

TESIS
IDENTIFIKASI DAN KLASIFIKASI KONDISI PERMUKAAN JALAN
MENGGUNAKAN KAMERA

IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF ROAD SURFACE
CONDITIONS USING CAMERAS

SARTIKA
D082201003



PROGRAM MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA UNIVERSITAS
HASANUDDIN GOWA

2024



PENGAJUAN TESIS

*IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF ROAD SURFACE
CONDITIONS USING CAMERAS*

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh

SARTIKA

D082201003

Kepada

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



TESIS

IDENTIFIKASI DAN KLASIFIKASI KONDISI PERMUKAAN JALAN MENGGUNAKAN KAMERA

SARTIKA
D082201003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi
pada Program Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 7 Februari 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002

Pembimbing Pendamping



Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.I.T
NIP. 19731010 199802 1 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, M.T. IPM., ASEAN.Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika



Dr. Ir. Zahir Zaimuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sartika

Nomor Mahasiswa : D082201003

Program Studi : S2 Teknik Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Identification and Classification of Road Surface Conditions Using Cameras" adalah karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc., dan Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di jurnal/ Prosiding IAICT (THE 2023 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY 4.0, ARTIFICAL INTELLIGENCE AND COMMUNICATION TECHNOLOGY) sebagai artikel dengan judul "Detection and Classification of Road Damage Using Camera with GLCM and SVM".

Dengan ini saya limpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Maret 2024

Yang Menyatakan



Sartika



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala Yang Maha Sempurna, yang telah memberikan rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Indetifikasi dan Klasifikasi Kondisi Permukaan Jalan menggunakan Kamera”**. Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom.) pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Informatika Universitas Hasanuddin Makassar. Tentunya penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari semua pihak. Untuk itu, dengan penuh kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya dan setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua ayahanda Alm. Andi Muhammad Taufik dan ibunda tercinta Erni. yang telah memberikan dukungan materil, doa dan motivasi yang kuat kepada penulis, hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc selaku Ketua Program Studi S2 Departemen Teknik Informatika, sekaligus sebagai pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu membimbing selama proses pengerjaan tesis ini, serta memberi dukungan dan membantu selama penulis menempuh pendidikan pascasarjana di Universitas Hasanuddin.



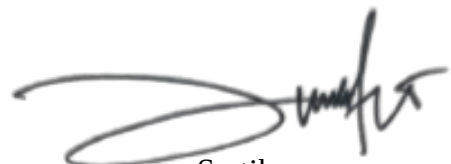
ik Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT. selaku dosen pembimbing kedua telah meluangkan waktunya kepada penulis untuk membimbing,

memberikan masukan, memotivasi tiada hentihentinya hingga tahap penyelesaian tesis ini.

4. Bapak Prof Dr. Ir. Andani Achmad, MT., Ibu Mukaramah Yusuf, B.Sc., M.Sc., Ph.D., Bapak Dr. Eng. Zulkifli Tahir, S.T., M.Sc., selaku penguji yang memberikan masukan dan saran yang membangun selama proses penelitian berlangsung.
5. Rekan-rekan Lab Computer Bases System (CBS) Departemen Teknik Informatika yang selalu saling mendukung dalam suka maupun duka dalam proses penyelesaian tesis ini.
6. Rekan-rekan Mahasiswa S2 Departemen Teknik Informatika mendukung dalam proses penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis masih jauh dari kata sempurna dan di dalam penyelesaiannya masih menemui kesulitan dan hambatan, sehingga penulis tetap mengharapkan saran dan kritik untuk pengembangan lebih lanjut, agar dapat memberikan manfaat yang banyak bagi semua pembaca.

Makassar, 18 Maret 2024



Sartika



ABSTRAK

Sartika, Identifikasi dan Klasifikasi kondisi permukaan Jalan Menggunakan Kamera (Dibimbing oleh Zahir Zainuddin dan Amil Ahmad Ilham).

Kerusakan jalan adalah masalah umum di kota-kota besar, yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti lalu lintas yang padat, curah hujan, dan pemeliharaan jalan yang tidak memadai. Mendeteksi kerusakan jalan, seperti lubang, retakan, distorsi, kegemukan, dan pengausan jalan, sangat penting dilakukan untuk memastikan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Penelitian ini mengusulkan sebuah metode yang menggunakan algoritma Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) dan Support Vector Machine (SVM) untuk mendeteksi kerusakan jalan. Metode yang diusulkan melibatkan pemrosesan gambar jalan menggunakan algoritma GLCM untuk mengekstrak fitur tekstur, seperti *dissimilarity, correlation, contrast, energy, and Angular Second Moment (ASM)*. GLCM merupakan pendekatan yang efektif untuk mengekstraksi informasi tekstur dan menghasilkan matriks yang menggambarkan hubungan antara piksel-piksel gambar. Fitur-fitur yang diekstraksi ini kemudian dimasukkan sebagai input ke model SVM. Model SVM dilatih untuk mengklasifikasikan gambar jalan ke dalam beberapa kategori, termasuk lubang, retakan, distorsi, kegemukan, dan pengausan. SVM merupakan metode machine learning yang dapat mengklasifikasikan data ke dalam kategori yang telah ditentukan berdasarkan fitur-fitur yang telah diekstraksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mendeteksi kerusakan jalan yang ditunjukkan dengan nilai F1 untuk lubang sebesar 0.4, retak sebesar 0.5, kegemukan sebesar 0.8 dengan akurasi rata-rata sistem sebesar 59%. Dengan meningkatkan dataset dan mengurangi jumlah kategori kerusakan yang ada, kemungkinan besar akurasi metode ini dapat ditingkatkan menjadi sekitar 80%. Pendekatan ini dapat menjadi alat untuk memantau kondisi jalan secara terus menerus dan membantu otoritas jalan dalam membuat keputusan mengenai perbaikan jalan yang tepat waktu.



nci: Kerusakan Jalan, Pengolahan Citra, *Gray Level Co-Occurrence Matrix* Support Vektor Machine (SVM).

ABSTRACT

Sartika, Identification and Classification Of Road Surface Conditions Using Cameras, (Supervised by Zahir Zainuddin dan Amil Ahmad Ilham).

Road damage is a common issue in large cities, caused by factors such as heavy traffic, rainfall, and inadequate road maintenance. Detecting road damage, such as potholes, cracks, distortion, fatness, and polished aggregate, is crucial to ensure the safety and comfort of road users. This study proposes a method that uses the Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) and Support Vector Machine (SVM) algorithms to detect road damage. The proposed method involves processing road images using the GLCM algorithm to extract texture features, such as dissimilarity, correlation, contrast, energy, and Angular Second Moment. GLCM is an effective approach for extracting texture information and generating a matrix that illustrates the relationship between image pixels. These extracted features are then fed as input to the SVM model. The SVM model is trained to classify road images into several categories, including potholes, cracks, distortion, fatness, and polished aggregate. SVM is a machine learning method that can classify data into predetermined categories based on the extracted features. The test results show that the proposed method can detect road damage, as indicated by the F1 score for potholes of 0.4, cracks of 0.51, fatness of 0.8, with an overall accuracy system of 59%. By improving the dataset and reducing the number of existing damage categories, it is likely that the accuracy of the method can be increased to around 80%. This approach can serve as a tool for continuously monitoring road conditions and assisting road authorities in making decisions regarding timely road improvements.

