

REKONSTRUKSI KERTAS SOBEK BERBASIS *CORNER POINT* (STUDI KASUS : SOBEKAN DIGITAL)

Torn Paper Reconstruction Based on Corner Point (Case Study: Digitally Torn)

Bayu Gilang Permana¹, Tjokorda A. Budi Wirayuda, ST., MT.², Kurniawan Nur Ramadhani, ST., MT.³
1,2,3 Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Telkom University, Bandung
bayugp06@gmail.com¹, cokagung2001@gmail.com², andiess2006@gmail.com³

Abstrak

Kertas merupakan media yang digunakan sebagai wadah untuk menampung kreatifitas, gagasan, dan catatan penting yang bisa rusak entah karena sengaja ataupun tidak sengaja. Penyebab rusaknya dokumen ada bermacam-macam dan salah satu contohnya adalah sobek.

Tugas akhir ini menggunakan *corner point* yang diperoleh dengan menggunakan *Harris Corner Detection* sebagai solusi untuk merekonstruksi kertas yang sobek. Besar sudut dan jarak antara titik pembentuk sudut dari *corner point* tersebut digunakan untuk mencari kandidat pasangan sobekan yang cocok. Selain itu *decision threshold* juga digunakan untuk memastikan apakah kandidat pasangan sobekan tersebut benar atau tidak. Pasangan yang dianggap benar kemudian direkonstruksi dengan bantuan transformasi Affine dan RANSAC.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, *corner point* terbukti dapat digunakan sebagai dasar untuk merekonstruksi kertas dengan bantuan *decision threshold* untuk memilah mana sobekan yang memiliki pasangan dan mana sobekan yang tidak memiliki pasangan.

Kata kunci: rekonstruksi kertas, sobek, *Harris Corner Detection*, *decision threshold*, transformasi Affine, RANSAC.

Abstract

Paper is a medium used as a container to accommodate creativity, ideas, and important notes that can be damaged either accidentally or unintentionally. The cause of the damage of the document is various and one example is a tear.

This final project uses the corner point obtained by using Harris Corner Detection as a solution to reconstruct the torn paper. The angle and distance between the angle forming points of the corner point are used to find suitable candidate pair of torn pieces. In addition the decision threshold is also used to ascertain whether the candidate pair torn is true or not. Couples who are considered correct then reconstructed with the help of the Affine transform and RANSAC.

Based on the result of the research, corner point proved can be used as a basis for reconstructing the paper with the help of decision threshold to sort out the tear tha have pair or not.

Keyword: *paper reconstruction, torn, Harris Corner Detection, decision threshold, affine transform, RANSAC*

1. Pendahuluan

Kertas merupakan media yang digunakan sebagai wadah untuk menampung kreatifitas, gagasan, dan catatan penting yang telah digunakan sejak jaman dahulu. Banyak catatan berharga yang berada di atas kertas seperti surat perjanjian, catatan sejarah, laporan, dan lain sebagainya. Dokumen berharga tersebut bisa saja rusak entah karena sengaja ataupun tidak sengaja. Penyebab rusaknya dokumen bermacam-macam seperti serangga, temperatur, kelembaban, sering terpegang dan sobek [1]. Rekonstruksi kertas yang sobek sangat penting dalam mendapatkan informasi penting yang ada pada sobekan tersebut. Rekonstruksi ini dapat diterapkan pada ruang lingkup yang cukup luas seperti arkeologi [2][3][4], konservasi karya seni [5][6], penegakan hukum [7][8], korporasi [9]. Kertas yang sobek memiliki tantangan tersendiri dalam proses rekonstruksinya dimana muncul area residu serta bentuk sisi sobekan yang tidak beraturan.

Secara garis besar penelitian yang membahas mengenai rekonstruksi kertas yang sobek dibagi menjadi dua kategori yaitu semi-otomatis dan otomatis. Mekanisme semi-otomatis yang dimaksud adalah dimana pengguna memilih beberapa titik secara manual sebagai fitur (acuan) yang digunakan dalam merekonstruksi kertas, proses menggabungkan dua sobekan kertas menjadi satu kertas yang utuh dilakukan oleh komputer. Salah satu contoh penelitian mengenai mekanisme semi-otomatis untuk merekonstruksi kertas yang sobek dilakukan oleh M.

