

Analisis Desain Pekerjaan Peninggian Jalan pada Lokasi Banjir (Studi Kasus: Ruas Bts. Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang)

Hevil Saftia Rizki*

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Email: hevilsaftiarizki@gmail.com

Aine Kusumawati

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Email: aine@itb.ac.id

Nasuhi Zain

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Email: nasuhi@itb.ac.id

Abstrak

Ruas Jalan Bts. Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang STA. 1+100 merupakan ruas jalan yang rawan banjir di Provinsi Banten. Alternatif penanganan ruas jalan yaitu berupa peninggian jalan. Penelitian dilakukan dengan perhitungan menggunakan Pedoman Desain Drainase Jalan Nomor: 23/SE/Db/2021 terkait tinggi luapan air banjir sebagai dasar penentuan tinggi minimum peninggian. Analisis desain sistem perkerasan metode empiris menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024 No. 03/M/BM/2024, lalu dimodelkan untuk dianalisis dengan metode mekanistik-empiris program kenpave dan dilakukan perbandingan dalam aspek biaya dari setiap sistem perkerasan. Hasil analisis kebutuhan peninggian jalan yaitu minimum sebesar 23 cm. Analisis metode empiris didapatkan tebal beton pada rigid pavement yaitu 315 mm dipilih Tipe 1R dan 2R, tebal aspal pada flexible pavement yaitu 285 mm. Ditentukan 2 tipe rigid pavement dan 4 tipe flexible pavement dianalisis dengan program Kenpave. Analisis metode mekanistik-empiris rigid pavement memilih Tipe 2R dengan index cracking dan max stress terkecil, untuk flexible pavement dipilih Tipe 4F dengan jumlah repetisi beban pada fatigue cracking dan permanent deformation yang paling besar. Analisis biaya untuk umur rencana 40 tahun rigid pavement Tipe 2R senilai Rp. 10.615.725,00/m' dan flexible pavement Tipe 4F senilai Rp. 12.437.698,00/m'. Dipilih Tipe 2R dengan biaya lebih kecil dari Tipe 4F.

Kata kunci: Peninggian jalan, sistem perkerasan, MDP 2024, kenpave.

Abstract

The road section Bts. Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang STA. 1+100 is a flood-prone road in Banten Province. An alternative solution for the road section is to raise the road. The research was conducted with calculations using the Road Drainage Design Guidelines Number: 23/SE/Db/2021 related to the flood overflow height, which serves as the basis for determining the minimum elevation height. The analysis of the pavement design system using the empirical method follows the Road Pavement Design Manual 2024 No. 03/M/BM/2024, which is then modeled for analysis using the mechanistic-empirical method with the Kenpave program, and a cost comparison is conducted for each pavement system. The analysis results for the road elevation requirement indicate a minimum of 23 cm. The empirical method analysis obtained a concrete thickness of 315 mm for rigid pavement, selecting Type 1R and 2R, and an asphalt thickness of 285 mm for flexible pavement. Two types of rigid pavement and four types of flexible pavement were analyzed using the Kenpave program. The analysis of the mechanistic-empirical method for rigid pavement selects Type 2R with the smallest cracking index and max stress, while for flexible pavement, Type 4F is chosen with the highest number of load repetitions in fatigue cracking and permanent deformation. Cost analysis for a 40-year design life of rigid pavement Type 2R is Rp. 10,615,725.00/m' and flexible pavement Type 4F is Rp. 12,437,698.00/m'. Type 2R was chosen because its cost is lower than Type 4F.

Keywords: Raising road, pavement systems, MDP 2024, kenpave

1. Pendahuluan

Di Provinsi Banten masih terdapat beberapa ruas jalan yang menjadi rawan banjir, salah satu contoh daerah rawan banjir di Provinsi Banten adalah ruas jalan Bts.

Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang. Daerah tersebut selalu terjadi genangan air pada badan jalan ketika curah hujan tinggi dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada badan jalan. Lagmay, A. M. dkk (2017) menjelaskan bahwa solusi yang dapat dilakukan

* Penulis Korespondensi: hevilsaftiarizki@gmail.com

untuk ruas jalan yang terendam banjir yaitu berupa peninggian jalan atau membangun struktur drainase yang dirancang dengan baik. Kementerian PUPR melalui Direktorat Jenderal Bina Marga selaku pihak pemerintah yang berwenang untuk jalan tersebut berupaya melakukan penanganan jalan yang efektif agar lalu lintas yang melewati ruas jalan tersebut tetap dapat dilayani dengan baik.

Pemerintah berupaya melakukan penanganan yang efektif dan efisien dari segi kualitas dan biaya pada penanganan daerah rawan banjir di ruas Bts. Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang, dengan mempertimbangkan batasan anggaran yang tersedia. Beberapa alternatif yang dapat dilakukan dalam penanganan ruas jalan yang terdampak banjir yang umum digunakan di Indonesia yaitu penanganan saluran drainase / sungai dan pelaksanaan peninggian badan jalan (Wardhana, A. S., 2023). Perlu dilakukan analisis dalam penentuan sistem perkerasan terbaik untuk peninggian jalan pada lokasi banjir apakah dengan menggunakan sistem perkerasan berupa rigid pavement atau sistem perkerasan *flexible pavement*.

Analisis sistem perkerasan dilakukan dengan metode empiris menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) Tahun 2024 No. 03/M/BM/2024. Dasar pertimbangan dalam penentuan nilai peninggian jalan yang digunakan dalam analisis metode empiris yaitu merupakan hasil analisis hidrologi dan hidrolika. Tinggi genangan akibat luapan saluran drainase dan sungai tersebut dapat dijadikan dasar dalam penentuan nilai peninggian jalan. Dari hasil analisis tersebut dilanjutkan evaluasi dan modelling dengan menggunakan program Kenpave sebagai Metode Mekanistik-Empiris. Analisis tersebut dilakukan untuk menentukan kebutuhan sistem perkerasan yang efektif serta efisien apabila diimplementasikan pada lokasi banjir. Selain itu, dalam penelitian ini diperlukan juga analisis biaya yang dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam memilih sistem perkerasan untuk peninggian jalan, apakah menggunakan *flexible pavement* atau *rigid pavement*. Analisis yang dilakukan diharapkan dapat menjawab upaya pemerintah dalam memilih penanganan yang tepat, dengan mempertimbangkan segi teknis dan biaya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penentuan curah hujan dan analisis

Luke Howard (1802) menjelaskan bahwa curah hujan adalah jumlah banyaknya air hujan yang jatuh ke bumi dalam suatu wilayah dan dalam periode waktu tertentu. Derajat besaran curah hujan biasanya dinyatakan dengan banyaknya jumlah curah hujan dalam satuan waktu (mm/jam) dan disebut intensitas curah hujan (Sosrodarsono dan Takeda, 1978). Data hujan di suatu daerah didapatkan dari stasiun pengukur curah hujan (stasiun hujan) yang dipasang, dengan syarat kerapatan antar pos hujan dapat mewakili data pada suatu wilayah.

2.1.1 Curah hujan rata-rata

Curah hujan yang digunakan untuk analisis yaitu curah hujan rata-rata dari seluruh daerah yang ditinjau. Metode perhitungan curah hujan yang digunakan yaitu metode rata-rata Aljabar. Metode ini relatif sederhana yaitu dengan menjumlahkan nilai curah hujan rata-rata tahunan di setiap stasiun hujan dibagi dengan jumlah total stasiun hujan. Meskipun dinilai kurang teliti, metode ini dianggap cukup memadai untuk digunakan pada daerah yang relatif landai dan untuk DAS kecil (< 500 km²) dengan variasi hujan tahunan kecil (DAS homogen). Metode ini dapat dihitung dengan Persamaan (1).

$$R_r = 1/n (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (1)$$

Dimana:

R_r = Curah hujan rata-rata tahunan (mm).

n = Jumlah stasiun hujan.

