

PROSIDING

SNTT 2

SIMPOSIUM NASIONAL TEKNOLOGI TERAPAN

Kemandirian PTM Membangun Mediasi Teknologi dan Ilmu Pengetahuan Menuju Kreativitas dan Profesionalisme



FORUM GRUP DISKUSI TEKNOLOGI
PERGURUAN TINGGI MUHAMMADIYAH SE - INDONESIA

FGDT-PTM V

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH RIAU
RABU, 26 NOVEMBER 2014



FORUM GRUP DISKUSI TEKNOLOGI
PERGURUAN TINGGI MUHAMMADIYAH



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
RIAU

SNTT I-015

EVALUASI PRODUKTIVITAS KERJA DENGAN PENDEKATAN
METODE RASIO OUTPUT-INPUT UNTUK MENINGKATKAN SUMBER DAYA
DI DIVISI *COLD ROLLING MILL* PT.X

Annie Purwani, Liani Dyah Utami II11 – II18

SNTT I-016

PERENCANAAN DAN PENJADWALAN PRODUKSI YANG OPTIMAL
SEPEDA MOTOR VIAR KARYA 150 DENGAN PENDEKATAN
PROGRAMASI DINAMIS DI PT TRIANGLE MOTORINDO SEMARANG

Enty Nur Hayati, Agus Setyawan, Moehammad Aman
.....II19 – II25

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA

SNTT IF-001

PENGEMBANGAN SISTEM PEMBIMBINGAN AKADEMIK
SECARA ONLINE DI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN

Kartika Firdausy, Sri Winiarti, Taufiq Ismail..... IF01 – IF08

SNTT IF-002

SISTEM PENENTUAN JURUSAN BAGI CALON “PENERIMA MANFAAT” SEBAGAI BAHAN
PERTIMBANGAN PENEMPATAN KERJA MENGGUNAKAN ANALYTICAL HIERARCHY
PROCESS (STUDI KASUS : UPTD DINAS SOSIAL PANTI SOSIAL BINA REMAJA (PSBR) DIY)

Marini Muji Lestari , Andri Pranolo..... IF09 – IF16

SNTT IF-003

APLIKASI SEMPOA DALAM BELAJAR BERHITUNG MENGGUNAKAN MULTIMEDIA

Richki Hardi, Debi Ita Rahmi..... IF17 – IF21

SNTT IF-004

SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PENILAIAN KINERJA DOSEN BIDANG PEMBELAJARAN
MENGGUNAKAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) DI PERGURUAN TINGGI
SWASTA (PTS) PROPINSI BANTEN

Rohmat Taufiq, ST.,M.Kom..... IF22 – IF29

SNTT IF-005

APLIKASI BIG BOOK BERBASIS MULTIMEDIA DENGAN METODE STORY TELLING UNTUK
MENINGKATKAN MINAT BACA ANAK

Anita Kumala Sari , Wahyu Pujiyanto..... IF30 – IF38

SNTT IF-006

APLIKASI PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN KONSENTRASI PROGRAM STUDI BAGI
MAHASISWA UMS DENGAN MENGGUNAKAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

Hernawan Sulistyanto, Nurgiyatna, Auliya Madina IF39 – IF45

SNTT IF-007

DETEKSI RETAK PERMUKAAN JALAN RAYA BERBASIS PENGOLAHAN CITRA
DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI TEKNIK THRESHOLDING,
MEDIAN FILTER DAN MORPHOLOGICAL CLOSING

Slamet Riyadi, Riza Azyumarridha Azra, Ramadoni Syahputra dan Tony K.
Hariadi..... IF46 – IF53

DETEKSI RETAK PERMUKAAN JALAN RAYA BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI TEKNIK THRESHOLDING, MEDIAN FILTER DAN MORPHOLOGICAL CLOSING

Slamet Riyadi¹, Riza Azyumarridha Azra², Ramadoni Syahputra² dan Tony K. Hariadi¹

¹Program Studi Teknologi Informasi dan ²Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jln. Lingkar Selatan, Taman Tirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta

Email: riyadi@umy.ac.id

Abstrak

Kondisi permukaan jalan raya perlu diperiksa secara rutin untuk mendeteksi keberadaan retak permukaan yang bisa mengakibatkan ketidaknyamanan berkendara dan mengancam keselamatan. Sekarang ini, pemeriksaan dilaksanakan secara manual dimana petugas menyusuri sepanjang jalan dan kemudian mencatat serta menandai keberadaan retak. Cara konvensional ini memerlukan waktu lama, tenaga kerja yang banyak dan kurang tepat karena faktor manusia. Untuk mengatasinya, penelitian ini mengusulkan penggunaan teknik pengolahan citra digital untuk mendeteksi keberadaan retak permukaan jalan. Tahapan penelitian dimulai dengan pengumpulan data permukaan jalan, pengembangan metode pengolahan citra dan pengujian pada citra. Metode pengolahan citra yang dikembangkan menggunakan kombinasi teknik thresholding, median filter dan morphological closing. Metode telah diterapkan pada citra permukaan jalan dan diperoleh akurasi deteksi retak sebesar 85% dan kecepatan proses 4,25 detik per citra. Kesimpulannya, teknik yang dikembangkan berhasil mendeteksi keberadaan retak dengan akurat dan cepat.

Kata kunci: pengolahan citra, retak permukaan jalan, thresholding, median filter, morphological closing

1. PENDAHULUAN

UU Republik Indonesia No. 38 tahun 2004 tentang prasarana jalan menyebutkan bahwa jalan mempunyai peranan penting dalam mewujudkan perkembangan kehidupan bangsa karena menunjang laju pertumbuhan ekonomi. Mengingat pentingnya peranan jalan, maka pembangunan dan pemeliharaan jalan menjadi prioritas untuk dikembangkan. Pemeliharaan jalan dilakukan melalui pemeriksaan kondisi jalan secara periodik. Menurut Manual Pemeliharaan Jalan No: 03/MN/B/1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, kerusakan jalan dikategorikan menjadi beberapa jenis, yaitu kerusakan lubang (pothole), retak kulit buaya (alligator cracking), retak memanjang dan melintang (long and trans cracking), kegemukan (bledding), pelapukan dan pelepasan butir (ravelling), alur (rutting), jalur/bahu turun (lane/shoulder drop off), ambblas (depression), benjol dan turun (bump and sags), dan bergelombang (corrugation). Penelitian ini hanya akan fokus pada pemeriksaan jalan untuk mendeteksi keberadaan retak, tanpa membedakan jenis retaknya.

Sekarang ini, pemeriksaan retak permukaan jalan raya dilakukan secara konvensional dimana petugas survei menyusuri sepanjang jalan dengan menggunakan kendaraan untuk mengidentifikasi adanya retak di permukaan jalan. Cara ini kurang efektif karena memerlukan waktu yang lama, tenaga kerja yang banyak dan kurang tepat akibat subjektivitas dan faktor kelelahan. Dalam aspek keselamatan, cara konvensional berbahaya bagi petugas khususnya bila pemeriksaan dilakukan pada jalan raya dengan kepadatan kendaraan tinggi.

Sejalan dengan kemajuan teknologi kamera dan komputer, pemeriksaan retak secara visual menggunakan mata mulai dibantu dengan metode pengolahan. Melalui metode ini, kondisi permukaan jalan direkam menggunakan kamera video yang dirakit sedemikian hingga pada kendaraan survei. Hasil rekaman video permukaan jalan diolah menggunakan teknik pengolahan citra digital untuk mendeteksi adanya retak, menentukan jenis retak maupun menghitung luas retak. Proses pengolahan citra bisa dilakukan secara masa nyata atau di laboratorium. Metode deteksi berbasis pengolahan citra digital mendapat sambutan sangat positif dari peneliti dan praktisi

