

STUDI PENINGKATAN RUAS JALAN ROBATAL – KETAPANG (STA 26+228-STA 36+228) KABUPATEN SAMPANG

Dedi Candra¹, Anang Bakhtiar², dan Ita Suhermin Ingsih³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail : 21901051025@unisma.ac.id

²Dosen Teknik, Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail : anangbakhtiar@unisma.ac.id

³Dosen Teknik, Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail : ita.suhermin@unisma.ac.id

ABSTRACT

The Robatal-Ketapang road section (STA 26+228-STA 36+228) in Sampang Regency functions as a Class III primary collector corridor supporting inter-district mobility and goods movement. Improvement is required because the existing carriageway width does not yet satisfy the expected service standard, pavement deterioration is present, and drainage performance remains inadequate at several locations. This study evaluates the 2044 design LHR, determines flexible-pavement layer thickness using the Bina Marga 2024 method, sizes drainage channels for the design flood discharge, and estimates the Cost Budget Plan (RAB). The analysis uses LHR records for 2022-2024, DCP/CBR measurements, maximum rainfall at Robatal Station for 2015-2024, road geometry, DEMNAS-based topography, and unit-price data. The calculation produced a 2044 design LHR of 2,911 vehicles/day with a total of 7,196.33 light-vehicle units. CESA5 was 486,919.73 ESA5 and the subgrade CBR was 2.05%. The proposed pavement comprises 50 mm AC-WC, 60 mm AC-BC, 400 mm Class A LPA, and 175 mm subgrade improvement. The highest design discharges were 2.54 m³/s in segment G2-H2 and 2.21 m³/s in segment L1-M1. After 11% VAT and rounding, the total RAB is IDR 90,275,097,000.00. Accordingly, road widening, pavement strengthening, and drainage improvement should be implemented as an integrated package to improve road performance and limit deterioration associated with surface-water inundation.

Keywords : *Bina Marga 2024, road drainage, flexible pavement, RAB, Robatal-Ketapang*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai prasarana transportasi darat, jalan mencakup badan jalan beserta bangunan pelengkap dan perlengkapan yang digunakan untuk menunjang lalu lintas. Keberadaannya berperan dalam membentuk keterhubungan antarpusat kegiatan, memudahkan arus barang maupun jasa, dan mendorong aktivitas ekonomi suatu wilayah [1]. Dalam perencanaan teknis, mutu pelayanan serta keselamatan jalan tidak cukup dinilai dari lebar jalur saja, tetapi juga dipengaruhi oleh kapasitas struktur perkerasan, karakteristik tanah dasar, dan efektivitas drainase dalam membuang limpasan permukaan.

Jalan Robatal-Ketapang di Kabupaten Sampang menjadi salah satu penghubung antara Kecamatan Robatal dan Kecamatan Ketapang. Pergerakan penduduk, distribusi hasil pertanian, aktivitas perdagangan, serta akses menuju kawasan permukiman turut dilayani oleh ruas ini. Segmen kajian membentang sepanjang 10 km, mulai STA 26+228 hingga STA 36+228, dengan konfigurasi satu jalur dua arah. Lebar jalan pada kondisi sekarang sekitar 5 m, sehingga ruang gerak dan kenyamanan kendaraan masih kurang memadai dibandingkan kebutuhan pelayanan jalan kolektor primer kelas III [2].

Kondisi lapangan memperlihatkan tiga persoalan pokok, yakni lebar jalan yang terbatas, kerusakan pada lapisan perkerasan, dan kinerja drainase yang belum memadai pada

sejumlah lokasi. Retak, lubang, pelepasan butir, maupun perubahan bentuk permukaan dapat mengalami perkembangan lebih cepat ketika air hujan tertahan lalu masuk ke dalam struktur jalan. Pada sistem perkerasan lentur, infiltrasi air menuju lapis pondasi atau tanah dasar dapat mengurangi kapasitas dukung, meningkatkan lendutan, serta mempercepat kegagalan struktural [3]. Di samping pengaruh air, beban kendaraan berlebih (overload) yang melampaui kapasitas rencana juga berkontribusi nyata terhadap percepatan kerusakan dan pemendekan umur rencana (design life) perkerasan [4].

Rencana peningkatan jalan perlu mengacu pada pedoman desain yang mempertimbangkan karakter lalu lintas, kemampuan tanah dasar, dan kondisi lingkungan. Dalam penelitian ini, Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2024 menjadi acuan untuk memilih struktur perkerasan lentur berdasarkan akumulasi beban lalu lintas dan kapasitas dukung subgrade [5]. Untuk aspek drainase, analisis hidrologi dan hidrolika digunakan agar saluran yang direncanakan mampu melewati debit banjir desain [6], [7]. Kajian sebelumnya juga menunjukkan bahwa evaluasi serta pembenahan drainase jalan merupakan tindakan penting untuk mengendalikan genangan dan menekan risiko kerusakan infrastruktur [8]. Oleh sebab itu, peningkatan ruas tidak semata-mata berorientasi pada kapasitas geometrik, melainkan juga pada ketahanan perkerasan dan pengendalian air permukaan.

Temuan penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa penanganan jalan sebaiknya memadukan aspek lalu lintas, struktur perkerasan, dan drainase. Kresnawan, Rachmawati, dan Bakhtiar melaporkan bahwa kombinasi ruas yang sempit dengan pertumbuhan volume kendaraan dapat menurunkan tingkat pelayanan, sehingga pelebaran, penambahan lapis perkerasan, serta pembangunan saluran menjadi bagian dari penanganan yang diperlukan [9]. Husein, Suprpto, dan Bakhtiar menekankan bahwa LHR, CBR, daya dukung tanah dasar, dan kondisi drainase perlu dimasukkan dalam perencanaan agar perkerasan dapat menerima beban lalu

lintas secara memadai [10]. Dengan MDPJ 2024, Rasyid, Rokhmawati, dan Ingsih menyusun alternatif ketebalan perkerasan lentur berdasarkan kondisi trafik dan subgrade [11]. Sementara itu, Hafid, Suprpto, dan Ingsih menunjukkan kegunaan metode Bina Marga dan PCI dalam mengidentifikasi jenis serta tingkat kerusakan sekaligus menentukan kebutuhan penanganannya [12]. Atas dasar itu, kajian Ruas Robatal-Ketapang diarahkan pada proyeksi LHR, desain perkerasan lentur, perencanaan drainase, dan penyusunan RAB.

