

TEGANGAN PADA TANAH DASAR PERKERASAN DI LAPANGAN PENUMPUKAN PETI KEMAS PELABUHAN TRISAKTI BANJARMASIN

Tilaka Wasanta
Fakultas Teknik
Universitas Katolik Parahyangan
Jln. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141
tilakaw@unpar.ac.id

Prayoga Luthfil Hadi
Fakultas Teknik
Universitas Katolik Parahyangan
Jln. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141
prayoga.lh@gmail.com

Abstract

This study discusses the analysis of flexible pavement structures in container stacking fields. The case study of this paper is in Trisakti Port in Banjarmasin. Modelling of the pavement structure was analyzed using ELSYM5 software. The results of pavement structure modelling are also made in the form of stress bulb diagrams to illustrate vertical stress distribution in each pavement layers. From the results of pavement modelling, it appears that the further horizontal distance (either in the X-axis or Y-axis direction) from the center of load, the smaller vertical stress occurs. Likewise on the Z-axis, the deeper a point from surface layer, the smaller vertical stress there is. From the results of the analysis using ELSYM5 software, the minimum subgrade load capacity must be able to withstand 60.37 kN/m^2 for 8 inches base layer and 39.31 kN/m^2 for 18 inches base layer. Based on results of the analysis with 6 data sets used in this study, it can be seen that thicker base layer in pavement structure would yield lower vertical stress that occurs in the top of subgrade.

Keywords: pavement structure, flexible pavement, stress bulb, subgrade, stress distribution

Abstrak

Penelitian ini membahas analisis struktur perkerasan lentur di lapangan penumpukan peti kemas. Studi kasus yang digunakan pada penelitian ini adalah Pelabuhan Trisakti di Banjarmasin. Pemodelan struktur perkerasan dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak ELSYM5. Hasil analisis pemodelan struktur perkerasan juga dibuat dalam bentuk diagram *stress bulb* untuk menggambarkan distribusi tegangan vertikal yang terjadi pada berbagai kedalaman di setiap lapisan struktur perkerasan. Dari hasil analisis pemodelan struktur perkerasan, terlihat bahwa semakin jauh jarak horizontal (baik di arah sumbu-X maupun sumbu-Y) dari pusat beban, semakin kecil tegangan yang terjadi. Begitu juga pada sumbu-Z, semakin jauh kedalaman lapis perkerasan dari pusat beban, semakin kecil tegangan yang terjadi. Dari hasil analisis menggunakan perangkat lunak ELSYM5, didapat bahwa tanah dasar harus dapat menahan tegangan minimum sebesar $60,37 \text{ kN/m}^2$ untuk lapisan *base* setebal 8 inci dan sebesar $39,31 \text{ kN/m}^2$ untuk lapisan *base* setebal 18 inci. Berdasarkan hasil analisis dengan 6 *datasets* yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat bahwa semakin tebal lapisan fondasi pada struktur perkerasan yang digunakan, semakin kecil tegangan yang terjadi pada tanah dasar.

Kata-kata kunci: struktur perkerasan, perkerasan lentur, *stress bulb*, tanah dasar, distribusi tegangan

PENDAHULUAN

Komponen-komponen penting dalam bidang rekayasa struktur perkerasan adalah proses desain, proses analisis, dan proses evaluasi perkerasan. Proses evaluasi perkerasan perlu dilakukan untuk menilai kondisi struktur perkerasan yang telah dilewati kendaraan selama masa layan perkerasan tersebut. Selama melewati masa layan, struktur perkerasan pasti mengalami deteriorasi, baik dari segi fungsional maupun segi struktural. Deteriorasi

yang terjadi pada struktur perkerasan juga akan membuat kemampuan layan perkerasan jalan tersebut (*serviceability*) turun.

