

Evaluasi Biaya Pemeliharaan Proyek Jalan di Kota Bogor - Jawa Barat

Dian Setiawan¹, Leksmono Suryo Putranto², Endah Murtiana Sari^{3*}

^{1,2}Civil Engineering Doctoral Program, Faculty of Engineering, Universitas Tarumanagara, Jakarta Barat 11440, Indonesia

³Industrial Engineering, Universitas Sains Indonesia, Bekasi, Indonesia

Email: dian.328232002@stu.untar.ac.id¹, leksmonop@ft.untar.ac.id², endah.murtiana@sains.ac.id^{3*}

Article Info

Article history:

Received June 13, 2025

Revised July 10, 2025

Accepted August 06, 2025

Keywords:

Pemeliharaan Jalan

APBD

Pemerintah Daerah

Infrastruktur Daerah

Proyek Pemerintah

ABSTRACT

Pemerintah daerah memiliki kewenangan pengelolaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) untuk menyediakan dan melakukan pemeliharaan infrastruktur fisik yang digunakan oleh Masyarakat, sehingga diperlukan perencanaan yang komprehensif untuk Pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur fisik agar tepat sasaran dan memiliki kemaslahatan bagi Masyarakat. Pembangunan infrastruktur yang berhasil akan berdampak pada masyarakat untuk memiliki akses dalam melaksanakan berbagai kegiatan yang berhubungan dengan peningkatan taraf hidup. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi biaya pemeliharaan infrastruktur jalan di Kota bogor berbasis faktor yang dianggap signifikan mempengaruhi sekaligus memberikan rekomendasi biaya pemeliharaan yang optimal untuk jalan raya di Kota Bogor, Jawa Barat. Penelitian ini dilakukan melalui metode kuantitatif dan kualitatif (*mix method*), metode kuantitatif dilakukan dengan menganalisa 30 ruas jalan yang telah dilaksanakan untuk menentukan faktor yang dianggap mempengaruhi dan dominan dalam pemeliharaan jalan. Penelitian kualitatif akan dilakukan melalui interview mendalam (*in-depth interview*) kepada pakar untuk memvalidasi hasil penelitian kuantitatif yang dihasilkan sehingga dapat menjadi rekomendasi pemeliharaan jalan raya di Kota Bogor, Jawa Barat. Hasil dari penelitian ini adalah hasil evaluasi pemeliharaan jalan beserta faktor yang dianggap mempengaruhi dalam pemeliharaan jalan. Penelitian ini akan memberikan manfaat baru dalam mengembangkan *knowledge* bidang pemeliharaan infrastruktur jalan raya bagi pemerintah daerah, akademisi, kontraktor dan Masyarakat dalam pemeliharaan infrastruktur jalan raya di Kota Bogor, Jawa Barat dan daerah lain untuk dievaluasi dan dikembangkan faktornya agar pekerjaan pemeliharaan jalan di daerah menjadi optimal di masa yang akan datang.

Corresponding Author:

Endah Murtiana Sari,

Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sains Indonesia

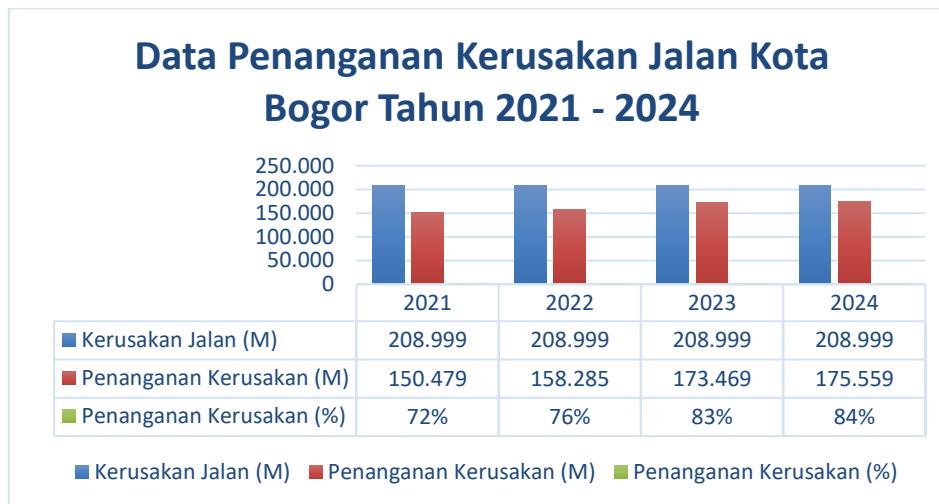
Bekasi, West Java, Indonesia

Email: endah.murtiana@sains.ac.id



1. PENDAHULUAN

Pada Peraturan PU No. 13 Tahun 2011 Pemeliharaan jalan, adalah kegiatan penanganan terhadap pencegahan terjadinya kerusakan yang luas dan setiap kerusakan yang tidak diperhitungkan dalam desain, yang berakibat menurunnya kondisi kemantapan pada bagian tertentu dari suatu ruas jalan dengan kondisi rusak ringan, agar penurunan kondisi kemantapan tersebut dapat dikembalikan pada kondisi kemantapan sesuai dengan rencana. Kondisi jalan yang baik akan mempermudah mobilitas penduduk dalam menjalin hubungan perekonomian dan kegiatan sosial lainnya (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 tentang Jalan, 2025). Grafik mengenai data penanganan kerusakan jalan di Kota Bogor selama tahun 2021 hingga 2024 disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Penanganan Kerusakan Jalan di Kota Bogor

Berdasarkan survei lapangan yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum pada tahun 2025 didapatkan data kerusakan jalan dan penanganan kerusakan jalan tersebut, terdapat 228 masalah kerusakan jalan di wilayah Kota Bogor. Dari data tersebut, dari tahun 2021-2024 kerusakan jalan setiap tahunnya sepanjang 208.999 meter dan telah dilakukan perbaikan setiap tahunnya, dari grafik yang disajikan oleh penulis terlihat bahwa perbaikan kerusakan jalan mengalami kenaikan di setiap tahunnya terakhir pada tahun 2024 mencapai 84% persentase perbaikannya. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan cenderung sulit dan tidak efektif, mengingat kondisi lalu lintas yang padat di wilayah kota bogor. Selain itu, tingginya angka kerusakan secara tidak langsung mengindikasikan bahwa jalan tidak dipelihara dengan baik atau tidak dilakukan upaya pencegahan terhadap kerusakan, melainkan dibiarkan sampai diperparah.

