

# RESPONS STRUKTUR PERKERASAN JALAN KOMPOSIT AKIBAT BEBAN LALU LINTAS DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DI KABUPATEN MERAUKE

**Bartolomeus Krimanto Pauta**  
MSTT DTSL FT  
Universitas Gadjah Mada  
Jln. Grafika 2, Kampus UGM  
Sleman, DIY 55281  
pautakris@mail.ugm.ac.id

**Bambang Suhendro**  
MSTT DTSL FT  
Universitas Gadjah Mada  
Jln. Grafika 2, Kampus UGM  
Sleman, DIY 55281  
bsuhendro@ugm.ac.id

**Latif Budi Suparma**  
MSTT DTSL FT  
Universitas Gadjah Mada  
Jln. Grafika 2, Kampus UGM  
Sleman, DIY 55281  
lbsuparma@ugm.ac.id

## Abstract

Tanah Miring–Kurik Road, Merauke is one of the national roads in Merauke Regency which has been reconstructed into composite pavement. Composite pavement is a combination of flexible pavement and rigid pavement. This study aims to determine the response of composite pavement structures due to vehicle loading and the effect of temperature on pavement. The response analysis of road pavement structures was carried out using the finite element method, using the SAP 2000 computer program. Pavements are idealized in 2 analysis models, namely the slab model on elastic foundations and the 3D Solid model. From the results of the analysis on the plate model on an elastic foundation, the maximum tensile stress that occurs in the concrete slab is 2.081 MPa at 6% subgrade CBR. The maximum tensile stress produced by the 3 Dimensional Solid model is 2.510 MPa. The pavement can withstand stresses due to the combined effects of temperature and vehicle loading up to a temperature gradient of 6°C on the subgrade CBR of 6%. The Hot Rolled Sheet layer can reduce the maximum tensile stress in concrete slabs by up to 9.7%, for slab models on elastic foundations, and 9%, for 3 Dimensional Solid models.

**Keywords:** composite pavement; road pavement; pavement structure response; finite element method.

## Abstrak

Jalan Tanah Miring–Kurik, Merauke adalah salah satu jalan nasional di Kabupaten Merauke yang telah direkonstruksi menjadi perkerasan komposit. Perkerasan komposit merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respons struktur perkerasan komposit akibat pembebanan kendaraan dan pengaruh temperatur pada perkerasan. Analisis respons struktur perkerasan jalan dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga, dengan memanfaatkan program komputer SAP 2000. Perkerasan diidealisasikan dalam 2 model analisis, yaitu model pelat pada fondasi elastis dan model *Solid* 3 Dimensi. Dari hasil analisis pada model pelat pada fondasi elastis, diperoleh tegangan tarik maksimum yang terjadi pada slab beton adalah 2,081 MPa pada CBR tanah dasar 6%. Tegangan tarik maksimum yang dihasilkan model *Solid* 3 Dimensi sebesar 2,510 MPa. Perkerasan dapat menahan tegangan akibat pengaruh kombinasi temperatur dan pembebanan kendaraan hingga pada gradien temperatur permukaan dan dasar perkerasan sebesar 6°C pada CBR tanah dasar 6%. Lapisan Hot Rolled Sheet dapat mengurangi tegangan tarik maksimal pada pelat beton hingga 9,7%, pada model pelat pada fondasi elastis, dan 9%, untuk model *Solid* 3 Dimensi.

**Kata-kata kunci:** perkerasan komposit; perkerasan jalan; respons struktur perkerasan; metode elemen hingga

## PENDAHULUAN

Jalan Tanah Miring–Kurik adalah salah satu jalan nasional di Kabupaten Merauke. Pada tahun 2019 telah dilakukan rekonstruksi, dari perkerasan lentur menjadi perkerasan komposit. Menurut Pavement Interactive (2022), perkerasan komposit adalah kombinasi

antara *Hot Mix Asphalt* (HMA) dan *Portland Cement Concrete* (PCC), yang biasanya merupakan hasil rehabilitasi PCC dengan *overlay* HMA. Keunggulan yang menonjol jenis perkerasan ini adalah konstruksi yang kuat, tahan lama, serta tetap nyaman bagi pengguna kendaraan yang melintas.

Pada umumnya dalam mendesain maupun menganalisis struktur perkerasan jalan masih digunakan metode empiris dengan persamaan, tabel, atau grafik yang sudah ditentukan berdasarkan kondisi tertentu. Pada metode tersebut, faktor lain, seperti pengaruh temperatur pada perilaku perkerasan, belum diperhitungkan secara signifikan. Padahal, kondisi lingkungan, yaitu temperatur, dapat memengaruhi kinerja perkerasan. Gradien temperatur ini memengaruhi perilaku perkerasan, baik perkerasan beraspal maupun perkerasan beton (Hardiyatmo, 2016). Tegangan akibat temperatur akan sangat berpengaruh pada perkerasan jalan ketika digabungkan dengan tegangan akibat beban kendaraan. Salah satu metode analisis yang dikembangkan untuk menganalisis struktur perkerasan jalan adalah metode elemen hingga (*finite element method*). Pengembangan metode elemen hingga yang *powerful* menjadi terobosan yang dibuat untuk analisis perkerasan kaku (Huang, 2004). Metode ini merupakan metode numerik yang diformulasikan berdasarkan prinsip analisis struktur dengan metode kekakuan. Metode elemen hingga dapat memodelkan berbagai bentuk struktur, mulai dari 1 dimensi hingga 3 dimensi, serta dapat memperhitungkan nonlinieritas material (Suhendro, 2000).