1.2 Identifikasi Masalah

Mengacu pada uraian latar belakang, persoalan yang menjadi fokus penelitian dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Lebar eksisting Ruas Jalan Robatal-Ketapang masih sekitar 4 meter, sedangkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 menetapkan kebutuhan lebar minimum 7 meter untuk jalan kolektor primer kelas III.
2. Pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang ditemukan beberapa bentuk kerusakan perkerasan, antara lain retak memanjang, retak melintang, lubang, pelepasan butiran, dan retak kulit buaya.
3. Sejumlah titik belum dilengkapi sistem drainase yang memadai. Akibatnya, air hujan dapat tertahan pada permukaan jalan, kemudian meresap ke lapisan perkerasan dan mempercepat penurunan kondisi struktur jalan.
4. Kajian sebelumnya masih mengacu pada Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017. Setelah terbitnya pembaruan MDP 2024, diperlukan evaluasi ulang untuk memperoleh rancangan perkerasan yang lebih sesuai dengan kondisi lapangan dan lalu lintas terkini.
5. Pertumbuhan penduduk serta aktivitas perekonomian di Kabupaten Sampang mendorong peningkatan arus kendaraan pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang dari tahun ke tahun.
6. Pelebaran dan perbaikan jalan membutuhkan pembiayaan yang besar karena mencakup pekerjaan struktur perkerasan, drainase, dan penyesuaian geometrik. Dengan demikian, kebutuhan

biaya perlu dihitung melalui Rencana Anggaran Biaya (RAB).

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan tersebut, pertanyaan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa besarnya LHR rencana pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang STA 26+228-STA 36+228 di Kabupaten Sampang untuk tahun 2044?
2. Berapa ketebalan struktur perkerasan lentur yang diperoleh dengan menggunakan metode Bina Marga 2024?
3. Berapa ukuran saluran drainase yang diperlukan pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang STA 26+228-STA 36+228 agar memenuhi ketentuan teknis?
4. Berapa nilai Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan perkerasan dan drainase pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang STA 26+228-STA 36+228 di Kabupaten Sampang?

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada ketentuan berikut:

1. Kajian mencakup perancangan perkerasan lentur dan drainase Ruas Jalan Robatal-Ketapang di Kabupaten Sampang dengan mengacu pada metode Bina Marga 2024.
2. Lokasi analisis dibatasi pada STA 26+228 hingga STA 36+228, atau sepanjang 10 km.
3. Harga satuan pekerjaan menggunakan acuan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 16 Tahun 2024 tentang Standar Biaya Umum.
4. Informasi topografi diperoleh melalui pengolahan data DEMNAS yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
5. Analisis tidak mencakup kajian dampak lingkungan yang timbul dari pelaksanaan pembangunan jalan maupun drainase.

1.5 Tujuan

Penelitian ini disusun untuk mencapai tujuan berikut:

1. Mengestimasi LHR rencana Ruas Jalan Robatal-Ketapang STA 26+228-STA 36+228 di Kabupaten Sampang pada tahun 2044;

2. Menentukan ketebalan lapisan perkerasan lentur berdasarkan metode Bina Marga 2024;
3. Menetapkan dimensi saluran drainase pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang STA 26+228-STA 36+228 di Kabupaten Sampang yang sesuai persyaratan teknis;
4. Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan perkerasan dan drainase pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang STA 26+228-STA 36+228 dengan dasar Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).

1.6 Manfaat

Hasil penelitian diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran akademik bagi mahasiswa teknik sipil dalam memahami penerapan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga dan perencanaan sistem drainase;
2. Memberikan dukungan teknis bagi peningkatan kualitas ruas jalan agar lebih aman, nyaman, dan mampu menunjang mobilitas serta kegiatan ekonomi masyarakat;
3. Mendorong pengurangan kerusakan jalan yang berkaitan dengan kinerja drainase, termasuk risiko lubang dan genangan pada badan jalan;
4. Menyediakan hasil kajian yang dapat dijadikan salah satu pertimbangan pada tahap perencanaan maupun pelaksanaan pembangunan jalan, terutama untuk desain perkerasan dan drainase.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelompokan Jalan

Jalan dapat dipahami sebagai infrastruktur transportasi darat yang mencakup badan jalan, bangunan pelengkap, dan perangkat pendukung lain yang ditujukan bagi penyelenggaraan lalu lintas [1]. Dalam perencanaan teknis, klasifikasi jalan diperlukan agar fungsi pelayanan, ketentuan geometrik, kelas pembebanan, serta kebutuhan struktur perkerasan dapat ditetapkan secara tepat. Pengelompokan dapat dilakukan berdasarkan fungsi, kelas, kondisi medan, maupun kewenangan pembinaannya [1], [2]. Jika dilihat dari fungsi, jaringan jalan terdiri atas arteri,

kolektor, dan lokal. Arteri melayani perjalanan utama yang cenderung jauh dan berkecepatan lebih tinggi; kolektor berfungsi menghimpun atau membagi arus dengan jarak perjalanan sedang; sedangkan jalan lokal terutama melayani pergerakan setempat dalam jarak pendek [1].

Kelas jalan menunjukkan kemampuan suatu ruas dalam menerima beban lalu lintas, salah satunya dinyatakan melalui Muatan Sumbu Terberat (MST). Penetapan kelas tersebut berkaitan langsung dengan standar geometrik dan kebutuhan struktur jalan yang direncanakan. Ruas Robatal-Ketapang dalam penelitian ini dikategorikan sebagai jalan kolektor primer kelas III. Karena itu, rancangan peningkatannya perlu mengikuti persyaratan teknis jalan kolektor sekaligus mempertimbangkan kebutuhan pelayanan lalu lintas pada ruas tersebut.

Tabel 1. Klasifikasi Jalan menurut Fungsi

Fungsi ruas	Ciri pelayanan	Fungsi pada jaringan
Arteri	Melayani perjalanan jauh dengan kecepatan relatif tinggi dan akses yang dibatasi	Menangani arus angkutan utama
Kolektor	Melayani perjalanan jarak menengah dengan kecepatan sedang dan akses terbatas	Menghimpun dan membagi arus angkutan
Lokal	Melayani perjalanan setempat berjarak pendek dengan kecepatan rendah dan akses lebih terbuka	Menunjang angkutan lokal/setempat

Sumber: PP No. 34 Tahun 2006 [1].