Keywords: Road Damage, Image Processing, Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM), *Support Vektor Machine* (SVM).



DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PERMASALAHAN DAN TUJUAN PENELITIAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kajian Pustaka	7
2.2 Kajian Literatur	19
2.3 Kerangka Pikir	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Metode Penelitian	30
3.1.1 Jenis Penelitian	30
3.1.2 Tahapan Penelitian.....	30
3.2 Sumber Data.....	31
3.3 Perangkat Penelitian.....	31
3.4 Rancangan Sistem.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
Proses Extraksi fitur GLCM dan Training.....	37
4.1.1. Akuisisi citra atau Image Acquisition.....	38
4.1.2 Pre-Processing	39



4.1.3	Ekstraksi Fitur.....	41
4.1.4	Klasifikasi SVM pada data kamera	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN.....		55
1.	Source Code Program Menggunakan Blur	55
2.	Source Code Program Tanpa Blur	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lubang.....	9
Gambar 2. 2 Lubang tertutup genangan air.....	9
Gambar 2. 3 Retakan jalan.....	10
Gambar 2. 4 Distorsi	10
Gambar 2. 5 Kegemukan jalan.....	11
Gambar 2. 6 Pengausan jalan	12
Gambar 2. 7 Kamera deteksi.....	12
Gambar 2. 8 Kerangka Pikir.....	29
Gambar 3. 1 (a), (b) Blok Diagram Kamera	32
Gambar 3. 2 Skenario Pengambilan data	33
Gambar 3. 3 Pengambilan data	33
Gambar 3. 4 Gambaran Umum Sistem	34
Gambar 3. 5 Blok Diagram Sistem Kamera.....	34
Gambar 4. 1 Citra Dataset.....	39
Gambar 4. 2 konversi RGB ke Grayscale	40
Gambar 4. 3 proses deteksi kontur jalan	41
Gambar 4. 4 proses bounding box dan cropping.....	41
Gambar 4. 5 Rumus Konfusi Matrix Multiclass	46



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Lubang	8
Tabel 2. 2 Confusion Matrix	19
Tabel 2. 3 State of The Art Penelitian.....	19
Tabel 3. 1 Tahapan penelitian	30
Tabel 4. 1 Fitur Contrast	42
Tabel 4. 2 Fitur Energi	42
Tabel 4. 3 Fitur dissimilarity	43
Tabel 4. 4 Fitur Homogeneity	43
Tabel 4. 5 Fitur Correlation.....	43
Tabel 4. 6 Fitur ASM	44
Tabel 4. 7 Confusion Matrix kerusakan jalan	45
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Konfusi Mantrix	46



BAB I

PERMASALAHAN DAN TUJUAN PENELITIAN

1.1 Latar belakang

Kerusakan jalan menunjukkan suatu kondisi dimana struktural dan fungsional jalan sudah tidak dapat memberikan pelayanan yang optimal terhadap lalu lintas yang melintasi jalan tersebut [1]. Jenis kerusakan jalan yang sangat membahayakan pengendara adalah lubang, retak, distorsi, kegemukan, pengausan. Lubang adalah penyebab utama kecelakaan di seluruh dunia dan lazim di negara-negara yang disambut dengan hujan lebat. Kerusakan jalan aspal berupa lubang-lubang dapat terjadi ketika retakan-retakan dibiarkan tanpa perbaikan sehingga akhirnya air meresap dan membuat rapuh lapisan-lapisan jalan. Lubang-lubang yang awalnya kecil ini bisa berkembang menjadi lubang-lubang berukuran besar yang dapat membahayakan pengguna jalan. Standar jalan dikatakan baik adalah apabila kualitas aspal jalan sesuai dan mengikuti spesifikasi yang ditentukan baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya [2]. Ketersediaan jalan yang baik dan stabil berpengaruh terhadap kelancaran arus lalu lintas [3].

Menurut data Kementrian Pekerjaan Umum, secara keseluruhan kondisi jalan rusak di Indonesia mencapai 3.290 km atau 7 % dari total panjang jalan nasional yang mencapai 47.017 km [4]. Oleh karena itu kegiatan pengamatan atau monitoring harus dilakukan secara rutin untuk mengantisipasi kerusakan jalan. Upaya ini dilakukan agar jalan tetap memiliki tingkat

an yang optimal. Terbaikannya pekerjaan dan pemeliharaan sarana dapat menyebabkan kerusakan jalan seperti lubang (*pothole*) retak (*cracking*), kegemukan, distorsi dan kerusakan permukaan jalan lainnya yang



menjadi indikasi penurunan tingkat layanan jalan. Bila tidak ditangani segera, kerusakan jalan akan terjadi secara meluas karena perkembangan kerusakannya meningkat menurut fungsi waktu.

Oleh karena itu, dibutuhkan indentifikasi kerusakan jalan atau lubang maupun retakan sejak dini sehingga pengguna jalan dapat mendapatkan informasi kerusakan jalan tersebut. Dengan adanya identifikasi kerusakan jalan, tidak hanya membantu pengemudi menghindari kecelakaan atau kerusakan kendaraan, tetapi juga membantu pihak berwenang untuk memelihara jalan. Ada beberapa metode untuk mengidentifikasi kerusakan permulakaan jalan, baik menggunakan kamera maupun sensor. Pada penelitian ini akan menggunakan metode deteksi dengan sistem kamera.

Metode yang digunakan oleh Audrey Athallah Asyam Fauzan dkk.[5] melakukan segmentasi pada citra gambar untuk mendeteksi area lubang jalan memanfaatkan ekstraksi fitur tekstur *Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)*. Sistem ini hanya mendeteksi 2 kategori yaitu berlubang dan tidak berlubang. K. Zoysa dkk.[6] menganalisis getaran yang diberikan oleh akselerometer ketika melewati sebuah lubang untuk mendeteksi lubang. Sistem ini tidak bekerja secara *real-time* dan tidak memberi tahu pengguna secara instan. yang diusulkan sistem dibatasi untuk jalan yang dilayani oleh rute bus yang membatasi area yang dicakup untuk pemetaan lubang. Kemudian Ashutosh Shah dkk.[7] melakukan deteksi dan prediksi lubang menggunakan Machine Learning. Gambar lubang dikumpulkan kemudian dilakukan pre-

essing, operasi morfologi dan deteksi tepi. Sistem ini tidak bekerja dalam



kondisi jalan berair dan hanya menggunakan 2 kategori data set yaitu jalan berlubang dan tidak berlubang.