2.1.2 Analisis hidrologi

Analisis hidrologi mencakup pemodelan air permukaan dan air tanah (Zhang et al., 2018). Analisis hidrologi merupakan satu bagian analisis awal dalam perancangan bangunan-bangunan hidraulik dan digunakan untuk memprediksi besaran debit air yang terjadi pada waktu periode ulang tertentu. Tahapan analisis adalah sebagai berikut

1. Analisis Frekuensi

Penentuan nilai analisis frekuensi menggunakan metode distribusi gumbel dengan **Persamaan (2)**, **Persamaan (3)**, dan **Persamaan (4)**.

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \quad (2)$$

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Dimana:

X_T = Curah hujan rencana (mm).

\bar{X} = Curah hujan rata-rata tahunan (mm).

K_T = Faktor frekuensi Gumbel.

S = Standar Deviasi dari data hujan (mm).

T_r = Waktu periode ulang (tahun).

n = Jumlah data curah hujan harian

2. Debit Banjir

Debit banjir maksimum merupakan debit dengan periode ulang tertentu dari air hujan yang tidak mengalami infiltrasi dan akan dialirkan melalui sungai atau drainase (Damayanti, M., dkk, 2020).

Perhitungan besarnya debit maksimum metode rasional menggunakan Persamaan (5).

$$Q_P = \frac{1}{3,6} \cdot C \cdot I \cdot A \quad (5)$$

Dimana :

Q_p = Debit banjir maksimum (m³/detik).
 C = Koefisien pengaliran.
 I = Intensitas hujan (mm/jam).
 A = Luas catchment area (km²).

Untuk nilai C menggunakan **Persamaan (6)** dan nilai I menggunakan **Persamaan (7)**.

$$C_k = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_{total}} \quad (6)$$

Dimana :

C_k = Koefisien pengaliran komposit.
 C_1, C_2 = Koefisien pengaliran sub catchment area.
 A_1, A_2 = Luas sub catchment area (km²).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \quad (7)$$

Dimana :

R_{24} = Curah hujan maksimum 24 jam (mm).
 t_c = Waktu konsentrasi (jam).

2.1.3 Analisis hidrolika

Menurut Yansyah, R. A., dkk. (2015) untuk menentukan kapasitas saluran yang akan digunakan, diperlukan adanya analisis hidrolika dengan memperhatikan sifat-sifat hidrolika yang terjadi pada saluran drainase tersebut. Sungai berupa penampang hidrolis terbaik dimana nilai lebar (b) sama dengan 2 kali nilai tinggi (h). Untuk menghitung dimensi saluran penampang hidrolis terbaik menggunakan Persamaan (8), (9), dan (10).

$$A = \frac{Q}{V} \quad (8)$$

Dimana :

A = Luas penampang basah saluran (m²).
 Q = Debit aliran (m³/detik).
 V = Kecepatan aliran (m/detik).

$$A = b \cdot h \quad (9)$$

Dimana :

b = lebar saluran (m).
 h = tinggi saluran (m).
 $w = \sqrt{0,5 \cdot h}$ (10)

Dimana :

w = tinggi jagaan (m).

2.2 Metode empiris rigid pavement

Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) Tahun 2024 No. 03/M/BM/2024, *rigid pavement* adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis fondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Parameter – parameter yang memengaruhi yaitu nilai *California Bearing Ratio* (CBR) pada subgrade, tebal dan jenis lapis pondasi bawah, mutu

beton, beban lalu lintas, dan jenis bahu jalan. Untuk mendesain rigid pavement, setiap parameter tersebut harus memenuhi kriteria sesuai dengan pedoman yang berlaku (MDP 2024). Tahapan analisis menggunakan MDP 2024 adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jenis dan tebal fondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana;
2. Menentukan nilai CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan fondasi bawah yang dipilih;
3. Menentukan mutu beton dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) fcf pada umur 28 hari;
4. Memilih faktor keamanan beban lalu lintas (FKB) dan menentukan tebal pelat beton;
5. Menentukan tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) untuk semua sumbu;
6. Menghitung persentase dari repetisi fatigue dan erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi izin;
7. Menghitung jumlah total fatigue dan erosi dari semua jenis kelompok sumbu roda dengan total kerusakan $\leq 100\%$;
8. Merencanakan jenis sambungan memanjang dan melintang.

2.3 Metode empiris flexible pavement

Menurut Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (2002), struktur *flexible pavement* merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat yang umumnya terdiri atas lapis pondasi bawah, lapis pondasi, dan lapis permukaan. Parameter – parameter yang memengaruhi yaitu nilai *California Bearing Ratio* (CBR) pada subgrade, tebal dan jenis lapis pondasi bawah meliputi juga lapis drainase, mutu aspal, beban lalu lintas, dan daya dukung tepi perkerasan. Untuk mendesain *flexible pavement*, setiap parameter tersebut harus memenuhi kriteria sesuai dengan pedoman yang berlaku (MDP 2024). Tahapan analisis menggunakan MDP 2024 adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah *Cumulative Equivalent Standard Axle Load* (CESAL) selama umur rencana;
2. Menentukan tipe perkerasan, segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam, serta struktur fondasi perkerasan;
3. Menentukan struktur perkerasan sesuai dengan bagan desain pada MDP 2024.

2.4 Mekanistik empiris program Kenpave

Dalam Buku Huang Edisi 2 (2004) terdapat program Kenpave yang menggunakan prinsip analisis linier – elastik, non linier dan properti viskoelastik material serta berfungsi untuk melakukan desain perkerasan jalan dalam bahasa pemrograman *Visual Basic*. Kenpave terdiri atas 2 program yaitu Kenslabs yang digunakan untuk *rigid pavement* yang berdasarkan metode elemen hingga dan Kenlayer yang digunakan

untuk *flexible pavement* yang berdasarkan pada teori sistem lapis banyak.

1. Kenslabs

Huang (2004) didalam bukunya menjelaskan terkait kapabilitas dari kenslabs adalah sebagai berikut:

- Maksimum 6 (enam) pelat dengan transfer geser dan momen di sepanjang sambungan dapat dianalisis;
- Setiap slab dapat memiliki ukuran dan ketebalan yang berbeda;
- Satu slab beton dapat terdiri dari 2 lapis beton, dengan ikatan antar lapis secara terikat (*bounded*) atau tidak terikat (*unbounded*);
- Beban dapat didistribusikan secara merata pada area persegi panjang atau dipusatkan pada sejumlah titik simpul. Setiap area yang dibebani dapat memiliki intensitas tekanan yang berbeda;
- Pengaruh curling akibat suhu dan celah antara pelat dan fondasi terhadap tegangan dan defleksi dapat dianalisis;
- Hubungan pelat dan fondasi dapat diasumsikan dalam kontak penuh di semua node atau tidak dalam kontak di beberapa node yang ditentukan;
- Program ini dapat menganalisis slab beton pada tipe pondasi elastis, solid maupun berlapis (*layered*).

Batasan dalam kenslabs adalah sebagai berikut:

- Analisis *curling* akibat suhu didasarkan pada asumsi bahwa hanya ada satu lapisan pelat dan setiap pelat memiliki ketebalan yang seragam. Untuk pelat dengan ketebalan yang tidak seragam, harus diasumsikan ketebalan rata-rata;
- Program tidak mengizinkan penggunaan sambungan yang sangat kaku, di mana defleksi atau rotasi di kedua sisi sambungan adalah sama;
- Pembatasan bahwa rasio panjang-lebar dari setiap elemen tidak lebih besar dari 4 m atau 5 m;
- Program ini hanya dapat menghitung nilai tegangan (*stress*), lendutan (*deflection*), indeks keretakan (*index cracking*) dan umur rencana (*design life*) pada slab beton dan lapis pondasi. Tegangan pada lapis pondasi tidak dapat diketahui.