Kerusakan jalan yang terjadi akan memerlukan biaya penanganan yang signifikan, sehingga dibutuhkan penerapan efisiensi yang sesuai dengan tingkat manfaat yang diterima atau tingkat kerusakan yang ada [1]. Pendapat ini diperkuat oleh [2] yang menyatakan bahwa penggunaan dana yang besar akan terasa sia-sia dan boros jika program perbaikan dan pemeliharaan jalan tidak dikelola dengan baik. Selain itu, penting untuk memahami penyebab kerusakan jalan yang terjadi, karena perbaikan yang dilakukan mungkin tidak menyelesaikan permasalahan yang ada dan dapat menyebabkan jalan mengalami kerusakan kembali. [3] mencatat bahwa beberapa faktor penyebab kerusakan perkerasan jalan meliputi beban lalu lintas yang berlebihan, kondisi tanah pondasi yang kurang baik, kualitas material struktur perkerasan yang buruk, drainase yang tidak memadai, serta penurunan akibat pembangunan utilitas di bawah lapisan perkerasan. Informasi tersebut menjadi latar belakang penulis dalam memilih topik model biaya pemeliharaan jalan di kota bogor.

Penelitian terdahulu tentang pemeliharaan jalan disampaikan oleh Shaffiee [4] Perluasan kota dan jalan secara global telah menjadikan keselamatan jalan sebagai salah satu isu yang paling mendesak dalam mobilitas berkelanjutan, menjadikan penilaian keselamatan jalan sebagai tantangan multifaset yang memerlukan analisis faktor-faktor yang diantisipasi dan tidak terduga. Salah satu aspek terpenting dari investigasi dan perencanaan keselamatan jalan adalah memprediksi tingkat keparahan kecelakaan jalan. Penentuan tingkat keparahan kecelakaan yang akurat memegang peranan penting dalam perencanaan strategis dan evaluasi biaya dalam konteks penilaian keselamatan jalan. Soltani [5]

menyatakan bahwa cedera akibat kecelakaan lalu lintas terus menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius. Desain infrastruktur yang lebih baik, peningkatan pengawasan, dan langkah-langkah keselamatan yang disesuaikan dapat memperkecil risiko kecelakaan yang terjadi. Benardos [6] menyatakan bahwa Infrastruktur transportasi memainkan peran penting dalam pembangunan ekonomi dan konektivitas sosial. Keputusan mengenai proyek transportasi dibuat pada beberapa tahap termasuk perencanaan, penentuan prioritas, pendanaan, dan implementasi. Evaluasi alternatif infrastruktur yang akurat dan terstruktur sangat penting untuk pengambilan keputusan yang efektif dan alokasi sumber daya yang tepat.

Mengingat betapa krusialnya peran infrastruktur jalan dalam mendukung keberlangsungan sistem transportasi serta aspek-aspek kehidupan lainnya, keberadaan infrastruktur jalan harus senantiasa dipelihara dalam kondisi yang optimal melalui perawatan atau pemeliharaan secara berkala, agar tetap sesuai dengan umur yang telah direncanakan [7]. Dengan menerapkan metode *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) dalam pemilihan strategi pemeliharaan jalan, diharapkan, strategi pemeliharaan yang diusulkan dapat berfungsi secara efektif dan efisien dalam menangani kerusakan jalan yang terjadi, serta mencegah kerusakan di masa yang akan datang. Pada tahap awal perencanaan proyek pemeliharaan berkala jalan, seperti pada saat penyusunan anggaran proyek, jelas estimasi tidak mungkin dilakukan karena tidak adanya data pendukung seperti data gambar detail, identifikasi kuantitas pekerjaan, dan harus melakukan analisa harga satuan setiap item, Akan tetapi bagaimanapun pemilik proyek (owner) memerlukan estimasi biaya dalam rangka menyusun anggaran proyek, oleh karena itu perlu ada rumus untuk menentukan anggaran biaya proyek pada tahap konseptual.

Penelitian sebelumnya telah menghasilkan metode *cost significant model* untuk memprediksi biaya proyek pada tahap konseptual sebelum ada data perencanaan secara detail pada proyek konstruksi jembatan beton bertulang [8], model estimasi biaya pembangunan [9], model estimasi biaya proyek pemeliharaan terowongan [10], model estimasi biaya konstruksi Gedung pemerintah [11], model estimasi biaya pembangunan dermaga [12], dan banyak penelitian lain tentang model estimasi biaya pembangunan dengan jenis proyek yang berbeda-beda.

1.1. Tingkat Kerusakan Jalan

Berdasarkan jenis kerusakan jalan yang telah disebutkan di atas, tingkat kerusakan jalan dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu ringan (*low*), sedang (*moderate*), dan berat (*high*) [13]. Tabel 1 menunjukkan penentuan tingkat kerusakan jalan berdasarkan jenis kerusakan dan parameter kualitatif maupun kuantitatif untuk setiap titik kerusakan yang teridentifikasi. Penentuan tingkat kerusakan dilakukan dengan memperhatikan karakteristik visual dan pengukuran fisik terhadap kondisi lapangan. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap kerusakan dapat dikelompokkan secara tepat agar sesuai dengan tindakan teknis yang akan diterapkan.

Tabel 1. Kriteria Tingkat Kerusakan Jalan [13]

Jenis Kerusakan	Tingkat Kerusakan		
	Ringan (Low)	Sedang (Moderate)	Berat (High)
Retak Buaya (<i>Alligator Cracking</i>)	Luas retakan sedikit terjadi, retak tidak mengakibatkan butiran terlepas	Luas dari retakan sudah terbentuk, terjadi pelepasan butiran	Luas retak sudah terbentuk, bentuk retak sangat mudah dikenali, pemompaan air ke permukaan telah dapat dikenal
Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	Lebar retak < 6 mm	6 mm < lebar retak < max 20 mm	Lebar retak > 20 mm
Retak Melintang (<i>Transverse Cracking</i>)	Lebar retak < 6 mm	6 mm < lebar retak < max 20 mm	Lebar retak > 20 mm
Penambalan (<i>Patching</i>)	Terjadi rutting < 6 mm, tidak terjadi pemompaan dari lapis bawah	Terjadi beberapa jenis kerusakan dengan variasi kedalaman antara 6 mm - 12 mm	Terjadi berbagai kerusakan dengan ukuran > 12 mm atau penambalan dengan bahan berbeda, pemompaan air mungkin terjadi
Alur (<i>Rutting</i>)	8 mm < kedalaman < 12 mm	12 mm < kedalaman < 25 mm	Kedalaman > 25 mm
Amblas (<i>Depression</i>)	12 mm < kedalaman < 25 mm	25 mm < kedalaman < 50 mm	Kedalaman > 50 mm