Vigneshwar.K dan Hema Kumar.B [8] melakukan deteksi berbasis pengolahan gambar untuk mengidentifikasi lubang pada gambar. Berbagai teknik yang digunakan memberikan hasil yang baik dan akurasi pada gambar statis tetapi akan lambat untuk mendeteksi lubang secara real-time. Pendekatan yang disebutkan oleh Shebin Silvester et al [9] melakukan deteksi dan pemetaan lubang secara real-time menggabungkan kinerja kamera dan sensor akselerometer yang terintegrasi dengan smartphone. Kemudian hasil pembacaan baik itu dari kamera maupun sensor dapat diakses dalam aplikasi maps. Akurasi deteksi dan pemetaan pada penelitian ini sangat baik namun, hanya menggunakan 1 sensor akselerometer mengakibatkan area deteksi terbatas dan tidak mendeteksi keseluruhan kondisi permukaan jalan melainkan hanya mendeteksi kategori lubang dan bukan lubang.

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih terdapat beberapa kekurangan dari sistem identifikasi kondisi permukaan jalan, diantaranya sebagai berikut:

- Sistem sangat lambat untuk mendeteksi secara *real-time*;
- Hanya mendeteksi 2 kategori kerusakan jalan yaitu lubang dan bukan lubang
- Sistem yang ada hanya mendeteksi kondisi jalan berlubang tidak menyeluruh pada kerusakan jalan seperti retak, pengausan dan sebagainya.

Berdasarkan uraian diatas, peneliti mengusulkan penggunaan kamera & melakukan proses indentifikasi dan klasifikasi kondisi permukaan jalan & gunakan metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM).



1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara mengestimasi kondisi permukaan jalan menggunakan kamera?
2. Bagaimana menentukan pola kerusakan jalan dengan menggunakan kamera?
3. Bagaimana mengklasifikasikan berbagai jenis kerusakan jalan (seperti lubang, retak, distorsi, kegemukan dan pengausan jalan) dengan akurasi tinggi berdasarkan gambar yang diambil?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengembangkan metode yang dapat mengestimasi kondisi permukaan jalan menggunakan kamera.
2. Menentukan pola kerusakan jalan dengan menggunakan kamera.
3. Mengklasifikasikan berbagai jenis kerusakan jalan (seperti lubang, retak, distorsi, kegemukan dan pengausan jalan) dengan akurasi tinggi berdasarkan gambar yang diambil.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kualitas permukaan jalan,
2. Membantu otoritas terkait dalam memonitoring kondisi permukaan jalan dan upaya pemeliharaan jalan,



Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Melakukan proses indentifikasi dengan kamera.
2. Uji coba menggunakan kendaraan mobil
3. Jalan yang diidentifikasi adalah jalan yang memiliki potensi tinggi memiliki kerusakan.
4. Pengambilan data dilakukan pada jalan aspal dengan jenis kerusakan berupa lubang, retak, distorsi, kegemukan, pengausan dan dilakukan pada siang hari.
5. Kecepatan kendaraan yaitu 20-40 km/jam
6. Spesifikasi kamera yang digunakan adalah Xiaovv webcam blogging 1080p

1.6 Sistematika penulisan

Untuk memberikan gambaran singkat mengenai isi tulisan secara keseluruhan, maka akan diuraikan beberapa tahapan dari penulisan secara sistematis, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang yang menjabarkan alasan dilakukannya penelitian terkait identifikasi dan klasifikasi kerusakan jalan menggunakan kamera berdasarkan peluang penelitian dan uraian penelitian awal tentang yang dilakukan, terkait rumusan masalah, tujuan, manfaat, ruang lingkup serta sistematika penulisan penelitian dibahas pada bagian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tinjauan teori dan konsep dasar dari penelitian yang akan dilakukan berhubungan dengan kerusakan jalan, jenis-jenis kerusakan jalan, algoritma GLCM, algoritma SVM dan beberapa landasan teori lainnya.



Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pemikiran yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti, termasuk menguraikan objek penelitian *state of the art* dari beberapa penelitian terkait

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tahapan penelitian, waktu dan lokasi penelitian, instrumen penelitian, tahap persiapan, gambaran umum sistem, scenario pengujian, dan analisis perform.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dari penelitian yaitu hasil identifikasi dan klasifikasi kerusakan jalan menggunakan kamera serta evaluasi performa dari metode tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab in merupakan bab akhir yang berisi kesimpulan, implikasi, keterbatasan penelitian yang telah dilakukan, serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Kerusakan Jalan

Kerusakan jalan dapat diartikan sebagai perubahan atau penurunan kondisi fisik dari suatu jalan yang disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk penggunaan kendaraan berat yang melebihi kapasitas desain perkerasan. Dalam konteks ini, kerusakan jalan terjadi ketika beban yang diterapkan pada perkerasan melebihi batas daya dukung atau kapasitas yang telah direncanakan untuk jalan tersebut [10]. Kerusakan jalan telah menjadi salah satu faktor yang dapat menghambat bagi penghubung antar daerah. Berdasarkan informasi yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2020 Kota Makassar telah mencapai 1,423 juta jiwa. Dengan jumlah penduduk yang besar, hal itu juga menjadi penyebab penggunaan jalan yang ikut terus meningkat. Kondisi jalan menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan agar tidak mengganggu para pengguna jalan. Kondisi jalan yang baik adalah jalan yang tidak memiliki kerusakan. Oleh karena itu kerusakan jalan menjadi topik penting dalam mendukung untuk mencapai kondisi jalan yang baik. Banyak pemerintah kota dan otoritas jalan berupaya menerapkan evaluasi kerusakan jalan secara otomatis. Namun, mereka sering kali kekurangan teknologi, pengetahuan, dan dana untuk membeli peralatan canggih dalam pengumpulan data dan analisis kerusakan jalan.



Berikut adalah beberapa jenis kerusakan jalan yang sering ditemukan.

1. Lubang

Lubang adalah jenis cacat permukaan berbentuk mangkuk, ukuran bervariasi dari kecil sampai besar. Lubang biasanya memiliki kedalaman minimal 30 mm dan memiliki diameter antara 10 cm sampai dengan 100 cm [12]. Lubang adalah salah satu jenis kerusakan jalan yang lebih umum terjadi pada jalan. Beberapa jenis kerusakan yang disebabkan oleh lubang adalah pelak bengkok, terjadinya kerusakan pada badan mobil, serta menyebabkan kerusakan pada ban mobil [13]. Menurut data survei yang dilakukan oleh Balitbang PUPR, kerusakan lubang memiliki 4 ciri, yaitu terdapat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Jenis Lubang

Jenis Lubang	Diameter	Kedalaman
Kecil-Dangkal	< 0,5 meter	< 5 cm
Kecil-Dalam	< 0,5 meter	> 5 cm
Besar-Dangkal	> 0,5 meter	< 5 cm
Besar-Dalam	> 0,5 meter	> 5 cm

Ciri visual lubang pada jalan beraspal meliputi:

1. Sebuah lubang memiliki bayangan yang lebih gelap dari permukaan sekitarnya
2. Bentuk lubang cenderung atau mendekati elips, karena distorsi perspektif
3. Tekstur dari lubang lebih kasar dari permukaan sekitarnya yang tidak berlubang. [14]