Nandhini dan Rahul Kumar [10]. Pengembangan mekanisme otomatisasi rekonstruksi kertas yang sobek diusulkan oleh Shantosh Kumar dan Shreyamsha Kumar yang menggunakan variasi tepi (*edge*) antara dua *corner point* yang disebut dengan *edge envelope* sebagai fitur yang digunakan untuk proses rekonstruksi [11]. Proses penentuan *corner point* dilakukan menggunakan Bending value yang hanya menghasilkan *corner point* pada lokasi-lokasi ekstrim sesuai dengan kebutuhan *edge envelope*.

Dalam tugas akhir ini proses rekonstruksi sobekan kertas dilakukan secara otomatis dengan memanfaatkan seluruh *corner point* sebagai informasi acuan penggabungan. *Harris corner detection* digunakan untuk menghasilkan *corner point* awal. Properti atau atribut dari *corner* berupa besar sudut dan jarak dengan titik tetangganya digunakan dalam proses pencarian pasangan titik yang bersesuaian sebagai acuan untuk proses transformasi penggabungan dua buah sobekan kertas.

2. Dasar Teori

2.1. Image Mosaic

Mosaic memiliki pengertian gambar atau pola yang dihasilkan dari batu, kaca, atau benda lainnya yang diatur sedemikian rupa [12]. Dari pengertian mosaic tersebut maka dapat disimpulkan bahwa image mosaicing adalah proses menggabungkan beberapa gambar sekaligus sehingga diperoleh gambar atau pola yang baru.

2.2. Corner

Corner merupakan lokasi dimana terjadi perubahan yang secara tiba-tiba pada boundary [13]. Corner memiliki peranan yang penting dalam computer vision dan sistem pengenalan objek [14]. Pada saat melakukan ekstraksi ciri yang ada pada sebuah objek sebagian besar metode yang ada pada saat ini akan mengambil shape atau bentuk dari objek tersebut dan corner memegang peranan yang sangat penting dalam hal tersebut [13]. Beberapa contoh metode yang dapat digunakan untuk mencari corner dari sebuah gambar yaitu Harris Corner Detection dan SUSAN.

2.3. Harris Corner Detection

Harris Corner Detection diciptakan oleh Chriss Harris dan Mike Stephens pada tahun 1988 dengan cara memodifikasi algoritma Moravec's Corner Detector [15]. Harris Corner Detection memiliki beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap rotasi, pergeseran intensitas, dan perubahan skala intensitas [16]. Langkah pertama yang dilakukan untuk mencari corner point menggunakan *Harris Corner Detection* yaitu menghitung intensitas gradien x (I_x) dan gradien y (I_y) menggunakan mask konvolusi berukuran 3x3. Mask yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3-4 dan contohnya dapat dilihat pada gambar 3-5.

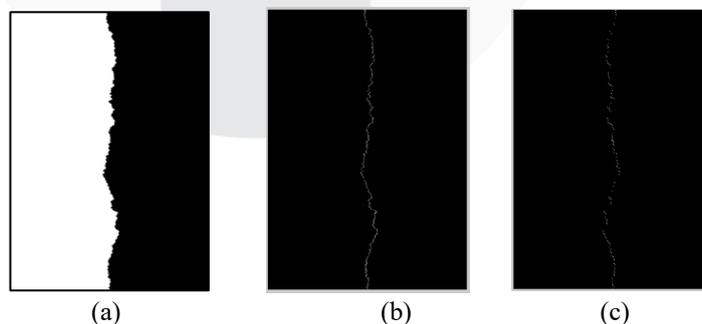
| | | |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |

(a)

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

(b)

Gambar 3-4 (a) Mask konvolusi gradien x (b) Mask konvolusi gradien y



Gambar 3-5 Hasil konvolusi (a) gambar awal (b) I_x (c) I_y

Langkah selanjutnya yaitu menghitung I_x^2 , I_y^2 , dan $I_x I_y$ yang kemudian di filter menggunakan *Gaussian smoothing*. Langkah yang terakhir yaitu menghitung *harris respond* dan cari *local maxima*-nya. *harris respond* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = \det M - k(\text{trace } M)^2 \quad (1)$$

dimana,

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\det M = \lambda_1 \lambda_2 \quad (3)$$

$$\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (4)$$

Dengan,

- R = Harris respond.
- M = Matriks 2x2 dari image derivative.
- w = Fungsi window.
- I = Nilai intensitas.
- k = Konstanta bernilai 0,04 – 0,06.
- λ_1 dan λ_2 = Eigenvalue dari M.

