

Alternative of Pothole Area Measurement Based-on Video using Threshold-based Marking and GLCM

Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan *Threshold-based Marking* dan GLCM

Barsyah Dwi Idestio, Tjokorda Agung Budi Wirayuda *

Fakultas Teknik
Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu,
Bandung, 40257
Indonesia

Abstract

One obstacle that causes the slow progress of road repairment is the measurement of the pothole area. In this process, calculation of area in each pothole is done. Measurement process nowadays is manually performed by using a conventional tool (such as roll meter) with the help of human entirely. This research objective is to develop the system for detecting and measuring pothole area, by implementing the threshold-base marking and GLCM method in asphalt surface video. The system consists of two stages starting with candidate pothole detection using threshold-based marking then continued by classification process based on feature vector obtained through the GLCM. The results show that the accuracy rate of 91.67% system with a time of 0.08 seconds to process each frame.

keywords: Pothole, Image detection, GLCM

Abstrak

Salah satu kendala yang menyebabkan lambatnya perbaikan jalan yaitu pada proses pengukuran kerusakan jalan. Pada proses ini, dilakukan penghitungan luas tiap-tiap kerusakan. Proses pengukuran saat ini dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana (roll meter) dengan bantuan tenaga manusia sepenuhnya. Pada penelitian ini dikembangkan suatu sistem deteksi dan pengukuran kerusakan jalan khususnya lubang, berbasis data video, dengan menerapkan *threshold-based marking* dan GLCM. Sistem terdiri atas 2 tahapan, dimulai dengan mendeteksi kemungkinan area lubang menggunakan *threshold-based marking* dilanjutkan dengan klasifikasi berdasarkan vektor ciri yang diperoleh melalui GLCM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem sebesar 91.67% dengan waktu proses 0,08 detik untuk setiap *frame*.

kata kunci: Lubang jalan, Deteksi citra, GLCM

1. PENDAHULUAN

Jalan sebagai salah satu prasarana transportasi yang merupakan urat nadi kehidupan masyarakat mempunyai peranan penting dalam usaha pengembangan kehidupan berbangsa dan bernegara [1]. Penyelenggaraan jalan yang memenuhi standar merupakan faktor penting terpenuhinya peranan jalan tersebut.

Saat ini seringkali dijumpai ruas jalan yang rusak, menurut data dari Kementerian Pekerjaan Umum menyebutkan, secara keseluruhan kondisi jalan rusak di Indonesia mencapai 3.800 kilometer atau 11 persen jika dibandingkan dengan total panjang jalan nasional yang mencapai 34.628 kilometer [2]. Hal tersebut tentu saja dapat mengakibatkan lumpuhnya perekonomian, meningkatnya biaya transportasi, kerusakan kendaraan akibat guncangan pada jalan berlubang, dan meningkatnya jumlah kecelakaan lalu lintas.

Dinas Pekerjaan Umum mengklasifikasikan kerusakan jalan menjadi empat jenis, yaitu lubang, legokan (jalan amblas), retakan, dan alur bekas roda. Proses perbaikan jalan dilakukan melalui tiga tahap,

*Corresponding Author. Tel: +6222-7564108

Email: cokagung@telkomuniversity.ac.id

Received: 12 Jul 2013; revised: 30 Sep 2013; accepted: 1 Oct 2013

Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO235

yaitu pencatatan, lelang proyek, dan perbaikan. Salah satu kendala yang menyebabkan lamanya perbaikan kerusakan jalan yaitu proses pengukuran pada tahap pencatatan. Pada proses ini, dilakukan penghitungan luas tiap-tiap kerusakan. Proses pengukuran saat ini dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana (*roll meter*) dengan bantuan tenaga manusia sepenuhnya. Pekerja Dinas Pekerjaan Umum yang bertugas melakukan pencatatan akan menyusuri ruas jalan tertentu untuk menemukan berbagai jenis kerusakan jalan dan mengukur luas serta kedalaman dari tiap-tiap kerusakan yang ada. Karena proses pengukuran masih dilakukan secara manual dengan tenaga manusia sepenuhnya, waktu yang dibutuhkan relatif lama dan tingkat keakuratannya rendah [3].

Pada penelitian ini kami mengusulkan sebuah metode segmentasi dan penandaan berbasis *thresholding*, serta ekstraksi tekstur *gray level co-occurrence matrix* (GLCM) untuk pendeteksian dan pengukuran luas lubang jalan pada video permukaan aspal. Luaran dari sistem adalah jumlah lubang yang terdeteksi serta luas dari lubang tersebut. Dengan proses pengukuran yang terkomputerisasi maka waktu yang dibutuhkan akan jauh lebih cepat dan diharapkan mampu memangkas waktu pengukuran kerusakan jalan, pada proses perbaikan jalan khususnya di Indonesia.

2. TINJAUAN PENGGUNAAN METODE

Ciri visual lubang pada jalan beraspal meliputi, [4]:

- (1) Sebuah lubang memiliki bagian 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

Terdapat tiga proses untuk pendeteksian lubang yaitu *image segmentation* (segmentasi citra), *shape extraction* (ekstraksi bentuk) dan *texture extraction and comparison* (ekstraksi tekstur dan perbandingannya) [4]. Tiga proses tersebut bertujuan untuk mendeteksi lubang pada citra digital kemudian membentuk area elips di sekitar lubang untuk memperkirakan luas area lubang yang terdeteksi.