Berdasarkan kedalaman, sebuah lubang dapat diklasifikasi menjadi tiga kategori; dangkal (< kedalaman 25 mm), sedang (kedalaman 25 mm sd 50 mm) dalam (> kedalaman 50 mm). [15]. Sedangkan berdasarkan luas, sebuah



lubang dapat diklasifikasi menjadi tiga kategori; kecil ($< 10 \text{ cm}^2$), sedang (luas 10 cm^2 sd 30 cm^2) dan besar ($> 30 \text{ cm}^2$). [16]



Gambar 2. 1 Lubang



Gambar 2. 2 Lubang tertutup genangan air

2. Retak

Ada berbagai jenis retak yang bisa terjadi pada jalan perkerasan aspal, antara lain retak kulit buaya, retak pinggir, retak sambungan bahu, retak refleksi, retak susut, dan retak slip. Salah satu faktor terbesar penyebab retak tersebut adalah buruknya sistem drainase jalan. Karena itu, solusinya tak cukup hanya dengan menambal retakan-retakan yang ada. Sistem drainase perlu dibangun sehingga jenis kerusakan yang sama tidak terjadi lagi.





Gambar 2. 3 Retakan jalan

3. Distorsi

Distorsi atau perubahan bentuk pada perkerasan jalan aspal bisa terjadi dikarenakan tanah dasar yang lemah dan pemadatan yang kurang optimal di lapisan pondasi. Distorsi yang terjadi pada jalan aspal bisa berupa ambblas, jembul, keriting dan alur



Gambar 2. 4 Distorsi

4. Kegemukan

Kerusakan kegemukan yang dimaksudkan berupa permukaan jalan aspal yang menjadi licin. Kerusakan ini terjadi saat temperatur naik sehingga aspal menjadi lunak dan jejak roda kendaraan akan membekas pada permukaan lapisan jalan. Kerusakan yang disebut kegemukan ini



biasanya terjadi pada jalan aspal yang menggunakan kadar aspal tinggi pada campuran aspal atau dikarenakan pemakaian aspal yang terlalu banyak pada tahapan *prime coat*. Kerusakan jenis ini biasanya dapat diatasi dengan menghamparkan atau menaburkan agregat panas yang kemudian dipadatkan. Atau bisa juga dilakukan pengangkatan lapisan aspal dan lantas diberi lapisan penutup.



Gambar 2. 5 Kegerukan jalan

5. Pengausan

Kerusakan pengausan ditandai dengan permukaan jalan aspal yang menjadi licin. Kerusakan ini sepertinya terlihat sepele, padahal kenyataannya kerusakan ini bisa membahayakan pengguna jalan. Kendaraan yang melintas menjadi lebih mudah tergelincir pada kondisi jalan seperti ini. Pengausan dapat terjadi dikarenakan penggunaan agregat yang tidak tahan aus terhadap roda-roda kendaraan atau agregat yang tidak berbentuk cubical, misalnya agregat berbentuk bulat dan licin. Kerusakan semacam ini bisa diatasi dengan menutup area permukaan jalan aspal yang

usak.





Gambar 2. 6 Pengausan jalan

2.1.2 Kamera

Sebagai input dari sistem digunakan kamera belakang pada perangkat smartphone berbasis Android. Kamera haruslah diletakkan sedemikian rupa agar bisa mencakup pandangan bagian depan sisi jalan yang dilalui, yaitu dari sisi sudut sebelah kiri sampai dengan sudut sebelah kanan jalan.



Gambar 2. 7 Kamera deteksi

2.1.3 Metode Penyelesaian Masalah

Penulis melaksanakan tinjauan terhadap jurnal penelitian yang relevan dan juga sebagai perbandingan hasil penelitian yang berhubungan dengan system deteksi dan pemetaan kondisi permukaan jalan, baik menggunakan kamera maupun yang menggunakan sensor serta pendeteksian objek dan lainnya. Penelusuran jurnal dilakukan pada situs IEEEExplore, ELSEVIER dan w jurnal dilaksanakan dengan menggunakan matrik jurnal penelitian it.



1. Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)

Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) adalah matriks yang merepresentasikan banyaknya suatu *pixel i* terdekat dan *pixel j* tetangga yang berada pada sebuah citra [17]. Dalam kasus deteksi metode *GLCM* ini berfungsi untuk ekstraksi fitur tekstur pada citra. Sudut yang dibentuk dari nilai *pixel* citra adalah 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 [18]. Terdapat 14 fitur yang digunakan dalam perhitungan GLCM, namun pada penelitian ini akan menggunakan 6 fitur yaitu *contrast*, *energy*, *dissimilarity*, *homogeneity*, *correlation* dan *Asm*.

1. *Contrast*

Contrast merupakan ukuran intensitas atau variasi nilai abu-abu antara pasangan piksel.

$$Contrast = \sum_{i,j} (i - j)^2 P_{i,j} \quad (1)$$

Dimana:

i dan *j* adalah level keabuan (*gray-level*) yang berbeda pada citra

$P(i,j)$ adalah probabilitas bahwa pasangan piksel dengan level keabuan *i* dan *j* muncul bersamaan dengan jarak tertentu

2. *Energy*

Energy menunjukkan sifat homogenitas pada citra.

$$Energy = \sum_{i,j=0}^Z P_{i,j}^2 \quad (2)$$

3. *Dissimilarity*

Dissimilarity adalah fitur yang menunjukkan ukuran yang mendefinisikan variasi antara pasangan piksel yang ada pada citra.



$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} |i - j| \quad (3)$$

4. Homogeneity

Homogeneity digunakan untuk mengukur kehomogenan intensitas citra dengan tingkat keabuan sejenis.

$$\sum_{i,j=0}^{L-1} \frac{P_{(i,j)}}{1+(i-j)^2} \quad (4)$$

5. Correlation

Correlation adalah fitur yang menunjukkan penghitungan ketergantungan linear pada sebuah citra

$$\sum_{i,j=0}^{L-1} P_{i,j} \left[\frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sqrt{\sigma_i^2}(\sigma_j^2)} \right] \quad (5)$$

6. Asm

Fitur Asm memiliki fungsi uniformity, fitur ini merupakan bentuk pangkat dari matriks GLCM.

$$\sum_i \sum_j (p(i,j))^2 \quad (6)$$

Hasil dari ekstraksi fitur yang didapatkan dari perhitungan GLCM akan menjadi input pada klasifikasi yang digunakan. Alasan hanya menggunakan 6 fitur dari total 14 fitur GLCM karena fitur ini dianggap paling relevan dan informatif dalam menjelaskan ciri-ciri bayangan fokus. Setiap fitur memiliki perbedaan interpretasi dan kontribusi dalam menggambarkan tekstur gambar. Pemilihan fitur ini didasarkan pada sebelumnya penelitian yang berhasil menerapkan analisis tekstur menggunakan ini fitur. Fitur-fitur ini terbukti

berikan cukup informasi untuk membedakan dan mengklasifikasikan gambar berdasarkan karakteristik tekstur yang diinginkan.