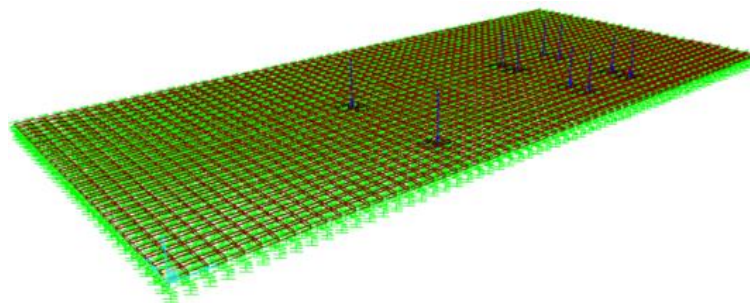
Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga dengan bantuan *software* komputer untuk pemodelan, yaitu SAP 2000. Perkerasan komposit akan dimodelkan dalam 2 model analisis, yaitu model *plate on elastic foundation* dan model *3-Dimension Solid*. Hasil analisis dapat digunakan sebagai bahan evaluasi hasil desain perkerasan jalan agar sesuai dengan kebutuhan pelayanan lalu lintas yang ada.

## METODE PENELITIAN

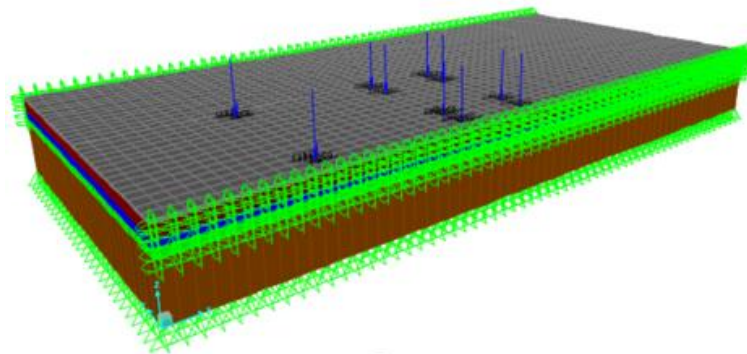
Perkerasan diidealisasikan dalam 2 model analisis, yaitu model pelat pada fondasi elastis dan model Solid 3 Dimensi. Beban kendaraan yang digunakan adalah beban gandar terberat, yaitu 8 ton, dengan konfigurasi gandar kendaraan 1.22 (DPU, 1983). Pengaruh temperatur menggunakan data hasil pengamatan pada kondisi nyata di lokasi jalan yang diobservasi.

Analisis pelat pada model pondasi elastis dilakukan dengan parameter variasi posisi beban dan nilai CBR tanah dasar yang direpresentasikan dalam modulus reaksi tanah dasar. Dimensi pelat beton yang dimodelkan adalah 15,0 m x 3,5 m. Terdapat 2 pelat yang dimodelkan yang disejajarkan arah memanjang sesuai dengan lajur jalan. Lapisan Hot Rolled Sheet (HRS) terletak di atas pelat beton dengan tebal 5 cm dimodelkan sebagai elemen *solid*. Tulangan *tie bar* dimodelkan dengan fungsi *constraint* dengan jarak 75 cm. Lapis fondasi dimodelkan sebagai *compression only element* yang di aplikasikan pada setiap nodal di bagian bawah pelat beton dengan nilai CBR tanah dasar 6% ( $k_s = 41.000 \text{ kN/m}^3$ ).

Model *Solid 3 Dimensi* mencakup lapisan beraspal di atas perkerasan beton dan semua lapisan di bawah pelat sampai subgrade akibat variasi posisi beban serta pengaruh temperatur. Data ketebalan lapisan dan sifat material yang digunakan dalam model diadopsi dari data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait, sedangkan data temperatur siang dan malam aktual diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan. Hasil analisis akan dibandingkan dengan tegangan izin yang ada dan dilakukan perhitungan untuk mengetahui durabilitas perkerasan akibat pengulangan beban. Pada model *3 dimension solid (3DS)* perkerasan jalan dimodelkan dalam *5 layer* dengan total tebal pemodelan adalah 1,55 m. Setiap lapisan dimodelkan secara berurutan, dari atas dengan tebal lapisan HRS 0,05 m, pelat beton 0,2 m, lapisan Cement-Treated Base (CTB) 0,15 m, Lapisan Pondasi Atas (LPA) kelas A 0,15 m, dan tanah timbun biasa 1 m. *Tie bar* dimodelkan dengan fungsi *constraint* dengan jarak 0,75 m. Karakteristik material tiap lapisan model perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 1** Model *Plate on Elastic Foundation*