Corner point merupakan piksel yang merupakan *local maxima* dan memiliki nilai diatas *threshold*. Contoh hasil dari *harris corner detection* dapat dilihat pada gambar 3-7.



Gambar 3-7 Hasil pencarian *corner point* menggunakan *harris corner detection*.

2.4. Affine Transform

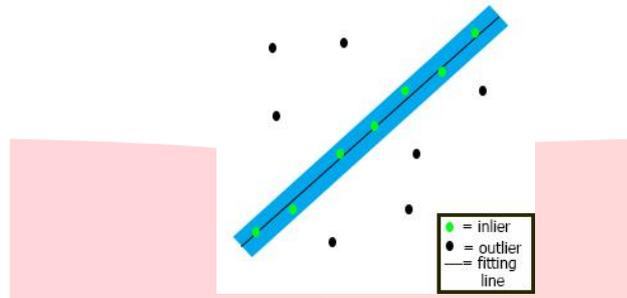
Affine Transform merupakan salah satu jenis teknik transformasi geometris yang mampu melakukan translasi, rotasi, *shear mapping*, dan merubah skala suatu gambar. Operasi *Affine Transform* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a1 & a2 & a3 \\ a4 & a5 & a6 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Rotasi, perubahan skala, dan *shear mapping* dipengaruhi oleh nilai dari a1, a2, a4, dan a5 sedangkan translasi dipengaruhi oleh nilai a3 dan a6.

2.5. RANSAC

RANSAC diciptakan oleh Martin A. Fischler dan Robert C. Bolles pada tahun 1981. RANSAC merupakan metode yang mampu menafsirkan atau merapikan data yang mengandung persentase kesalahan yang sangat tinggi sehingga sangat cocok digunakan dalam menganalisa citra secara otomatis dimana interpretasi didasarkan pada fitur detektor yang rawan akan kesalahan[17]. RANSAC bekerja dengan cara memilah data menjadi *inlier* dan *outlier*. *Inlier* adalah titik yang berjarak kurang dari ϵ terhadap *fitting line*. Sedangkan *outlier* titik yang berjarak lebih dari ϵ terhadap *fitting line*.



Gambar 2-2 Perbedaan inlier dan outlier

Secara umum algoritma dari RANSAC dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pilih s buah titik acuan secara acak dari data yang dimiliki.
2. Estimasi parameter dari suatu persamaan yang dimiliki dengan menggunakan titik acuan yang dipilih untuk membentuk *fitting line*.
3. Hitung jumlah inlier yang diperoleh. Simpan jika inlier yang diperoleh lebih besar dari sebelumnya.
4. Ulangi langkah 1-3 sebanyak N kali.

Iterasi yang dilakukan berkali-kali dengan mencoba semua kemungkinan memang dapat memberikan hasil dengan inlier terbanyak namun hal tersebut membutuhkan waktu yang sangat lama dan kurang efektif. Jumlah iterasi yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

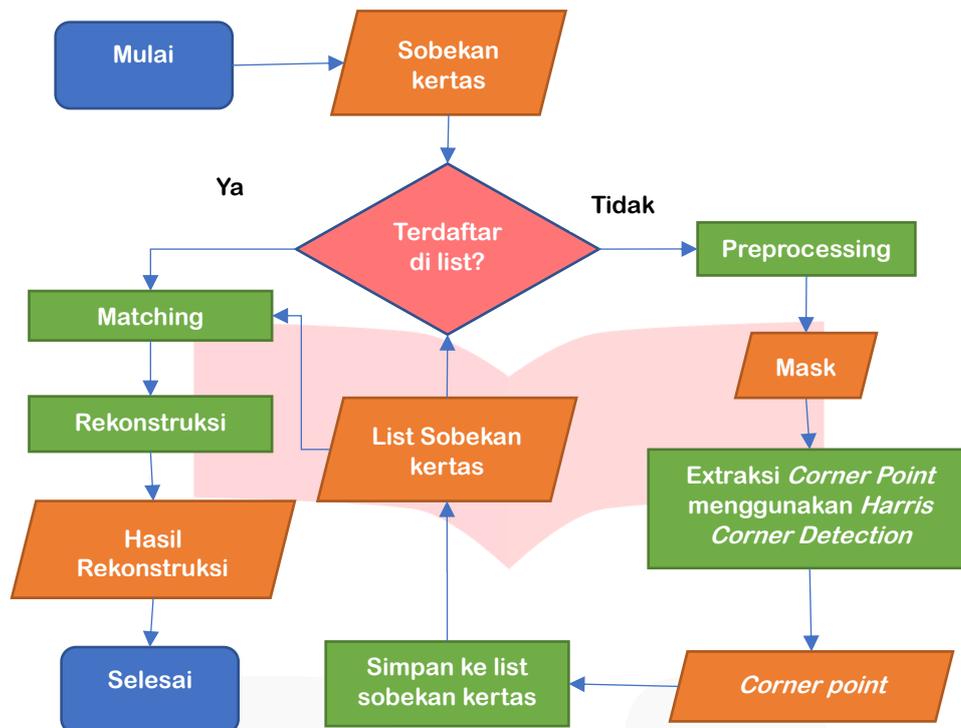
$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - (1 - \epsilon)^s)} \quad (6)$$