Beberapa peneliti telah membahas penyebab proses deteriorasi pada struktur perkerasan (Adlinge et al., 2013), pola penurunan kemampuan layan suatu struktur perkerasan (Jackson et al., 1996), proses preservasi atau pemeliharaan struktur perkerasan (Chehovits dan Galehouse, 2010), hingga pemilihan keputusan optimal dalam manajemen dan pemeliharaan struktur perkerasan (Carnahan et al., 1987). Perkerasan yang telah menurun kualitasnya, perlu diperbaiki atau direhabilitasi untuk dapat memperpanjang umur layan perkerasan tersebut. Salah satu cara yang umum digunakan untuk memperbaiki atau meningkatkan kondisi struktural suatu struktur perkerasan adalah dengan lapis ulang, atau dikenal dengan *overlay repair*. Selain pelapisan ulang pada struktur perkerasan, cara lain untuk memperbaiki kondisi struktur perkerasan adalah dengan proses rekonstruksi. Rekonstruksi atau pembangunan ulang struktur perkerasan dapat dilakukan jika kondisi struktur perkerasan yang lama sudah sangat buruk, atau jika fungsi struktural perkerasan direncanakan untuk ditingkatkan.

Pada penelitian ini, studi kasus yang digunakan adalah kondisi struktur perkerasan yang direncanakan untuk direkonstruksi di lapangan penumpukan Pelabuhan Trisakti Banjarmasin. Analisis pemodelan struktur perkerasan pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak ELSYM5. Perangkat lunak ELSYM5 digunakan untuk analisis struktur perkerasan dengan model *multilayered linear elastic* (Ahlborn, 1972). Perangkat lunak ELSYM5 dapat memodelkan hingga 5 lapisan struktur perkerasan dan mengasumsikan adanya gesekan penuh pada lapisan-lapisan yang menggunakan campuran beraspal (Long et al., 2014). Konfigurasi beban pada pemodelan struktur perkerasan dengan perangkat lunak ELSYM5 bisa menggunakan satu atau lebih beban merata dengan bidang kontak berbentuk lingkaran (Huang, 2004). Keluaran hasil analisis pemodelan struktur perkerasan yang digunakan pada penelitian ini berupa distribusi tegangan yang dialami oleh struktur perkerasan di berbagai titik tinjauan. Hasil analisis distribusi tegangan ini dirangkum dalam bentuk *stress-bulb diagram*. Dari hasil analisis ini dapat diketahui tegangan maksimum yang akan terjadi pada tanah dasar. Tegangan yang diterima oleh tanah dasar ini selanjutnya menjadi masukan pada desain fondasi tiang pancang yang diperlukan untuk perkuatan tanah di lapangan penumpukan Pelabuhan Trisakti Banjarmasin ini.

DATA DAN ANALISIS

Pengelola Pelabuhan Trisakti Banjarmasin berencana untuk mengembangkan lapangan penumpukan peti kemas yang sudah ada. Adapun pengembangan lapangan penumpukan yang akan dilaksanakan berupa rekonstruksi struktur perkerasan lapangan penumpukan dengan memperhitungkan umur rencana struktur selama 50 tahun. Struktur perkerasan yang dirancang harus mampu menahan 6 *stack* peti kemas dan semua lintasan kendaraan-kendaraan berat yang beroperasi di sana. Pada penelitian ini dibahas desain

struktur perkerasan hanya untuk area lalu lintas kendaraan-kendaraan berat yang beroperasi di sekitar lapangan penumpukan saja. Lokasi area pengembangan di Pelabuhan Trisakti Banjarmasin dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang didapat dari perencanaan Pengembangan Pelabuhan Trisakti Banjarmasin.