**Gambar 2** Model *3 Solid Dimension*.

**Tabel 1** *Material Properties* Lapisan Perkerasan

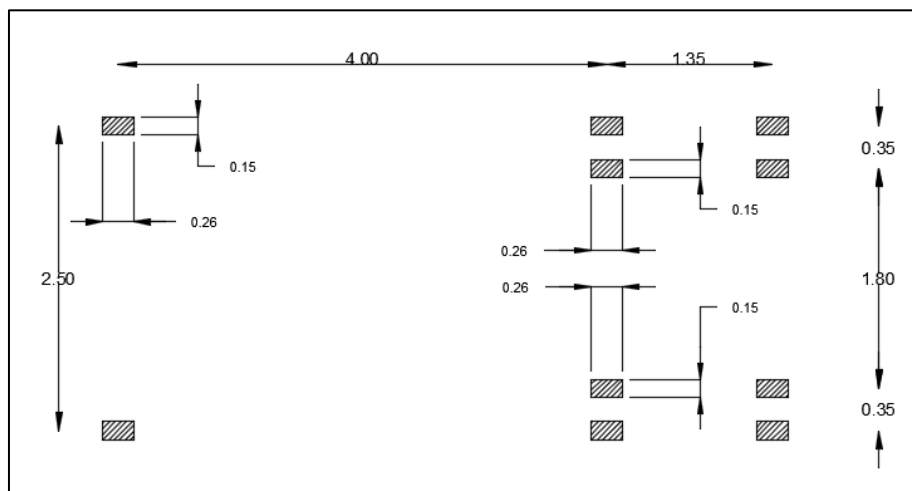
Lapisan	Tebal Lapisan (m)	Modulus Elastisitas (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Poisson's Ratio</i>
HRS	0,05	800.000	0,4
Pelat Beton	0,20	21.019.038	0,15
CTB	0,15	500.000	0,35
Lapis Agregat Kelas A	0,15	150.000	0,35
Tanah urug biasa	1,00	66.800	0,35

## Pembebanan

Beban yang diaplikasikan adalah beban kendaraan dengan muatan sumbu terberat 8 ton dengan konfigurasi sumbu 1.22. Pembebanan dimodelkan sebagai *surface pressure* dengan bidang kontak persegi yang telah diekivalensi berdasarkan beban dan tekanan roda kendaraan. Dimensi bidang kontak dan konfigurasinya disajikan pada Gambar 9.

**Tabel 2** Beban pada Roda Kendaraan

Jenis Roda	Beban Per Roda (kN)	Tekanan Permukaan Per Roda (kN/m <sup>2</sup> )
Roda tunggal	24,91	552
Roda ganda	18,68	481



**Gambar 3** Konfigurasi Roda Kendaraan dan Dimensi Bidang Kontak

## Fatigue

Untuk menghitung jumlah repetisi beban kendaraan berdasarkan rasio tegangan pada pelat beton, digunakan Persamaan (1) (Delatte, 2008).

$$\frac{\sigma}{S_c} \geq 0,55: \log N_t = 11,727 - 12,077 \left( \frac{\sigma}{S_c} \right) \quad (1)$$

$$0,45 < \frac{\sigma}{S_c} < 0,55: N_t = \left( \frac{4,2577}{\frac{\sigma}{S_c} - 0,4325} \right)^{3,268}$$

$$\frac{\sigma}{S_c} \leq 0,45: N_t = \text{tidak terbatas}$$

dengan:

$N_t$  = jumlah repetisi yang diijinkan;

$\sigma$  = tegangan *flexural* yang terjadi; dan

$S_c$  = modulus of rupture (MOR) beton.

Selain itu, model *fatigue* perkerasan beton baru telah dikembangkan untuk program komputer desain perkerasan beton StreetPave American Concrete Pavement Association atau StreetPave ACPA (Delatte, 2008). Peningkatan utamanya adalah dimasukkannya data kelelahan tambahan yang telah tersedia sejak persamaan *fatigue* Portland Cement Association (PCA) dikembangkan, dan dimasukkannya parameter *reliability*. Persamaan *fatigue* StreetPave ACPA ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$\log N_f = \left[ \frac{-SR^{-10,24} \log(1-P)}{0,0112} \right]^{0,217} \quad (2)$$

dengan:

$N_f$  = jumlah repetisi beban;

$P$  = kemungkinan kegagalan; dan

$SR$  = *stress ratio*

### Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur

Menurut Huang (2004), untuk menghitung besaran tegangan yang terjadi pada pelat beton akibat pengaruh temperatur digunakan Persamaan 3.