Tingkat akurasi pendeteksian lubang pada penelitian tersebut telah mencapai diatas 90% untuk kemunculan lubang namun belum memberikan perhitungan secara pasti terhadap luas area lubang yang terdeteksi karena masih menggunakan pendekatan berdasarkan luas area elips.



Gambar 1. Hasil Pendeteksian Lubang

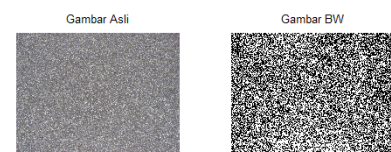
2.1 Segmentasi Berbasis Thresholding

Salah satu karekteristik lubang pada jalan adalah warna yang lebih gelap dibandingkan dengan sekitarnya, seperti yang terlihat pada gambar 2. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan proses pendeteksian lubang dimana kita dapat menerapkan teknik segmentasi berbasis intensitas nilai piksel.



Gambar 2. Lubang pada Jalan

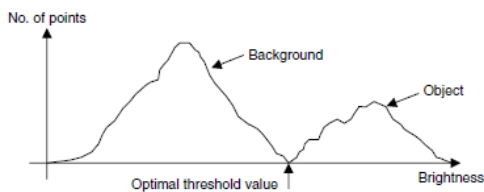
Pada kasus citra lubang jalan, kekasaran tekstur permukaan jalan seringkali mempersulit proses segmentasi, karena dengan adanya tekstur tersebut batasan daerah dengan keseragaman intensitas warna menjadi tidak jelas karena tekstur akan dianggap noise. Atas dasar itu metode-metode yang berbasis keseragaman intensitas warna berdasarkan daerah atau lokasi piksel seperti *region-growing*, *split and merge*, *edge detection*, dan *clustering* menjadi tidak optimal.



Gambar 3. Dispersi sebaran warna pada gambar jalan beraspal

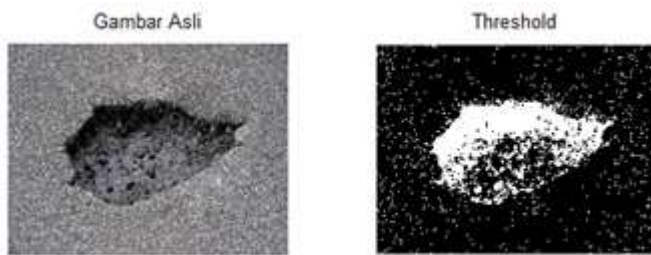
Thresholding adalah salah satu metode segmentasi citra berdasarkan penerapan ambang batas terhadap nilai intensitas di setiap piksel. Dari masalah kondisi tekstur citra lubang diatas, metode *thresholding* akan bekerja lebih optimal, karena tidak memperhatikan daerah atau lokasi piksel. Saat ini terdapat dua bentuk penerapan nilai ambang batas yaitu uniform dan adaptif. Metode uniform memiliki kelemahan

apabila kita tidak mengetahui range atau variasi dari intensitas pada citra, sehingga segmentasi menjadi tidak akurat [5]. Pada Adaptif, nilai ambang batas ditetapkan dengan melihat variasi intensitas pada citra. Nobuyuki Otsu mengenalkan metode untuk mengoptimalkan nilai ambang batas dengan melihat kemungkinan objek dan latar belakang melalui penyebaran intensitas pada histogram [6].



Gambar 4. Ambang batas optimal

Teknik *thresholding* yang bersifat adaptif dapat digunakan sebagai tahap awal untuk menentukan kandidat area lubang pada sistem deteksi lubang yang kami kembangkan seperti yang terlihat pada gambar 5.



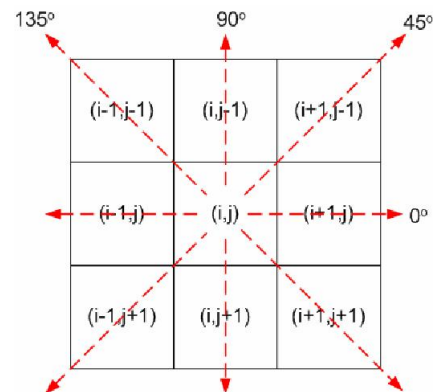
Gambar 5. Penentuan Kandidat Lubang menggunakan Threshold

2.2 Ekstraksi Tekstur Berbasis GLCM

Pada penelitian ini ekstraksi tekstur dibutuhkan untuk menguraikan tekstur kekasaran dari bagian kemungkinan lubang hasil segmentasi, dan direpresentasikan ke dalam fitur dengan nilai tertentu sehingga dapat dikenali dan diinterpretasikan ke dalam kelas lubang atau bukan lubang. Ekstraksi terhadap tekstur kekasaran didasari oleh ciri visual lubang yang didefinisikan oleh Christian Koch, dan Ioannis [4], yaitu tekstur dari lubang lebih kasar dari permukaan sekitarnya yang tidak berlubang atau permukaan normal.