2. Single Shot Multi-Box Detektion (SSD)

Single Shot Detector (SSD) adalah sebuah metode untuk mengenali atau mendeteksi sebuah object pada suatu gambar dengan menggunakan single deep neural network dan salah satu algoritma deteksi object yang paling populer karena kemudahan implementasi, serta akurasi yang baik relatif terhadap komputasi yang dibutuhkan.

3. Support Vector Machine (SVM)

Support Vektor Machin (SVM) adalah Algoritma SVM adalah metode yang berlandaskan pada teori pembelajaran statistik dan memberi hasil yang menjanjikan dan lebih baik dibanding metode lain. SVM bekerja juga dengan baik terhadap data yang berdimensi tinggi dengan menggunakan teknik kernel [19]. Metode SVM tidak menghasilkan hasil yang akurat ketika banyak fitur yang tidak relevan, tidak semua fitur diperlukan dalam proses. Seleksi fitur bekerja secara langsung mengurangi jumlah fitur dan memilih fitur yang benar-benar memberikan informasi, jumlah fitur berkurang secara signifikan dan masalah overfitting teratasi. Metode SVM memberikan kinerja yang efektif, ketika fitur yang tidak relevan dihilangkan [20].

Support Vector Machine (SVM) adalah suatu teknik untuk melakukan prediksi, baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi [21]. SVM memiliki prinsip dasar linier classifier yaitu kasus klasifikasi yang secara linier dapat dipisahkan, namun SVM telah dikembangkan agar dapat bekerja pada problem non-linier dengan memasukkan konsep kernel pada ruang kerja dimensi tinggi. Pada ruang berdimensi tinggi, akan dicari hyperplane (rplane) yang dapat memaksimalkan jarak (margin) antara kelas data.



Metode Support Vector Machine (SVM) adalah sebuah algoritma pembelajaran mesin yang digunakan untuk klasifikasi dan regresi. Tujuan utama SVM adalah membangun sebuah hyperplane dalam ruang berdimensi tinggi yang dapat memisahkan dua kelas data. Hyperplane ini dipilih sedemikian rupa sehingga jarak terdekat antara data dari kedua kelas (disebut vektor pendukung atau support vectors) ke hyperplane ini maksimal.

Berikut adalah beberapa konsep utama dalam metode SVM:

a. Hyperplane

Sebuah hyperplane adalah batas pemisah linier yang membagi ruang berdimensi tinggi menjadi dua bagian. Dalam kasus klasifikasi biner, hyperplane ini memisahkan antara dua kelas data.

b. Vektor Pendukung (Support Vectors)

Support vectors adalah data yang paling dekat dengan hyperplane dan berperan penting dalam menentukan posisi dan orientasi hyperplane. SVM memanfaatkan support vectors untuk mengoptimalkan posisi hyperplane.

c. Margin

Margin adalah jarak terpendek antara hyperplane dan support vectors. SVM berusaha untuk memaksimalkan margin ini, sehingga meningkatkan keakuratan dan generalisasi model.

d. Fungsi Keputusan (Decision Function)

SVM menggunakan fungsi keputusan untuk mengklasifikasikan data baru. Fungsi ini memberikan nilai untuk setiap data, dan data klasifikasikan ke kelas yang sesuai berdasarkan nilai tersebut.



ernel Trick

SVM dapat diperluas untuk menangani masalah non-linier dengan menggunakan kernel trick. Kernel memungkinkan SVM bekerja di ruang fitur yang lebih tinggi tanpa perlu secara eksplisit menghitung transformasi ke ruang tersebut.

Langkah-langkah umum dalam mengimplementasikan SVM sebagai berikut:

a. Pemilihan Kernel

Pilih kernel yang sesuai berdasarkan sifat data. Kernel yang umum digunakan melibatkan fungsi linear, polynomial, radial basis function (RBF), dan lainnya.

b. Pelatihan Model

Pelatihan model melibatkan menemukan hyperplane terbaik yang memisahkan data dalam ruang fitur.

c. Optimasi

Optimalkan parameter seperti C (parameter toleransi kesalahan), γ (parameter kernel), dan lainnya untuk meningkatkan performa model.

d. Validasi dan Evaluasi

Evaluasi model menggunakan data validasi atau uji untuk memastikan keakuratan dan generalisasi yang baik.

4. Long Short-Term Memory (LSTM)

Long short term memory network (LSTM) adalah sistem penyimpanan yang dapat memproses, memprediksi, dan mengklasifikasikan informasi telah disimpan dalam jangka waktu lama sekali pun. LSTM merupakan pengembangan dari metode RNN melalui penambahan sel (cell) LSTM di



dalam arsitektur RNN. LSTM telah sukses menyelesaikan berbagai permasalahan, seperti handwriting recognition, speech recognition, handwriting generation, dan image captioning. LSTM memungkinkan arsitektur machine learning menyimpan bobot (weight) dari suatu perhitungan lebih lama dari RNN. Hal ini disebabkan LSTM memiliki sel-sel LSTM, yaitu sebuah node yang memiliki self-recurrent. Hal ini menyebabkan LSTM dapat bekerja lebih baik daripada RNN pada data dengan sekuens yang lebih panjang. Pada LSTM, proses recurrent atau perulangan dilakukan pada level node dan layer. Sel-sel LSTM dikendalikan oleh input gate untuk mengingat atau melupakan informasi yang dimiliki berdasarkan keluaran dari LSTM.

5. Konfusion Matrix Multiclass Klasifikasi

Confusion matrix merupakan sebuah pengukuran performa yang sering digunakan pada masalah klasifikasi di mana output dapat terdiri dari dua kelas atau lebih. Terdapat empat atribut yang merupakan kombinasi dari nilai yang diprediksi (predicted) dan nilai yang sebenarnya (actual), yaitu:

- True Positive: Jumlah data yang bernilai positif baik pada kategori yang diprediksi maupun kategori yang sebenarnya.
- False Positive: Jumlah data yang bernilai positif pada kategori yang diprediksi tetapi bernilai negatif pada kategori yang sebenarnya.
- True Negative: Jumlah data yang bernilai negatif baik pada kategori yang diprediksi maupun kategori yang sebenarnya.
- False Negative: Jumlah data yang bernilai negatif pada kategori yang prediksi tetapi bernilai positif pada kategori yang sebenarnya.