$$\sigma_x = \frac{E\alpha_t\Delta t}{2(1-\nu^2)} (C_x + \nu C_y) \quad (3)$$

$$\sigma_y = \frac{E\alpha_t\Delta t}{2(1-\nu^2)} (C_y + \nu C_x)$$

dengan:

$\sigma_x$  = total *curling stress* arah x;

$\sigma_y$  = total *curling stress* arah y;

$\alpha_t$  = koefisien ekspansi suhu;

$E$  = modulus elastisitas;

$\Delta t$  = selisih temperatur di permukaan dan dasar slab beton;

$\nu$  = *poisson's ratio*;

$C_x$  = faktor koreksi *finite slab* arah x; dan

$C_y$  = factor koreksi *finite slab* arah y.

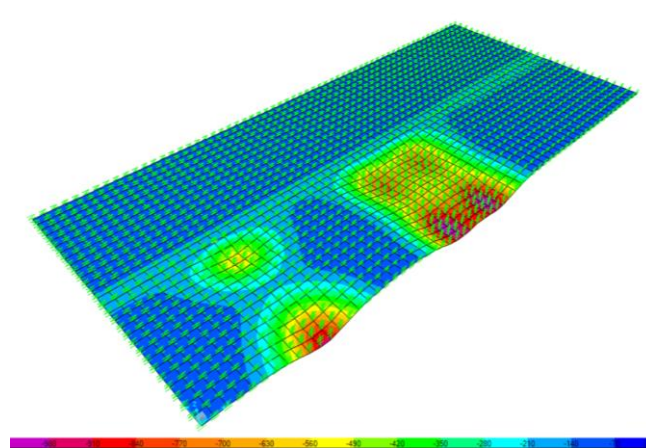
## HASIL PENELITIAN

### Tegangan Pada Pelat Beton

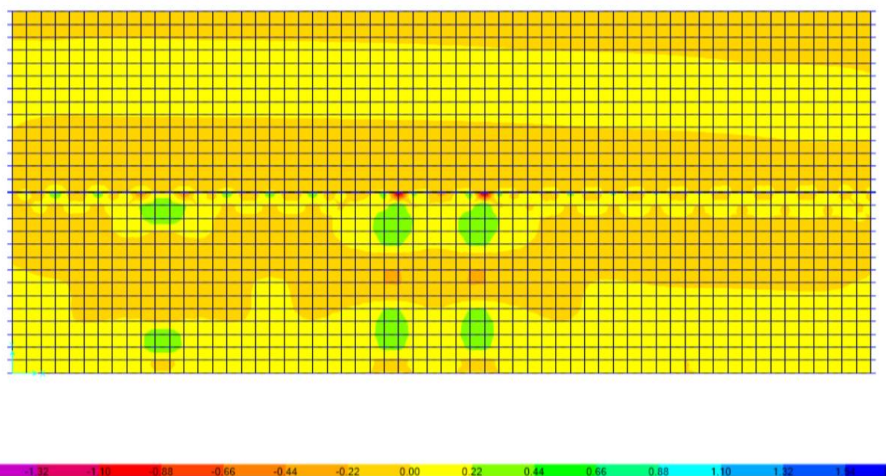
Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*), yang besarnya secara tipikal adalah (3–5) MPa (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003). Hasil analisis tegangan akibat variasi posisi tegangan pada model POEF dan 3DS dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4** Tegangan pada Pelat Beton Akibat Variasi Posisi Pembebanan

Posisi Pembebanan	Model		S11 (kN/m <sup>2</sup> )	S22 (kN/m <sup>2</sup> )	S33 (kN/m <sup>2</sup> )	S12 (kN/m <sup>2</sup> )	S13 (kN/m <sup>2</sup> )	S23 (kN/m <sup>2</sup> )
L1	POE	Min.	-612,28	-837,85	-	-309,78	-	-
		Max.	426,12	1525,47	-	213,19	-	-
	3DS	Min.	-1027,77	-1679,73	-653,38	-420,83	-247,26	-460,41
		Max.	1088,74	2064,16	383,64	400,85	184,13	890,49
L2	POE	Min.	-644,93	-544,545	-	-272,51	-	-
		Max.	321,85	1626,105	-	259,38	-	-
	3DS	Min.	-955,97	-1777,75	-659,86	-489,83	-251,49	-506,34
		Max.	1008,54	2285,00	438,11	466,96	205,32	978,37
L3	POE	Min.	-1122,96	-538,14	-	-327,37	-	-
		Max.	550,17	1137,21	-	326,505	-	-
	3DS	Min.	-1062,89	-1928,12	-629,43	-530,03	-244,33	-517,18
		Max.	1113,68	2487,60	292,98	526,11	205,83	787,86
L4	POE	Min.	-618,045	-777,75	-	-360,03	-	-
		Max.	428,13	2081,61	-	293,385	-	-
	3DS	Min.	-937,49	-1910,40	-603,81	-516,05	-198,77	-504,56
		Max.	988,03	2510,63	275,07	517,53	226,17	917,96