Gambar 1 Area Pengembangan Pelabuhan Trisakti Banjarmasin

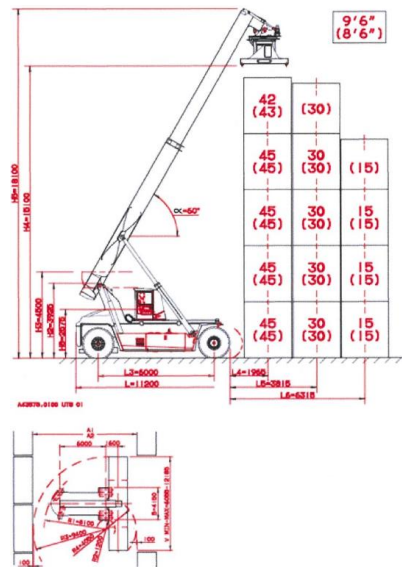
Beban Sumbu Kendaraan Rencana

Berdasarkan data yang diperoleh, kendaraan rencana yang memiliki beban sumbu terberat yang akan beroperasi di wilayah *container field* adalah beban dari kendaraan *Reach Stacker*. *Reach Stacker* merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk kegiatan operasional di area lapangan penumpukan yang berfungsi sebagai fasilitas *loading/unloading* peti kemas dari dan ke truk. *Reach Stacker* memiliki dua sumbu, dengan sumbu belakang berupa STRT (Sumbu Tunggal Roda Tunggal) dan sumbu depan berupa STRG (Sumbu Tunggal Roda Ganda). Spesifikasi dimensi dari *Reach Stacker* dapat dilihat pada Gambar 2. Dari spesifikasi *Reach Stacker*, diperoleh beban sumbu maksimum, yaitu sebesar 100,6 ton pada roda depan dengan konfigurasi Sumbu Tunggal Roda Tunggal.

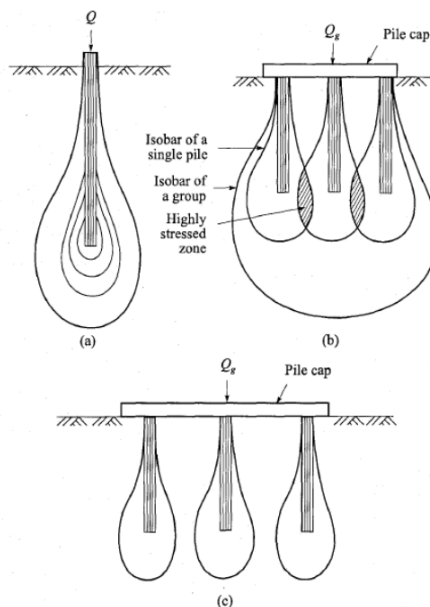
Kekuatan Tanah Dasar di Bawah Lapangan Penumpukan

Kondisi tanah dasar di bawah lapangan penumpukan di Pelabuhan Trisakti Banjarmasin merupakan tanah lunak berupa tanah lempung organik. Untuk memperbaiki kondisi tanah dasar tersebut, perlu dibuat desain fondasi yang direncanakan menggunakan fondasi tiang pancang. Data tanah dari hasil uji lapangan dan uji laboratorium digunakan sebagai masukan analisis. Analisis yang dilakukan terdiri atas perhitungan kapasitas aksial tiang tunggal dan desain tiang grup, dengan tiang fondasi yang digunakan adalah tiang pancang (*spun pile*). Perhitungan fondasi ini dilakukan dengan menggunakan asumsi bahwa *cut of level* (COL) berada di kedalaman -1,0 meter dari permukaan tanah dimulainya

pekerjaan investigasi tanah. Selain data tanah dari hasil uji lapangan dan uji laboratorium, besaran tegangan yang diterima oleh tanah dasar akibat beban dan distribusi tegangan oleh struktur perkerasan juga perlu diketahui. Besarnya beban atau tegangan yang harus diterima oleh tanah dasar didapat dari hasil analisis pada studi ini. Ilustrasi penggunaan fondasi tiang sebagai perkuatan kondisi tanah dasar dapat dilihat pada Gambar 3. Akan tetapi, pada penelitian ini hanya dibahas analisis distribusi tegangan yang terjadi karena adanya beban dan struktur perkerasan, sementara desain fondasi tiang pancang tidak dibahas pada penelitian ini.