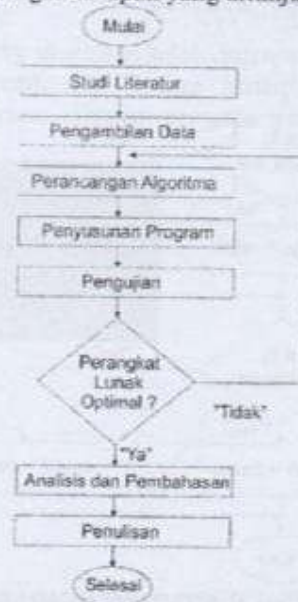
karena berpeluang besar mengatasi berbagai permasalahan metode konvensional. Disamping itu, metode ini juga relatif murah sehingga lebih mungkin direalisasikan dan diproduksi secara massal.

Metode pengolahan citra digital untuk pemeriksaan kualitas permukaan jalan yang telah dihasilkan para peneliti dapat dirangkum menjadi lima kategori, yaitu metode dengan pendekatan analisis histogram, morfologi, pelatihan, penapisan dan pemodelan (Chambon & Moliard, 2011). Pendekatan analisis histogram berdasar pada asumsi bahwa distribusi tingkat keabuan antara citra retak dan permukaan jalan adalah terpisah. Pendekatan diwujudkan melalui teknik ambang batas (thresholding) baik secara lokal maupun adaptif (Chambon & Moliard, 2013; Teomete et al., 2005; Elbehriy et al., 2005). Pendekatan ini sederhana dan tidak memerlukan waktu pengolahan citra yang lama. Pendekatan kedua adalah menggunakan teknik morfologi (Coster, 2001; Ito et al., 2002; Bar & Sinha, 2005). Pendekatan ini dilakukan dengan melakukan rekayasa terhadap tingkat keabuan citra sehingga perbedaan antara retak dan permukaan semakin jelas dan ciri-ciri yang khas bisa diekstrak untuk melakukan klasifikasi. Hasil pendekatan ini lebih baik dibanding pendekatan pertama akan tetapi sangat tergantung dengan pemilihan parameter rekayasa yang digunakan. Pendekatan ketiga bertumpu pada teknik pelatihan dan percobaan dengan menggunakan teknik jaringan syaraf tiruan (Liu et al., 2002; Saar et al, 2010). Pendekatan ini menghasilkan akurasi yang sama atau lebih tinggi dibanding dengan pendekatan kedua. Kekurangan utama pendekatan pelatihan adalah waktu komputasi yang diperlukan lama dan tidak bisa betul-betul secara masa nyata. Yang keempat, metode dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik penapisan seperti wavelet dan Gabor untuk memperoleh ciri yang khas dari retak (Umesa et al, 2009; Zalama 2013). Pendekatan kelima dilakukan melalui pembuatan model retak dan permukaan (Nguyen et al., 2009). Termasuk dalam pendekatan pemodelan adalah analisis multiskala untuk memperoleh sifat lokal dan sifat global yang menjadi ciri khusus retak dan permukaan. Dua pendekatan terakhir ini menghasilkan akurasi relatif tinggi dibandingkan dengan pendekatan-pendekatan sebelumnya.

Penelitian ini merupakan tahap awal penelitian pemeriksaan retak permukaan jalan raya. Metode yang digunakan adalah metode thresholding yang dilanjutkan dengan proses median filter dan morphological closing. Metode ini dipilih karena sederhana dan waktu komputasi yang diperlukan singkat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

