

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	8

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 4 (2025): October
DOI: 10.21070/ijins.v26i4.1751

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

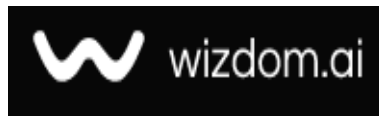
How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact ^(*)



Save this article to Mendeley



^(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Bisar 3.0 for Analytical Road Pavement Design: Bisar 3.0 untuk Desain Jalan Beraspal Analitis

Bisar 3.0 untuk Desain Jalan Beraspal Analitis

N. Riwiwono, n.riwiwono@ahmaddahlan.ac.id, ()

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi dan Bisnis Ahmad Dahlan Lamongan, Indonesia

Wahyu Tri Prambudi, n.riwiwono@ahmaddahlan.ac.id, ()

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi dan Bisnis Ahmad Dahlan Lamongan, Indonesia

Fibia Sentaury Cahyaningrum, n.riwiwono@ahmaddahlan.ac.id, ()

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi dan Bisnis Ahmad Dahlan Lamongan, Indonesia

Menik Ariyanti, n.riwiwono@ahmaddahlan.ac.id, ()

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi dan Bisnis Ahmad Dahlan Lamongan, Indonesia

M. Alvan Rizki, n.riwiwono@ahmaddahlan.ac.id, ()

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

Background: Safe and comfortable road pavement is a fundamental requirement, yet most designs rely on empirical methods that limit the ability to analyze detailed structural behavior. **Specific Background:** Analytical methods allow comprehensive evaluation of pavement layer strength, enabling faster and more precise calculations. **Knowledge Gap:** Limited studies have applied Bisar 3.0 guided by the Nottingham Design Method to calculate strain and service life in pavements using CTB (Concrete Treated Base) and Class B aggregate layers. **Aim:** This study applies the Bisar 3.0 program to determine road service life under fatigue cracking and permanent deformation criteria. **Results:** Calculations show analytical methods predict a longer service life ($\sim \pm 20$ years) than empirical methods. Higher foundation stiffness and low average daily traffic reduce service life, and fatigue cracking criteria indicate a longer lifespan than permanent deformation. **Novelty:** Integration of Bisar 3.0 with Nottingham Design Method for precise service life estimation provides a detailed analytical approach rarely applied in road pavement studies. **Implications:** Findings support engineers in optimizing pavement design, selecting appropriate layer materials, and predicting long-term road performance more accurately.

Highlights:

- Analytical design predicts longer road service life than empirical methods
- Fatigue cracking lifespan exceeds permanent deformation lifespan
- Bisar 3.0 enables rapid and precise calculation of pavement layer strains

Keywords: Road Pavement, Analytical Method, Bisar 3.0, Nottingham Design Method, Service Life

Pendahuluan

Kebutuhan jalan yang aman dan nyaman mutlak harus dipenuhi. Sehingga dalam perancangannya harus mempertimbangkan beberapa faktor yaitu struktur lapis perkerasan dan suhu perkerasan. Ketebalan dan jenis material harus dipertimbangkan dalam desain struktur lapis perkerasan. Sedangkan faktor suhu perkerasan sangat berperan dalam penentuan jenis aspal. Pengetahuan tentang nilai kekakuan (*stiffness*) dalam proses desain perkerasan lentur perlu dikembangkan.