Gambar 2 Spesifikasi Dimensi Reach Stacker



(a) Tiang Tunggal; (b) Kelompok Tiang dengan Spasi Kecil; (c) Kelompok Tiang dengan Spasi Besar

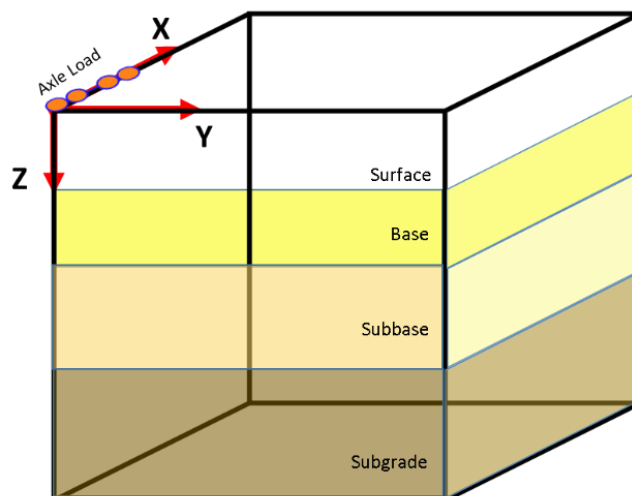
Gambar 3 Tegangan yang Terjadi pada Tiang Fondasi (Murthy, 2007)

Struktur perkerasan direncanakan dengan 4 lapisan, yaitu lapis permukaan berupa perkerasan beton aspal, diikuti dengan lapis fondasi (*base*), lapis fondasi bawah (*subbase*), dan lapis tanah dasar (*subgrade*) pada lapis paling bawah. Spesifikasi desain awal material struktur perkerasan yang digunakan untuk lapis permukaan adalah menggunakan beton aspal dengan modulus elastisitas sebesar 460.000 psi setebal 8 inci. Lapis fondasi (*base*) yang digunakan adalah lapis fondasi Laston dengan modulus elastisitas sebesar 480.000 psi dengan tebal yang bervariasi. Lapis fondasi bawah (*subbase*) yang digunakan adalah agregat kelas A dengan asumsi modulus elastisitas sebesar 30.000 psi setebal 40 inci. Modulus resilien tanah dasar yang digunakan adalah sebesar 22.500 psi. Pada penelitian ini, ada 6 tebal lapis fondasi (*base*) yang dianalisis, bervariasi dari 8 inci hingga 18 inci.

Tabel 1 Variasi Tebal Lapis Fondasi (*Base*) yang Dianalisis

DataSet	Tebal Lapis Fondasi Perkerasan (<i>Base</i>) (inci)
DataSet1	8
DataSet2	10
DataSet3	12
DataSet4	14
DataSet5	16
DataSet6	18

Untuk setiap *Dataset*, tebal lapisan struktur perkerasan lainnya dan *properties* material dari struktur perkerasan dibuat sama. Lapis struktur perkerasan dengan *material properties* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya kemudian dimodelkan. Pemodelan struktur perkerasan dilakukan dengan perangkat lunak ELSYM5, dengan total lapisan sebanyak 4 lapis perkerasan. Masing-masing perkerasan memiliki *properties* berupa modulus elastisitas, ketebalan, dan *Poisson's Ratio*. Beban sumbu juga dimasukkan pada pemodelan struktur perkerasan, dengan konfigurasi Sumbu Tunggal Roda Ganda. Ilustrasi pemodelan struktur perkerasan dan pemodelan beban sumbu dapat dilihat pada Gambar 4.