2. Kenlayer

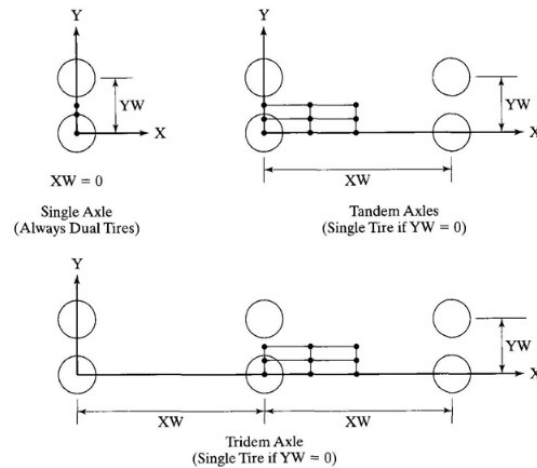
Program ini digunakan untuk melakukan analisis respon struktural dari *flexible pavement* dengan parameter yang di input adalah sebagai berikut:

- Beban lalu lintas;
- Properti material;
- Tebal tiap lapis perkerasan;
- dan parameter lainnya.

Berikut merupakan konfigurasi pembebanan dalam Kenlayer seperti **Gambar 1**.

Output dari Kenlayer yaitu:

- Deflection* (dalam cm);
- Vertical compressive strain* pada permukaan subgrade;
- Horizontal tensile strains* dibawah lapis beraspal.



Gambar 1. Konfigurasi Pembebanan dalam Kenlayer (Huang, 2004)

3. Metodologi

3.1 Tahapan penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian dibutuhkan tahapan penelitian yang dijadikan acuan pelaksanaan agar dapat berjalan sesuai rencana dan tersistematis. Tahapan penelitian dapat dilihat dalam bagan alir pada **Gambar 2**.

3.2 Lokasi studi dan objek penelitian

Penelitian dilakukan pada Ruas Jalan Bts. Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang STA. 1+100 sepanjang 100 meter yang terletak di Kecamatan Baros, Kabupaten Serang. Objek penelitian ini adalah analisis banjir akibat meluapnya aliran sungai / aliran drainase jalan pada saat curah hujan tinggi dimana analisis tersebut berpengaruh terhadap kebutuhan elevasi jalan yang dilanjutkan dengan analisis sistem perkerasan *rigid pavement* dan *flexible pavement* dengan metode empiris menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024 No. 03/M/BM/2024. Kemudian berdasarkan hasil analisis sebelumnya, dilakukan permodelan pemodelan desain sistem perkerasan dengan metode mekanistik-empiris menggunakan program Kenpave dan dilanjutkan dengan analisis biaya dan waktu pelaksanaan.

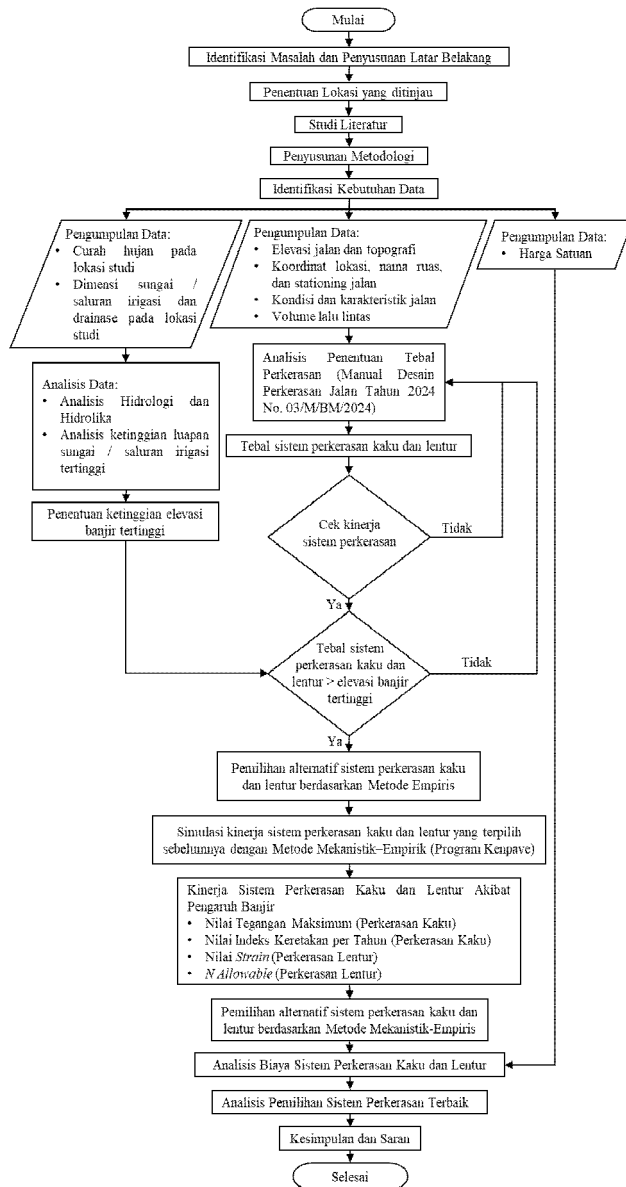
3.3 Tahap persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap awal yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian, yaitu dengan mengidentifikasi masalah pada topik yang akan diteliti, melakukan penyusunan latar belakang, dan penentuan lokasi studi. Pada tahap ini, dimulai juga penyusunan kerangka berpikir dalam melakukan kajian pustaka dan studi literatur dari

3.4 Tahap pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, antara lain:

- Data curah hujan



Gambar 2. Bagan Alir

Data curah hujan harian yang digunakan yaitu dari Stasiun Meteorologi Maritim Serang, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Provinsi Banten.

b. Data hari hujan

Data hari hujan digunakan untuk mengetahui jumlah hari pada saat hujan dan pada saat kemarau. Data tersebut diperlukan dalam analisis perkerasan yang mengasumsikan adanya pengaruh cuaca terhadap karakteristik material.

c. Data dimensi saluran

Data dimensi saluran digunakan dalam perhitungan evaluasi kondisi eksisting dengan hasil analisis hidrolika terhadap dimensi yang sesuai dengan debit yang melalui saluran tersebut.

d. Data kondisi dan karakteristik jalan

Data meliputi data lendutan dimana data lendutan digunakan untuk analisis back calculation dalam mendapatkan nilai CBR tanah dasar. Data lendutan didapatkan dari Balai Perkerasan dan Lingkungan Jalan (BPLJ) dan Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Banten pada tahun 2023.

e. Data lalu lintas

Didapatkan dari hasil survei tahun 2023 Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Banten.

f. Data harga satuan

Didapatkan dari Paket Pekerjaan Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Banten tahun 2024 di sekitar lokasi studi dan Harga Satuan Provinsi Banten.

3.5 Tahap analisis data

Tahap analisis dimulai dengan analisis hidrologi dan hidrolika menggunakan Pedoman Desain Drainase Jalan Nomor: 23/SE/Db/2021 dilanjutkan dengan analisis metode empiris menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) Tahun 2024 No. 03/M/BM/2024.

3.6 Tahap modelling dan evaluasi

Modelling menggunakan metode mekanistik-empiris dengan program Kenpave. Input karakteristik properti material baik itu modulus young pada subgrade, poisson ratio di setiap lapisan perkerasan, modulus elastisitas pada subbase dan perkerasan, serta modulus of rupture pada perkerasan. Hasil running dari program ini yaitu terbagi dua, untuk *rigid pavement* hasilnya berupa besarnya *indeks cracking* per tahun dan *max stress* serta untuk *flexible pavement* hasilnya berupa *vertical compressive strain* pada permukaan subgrade, dan *horizontal tensile strains* dibawah lapis beraspal. Dari hasil running tersebut dapat dibandingkan dan dievaluasi terhadap analisis metode empiris sebelumnya.