Tabel 1 menggambarkan bahwa kerusakan jalan dibedakan berdasarkan karakteristik kedalaman dalam kerusakan jalan, identifikasi ini menjadi penting dalam perencanaan pemeliharaan jalan yang akan dilakukan, beberapa kasus dapat dilakukan dengan cara pemeliharaan rutin maupun pemeliharaan berkala. Kerusakan jalan disebabkan adanya perpindahan permanen secara lokal dan

memanjang dari permukaan perkerasan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Menurut Faisal et.al [14], identifikasi dan tingkat kerusakan sungkur (*shoving*), detail identifikasi tingkat kerusakan disajikan dalam Tabel 2. Bentuk dan tingkat keparahan kerusakan ini biasanya bervariasi tergantung pada volume kendaraan, usia perkerasan, serta kondisi lingkungan sekitar jalan. Setiap kategori kerusakan memiliki ciri khas tersendiri yang dapat diamati secara visual maupun melalui pengukuran lapangan.

Tabel 2. Identifikasi dan Tingkat Kerusakan Sungkur

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Sungkur menyebabkan sedikit gangguan kenyamanan kendaraan
M	Sungkur menyebabkan cukup gangguan kenyamanan kendaraan
H	Sungkur menyebabkan gangguan besar pada kenyamanan kendaraan

Tabel 2 menggambarkan identifikasi kerusakan akibat perpindahan permanen permukaan perkerasan jalan yang dapat menyebabkan gangguan lalu lintas dan kenyamanan kendaraan. Retak selip (*slippage cracks*) memiliki bentuk menyerupai lengkung bulan sabit atau berbentuk seperti jejak mobil yang disertai beberapa retak, dengan kriteria tingkat kerusakan seperti pada Tabel 3. Retak jenis ini umumnya terjadi pada area pendekat simpang, jalan menanjak, atau turunan yang sering mengalami perlambatan dan akselerasi kendaraan. Keberadaan retak ini mengindikasikan adanya tekanan gesek berulang yang terjadi pada lapisan permukaan akibat gaya dorong dan rem dari kendaraan.

Tabel 3 Identifikasi dan Tingkat Kerusakan Retak Selip

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Retak rata-rata lebar < 3/8 in. (10 mm) Satu dari kondisi berikut yang terjadi :
M	<ul style="list-style-type: none"> Retak rata-rata 3/8 – 1,5 in. (10 – 38 mm). Area di sekitar retakan pecah, kedalaman pecahan-pecahan terikat. Satu dari kondisi berikut yang terjadi :
H	<ul style="list-style-type: none"> Retak rata-rata > 1,5 in. (38 mm). Area di sekitar retakan pecah, kedalaman pecahan-pecahan mudah ter bongkar.

Tabel 3 diatas merupakan level dari tingkatan kerusakan selip pada jalan raya. Menurut Dinh et.al [15], penentuan tingkat kerusakan permukaan jalan untuk jenis kerusakan pelepasan butir dideskripsikan pada Tabel 4. Retak selip dapat berkembang menjadi kerusakan yang lebih luas apabila tidak segera ditangani, terutama di lokasi yang memiliki kelembaban tinggi atau lalu lintas berat. Proses penilaian jenis retak ini biasanya dilakukan berdasarkan lebar retak dan tingkat keterikatan antara pecahan permukaan yang terbentuk.

Tabel 4. Identifikasi dan Tingkat Kerusakan Pelepasan Butir

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Agregat atau bahan pengikat mulai lepas. Di beberapa tempat, permukaan mulai berlubang. Jika ada tumpahan oli, genangan oli dapat terlihat, tapi permukaannya keras, tidak dapat ditembus mata uang logam.
M	Agregat atau pengikat telah lepas. Tekstur permukaan agak kasar dan berlubang. Jika ada tumpahan oli permukaannya lunak, dan dapat ditembus mata uang logam.
H	Agregat atau pengikat telah banyak lepas. Tekstur permukaan sangat kasar dan mengakibatkan banyak lubang. Diameter luasan lubang < 4 in (10 mm) dan kedalaman 1/2 in (13 mm). Luas lubang lebih besar dari ukuran ini, dihitung sebagai kerusakan lobang (<i>potholes</i>). Jika ada tumpahan oli permukaannya lunak, pengikat aspal telah hilang ikatannya sehingga agregat menjadi longgar.

Tabel 4. merupakan Identifikasi dan Tingkat Kerusakan Pelepasan Butir pada jalan raya. Kerusakan ini terjadi ketika butiran agregat atau bahan pengikat terlepas dari permukaan jalan, meninggalkan tekstur yang kasar dan berpotensi menimbulkan lubang. Fenomena pelepasan butir dapat dipicu oleh banyak faktor seperti material permukaan yang kurang baik, genangan air, atau reaksi kimia dari cairan kendaraan. Ciri-ciri permukaan yang mengalami pelepasan butir biasanya dapat diidentifikasi dari permukaan yang kasar, adanya lubang kecil, dan perubahan warna pada area terdampak.

1.2. Konsep Pemeliharaan Perkerasan Jalan

Suatu jalan dapat dikatakan baik jika jalan tersebut dapat memberikan tingkat pelayanan yang baik bagi pengguna jalan, baik berupa tingkat kenyamanan maupun juga tingkat keselamatan dalam berkendara ketika melalui jalan tersebut. Tingkat pelayanan ini ditentukan oleh umur layan jalan yang telah direncanakan pada saat perencanaan desain perkerasan jalan. Menurut Faria et.al [16], untuk

dapat menjaga tingkat perkerasan jalan, diperlukan upaya dalam menjaga umur rencana perkerasan tersebut dengan cara melakukan pemeliharaan perkerasan jalan.

Pemeliharaan perkerasan jalan merupakan kunci dari preservasi perkerasan jalan [17]. Sebuah program preservasi perkerasan jalan yang efektif mengintegrasikan banyak strategi pemeliharaan dan perawatan jalan. Ada tiga tipe dari preservasi perkerasan jalan yaitu:

1. Preventive Maintenance

Strategi perawatan hemat biaya yang terencana untuk sistem jalan yang ada dan perlengkapannya yang melindungi sistem, memperlambat kerusakan di masa depan, dan memelihara atau memperbaiki kondisi fungsional dari sistem (tanpa meningkatkan kapasitas struktural). Perawatan permukaan yang kurang dari dua inci dalam ketebalan tidak dianggap sebagai menambahkan kapasitas struktural.