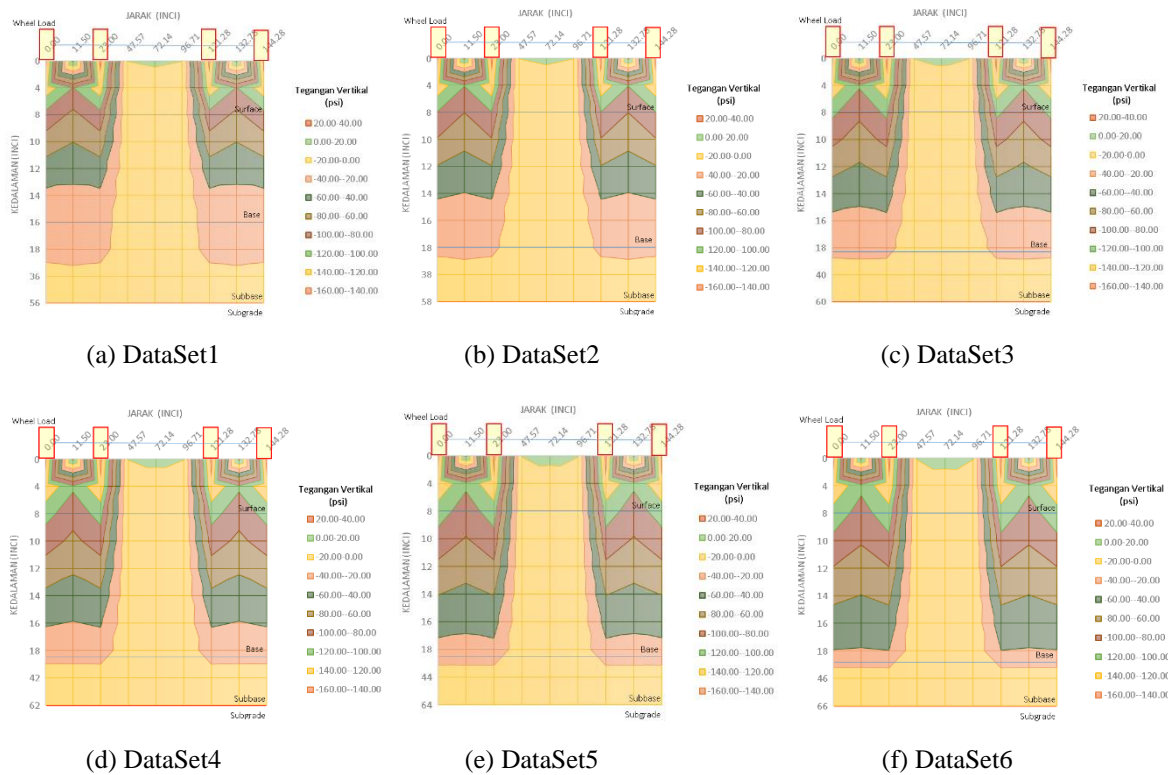


Gambar 4 Ilustrasi Pemodelan Struktur Perkerasan

Parameter beban yang digunakan perlu didefinisikan terlebih dahulu, yaitu jumlah sumbu, jumlah roda, jarak antarroda, jarak antarsumbu, berat sumbu, luas permukaan kontak antara beban dengan struktur perkerasan (berbentuk lingkaran), dan tekanan kontak antara beban dengan struktur perkerasan. Parameter-parameter beban tersebut merupakan masukan yang harus didefinisikan pada perangkat lunak ELSYM5.

Berdasarkan kriteria desain struktur perkerasan tersebut, akan dianalisis tegangan maksimum yang akan diterima pada tanah dasar. Tegangan maksimum yang diterima tanah dasar ini akan menjadi masukan pada desain fondasi tanah dasar dengan menggunakan tiang pancang.