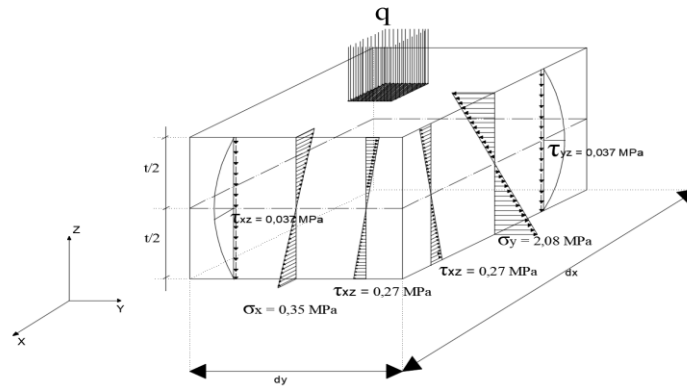


**Gambar 4** Deformed Shape Akibat Pembebanan Model 4 (Model POEF)

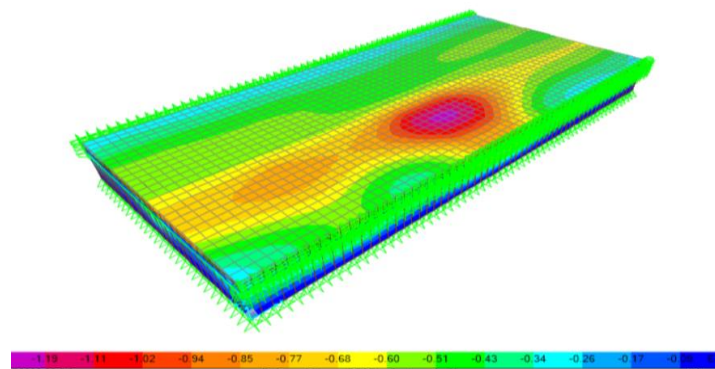


**Gambar 5** Distribusi Tegangan  $S_{yy}$  Akibat Pembebanan Model 4 (Model POEF)

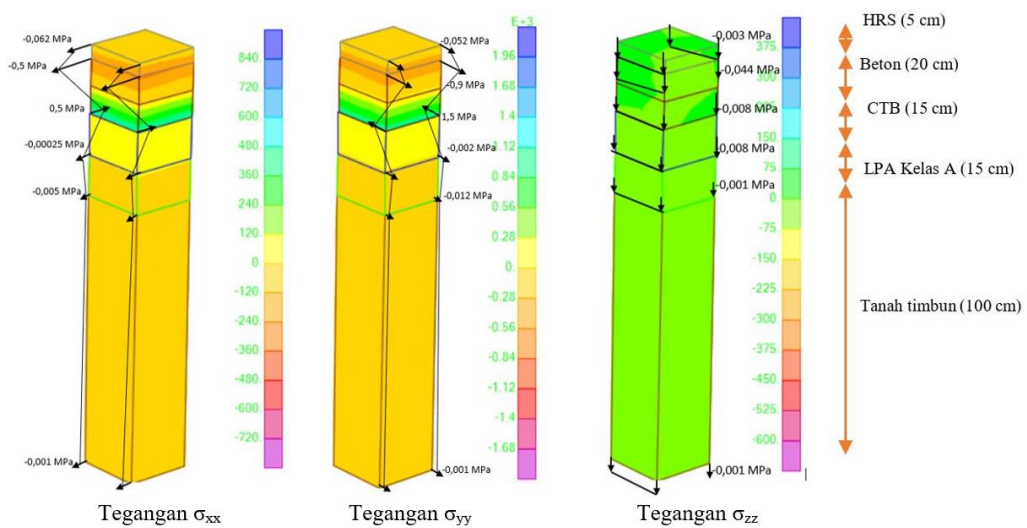
Pada model POEF dan 3DS, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada pelat beton dihasilkan oleh posisi pembebanan 4, dengan nilai masing-masing  $2081,61 \text{ kN/m}^2$  (2,08 MPa) dan  $2510,63 \text{ kN/m}^2$  (2,51 MPa). Tegangan tarik maksimal terjadi pada komponen  $S_{yy}$  dan besarnya tegangan tersebut tidak melewati nilai *modulus of rupture* (MOR) sebesar  $3130,495 \text{ kN/m}^2$  (3,13 MPa).



