

PERANCANGAN ULANG KONSTRUKSI JALAN MENGUNAKAN SISTEM PELAT TERPAKU SEBAGAI PERKERASAN PADA JALAN POROS SAMARINDA-BONTANG

Wahyu Fitriyani
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
wahyu.fitriyani@mail.ugm.ac.id

Suryo Hapsoro Tri Utomo
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
suryohapsoro@ugm.ac.id

Hary Christady Hardiyatmo
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
hary.christady@ugm.ac.id

Abstract

Section SP.3 Lempake–SP.3 Sambera is the section with the highest traffic volume on Jalan Poros Samarinda–Bontang, resulting in a lot of pavement damage. The damage to the road segment was caused by several factors, namely heavy vehicles, poor soil characteristics, non-functioning drainage, and the road section is located in the lowlands. The purpose of this research is to design a nailed slab system as a pavement to be used as an alternative to road pavement. The design was carried out using the AASHTO method and the Beam on Elastic Foundation method, with the load P at the center and at 0.30 m from the edge of the plate. The equivalent modulus reaction obtained for the AASHTO method was 48,515.785 kN/m³ and the resulting pavement slab thickness was 32.26 cm. While the Beam on Elastic Foundation method uses an equivalent modulus reaction value of 127,715.785 kN/m³ and the resulting pavement slab thickness is 20 cm. However, nailed slab system pavements are more expensive, because the total cost to be incurred is IDR 549,846,268,988, which is much higher than the total cost for conventional pavements, which is IDR 292,549,365,858.

Keywords: road pavement; rigid pavement; nailed slab system; conventional pavement.

Abstrak

Ruas SP.3 Lempake–SP.3 Sambera merupakan ruas dengan volume lalu lintas tertinggi di Jalan Poros Samarinda–Bontang, sehingga mengalami banyak kerusakan. Kerusakan pada ruas jalan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kendaraan berat, karakteristik tanah yang kurang baik, drainase tidak berfungsi, dan ruas jalan terletak di dataran rendah. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pelat terpaku sebagai perkerasan untuk dijadikan alternatif perkerasan jalan. Perancangan dilakukan dengan metode AASHTO dan metode *Beam on Elastic Foundation*, dengan beban P di pusat dan di 0,30 m dari tepi pelat. Nilai modulus reaksi ekuivalen yang diperoleh untuk metode AASHTO adalah 48.515,785 kN/m³ dan tebal pelat perkerasan yang dihasilkan adalah 32,26 cm. Sedangkan metode Beam on Elastic Foundation menggunakan nilai modulus eaksi ekuivalen 127.715,785 kN/m³ dan tebal pelat perkerasan yang dihasilkan adalah 20 cm. Akan tetapi, perkerasan sistem pelat terpaku lebih mahal, karena total biaya yang harus dikeluarkan adalah Rp549.846.268.988, yang mana nilai ini jauh lebih besar daripada total biaya untuk perkerasan konvensional, yaitu Rp292.549.365.858.

Kata-kata kunci: perkerasan jalan; perkerasan kaku; sistem pelat terpaku; perkerasan konvensional.

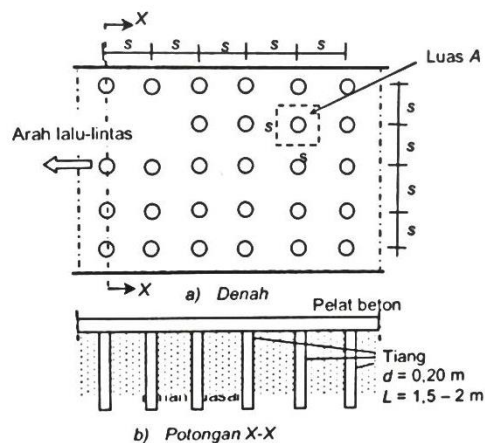
PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Timur memiliki beberapa kategori jalan nasional, yang salah satunya adalah Jalan Poros Samarinda–Bontang. Jalan ini berfungsi sebagai akses utama jalur darat bagi kendaraan ketika berpergian dari Kota Samarinda menuju Kota Bontang dan sekitarnya. Ruas Jalan Poros Samarinda–Bontang terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pertama