3.7 Analisis rencana anggaran biaya

Analisis rencana anggaran biaya dilaksanakan dengan mengacu pada harga satuan dasar yang berlaku di Provinsi Banten. Rencana anggaran biaya masing – masing tipe perkerasan yang sudah didapat akan menjadi salah satu parameter perbandingan dalam pemilihan perkerasan terbaik.

3.8 Analisis penentuan sistem perkerasan

Dari semua analisis antar variasi sistem perkerasan yang sudah dilakukan, maka dapat dipilih sistem perkerasan terbaik untuk peninggian jalan pada lokasi penelitian.

4. Hasil Analisis dan Pembahasan

4.1 Penentuan tebal minimum perkerasan

Tebal minimum perkerasan ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan yaitu melalui historis data banjir di lokasi studi dan analisis banjir pada saat curah hujan

Tabel 1. Curah Hujan Rata-Rata Tahunan

Tahun	Hujan (mm)	$(X_i - \bar{X})^2$
2013	424	10.142,32
2014	377	2.884,67
2015	362,7	1.553,08
2016	271,9	2.641,03
2017	351,1	773,35
2018	222,2	10.219,37
2019	331,7	70,71
2020	332,5	84,81
2021	283,2	1.607,28
2022	289	1.175,87
2023	310,9	153,53
Total	3.556,2	31.306
\bar{X}	323,291	

tinggi. Proses analisis banjir dilakukan dengan analisis hidrologi untuk mengetahui nilai debit banjir, dilanjutkan dengan analisis hidrolika penentuan dimensi saluran. Apabila dimensi saluran eksisting lebih kecil kapasitasnya dibandingkan dimensi saluran yang seharusnya, maka akan terjadi limpasan air, dimana ketinggian limpasan tersebut akan menjadi nilai tinggi minimum untuk peninggian jalan.

4.1.1 Analisis hidrologi

Data curah hujan harian yang digunakan yaitu bersumber dari Stasiun Meteorologi Maritim Serang, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Provinsi Banten. Data curah hujan yang diambil dimulai dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2023. Untuk nilai curah hujan maksimum setiap tahunnya dan selisih kuadrat curah hujan dapat dilihat pada Tabel 1.

Dengan menggunakan **Persamaan (2)**, **Persamaan (3)**, dan **Persamaan (4)** didapatkan nilai K_T sebesar 2,592, nilai S sebesar 55,952 mm, dan nilai X_T (curah hujan rencana) sebesar 468,334 mm. Dengan menggunakan **Persamaan (5)**, **Persamaan (6)**, dan **Persamaan (7)** didapatkan nilai I sebesar 135,826 mm/jam, nilai C sebesar 0,33, dan nilai Q_p (debit banjir maksimum) sebesar 14,7 m³/detik.

4.1.2 Analisis hidrolika

Setelah dilakukan analisis hidrologi dan telah didapatkan nilai debit banjir maksimum (Q_p), nilai tersebut dapat digunakan untuk mengetahui berapa dimensi sungai yang cukup untuk menampung air hujan pada saat curah hujan tinggi. Sungai berupa penampang hidrolis terbaik. Setelah melakukan analisis menggunakan **Persamaan (8)**, **Persamaan (9)**, dan **Persamaan (10)** didapatkan nilai dimensi sungai yang seharusnya yaitu lebar (b) sebesar 4,429 m dan tinggi (h) sebesar 3,267 m. Volume sungai sepanjang 270 m berdasarkan hasil analisis hidrolika yaitu sebesar 3.907,10 m³.

4.1.3 Air yang meluap saat curah hujan tinggi

Luapan air sungai didapatkan dari selisih volume sungai yang seharusnya (berdasarkan analisis

hidrolika) dengan volume sungai eksisting, dimana berdasarkan data yang didapat untuk volume sungai eksisting sebesar 1.308,61 m³ jauh lebih kecil dibandingkan dengan volume sungai yang seharusnya sebesar 3.907,10 m³. Selisih volume sebesar 2.598,49 m³, selisih tersebut menjadi jumlah air yang tidak tertampung oleh sungai, dengan mempertimbangkan panjang jalan sepanjang 150 m dan lebar jangkauan banjir selebar 150 m, didapatkan ketinggian banjir sebesar 23 cm. Sehingga untuk tebal minimum perkerasan pada kegiatan peninggian jalan pada lokasi Ruas Jalan Bts. Kab. Serang – Bts. Kota Pandeglang STA. 1+100 yaitu sebesar 23 cm.

4.2 Analisis metode empiris

4.2.1 Analisis metode empiris untuk rigid pavement

Data karakteristik pada desain yang akan direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada pada ruas jalan Bts. Kab.Serang – Bts. Kota Pandeglang STA. 1+100 (Desa Baros) Kabupaten Serang, Provinsi Banten dengan fungsi ruas merupakan jalan arteri primer dan status ruas jalan adalah jalan nasional;
2. Jumlah lajur terdiri dari 2 lajur 2 arah tidak terbagi;
3. Nilai CBR pada tanah dasar merupakan hasil dari backcalculation dan menggunakan 2 (dua) nilai CBR, dalam kondisi optimum dengan nilai sebesar 6,698% dan dalam kondisi tertimbang dengan nilai sebesar 4,579%;
4. Lapis drainase menggunakan 2 jenis yaitu material agregat kelas A dan material ATPB;
5. Menggunakan tanah timbunan setinggi 75 cm untuk tipe 1 dan 2 agar memenuhi kriteria tinggi tanah dasar diatas muka air banjir minimum sebesar 50 cm;
6. Lapis pondasi bawah menggunakan lean concrete;
7. Rigid pavement menggunakan tipe Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) dengan mutu beton $f_c' 35$ dan nilai f_{cf} beton 4,5 MPa serta terdapat bahu beton;
8. Umur rencana adalah 40 tahun.

Dari data lalu lintas harian BPJN Banten tahun 2023 dilakukan perhitungan prediksi lalu lintas harian tahun 2025 yang dapat dilihat pada Tabel 2, dilanjutkan dengan perhitungan jumlah sumbu kendaraan berdasarkan jenis dan beban pada ruas jalan tersebut.

Untuk jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan **Persamaan (11)**.

$$JSKN = (LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = 10.493 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 95,49 = 182.855.484$$

Nilai CBR tanah dasar untuk yang menggunakan timbunan yaitu 6,698% dan yang tidak menggunakan timbunan yaitu 4,579% sehingga nilai CBR tanah dasar efektif untuk yang menggunakan timbunan yaitu 75% dan yang tidak menggunakan timbunan yaitu 62%, nilai didapatkan dengan cara seperti pada Gambar 3.

Tabel 2 . Data Lalu Lintas Harian (LHR)

Gol Kend	Uraian	Data LHR (2 Arah) 2025
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3	58.718
2	Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan station wagon	20.795
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	3.574
4	Kendaraan ringan - pick up, micro truck dan mobil hantar	5.727
5A	Bus kecil	86
5B	Bus besar	563
6A	Truk 2 sumbu – truk ringan	2.769
6B	Truk 2 sumbu – truk sedang	1.551
7A2	Truk 3 sumbu – berat	242
7B1	Truk 4 sumbu - berat	0
7C1	Truk 4 sumbu - berat	81
8	Kendaraan tak bermotor	35

Dari hasil analisis dengan menggunakan tebal pelat beton 315 mm untuk kondisi CBR tertimbang 4,579% (tanpa timbunan) didapatkan nilai analisis *fatigue* sebesar 0% yang terdiri atas 0% STRT, 0% STRG, dan 0% STDRG serta didapatkan nilai analisis erosi sebesar 87,86% yang terdiri atas 0% STRT, 67,7% STRG, dan 20,16% STDRG. Kedua analisis tersebut berada di bawah angka 100% sehingga tebal pelat beton tersebut dapat digunakan untuk desain rigid pavement. Dengan menggunakan tebal yang sama, untuk CBR kondisi optimum 6,698% (dengan timbunan) didapatkan nilai analisis *fatigue* sebesar 0% yang terdiri atas 0% STRT, 0% STRG, dan 0% STDRG serta didapatkan nilai analisis erosi sebesar 22,01% yang terdiri atas 0% STRT, 17,42% STRG, dan 4,59% STDRG. Dimana nilai persentase hasil analisis lebih kecil dari kondisi tertimbang.