2. Corrective Maintenance

Dilakukan setelah terjadi kerusakan pada perkerasan jalan, seperti rutting dengan tingkat kerusakan sedang ke tinggi, raveling, atau retak yang ekstensif. *Corrective maintenance* dianggap sebagai "*reactive*" *maintenance*. Perbedaan antara *preventive* dan *corrective maintenance* terletak pada waktu dan biayanya. *Corrective maintenance* adalah reaktif, yaitu dilakukan setelah jalan membutuhkan perbaikan sehingga biayanya besar. Keterlambatan dalam *corrective maintenance* menghasilkan biaya yang lebih besar lagi karena cacat permukaan dan tingkat kerusakannya terus berlanjut meningkat.

3. Emergency Maintenance

Dilakukan selama situasi darurat, seperti lubang besar yang membutuhkan perbaikan segera. *Emergency maintenance* ini juga mencakup *treatment* sementara yang mempertahankan permukaan hingga *treatment* yang lebih permanen dapat dilaksanakan. *Emergency maintenance* seringkali dikaitkan dengan keselamatan dan waktu, dengan biaya yang bukan menjadi pertimbangan utama. Demikian pula, material yang mungkin tidak dapat diterima untuk *preventive* atau *corrective maintenance* mungkin menjadi pilihan terbaik untuk situasi darurat.

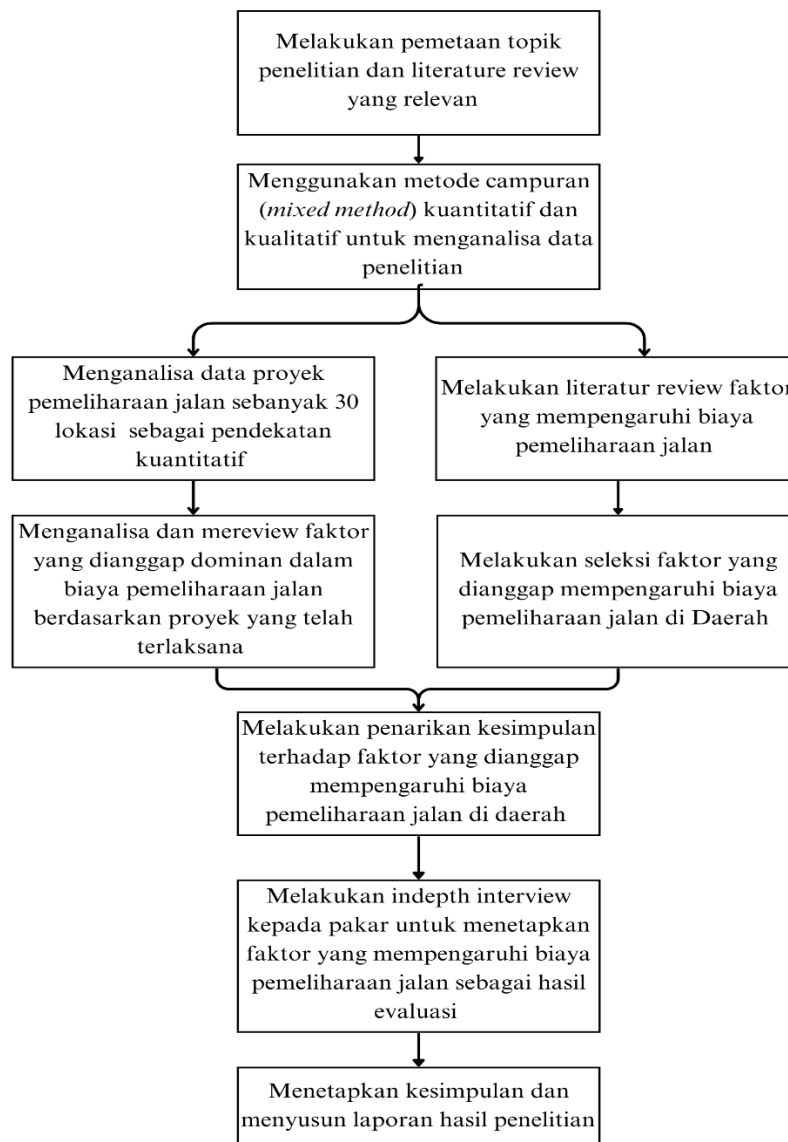
Beberapa perawatan pemeliharaan dapat diterapkan untuk meningkatkan jalan ke standar permukaan yang lebih tinggi. Hal ini terjadi ketika jalan tanah dikerikil dan ditingkatkan ke standar kerikil atau ketika jalan tanah atau kerikil diberi lapisan kedap. Bergantung pada jenis kerusakan dan kondisi jalan yang belum diaspal, penanganan dapat dikombinasikan dan dikelompokkan menjadi tiga jenis utama:

- a. Pemeliharaan rutin, yang diterapkan secara terprogram proaktif ketika jalan menunjukkan kerusakan awal untuk memperpanjang kinerja yang baik dari waktu ke waktu;
- b. Rehabilitasi, yang menggabungkan kebijakan reaktif untuk meningkatkan kondisi jalan dalam fase kerusakan lanjut;
- c. Rekonstruksi atau pemeliharaan darurat, yang umumnya diterapkan pada jalan yang belum diaspal yang menunjukkan kerusakan atau keausan berlebihan, yang umumnya terkait dengan masalah drainase yang parah atau penggunaan jalan yang tidak normal.

2. METODOLOGI

Metodologi penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (*mixed method*) dimana penjelasan dari kedua metode tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Metode kuantitatif dilakukan dengan mengevaluasi data pelaksanaan proyek jalan saat ini pada 30 ruas jalan yang telah dilaksanakan pada kota bogor. Analisa ini akan menghasilkan gambaran faktor apa yang dominan mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan.
- b. Metode kualitatif dilakukan dengan pemetaan penelitian terdahulu yang relevan dengan faktor yang mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan selanjutnya akan dilakukan validasi melalui indepth interview dengan pakar untuk mengkonfirmasi. Adapun pakar yang dilakukan indepth interview pada penelitian ini terdiri atas 9 pakar yang terbagi dalam peran sebagai pemerintah (4 orang) kontraktor (3 orang) dan akademisi bidang pekerjaan jalan (2 orang). Detail metodologi penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Metodologi Penelitian

Dalam Gambar 2. digambarkan metodologi penelitian yang terdiri atas metode kuantitatif dan kualitatif untuk menyelesaikan permasalahan penelitian. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk membangun model hubungan antar variabel yang memengaruhi biaya pemeliharaan jalan. Sementara itu, pendekatan kualitatif dimanfaatkan untuk memperkuat temuan melalui studi literatur dan wawancara mendalam. Metodologi ini dirancang agar mampu menjawab permasalahan secara komprehensif, baik dari sisi data maupun interpretasi lapangan.