ruas SP.3 Lempake–SP.3 Sambera sepanjang 21,9 km, ruas kedua SP.3 Sambera–Santan sepanjang 30,81 km, dan ruas Santan–Bontang sepanjang 47,92 km. Dari ketiga ruas jalan tersebut, ruas jalan yang paling tinggi volume lalu lintasnya adalah ruas jalan SP.3 Lempake–SP.3 Sambera, karena banyak perkantoran, perusahaan tambang, dan aktivitas lainnya di area yang dilayani. Volume lalu lintas tinggi konstruksi jalan pada ruas tersebut mengalami kerusakan yang cukup parah. Kerusakan semakin bertambah karena dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya, yaitu drainase yang tidak berfungsi, karakteristik tanah yang tidak cukup baik, dan kawasan berada pada dataran rendah. Oleh karena itu, ruas SP.3 Lempake–SP.3 Sambera membutuhkan suatu alternatif konstruksi jalan yang efisien, aman, dan kuat, yaitu konstruksi jalan yang menggunakan sistem pelat terpaku.

Sistem Pelat Terpaku

Sistem pelat terpaku merupakan penemuan dan perkembangan sistem cakar ayam modifikasi, yang dilakukan oleh Hardiyatmo (2008). Hardiyatmo (2019) menjelaskan bahwa sistem pelat terpaku merupakan perkerasan kaku yang menggunakan pelat beton dengan tebal (12-20) cm, yang didukung dengan tiang-tiang beton mini dengan panjang (150-200) cm dan diameter (15-20) cm. Keduanya dihubungkan secara monolit menggunakan tulangan, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Sumber: Hardiyatmo (2008)

Gambar 1 Perkerasan Beton dengan Sistem Pelat Terpaku

Modulus Reaksi Tanah Ekivalen (k')

Tiang-tiang beton mini yang dihubungkan dengan tebal pelat beton secara monolit melalui tulangan memberikan pengaruh terhadap kenaikan modulus reaksi tanah dasar (k), yang diakibatkan oleh daya dukung tanah di bawah pelat dan tiang. Untuk kenaikan modulus reaksi tanah dasar yang diakibatkan oleh tiang, keseimbangan gaya-gaya yang bekerja perlu ditinjau kembali terhadap pelat yang didukung oleh sebuah tiang (Hardiyatmo, 2011). Kenaikan modulus reaksi tanah yang diakibatkan oleh tanah dan tiang tersebut disebut dengan modulus reaksi tanah dasar ekivalen (k'). Hardiyatmo (2008) menjelaskan peran dan kontribusi modulus reaksi tanah dasar ekivalen (k') ketika terjadi gerakan perpindahan

secara vertikal pada pelat. Perhitungan modulus reaksi ekivalen (k') dapat menggunakan persamaan:

$$k' = k + \Delta k \quad (1)$$

dengan:

k' = modulus reaksi ekivalen (kN/m^3)

k = modulus reaksi efektif akibat lapis pondasi bawah (kN/m^3)

Δk = modulus reaksi akibat pengaruh dukungan tiang-tiang beton mini (kN/m^3)

METODOLOGI

Perancangan pada studi ini menggunakan sistem pelat terpaku sebagai alternatif perkerasan jalan. Dua metode digunakan, yaitu metode AASHTO (1993) dan metode analisis struktur *Beam on Elastic Foundation* (BoEF).