		Actual/Ground truth	
		Positif (1)	Negatif (0)
Predicted Value	Positif (1)	TP (True Positif)	FP (False Positif)
	Negatif (0)	FN (False Negatif)	TN (True Negatif)

Tabel 2. 2 Confusion Matrix

2.2 Kajian Literatur

2.2.1 State of The Art Penelitian

Berikut pada table 2.3 penelitian review dari beberapa jurnal yang penulis analisis yang sangat relevan dengan tema penelitian yang akan diajukan:

Tabel 2. 3 State of The Art Penelitian

No.	Judul Karya Ilmiah, Nama, Tahun Terbit dan Penerbit	Objek dan Permasalahan	Metode Penyelesain	Kinerja	Korelasi <.,=>
1.	Judul: Judul yang diusulkan Penulis : Sartika Tahun : 2022 Penerbit :	Objek: Kerusakan jalan berupa Lubang Permasalahan: sistem yang ada belum mampu memberikan informasi secara optimal terhadap kondisi permukaan jalan.	Kamera menggunakan Algoritma GLCM untuk Ekstraksi fitur dan KNN untuk Klasifikasi dan Sensor menggunakan Algoritma Z-Diff	Kinerja sistem	Kinerja sistem <.,=>
	 Pendeteksi lubang pada menggunakan level Co-	Objek: Lubang pada Jalan	Menggunakan metode Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)	Akurasi pengenalan terbaik pada kecepatan (0-30 km/jam) dengan	

	Occurrence Matrix Berbasis Raspberry Pi Penulis : Audrey Athallah Asyam Fauzan, etc. [5] Tahun : 2021 Penerbit : e-ISSN	Permasalahan: Hanya mendeteksi 2 kategori yaitu lubang dan tidak berlubang, Akurasi masih 81,70 %, namun metode tidak membutuhkan dataset	untuk Ekstraksi fitur dan (SVM) untuk klasifikasi	rata-rata akurasi sebesar 81,70%, akurasi integrasi deteksi terhadap hardware sebesar 87,5%	
3.	Judul : A Public Transport System Based Sensor Network for Road Surface Condition Monitoring Penulis : Kasun De Zoysa, Gihan P. Seneviratne, Chamath Keppitiyagama, W.W. A. T. Shihan [6] Tahun : 2007 Penerbit : NSDR	Objek: Pemantauan kondisi permukaan jalan Permasalahan: system dibatasi untuk jalan yang dilewati oleh rute bus. Perubahan kecepatan kendaraan belum bisa dibedakan antara perubahan karena menghindari kerusakan jalan, atau karena pemberhentian.	Membangun dan mengimplementasikan system Busnet dengan sensor mode yang mengukur tingkat akselerasi	Busnet yang mengimplementasikan jaringan sensor pada jaringan angkutan umum untuk memantau kondisi jalan, dimana Busnet ini pada awalnya dirancang untuk memantau pencemaran lingkungan.	
4	Judul: Smart Implementation Of Computer Vision and Machine Learning for Pothole Detection Penulis : Ashutosh Shah, Gaurav Sharma, Lava Bhargaya [7] Tahun : 2021 Penerbit : IEEE	Objek: Lubang pada Jalan Permasalahan: Sistem deteksi tidak bekerja dalam kondisi hujan, dataset hanya menggunakan 2 kategori yaitu berlubang dan tidak berlubang	Deep Neural Network (DNN) untuk ekstraksi fitur, untuk prediksi <i>pathole</i> menggunakan <i>Linear Regresion</i>	Akurasi pendeteksian lubang dari getaran sensor akselerasi (sensor GPS) mencapai 93,75 %	
	Judul: Detection and Classification of Potholes using	Objek: Deteksi Lubang Permasalahan:	Segmentasi citra menggunakan <i>Thersholding</i>,	Thresholding: 80.60% DoG: 90.19% K-Means:	



	Image Processing Techniques Penulis : Vigneshwar.K, Hema Kumar [8] Tahun : 2016 Penerbit : <i>IEEE</i>	Bagaimana mengidentifikasi metode yang lebih baik dan efisien serta akurat dalam deteksi lubang	<i>Difference of Gaussian-Filtering(DoG)</i>, K-Means Clustering, Fuzzy C-Means Clustering	82.47% Fuzzy C-Means: 82.46%	
6	Judul : Deep Learning Approach to Detect Potholes in real-time using smartphone Penulis : Shebin Silvester, Dheeraj Komandur, Shubham Kokate [9] Tahun : 2019 Penerbit : <i>IEEE</i>	Objek: Deteksi Lubang Permasalahan: Hanya mendeteksi kerusakan jalan berupa lubang, dan menggunakan 1 sensor maka area deteksinya terbatas.	Akselerometer dan giroskop menggunakan model Deep Feed Forward Neural Network (DNN), Kamera menggunakan Single Shot Multibox Detector(SSD)	SSD menyediakan deteksi lubang secara real-time dan model DNN memberikan akurasi yang baik. Kedua model diintegrasikan hingga diperoleh akurasi 96,7%	
7	Judul : A Comparative Evaluation of the Deep Learning Algorithms for Pothole Detection Penulis : Roopak Rastogi, Uttam Kumar, Archit Kashyap, Shubham Jindal dan Saurabh Pahwa [22] Tahun : 2020 Penerbit : <i>IEEE</i>	Objek: Lubang pada Jalan Permasalahan: Dataset lubang dengan genangan air dan lubang yang tertutup bayangan tidak diproses dan bahkan dihilangkan untuk memudahkan pengolahan dataset yang lain.	YOLO, RCNN, YOLOv2	modifikasi YOLOv2 dengan parameter (35 juta) dan FPS tertinggi (28), presisi (0,87), dan recall (0,89) meningkatkan akurasi dan mengurangi waktu eksekusi untuk deteksi lubang.	
	Deep Learning Pothole Detection and	Objek: Gundukan dan lubang	CNN-DL, Teory Kirchooff, KNN	Kombinasi ideal dari algoritma dan nilai	



	Reporting System Penulis : Ganes Babu R, Chellaswamy C, Surya Bhupal Rao M, Saravana M, Kanchana E, Shalini J [23] Tahun : 2020 Penerbit : International Conference on Smart Structures and System	Permasalahan: Membandingkan 3 algoritma dalam mendeteksi lubang dan gundukan pada jalan		ambang yang diperoleh, menunjukkan true-positive sebesar 93,18% dan false-positive 20%.	
9	Judul : Abnormal Road Surface Recoqniton Based on Smartphone Acceleration Sensor Penulis : Ronghua Du, Gang Qiu, Kai Gao, Lin Hu, dan Li Liu [24] Tahun : 2020 Penerbit : MDPI	Objek: Lubang pada Jalan Permasalahan: Sensor digunakan untuk mengenali kondisi jalan abnormal kemudian diklasifikasi, namun tidak mengetahui tingkat dan ukuran kerusakan jalan	Butterworth Filter, Gaussian Background Model, k-Nearest Neighbor (KNN)	Akurasi pengenalan lubang jalan sebesar 96,03%, dan akurasi tonjolan permukaan jalan sebesar 94,12%	
10	Judul : An Automated Machine-Learning Approach for Road Pothole Detection Using Smartphone Sensor Data Penulis : Gang Qiu, dkk Penerbit : MDPI	Objek: Deteksi Lubang pada Jalan Permasalahan: Karena menggunakan 1 sensor mengakibatkan area deteksi terbatas, dan system deteksi tidak <i>real-time</i>	Logistic Regression, SVM, Random Forest	Metode Random Forest menunjukkan kinerja klasifikasi terbaik untuk lubang, dengan presisi 88,5% dan recall 75%	