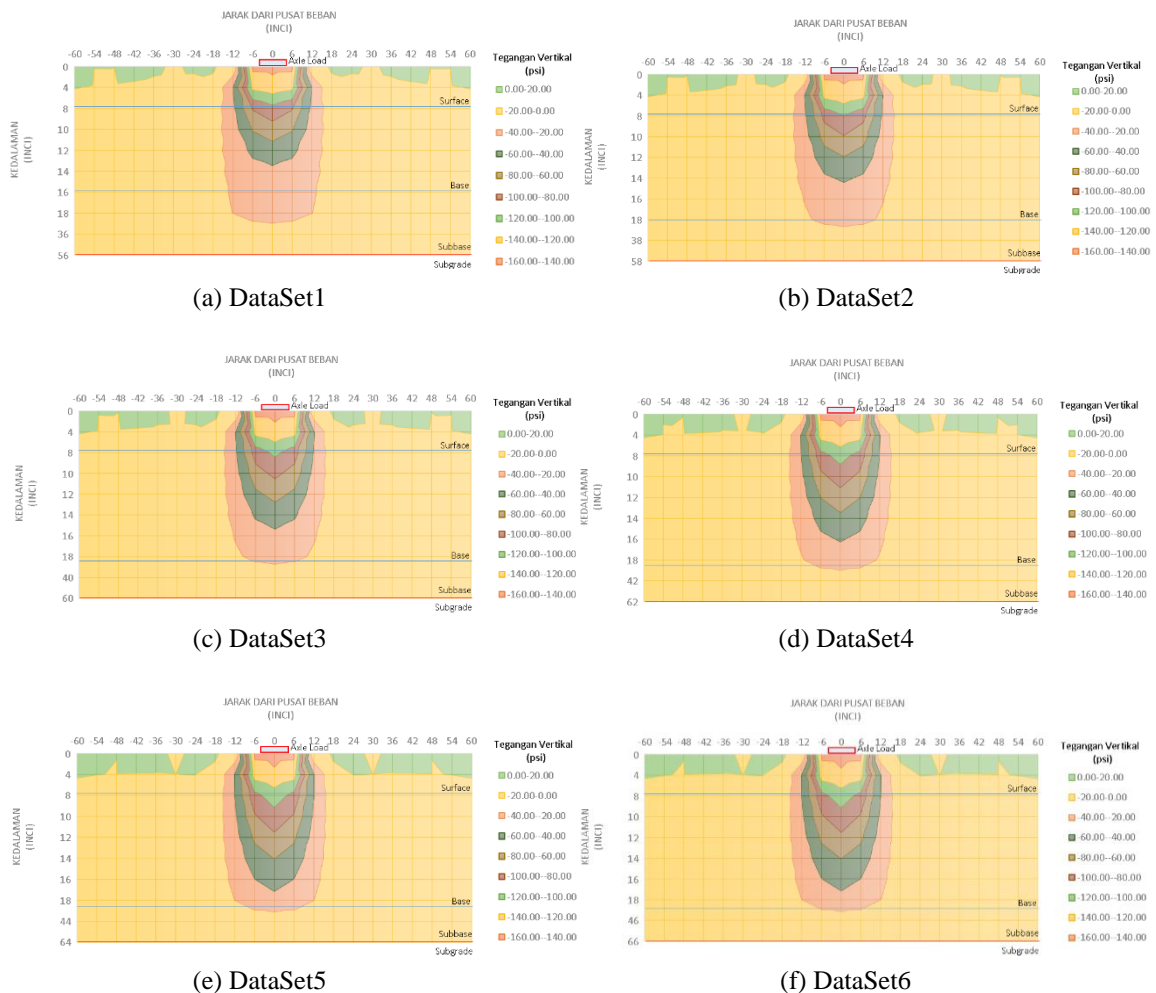
Analisis pemodelan struktur perkerasan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ELSYM5. Hasilnya dapat dijelaskan dengan diagram *vertical stress bulb* pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Vertical Stress Bulb Diagram pada Arah X-Z