Dalam perancangan perkerasan jalan metode yang sering digunakan adalah Metode Empiris, yang mengacu kepada hasil "*full scale test*" yang dilakukan di Ottawa, Amerika Serikat awal tahun 60-an [1]. Berikut beberapa metode empiris dalam perancangan tebal perkerasan jalan : Metode Asphalt Institute (TAI, 1970), Metode AASHTO 1972 (AASHTO, 1972), Metode Analisa Komponen 1987 (SNI, 2002), Metode Road Note 29, dan Metode Road Note 31. Pedoman desain perkerasan lentur yang dikeluarkan oleh Bina Marga merupakan modifikasi AASHTO dari Amerika dan AUSTROADS dari Australia. Sejauh ini, sudah ada empat pedoman desain perkerasan lentur yang digunakan yaitu : Bina Marga Pt. T-01-2002-B, Bina Marga Pd. T-05-2005-B, Bina Marga No. 001/BT/2010 dan Bina Marga No.02/M/BM/2013. Hasil perancangan tebal perkerasan jalan lentur dengan keempat metode tersebut sudah sesuai dengan pedoman perkerasan jalan lentur yang selama ini digunakan [2]. Penelitian pada Jalan Lingkar Timur Surabaya menunjukkan bahwa Metode Bina Marga 2002 merupakan metode yang paling efektif dalam desain perkerasan jalan tersebut dengan menggunakan lapis pondasi Agregat Kelas A dan Kelas B [3]. Perencanaan tebal perkerasan lentur juga dapat dilakukan dengan Pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 [4], [5]. Pedoman tersebut merupakan pelengkap dari pedoman desain perkerasan PtT-01-2002-B dan Pd T-14-2003. Dengan Pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan 2017, umur pelayanan jalan dapat diketahui berdasarkan elemen perkerasan [6]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Arthono dan Pransiska diperoleh kesimpulan bahwa tebal lapis perkerasan lentur hasil perhitungan menggunakan Metode AASTHO 1993 lebih besar dibandingkan dengan menggunakan Metode SNI-1932-1989-F [7]. Penelitian tentang perbandingan perencanaan perkerasan lentur dengan Metode AASHTO 1993 dan Manual Desain Perkerasan (MDP) Bina Marga 2017 juga telah dilakukan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Bina Marga 2017 memiliki lapis permukaan dan lapis pondasi yang lebih tebal daripada menggunakan Metode AASHTO 1993 [8], [9]. Selain itu, untuk menambah umur pelayanan jalan sebelum terjadi kegagalan struktur terjadi maka dilakukan perbaikan berupa pemberian lapis tambahan (*overlay*). Perhitungan tebal lapis tambahan (*overlay*) dapat dilakukan dengan pedoman Metode AASHTO seperti yang telah dilakukan oleh Surandono dan Suci [10]. Berdasarkan penelitian Maharani dan Wasono, disimpulkan bahwa umur pelayanan perkerasan kaku lebih lama tanpa adanya perawatan/perbaikan non struktural bila dibandingkan dengan perkerasan lentur [11]. Penelitian mengenai perkerasan lentur di atas tanah ekspansif juga telah dilakukan. Perubahan kadar air tanah dasar ekspansif dapat mengakibatkan terjadinya deformasi pada struktur perkerasan lentur [12], [13]. Penggunaan program komputer untuk membantu proses desain perkerasan jalan perlu dikembangkan. Salah satu program yang digunakan dalam desain tebal perkerasan lentur adalah program Kenpave. Program tersebut sangat membantu dalam perancangan tebal perkerasan jalan. Sehingga perbandingan desain perkerasan jalan dengan beberapa metode seperti metode Analisa Komponen dan Austroads dapat dengan mudah dilakukan [14].

Perancangan struktur perkerasan jalan menggunakan metode analitis juga perlu dikembangkan. Beberapa metode analitis dalam perancangan perkerasan struktur perkerasan jalan adalah metode Asphalt Institute (1982) dan *Nottingham Design Method* [15]. Metode analitis struktur perkerasan jalan memiliki beberapa keunggulan diantaranya dapat melakukan berbagai macam variasi komponen seperti data ketebalan, modulus elastisitas, dan angka *poisson ratio* sehingga proses desain menjadi lebih cepat. Salah satu program desain perkerasan jalan menggunakan metode analitis adalah program BISAR (*Bitumen Stress Analysis in Roads*). Program tersebut dikembangkan berdasarkan *Nottingham Design Method* oleh Shell Research. Perhitungan nilai tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan *displacements* dapat lebih mudah dihitung dalam satu sistem berlapis-lapis yang elastis dengan bantuan program ini. Kekakuan (*stiffness*) aspal dalam analisis struktur perkerasan jalan dengan *Nottingham Design Method* bergantung pada parameter nilai penetrasi aspal awal, suhu udara di lapangan dan kecepatan rata-rata kendaraan. Dalam desain campuran aspal perkerasan jalan juga harus mempertimbangkan bentuk dari agregat yang akan digunakan sebagai bahan dari lapis pondasi perkerasan jalan [16]. Oleh karena itu, pengetahuan mengenai pengaruh kekakuan (*stiffness*) susunan lapis perkerasan dalam proses desain perkerasan lentur menggunakan program Bisar 3.0 perlu dikembangkan.

Metode

Metode analitis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Nottingham Design Method*. Nilai regangan (*strain*) yang terjadi pada lapis perkerasan dihitung dengan menggunakan program Bisar 3.0. Selanjutnya pedoman Bina Marga 2002 [17] digunakan untuk menghitung nilai kekakuan (*stiffness*) lapis pondasi dan konversi satuan umur pelayanan jalan dalam msa (*millions of standard axles*) ke tahun. Berikut langkah-langkah desain perkerasan jalan yang dilakukan pada penelitian ini :

1. Menghitung Beban Gandar Standar Kendaraan

Menurut Sukirman [18] beban standar adalah beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 18.000 lbs atau setara dengan 8,16 ton.