1. Studi Literatur

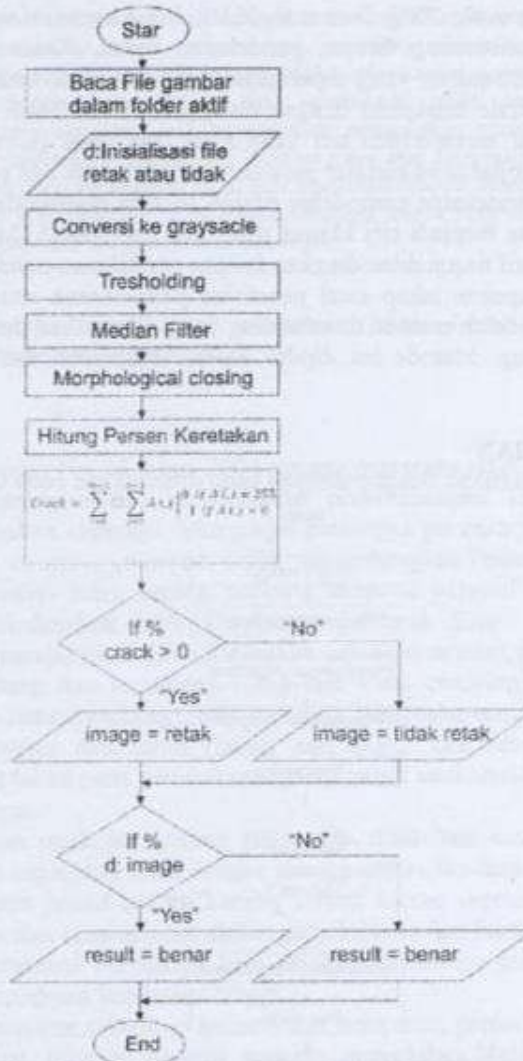
Studi literatur dilakukan untuk mengkaji penelitian-penelitian yang pernah dilakukan yang berkaitan dengan topik penelitian. Studi literatur ini digunakan sebagai bahan referensi dalam pelaksanaan penelitian dan mengkaitkannya antara satu dengan yang lainnya. Literatur diperoleh dari buku, jurnal, paper, dan artikel di internet.

2. Pengambilan Data

Proses pengambilan data diambil pada siang hari pukul 10.00 dengan sampel mengambil retak jalan di jalan Wates Kulonprogo, Yogyakarta dengan posisi kamera tegak lurus dengan sudut 90 derajat dan ketinggian 1 meter dari jalan raya. Alat yang digunakan adalah kamera digital dengan ukuran pixel sebesar 480x648. Alat tambahan yang digunakan adalah tripod dan kayu dengan ukuran panjang 1 meter. Data yang diambil terdiri dari beberapa variasi retak seperti retak longitudinal, retak transversal, retak aligator, dan kondisi tidak retak.

3. Perancangan Algoritma

Tahap perancangan algoritma ditunjukkan pada blok diagram Gambar 2.



Gambar 2 Blok diagram perancangan algoritma

a. Konversi ke citra grayscale

Pada tahap awal, citra diolah menggunakan algoritma grayscale untuk mengubah citra warna menjadi aras keabuan. Konversi ini bertujuan agar proses komputasi pixel menjadi lebih sederhana. Algoritma grayscale dilakukan dengan menghitung rata-rata komponen merah, hijau dan biru dari setiap pixel. Nilai rata-rata ini menjadi nilai pixel baru citra grayscale.

b. Tresholding

Metode tresholding digunakan untuk melakukan segmentasi antara bagian citra retak dan citra permukaan jalan. Nilai tresholding ditentukan dari histogram skala keabuan dimana citra retak memiliki nilai keabuan lebih rendah daripada citra permukaan. Selanjutnya, piksel dengan nilai keabuan dibawah nilai threshold dianggap sebagai citra retak sedangkan piksel dengan nilai keabuan lebih tinggi dari nilai threshold dianggap sebagai citra permukaan jalan. Beberapa nilai threshold akan dicoba untuk menghasilkan hasil pendeteksian keretakan yang lebih tinggi. Hasil dari proses tresholding adalah citra yang retaknya telah tersegmentasi dari citra permukaan jalan.

c. Median Filter

Citra hasil tresholding terdapat banyak derau dikarenakan histogram skala keabuan citra retak dan permukaan jalan tidak terpisah secara absolut. Untuk memperbaikinya, median filter diterapkan pada citra ini. Median filter mengganti setiap nilai piksel dengan nilai median piksel yang bertetangga dalam ukuran jendela tertentu. Beberapa ukuran jendela akan dicoba untuk memperoleh hasil pendeteksian yang lebih baik.

d. Morphological Closing

Hasil tresholding dan median filter masih menampakkan adanya citra dengan lubang-lubang kecil sehingga tidak tersambung. Untuk memperbaikinya, teknik morphological closing diterapkan dengan melakukan proses dilasi yang diikuti dengan erosi menggunakan elemen struktur tertentu.