Tabel 2. Klasifikasi kelas jalan berdasarkan MST

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (ton)
Arteri	I	> 10
Arteri	II	10
Arteri	III	8
Kolektor	III A	8
Kolektor	III B	8

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga [5].

2.2 Perkerasan Jalan

Struktur perkerasan dibangun secara berlapis di atas tanah dasar agar beban

kendaraan dapat diterima dan diteruskan secara bertahap ke lapisan yang berada di bawahnya, sekaligus menyediakan permukaan berkendara yang aman dan nyaman [3]. Agar mampu berfungsi selama umur layanan, perkerasan harus memiliki kekuatan, kestabilan, dan ketahanan yang memadai terhadap pengulangan beban, perubahan temperatur, serta pengaruh air. Ditinjau dari sistem strukturnya, perkerasan secara umum dikelompokkan menjadi lentur, kaku, dan komposit [3].

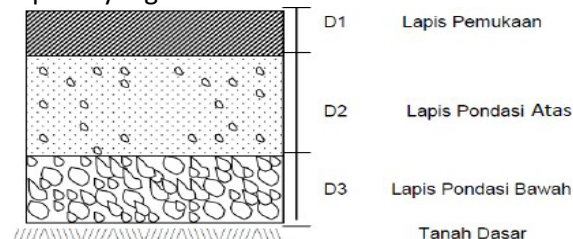
Tabel 3. Perbandingan Jenis Perkerasan Jalan

Tipe perkerasan	Material pengikat	Prinsip struktural
Perkerasan lentur	Aspal	Beban roda diteruskan secara bertahap melalui lapisan beraspal dan material berbutir.
Perkerasan kaku	Semen	Sebagian besar beban dipikul oleh pelat beton yang bekerja sebagai elemen slab.
Perkerasan komposit	Aspal dan semen	Menggabungkan sistem lentur dan kaku untuk memenuhi kebutuhan struktur tertentu.

Sumber: Sukirman [3].

2.3 Bagian-Bagian Perkerasan Lentur

Susunan perkerasan lentur pada umumnya meliputi lapisan permukaan, pondasi atas, pondasi bawah, dan tanah dasar. Lapisan paling atas berfungsi sebagai bidang kontak roda, lapis aus, sekaligus penghambat masuknya air. Beban dari permukaan kemudian diteruskan oleh lapis pondasi atas menuju lapisan yang lebih rendah.



Gambar 1. Susunan Lapisan Perkerasan Lentur
Sumber: Sukirman [3] dan Direktorat Jenderal Bina Marga [5].

Pondasi bawah membantu distribusi tegangan, membatasi pergerakan butiran halus dari subgrade, serta berperan sebagai lantai kerja selama konstruksi. Karena menjadi tumpuan akhir seluruh sistem, kemampuan dukung tanah dasar sangat memengaruhi kebutuhan tebal perkerasan [3], [5].

Tabel 4. Fungsi Lapisan pada Perkerasan Lentur

Komponen lapisan	Peranan utama
Lapisan permukaan	Menyediakan bidang berkendara yang rata, tahan aus, membatasi masuknya air, dan menerima kontak langsung roda.
Lapis pondasi atas	Meneruskan serta menyebarkan tegangan dari lapisan permukaan sekaligus memberi dukungan struktural.
Lapis pondasi bawah	Membantu distribusi beban, mengurangi pengaruh subgrade, dan berfungsi sebagai lantai kerja.
Tanah dasar	Menjadi tumpuan akhir sistem perkerasan; tingkat daya dukungnya dapat dievaluasi antara lain melalui CBR.

Sumber: Sukirman [3] dan Direktorat Jenderal Bina Marga [5].

2.4 Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2024

Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2024 digunakan untuk memilih konfigurasi dan tebal setiap lapisan perkerasan dengan mempertimbangkan umur rencana, beban lalu lintas, distribusi kendaraan, tingkat pertumbuhan lalu lintas, VDF, CESA, serta kekuatan tanah dasar [5]. Untuk perkerasan lentur, lapisan beraspal dan lapisan berbutir pada umumnya direncanakan untuk periode sekitar 20 tahun, sementara pondasi jalan dapat mempertimbangkan masa layanan yang lebih panjang [5].

$$R = \frac{((1+i)^{UR}-1)}{i} \quad (1)$$

Pada persamaan tersebut, R menyatakan faktor akumulasi pertumbuhan lalu lintas, i merupakan tingkat pertumbuhan tahunan dalam bentuk desimal, sedangkan UR adalah umur rencana yang dinyatakan dalam tahun [5].

$$ESA_{TH-1} = (LHR_{jk} \times VDF_{jk}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2)$$

Pada perhitungan ESA tahun pertama, LHR_{jk} menunjukkan lalu lintas harian rata-rata kendaraan niaga jenis ke-jk, VDF_{jk} adalah Vehicle Damage Factor, DD merupakan faktor pembagian arah, DL adalah faktor distribusi lajur, sedangkan R menyatakan faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif [5].

$$CBR_{karakteristik} = CBR_{rata-rata} - f \times s \quad (3)$$

CBR karakteristik dihitung dengan mempertimbangkan faktor probabilitas f dan standar deviasi s. Nilai ini digunakan untuk merepresentasikan kapasitas dukung tanah dasar; semakin kecil nilai CBR, semakin besar kebutuhan penguatan subgrade atau penambahan tebal lapis pondasi [5].

$$DDT = 4,3 \log(CBR) + 1,7 \quad (4)$$

Tabel 5. Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar perkerasan (L)	Jumlah lajur
L < 5,50 m	1 lajur
5,50 m ≤ L ≤ 8,25 m	2 lajur
8,25 m ≤ L ≤ 11,25 m	3 lajur
11,25 m ≤ L ≤ 15,00 m	4 lajur
15,00 m ≤ L ≤ 18,75 m	5 lajur
18,75 m ≤ L ≤ 22,00 m	6 lajur

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga [5].

Persamaan DDT digunakan sebagai pendekatan untuk mengonversi nilai CBR menjadi parameter daya dukung tanah dasar pada metode perencanaan tertentu [3].

Tabel 6. Contoh Chart Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Pondasi Berbutir

Struktur	FFF1 < 2 juta ESA5	FFF2 2-4 juta ESA5	FFF3 4-7 juta ESA5
AC-WC	40 mm	40 mm	40 mm
AC-BC	60 mm	60 mm	60 mm
AC-Base	0 mm	70 mm	80 mm
LPA Kelas A	400 mm	300 mm	300 mm

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga [5].