3. HASIL

3.1. Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif [18], [19], [20] dilakukan dengan menganalisa 30 lokasi ruas jalan yang dilakukan pemeliharaan jalan pada kota bogor, jawa barat. Data diolah untuk mencari faktor mana yang dianggap mempengaruhi biaya pemeliharaan infrastruktur jalan. Tabel 5 menyajikan penyebaran data dari 30 ruas jalan yang dilakukan pemeliharaan.

Tabel 5. Data Pemeliharaan Jalan di Kota Bogor

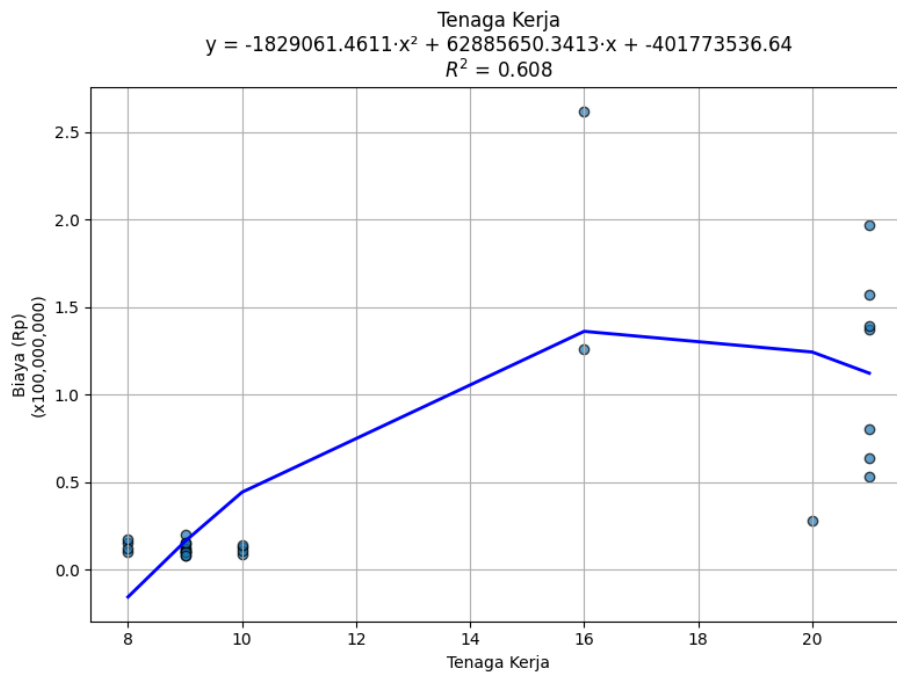
No.	Y (Biaya) Rupiah	X1 (Ruas Jalan) M	X2 (Coldmix) ton	X3 (Emulsi) ltr	X4 (Solar) ltr	X5 (Bensin) ltr	X6 (Air) Ltr	X7 (Luas Area Kerja) M2	X8 (Bongkahan Aspal) M3	X9 (Tenaga Kerja) orang
1.	125.950.000	615	60	200	75	10	50	450	18	16
2.	261.640.000	1123	120	600	220	10	45	650	36	16
3.	80.076.000	2429	36	200	230	5	160	400	16	21
4.	12.345.000	577	5	50	15	3	20	130	1	10
5.	52.990.000	590	20	200	100	5	80	230	25	21
6.	157.212.000	1066	72	400	250	5	230	900	32	21
7.	63.442.000	786	27	200	180	5	120	325	16	21
8.	8.548.000	897	3	50	15	3	20	120	0	10
9.	196.700.000	736	90	200	250	5	250	850	48	21
10.	9.859.000	389	4	30	15	3	20	120	1	8
11.	15.457.000	1022	7	50	15	3	20	100	1	8
12.	17.368.000	877	8	60	15	3	20	100	1	8
13.	12.255.000	495	5	50	15	3	20	130	2	8
14.	10.569.000	601	4	50	15	3	20	100	1	10
15.	10.214.000	290	4	40	15	3	20	90	1	9
16.	137.520.000	460	70	400	200	3	20	1.000	1	21
17.	27.892.000	610	12	100	30	6	20	255	1	20
18.	11.885.000	553	5	30	15	6	20	145	1	9
19.	7.818.000	283	3	20	15	3	20	100	2	9
20.	139.410.000	378	70	400	230	10	20	900	5	21
21.	15.407.000	997	7	30	15	3	20	100	1	9
22.	13.901.000	360	6	50	15	3	20	130	1	9
23.	11.787.500	358	5	25	15	3	25	120	1	9
24.	10.349.000	491	4	50	15	3	25	90	1	9
25.	10.079.000	280	4	30	15	3	25	100	1	9
26.	10.079.000	231	4	30	15	3	25	90	1	9
27.	20.114.000	417	9	100	30	3	25	200	1	9
28.	15.251.000	852	6	150	15	3	25	200	1	9
29.	7.953.000	196	3	30	15	3	25	80	1	9
30.	14.256.000	293	6	60	15	3	20	140	1	10

Tabel 5. merupakan pemetaan biaya pemeliharaan jalan dari proyek eksisting, dimana terdapat sembilan faktor yang mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan di kota bogor. dalam pengujian statistika dilakukan untuk mengetahui mean (nilai rata-rata/pusat), media sebagian nilai tengah dan standard deviasi yang menunjukkan kedekatan data terhadap nilai pusat (mean). Dibawah ini adalah pemetaan mean, median dan standard deviasi.