Salah satu teknik ekstraksi tekstur adalah dengan menghitung kemunculan hubungan ketetanggaan antara dua intensitas piksel pada orientasi sudut dan jarak atau range tertentu. Pendekatan ini bekerja dengan membentuk sebuah matriks kookurensi yang disebut *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) dari citra grayscale [7].

Kookurensi berarti kejadian atau kemunculan bersama, yaitu jumlah kemunculan satu level nilai intensitas piksel bertetangga dengan satu level nilai intensitas piksel lain dalam jarak (d) dan orientasi sudut (θ) tertentu. Jarak dinyatakan dalam piksel dan orientasi dinyatakan dalam derajat. Orientasi dibentuk dalam empat arah sudut dengan interval sudut 45° , yaitu 0° , 45° , 90° , dan 135° . Sedangkan jarak antar piksel biasanya ditetapkan sebesar 1 piksel [1].



Gambar 6. Hubungan ketetanggaan antar piksel sebagai fungsi orientasi sudut

Setelah memperoleh matriks kookurensi tersebut, kita dapat menghitung ciri statistik yang merepresentasikan citra yang diamati. Robert M. Haralick, K. Shanmugam, dan Itshak Dinstein[8], mengusulkan 14 jenis ciri tekstural yang dapat diekstraksi dari matriks kookurensi yang meliputi :Angular Second Moment, Contrast, Correlation, *Variance*, Inverse Difference Moment, Sum Average, Sum *Variance*, Sum Entropy, Entropy, Difference *Variance*, Difference Entropy, Information Measures of Correlation, dan Maximal Correlation Coefficient. Dari 14 ciri tekstural yang diusulkan, 6 diantaranya dapat digunakan untuk mendeskripsikan kekasaran dari tekstur, yaitu:

- (1) Angular Second Moment (ASM):

$$ASM = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2 \quad (1)$$

Nilai ASM menunjukkan ukuran sifat homogenitas dari citra. Nilai ASM yang tinggi muncul pada saat tekstur pada citra cenderung seragam.

- (2) Contrast:

$$CON = \sum_k k^2 \left[\sum_i \sum_j p(i, j) \right] \quad (2)$$

Nilai CON menunjukkan ukuran penyebaran (momen inersia) elemen-elemen matriks citra. Jika letaknya jauh dari diagonal utama, nilai kontrasnya besar. Secara visual, nilai kontras adalah ukuran variasi antar derajat keabuan suatu daerah citra.

(3) 3. Correlation:

$$\text{COR} = \frac{\sum_i \sum_j (ij) \cdot p(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

$\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ adalah rata-rata dan standar deviasi dari P_x, P_y . Nilai COR menunjukkan ukuran ketergantungan linear derajat keabuan citra sehingga dapat memberikan petunjuk adanya struktur linear dalam citra.

(4) Variance:

$$\text{Var} = \sum_i \sum_j (i - \mu_x)(j - \mu_y)p(i, j) \quad (4)$$

Variance merupakan ukuran penyebaran nilai-nilai sekitar rata-rata. Nilai VAR menunjukkan variasi atau dispersi elemen-elemen matriks kookurensi. Citra dengan dispersi derajat keabuan kecil akan memiliki variansi yang kecil pula.

(5) Inverse Difference Moment

$$\text{IDM} = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j) \quad (5)$$

Nilai IDM menunjukkan kehomogenan citra yang berderajat keabuan sejenis. Citra homogen akan memiliki harga IDM yang besar

(6) Entropy:

$$\text{ENT} = - \sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j)) \quad (6)$$

Entropy merupakan ukuran ketidakaturan bentuk di dalam tekstur.

Dari 6 ciri tekstural tersebut kami melakukan pengujian untuk menentukan ciri terbaik yang dapat digunakan dalam proses klasifikasi area lubang pada jalan. Proses pengujian dilakukan pada 80 sampel citra permukaan aspal. Sampel tersebut terdiri dari 40 sampel citra tekstur permukaan normal atau bukan lubang, dan 40 sampel citra tekstur lubang.

Hasil pengujian seperti yang terlihat pada gambar 7 menunjukkan bahwa ciri tekstural variance (VAR) memiliki batas nilai antara citra lubang dengan citra bukan lubang dengan tingkat perbedaan atau deviasi terbesar, bahkan memiliki area selisih di antara dua kelas. Hal ini menunjukkan bahwa nilai variansi dapat mendeskripsikan ciri kekasaran dari tekstur

lubang dan bukan lubang dengan baik, dan dapat dijadikan fitur untuk proses klasifikasi. Sementara untuk ciri tekstural lainnya memiliki nilai perbedaan atau deviasi yang relatif kecil, bahkan terdapat area yang beririsan di antara dua kelas, sehingga dapat menyebabkan klasifikasi menjadi tidak akurat.