Metode AASHTO

Perhitungan tebal perkerasan sistem pelat terpaku dengan metode AASHTO sama seperti perhitungan tebal perkerasan kaku biasa pada umumnya. Namun nilai modulus reaksi yang digunakan dalam perhitungan adalah modulus reaksi tanah dasar ekivalen (k'), Penentuan tebal perkerasan menggunakan metode AASHTO dilakukan secara iterasi dengan menggunakan persamaan:

$$\log_{10} W_{18} = z_R S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0,25}} \right]} \right] \quad (2)$$

dengan:

C_d = koefisien drainase

D = tebal pelat beton rencana (cm)

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

J = koefisien penyaluran beban

k = modulus reaksi tanah dasar (kN/m^3)

p_t = kemampuan pelayanan akhir

ΔPSI = kehilangan kemampuan pelayanan

S_o = deviasi standard keseluruhan

S'_c = kuat lentur beton (MPa)

W18 = beban gandar standar kumulatif (ESAL)

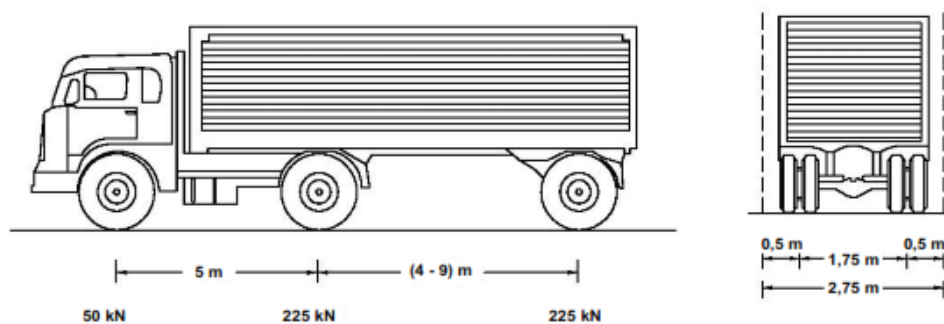
Z_R = deviasi standard normal

Metode *Beam on Elastic Foundation*

Perhitungan metode *Beam on Elastic Foundation* (BoEF) dilakukan dengan menggunakan program BoEF dan secara manual menggunakan Microsoft Excel. Pada Metode BoEF, perancangan tebal perkerasan menggunakan prinsip *trial and error*, hingga memenuhi persyaratan ketiga gaya dalam, yaitu lendutan, momen, dan gaya lintang, dengan dimensi pelat beton dan tiang beton yang sudah ditentukan. Perhitungan gaya dalam pada metode BoEF dilakukan saat beban titik P berada dalam 2 kondisi, yaitu beban P di pusat pelat dan beban P di 0,30 m dari tepi pelat.

Pembebanan

Tulangan dalam sistem pelat terpaku dirancang sebagai struktur yang dapat menahan beban roda, sesuai dengan SNI 1725-2016 (BSN, 2016) Beban roda yang diambil ialah beban T, seperti yang terlihat dalam Gambar 2.



Sumber: BSN (2016)

Gambar 2 Pembebanan T (500 kN) Menurut SNI 1725-2016

Beban titik P yang digunakan dalam perhitungan nilai modulus reaksi ekuivalen dan metode BoEF ialah satu sisi roda 112,5 kN, kemudian dikali faktor beban hidup 1,6, yang mengacu pada SNI 2847-2019 (BSN, 2019). Pengali faktor beban tersebut dimaksudkan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya beban roda yang lebih besar.

Tulangan

Penetapan kebutuhan tulangan untuk pelat beton sistem pelat terpaku mengacu pada SNI 2847-2019. Perhitungan kuat geser (V_r), kebutuhan tulangan lentur (A_s), dan pengendalian retak (z) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$V_r = \phi V_n \quad (3)$$

$$A_s = \frac{0,85f'_c ab}{f_y} \quad (4)$$

dengan:

ϕ = faktor reduksi

f_c' = tegangan tekan beton (MPa)