4. Pembuatan program

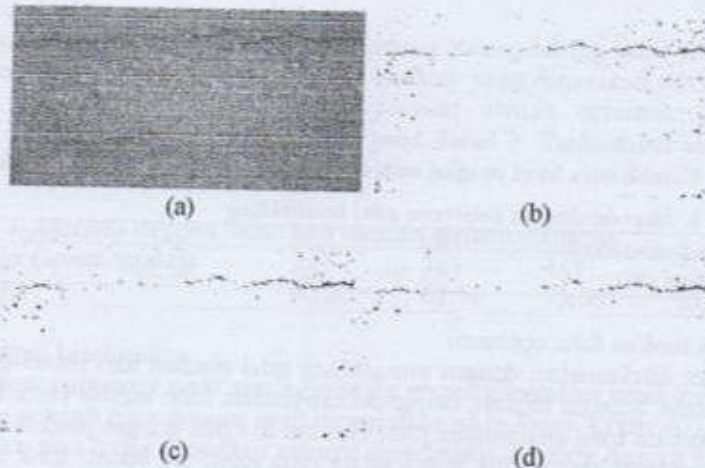
Program dibuat dengan menggunakan MATLAB

5. Pengujian

Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara hasil deteksi menggunakan metode pengolahan citra dan hasil deteksi yang dilakukan secara visual oleh pakar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

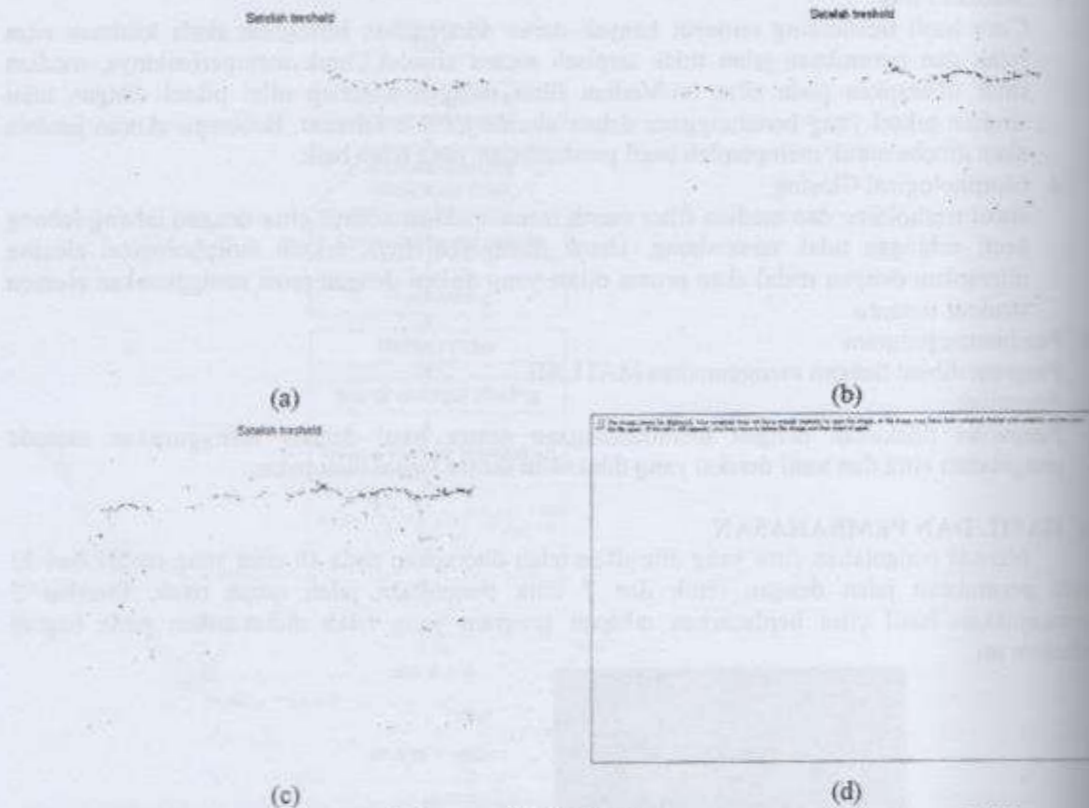
Metode pengolahan citra yang diusulkan telah diterapkan pada 40 citra yang terdiri dari 33 citra permukaan jalan dengan retak dan 7 citra permukaan jalan tanpa retak. Gambar 3 menunjukkan hasil citra berdasarkan tahapan program yang telah didiskusikan pada bagian sebelum ini.