2.3 Pelacakan dengan Algoritma MeanShift

Algoritma *MeanShift* [8,9] pada dasarnya beroperasi dengan mencari rata-rata (*mean*) dari fungsi padat peluang (*density probability function*) suatu distribusi citra dalam domain x,y. Hasil akhir dari algoritma *MeanShift* adalah koordinat pusat massa (*centroid*) suatu citra. Misal, kita asumsikan sebuah distribusi Euclidean mengandung distribusi f, tahap algoritma *MeanShift* dalam distribusi Euclidean adalah sebagai berikut:

- (1) Sebuah *search window* W dipilih dengan ukuran s .
- (2) *Initial search window* dipilih dengan P_k sebagai *centroid* awal.
- (3) Hitung *centroid* di dalam *search window* tersebut.

$$P_k(W) = \frac{1}{|W|} \sum_{j=w}^{\infty} (P_j) \quad (7)$$

- (4) *MeanShift* mengikuti gradien dari $f(p)$

$$P_k(W) - P_k \approx \frac{f'(P_k)}{f(P_k)} \quad (8)$$

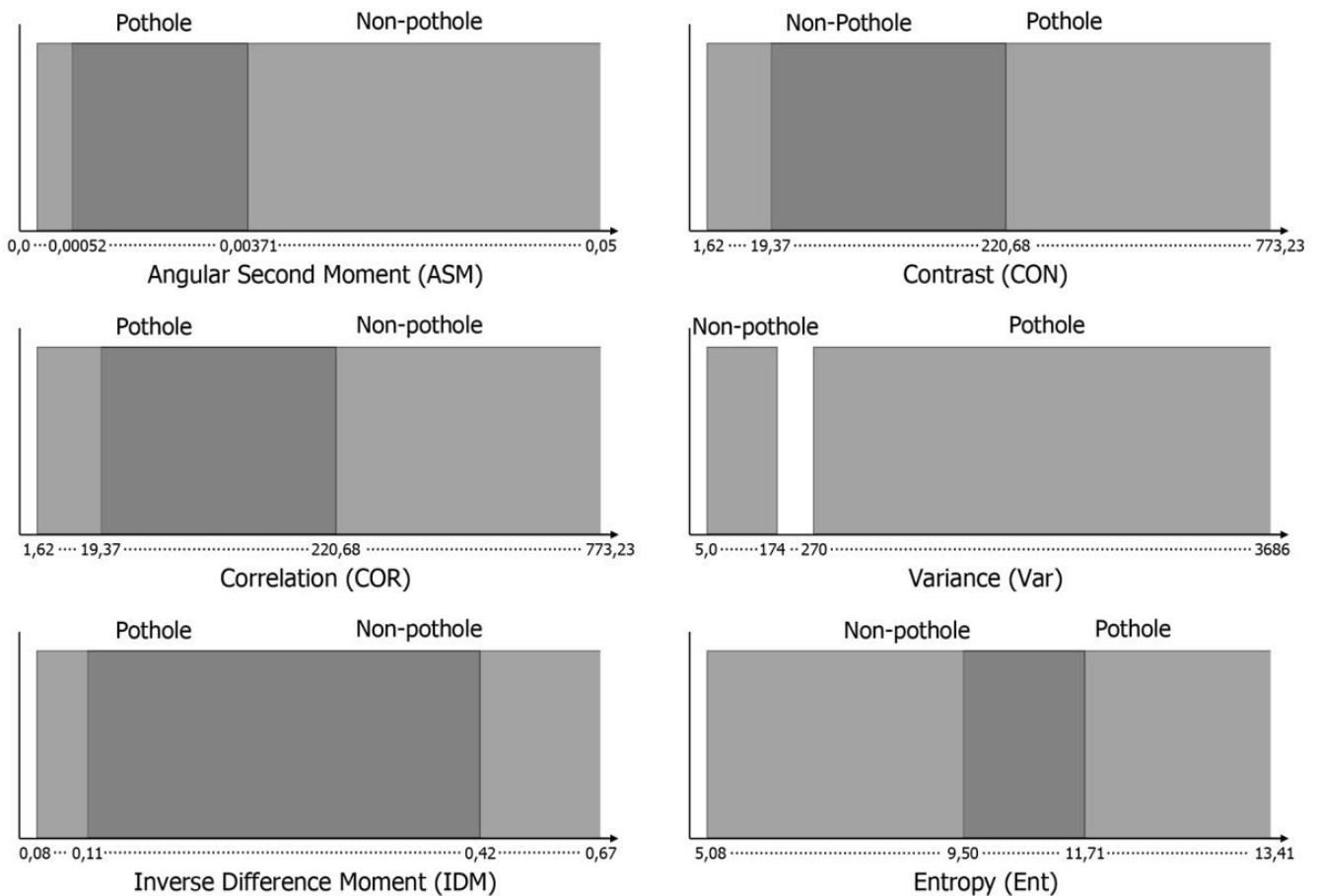
- (5) Set *centroid search window* yang dihasilkan pada point
- (6) Ulangi langkah ke-3 dan ke-4 sampai konvergen, yaitu ketika $f'(p) \simeq 0$

Karena citra *frame* dari kamera video termasuk dalam distribusi diskrit, *centroid* pada *search window* yaitu pada langkah ke-3 dan ke-4 di atas, ditentukan dengan aturan berikut ini:

- (1) Tentukan *zeroth* $M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y)$
- (2) Tentukan *first-order* moment untuk x dan y: $M_{10} = \sum_x \sum_y x I(x, y)$ dan $M_{01} = \sum_x \sum_y y I(x, y)$
- (3) Kemudian, *centroid* dari *search window* diperoleh melalui rumus sebagai berikut:

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}, \quad (9)$$

$I(x, y)$ adalah intensitas piksel pada posisi (x, y) plane ekstraksi fitur, di mana x dan y adalah range sepanjang *search window*.