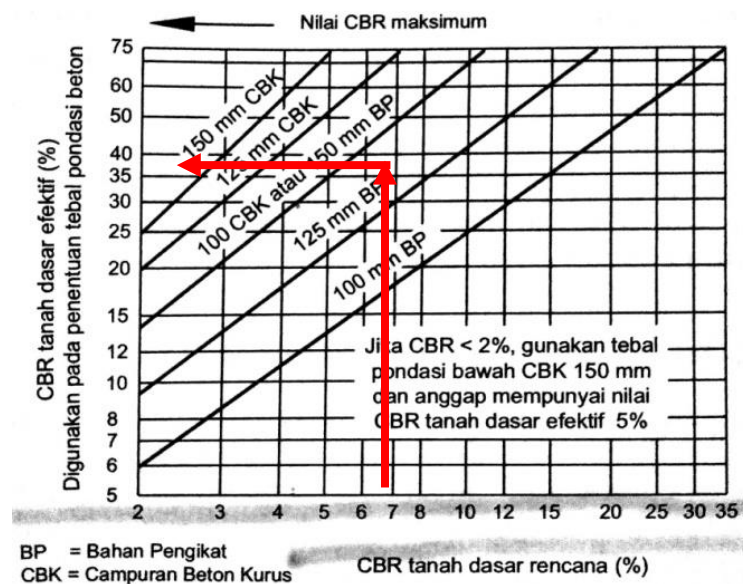
f_y = tegangan leleh (MPa)

V_n = kuat geser nominal (N/m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Modulus Reaksi Ekuivalen

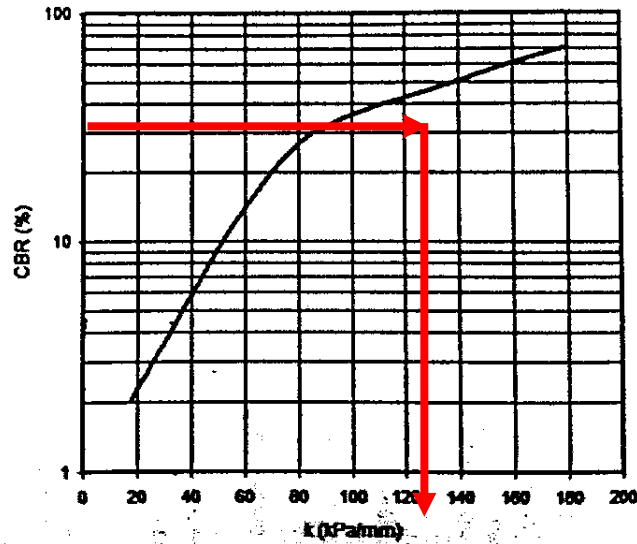
Perhitungan nilai modulus reaksi tanah dasar akibat lapis pondasi bawah (kv) dan akibat dukungan tiang untuk metode BoEF maupun untuk metode AASHTO ditentukan berdasarkan hubungan antara nilai CBR rencana 6% dan tebal lapis pondasi bawah (lihat Gambar 3). Berdasarkan grafik tersebut diperoleh CBR tanah dasar efektif 42%, sehingga nilai modulus reaksi (kv) akibat pondasi bawah dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan grafik pada Gambar 4, diperoleh nilai modulus reaksi akibat pondasi bawah (kv) sebesar 120.000 kN/m³. Namun untuk metode AASHTO, nilai modulus reaksi akibat pondasi bawah (kv) perlu dihitung juga kehilangan dukungan (LS) dengan menggunakan Gambar 5.



Sumber: Austroads (1992); Departemen Kimpraswil (2003)

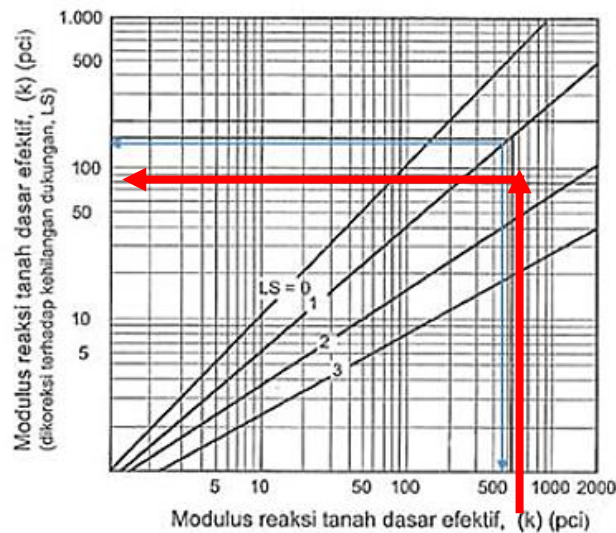
Gambar 3 Hubungan Antara CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah

Berdasarkan Gambar 5, hasil perhitungan modulus reaksi ekuivalen (k') untuk metode AASHTO maupun untuk metode BoEF dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1). Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



Sumber: Austroads (1992); FAA (1995)

Gambar 4 Hubungan antara kv dengan CBR Efektif



Sumber: AASHTO (1993)

Gambar 5 Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi terhadap Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi

Tabel 1 Nilai modulus reaksi ekivalen (k')

No.	Metode	Nilai k'	Satuan
1	BoEF	127.715,785	kN/m^3
2	AASHTO	48.515,785	kN/m^3

Peran nilai k' sangat berpengaruh dalam penentuan tebal pelat beton. Hal ini disebabkan nilai k' memperhitungkan dukungan kontribusi tiang yang dicor secara monolit dengan pelat, sehingga semakin besar nilai k' , semakin kecil tebal pelat yang dibutuhkan.

Tebal Perkerasan

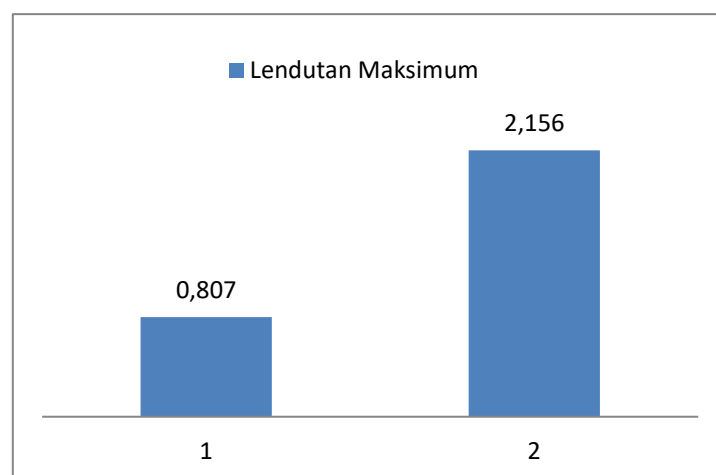
Tebal perkerasan yang digunakan dalam perancangan sistem pelat terpaku sebagai perkerasan dapat dilihat dalam Tabel 2. Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan yang terdapat pada Tabel 2, diperoleh tebal pelat beton yang cukup jauh berbeda antara metode AASHTO dengan metode BoEF, sedangkan tebal lapis pondasi bawah yang digunakan sama, yaitu 10 cm dengan jenis campuran beton kurus. Hasil perhitungan sistem pelat terpaku menunjukkan bahwa nilai modulus reaksi ekuivalen (k') berpengaruh terhadap perhitungan tebal pelat beton. Tebal pelat beton pada metode AASHTO jauh lebih besar, karena nilai k' yang lebih kecil daripada metode BoEF. Tebal pelat dengan metode BoEF lebih tipis, yaitu 20 cm, sebab nilai k' yang dihasilkan besar.

Tabel 2 Tebal Perkerasan

No.	Metode	Tebal Pelat	Tebal Lapis Pondasi Bawah	Satuan
1	BoEF	20	10	cm
2	AASHTO	32,26	10	cm