2.5 Perencanaan Drainase

Fungsi utama drainase jalan adalah memindahkan air dari permukaan sehingga tidak terjadi genangan pada badan jalan maupun peresapan berlebihan ke struktur perkerasan. Ketika sistem pembuangan air tidak bekerja dengan baik, kemampuan dukung

tanah dasar dan lapis pondasi dapat menurun sehingga kerusakan seperti retak, lubang, dan pelepasan butiran berkembang lebih cepat [6]. Proses perencanaannya umumnya dimulai dari analisis hidrologi untuk memperoleh debit banjir desain, kemudian diteruskan dengan perhitungan hidrolika guna menentukan ukuran saluran [6], [7].

$$t_c = t_0 + t_f \quad (5)$$

Waktu konsentrasi (t_c) merupakan penjumlahan waktu yang diperlukan limpasan mencapai saluran (t_0) dan waktu perjalanan aliran di dalam saluran (t_f) [6], [7].

$$t_f = \frac{L_{saluran}}{(3600 \times V_{saluran})} \quad (6)$$

Dalam persamaan tersebut, $L_{saluran}$ menyatakan panjang lintasan aliran di dalam saluran (m), $V_{saluran}$ adalah kecepatan aliran (m/det), sedangkan t_f dinyatakan dalam satuan jam.

$$I = \left(\frac{R24}{24}\right) \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{\left(\frac{2}{3}\right)} \quad (7)$$

Intensitas hujan dihitung menggunakan persamaan Mononobe. Variabel I menyatakan intensitas hujan (mm/jam), $R24$ adalah curah hujan maksimum selama 24 jam (mm), dan t_c merupakan waktu konsentrasi (jam) [6], [7].

$$C = \frac{(C1A1 + C2A2 + \dots + CnAn)}{(A1 + A2 + \dots + An)} \quad (8)$$

Koefisien limpasan gabungan dipakai ketika satu daerah tangkapan tersusun atas lebih dari satu jenis penggunaan lahan yang mempunyai nilai koefisien aliran berbeda [6].

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (9)$$

Untuk daerah tangkapan yang relatif kecil, debit puncak dapat dihitung dengan Metode Rasional. Pada persamaan tersebut Q adalah debit desain (m³/det), C merupakan koefisien limpasan, I menunjukkan intensitas hujan (mm/jam), dan A adalah luas daerah pengaliran (km²) [6], [7].

Tabel 7. Koefisien Pengaliran berdasarkan Tata Guna Lahan

Tipe Daerah Aliran	Kondisi	Koefisien Aliran (C)
Rerumputan	Tanah pasir datar	0,05-0,10
Perumahan	Single family	0,30-0,50
Industri	Daerah ringan	0,50-0,80
Jalan	Beraspal/beton	0,70-0,95
Atap	-	0,70-0,95

Sumber: Suripin [6].

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Kecepatan rata-rata pada aliran saluran terbuka dihitung dengan persamaan Manning. Variabel V adalah kecepatan aliran (m/det), n menunjukkan koefisien kekasaran Manning, R_h merupakan jari-jari hidrolis (m), dan S menyatakan kemiringan dasar saluran [13], [14].

Tabel 8. Angka Kekasaran Manning

Material saluran	Nilai n
Tanah	0,020-0,025
Pasir dan kerikil	0,025-0,040
Semen mortar	0,015-0,017
Beton	0,011-0,015
Pasangan batu adukan basah	0,022-0,026

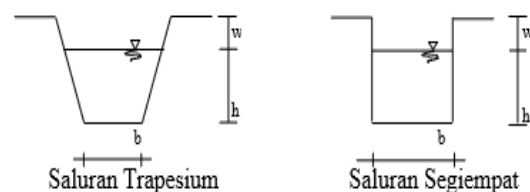
Sumber: Chow [13] dan Suripin [6].

2.6 Analisa Hidrolika

Analisis hidrolika digunakan untuk mengevaluasi apakah penampang saluran memiliki kemampuan yang cukup dalam melewati debit rencana. Parameter yang dikaji pada saluran terbuka mencakup luas penampang aliran, keliling basah, jari-jari hidrolis, kecepatan, dan debit. Pada perencanaan drainase jalan, pendekatan steady flow dapat digunakan, yaitu asumsi bahwa debit serta kecepatan tidak mengalami perubahan berarti pada penampang yang dianalisis [13], [14].

2.7 Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran menggambarkan besarnya debit yang dapat ditampung sekaligus dialirkan oleh suatu penampang. Suatu saluran dinilai memadai apabila kapasitas hitungannya sekurang-kurangnya sama dengan debit rencana. Dalam pekerjaan drainase jalan, bentuk penampang yang banyak digunakan antara lain segi empat dan trapesium [6], [13].



Gambar 2. Bentuk Penampang Saluran Drainase

Sumber: Chow [13].

2.8 Rencana Anggaran Biaya

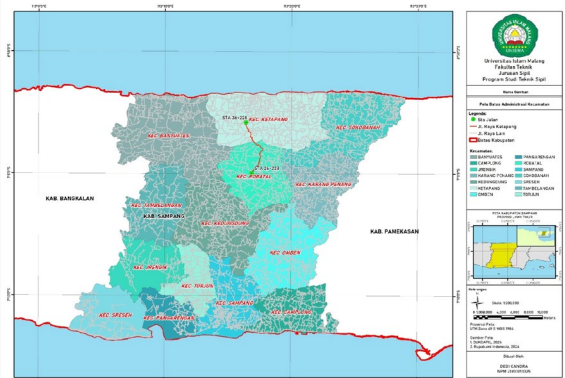
Rencana Anggaran Biaya (RAB) digunakan untuk memperkirakan kebutuhan biaya pekerjaan berdasarkan kuantitas masing-masing item dan harga satuannya. Pada pekerjaan jalan, kuantitas dapat diturunkan dari dimensi panjang, lebar, serta ketebalan lapisan, sedangkan volume saluran dihitung dari ukuran penampang dan panjang pekerjaan drainase [15]. Secara umum, hubungan perhitungannya dinyatakan dengan persamaan berikut:

RAB = Volume × Harga Satuan Pekerjaan (15)

Harga satuan pekerjaan tersusun atas komponen material, tenaga kerja, dan peralatan. Cakupan RAB pada penelitian ini meliputi pekerjaan drainase, pekerjaan tanah, lapis perkerasan berbutir, serta perkerasan aspal. Setelah seluruh biaya pekerjaan dijumlahkan, nilai tersebut dikenai Pajak Pertambahan Nilai (PPN) 11% dan selanjutnya dibulatkan untuk keperluan penyajian.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada pada Ruas Jalan Robatal-Ketapang di Kabupaten Sampang, Jawa Timur, mulai STA 26+228 hingga STA 36+228 dengan total panjang 10 km. Kajian ini merupakan perencanaan teknis yang dilaksanakan melalui pengumpulan data, perancangan perkerasan lentur, perhitungan drainase, dan penyusunan RAB.