Tabel 6. Penyebaran Data

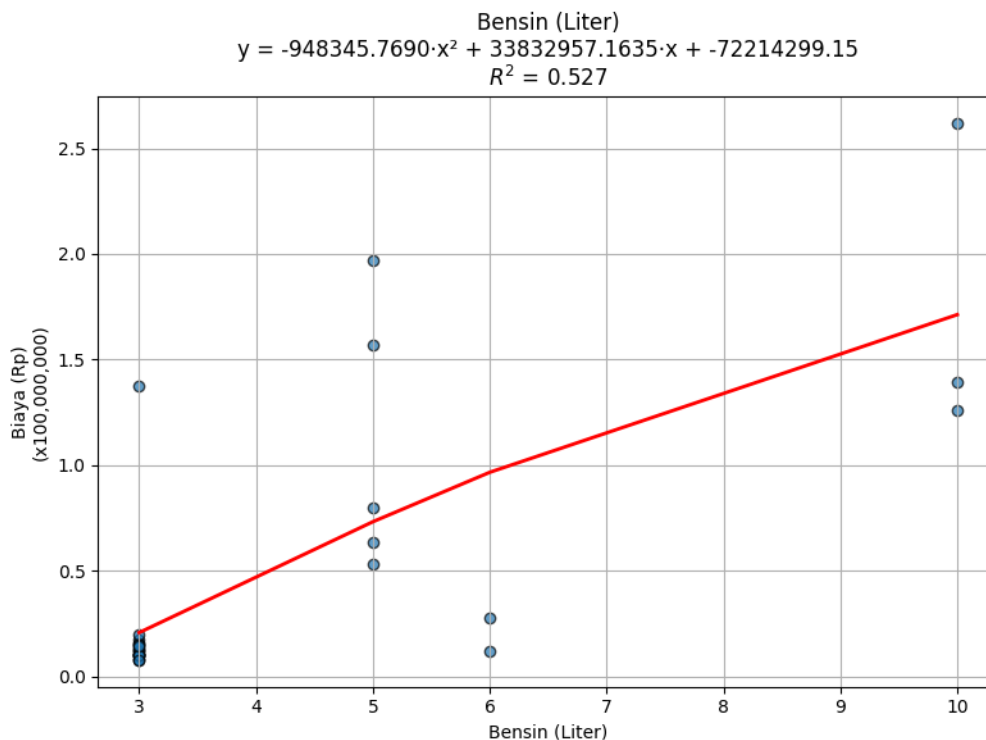
	Y (Biaya) Rupiah	X1 (Ruas Jalan) M	X2 (Coldmi x) ton	X3 (Emuls i) ltr	X4 (Sola r) ltr	X5 (Bensi n) ltr	X6 (Air) ltr	X7 (Luas Area Kerja) M2	X8 (Bongkah an Aspal) M3	X9 (Tena ga Kerja) orang
Mean	49.610.8 83	641,8 02	22,633	129,50 0	69,33 3	4,233	47,66 7	278,1 67	7,300	12,633
Median	14.753.5 00	565,0 07	6,000	50,000	15,00 0	3,000	20,00 0	130,0 00	1,000	9,000
Standard Deviation	66.817.6 53	430,9 02	31,546	145,28 4	88,87 9	2,192	61,29 0	283,7 54	12,510	5,379

Haisl uji statistika dalam Tabel 6. menunjukkan analisa terhadap mean dan standard deviasi menggambarkan sejumlah data memiliki penyebaran yang baik ditandai dengan nilai standard deviasi yang lebih kecil dari mean, hal ini menandakan bahwa data-data tersebut mendekat terhadap pusat data (mean), misalnya ruas jalan (X1), penggunaan bensin (X5), dan jumlah pekerja (X9). Tetapi walaupun demikian data lain tidak berbeda jauh dari mean nya sehingga penyebaran data eksisting dianggap baik dan dapat digunakan. Pada analisa simulasi antara biaya pemeliharaan jalan jumlah pekerja menunjukkan model regresi yang baik dengan $R^2 = 0,608$ [18], [21], [22] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Hubungan antara Biaya Pemeliharaan Jalan dengan Tenaga Kerja

Gambar 3 menggambarkan bahwa data eksisting memiliki hubungan yang signifikan antara biaya pemeliharaan jalan dan tenaga kerja dengan membentuk model $Y = -1829061,46 X^2 + 62885650,34 X - 401773536$ dengan $R^2 = 0,608$. Model simulasi yang sama dilakukan pada penggunaan bensin dengan $R^2 = 0,527$. Model ini menunjukkan bahwa penggunaan bensin memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap besarnya biaya pemeliharaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pola hubungan antara penggunaan bensin dan biaya membentuk kurva kuadratik, yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Hubungan antara Biaya Pemeliharaan Jalan dengan Penggunaan Bensin

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara biaya pemeliharaan dengan penggunaan bensin (energi) dengan model $Y = -948343,769X^2 + 33832957,16X - 72214299,15$ dengan $R^2 = 0,527$. Model tersebut menunjukkan bahwa hubungan yang terbentuk bersifat kuadrat, bukan linear. Nilai R^2 sebesar 0,527 menunjukkan bahwa variasi biaya dapat dijelaskan sebagian oleh penggunaan bensin. Hal ini mengindikasikan bahwa bensin merupakan salah satu faktor yang memengaruhi biaya pemeliharaan jalan, meskipun bukan yang paling dominan.

3.2. Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif dilakukan melalui studi literatur dilakukan terhadap penelitian terdahulu terkait dengan faktor yang mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan. Tabel 7 menyajikan pemetaan dari penelitian terdahulu terkait dengan faktor yang mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan. Faktor-faktor tersebut mencakup berbagai aspek seperti penggunaan material, energi, air, dan lahan, hingga isu lingkungan, keselamatan kerja, dan kepuasan pelanggan. Setiap aspek dilengkapi dengan indikator terukur dan sumber referensi yang menunjukkan konsistensi temuan dalam berbagai studi sebelumnya.