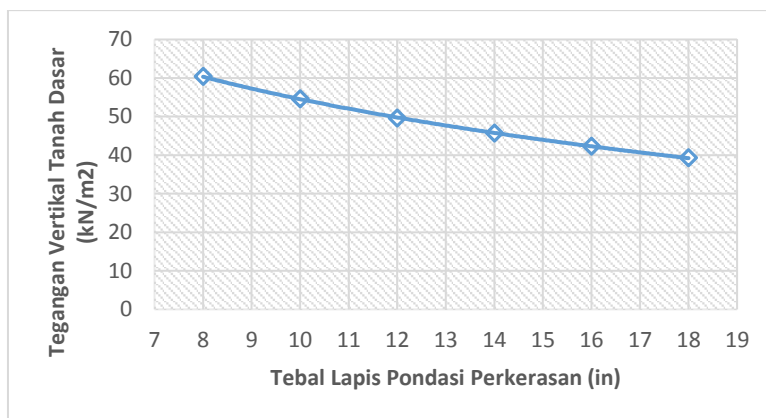
Keluaran analisis ELSYM5 adalah berupa tegangan vertikal yang terjadi pada berbagai titik tinjauan. Dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa tegangan vertikal maksimum yang terjadi pada struktur perkerasan adalah pada titik teratas pada lapisan permukaan tepat di bawah beban roda. Jika diamati pada sumbu-X, semakin jauh titik tinjauan dari titik pusat beban roda, tegangan vertikal yang diterima struktur perkerasan semakin kecil. Demikian juga dengan arah sumbu-Z, semakin jauh kedalaman titik tinjauan pada struktur perkerasan, semakin kecil pula tegangan vertikal yang terjadi pada titik tinjauan tersebut.

Dapat dilihat pada Gambar 6 bahwa tegangan vertikal maksimum yang terjadi pada struktur perkerasan adalah pada titik teratas pada lapisan permukaan tepat di bawah beban sumbu. Jika diamati pada sumbu-Y, semakin jauh titik tinjauan dari titik pusat beban sumbu, tegangan vertikal yang diterima struktur perkerasan semakin kecil. Demikian juga dengan arah sumbu-Z, semakin jauh kedalaman titik tinjauan pada struktur perkerasan, semakin kecil pula tegangan vertikal yang terjadi pada titik tinjauan tersebut.



Gambar 6 Vertical Stress Bulb Diagram pada Arah Y-Z

Dari hasil analisis tegangan vertikal pada struktur perkerasan diperoleh besar tegangan vertikal maksimum yang terjadi di tanah dasar untuk setiap *Dataset*. Besaran tegangan vertikal maksimum yang terjadi di tanah dasar untuk setiap *Dataset* ini berbeda-beda. Hasil analisis tegangan vertikal maksimum yang terjadi di tanah dasar untuk setiap *Dataset* dapat dijelaskan pada Gambar 7. Terlihat pada Gambar 7 bahwa semakin tebal lapis pondasi struktur perkerasan (*base*) yang digunakan, semakin kecil pula tegangan vertikal maksimum yang terjadi pada tanah dasar. Besarnya tegangan vertikal maksimum di tanah dasar untuk setiap *Dataset* dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 7 Tegangan Vertikal Maksimum di Tanah Dasar untuk Tebal Lapis Pondasi Struktur Perkerasan (*Base*) Antara 8-18 Inchi

Tabel 2 Tegangan Vertikal Maksimum di Tanah Dasar untuk Setiap *Dataset*

	Tebal Lapisan <i>Base</i> (inci)	Tegangan Vertikal di <i>Subgrade</i> (kN/m ²)
DataSet1	8	60,37741
DataSet2	10	54,58581
DataSet3	12	49,62848
DataSet4	14	45,70536
DataSet5	16	42,30625
DataSet6	18	39,31392

Dari hasil analisis didapat bahwa daya dukung tanah dasar minimum harus dapat menahan tegangan sebesar 60,37 kN/m² jika tebal lapisan fondasi pada struktur perkerasan yang digunakan adalah sebesar 8 inci. Semakin tebal lapisan fondasi pada struktur perkerasan yang digunakan, semakin kecil tegangan yang harus didukung oleh tanah dasar. Pada DataSet6 dengan tebal lapisan fondasi pada struktur perkerasan sebesar 18 inci, besarnya tegangan yang harus didukung oleh tanah dasar hanya sebesar 39,31 kN/m². Dengan menambah tebal lapisan fondasi pada struktur perkerasan sebesar 10 inci, besarnya tegangan yang harus didukung oleh tanah dasar berkurang sebesar 34,8% dari tegangan sebelumnya.