2. Menghitung Kekakuan Tanah Dasar ($E_3 = S_3$)

Nilai kekakuan tanah dasar dapat dikorelasikan secara kasar dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) maupun nilai IP (*Index Plastisitas*) tanah dasar [19] menggunakan persamaan berikut :

$$S_s = 10 \times \text{CBR (1)}$$

$$S_s = 70 - \text{IP (2)}$$

dengan S_s = kekakuan tanah dasar (MPa)

3. Menghitung Kekakuan Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Korelasi nilai kekakuan (*stiffness*) dan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) pada lapis pondasi bawah granular menggunakan nomogram Bina Marga 2002 [17].

4. Menghitung Kekakuan Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Nilai kekakuan (*stiffness*) lapis pondasi atas CTB (*Concrete Treated Base*) dihitung menggunakan nilai kuat tekan pada umur 7 hari dengan Pedoman Bina Marga 2002 [17]. Berikut persamaan yang sesuai berdasarkan nomogram pada Pedoman Bina Marga 2002 [17] tersebut :

$$S_{\text{CTB}} = 0,005\sigma + 4,02 \text{ (3)}$$

5. Menghitung Kekakuan Bitumen (S_b)

Faktor temperatur desain digunakan untuk menghitung besarnya pengaruh temperatur terhadap nilai kekakuan bitumen. Berikut persamaan untuk menghitung temperatur desain berdasarkan kriteria kerusakan menggunakan suhu udara rerata tahunan ($^{\circ}\text{C}$) [19] :

a. Kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*)

$$T_d = 1,92 \text{ T (4)}$$

b. Kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*)

$$T_d = 1,47 \text{ T (5)}$$

Selain faktor temperatur desain, kekakuan bitumen juga dipengaruhi oleh waktu pembebanan (*loading time*). Menurut Brown dan Brunton [19] persamaan yang sesuai untuk menghitung waktu pembebanan (*loading time*) adalah sebagai berikut :

$$\log t = 5 \times 10^{-4} h - 0,2 - 0,94 \log v \text{ (6)}$$

dengan :

t = waktu pembebanan (detik)

h = ketebalan lapisan (mm)

v = kecepatan kendaraan (km/jam)

Selanjutnya nilai kekakuan bitumen dihitung dengan persamaan yang telah diturunkan oleh Ullidtz (1979) sebagai berikut [19] :

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-\text{PI}_r} (\text{SP}_r - T)^5 \text{ (7)}$$

dengan :

S_b = kekakuan bitumen (MPa)

t = waktu pembebanan (detik)

PI_r = *recovered penetration index* (0,1 mm)

SP_r = *recovered softening point* ($^{\circ}\text{C}$)

T = temperatur desain ($^{\circ}\text{C}$)

Nilai *Penetration Index* dihitung dengan persamaan yang telah ditetapkan oleh Pfeiffer dan Van Doormaal (1936) sebagai berikut [20] :

(8)

Penetration Index = (9)

Menurut Brown dan Brunton [19] *Recovered Penetration Index* dan *Recovered Softening Point* (SP_r) dihitung dengan persamaan berikut :

(10)

(11)

dengan P_i = penetrasi aspal awal (0,1 mm)

Penggunaan persamaan nilai kekakuan bitumen tersebut mempunyai batasan berikut :

$t = 0,01$ sampai dengan 0,10 detik

$PI_r = -1$ sampai dengan $+1$

$(SP_r - T) = 20$ °C sampai dengan 60 °C

Nilai kekakuan bitumen diperkirakan dengan nomogram Van der Poel (1954) bila salah satu nilai dari batasan tersebut tidak terpenuhi [21].

6. Menghitung Kekakuan Campuran Elastik

Menurut Heukelom dan Klomp (1964), nilai kekakuan campuran elastik (S_{me}) dihitung dengan persamaan berikut [22], [23] :

$$S_{me} = S_b \quad (12)$$

$$n = 0,83 \log \quad (13)$$

$$C_v = \quad (14)$$

dengan :

S_{me} = kekakuan campuran elastik (MPa)

S_b = kekakuan bitumen (MPa)

C_v = konsentrasi volume agregat (%)

n = konstanta kekakuan campuran elastik berdasarkan kekakuan bitumen

V_A = *volume of aggregate* (%)

V_B = *volume of binder* (%)

Persamaan tersebut hanya berlaku untuk kepadatan dengan volume rongga kurang dari 3% sedangkan untuk kepadatan dengan volume rongga lebih besar dari 3% menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C'_v = \quad (15)$$

dengan :

C'_v = modifikasi konsentrasi volume agregat (%)

VIM = *voids in mix*/volume rongga udara dalam campuran (%)

Persamaan tersebut berlaku apabila volume konsentrasi bitumen (C_b) memenuhi nilai $C_b > 2/3 (1 - C'_v)$. Berikut persamaan untuk menghitung besarnya volume konsentrasi bitumen (C_b) :

$$C_b = \quad (16)$$

dengan :

