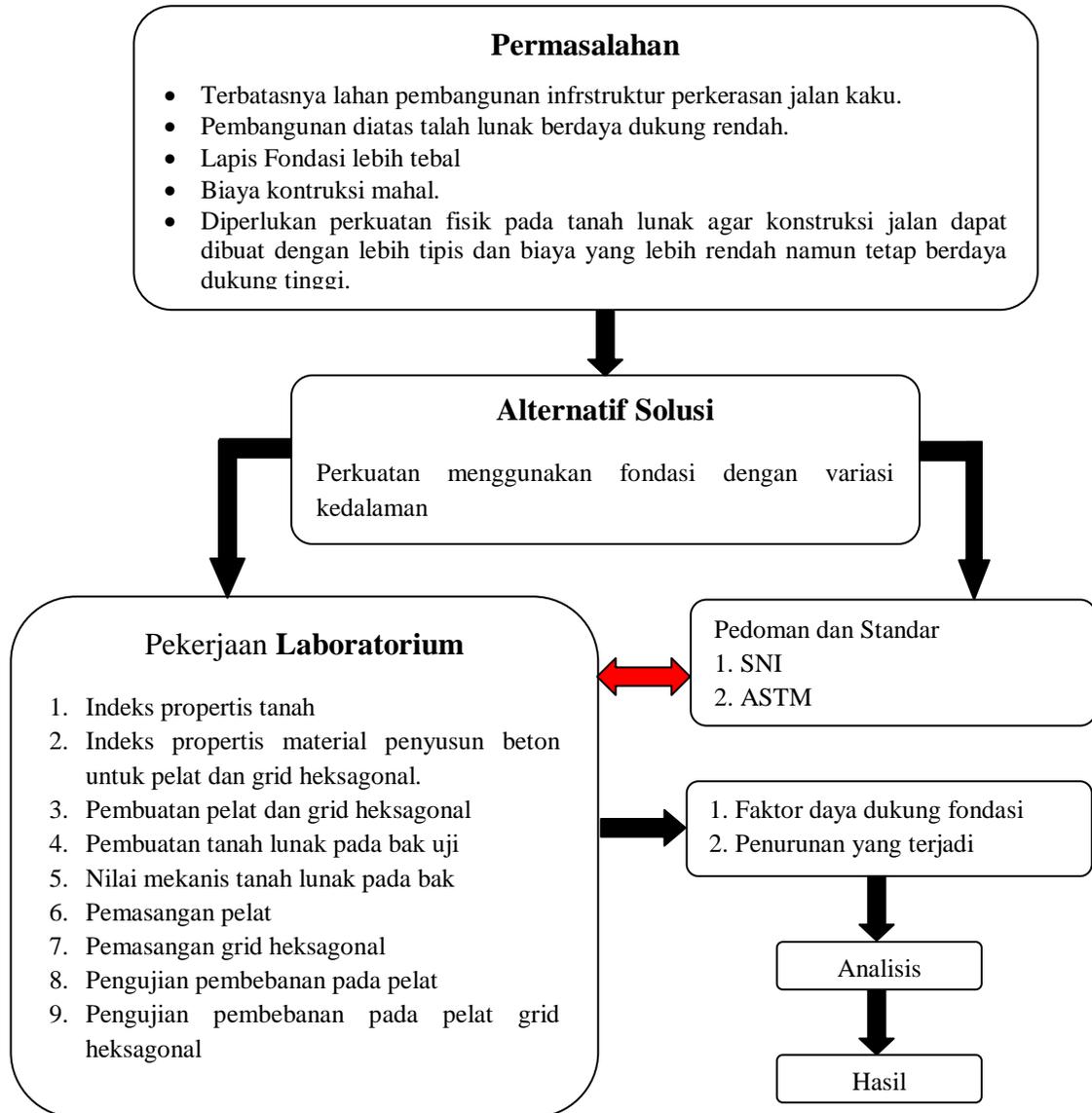
Mustofa Agung Santoso, Niken Silmi Surjandari, Bambang Setiawan / 2017	Analisis Penurunan Dan Daya Dukung Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba Pada Tanah Lunak	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil analisis daya dukung ultimit fondasi KSSL sebelum perkuatan menggunakan metode empiris sebesar 581,045 kN/m² dan setelah perkuatan sebesar 7298,633 kN/m². • Penurunan fondasi sebelum perkuatan menggunakan metode empiris sebesar 45,233 cm dan setelah perkuatan sebesar 4,965 cm. Gedung tersebut lebih aman menggunakan fondasi yang di- perkuat dengan tiang pancang. 	e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/Maret 2017/ Hal 124 - 128
K. Rajagopal, N.R. Krishnaswamy, G. Madhavi Latha / 1999	Behaviour Of Sand Confined With Single And Multiple Geocells	<ul style="list-style-type: none"> • Perkuatan dengan geocell memberikan kekuatan lekatan kohesi yang nyata bahkan pada tanah tanpa kohesi. • Hasil telah menunjukkan dengan jelas bahwa menggunakan geosel tunggal dalam uji triaksial tidak cukup untuk merepresentasikan perilaku sebenarnya dari tanah yang diperkuat geosel. Setidaknya diperlukan tiga sel yang saling berhubungan untuk mensimulasikan kinerja tanah yang terbungkus oleh banyak sel yang saling berhubungan. 	Geotextiles and Geomembranes 17 (1999) 171—184 Behaviour
Ben Leshchinsky dan Hoe Ling/2013	Effects of Geocell Confinement on Strength and Deformation Behavior of Gravel	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan geocell efektif mengurangi pergerakan arah lateral. • Penerapan geocell menghambat perpindahan vertikal terus menerus di bawah pembebanan siklik. • Studi parametrik menunjukkan bahwa penerapan kurungan geosel menunjukkan manfaat yang signifikan dengan mendistribusikan tekanan tanah dasar secara lebih seragam, sebagaimana 	Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering © Asce., 2013, 139(2): 340-352

didukung oleh uji lapangan sebelumnya (Chrismer 1997). Ini karena efek matras yang ditampilkan oleh komposit geosel saat sedang memuat (Zhou dan Wen 2008).

- Pengurangan tegangan maksimum ini mengurangi penurunan dan meningkatkan daya dukung. Selain itu geosel mencegah penyebaran lateral yang signifikan yang akan terjadi pada kerikil karena pemuatan dan perpindahan vertikal di puncak model.
-

F. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan kajian pustaka yang telah dipaparkan, dapat dibuat kerangka pikir penelitian seperti terlihat pada Gambar 4. Tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian uji model pelat dan pelat *grid* heksagonal ditunjukkan dalam kerangka pikir penelitian.



Gambar 4. Kerangka Pikir Penelitian