Dimana:

- N= Jumlah iterasi
- p= Probabilitas berhasil memperoleh semua inlier
- s= Jumlah sampel
- ϵ =probabilitas outlier.

3. Perancangan dan Implementasi

Secara garis besar proses rekonstruksi kertas terbagi menjadi empat yaitu *pre-processing*, ekstraksi ciri, *matching*, dan rekonstruksi. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada *flowchart* di bawah ini.



Gambar 3.1 Flowchart sistem

Sobekan kertas yang masuk ke sistem di cek terlebih dahulu apakah sudah pernah dimasukkan atau belum. jika belum maka masuk ke tahapan pre-processing untuk mendapatkan mask atau bentuk sobekan kertas tersebut. setelah mask didapat kemudian dicari lokasi *corner point*-nya. Setelah lokasi *corner* diperoleh kemudian cari besar sudut dan jarak titik pembentuk sudut. Jarak antara dua titik dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$d = \sqrt{(Ax - Bx)^2 + (Ay - By)^2} \quad (7)$$

Dimana :

- D = Jarak
- Ax = Lokasi titik A di sumbu x
- Ay = Lokasi titik A di sumbu y
- Bx = Lokasi titik B di sumbu x
- By = Lokasi titik B di sumbu y

Sedangkan besar sudut dihitung dengan menggunakan

$$\theta = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \quad (8)$$

Dimana :

- θ = besar sudut.
- b dan c = jarak antara titik yang dicari sudutnya dengan tetangganya.
- a = Jarak antara titik tetangga yang satu dengan yang lain.

Setelah informasi data besar sudut dan jarak dari setiap *corner point* pada sobekan kertas, langkah berikutnya yaitu menyimpan ke dalam list sobekan dan lakukan *matching* untuk mencari kandidat pasangan sobekan dengan membandingkan selisih besar sudut dan selisih jarak pembentuk sudut yang kemudian divalidasi menggunakan *decision threshold*. *Decision threshold* memilah sobekan menjadi sobekan yang memiliki pasangan dengan sobekan yang tidak memiliki pasangan berdasarkan persentase jumlah pasangan *corner point* yang dihitung dengan cara

$$\text{Persentase jumlah pasangan} = \frac{2 * \text{jumlah pasangan corner}}{\text{jumlah corner A} + \text{jumlah corner B}} \quad (9)$$

Salah satu pasangan sobekan yang dianggap benar kemudian diatur posisinya menggunakan bantuan RANSAC dan transformasi *Affine* agar pada saat proses penggabungan diperoleh hasil yang baik. Penggabungan dilakukan dengan menumpuk *corner point* yang berpasangan.

4. Pengujian dan Analisa Hasil Pengujian

Dataset yang digunakan dibuat secara mandiri dengan cara mengubah tiap halaman pada file MS. Word menjadi gambar bertipe jpeg sebanyak 45 gambar. Gambar yang disimpan tersebut memiliki ukuran 2480 x 1748

piksel. Gambar tersebut kemudian disobek secara digital dengan menggunakan bantuan MATLAB yang akan menghasilkan pola sobekan secara acak dan menyobek kertas atau gambar berdasarkan pola tersebut menjadi dua bagian yang kemudian disimpan dengan format .bmp. Sobekan memiliki ukuran 2480 x 1748 piksel dengan latar berwarna hitam dan area yang sobek berada di sebelah kanan.