Sambungan dengan batang pengikat (*tie bars*) dan sambungan melintang dengan ruji (*dowel*) merupakan jenis sambungan yang akan digunakan dalam struktur perkerasan beton bersambung tanpa tulangan. Sambungan memanjang yang digunakan dihitung menggunakan **Persamaan (12)**.

$$A_t = 204 \times b \times h \quad (12)$$

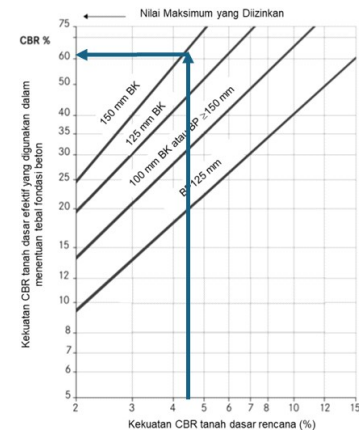
$$A_t = 204 \times 3,5 \times 0,315 = 224,91 \text{ mm}^2$$

Dengan luasan penampang besi tersebut, untuk sambungan memanjang yang digunakan yaitu tie bars dengan diameter 16,92 mm (digunakan diameter 19 mm menyesuaikan dengan ketersediaan di pasaran).

Sambungan melintang (*dowel*) yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi dimana sambungan harus menggunakan baja tulangan polos (BjTP 280), jarak antar tulangan 300 mm, panjang dowel 450 mm, dan diameter dowel minimal seperdelapan tebal beton. Sehingga untuk diameter dowel sebesar seperdelapan dari 315 mm, yaitu 40 mm.

4.2.2 Analisis Metode Empiris untuk Flexible Pavement

Untuk jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan **Persamaan (13)** mengacu pada data LHR pada **Tabel 2**.



Gambar 3. Penentuan nilai CBR tanah dasar efektif

Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)

Sebagai contoh perhitungan untuk kendaraan golongan 5A adalah sebagai berikut:

CESA5 2025 - 2027

$$(563 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 3,15 = 420.578$$

CESA5 2025 - 2027

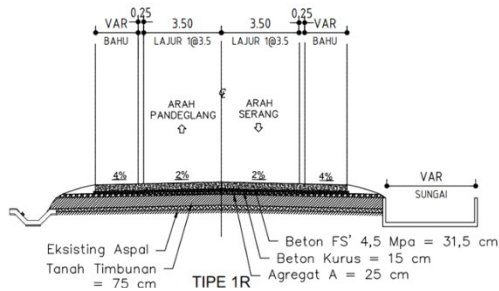
$$(563 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 25,39 = 3.907.188$$

Nilai CESA5 untuk golongan 5A yaitu 4.327.766. Untuk seluruh jenis golongan kendaraan, nilai beban standar kumulatif yaitu sebesar 35.321.292 untuk CESA4 dan 37.727.918 untuk CESA5.

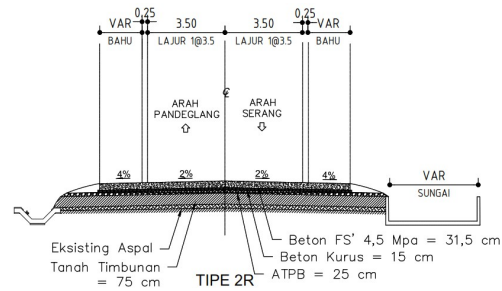
Untuk nilai tebal lapis perkerasan agar bisa menahan beban rencana selama umur rencana 20 tahun masih mengacu terhadap Bagan Desain-3A MDP 2024. Nilai yang diambil untuk CESA5 sebesar 37.727.918 yaitu FFF(1) 6 dengan kriteria beban rencana selama 20 tahun > 30 – 50 juta dimana nilai CESA5 masuk kedalam *range* tersebut. Nilai tebal tersebut dijadikan acuan angka awal untuk pelaksanaan proses desain yang bersifat iteratif (*trial and error*). Selanjutnya untuk menentukan struktur perkerasan yang sudah dipilih memenuhi persyaratan atau tidak maka perlu dilakukan analisis mekanistik empiris menggunakan program Kenpave.

4.2.3 Alternatif sistem struktur perkerasan

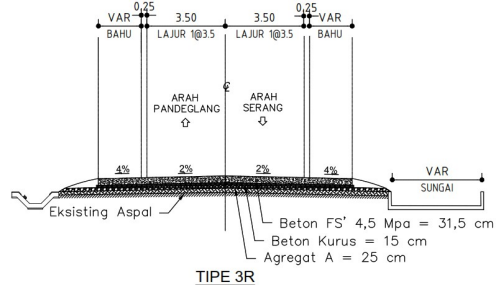
Terdapat 8 (delapan) tipe yang akan digunakan dalam analisis dimana 4 (empat) tipe merupakan *rigid pavement* dan 4 (empat) alternatif merupakan *flexible pavement*. Untuk Tipe 1 dan Tipe 2 rigid pavement maupun *flexible pavement* menggunakan tanah timbunan dan tidak memperhitungkan perkerasan eksisting, dengan tujuan agar perkerasan terletak 50 cm di atas muka air banjir. Untuk Tipe 3 dan Tipe 4 *rigid pavement* maupun *flexible pavement* tidak menggunakan tanah timbunan dan tetap memperhitungkan perkerasan eksisting. Untuk 8 (delapan) alternatif sistem struktur perkerasan jalan yang akan digunakan dalam penelitian terlampir dalam **Gambar 4** hingga **Gambar 11**.



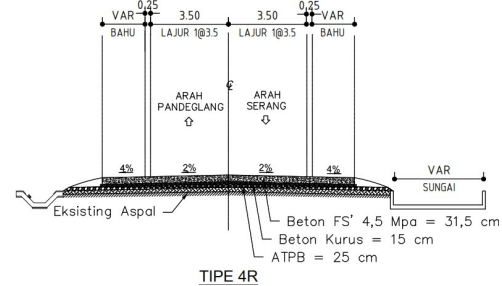
Gambar 4. Desain Alternatif Sistem Perkerasan Tipe 1R Rigid Pavement



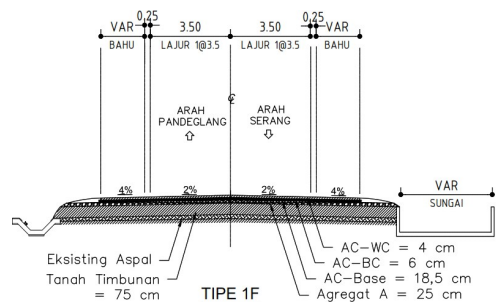
Gambar 5. Desain Alternatif Sistem Perkerasan Tipe 2R Rigid Pavement



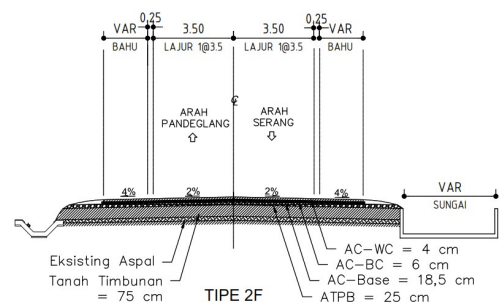
Gambar 6. Desain Alternatif Sistem Perkerasan Tipe 3R Rigid Pavement