Gambar 3. Contoh citra hasil (a) konversi citra warna ke grayscale (b) tresholding (c) median filter dan (d) morphological closing

Nilai thresholding optimum

Beberapa nilai thresholding awal telah dicoba, yaitu 80 hingga 110 dengan kenaikan 10, untuk memperoleh nilai thresholding optimum. Nilai awal ini ditentukan dari pengamatan terhadap histogram citra sedangkan nilai optimum ditentukan dari hasil akurasi yang diperoleh. Contoh citra hasil untuk masing-masing nilai awal ditampilkan pada Gambar 4 sedangkan hasil akurasi pada Tabel 1. Terlihat secara visual bahwa nilai 80 menghasilkan citra yang hampir putih semua sedangkan nilai 110 menghasilkan citra yang dipenuhi dengan hitam-hitam. Citra yang hampir putih semua menunjukkan banyak bagian citra retak yang ikut diubah menjadi putih atau dianggap sebagai citra permukaan jalan karena nilai threshold terlalu rendah. Hasil citra yang dipenuhi banyak hitam menunjukkan banyak bagian citra permukaan jalan yang diubah menjadi piksel hitam atau citra retak karena nilai threshold terlalu tinggi. Penentuan nilai optimal menjadi lebih jelas dengan membandingkan hasil akurasi yang diperoleh dimana akurasi tertinggi adalah ketika nilai threshold 100 diterapkan. Kesimpulannya, nilai threshold optimum adalah 100.



Gambar 4 Contoh citra hasil dengan nilai thresholding (a) 80, (b) 90, (c) 100 dan (d) 110

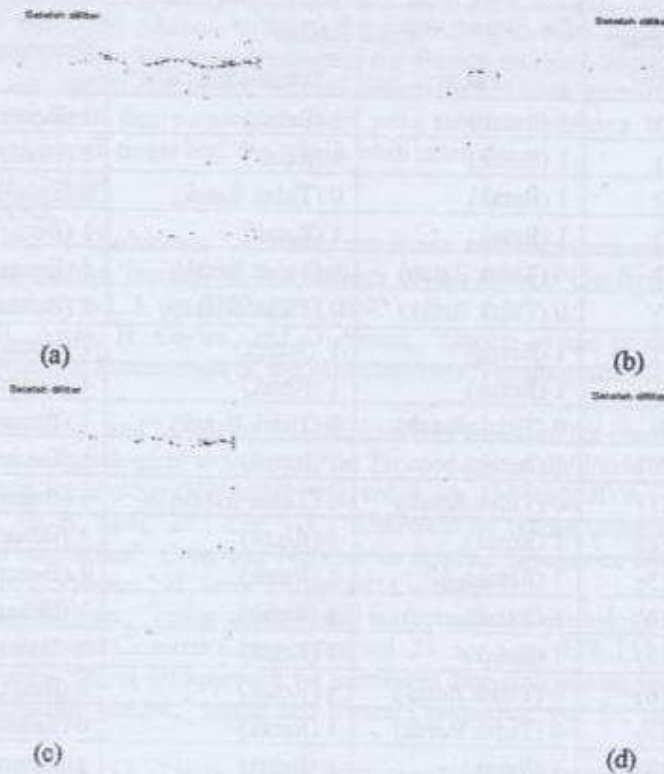
Tabel 1. Akurasi dengan beberapa nilai thresholding

| Nilai thresholding | 80 | 90 | 100 | 110 |
|--------------------|-------|----|-------|-------|
| Akurasi (%) | 55,50 | 65 | 82,50 | 77,50 |