Gambar 7. Hasil Pengujian Terhadap 6 ciri tekstural GLCM pada Area Lubang

Konvergensi iterasi algoritma *MeanShift* dari distribusi diskrit dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$dx = x_c - P_x \quad (10)$$

$$dy = y_c - P_y \quad (11)$$

$$dx^2 + dy^2 \leq 1 \quad (12)$$

(P_x, P_y) adalah koordinat pusat dari *search window* yang lama. Persamaan 12 berkoresponden dengan konvergensi pada distribusi Euclidean yaitu $f'(p) = 0$.

Jika diterapkan pada operasi pengolahan citra, tahap algoritma *MeanShift* di atas dapat dijabarkan dalam lima langkah berikut ini

- (1) Dapatkan ukuran dari input *search window*.
- (2) Dapatkan lokasi kalkulasi pada plane fitur yang berkoresponden dengan ukuran dan lokasi dari input *search window*.
- (3) Tentukan lokasi *centroid* dalam input *search window*.
- (4) Geser atau shifting input *search window* sehingga akan dihasilkan output *search window*

yang memiliki posisi *centroid* sesuai dengan hitungan pada langkah ke-3.

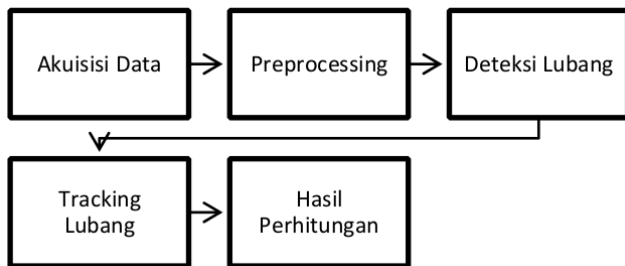
- (5) Ulangi langkah ke-3 dan langkah ke-4 sampai *search window* konvergen, yaitu sampai *search window* tersebut berpindah dengan jarak yang kurang dari nilai threshold yang sudah ditentukan.

3. PERANCANGAN SISTEM DAN PERSIAPAN DATA

3.1 Rancangan Sistem

Sistem pendeteksian dan pengukuran luas lubang jalan ini menerima masukan berupa data video permukaan aspal. Data citra dari video terdiri dari beberapa *frame* citra yang ditampilkan secara simultan (continuous), sehingga memunculkan gerakan dari objek (lubang) yang ditangkap. Kondisi seperti ini memungkinkan lubang yang sama berada di lebih dari satu *frame*, oleh karena itu perlu diterapkan metode pelacakan untuk menghindari pengukuran luas terhadap lubang yang sama, sehingga total hasil pengukuran menjadi akurat.

Secara keseluruhan sistem ini terdiri dari dua state (kondisi), yaitu deteksi lubang (*pothole detection state*) dan lacak lubang (*pothole tracking state*).



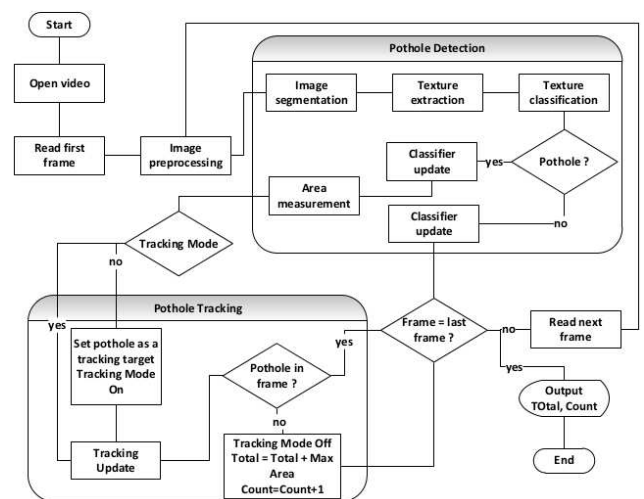
Gambar 8. Bagan Umum Proses Deteksi Lubang

Alur proses pada sistem secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut:

- (1) Akuisisi Data adalah proses pengambilan data *frame* satu-per satu untuk diproses oleh sistem.
- (2) Preprocessing dilakukan dengan mengubah data gambar menjadi data grayscale
- (3) Deteksi Lubang terdiri atas tahap segmentasi menggunakan Otsu threshold, dilanjutkan dengan ekstraksi ciri menggunakan GLCM dan klasifikasi menggunakan threshold yang telah ditentukan.
- (4) *Tracking* Lubang adalah mekanisme untuk menjamin konsistensi hasil perhitungan area lubang dan jumlah lubang mengingat *frame* yang diproses bersifat kontinu
- (5) Hasil Perhitungan menampilkan informasi jumlah lubang dan luas lubang yang terdeteksi oleh sistem.