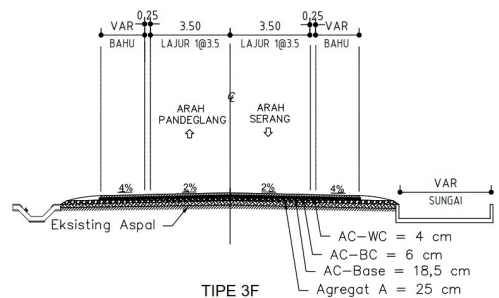
Gambar 7. Desain Alternatif Sistem Perkerasan Tipe 4R Rigid Pavement



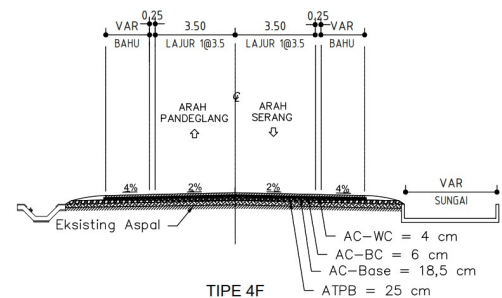
Gambar 8. Desain Alternatif Sistem Perkerasan Tipe 1F Flexible Pavement



Gambar 9. Desain Alternatif Sistem Perkerasan Tipe 2F Flexible Pavement



Gambar 10. Desain alternatif sistem perkerasan tipe 3F flexible pavement



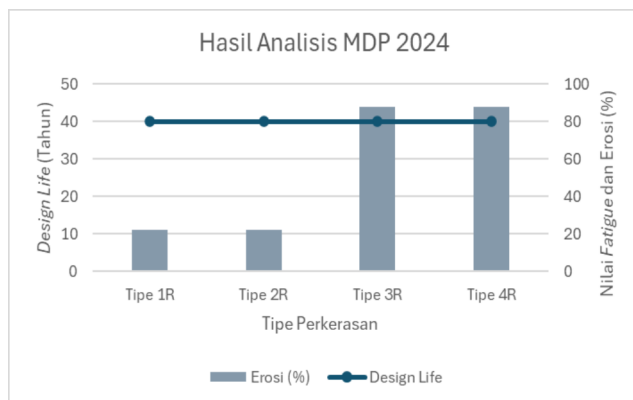
Gambar 11. Desain alternatif sistem perkerasan tipe 4F flexible pavement

4.2.4 Hasil analisis metode empiris

1. *Rigid Pavement*
 - a. Nilai JSKN selama umur rencana 40 tahun yaitu 182.855.484;
 - b. Dalam kondisi menggunakan tanah timbunan (Tipe 1R dan Tipe 2R) dan nilai CBR optimum 6,698%, tebal pelat beton yang dapat digunakan yaitu 315 mm dengan nilai
 - c. Analisis kelelahan sebesar 0% yang terdiri atas 0% STRT, 0% STRG, dan 0% STdRG serta didapatkan nilai analisis erosi sebesar 22,01%

yang terdiri atas 0% STRT, 17,42% STRG, dan 4,59% STdRG;

- d. Dalam kondisi tidak menggunakan tanah timbunan (Tipe 3R dan Tipe 4R) dan nilai CBR tertimbang 4,579%, tebal pelat beton yang dapat digunakan yaitu 315 mm dengan nilai analisis kelelahan sebesar 0% yang terdiri atas 0% STRT, 0% STRG, dan 0% STdRG serta didapatkan nilai analisis erosi sebesar 87,86% yang terdiri atas 0% STRT, 67,7% STRG, dan 20,16% STdRG;



Gambar 12. Grafik hasil analisis rigid pavement MDP 2024

- e. Berdasarkan poin b dan c, tipe perkerasan yang dipilih yaitu Tipe 1R dan Tipe 2R dikarenakan memiliki nilai analisis erosi yang lebih kecil dibandingkan dengan Tipe 3R dan Tipe 4R. Semakin kecil nilai analisis erosi maka semakin kecil potensi terjadinya erosi tanah dasar atau lapis pondasi bawah yang timbul akibat lendutan berulang pada sambungan;
- f. Penjelasan terkait tipe perkerasan mengacu berdasarkan rincian pada Tabel 3 serta untuk bagan terkait rekapitulasi hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 12.

2. Flexible Pavement

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024, didapatkan beberapa output dari analisis yang telah dibahas antara lain:

- a. Tebal lapis perkerasan untuk umur rencana 20 tahun mengacu terhadap Bagan Desain-3A Desain Perkerasan Lentur pada Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024 yaitu FFF(1) 6 dengan kriteria beban rencana selama 20 tahun > 30 – 50 juta dimana nilai CESA5 sebesar 37.727.918 masuk kedalam range tersebut;
- b. Sistem perkerasan dibagi dalam 2 (dua) kondisi yaitu kondisi menggunakan tanah timbunan (Tipe 1F dan Tipe 2F) dan kondisi tidak menggunakan tanah timbunan (Tipe 3F dan Tipe 4F), kedua kondisi tersebut memiliki umur rencana yang sama yaitu 20 tahun;
Dalam memilih tipe perkerasan yang akan digunakan perlu dilakukan analisis mekanistik-empiris menggunakan program kenpave untuk mendapatkan nilai strain, untuk menghubungkan respons dan kinerja perkerasan terhadap beban dilakukan perhitungan fungsi transfer lapis beraspal untuk mendapatkan $N_{allowable}$ untuk fatigue cracking dan permanent deformation. Dipilih nilai $N_{allowable}$ yang terbesar dari 4 (empat) tipe perkerasan tersebut.

4.3. Analisis metode mekanistik-empiris

Analisis perkerasan jalan dengan metode mekanistik-empiris menggunakan program bantu kenpave, dimana

untuk rigid pavement menggunakan kenslabs dan untuk flexible pavement menggunakan kenlayer. Pendekatan mekanistik-empiris dilakukan untuk mengevaluasi berbagai skenario desain, memilih material terbaik, dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum perkerasan jalan dibangun.

4.3.1 Analisis metode mekanistik-empiris untuk rigid pavement

Analisis perkerasan jalan dengan metode mekanistik-empiris pada rigid pavement menggunakan kenslabs yang merupakan salah satu bagian dari program kenpave. Untuk rigid pavement dilakukan 2 (dua) kali running dikarenakan terdapat 2 (dua) alternatif yang berbeda (Tipe 1R dan Tipe 2R). Hasil running program menghasilkan respon struktur dari sistem perkerasan yang sudah di desain berupa max stress dan indeks cracking pada setiap jenis alternatif perkerasan dimana pada analisis metode mekanistik-empiris ini untuk rigid pavement terbagi atas Tipe 1R dan Tipe 2R, kedua tipe tersebut merupakan tipe yang dipilih pada analisis metode empiris sebelumnya. Rekapitulasi hasil analisis rigid pavement kenpave dapat dilihat pada Gambar 5.

4.3.2 Analisis metode mekanistik-empiris untuk flexible pavement

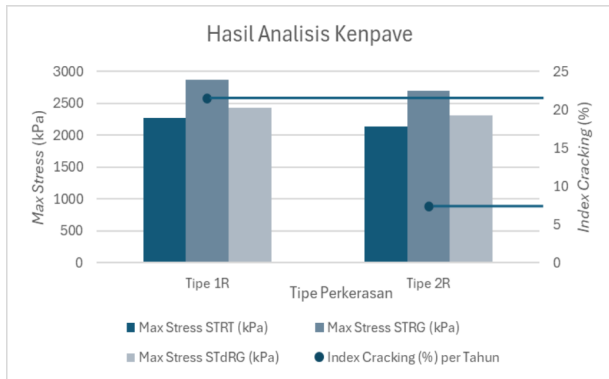
Analisis perkerasan jalan dengan metode mekanistik-empiris pada flexible pavement menggunakan kenlayer yang merupakan salah satu bagian dari program kenpave. Untuk flexible pavement dilakukan 4 (empat) kali running dikarenakan terdapat 4 (empat) tipe alternatif yang berbeda. Hasil running program menghasilkan respon struktur dari sistem perkerasan yang sudah di desain berupa horizontal strain pada bound material dan vertical strain pada unbound material. Rekapitulasi hasil running dijelaskan pada sub bagian 4.3.3 nomor 2.