11	Judul : Perancangan Aplikasi Pendeteksi Kualitas Jalan Memanfaatkan Accelerometer dan Photo Tagging Berbasis Android pada CV. Ngesti Utama Penulis : Hadi Nurdin, Eko Budi Setiawan [26] Tahun : 2019 Penerbit : Teknik Informatika Universitas Komputer Indonesia	Objek: Pemetaan Lubang pada Jalan Permasalahan: Pendataan lubang jalan masih dilakukan secara manual, akurasi system tidak jelas.	Photo Tagging International Roughness Index (IRI)	Dengan Photo Tagging yang diimplementasikan pada aplikasi dapat membantu petugas dalam mengetahui lokasi-lokasi kondisi jalan yang rusak	
12	Judul : Effect of Combining Algorithms in Smartphone Based Pothole Detection Penulis : Janani Lekshmipathy dkk.[27] Tahun : 2021 Penerbit : International Journal of Pavement Research and Technology	Objek: Deteksi Lubang pada Jalan Permasalahan: Pendataan lubang jalan masih dilakukan secara manual	Z Peak Algorithm, Z Sus Algorithm, Z-X Algorithm, Z-Diff Algorithm	Kombinasi ideal dari algoritma dan nilai ambang yang diperoleh, menunjukkan true positive sebesar 93,18% dan falsepositive 20%	
13.	Judul : Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Bump Menggunakan Android Smartphone dengan Sensor Akselerometer Penulis : Yehezkiel Hutabarat, askoro, anuar Akbar	Objek: Deteksi Bump Permasalahan: Banyaknya polisi tidur yang ilegal atau tanpa izin, dan berbagai kerusakan jalan seperti lubang dan gundukan sangat mengganggu	Sensor Akselerometer pada android dan pengiriman lokasi menggunakan GPS	Bump ditampilkan dalam bentuk peta digital dengan akurasi rata-rata 89,48%.	



	[28] Tahun : 2016 Penerbit : Teknik ITS	kenyamanan pengguna jalan.			
--	---	-------------------------------	--	--	--

Beberapa penelitian terkait deteksi kerusakan jalan terutama jalan berlubang telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Baik itu menggunakan kamera, sensor, Raspberry Pi-Mikrokontroler dan metode deteksi lainnya. Misalnya saja penelitian yang dilakukan oleh [5] melakukan pendeteksian kerusakan jalan menggunakan pengolahan citra digital dengan melakukan *pre-procesing* untuk mendapatkan area lubang tersegmentasi kemudian memanfaatkan ekstraksi fitur tekstur *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM). Fitur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 5 fitur yang berasal dari 13 fitur dengan sudut 0° , 45° , 90° dan 135° . Dari 5 fitur tersebut dilakukan seleksi fitur menggunakan metode *Wrapper* hasil dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan citra lubang jalan sebanyak 117 yang berhasil tersegmentasi dengan tepat pada diameter 101×101 , $\sigma_s = 75$ dan $\sigma_r = 75$. Penggunaan metode seleksi fitur *Wrapper* memberikan hasil rata-rata akurasi dan MAP (*Mean Average Precision*) yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode seleksi fitur CFS maupun tidak menggunakan seleksi fitur. Akurasi dan MAP yang dihasilkan dari metode *Wrapper* dengan $d=1$ masing-masingnya yaitu sebesar 55,61% dan 0,710.



Kemudian penelitian yang dilakukan oleh [6] melakukan proses deteksi lubang menggunakan aplikasi Busnet dengan sensor akselerometer. Pada penelitian ini Busnet yang mengimplementasikan jaringan sensor pada jaringan angkutan umum untuk memantau kondisi jalan, dimana Busnet ini pada awalnya dirancang untuk memantau pencemaran lingkungan. BusNet yang mengimplementasikan jaringan sensor mote diatas kendaraan umum (bus) digunakan untuk pemantauan permukaan jalan. Cara kerja system BusNet adalah dengan sensor terpasang diatas kendaraan umum kemudian bus berjalan pada rute seperti biasanya, dengan hipotesis bahwa ada korelasi langsung antara percepatan dengan kondisi permukaan jalan. Sensor bergerak yang terpasang akan mengumpullkan data yang mencakup area geografis yang luas, Ketika bus tiba di stasiun yang berfungsi sebagai pusat pengumpulan data, data yang dikumpulkan akan ditransfer melalui sambungan nirkabel ke titik pengumpulan. Data yang dikumpulkan dititik pengumpulan regional ditransfer ke bus yang berpergian antara pusat regional dan pusat pengumpulan utama. Jadi system angkutan umum berfungsi sebagai jaringan pengirim data sekaligus pengumpul data.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh [7] melakukan deteksi dan prediksi lubang dan anomali berbeda yang ada di jalan menggunakan *Machine Learning* dengan cara mengumpulkan sampel gambar jalan yang berbeda kemudian melakukan *pre-processing* (blur gambar, smoothing), operasi morfologi, deteksi tepi, kemudian *decision tree* untuk mendeteksi lubang, dengan cara data dikumpulkan dan diekstraksi fitur dan diproses pada DNN dan diprediksi lubang akan regresi linear. Penelitian berikutnya adalah penelitian oleh [8] in proses identifikasi dan klasifikasi lubang menggunakan teknik



pengolahan citra dengan melakukan *pre-processing* citra berdasarkan perbedaan metode segmentasi citra berbasis *Gaussian-Filtering* dan *clustering* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Dari hasil segmentasi berbasis *clustering K-Means* lebih baik karena waktu komputasi lebih cepat dan segmentasi berbasis deteksi tepi lebih disukai karena spesifisitasnya. Tujuan utama dari paper ini adalah untuk mengidentifikasi metode yang lebih baik yang sangat efisien dan akurat dibandingkan dengan metode konvensional. Metode *pre-processing* dan segmentasi gambar yang berbeda untuk deteksi lubang yang ditinjau menggunakan ukuran kinerja

Berikutnya penelitian yang dilakukan oleh [9] menggunakan *deep learning* yang terintegrasi dengan dengan *smartphone* untuk deteksi dan pemetaan lubang secara real-time. Penelitian ini menggunakan algoritma *Single Shot Multi-box Detector (SSD)* untuk mencari lubang menggunakan kamera ponsel, ketika berhasil mendeteksi lubang maka koordinat lubang akan diperbarui ke *database* secara *real-time*. Dan juga menggunakan sensor akselerometer dengan model *Deep Feed Forward Neural Network (DNN)* yang kemudian hasil pembacaan deteksi baik itu kamera atau sensor dapat di akses dalam aplikasi *maps*, dan akurasi deteksi mencapai 96,7 %. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh [22] Melakukan penelitian menggunakan akselerometer dan giroskop, keduanya dibangun di zaman *modern smartphone*, untuk merasakan lubang. Getaran yang diindikasikan lubang dapat diukur pada pembacaan sumbu. Model Jaringan Saraf yang diusulkan dilatih dan dievaluasi berdasarkan data yang diperoleh dari sensor dan mengklasifikasikan



an bukan lubang. Jaringan saraf memberikan akurasi klasifikasi 94,78
 ii juga menghadirkan pertukaran *presisi-recall* yang solid dengan presisi