Dalam sistem yang dikembangkan, kami mengkombinasikan mekanisme deteksi dengan tracking untuk mengatasi masalah kontinuitas data inputan (data sebuah lubang dapat berada pada beberapa *frame*), sehingga akurasi perhitungan total area lubang menjadi valid. Penggabungan ini dilakukan dengan mencatat status tracking dari sebuah area lubang dan ukuran area yang terdeteksi, apabila area yang terdeteksi pada *frame* ke-*n* adalah objek yang sama dengan *frame* *n-1* maka hasil pengukuran akan disimpan dalam suatu list area. Pada saat tracking mendeteksi bahwa area lubang telah melewati batas tracking maka dilakukan pencarian nilai maksimal pada list area dilanjutkan dengan mengupdate total area, mengupdate hitungan jumlah lubang, mengosongkan list area dan mengubah status tracking menjadi off.

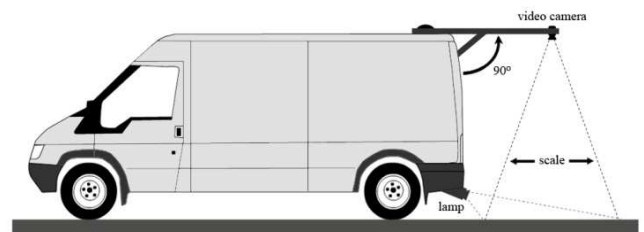
Dalam sistem ini, threshold klasifikasi diperbaharui secara kontinu sesuai dengan hasil klasifikasi. Hal ini ditujukan untuk memperbaiki model threshold yang dihasilkan melalui data sample.



Gambar 9. Diagram proses sistem

3.2 Akuisisi Data

Perangkat keras akuisisi data dikonfigurasi pada kendaraan mobil berjenis minibus. Kamera video ditempatkan di atas menghadap ke permukaan jalan dengan sudut 90° menggunakan penyangga kamera seperti tripod. Jarak kamera dengan permukaan jalan menyesuaikan kemampuan focal length dari lensa yang digunakan agar didapat skala *frame* yang sesuai (rasio: 4 : 3, dengan skala: 100cm × 75cm). Perangkat yang digunakan adalah kamera Canon EOS 60 D dengan pengaturan area akuisisi 640 × 480 piksel dan *frame* rate 60 fps.



Gambar 10. Penempatan perangkat keras akuisisi data

Kondisi ideal pada skenario akuisisi data ini juga menempatkan lampu sorot penerang yang diposisikan menyamping di bagian bawah kendaraan, menghadap ke permukaan jalan yang disorot oleh kamera. Penempatan lampu ini bertujuan untuk meningkatkan brightness pada citra, meningkatkan contrast dari bayangan dan tekstur pada lubang, serta menghilangkan iluminasi cahaya dan / atau bayangan objek lainnya akibat sinar matahari, sehingga meningkatkan akurasi segmentasi pada citra hasil akuisisi.

Akuisisi data video permukaan jalan dilakukan pada jalan berlubang sepanjang ±60 KM di Kota Depok, Cibinong, Parung, dan Bandung. Akuisisi

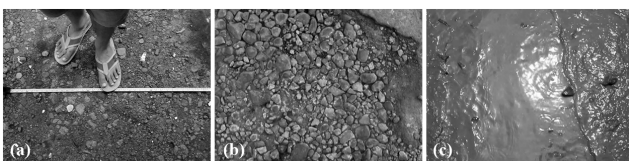
di empat kota tersebut menghasilkan 36 file video dengan total panjang durasi 02 : 27 : 06, dan total *frame* dalam video sebanyak 220.673 *frame*. Jumlah objek kemungkinan lubang yang sesuai dengan batasan masalah berdasarkan pencarian manual sebanyak 60 lubang. Satu lubang yang sama rata-rata terdapat pada 20 *frame* video, sehingga total keseluruhan *frame* yang berisi objek kemungkinan lubang ± 1200 *frame*.



Gambar 11. Proses akuisisi data

Dalam pembangunan kumpulan data ini juga dilakukan seleksi dan reduksi terhadap *frame* yang tidak sesuai dengan batasan masalah diantaranya:

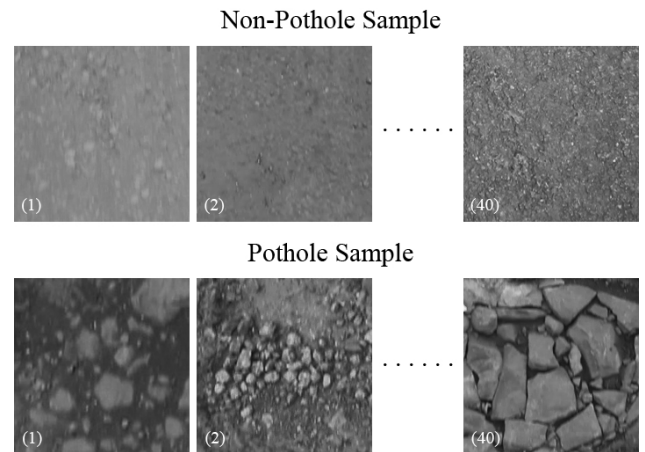
- (1) Terdapat objek lain yang terekam seperti roll meter yang digunakan untuk mengkalibrasi skala *frame*.
- (2) Luas lubang baik panjang maupun lebarnya jauh melebihi luas skala *frame* sehingga bayangan tepi dari lubang tidak terekam.
- (3) Ruas jalan yang tergenang air (banjir)
- (4) Potongan video yang tidak bergerak akibat kendaraan akuisisi video terhenti karena macet.