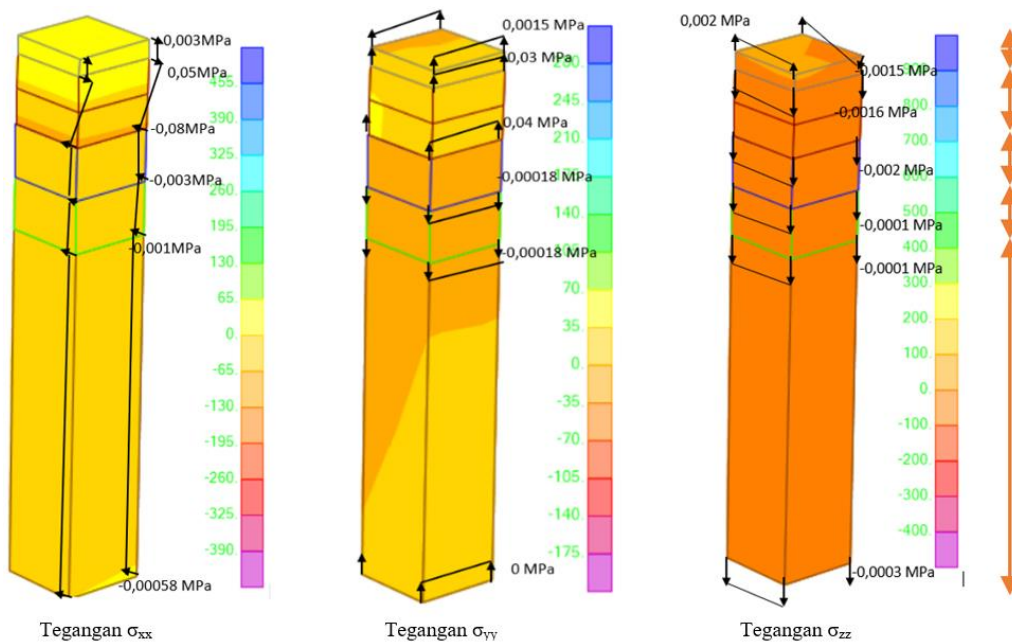
**Gambar 6** Diagram Tegangan Elemen Nomor Pelat Beton



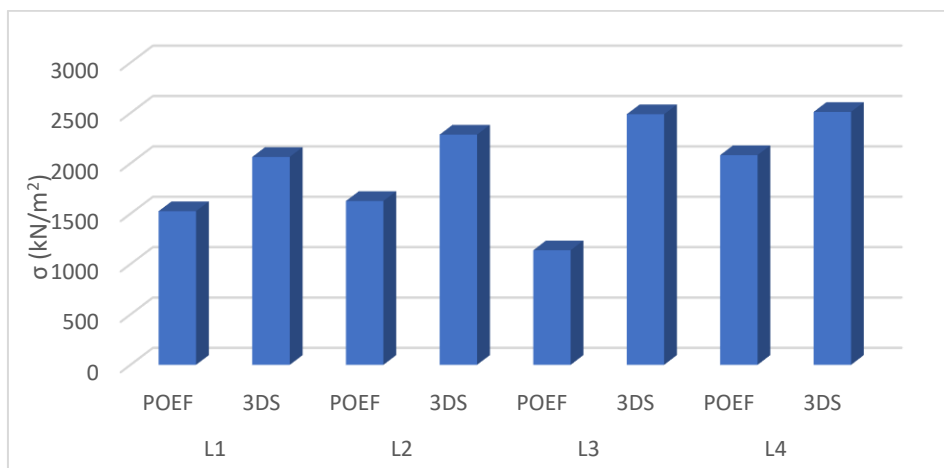
**Gambar 7** Deflected Shape akibat Pembebanan Model 4 (Model 3DS)



**Gambar 8** Distribusi Tegangan pada Tiap Lapisan Perkerasan Akibat Pembebanan Model 4 (Model 3DS)



**Gambar 8** Distribusi Tegangan pada Tiap Lapisan Perkerasan Akibat Pembebanan Model 4 (Model 3DS) (Lanjutan)



**Gambar 9** Perbandingan Tegangan Maksimal pada Slab Beton Akibat Variasi Pembebanan

Tegangan tarik pelat beton dapat berkurang hingga 9,4% untuk model *slab* pada fondasi elastis dan berkurang hingga 9% untuk model 3DS jika ada lapisan HRS setebal 5 cm di atas pelat beton. Tanpa lapisan HRS tegangan tarik yang terjadi tidak melewati nilai MOR yang diizinkan.