4.3.3 Hasil analisis metode mekanistik-empiris

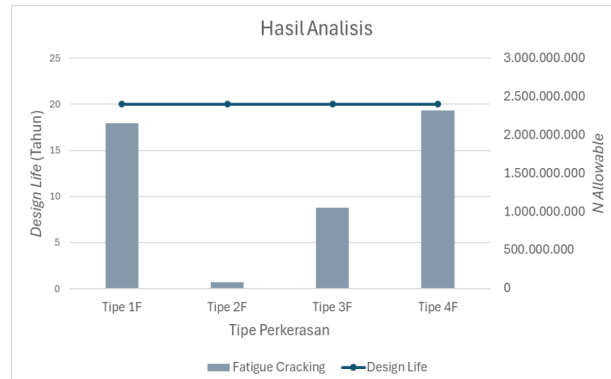
1. Rigid Pavement

- a. Nilai max stress Tipe 1R untuk STRT 2.269,49 kPa, STRG 2.867,52 kPa, dan STdRG 2.428,07 kPa serta nilai index cracking sebesar 21,446% per tahun;
- b. Nilai max stress Tipe 2R untuk STRT 2.130,92 kPa, STRG 2.698,91 kPa, dan STdRG 2.304,09 kPa serta nilai index cracking sebesar 7,32% per tahun;
- c. Berdasarkan poin a dan b, tipe perkerasan yang dipilih yaitu Tipe 2R dikarenakan memiliki nilai max stress dan index cracking yang lebih kecil dibandingkan Tipe 1. Semakin kecil nilai max stress maka semakin kecil nilai index cracking yang menjadikan potensi kerusakan pada perkerasan menjadi lebih kecil;
- d. Bagan terkait rekapitulasi hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 13.

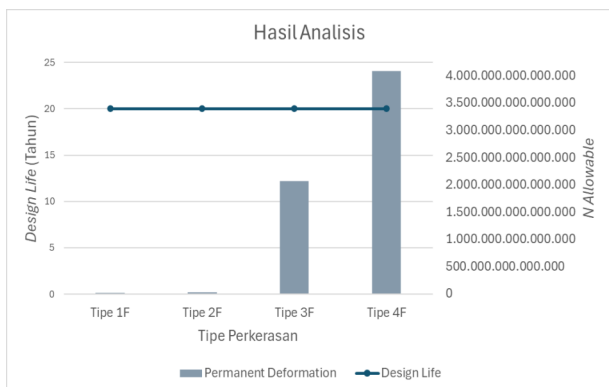
2. Flexible Pavement



Gambar 13. Grafik Hasil Analisis Rigid Pavement Kenpave



Gambar 14. Grafik Hasil Analisis Fatigue Cracking pada Flexible Pavement



Gambar 15. Grafik Hasil Analisis Permanent Deformation pada Flexible Pavement

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan kenpave, didapatkan beberapa *output* dari analisis antara lain:

- Nilai *vertical strain* untuk tipe 1F yaitu 80,49 $\mu\epsilon$, untuk tipe 2F yaitu 83,02 $\mu\epsilon$, untuk tipe 3F yaitu 92,90 $\mu\epsilon$, dan untuk tipe 4F yaitu 85,93 $\mu\epsilon$.
- Nilai *horizontal strain* untuk tipe 1F yaitu 119,10 $\mu\epsilon$, untuk tipe 2F yaitu 107,50 $\mu\epsilon$, untuk tipe 3F yaitu 60,29 $\mu\epsilon$, dan untuk tipe 4F yaitu 54,72 $\mu\epsilon$.
- Untuk menghubungkan respons serta kinerja perkerasan terhadap beban, terdapat fungsi transfer lapis beraspal menggunakan metode MDP 2024. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan *N allowable* untuk *fatigue cracking* dan *permanent deformation*:

• *Fatigue cracking*

$$N = \frac{SF}{RF} \times \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{E_{mix}^{0,36} \times \mu\epsilon} \right]^5$$

$$N = \frac{6}{3,9} \times \left[\frac{6918 \times (0,856 \cdot 11,5 + 1,08)}{1500^{0,36} \times 92,9} \right]^5$$

$$= 1.051.610.836,75$$

• *Permanent Deformation*

$$N = \left[\frac{9300}{\mu\epsilon} \right]^7 = \left[\frac{9300}{60,29} \right]^7 = 2,078 \times 10^{15}$$

- Rekapitulasi hasil perhitungan *fatigue cracking* dan *permanent deformation* dapat dilihat pada bagan terkait rekapitulasi hasil analisis Gambar 14 dan Gambar 15;
- Berdasarkan poin b dan c, tipe perkerasan yang dipilih yaitu Tipe 4F dikarenakan memiliki nilai *N Allowable* pada *fatigue cracking* dan *permanent deformation* yang paling besar. Semakin besar nilai *N Allowable* maka semakin besar kemampuan sistem perkerasan dalam menerima jumlah repetisi beban.

4.4 Analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Analisis rencana anggaran biaya akan dilakukan hanya pada tipe perkerasan yang sudah dipilih berdasarkan analisis metode empiris dan analisis metode mekanistik-empiris sebelumnya. Alternatif perkerasan jalan yang akan dilakukan analisis yaitu Tipe 2R untuk *rigid pavement* dan Tipe 4F untuk *flexible pavement*. Dalam penelitian ini diambil panjang 1 meter untuk setiap tipe perkerasan dengan lebar jalur 2 x 3,5 meter dan tebal lapis perkerasan mengacu pada Gambar 5 untuk tipe 2R dan Gambar 11 untuk tipe 4F.

4.4.1 Analisis harga satuan pekerjaan

Analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) yang digunakan berdasarkan Harga Satuan di Lingkungan Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Banten Tahun 2024, terlampir pada Tabel 3.

4.4.2 Hasil analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Analisis rencana anggaran biaya pada penelitian ini dihitung hanya sepanjang 1 (satu) meter untuk setiap modelnya sehingga didapatkan harga satuan pekerjaan per meter panjang. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan beberapa *output* dari analisis yang telah dibahas antara lain:

- Nilai rencana anggaran biaya untuk Tipe 2R *rigid pavement* dengan umur rencana 40 tahun yaitu Rp. 10.615.725,00/m²;
- Nilai rencana anggaran biaya untuk Tipe 4F *flexible pavement* dengan umur rencana 20 tahun yaitu Rp. 11.392.791,00/m²;
- Apabila akan dilakukan pemilihan antara rigid pavement dan *flexible pavement* berdasarkan

Tabel 3. Analisis harga satuan pekerjaan

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp.)
1	Timbunan Pilihan Berbutir (diukur diatas bak truk)	m3	Rp 111.528,27
2	Asphalt Treated Permeable Base (ATPB)	ton	Rp 1.245.856,33
3	Perkerasan Beton Semen	m3	Rp 1.705.886,13
4	Lapis Fondasi Beton Kurus	m3	Rp 1.194.429,42
5	AC-WC	ton	Rp 1.549.028,94
6	AC-BC	ton	Rp 1.474.272,68
7	AC Base	ton	Rp 1.328.352,41

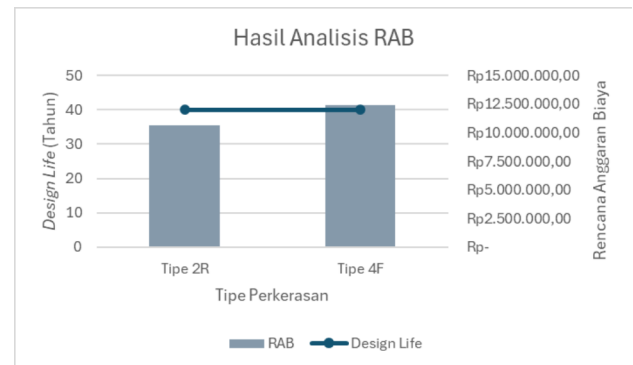
biaya, maka harus dilakukan perbandingan dengan umur rencana yang sama, dalam hal ini diambil umur rencana 40 tahun;