Gambar 12. *frame* berisi (a) objek roll meter, (b) lubang yang luasnya jauh melebihi skala *frame*, dan (c) ruas jalan tergenang air

Hasil keseluruhan seleksi dan reduksi kemudian dibangun menjadi data pemodelan dan data pengujian. Untuk data pemodelan terdiri dari 40 *frame* citra bukan lubang (permukaan normal, dan

area tersegmentasi selain lubang) serta 40 *frame* citra lubang yang telah disegmentasi dan dipisahkan (crop) dari bagian permukaan normal.



Gambar 13. Sampel data pemodelan

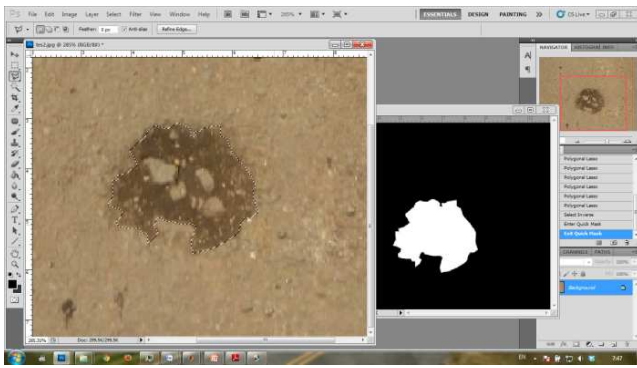
Untuk data pengujian dibangun 1000 *frame* citra yang terdiri dari 748 *frame* berisi objek kemungkinan lubang dan 252 *frame* citra permukaan normal. Data pengujian kemudian dipecah ke dalam 5 file video berisi 200 *frame*, dengan tujuan pengujian dilakukan secara sekuensial terhadap setiap file agar kecepatan sistem lebih stabil akibat pemrosesan yang terlalu besar.

4. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

Sistem deteksi lubang jalan ini dibangun menggunakan MATLAB pada komputer dengan spesifikasi processor Intel Core™ i3-2310M CPU @ 2.10 GHz (4 CPUs). Pengujian dilakukan dengan membaca data video yang telah dipersiapkan pada tahap akuisisi. Terdapat 3 tujuan utama dalam pengujian, meliputi:

- (1) Menganalisis akurasi dalam melakukan penandaan area kemungkinan lubang dari hasil segmentasi menggunakan metode thresholding dengan teknik Otsu.
- (2) Menganalisis akurasi dalam melakukan pengklasifikasian lubang atau permukaan normal hasil ekstraksi tekstur menggunakan pembangunan GLCM.
- (3) Mengukur waktu pemrosesan dari sistem yang dibangun.

Analisis akurasi metode thresholding menerapkan teknik Otsu dilakukan pada Skenario A. Tahap awal pada skenario A adalah menyediakan citra segmentasi manual sebagai pembanding terhadap hasil segmentasi dari sistem.



Gambar 14. Sampel data segmentasi manual

Jumlah piksel tersegmentasi (putih) pada citra hasil segmentasi manual dibandingkan dengan jumlah piksel yang tersegmentasi melalui sistem untuk *frame* yang sama. Selisih jumlah piksel tersebut kemudian akan dihitung untuk menentukan tingkat akurasi. Hasil pengujian untuk skenario A terlihat pada tabel 1.

Tabel I. Hasil Pengujian Skenario A

No	Jumlah Lubang	Piksel Putih Sistem	Piksel Putih Manual	Unjuk Kerja Selisih	Akurasi
001	6	261317	265205	7902	97,02
002	6	223571	217540	6807	96,87
003	6	389703	393125	17628	95,52
004	4	242686	270908	30684	88,67
005	5	481535	506503	24968	95,07
Rata-rata Akurasi					94,63

Pengujian pada skenario A menunjukkan bahwa rata-rata tingkat perbedaan antara segmentasi manual dengan hasil segmentasi sistem sebesar 5,36%, pengamatan, hal ini dipengaruhi oleh ketegasan batas dari lubang serta adanya objek lain di dalam lubang seperti genangan air, batu kerikil yang mempengaruhi nilai threshold.

Pengujian terhadap performansi GLCM dalam melakukan klasifikasi dilakukan pada skenario B. Langkah pertama dalam skenario B adalah membangun tabel model dengan memanfaatkan ciri tekstural variansi yang dihasilkan dari rata-rata GLCM pada orientasi sudut 0, 90, 45, dan 135 terhadap 80 data sample. 80 data sample terdiri dari 40 citra tekstur lubang, dan 40 citra tekstur permukaan normal. Hasil dari proses pembelajaran kemudian diterapkan pada sistem dan diujikan pada kumpulan data yang telah dipersiapkan. Tingkat akurasi dihitung berdasarkan ketepatan klasifikasi yang dilakukan oleh sistem. Dari hasil perhitungan tabel model ditemukan bahwa nilai variansi sampel tekstur permukaan normal atau bukan lubang relatif kecil, yaitu pada rentang 4,99 sampai 173,63. Sedangkan nilai variansi sampel tekstur lubang