V_A = *volume of aggregate* (%)

V_B = *volume of binder* (%)

7. Menghitung Horisontal dan Vertikal *Strain*

Nilai horisontal dan vertikal *strain* dihitung dengan program Bisar 3.0. Nilai horisontal *strain* yang digunakan adalah ϵ_t (*asphalt mix horizontal tensile strain*). Sedangkan nilai vertikal *strain* yang digunakan adalah ϵ_z (*subgrade vertical strain*). Berikut gambar *worksheet* dan alur pengerjaan program BISAR 3.0 :

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	20.006	0.1100	0.0000	-0.1650	0.000	0.0
2	20.006	0.1100	0.0000	0.1650	0.000	0.0
3	20.006	0.1100	0.0000	1.6650	0.000	0.0
4	20.006	0.1100	0.0000	1.9950	0.000	0.0

Figure 1. **Gambar 1.** Worksheet Program BISAR 3.0.

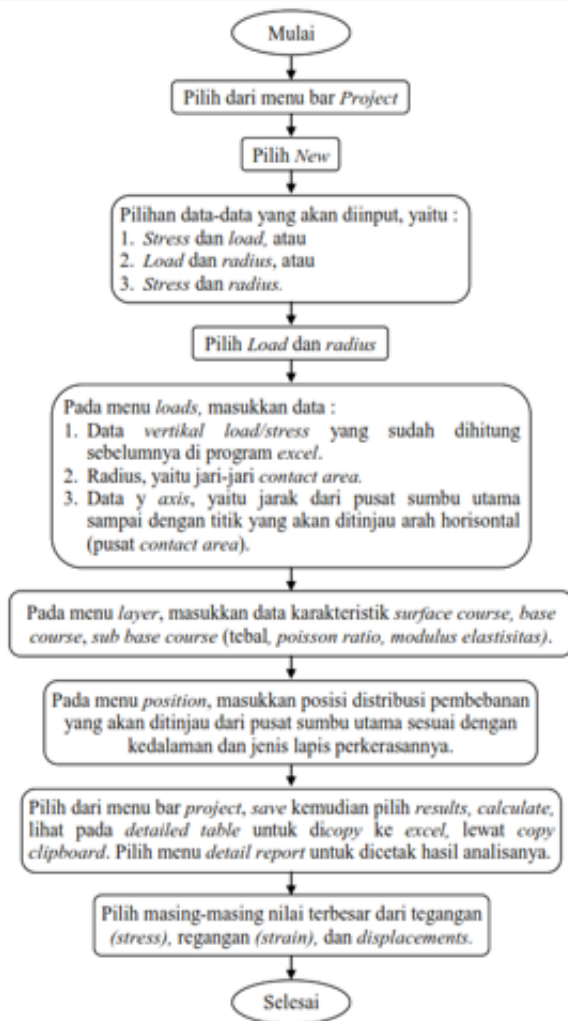


Figure 2. **Gambar 2.** Prosedur Pengerjaan Program BISAR 3.0.

8. Menghitung Umur Pelayanan Jalan

Menurut Brown dan Brunton [19], umur pelayanan jalan pada kriteria retak lelah dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\log N = 15,8 \log \varepsilon_t - k - (5,13 \log \varepsilon_t - 14,39) \log V_B - (8,63 \log \varepsilon_t - 24,2) \log SP_i \quad (17)$$

dengan :

N = umur pelayanan (msa)

ε_t = asphalt mix horizontal tensile strain (μ strain)

k = konstanta retak lelah (kondisi kritis, $k = 46,82$ dan kondisi gagal, $k = 46,06$)

V_B = volume of binder (%)

SP_i = initial softening point ($^{\circ}C$)

Sedangkan umur pelayanan jalan pada kriteria deformasi permanen menurut Brown dan Brunton (1986) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

1. Kondisi kritis

$$N = f_r \quad (18)$$

2. Kondisi gagal

$$N = f_r (19)$$

dengan :

N = jumlah kumulatif beban sumbu standar selama umur pelayanan (msa)

ε_z = subgrade vertical strain (μ strain)

f_r = rut factor

Nilai rut factor untuk beberapa tipe material adalah sebagai berikut :

Hot rolled asphalt : 1,00

Dense bitumen macadam : 1,56

Modified rolled asphalt : 1,37

Modified dense bitumen macadam : 1,5 2

Pada *standard rolled asphalt* keadaan aman dapat diasumsikan $f_r = 1$. Selanjutnya, dilakukan konversi umur pelayanan jalan satuan msa (*millions of standard axles*) ke tahun dengan prosedur Bina Marga (Departemen Pekerjaan Umum). Berikut langkah-langkah konversi umur pelayanan jalan satuan msa (*millions of standard axles*) ke tahun :

a. Menghitung angka ekivalen beban gandar sumbu kendaraan (E)