**Tabel 4** Perbandingan Tegangan Tarik Maksimal Pengaruh Lapisan HRS di Atas Pelat Beton

Model Analisis	Tegangan Tarik dengan Lapisan HRS (kN/m <sup>2</sup> )	Tegangan Tarik tanpa Lapisan HRS (kN/m <sup>2</sup> )	Persentase Pengurangan
POEF	2081,61	2276,49	9,4%
3DS	2510,63	2736,53	9,0%



## Pengaruh Temperatur

Pada penelitian ini, nilai modulus elastisitas lapisan HRS sesuai dengan nilai modulus elastisitas Direktorat Jendral Bina Marga (2017), yaitu sebesar 800 MPa pada temperatur 41°C. Temperatur permukaan lapisan HRS pada lokasi penelitian dapat mencapai 56°C pada siang hari. Temperatur lapis HRS dapat dihitung pada kedalaman 2 cm dari permukaan lapisan menggunakan persamaan dari SuperPave (1994).

$$T_{20\text{ mm}} = (T_{\text{surf}} + 17,78)(0,9545) - 17,78 \quad (4)$$

Modulus elastisitas lapisan beraspal pada temperatur tertentu dapat dihitung menggunakan Persamaan 5 (Hardwiyono, 2011).

$$\left[ \frac{E_t}{E_c} \right] = [A_s - B_s \log(t_a/C_a)] \quad (5)$$

dengan:

$E_c$  = modulus elastisitas rujukan (MPa);

$E_t$  = modulus elastisitas pada temperatur tertentu (MPa);

$t_a$  = temperatur lapis perkerasan (°C);

$t_c$  = temperatur rujukan (°C); dan

$A_s, B_s$  = konstanta.

Dengan nilai-nilai faktor  $A_s$  sebesar 1 dan  $B_s$  sebesar 3,5 (Hardwiyono, 2011), koreksi modulus elastisitas lapisan beraspal dapat dihitung sebagai berikut.

$$\left[ \frac{E_t}{E_c} \right] = [A_s - B_s \log(t_a/C_a)]$$

$$t_a = (t_{\text{surf}} + 17,78)(0,9545) - 17,78$$

$$t_a = (56 + 17,78)(0,9545) - 17,78$$

$$t_a = 52,64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\left[ \frac{E_t}{800} \right] = [1 - 3,5 \log(52,64/41)]$$

$$E_t = 496,11 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan, modulus elastisitas lapisan HRS pada temperatur permukaan 56 °C turun menjadi 496,11 MPa. Akibatnya, tegangan yang terjadi pada pelat beton meningkat. Besaran tegangan yang terjadi pada pelat beton akibat pengaruh temperatur pada lapisan HRS disajikan pada Tabel 5.

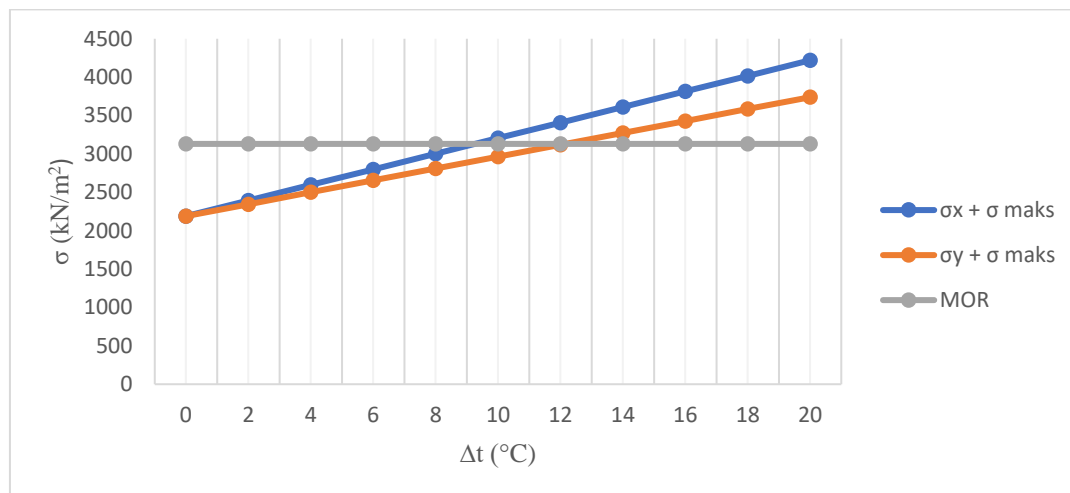
**Tabel 5** Perbandingan Tegangan Tarik Maksimal pada Pelat Beton Akibat Pengaruh Temperatur pada Lapisan HRS

Model Analisis	Tegangan Tarik Maksimal pada Pelat Beton (kN/m <sup>2</sup> )		Persentase Kenaikan
	41°C	52,64°C	
POEF	2081,61	2189,85	5,2%
3DS	2510,63	2552,34	2%

*Curling stress* disebabkan karena adanya perbedaan temperatur di permukaan dan di dasar pelat beton, yang disebabkan gradien temperatur. Dari hasil perhitungan pada Tabel 6, perkerasan dapat menahan tegangan akibat pengaruh kombinasi temperatur dan pembebanan kendaraan hingga pada gradien temperatur permukaan dan dasar perkerasan sebesar 6°C pada CBR tanah dasar 6% ( $k_s = 41.000 \text{ kN/m}^3$ ).