Gambar 3. Lokasi Penelitian
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Sumber data penelitian dibedakan menjadi data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan lapangan serta dokumentasi kondisi lokasi. Adapun data sekunder mencakup geometrik jalan, LHR tahun 2022-2024 dari instansi terkait, hasil DCP/CBR,

curah hujan harian maksimum Stasiun Robatal periode 2015-2024, topografi DEMNAS, informasi tutupan lahan, serta harga satuan pekerjaan.

Analisis diawali dengan inventarisasi kondisi geometrik dan data lalu lintas. Seri LHR digunakan untuk memperoleh tingkat pertumbuhan kendaraan dan memproyeksikan lalu lintas hingga 2044. Tahap berikutnya adalah menghitung CESA5 dengan memasukkan kendaraan niaga, VDF, distribusi arah, distribusi lajur, dan faktor pertumbuhan. Kombinasi nilai CESA5 dengan CBR subgrade selanjutnya digunakan dalam pemilihan struktur perkerasan lentur sesuai Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2024.

Tabel 9. Data yang digunakan dalam Penelitian

Data	Uraian penggunaan
Data geometrik	Meliputi tipe jalan, lebar jalur dan lajur, panjang segmen, serta kondisi geometrik eksisting
Data LHR	LHR tahun 2022-2024 sebagai dasar proyeksi volume lalu lintas
Data DCP/CBR	Hasil pengujian pada 51 titik dengan jarak antar titik 200 m di sepanjang lokasi kajian
Data curah hujan	Curah hujan harian maksimum Stasiun Robatal selama 2015-2024
Data topografi	Data DEMNAS beserta pengolahan elevasi untuk kebutuhan analisis drainase
Data harga satuan	Acuan harga untuk penyusunan RAB pekerjaan perkerasan dan drainase

Sumber: Hasil analisis, 2025

Untuk drainase, data hujan sepuluh tahun diolah melalui pengujian distribusi, perhitungan waktu konsentrasi dan intensitas, penentuan debit banjir desain, serta evaluasi kapasitas saluran. Pemeriksaan hidrolika menggunakan persamaan Manning untuk membandingkan kapasitas saluran dengan debit yang harus dilayani. Setelah desain teknis diperoleh, volume tiap pekerjaan dihitung sebagai dasar penyusunan RAB yang mencakup drainase, pekerjaan tanah, perkerasan berbutir, dan lapisan aspal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Segmen Robatal-Ketapang yang dianalisis memiliki panjang 10.000 m, terbentang dari STA 26+228 hingga STA 36+228. Ruas tersebut menghubungkan Kecamatan Robatal dengan Kecamatan Ketapang dan turut melayani kegiatan sosial serta ekonomi masyarakat di sekitarnya. Secara eksisting, jalan menggunakan satu jalur dua arah tanpa median. Hasil inventarisasi geometrik menunjukkan lebar jalur sekitar 5 m atau kurang lebih 2,5 m untuk setiap lajur. Kondisi ini menjadi dasar perlunya peningkatan agar kapasitas dan kenyamanan pelayanan jalan dapat membaik.

Tabel 10. Data geometrik lokasi penelitian

Parameter	Keterangan
Lokasi penelitian	Jl. Robatal-Ketapang
STA penelitian	STA 26+228 sampai STA 36+228
Panjang jalan	10.000 m
Tipe jalan	1 jalur 2 arah atau 2/2 UD
Lebar jalur eksisting	5 m
Lebar lajur eksisting	2,5 m
Median	Tidak ada median

Sumber: Hasil analisis, 2025

4.2 Data Penunjang Perencanaan

Data pendukung desain meliputi lalu lintas, CBR tanah dasar, curah hujan, topografi, tutupan lahan, dan harga satuan. LHR dipakai untuk menyusun lalu lintas rencana hingga akhir periode desain, sedangkan data DCP dikonversi untuk memperoleh CBR subgrade. Informasi hujan dan topografi menjadi masukan dalam analisis hidrologi-hidrolika, sementara harga satuan digunakan pada perhitungan RAB.

Umur rencana perkerasan lentur ditetapkan selama 20 tahun. Perhitungan lalu lintas memanfaatkan LHR tahun 2022, 2023, dan 2024. Pada 2024 tercatat 2.911 kendaraan per hari, kemudian nilai tersebut diproyeksikan hingga 2044 dengan menggunakan tingkat pertumbuhan tiap kelompok kendaraan.

Proyeksi memperlihatkan kenaikan volume dari 2.911 kendaraan/hari pada 2024 menjadi 7.196,33 kendaraan/hari pada 2044. Perubahan tersebut mengindikasikan bahwa pelebaran ruas dan penguatan struktur perkerasan

dibutuhkan supaya jalan tetap mampu melayani beban selama umur rencana.

Tabel 11. Rekapitulasi LHR Eksisting dan LHR Rencana Tahun 2044

Jenis Kendaraan	LHR 2024	LHR 2044
Sepeda motor, sekuter, dan roda tiga	1.736	3.558,87
Sedan, jeep, dan station wagon	555	1.931,71
Oplet, pick-up, dan mini bus	260	579,33
Pick-up micro, truck, dan mobil hantaran	180	585,57
Bus kecil	13	69,10
Bus besar	13	29,41
Truck 2 sumbu 4 roda	32	85,84
Truck 2 sumbu 6 roda	23	58,32
Truck 3 sumbu	8	31,79
Truck gandeng	7	34,70
Kendaraan tidak bermotor	84	231,67
Jumlah	2.911	7.196,33

Sumber: Hasil analisis, 2025

4.3 Hasil Pengujian DCP (Dinamyc Cone Penetrometer)

Pengujian DCP dilaksanakan pada 51 lokasi di sepanjang Ruas Robatal-Ketapang dengan jarak antar titik sekitar 200 m. Nilai hasil penetrasi kemudian dikorelasikan terhadap CBR lapangan dan disusun untuk menentukan CBR pada tingkat 90%. Pengolahan data menghasilkan CBR 90% sebesar 2,05%. Besaran tersebut menunjukkan daya dukung subgrade yang rendah, sehingga desain perkerasan memerlukan tindakan perbaikan tanah dasar.