Berdasarkan pedoman Bina Marga [24] angka ekivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu kendaraan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Angka ekivalen Sumbu Tunggal Roda Tunggal} = \left[\frac{\text{beban sumbu dalam ton}}{5,40} \right]^4 \quad (20)$$

$$\text{Angka ekivalen Sumbu Tunggal Roda Ganda} = \left[\frac{\text{beban sumbu dalam ton}}{8,16} \right]^4 \quad (21)$$

$$\text{Angka ekivalen Sumbu Dual Roda Ganda} = \left[\frac{\text{beban sumbu dalam ton}}{13,76} \right]^4 \quad (22)$$

$$\text{Angka ekivalen Sumbu Triple Roda Ganda} = \left[\frac{\text{beban sumbu dalam ton}}{18,45} \right]^4 \quad (23)$$

Figure 3.

b. Menentukan faktor distribusi arah (D_D) dengan Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Koefisien Distribusi Kendaraan (D_D) [24]

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 Arah	2 Arah	1 Arah	2 Arah
1 Jalur	1,000	1,000	1,000	1,000
2 Jalur	0,600	0,500	0,700	0,500
3 Jalur	0,400	0,400	0,500	0,475
4 Jalur	-	0,300	-	0,450
5 Jalur	-	0,250	-	0,425
6 Jalur	-	0,200	-	0,400

Figure 4. **Tabel 1.** Koefisien Distribusi Kendaraan (D_D) [24]

Keterangan : *) Mobil Penumpang

Keterangan : **) Truk dan Bus

c. Menentukan faktor distribusi lajur (D_L) dengan Tabel 2 berikut :

Jumlah Lajur Per Arah	% Beban Gandar Standar Dalam Lajur Rencana
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Figure 5. **Tabel 2.** Faktor Distribusi Lajur (D_L) [17]

d. Menghitung umur pelayanan jalan berdasarkan jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif dengan persamaan Bina Marga adalah sebagai berikut [17] :

$$W_t = W_{18} \times (24)$$

dengan :

W_t = jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif

W_{18} = beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \hat{W}_{18}$$

$\hat{W}_{18}$ = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah

n = umur pelayanan (tahun)

g = perkembangan lalu lintas (%)

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, proses desain perkerasan jalan dilakukan menggunakan program Bisar 3.0 yang berpedoman pada *Nottingham Design Method* untuk menghitung nilai *strain* yang terjadi pada lapis perkerasan jalan. Selanjutnya, nilai *strain* tersebut digunakan untuk menghitung umur pelayanan jalan berdasarkan kriteria kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan deformasi permanen (*permanent deformation*). Susunan lapis perkerasan yang digunakan dalam desain perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar berikut :

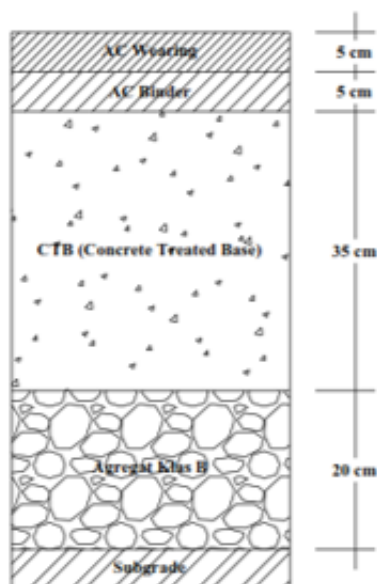


Figure 6. **Gambar 3.** Susunan lapis perkerasan jalan

Selanjutnya, dilakukan perhitungan parameter yang mempengaruhi kekuatan struktur jalan sesuai dengan desain yang diinginkan. Berikut langkah-langkah perhitungan desain perkerasan yang dilakukan pada penelitian ini :

1. Menghitung waktu pembebanan (*loading time*)

$$h = h_{AC-WC} + h_{AC-BC} = 50 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$\log t = 5 \times 10^{-4} h - 0,2 - 0,94 \log v \rightarrow v = 58,36 \text{ km/jam}$$

$$\log t = 5 \times 10^{-4} \times 100 - 0,2 - 0,94 \log 58,36$$

$$\log t = -1,81 \Rightarrow t = 0,0155 \text{ detik}$$

2. Menghitung suhu perkerasan (*temperatur desain*)

$$\text{dengan } T = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{desain retak leleh}} = 1,92 T = 1,92 \times 27 \text{ }^{\circ}\text{C} = 51,84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{desain deformasi permanen}} = 1,47 T = 1,47 \times 27 \text{ }^{\circ}\text{C} = 39,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. Menghitung kekakuan campuran elastik

$$\text{dengan } P_i = 67,3 \text{ dan } SP = 49,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$98,4 - 26,35 \times \log (0,65 \times 67,3) = 55,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A = [\log 800 - \log (67,3)] / (49,3 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 0,0442$$

$$PI = (20 - 500A) / (50A + 1)$$

$$PI = (20 - 500 \times 0,0442) / (50 \times 0,0442 + 1) = -0,6545$$

$$PI_r = (27,00 \times \log P_i - 21,65) / (76,35 \times \log P_i - 232,82)$$

$$PI_r = (27,00 \times \log 67,3 - 21,65) / (76,35 \times \log 67,3 - 232,82) = -0,2971$$