**Tabel 6** Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur pada Slab Beton

Lx (m)	Ly (m)	E (kN/m <sup>2</sup> )	D (m)	k (kN/m <sup>3</sup> )	ϑ	Δt (°C)	αt (/°C)	σx (kN/m <sup>2</sup> )	σy (kN/m <sup>2</sup> )
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	0	0,000009	0,00	0,00
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	2	0,000009	202,94	154,82
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	4	0,000009	405,89	309,64
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	6	0,000009	608,83	464,46
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	8	0,000009	811,78	619,28
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	10	0,000009	1014,72	774,10
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	12	0,000009	1217,67	928,92
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	14	0,000009	1420,61	1083,74
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	16	0,000009	1623,55	1238,56
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	18	0,000009	1826,50	1393,38
15	3,5	21019039	0,2	41.000	0,15	20	0,000009	2029,44	1548,21



**Gambar 10** Kombinasi Tegangan Akibat Pembebanan dan Pengaruh Temperatur

### Analisis Fatigue

Persamaan *fatigue* PCA mengasumsikan 90% *reliability*, yang berarti kemungkinan terjadi kegagalan struktur sebelum umur perkerasan dicapai adalah 10% (Delatte, 2008). Oleh karena itu, dalam persamaan StreetPave parameter P bernilai 10%. Nilai rasio tegangan dihitung dengan perbandingan antara tegangan maksimal yang terjadi dan nilai modulus runtuh 3130,495 kN/m<sup>2</sup> (3,13 MPa). Hasil perhitungan repetisi maksimal pembebanan ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7** Analisis *Fatigue*

$\Delta t$ (°C)	SR (POEF)	SR (3DS)	Repetisi maksimal (PCA)		Repetisi maksimal (StreetPave)	
			POEF	3DS	POEF	3DS
-	0,70	0,81	1875	88	995	147
6	0,89	1,01	9	-	57	-
8	0,96	1,07	1	-	30	-
10	1,02	1,13	-	-	-	-
12	1,09	1,20	-	-	-	-

Berdasarkan hasil analisis *fatigue* model *plate on elastic foundation* jumlah repetisi yang bisa dilayani perkerasan akibat pengaruh beban kendaraan mencapai 1875 kali untuk persamaan PCA dan 995 kali untuk persamaan StreetPave. Untuk hasil analisis model 3 *Dimension Solid*, jumlah repetisi yang bisa dilayani perkerasan akibat pengaruh beban kendaraan mencapai 88 kali untuk persamaan PCA dan 147 kali untuk persamaan StreetPave. Perkerasan jalan hanya dapat melayani repetisi beban kurang dari 100 kali ketika tegangan akibat pengaruh temperatur ditambahkan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan di Jalan Tanah Miring–Kurik, Merauke, yang merupakan salah satu jalan nasional di Kabupaten Merauke dan yang telah direkonstruksi menjadi perkerasan komposit. Penelitian dilakukan untuk mengetahui respons struktur perkerasan komposit tersebut akibat pembebanan kendaraan dan pengaruh temperatur pada perkerasan.

Dari hasil analisis pada model *plate on elastic foundation*, tegangan tarik maksimum yang terjadi pada slab beton adalah 2,081 MPa pada CBR tanah dasar 6%. Tegangan tarik maksimal yang dihasilkan model 3 *Dimension Solid* sebesar 2,510 MPa. Tegangan tarik maksimal yang dihasilkan oleh kedua model tidak melampaui nilai *Modulus of Rupture* sebesar 3,130 MPa.

Perkerasan dapat menahan tegangan akibat pengaruh kombinasi temperatur dan pembebanan kendaraan hingga pada gradien temperatur permukaan dan dasar perkerasan sebesar 6°C pada CBR tanah dasar 6%. Lapisan HRS dapat mengurangi tegangan tarik maksimal pada pelat beton hingga 9,7%, pada model *plate on elastic foundation*, dan 9%, untuk model 3 *Dimension Solid*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Delatte, N. 2008. *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*. New York, NY: Taylor & Francis.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. *Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/se/db/2017*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.

- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. *Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, Pd T 14-2003*. Jakarta.
- Hardwiyono, S. 2011. *Pengaruh Perubahan Suhu pada Modulus Elastik Lapisan Beraspal Perkerasan Lentur dalam Pengujian Regangan Berbeda*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 14 (1): 72–80.
- Hardiyatmo, H.C. 2016. *Alternatif Solusi Pembangunan Perkerasan Jalan pada Subgrade Berdaya Dukung Rendah*. Prosiding Seminar Nasional Geoteknik. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Huang, H.Y. 2004. *Pavement Analysis and Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Huber, G.A. 1994. *Weather Database for the SUPERPAVE TM Mix Design System SHRP-A-648A*. The Heritage Group. Strategic Highway Research Program. National Research Council. Washington, DC.
- Pavement Interactive. 2022. *Composite Pavement*. (Online), (<https://pavementinteractive.org/glossary/composite-pavements>, diakses 7 Juli 2022).
- Suhendro, B. 2000. *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Beta Offset.