1. Ukuran jendela median filter optimum

Median filter dilaksanakan dengan menghitung nilai median dari piksel-piksel bertetangga dalam sebuah jendela. Sebagai inisiasi, empat ukuran jendela telah dipilih yaitu 2x2, 3x3, 4x4 dan 5x5 dengan contoh citra hasil ditampilkan pada Gambar 5. Filter dengan jendela 2x2 menghasilkan citra yang masih terdapat banyak titik hitam selain citra retak. Ini berarti filter ukuran ini kurang efektif membersihkan titik-titik derau. Perbandingannya, filter dengan jendela 5x5 menghasilkan citra dengan hampir semua putih yang berarti filter tidak hanya membersihkan titik derau tapi juga menghilangkan titik-titik informasi retak. Ukuran jendela optimum mudah diperoleh dengan mengamati hasil akurasi yang ditampilkan pada Tabel 2 dimana ukuran 3x3 menghasilkan akurasi

tertinggi sebesar 82,50 meskipun nilai ini tidak jauh berbeda dibanding akurasi dengan ukuran lainnya.



Gambar 5 Contoh citra hasil dengan jendela median filter berukuran (a) 2x2, (b) 3x3, (c) 4x4 dan (d) 5x5

Tabel 2. Akurasi dengan beberapa ukuran jendela median filter

| Ukuran jendela | 2x2 | 3x3 | 4x4 | 5x5 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Akurasi (%) | 80,00 | 82,50 | 82,00 | 82,00 |

3. Ukuran elemen struktur morphological closing

Morphological closing digunakan untuk menutup lubang-lubang kecil yang mengakibatkan piksel tidak tersambung Pada proses ini, elemen struktur yang digunakan adalah berupa persegi dengan ukuran 2x2, 3x3, 4x4 dan 5x5. Penentuan ukuran optimum dilakukan dengan membandingkan hasil akurasi yang ditampilkan pada Tabel 3. Terlihat bahwa akurasi tertinggi sebesar 82,50% dicapai dengan ukuran elemen struktur 3x3.

Tabel 3. Akurasi dengan beberapa ukuran elemen struktur

| Ukuran elemen struktur | 2x2 | 3x3 | 4x4 | 5x5 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Akurasi (%) | 80,00 | 82,50 | 75,00 | 65,00 |

4. Hasil deteksi retak keseluruhan

Nilai optimum parameter pada masing-masing proses digunakan untuk menghitung akurasi deteksi retak pada seluruh citra dengan hasil ditampilkan pada Tabel 4. Dari 40 citra yang dicoba, metode pengolahan citra yang diusulkan mampu mendeteksi 32 citra dengan benar atau sekitar 80%. Kesalahan deteksi terjadi lebih dikarenakan aras keabuan citra retak tidak sepenuhnya berbeda secara absolut dengan citra permukaan jalan. Dalam aspek waktu, proses atas keseluruhan 40 citra diselesaikan selama 2 menit 50 detik atau sekitar 4,24 detik per citra.