Nilai Gaya Dalam

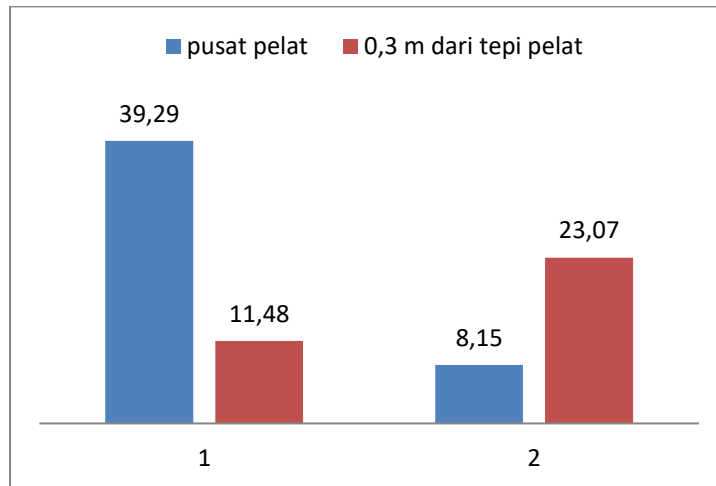
Perhitungan nilai gaya dalam dengan menggunakan program BoEF menghasilkan nilai lendutan, momen, dan gaya lintang. Jarak yang ditinjau dalam perhitungan tersebut ialah 8 m dengan sebanyak 101 titik. Beban yang digunakan dalam perhitungan adalah beban titik P dengan berat 180 kN. Beban P yang ditinjau ada dua, yaitu saat beban P berada di pusat pelat dan saat beban P berada 0,30 m dari tepi pelat. Nilai maksimum untuk masing-masing lendutan, momen, dan gaya lintang dapat dilihat pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



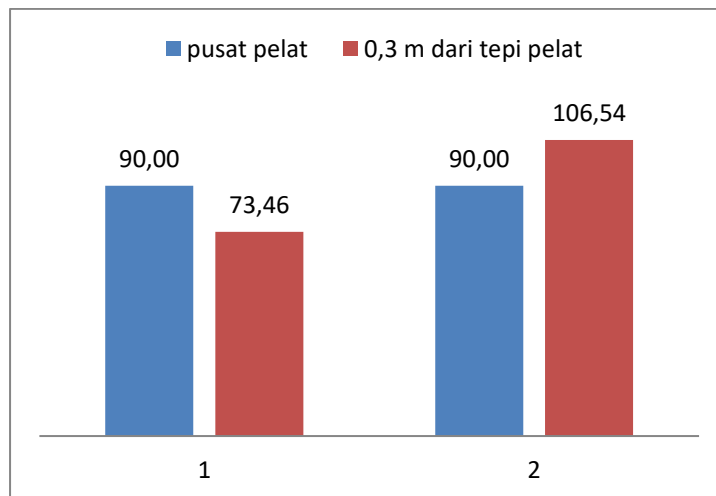
Gambar 6 Hasil Perhitungan Lendutan Maksimum

Berdasarkan *output* lendutan, momen dan gaya lintang untuk masing-masing kondisi beban P di pusat dan 0,3 m dari tepi pelat, diperoleh nilai gaya dalam maksimum pada kedua kondisi tersebut, yaitu:

- 1) Lendutan 2,156 mm (0,3 m tepi pelat), lebih kecil dari 2,78 mm (1/360 menurut SNI 2847-2019);
- 2) Momen 39,286 kNm (pusat pelat); dan
- 3) Gaya lintang 106,543 kN/m (0,3 m tepi pelat).



Gambar 7 Hasil Perhitungan Momen Maksimum

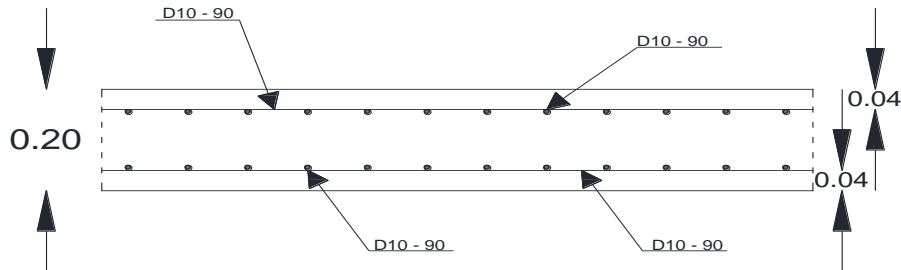


Gambar 8 Hasil Perhitungan Gaya Lintang Maksimum

Kebutuhan Tulangan

Nilai kuat geser harus lebih besar daripada gaya lintang maksimum yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya. Hasil perhitungan kuat geser pelat beton (V_r) dengan menggunakan persamaan (3) memberikan nilai sebesar 114,624 kN/m. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, nilai V_r lebih besar daripada V_{maks} , atau 114,624 kN/m lebih besar dari 106,543 kN/m, sehingga kuat geser aman.