- Untuk *flexible pavement* dengan umur rencana 40 tahun terdapat perubahan nilai CESA5 dimana semula 37.727.918 (20 tahun) menjadi 120.460.611 (40 tahun). Untuk nilai CESA5 umur rencana 40 tahun masuk ke dalam bagian FFF(1) 8 dengan kriteria beban rencana selama 40 tahun yaitu $> 100 - 150$ juta dimana nilai CESA5 masuk ke dalam range tersebut. Sehingga terdapat penambahan tebal untuk AC-WC sebesar 10 mm, AC-BC sebesar 20 mm, dan AC Base sebesar 15 mm;
- Didapatkan biaya untuk *rigid pavement* dengan umur rencana 40 tahun yaitu Rp. 10.615.725,00/m' dan untuk *flexible pavement* dengan umur rencana 40 tahun yaitu Rp. 12.437.698,00 /m'), rekapitulasi hasil analisis dapat dilihat pada **Gambar 16**.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil analisis penentuan tebal minimum lapis perkerasan untuk peninggian jalan yaitu 23 cm.
- Hasil analisis metode empiris MDP 2024 yaitu tebal rigid pavement untuk peninggian jalan adalah 315 mm. Nilai analisis kelelahan untuk seluruh tipe rigid pavement yaitu 0%. Terdapat perbedaan nilai analisis erosi, 22,01% untuk Tipe 1R dan 2R dan 87,86% untuk Tipe 3R dan 4R.
- Dipilih perkerasan Tipe 1R dan 2R karena memiliki nilai erosi lebih kecil dari Tipe 3R dan 4R, semakin kecil nilai erosi maka semakin kecil potensi terjadinya erosi tanah dasar yang timbul akibat lendutan berulang pada sambungan.
- Hasil analisis metode empiris MDP 2024, tebal untuk flexible pavement mengacu pada Bagan Desain-3A MDP 2024 tipe FFF(1) 6 dengan kriteria beban rencana selama 20 tahun yaitu $> 30 - 50$ juta dimana nilai CESA5 sebesar 37.727.918 masuk kedalam range tersebut. Untuk memilih tipe perkerasan yang akan digunakan perlu dilakukan analisis lanjutan berupa analisis mekanistik-empiris.
- Hasil analisis metode mekanistik-empiris Kenpave, *rigid pavement* menghasilkan nilai *index cracking*



Gambar 16. Grafik hasil analisis rencana anggaran biaya

Tipe 1R sebesar 21,446% per tahun dan Tipe 2R sebesar 7,32% per tahun.

- Berdasarkan hasil analisis metode mekanistik-empiris, 2 tipe perkerasan sudah memenuhi kriteria teknis dimana untuk persentase *index cracking* harus $< 100\%$. Tipe 2R dipilih dikarenakan memiliki nilai *index cracking* yang lebih kecil dari Tipe 1R.
- Berdasarkan hasil analisis metode mekanistik-empiris program Kenpave untuk *flexible pavement*, 4 tipe perkerasan sudah memenuhi kriteria teknis dimana untuk nilai *N Allowable* harus lebih besar $>$ dari nilai *N Expected* (37.727.918). Tipe 4F dipilih dikarenakan memiliki nilai *N Allowable* pada *fatigue cracking* dan *permanent deformation* yang paling besar.
- Hasil analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) menghasilkan nilai biaya untuk Tipe 2R *rigid pavement* dengan umur rencana 40 tahun yaitu Rp. 10.615.725,00/m' sedangkan untuk *flexible pavement* dengan umur rencana 20 tahun yaitu senilai Rp. 11.392.791,00 /m'.
- Apabila akan dilakukan pemilihan antara *rigid pavement* dan *flexible pavement* berdasarkan biaya, maka harus dilakukan perbandingan dengan umur rencana yang sama, dalam hal ini diambil umur rencana 40 tahun. Didapatkan biaya untuk *rigid pavement* dengan umur rencana 40 tahun yaitu Rp. 10.615.725,00/m' dan untuk *flexible pavement* dengan umur rencana 40 tahun yaitu Rp. 12.437.698,00 /m').
- Pemilihan tipe perkerasan berdasarkan aspek teknis sistem perkerasan, tipe 2R dan 4F dapat menjadi opsi pilihan. Namun apabila berdasarkan aspek biaya, tipe 2R dapat menjadi opsi pilihan karena memiliki biaya paling rendah.

Daftar Pustaka

- Bhagat, Nirman. (2017). *Flood Frequency Analysis Using Gumbel's Distribution Method: A Case Study of Lower Mahi Basin, India*. Journal of Water Resources and Ocean Science. Vol. 6, No. 4, 2017, pp. 51-54. doi: 10.11648/j.wros.20170604.11.

- Damayanti, M., Sutrisno, M., Karnisah, I. (2020). *The Road Drainage Planning for Flood Control in Dr. Djunjunan Road*, Pasteur-Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Pedoman Desain Drainase Jalan No. 15/P/BM/2021*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan No. 03/M/BM/2024*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- ERES Division. (2000). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures (Appendix Dd-1: Resilient Modulus As Function Of Soil Moisture-Summary Of Predictive Models)*. West University Avenue Champaign, NCHRP. Illinois.
- Federal Highway Administration. (1998). *Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design (In Search of Better Investment Decisions)*. Federal Highway Administration: Pavement Division Interim Technical Bulletin, Publication No. FHWA-SA-98-079 .
- Gaume, E., Livet, M., Desbordes, M., & Villeneuve, J., P. (2003). *Hydrological Analysis Of The River Aude*, France, flash flood On 12 And 13 November 1999.
- Herison, A., Romdania, Y., Purwadi, O. K., & Effendi, R. (2018). *Kajian Penggunaan Metode Empiris dalam Menentukan Debit Banjir Rancangan pada Perencanaan Drainase (Review)*.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design (Second Edition)*. Lexington: University of Kentucky.
- Hu, A., Bai, Q., Chen, L., Meng, S., Li, Q., & Xu, Z., (2022). *A Review on Empirical Methods of Pavement Performance Modeling*. Construction and Building Materials 342, 127968. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127968>
- Kalore, S. A., Babu, G. L. S. & Mallick, R. B. (2019). *Design Approach for Drainage Layer in Pavement Subsurface Drainage System Considering Unsaturated Characteristics*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science. Transportation Geotechnics 18 (2019) 57–71.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil*, Perencanaan Teknis Drainase Bawah Permukaan dengan Menggunakan Filter Geotekstil. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 34/SE/M/2015. Jakarta.
- Lagmay, A. M., Mendoza, J., Cipriano, F., Delmendo, P. A., Lacsamana, M. N., Moises, M. A., Pellejera III, N., Punay, K. N., Sabio, G., Santos, L., Serrano, J., Taniza, H. J. & Tingin, N. E. (2017). *Street Floods in Metro Manila and Possible Solutions*, Journal of Environmental Sciences.
- Rojas, N. A., Suarez, F., Chamorro, A., & Gonzalez, A. (2023). *Flood Impact On Structural Response Of Asphalt Pavement: A Finite Element Modeling Approach*.
- Tisnavianti, R. (2022). *Analisis Pengaruh Lapis Drainase terhadap Kinerja Struktur Perkerasan Kaku*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Viarsami, V V. (2022). *Pengaruh Efektivitas Lapis Drainase Terhadap Kinerja Struktural Sistem Perkerasan Lentur*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Wardhana, A. S. (2023). *Analisis Sistem Perkerasan Kaku dengan Variasi Lapis Pondasi Bawah untuk Pekerjaan Raising pada Lokasi Banjir*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.