Tabel 7. Faktor penyebab biaya pemeliharaan jalan

No	Aspek Pengukuran	Indikator Terukur	Referensi
1	Material yang digunakan	Total volume material yang digunakan dalam melakukan maintenance	[23][5][24], [25], [26]
2	Penggunaan Energi	Total rasio antara energi yang digunakan dalam aktivitas maintenance	[23], [24], [25], [26]
3	Penggunaan Air	Volume dari air yang digunakan selama proses maintenance	[23][24], [25], [26]
4	Penggunaan Lahan	Lahan yang digunakan untuk melakukan maintenance, waste yang terjadi dan memberikan dampak pada lahan yang digunakan sehingga kualitasnya menurun	[23] [24], [25], [26]
5	Residu	Volume sampah yang dihasilkan selama melakukan maintenance	[23] [24], [25], [26]
6	Emisi dan polusi	Jumlah emisi langsung dan metrik Co2 yang dihasilkan selama maintenance	[23] [24], [25], [26]
7	Lingkungan	Jumlah dari complain Masyarakat, kasus illegal yang terjadi dan signifikan mempengaruhi kegiatan maintenance yang dilakukan, penerapan ISO 14001.	[23] [24], [25], [26]
8	Supply chain	% dari supplier dan subcontractor yang terlibat dalam kegiatan maintenance	[23][5] [24], [25], [26]
9	Health & Safety	Jumlah dari kecelakaan, insiden selama pekerjaan maintenance dilakukan	[23][4][5] [24], [25], [26]
10	Pekerjaan Fisik Lingkungan	Kebisingan selama pekerjaan maintenance, penerangan jalan	[23]
11	Tenaga kerja	Jumlah pekerja yang terlibat dalam pekerjaan maintenance	[23] [24], [25], [26]
12	Training & Development	Jumlah jam yang diperlukan untuk melakukan training kepada pekerja dalam melakukan maintenance	[23] [24], [25], [26]
13	Kepuasan dari pekerja	Penghargaan dan insentif kepada pekerja selama pekerjaan maintenance dilakukan	[23][4]
14	Pelanggan	Jumlah dari complain pelanggan selama pekerjaan maintenance dilakukan, angka kepuasan pelanggan	[23]
15	Kinerja Ekonomi	Biaya yang digunakan dalam melakukan maintenance	[23]
16	Investasi	Investasi dalam pengembangan infrastruktur	[23]

Dari hasil analisa kuantitatif dan kualitatif maka dapat ditarik faktor yang mempengaruhi besarnya biaya pemeliharaan jalan, pada studi literatur ditemukan 16 faktor yang mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan di daerah sedangkan pada realita pemeliharaan jalan ditemukan 9 faktor yang dianggap mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan. Maka untuk mengambil kesimpulan faktor apa saja yang menyebabkan besarnya biaya pemeliharaan dilakukan indepth interview dengan pakar yang mewakili 3 sumber yaitu pemerintah, kontraktor dan akademisi. Berikut ini adalah kesimpulan pakar setelah dilakukan indepth interview melalui rekaman dan disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Pemerintah: dalam proyek pemeliharaan jalan faktor yang harus diperhatikan adalah perencanaan material sesuai dengan kebutuhan jangka panjang, proyek pemerintah diawasi oleh masyarakat sehingga harus memperhatikan faktor-faktor yang terkait dengan masyarakat jangan menimbulkan efek yang buruk dalam pekerjaan pemeliharaan jalan. Beberapa hal yang terkait dengan hal tersebut adalah lingkungan, kecelakaan lalu lintas akibat pekerjaan

pemeliharaan, pembongkaran aspal, polusi udara, dampak ekonomi terhambat akibat pemeliharaan jalan, kepuasan masyarakat setelah dilakukan pemeliharaan jalan.

- **Kontraktor** : dalam pekerjaan pemeliharaan jalan kadang biaya tidak terprediksi muncul akibat hambatan melakukan pekerjaan jalan, pekerjaan aspal harus dilakukan di malam hari yang menyebabkan tidak produktifnya tenaga kerja, material harus direncanakan dengan benar dan tidak ada material tersisa dalam volume yang besar yang akan membawa dampak kerugian pada kontraktor. Kerusakan lingkungan dan fasilitas lain akan menjadi risiko bagi kontraktor dan harus diantisipasi karena ini tidak masuk dalam anggaran biaya yang disusun. Kepuasan dari pemerintah sebagai pelanggan sangat penting untuk diperhatikan agar proyek pemeliharaan jalan berjalan dengan baik.
- **Akademisi** : pekerjaan pemeliharaan jalan sering kali kurang mendapat perhatian dibandingkan pekerjaan jalan baru, padahal didalamnya banyak aspek yang harus dikelola dengan baik. Pemerintah sebagai pemberi kerja dan kontraktor sebagai penyedia jasa harus memperhatikan aspek material, lingkungan, energi bahkan residu akibat proyek pemeliharaan jalan. Kondisi jalan yang dipelihara sering menimbulkan terhambatnya kegiatan ekonomi, kontraktor dan pemerintah harus melakukan komunikasi terhadap perpindahan jalur ekonomi jika diperlukan. Dampak polusi dan kecelakaan lalu lintas perlu diperhatikan saat pekerjaan pemeliharaan dimulai.

Dari kesimpulan dalam *indepth interview* dengan pakar maka dapat digambarkan faktor yang dianggap mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan di daerah. Proses wawancara dilakukan untuk mendapatkan validasi terhadap hasil analisa sebelumnya. Selain itu, faktor-faktor ini juga diperoleh melalui penguatan dari data kuantitatif dan kualitatif. Visualisasi dari keseluruhan faktor tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Faktor yang Mempengaruhi Biaya Pemeliharaan Jalan Daerah

Pada Gambar 5 menggambarkan faktor yang mempengaruhi biaya pemeliharaan jalan di daerah yang terdiri atas 10 faktor dari hasil analisa kuantitatif dan kualitatif. Faktor-faktor tersebut merupakan hasil sintesis antara hasil regresi, studi literatur, dan validasi melalui wawancara dengan pakar. Setiap faktor dipilih berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap total biaya pemeliharaan di lapangan. Struktur visual dalam gambar ini memudahkan dalam memahami keterkaitan antar faktor dan tingkat pengaruhnya.

4. KESIMPULAN

Dari analisa penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa faktor yang dipandang perlu diperhatikan dalam pekerjaan pemeliharaan jalan adalah penggunaan material, penggunaan energi, penggunaan lahan, kinerja ekonomi berdampak pada Masyarakat, kepuasan pemerintah sebagai owner, kepuasan Masyarakat sebagai pengguna, penggunaan tenaga kerja, kesehatan dan keselamatan kerja termasuk didalamnya kecelakaan lalu lintas yang terjadi saat pekerjaan pemeliharaan dilakukan, kerusakan lingkungan akibat dampak pekerjaan, dan material sisa termasuk didalamnya residu material dari pekerjaan pemeliharaan jalan. Studi *empiris* pada proyek yang telah terlaksana yang dikombinasikan dengan studi literatur dan *in-depth interview* menunjukkan 10 faktor tersebut dominan dan dianggap sebagai penyumbang besaran biaya dalam pemeliharaan jalan di daerah. Penelitian ini dapat digunakan selanjutnya untuk menggali persepsi responden terhadap indikator kualitatif untuk memperdalam hubungan antar variabel. Hasil dari pemetaan faktor ini dapat digunakan pada proyek lain di daerah dengan anggaran APBD (Anggaran Pendapatan Belanja Daerah) sehingga lebih efektif dan efisien.