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-PI_r} (SP_r - T)^5$$

Batasan penggunaan rumus kekakuan bitumen :

$$t = 0,01 \text{ sampai dengan } 0,10 \text{ detik} \rightarrow \text{diperoleh } t = 0,0155 \text{ detik}$$

$$PI_r = -1 \text{ sampai dengan } +1 \rightarrow \text{diperoleh } PI_r = -0,2971$$

$$(SP_r - T) = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ sampai dengan } 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{diperoleh } (SP_r - T_{\text{desain retak leleh}}) = 55,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 51,84 \text{ }^{\circ}\text{C} = 3,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{diperoleh } (SP_r - T_{\text{desain deformasi permanen}}) = 55,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 39,69 \text{ }^{\circ}\text{C} = 15,51 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Nilai $(SP_r - T)$ tidak termasuk diantara $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga S_b dicari dengan Nomogram Modulus Kekakuan Bitumen Van der Poel, (1954)

$$\text{dengan } t = 0,0155 \text{ detik}$$

$$\text{dengan } (SP - T_{\text{desain retak leleh}}) = (49,3 \text{ }^{\circ}\text{C} - 51,84 \text{ }^{\circ}\text{C}) = -2,54 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{dengan } (SP - T_{\text{desain deformasi permanen}}) = (49,3 \text{ }^{\circ}\text{C} - 39,69 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 9,61 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{dengan } PI = -0,6545$$

$$\text{diperoleh } S_{b \text{ kriteria retak leleh}} = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\text{diperoleh } S_{b \text{ kriteria deformasi permanen}} = 1,0 \text{ MPa}$$

Berikut perhitungan modifikasi konsentrasi volume agregat (C'_v) :

Lapis AC-WC

$$\text{dengan } V_B = 12,59\%; V_A = 81,99\%; VIM = 5,42\%$$

$$C_v = = = 0,8669$$

$$C'_v = = = 0,8932$$

$$C_b = = = 0,1331$$

$$2/3 (1 - C'_v) = 2/3 (1 - 0,8932) = 0,0712$$

$$C_b > 2/3 (1 - C'_v) \rightarrow \text{Memenuhi syarat}$$

Lapis AC-BC

dengan $V_B = 12,16\%$; $V_A = 83,31\%$; $VIM = 4,52\%$

$$C_v = = = 0,8726$$

$$C'_v = = = 0,8992$$

$$C_b = = = 0,1274$$

$$2/3 (1 - C'_v) = 2/3 (1 - 0,8992) = 0,0672$$

$$C_b > 2/3 (1 - C'_v) \rightarrow \text{Memenuhi syarat}$$

$$n = 0,83 \log$$

Kriteria Kerusakan Retak Lelah (*Fatigue Cracking*)

$$n = 0,83 \log = 4,25$$

Lapis AC-WC

$$S_{me} = 0,3$$

$$S_{me} = 746,64 \text{ MPa}$$

Lapis AC-BC

$$S_{me} = 0,3$$

$$S_{me} = 933,47 \text{ MPa}$$

Kriteria Kerusakan Deformasi Permanen (*Permanent Deformation*)

$$n = 0,83 \log = 3,82$$

Lapis AC-WC

$$S_{me} = 1,0$$

$$S_{me} = 1588,12 \text{ MPa}$$

Lapis AC-BC

$$S_{me} = 1,0$$

$$S_{me} = 1947,03 \text{ MPa}$$

4. Menghitung kekakuan lapis pondasi atas (*base course*)

Nilai kuat tekan CTB (*Concrete Treated Base*) 7 Hari (σ) = $141,47 \text{ kg/cm}^2 = 2011,845 \text{ Psi}$

$$S_{CTB} = 0,005\sigma + 4,02$$

$$S_{CTB} = 0,005 \cdot 2011,845 + 4,02$$

$$S_{CTB} = 14,079224350 \cdot 10^5 \text{ Psi}$$

$$S_{CTB} = 1407922,435 \text{ Psi}$$

$$S_{CTB} = 99003,0543 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{CTB} = 9900,31 \text{ MPa}$$