Tabel 12. Ringkasan Hasil Pengujian CBR

Parameter	Nilai
Jumlah titik pengujian	51 titik
Interval pengujian	200 m
Nilai CBR tertinggi	7,65%
Nilai CBR terendah	1,05%
CBR desain/ CBR 90%	2,05%

Sumber: Hasil analisis, 2025

CBR 2,05% mengindikasikan bahwa tanah dasar termasuk kategori lemah. Konsekuensinya, sistem perkerasan memerlukan pondasi yang lebih andal dan perlakuan perbaikan pada subgrade. Apabila kondisi tersebut dibiarkan, pengulangan beban

kendaraan dapat menimbulkan deformasi permanen, terutama saat musim hujan ketika peningkatan kadar air semakin menurunkan kekuatan tanah.

4.4 Hasil Perhitungan Metode Manual Desain (Bina Marga) 2024

Desain perkerasan lentur dihitung dengan mengacu pada Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2024. Faktor distribusi arah ditetapkan 0,5 karena arus lalu lintas berlangsung dua arah, sedangkan faktor distribusi lajur bernilai 1 mengingat setiap arah hanya memiliki satu lajur. Untuk kendaraan niaga digunakan nilai VDF normal sesuai ketentuan dalam pedoman Bina Marga 2024.

Tabel 13. Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas ESA5

Jenis Kendaraan	LHR 2024	VDF 5	R	ESA5
Bus besar (5b)	13	1,2	20,08	109.901,62
Truck 2 sumbu 4 roda (6a)	32	0,5	20,10	112.815,15
Truck 2 sumbu 6 roda (6b)	23	0,3	20,09	48.637,86
Truck 3 sumbu (7a)	8	2,5	20,14	141.299,01
Truck gandeng (7b)	7	1,5	20,16	74.266,09
Jumlah CESA5	-	-	-	486.919,73

Sumber: Hasil analisis, 2025

Perhitungan menghasilkan CESA5 sebesar 486.919,73 ESA5, masih berada di bawah 2 juta ESA5. Besaran ini menempatkan kebutuhan struktur pada kelompok beban lalu lintas rendah hingga menengah. Meskipun demikian, CBR subgrade hanya 2,05%, sehingga perbaikan tanah dasar tetap diperlukan agar lapisan perkerasan dapat berfungsi sesuai desain.

Rancangan struktur terdiri dari AC-WC 40 mm, AC-BC 60 mm, LPA Kelas A 400 mm, serta perbaikan tanah dasar 175 mm. AC-WC ditempatkan sebagai lapis aus sekaligus penghambat air, sedangkan AC-BC berperan sebagai lapisan pengikat. LPA Kelas A menjadi pondasi utama dan dibuat paling tebal untuk

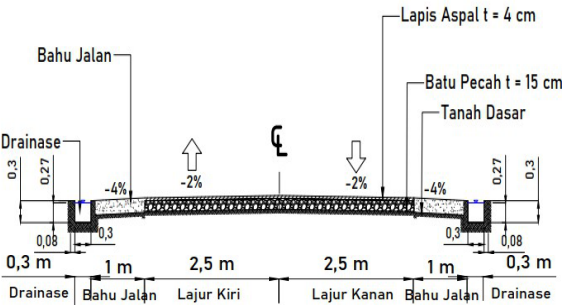
membantu menyebarkan beban sebelum diteruskan ke tanah dasar yang memiliki CBR rendah.

Tabel 14. Hasil Desain Struktur Pperkerasan Lentur

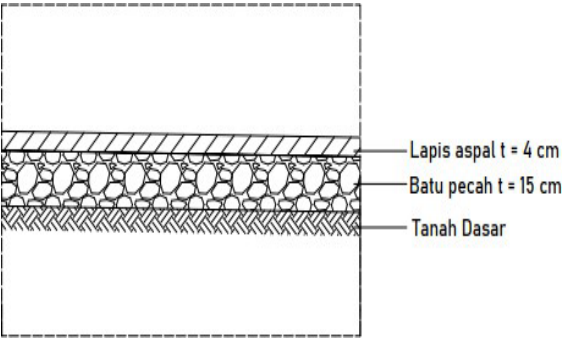
Lapisan	Tebal
AC-WC	40 mm
AC-BC	60 mm
LPA Kelas A	400 mm
Perbaikan tanah dasar	175 mm

Sumber: Hasil analisis, 2025

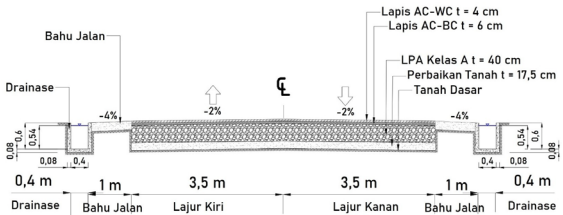
Perbaikan subgrade setebal 175 mm ditetapkan karena CBR 2,05% belum mencapai kondisi tanah dasar yang memadai. Perlakuan tersebut ditujukan untuk meningkatkan kapasitas dukung, membatasi deformasi, dan mempertahankan umur pelayanan perkerasan. Dengan demikian, kebutuhan struktur tidak ditentukan oleh CESA5 saja; kualitas tanah dasar juga menjadi faktor penting dalam penetapan desain.