REFERENSI

- [1] M. Loy, "Landscapes of (dis)connection: Modelling connectivity in west Samos with least cost path analysis," *J Archaeol Sci Rep*, vol. 64, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.jasrep.2025.105144.
- [2] J. Jang, "Predicting nighttime black ice using atmospheric data for efficient winter road maintenance patrols," *Transp Res Interdiscip Perspect*, vol. 29, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.trip.2024.101299.
- [3] M. F. Sheikh, D. R. Padmanabhan, D. M. Hadid, and D. L. Kerbache, "Towards Additive Manufacturing Enabled Sustainable Spare Parts Supply Chain: A Multi-Objective MILP Model for Cost and Carbon Emissions Minimization," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2025, pp. 952–963. doi: 10.1016/j.procs.2025.01.157.
- [4] S. Shaffiee Haghshenas, G. Guido, S. Shaffiee Haghshenas, and V. Astarita, "Predicting the level of road crash severity: A comparative analysis of logit model and machine learning models," *Transportation Engineering*, vol. 20, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.treng.2025.100323.
- [5] A. Soltani, S. Afshari, and M. A. Amiri, "Human cost, machine insight: A data-driven analysis of Australian road crashes," *Case Stud Transp Policy*, vol. 20, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.cstp.2025.101440.
- [6] A. Benardos and D. Skenderas, "Exploring the true cost of infrastructure transit projects: Road vs Tunnel alternatives," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 162, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.tust.2025.106624.
- [7] N. Mohammadi and A. Klein-Paste, "Simulating winter maintenance efforts: A multiscale geographically weighted regression model," *Cold Reg Sci Technol*, vol. 236, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.coldregions.2025.104512.
- [8] M. Yin *et al.*, "Exploring the value of digital twins for information management in highway asset maintenance," *Developments in the Built Environment*, vol. 21, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.dibe.2025.100614.
- [9] R. Viri and H. Tiikkaja, "The costs of mobility: a data-based method for estimating cost and emissions per kilometre in Finland," in *Transportation Research Procedia*, Elsevier B.V., 2025, pp. 1974–1993. doi: 10.1016/j.trpro.2024.12.167.
- [10] L. Lu, A. M. d'Avigneau, Y. Pan, Z. Sun, P. Luo, and I. Brilakis, "Modeling heterogeneous spatiotemporal pavement data for condition prediction and preventive maintenance in digital twin-enabled highway management," *Autom Constr*, vol. 174, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.autcon.2025.106134.

- [11] X. Ji, X. Huang, S. Zhong, and J. Zhou, "Advancing toward a low-carbon infrastructure: Emission reduction potential of geopolymer road maintenance," *Materials Today Sustainability*, vol. 30, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.mtsust.2025.101121.
- [12] M. Sundararaman and B. Sambasivam, "The Road to Net Zero in a Renewable Energy-Dominated Electricity System: Impact of EV Charging and Social Cost of Emission on the Optimal Economic Dispatch," *Green Energy and Intelligent Transportation*, p. 100280, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.geits.2025.100280.
- [13] C. Peco-Costas, C. Acuña-Alonso, M. García-Ontiyuelo, and X. Álvarez, "Assessing ecological connectivity in the Serra do Cando and Serra do Candán area of Galicia: A multitemporal classification and least-cost path modelling approach," *Ecol Inform*, vol. 86, May 2025, doi: 10.1016/j.ecoinf.2025.103049.
- [14] A. Faisal and S. Gargoum, "Cost-effective LiDAR for pothole detection and quantification using a low-point-density approach," *Autom Constr*, vol. 172, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.autcon.2025.106006.
- [15] Q. V. Dinh, V. N. Dinh, and P. G. Leahy, "A differential evolution model for optimising the size and cost of electrolyzers coupled with offshore wind farms," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 124, pp. 318–330, May 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.03.440.
- [16] B. Faria, J. P. Nunes, J. E. M. Baartman, L. Dias, J. Wu, and S. A. Prats, "Assessing cost-effectiveness of land management measures to restore forest ecosystem services after fire using hydrological modelling and multi-criteria decision analysis," *Catena (Amst)*, vol. 251, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.catena.2025.108808.
- [17] A. Maffei, C. Spironelli, and A. Angrilli, "Affective and cortical EEG gamma responses to emotional movies in women with high vs low traits of empathy," *Neuropsychologia*, vol. 133, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.107175.
- [18] L. Edler *et al.*, "Mathematical modelling and quantitative methods," 2002. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/foodchemtox
- [19] D. Briskorn and M. Dienstknecht, "Survey of quantitative methods in construction," Apr. 01, 2018, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.cor.2017.11.012.
- [20] E. W. L. Cheng and H. Li, "Exploring quantitative methods for project location selection," *Build Environ*, vol. 39, no. 12, pp. 1467–1476, Dec. 2004, doi: 10.1016/j.buildenv.2004.03.015.
- [21] S. Guercini, "New qualitative research methodologies in management," *Management Decision*, vol. 52, no. 4, pp. 662–674, 2014, doi: 10.1108/md-11-2013-0592.
- [22] C. R. Boddy, "Sample size for qualitative research," *Qualitative Market Research*, vol. 19, no. 4, pp. 426–432, 2016, doi: 10.1108/qmr-06-2016-0053.
- [23] A. Saihi, M. Ben-Daya, and R. As'ad, "An Investigation of Sustainable Maintenance Performance Indicators: Identification, Expert Validation and Portfolio of Future Research," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 124259–124276, 2022, doi: 10.1109/access.2022.3224450.
- [24] E. Hayat and D. Amaratunga, "The Role of Local Government in Post-Disaster Road Reconstruction: Assessment of Factors Affecting Local Government Road Maintenance Capacity," 2017, pp. 255–279. doi: 10.1007/978-3-319-54466-3_10.
- [25] M. B. Bouraima, Y. Qiu, C. Kiprotich Kiptum, and K. Maraka Ndiema, "Evaluation of Factors Affecting Road Maintenance in Kenyan Counties Using the Ordinal Priority Approach," *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 260–265, Aug. 2023, doi: 10.47852/bonviewjccce2202272.
- [26] M. T. Wangare, "Factors Influencing Maintenance Of Roads In Kenya: A Case Of The Nairobi Thika Highway Improvement Project," University of Nairobi, 2019. [Online]. Available: <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/109484>