0,71 dan recall 0,81, jauh tinggi untuk masalah dengan ketidakseimbangan kelas. Hasilnya menunjukkan bahwa metode ini cocok digunakan dan akurat serta model terawasi yang sensitif untuk deteksi lubang.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh [23] sistem pemantauan permukaan diusulkan untuk mengidentifikasi gundukan dan lubang. Teori *Kirchoff* telah digunakan. Untuk mengatasi keterbatasan Teori *Kirchoff*, *Convolutional Neural Network-based Deep Learning (CNN-DL)* telah mengusulkan untuk mendeteksi lubang dan gundukan di jalan. Lokasi lubang telah diukur dengan sistem penentuan posisi global (*GPS*) dan memperbarui informasi ke ruang kendali. Untuk membuktikan validitas metode yang diusulkan untuk memperkirakan lubang di jalan, dua tolak ukur lainnya yaitu, teori *Kirchoff* dan *k-nearest neighbor (KNN)* dipilih untuk memvalidasi kinerja. Percobaan hasil menunjukkan bahwa *CNN-DL* lebih baik dan Kombinasi ideal dari algoritma dan nilai ambang yang diperoleh menunjukkan *true-positif* sebesar 93,18% dan *false-positve* 20%. Penelitian berikutnya dilakukan oleh [24] Untuk mengidentifikasi kondisi permukaan jalan yang tidak normal secara efisien dan dengan biaya rendah, Metode pengenalan kondisi permukaan diusulkan berdasarkan percepatan getaran yang dihasilkan oleh sebuah smartphone saat kendaraan melewati permukaan jalan yang tidak normal. Gaussian yang ditingkatkan model latar belakang digunakan untuk mengekstrak fitur perkerasan abnormal, dan *K-Nearest Neighbor (KNN)* digunakan untuk membedakan jenis perkerasan abnormal, termasuk lubang dan benjolan. Hasil tes menunjukkan bahwa akurasi pengenalan lubang permukaan jalan adalah 96,03%,



asi jalan benjolan permukaan adalah 94,12%. Metode pengenalan

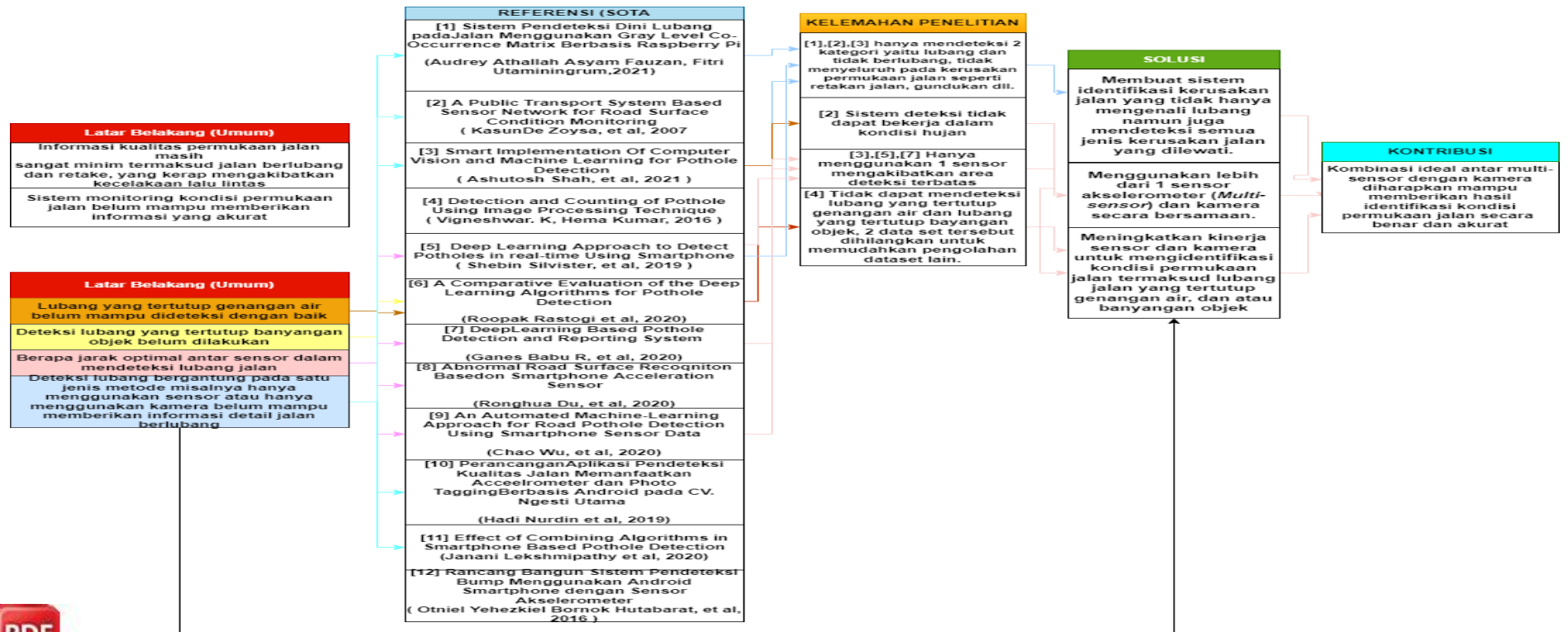
permukaan jalan yang diusulkan dapat digunakan untuk menggantikan kendaraan patroli khusus untuk pemeliharaan jalan yang tepat waktu dan murah.

Berikutnya penelitian yang dilakukan oleh [25] Pemantauan dan pemeliharaan permukaan jalan sangat penting untuk kenyamanan mengusulkan sistem deteksi lubang otomatis yang menggunakan sensor getaran bawaan dan penerima sistem pemosisian global pada *smartphone*. Data kondisi jalan di sebuah kota dikumpulkan menggunakan kendaraan khusus dan *smartphone* dengan aplikasi seluler yang dirancang khusus untuk studi ini. Serangkaian metode pemrosesan diterapkan pada data yang dikumpulkan, dan fitur dari domain frekuensi yang berbeda diekstraksi, bersama dengan berbagai pengklasifikasi pembelajaran mesin. Hasilnya menunjukkan bahwa fitur dari domain waktu dan frekuensi mengungguli fitur lainnya untuk mengidentifikasi lubang. Di antara pengklasifikasi yang diuji, metode Hutan Acak menunjukkan kinerja klasifikasi terbaik untuk lubang, dengan presisi 88,5% dan recall 75%.



2.3 Kerangka Pikir

Tujuan kerangka pemikiran adalah untuk mengetahui posisi dan keunikan penelitian yang akan dilaksanakan. Sistem deteksi menggunakan kamera diharapkan mampu memberikan hasil yang terbaik untuk identifikasi kerusakan jalan, bukan hanya kerusakan berjenis lubang tetapi meliputi semua jenis kerusakan jalan.



Gambar 2. 8 Kerangka Pikir