Tabel 4. Perbandingan hasil deteksi menggunakan metode pengolahan citra dan visual oleh pakar

| Nama citra | Hasil deteksi | | Keterangan |
|------------|-----------------|------------------|------------|
| | Pakar | Pengolahan citra | |
| G(1) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(2) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(3) | 1 (Retak) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Salah) |
| G(4) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(5) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Benar) |
| G(6) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Benar) |
| G(7) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(8) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(9) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Benar) |
| G(10) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(11) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Benar) |
| G(12) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(13) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(14) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(15) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(16) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Retak) | 0 (Salah) |
| G(17) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Retak) | 0 (Salah) |
| G(18) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(19) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Retak) | 0 (Salah) |
| G(20) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(21) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(22) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(23) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(24) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(25) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(26) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(27) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(28) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(29) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(30) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(31) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(32) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(33) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(34) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(35) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(36) | 1 (Retak) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Salah) |
| G(37) | 1 (Retak) | 0 (Tidak Retak) | 0 (Salah) |
| G(38) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(39) | 1 (Retak) | 1 (Retak) | 1 (Benar) |
| G(40) | 1 (Retak) | 0 (Tidak Retak) | 1 (Benar) |

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, secara keseluruhan, metode pengolahan citra yang telah dibuat mampu melakukan deteksi retak permukaan jalan raya dengan akurasi 85% dan waktu proses 4,25 detik per citra. Akurasi tertinggi diperoleh dengan nilai tresholding optimum 100, ukuran jendela median filter 3x3 dan ukuran struktur elemen morphological closing 3x3. Metode ini cukup sederhana, cepat dan mudah dalam realisasinya. Untuk penelitian selanjutnya, aras keabuan antara citra retak dan permukaan jalan yang tidak sepenuhnya berbeda perlu diambil perhatian agar akurasi lebih tinggi lagi dan teknik lebih tahan derau.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Ito, Y. Aoki, and S. Hashimoto, "Accurate extraction and measurement of fine cracks from concrete block surface image," in *Proceedings of the Annual Conference of the Industrial Electronics Society*, vol. 3, pp. 2202-2207, 2002.
- E. Teomete, V. R. Amin, H. Ceylan, and O. Smadi, "Digital image processing for pavement distress analyses," in *Proceedings of the Mid-Continent Transportation Research Symposium*, p. 13, 2005.
- H. Elbehiery, A. Hefnawy, and M. Elewa, "Surface defects detection for ceramic tiles using image processing and morphological techniques," in *Proceedings of the World Academy of Science, Engineering and Technology (PWASET '05)*, vol. 5, pp. 158-162, 2005.
- Liu, S.W; Huang, Jin H; Sung, J.C; Lee, C.C, "Detection of cracks using neural networks and computational mechanics", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. ISSN 0045-7825, 2002, Volume 191, Issue 25, pp. 2831 - 2845
- M. Coster and J.-L. Chermant, "Image analysis and mathematical morphology for civil engineering materials," *Cement and Concrete Composites*, vol. 23, no. 2, pp. 133-151, 2001.
- S. Iyer and S. K. Sinha, "A robust approach for automatic detection and segmentation of cracks in underground pipeline images," *Image and Vision Computing*, vol. 23, no. 10, pp. 921- 933, 2005.
- Saar, T; Saar, T; Talvik, O; Talvik, O, "Automatic Asphalt pavement crack detection and classification using Neural Networks", *12th Biennial Baltic Electronics Conference 2010*. pp. 345 - 348
- Sylvie Chambon and Jean-Marc Moliard. 2011. Automatic road pavement assessment with image processing: review and comparison. *International Journal of Geophysics* Vol. 2011.
- T. S. Nguyen, M. Avila, S. Begot, F. Duculty, and J.-C. Bardet, "Automatic detection and classification of defect on road pavement using anisotropy measure," in *Proceedings of the European Signal Processing Conference*, pp. 617-621, 2009.
- Umesha, P.K; Ravichandran, R; Sivasubramanian, K, 2009, "Crack Detection and Quantification in Beams Using Wavelets", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. Volume 24, Issue 8, p. 593
- Zalama, Eduardo; Gómez-García-Bermejo, Jaime; Medina, Roberto; Llamas, José, 2013, "Road Crack Detection Using Visual Features Extracted by Gabor Filter", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. ISSN 1093-9687, 05/2014, Volume 29, Issue 5, pp. 342 - 358