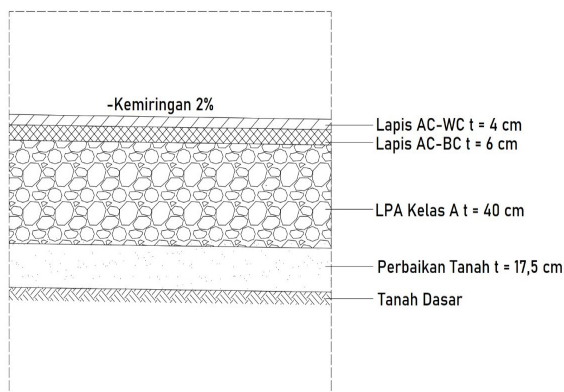
Gambar 4. Potong Melintang Jalan Eksisting



Gambar 5. Tebal Pekerasan Eksisting



Gambar 6. Potongan Melintang Jalan Redesain



Gambar 7. Tebal Pekerasan Redesain

4.5 Analisa Drainase Jl. Robatal – Ketapang

Kajian drainase pada Jalan Robatal-Ketapang dilakukan untuk memperoleh debit banjir rencana sekaligus menilai kemampuan saluran. Analisis hidrologi menggunakan data curah hujan harian maksimum Stasiun Robatal periode 2015-2024. Urutan perhitungan mencakup pemeriksaan konsistensi data, penentuan parameter statistik, pemilihan distribusi Log Pearson Tipe III, pengujian Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov, perhitungan waktu konsentrasi serta intensitas hujan, hingga penentuan debit banjir desain.

Tabel 15. Ringkasan Hasil Analisis Hidrologi

Komponen analisis	Hasil atau dasar yang digunakan
Data hujan	Seri curah hujan harian maksimum Stasiun Robatal periode 2015-2024
Distribusi yang digunakan	Distribusi Log Pearson Tipe III
Uji kesesuaian	Pengujian Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov
Metode debit banjir	Perhitungan menggunakan Metode Rasional
Periode ulang	Disesuaikan dengan kebutuhan desain drainase jalan

Sumber: Hasil analisis, 2025

Debit rencana dihitung pada setiap segmen dengan memasukkan koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas catchment. Segmen dengan nilai debit lebih tinggi menjadi prioritas dalam penentuan ukuran penampang saluran. Hasil analisis menunjukkan debit terbesar berada pada G2-H2 sebesar 2,54 m³/det, diikuti L1-M1 sebesar 2,21 m³/det. Besarnya aliran pada kedua segmen tersebut berkaitan dengan luas daerah tangkapan dan

karakteristik limpasan. Oleh karena itu, ukuran salurannya harus menyediakan kapasitas yang cukup agar air tidak meluap ke badan jalan.

Tabel 16. Ringkasan Debit Banjir Rencana Beberapa Segmen

Segmen	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)	Klasifikasi debit
G2-H2	2,54	Nilai paling tinggi
L1-M1	2,21	Nilai tinggi
D1-E1	1,26	Nilai menengah
A2-B2	0,01	Nilai rendah
K2-L2	0,01	Nilai rendah

Sumber: Hasil analisis, 2025

Tabel 17. Contoh Hasil Pemodelan Dimensi Saluran

Segmen	Lebar Saluran	Tinggi Saluran	Evaluasi kapasitas
G2-H2	1,50 m	1,50 m	Kapasitas mencukupi debit desain
L1-M1	1,50 m	1,50 m	Kapasitas mencukupi debit desain
D1-E1	1,20 m	1,20 m	Kapasitas mencukupi debit desain
A2-B2	0,60 m	0,60 m	Kapasitas mencukupi debit desain

Sumber: Hasil analisis, 2025

Ukuran saluran dipilih dengan syarat kapasitasnya melampaui debit banjir desain. Perhitungan hidrolika menggunakan persamaan Manning dan mempertimbangkan luas penampang basah, keliling basah, jari-jari hidrolis, kemiringan dasar, serta kekasaran saluran. Penanganan drainase sangat menentukan keawetan perkerasan lentur karena air yang tertahan dapat masuk melalui retakan, menurunkan kemampuan lapis pondasi, dan mengurangi kekuatan tanah dasar.

4.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

RAB disusun dari volume masing-masing pekerjaan dan harga satuan yang berlaku. Komponen yang dihitung mencakup drainase, pekerjaan tanah, lapis pondasi agregat, perkerasan aspal, pajak, serta pembulatan. Perhitungan tersebut digunakan untuk memperkirakan kebutuhan dana pelaksanaan peningkatan Ruas Jalan Robatal-Ketapang.

Tabel 18. RAB Perkerasan Jalan dan *Drainase* Jalan Robatal - Ketapang

No	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Pekerjaan Drainase				Rp 30,247,597,765.41
1	Pekerjaan Galian Tanah	13,276.43	m ³	Rp 85,703.10	Rp 1,137,831,207.93
2	Pekerjaan Beton K-125	3,558.59	m ³	Rp 1,153,816.61	Rp 4,105,960,250.18
3	Pekerjaan Bekisting	73,764.80	m ²	Rp 239,883.90	Rp 17,694,987,906.72
4	Pekerjaan Pembesian Tulangan Pokok	195,722.56	kg	Rp 21,778.57	Rp 4,262,557,473.54
5	Pekerjaan Pembesian Tulangan Susut	139,874.24	kg	Rp 21,778.57	Rp 3,046,260,927.04
B	Pekerjaan Tanah				Rp 2,449,462,849.36
1	Pekerjaan Perbaikan Tanah t = 17,5 cm	12,250	m ³	Rp 199,956.15	Rp 2,449,462,849.36
C	Pekerjaan Perkerasan Berbutir dan Perkerasan Beton Semen				Rp 19,936,000,000.00
1	Pekerjaan Lapis Pondasi Agregat Kelas A t = 40 cm	28,000	m ³	Rp 712,000.00	Rp 19,936,000,000.00
D	Pekerjaan Perkerasan Aspal				Rp 28,695,856,000.00
1	Pekerjaan Laston Lapis Aus AC-WC t = 4 cm	2,800	m ³	Rp 3,032,740.00	Rp 8,491,672,000.00
2	Pekerjaan Laston Lapis Antara AC-BC t = 6 cm	4,200	m ³	Rp 4,810,520.00	Rp 20,204,184,000.00
Jumlah Total					Rp 81,328,916,614.77

Sumber: Hasil analisis, 2025

Setelah penambahan PPN 11% dan pembulatan, kebutuhan biaya total menjadi Rp 90.275.097.000,00. Porsi biaya terbesar berasal dari perkerasan aspal, lapis pondasi agregat, dan pekerjaan drainase. Nilai pekerjaan aspal terutama dipengaruhi oleh tingginya harga satuan campuran beraspal, sedangkan biaya drainase dipengaruhi oleh panjang dan dimensi saluran, kebutuhan beton, serta pembesian.