Ada dua tahap pengujian yang dilakukan yaitu *training* dan *testing*. Pada tahap *training* yang dicari adalah nilai *threshold* selisih besar sudut dan selisih jarak. sedangkan pada tahap *testing* yang dicari adalah performa sistem dengan menggunakan nilai parameter yang diperoleh pada saat training. Untuk lebih jelasnya bias dilihat pada table dibawah ini

Tabel 4-1 Skenario pengujian

| No. | Pengujian Ke- | Nama Skenario | Tujuan | Parameter yang dicari | Parameter Awal |
|-----|---------------|-------------------------------------|--|---|---|
| 1 | 1 | Pencarian parameter <i>matching</i> | Mendapatkan Threshold selisih sudut terbaik | T.sudut=5, T.sudut=3, T.sudut=1 | Sigma=1, Radius=1, Threshold R=10000, T.jarak = 5, Decision Threshold = 0.5 |
| | | | Mendapatkan Threshold selisih jarak dan decision threshold terbaik | T.jarak=3, T.jarak=1, | Sigma=1, Radius=1, Threshold R=10000, T.sudut=1, Decision Threshold = 0.5 |
| | | | Mendapatkan <i>Decision Threshold</i> terbaik | <i>Decision Threshold</i> positif dan <i>Decision Threshold</i> negatif | Sigma=1, Radius=1, Threshold R=10000, T.sudut=1, T.jarak=1, |
| 2 | 2 | Pengujian sistem | Menguji parameter yang diperoleh dari proses training | Akurasi | Parameter terbaik hasil pengujian 1 |

4.1. Pencarian Parameter *Matching* Terbaik (*Training*)

Berikut ini adalah hasil pengujian *threshold* selisih besar sudut.

Tabel 4-2 Hasil pengujian T. sudut

| No. | T.sudut | TP | TN | FP | FN | Akurasi |
|-----|---------|----|----|----|----|---------|
| 1 | 1 | 29 | 0 | 31 | 0 | 48,33% |
| 2 | 3 | 28 | 0 | 32 | 0 | 46,67% |
| 3 | 5 | 28 | 0 | 32 | 0 | 46,67% |

Pada tabel 4.2 terlihat T. sudut yang bernilai 1 memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan T. sudut bernilai 3 dan 5 dengan jumlah pasangan yang benar sebanyak 29 pasangan dari 30 pasangan yang ada sehingga T. sudut yang bernilai 1 dipilih sebagai T. sudut terbaik dan digunakan untuk menguji parameter *threshold* selisih jarak antar titik *corner*. Penentuan apakah pasangan tersebut merupakan pasangan yang benar atau salah dilakukan secara manual dengan membandingkan nama sobekan dari pasangan tersebut. Akurasi yang dihasilkan pada

pengujian ini masih kecil dikarenakan belum adanya *filter* yang memisahkan apakah sobekan tersebut masuk ke golongan sobekan yang memiliki pasangan atau golongan sobekan yang tidak memiliki pasangan.

Dengan menggunakan T. sudut = 1 diperoleh hasil pengujian *threshold* selisih jarak sebagai berikut

Tabel 4-3 Hasil Pengujian T. jarak

| No. | T. jarak | TP | TN | FP | FN | Akurasi |
|-----|----------|----|----|----|----|---------|
| 1 | 1 | 23 | 30 | 0 | 7 | 88,33% |
| 2 | 3 | 30 | 0 | 30 | 0 | 50% |
| 3 | 5 | 29 | 0 | 31 | 0 | 48,33% |

Pada tabel 4-3 terlihat T.jarak bernilai 1 memiliki akurasi paling tinggi sehingga T.jarak = 1 dipilih untuk digunakan pada saat proses *matching*. FN yang berjumlah tujuh buah sobekan adalah sobekan yang seharusnya masuk ke golongan sobekan yang memiliki pasangan namun oleh sistem dimasukkan ke dalam sobekan yang tidak memiliki pasangan. Salah satu solusi yang bias dilakukan yaitu membagi *Decision threshold* menjadi dua yaitu *Decision threshold* positif untuk sobekan berpasangan dan *Decision threshold* negatif untuk sobekan yang tidak berpasangan. *Decision threshold* tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$DTP = \frac{\sum PJPB}{SB} \quad (10)$$

$$DTN = \frac{\sum PJPTB}{STB} \quad (11)$$

Dimana:

- DTP = *Decision threshold* positif.
 DTN = *Decision threshold* negatif.
 PJPB = Persentase jumlah pasangan sobekan yang berpasangan.
 PJPTB = Persentase jumlah pasangan sobekan yang tidak berpasangan.
 SB = Jumlah sobekan berpasangan.
 STB = Jumlah sobekan tidak berpasangan.