Berkurangnya tegangan yang harus didukung oleh tanah dasar akan berakibat berkurangnya kekuatan desain fondasi tiang pancang yang harus disediakan. Berkurangnya kekuatan desain fondasi tiang yang harus disediakan akan menyebabkan biaya konstruksi fondasi tiang pancang menjadi lebih rendah. Untuk setiap tebal lapis fondasi struktur perkerasan (*base*) yang digunakan, dapat dianalisis biaya yang diperlukan untuk konstruksi fondasi tiang pancang. Dengan menganalisis biaya gabungan dari biaya konstruksi struktur perkerasan dan biaya konstruksi fondasi tiang pancang, dapat dicari tebal lapis fondasi (*base*) yang paling optimum. Tebal lapis fondasi (*base*) optimum (yang menyebabkan biaya gabungan konstruksi struktur perkerasan dan biaya konstruksi fondasi tiang pancang minimum) inilah yang akan dipilih untuk menjadi tebal desain struktur perkerasan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pemodelan beban dan struktur perkerasan, dapat dilihat bahwa tegangan akibat beban yang diterima oleh lapis permukaan secara bertahap didistribusikan ke lapisan-lapisan perkerasan di bawahnya. Semakin jauh jarak horizontal dari pusat beban, semakin kecil tegangan yang diterima oleh lapis perkerasan. Begitu juga pada sumbu Z, semakin jauh kedalaman lapis perkerasan dari pusat beban, semakin kecil tegangan yang diterima oleh lapis perkerasan.

Distribusi tegangan pada setiap struktur perkerasan sangat dipengaruhi oleh modulus elastisitas dan ketebalan dari masing-masing lapis perkerasan. Dari hasil analisis struktur perkerasan dengan perangkat lunak ELSYM5, didapatkan bahwa daya dukung tanah dasar minimum harus dapat menahan tegangan sebesar $60,37 \text{ kN/m}^2$ untuk tebal lapisan *base* sebesar 8 inci dan sebesar $39,31 \text{ kN/m}^2$ untuk tebal lapisan *base* sebesar 18 inci. Berdasarkan hasil analisis dengan 6 *datasets* yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat bahwa semakin tebal lapisan fondasi pada struktur perkerasan yang digunakan, semakin kecil tegangan yang harus didukung oleh tanah dasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlinge, S.S. dan Gupta, A.K. 2013. *Pavement Deterioration and Its Causes*. International Journal of Innovative Research & Development, 2 (4): 437-450.
- Ahlborn, G. 1972. *ELSYM5 3/72-3, Elastic Layered System with One to Ten Normal Identical Circular Uniform Loads*, Institute of Transportation and Traffic Engineering. University of California at Berkeley.
- Carnahan, J.V., Davis, W.J., Shahin, M.Y., Keane, P.L., dan Wu, M.I. 1987. *Optimal Maintenance Decisions for Pavement Management*. Journal of Transportation Engineering, 113 (5): 554-572.
- Chehovits, J. dan Galehouse, L. 2010. *Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements*. Compendium of Papers from the First International Conference on Pavement Preservation, Chapter 1: Paper 65, hlm. 27-42.
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design (2nd Edition)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
- Jackson, N.C., Deighton, R., dan Huft, D.L. 1996. *Development of Pavement Performance Curves for Individual Distress Indexes in South Dakota Based on Expert Opinion*. Transportation Research Record 1524, hlm. 130-136. Washington DC: National Academy Press.
- Long, F., Harvey, J., Scheffy, C., dan Monismith, C.L. 2014. *Prediction of Pavement Fatigue for California Department of Transportation Accelerated Pavement Testing*

Program Drained and Undrained Test Sections. Transportation Research Record 1540, hlm. 105-114. Washington DC: National Academy Press.

Murthy, V.N.S. 2007. *Advanced Foundation Engineering.* New Delhi: CBS Publishers & Distributors.