relatif besar, yaitu pada rentang 276,60 sampai 3726,05. Potongan hasil pengujian pada skenario B terlihat pada tabel 2. Hasil pengujian keseluruhan untuk skenario B menunjukkan bahwa akurasi rata-rata sistem sebesar 91,67 %. Akurasi ini diukur dengan berpedoman pada jumlah lubang yang ada pada video, dimana dari 1000 *frame* yang diproses sistem menangkap 36 *frame* yang diperkirakan lubang dengan berpedoman pada proses deteksi dan klasifikasi (*frame* lainnya yang berisi lubang yang sama tidak dibaca kembali). Dari 36 *frame* tersebut 33 *frame* diklasifikasikan dengan benar, dan 3 *frame* yang seharusnya lubang dinyatakan bukan lubang.

Tabel II. Potongan Hasil Pengujian Skenario B

File	<i>frame</i>	Variance	Porthole	Target	Error
DS_001	17	1321,32	1	1	0
	33	180,84	0	1	1
	34	192,38	0	1	1
	35	195,34	0	1	1
	40	1215,62	1	1	0
	74	329,31	1	1	0
	99	1942,12	1	1	0
DS_002	187	1882,77	1	1	0
	9	392,96	1	1	0
	72	775,20	1	1	0
	102	125,15	0	0	0
	108	124,06	0	0	0
	109	123,40	0	0	0
	110	130,96	0	0	0
	111	136,25	0	0	0
	112	136,06	0	0	0
	113	136,00	0	0	0
	114	140,62	0	0	0
	115	161,13	0	0	0
	130	498,21	1	1	0
	154	2078,59	1	1	0

Kesalahan klasifikasi oleh sistem terjadi karena ukuran lubang yang relatif kecil, yaitu sebesar 3190 piksel atau 1% dari total area yang diproses. Kecilnya ukuran lubang membuat tingkat tekstur kekasaran dengan area sekitar menjadi tidak tegas, sehingga memiliki nilai variansi yang kecil dan diklasifikasikan sebagai objek bukan lubang.

Dari sisi waktu pemrosesan seperti yang terlihat pada tabel 3, hasil pengukuran pada data uji menunjukkan waktu rata-rata pemrosesan setiap *frame* berkisar pada 0,08730 detik untuk setiap *frame*. Dengan kata lain sistem mampu memproses sebanyak 11,45 *frame* setiap detik sehingga rekomendasi *setting* akuisisi data adalah pada 10 fps.

Tabel III. Hasil Pengujian Waktu Proses

No	Proses	Max time (s/f)	Min time (s/f)	Avg time (s/f)
1	Segmentation	0,11822	0,04357	0,05220
2	Build GLCM	0,08955	0,00312	0,02846
3	Calculate <i>Variance</i>	0,00185	0,00124	0,00134
4	Classification	0,00000	0,00000	0,00000
5	Area Measurement	0,00923	0,00420	0,00530
Rata-rata				0,08730

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disampaikan bahwa tingkat akurasi sistem dalam mendeteksi adanya lubang adalah sebesar 91,67% dengan rata-rata akurasi pengukuran luas area lubang sebesar 95,48%. Hasil ini mengindikasikan bahwa dalam implementasi perlu ditambahkan toleransi pengukuran sebesar 5-10% untuk memperoleh data yang lebih sesuai. Pengukuran terhadap unjuk kerja sistem dari sisi waktu sebesar 0,08730 detik *per-frame* menunjukkan bahwa apabila sistem ini akan digunakan secara real-time maka *setting* akuisisi data oleh perangkat adalah 10 fps sehingga tidak terjadi keterlambatan pemrosesan.

Daftar Pustaka

- [1] “Undang-undang republik indonesia nomor 38 tahun 2004 tentang jalan,” 2004.
- [2] “Rencana strategis kementerian pekerjaan umum 2010-2014,” Kementrian PU Republik Indonesia, 2010.
- [3] P. Hidayatullah, F. Ferizal, R. H. Ramadhan, B. Qadarsih, and F. Mulyawan, “Pendeteksi lubang di jalan secara semi-otomatis,” *Journal Politeknik Negeri Bandun*, vol. 4, 2012.
- [4] C. Koch and I. Brilakis, “Pothole detection in asphalt pavement images,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, no. 3, pp. 507 – 515, 2011, special Section: Engineering informatics in port operations and logistics. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034611000036>
- [5] M. Nixon and A. S. Aguado, *Feature Extraction & Image Processing, Second Edition*, 2nd ed. Academic Press, 2008.
- [6] N. Otsu, “A threshold selection method from gray-level histograms,” *Automatica*, vol. 11, no. 285-296, pp. 23–27, 1975.
- [7] B. S. V., A. Unnikrishnan, and K. Balakrishnan, “Gray level co-occurrence matrices: Generalisation and some new features,” *CoRR*, vol. abs/1205.4831, 2012.
- [8] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, “Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift,” in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on*, vol. 2, 2000, pp. 142–149 vol.2.
- [9] P. A. Septioadi, “Hand tracking dengan menggunakan metode camshift dan kalman filter pada augmented reality,” Master’s thesis, Institut Teknologi Telkom, 2012.