5. Menghitung kekakuan lapis pondasi bawah (*sub base course*)

Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) *Soaked* 100% Agregat Klas B = 62,50% diperoleh :

$$S_g = 18 \times 1000 \text{ Psi}$$

$$S_g = 1265,734 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_g = 126,5734 \text{ MPa} \gg 126,6 \text{ MPa}$$

6. Menghitung kekakuan tanah dasar (*subgrade*)

Nilai kekakuan tanah dasar (*subgrade*) diperoleh dari hasil korelasi dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) *Soaked* 100% tanah dasar (*subgrade*) sebesar 15,90%.

$$S_s = 10 \times 15,90 = 159 \text{ MPa}$$

7. Menghitung *strain* dengan program Bisar 3.0

Berdasarkan input data yang dilakukan dalam program Bisar 3.0 maka diperoleh nilai *strain* sebagai berikut :

$$\text{Regangan horisontal } (\epsilon_t) = 19,7 \mu\text{strain}$$

$$\text{Regangan vertikal } (\epsilon_z) = 52,67 \mu\text{strain}$$

8. Menghitung umur pelayanan jalan

Kriteria Kerusakan Retak Lelah (*Fatigue Cracking*)

$$\log N = 15,8 \log \epsilon_t - k - (5,13 \log \epsilon_t - 14,39) \log V_B - (8,63 \log \epsilon_t - 24,2) \log SP_i$$

dengan :

$$k = 46,06$$

$$SP_i = 49,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_B = 12,16\%$$

$$\epsilon_t = 19,7 \mu\text{strain}$$

Maka diperoleh :

$$N = 48235,71332850 \text{ msa}$$

Konversi umur pelayanan jalan ke dalam satuan tahun

$$W_t = W_{18} \times$$

$$W_{18} = 464416 \text{ sa}$$

$$g = 5\%$$

$$W_t = 48235713328,50 \text{ sa}$$

Maka diperoleh :

$$n = 175,35 \text{ tahun}$$

Kriteria Kerusakan Deformasi Permanen (*Permanent Deformation*)

$$N = f_r$$

$$N = 1$$

$N = 2143,58252633 \text{ msa}$

Konversi umur pelayanan jalan ke dalam satuan tahun

$$W_t = W_{18} \times$$

$$W_{18} = 464416 \text{ sa}$$

$$g = 5\%$$

$$W_t = 2143582526,33 \text{ sa}$$

Maka diperoleh :

$$n = 111,62 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa umur pelayanan jalan pada kriteria kerusakan retak leleh lebih besar daripada umur pelayanan jalan pada kriteria kerusakan deformasi permanen (175,35 tahun < 111,62 tahun). Hasil perhitungan umur pelayanan tersebut lebih besar daripada umur pelayanan perkerasan lentur yang didesain dengan metode empiris yang berkisar ± 20 tahun [18]. Besarnya umur pelayanan jalan yang dihasilkan dipengaruhi oleh nilai kekakuan (*stiffness*) lapis pondasi yang digunakan. Nilai kekakuan (*stiffness*) CTB (*Concrete Treated Base*) sebagai lapis pondasi atas yang besar (9900,31 MPa) mengakibatkan nilai *strain* yang dihasilkan oleh program Bisar 3.0 menjadi kecil. Selain itu, nilai LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) juga dapat mempengaruhi besarnya umur pelayanan jalan.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Umur pelayanan jalan hasil perhitungan dengan metode analitis (*Nottingham Design Method*) menggunakan program Bisar 3.0 lebih besar daripada umur pelayanan jalan yang didesain dengan metode empiris pada umumnya (± 20 tahun).
2. Umur pelayanan jalan pada kriteria kerusakan retak leleh lebih besar daripada umur pelayanan jalan pada kriteria kerusakan deformasi permanen (175,35 tahun < 111,62 tahun).

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian.