Tabel 19. Rekapitulasi RAB Perkerasan Jalan dan *drainase*

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah (Rp)
1	Pekerjaan Drainase	Rp 30.247.597.765,41
2	Pekerjaan Tanah	Rp 2.449.462.849,36
3	Pekerjaan Perkerasan Berbutir dan Perkerasan Beton Semen	Rp 19.936.000.000,00
4	Pekerjaan Perkerasan Aspal	Rp 28.695.856.000,00
Jumlah		Rp 81.328.916.614,77
PPN 11%		Rp 8.946.180.827,62
Jumlah + PPN		Rp 90.275.097.442,39
Dibulatkan		Rp 90.275.097.000,00

Sumber: Hasil analisis, 2025

Dari sisi pelaksanaan, komposisi biaya tersebut menunjukkan perlunya penetapan urutan prioritas pekerjaan secara tepat. Mutu

perbaikan tanah dasar dan lapis pondasi harus dijaga karena keduanya sangat menentukan umur layanan struktur. Pembangunan drainase sebaiknya berjalan terintegrasi dengan pekerjaan perkerasan agar limpasan permukaan tidak merusak lapisan jalan yang telah ditingkatkan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan hubungan antara pertumbuhan lalu lintas, CBR, struktur perkerasan, kebutuhan drainase, dan besarnya biaya. Walaupun CESA5 tidak termasuk sangat tinggi, CBR 2,05% menuntut adanya perbaikan tanah dasar serta lapis pondasi yang cukup berarti. Di sisi lain, debit rencana pada beberapa segmen menegaskan pentingnya pengendalian air permukaan. Dengan demikian, penanganan Jalan Robatal-Ketapang perlu dilakukan melalui paket terpadu berupa perbaikan subgrade, penguatan lapis pondasi, pelebaran, penataan drainase, dan pekerjaan lapisan aspal, bukan hanya pelapisan permukaan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan analisis, kesimpulan penelitian dirangkum sebagai berikut:

1. Pada akhir umur rencana 2044, LHR Ruas Jalan Robatal-Ketapang diproyeksikan mencapai 7.196,33 kendaraan/hari. Angka ini lebih tinggi dibandingkan LHR 2024 sebesar 2.911 kendaraan/hari, sehingga kapasitas ruas dan struktur perkerasannya perlu ditingkatkan untuk mengakomodasi beban lalu lintas rencana.
2. Perencanaan dengan metode Bina Marga 2024 menghasilkan CBR tanah dasar 2,05% dan CESA5 sebesar 486.919,73 ESA5. Berdasarkan hasil tersebut, struktur yang dipilih terdiri atas AC-WC 40 mm, AC-BC 60 mm, Lapis Pondasi Agregat Kelas A 400 mm, serta perbaikan subgrade 175 mm.
3. Desain saluran mengacu pada debit banjir rencana tiap segmen. Debit tertinggi diperoleh pada G2-H2 sebesar 2,54 m³/detik dan L1-M1 sebesar 2,21 m³/detik. Evaluasi hidrologi-hidrolika menunjukkan bahwa dimensi saluran yang direncanakan dapat melewati debit tersebut, sehingga risiko genangan pada badan jalan dan infiltrasi air ke struktur perkerasan dapat ditekan.
4. Biaya pekerjaan peningkatan perkerasan dan drainase sebelum PPN diperoleh sebesar Rp 81.328.916.614,77. Setelah ditambah PPN 11% dan dilakukan pembulatan, total kebutuhan anggaran menjadi Rp 90.275.097.000,00. Nilai tersebut mencakup pekerjaan perkerasan, saluran drainase, dan pekerjaan pendukung sesuai volume serta harga satuan hasil perhitungan.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil analisis, beberapa rekomendasi untuk pengembangan kajian selanjutnya adalah:

1. Kajian berikutnya dapat melengkapi perhitungan tebal perkerasan lentur dengan analisis momen menggunakan perangkat lunak seperti SAP 2000 atau aplikasi sejenis.
2. Evaluasi kapasitas tampungan saluran dapat dikembangkan dengan pemodelan menggunakan HEC-RAS, EPA SWMM, atau perangkat lunak lain yang relevan.
3. Hasil desain tebal perkerasan dapat dibandingkan dengan pendekatan

alternatif, misalnya metode AASHTO, untuk melihat perbedaan kebutuhan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan*. Indonesia, 2006.
- [2] K. P. Umum, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan*. Indonesia, 2011.
- [3] S. Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova, 2010.
- [4] K. H. Putra, Ita Suhermin Ingsih, Theresia Maria Candra Agusdini, Mila Kusuma Wardani, Felicia Tria Nuciferani, and Muhammad Exchel Cakra Putra, "The Effect of Overload on the Design of Life of Road Pavement (Case Study: Koti Road, Jayapura City)," *J. Innov. Civ. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 98–108, Jun. 2023, doi: 10.33474/jice.v4i1.19936.
- [5] D. J. B. Marga, *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024.
- [6] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi, 2006.
- [7] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2008.
- [8] S. Rahmawati, A. Rahmawati, and A. Rachmawati, "Ecodrainage System Evaluation and Control on Floods in Jombang District, East Java," *J. Innov. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 83–87, May 2021, doi: 10.33474/jice.v1i2.10996.
- [9] R. O. Kresnawan, A. Rachmawati, and A. Bakhtiar, "Studi Peningkatan Jalan Lawean-Sukapura (STA. 0+000 - 11+000) Kabupaten Probolinggo," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 76–84, 2018.
- [10] S. K. Husein, B. Suprpto, and A. Bakhtiar, "Studi Perencanaan Perkerasan Ruas Jalan Km Liang-Morella Kabupaten Maluku Tengah," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 124–131, 2019.
- [11] D. M. A. Rasyid, A. Rokmawati, and I. S. Ingsih, "Studi Alternatif Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Ruas Jalan Kembur-Paka-Nceang Kecamatan Borong, Manggarai Timur Dengan Metode MDPJ 2024," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 81–89, 2025.
- [12] F. S. A. Hafid, B. Suprpto, and I. S. Ingsih, "Studi Evaluasi Kerusakan Jalan

- menggunakan Metode Bina Marga dan PCI pada Jalan Lingkar Timur Kabupaten Sidoarjo," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 14, no. 2, pp. 79–86, 2025.
- [13] V. T. Chow, *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 1959.
- [14] Soewarno, *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung: Nova, 1995.
- [15] Ibrahim, *Rencana dan Estimate Real of Cost*. Jakarta: Bumi Aksara, 1993.