Tulangan lentur dihitung dengan menggunakan nilai momenn maksimum yang telah didapat, yang di-input ke persamaan (4). Dari perhitungan tersebut diperoleh kebutuhan luas tulangan (A_s) sebesar 821,3197 mm². Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$) yang harus dipenuhi adalah 573,12 mm², sehingga berdasarkan hasil perhitungan A_s dan $A_{s \text{ min}}$ diambil yang terbesar, yaitu 821,3197 mm². Berdasarkan nilai terbesar tersebut, kebutuhan tulangan dapat diperoleh adalah D10–90 mm (dengan A_s sebesar 8733 mm², lebih besar dari 822 mm²).



Gambar 9 Dimensi Tulangan Pelat Beton

Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) perancangan ulang konstruksi jalan menggunakan sistem pelat terpaku sebagai perkerasan di Jalan Poros Samarinda–Bontang, hanya meliputi struktur perkerasan, penyediaan dan pemasangan tiang beton, dan tulangan. RAB yang dihitung ada 2 macam, yaitu RAB untuk perkerasan kaku konvensional (biasa) dan RAB untuk pelat kaku nonkonvensional (sistem pelat terpaku).

RAB pada sistem pelat terpaku menggunakan hasil perhitungan menggunakan metode BoEF, sedangkan RAB untuk perkerasan kaku biasa berdasarkan data desain di lapangan. Hasil perhitungan RAB dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa RAB kedua jenis perkerasan, perkerasan nonkonvensional atau sistem pelat terpaku, jika ditinjau berdasarkan kekuatan dan tebal pelatnya, jauh lebih aman dan lebih kuat dibandingkan dengan perkerasan kaku biasa, namun biaya yang dikeluarkan jauh lebih mahal daripada biaya untuk perkerasan biasa.

Tabel 3 RAB Perkerasan Konvensional dan Nonkonvensional

No.	Jenis Perkerasan	Total Harga Pekerjaan
1	Perkerasan Konvensional	Rp292.549.365.858
2	Perkerasan Nonkonvensional	Rp549.846.268.988

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa tebal pelat pada perkerasan sistem pelat terpaku metode BoEF jauh lebih tipis, yaitu sebesar 20 cm, dibandingkan dengan tebal pelat pada perkerasan menggunakan metode AASHTO, yaitu 32,26 cm. Tebal pelat beton tipis tidak membuat RAB pada sistem pelat terpaku murah,

bahkan jauh lebih mahal, karena adanya perhitungan terhadap penyediaan dan pemasangan tiang-tiang beton mini, sehingga total RAB yang diperlukan adalah Rp549.846.268.988. Pelat beton perkerasan kaku konvensional lebih tebal, namun RAB yang diperlukan jauh lebih murah, yaitu Rp292.549.365.858, sehingga perkerasan kaku konvensional jauh lebih efisien untuk digunakan.

Perkerasan kaku konvensional lebih efisien, karena harganya yang lebih murah, namun tidak lebih kuat. Penggunaan sistem pelat terpaku sebagai perkerasan jauh lebih kuat dan lebih aman, sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif perkerasan di Jalan Poros Samarinda–Bontang jika sewaktu-waktu terjadi permasalahan yang tidak dapat diselesaikan dengan perkerasan kaku biasa.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guide for the Design of Pavement Structures*. Washington, DC.
- Austrroads. 1992. *Pavement Design., A Guide to the Structural Design of Road Pavements. Design of New Rigid Pavement*. Sydney, NSW.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2016. *Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725:2016, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)*. SNI 2847:2019. Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Kimpraswil). 2003. *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Pedoman Konstruksi Bangunan, Pd. T-14-2003. Jakarta.
- Federal Aviation Administration (FAA). 1995. *Advisory Circular, Airport Pavement and Evaluation*. Washington, DC.
- Hardiyatmo. 2008. *Sistem Pelat Terpaku (Nailed Slab) Untuk Perkuatan Pelat Beton pada Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Penanganan Sarana Prasarana. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo. 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo. 2019. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.