References

1. [1] E. J. Yoder and M. W. Witczak, *Principles of Pavement Design*. Hoboken, NJ: Wiley, 1991.
2. [2] M. Nauval, A. Aris, G. Simbolan, and B. H. Setiadji, "Metode Bina Marga Studi Kasus: Ruas Jalan Piringsurat - Batas Kedu Timur," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 380-393, 2015.
3. [3] M. Maryam and K. H. Putra, "Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus: Jalan Luar Lingkar Timur Surabaya)," *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, vol. 1, no. 2, pp. 125-134, 2020, doi: 10.31284/j.jtm.2020.v1i2.1113.
4. [4] A. Asidin and H. S. Nur, "Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Dengan Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Pada Kelurahan Lakambau Kecamatan Batauga Kabupaten Buton Selatan," *Jurnal Media Inovasi Teknologi Sipil UNIDAYAN*, vol. 10, no. 1, pp. 44-48, 2021, doi: 10.55340/jmi.v10i1.669.
5. [5] P. T. S. Balido, S. W. Mudjanarko, and H. A. Safarizki, "Perencanaan Peningkatan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Petuk (STA 15+050 - STA 15+500) Kec. Penfui Kota Kupang Menggunakan Metode Bina Marga 2017," *Modulus: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, vol. 3, no. 1, p. 25, 2021, doi: 10.32585/modulus.v3i1.1784.
6. [6] V. C. Lao, "Comparison of Design Methods for Thickness of Flexible Pavement on Provincial Boundary Roads," *Rekayasa Sipil*, vol. 16, no. 3, pp. 191-197, 2022.
7. [7] A. Arthono and D. A. Pransiska, "Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode SNI 1932-1989-F Dibandingkan Dengan Menggunakan Metode AASHTO 1993, Pada Ruas Jalan Raya Rangkasbitung - Citeras," *Jurnal UMJ*, Nov. 2022, pp. 1-12.
8. [8] H. R. Malau, Salonten, and Robby, "Perencanaan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode MDP 2017 dan AASHTO 1993 pada Jalan Masuk Kahui," *Jurnal Teknis: Jurnal Teori dan Terapan Bidang Keteknikan*, vol. 7, no. 1, pp. 28-36, 2023.
9. [9] A. Verani et al., "Design of Pavement Structure Based on an Empirical Mechanistic Design Approach for Roads With AC-WC Asphalt Mixture Using Buton Granular Asphalt (BGA) and Modifiers," *International Journal of Applied Technology Research*, vol. 3, no. 3, pp. 225-238, 2024.
10. [10] A. Surandono and P. M. Suci, "Analisa Teknis Perbaikan Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO (Studi Kasus: Pada Ruas Jalan Ki Hajar Dewantara Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur)," *Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 1-8, 2016.

11. [11] A. Maharani and S. B. Wasono, "Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pantai Prigi – Popoh Kab. Tulungagung)," *Ge-STRAM Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 89-94, 2018, doi: 10.25139/jprs.v1i2.1202.
12. [12] Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan*, DPU Pd T-10-2005-B, 2005.
13. [13] M. Mukhlis, Y. Yunus, and S. M. Saleh, "Analisis Perkerasan Lentur Di Atas Tanah Ekspansif," *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, vol. 2, no. 1, pp. 48-57, 2019, doi: 10.24815/jarsp.v2i1.13203.
14. [14] A. Rahmawati, F. Aldiansyah, and D. Setiawan, "Desain Tebal Perkerasan Lentur Jalan Menggunakan Program Kenpave," *Buletin Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 29-32, 2021.
15. [15] J. M. Brunton, "Developments in the Analytical Design of Asphalt Pavements Using Computers," Univ. Nottingham, Dep. Civ. Eng., p. 406, 1983.
16. [16] H. Hermansyah, A. F. Isnain, and F. Yanti, "Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal HRS-WC Menggunakan Abu Sekam Padi," *Jurnal Manajemen Teknologi Teknik Sipil*, vol. 5, no. 1, p. 60, 2022, doi: 10.30737/jurmateks.v5i1.2770.
17. [17] Ditjend Bina Marga, *Flexible Pavement Thickness Planning Guidelines*, Pt T-01-2002-B, 2002.
18. [18] S. Sukirman, *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*, vol. 53, no. 9, 2010.
19. [19] S. F. Brown and J. M. Brunton, *An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements*, 3rd ed., Univ. Nottingham, Dep. Civ. Eng., 1986.
20. [20] Kurniadji, "Modifikasi Aspal Keras Standar Dengan Bitumen Asbuton Hasil Ekstraksi," *Jurnal Jalan dan Jembatan*, vol. 25, no. 2, pp. 2-20, 2018.
21. [21] K. Badry, L. Sentosa, and G. Wibisono, "Analisis Perbandingan Antara Kondisi Temperatur Perkerasan Aspal Maksimum Aktual Dengan Manual Desain Perkerasan Jalan di Provinsi Riau," *Sainstek*, vol. 12, no. 2, pp. 230-238, 2024.
22. [22] N. Riwiwono, "Metode Analitis (Studi Kasus Jalan Tol Semarang)," *Naskah Publikasi Ilmiah*, Univ. Muhammadiyah Surakarta, 2012.
23. [23] N. Riwiwono, F. Sentaury Cahyaningrum, T. F. Tama, and F. Amelia, "Pengaruh Suhu Perkerasan Terhadap Umur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analitis," *Rekayasa*, vol. 16, no. 2, pp. 204-211, 2023, doi: 10.21107/rekayasa.v16i2.19043.
24. [24] Public Works Department, *Planning Thickness of Addition of Flexible Pavement With Deflection Method Benkelman Beam*, Pd T 2-2005-B, 2005.