Tabel 4-4 *Decision threshold* positif dan negatif T. jarak 1

| T. sudut | T. jarak | <i>Decision threshold</i> | |
|----------|----------|---------------------------|---------|
| | | Positif | Negatif |
| 1 | 1 | 0.5255 | 0.2988 |

Tabel 4-5 Hasil pengujian *Decision threshold*

| T. sudut | T. jarak | <i>Decision threshold</i> | | TP | TN | FP | FN | Akurasi |
|----------|----------|---------------------------|---------|----|----|----|----|---------|
| | | Positif | Negatif | | | | | |
| 1 | 1 | 0.5255 | 0.2988 | 30 | 30 | 0 | 0 | 100% |

Berdasarkan Tabel 4-5 dapat disimpulkan bahwa *Decision threshold* terbaik untuk sobekan yang memiliki pasangan yaitu 0.5255 dan *Decision threshold* terbaik untuk sobekan yang tidak memiliki pasangan yaitu 0.2988.

4.2. Pengujian Sistem (*Testing*)

Nilai Parameter terbaik yang diperoleh pada tahap *training* kemudian diuji kembali dengan menggunakan data set yang berbeda untuk memastikan bahwa nilai parameter tersebut bisa menghasilkan performa yang baik meskipun dengan data yang berbeda, Hasil pengujian pada tahap *testing* dapat dilihat pada table berikut

Tabel 4-5 Hasil Testing

| TP | TN | FP | FN | Akurasi |
|----|----|----|----|---------|
| 30 | 30 | 0 | 0 | 100 % |

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan terhadap sistem rekonstruksi kertas berbasis *corner point*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian terhadap sistem rekonstruksi kertas berbasis *corner point* menggunakan *Harris Corner Detection* sebagai algoritma ekstraksi ciri dan selisih besar sudut dan jarak sebagai metode *matching* memberikan akurasi yang baik hingga 100%.
2. Akurasi tersebut dipengaruhi oleh dataset yang digunakan dan konfigurasi parameter yang tepat. parameter yang digunakan yaitu $\sigma=1$, $\text{radius}=1$, dan $\text{threshold } R=10000$ untuk parameter *Harris Corner Detection*, threshold selisih sudut = 1, threshold selisih jarak = 1, $\text{Decision threshold} = 0.5255$ untuk sobekan yang memiliki pasangan dan 0.2988 untuk sobekan yang tidak memiliki pasangan.
3. Penggunaan *Decision threshold* terbukti mampu memilah mana sobekan yang memiliki pasangan dan sobekan mana yang tidak memiliki pasangan.

Daftar Pustaka

- [1] Bhavisha Patel, Jay Amin, "Reconstruction of Shredded Document Using Image Mosaicing Technique-A Survey", *International Journal of Science and Research*, vol.4, issue 12, December 2015.
- [2] M. Kampel, R. Sablatnig, "On 3D mosaicing of rotationally symmetric ceramic fragments", *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, vol.2, Agustus 2004.
- [3] F. Kleber and R. Sablatnig, "A Survey of Techniques for Document and Archaeology Artefact Reconstruction," in *Document Analysis and Recognition, 2009. ICDAR '09. 10th International Conference*, 2009, pp. 1061-1065.
- [4] Helena Cristina da Gama Leitao, Jorge Stolfi, "A Multiscale Method for the Reassembly of Two dimensional Fragmented Objects", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.24 n.9,p.1239-1251, September 2002.
- [5] C. Papaodysseus, M. Exarhos, et al, "Image and Pattern Analysis of 1650 B.C. Wall Paintings and Reconstruction", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 38, issue 4, Juli 2008.
- [6] C. Papaodysseus, T. Panagopoulos, et al, "Contour-shape based reconstruction of fragmented, 1600 BC wall paintings", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol.50, issue 6, 2002.
- [7] Edson Justino, Luiz S. Oliveira, Cinthia Freitas, "Reconstructing shredded documents through feature matching", *Forensic Science International*, vol, issue 3, 2012.
- [8] Liangjia Zhu, Zongtan Zhou, and Dewen Hu, "Globally Consistent Reconstruction of Ripped Up Documents", *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence* VOL. 30, NO. 1, JANUARY 2008.
- [9] R. Abraham and P. Simon, "Review on Mosaicing Techniques in Image Processing", *Third International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT)*, 2013.
- [10] M.Nadhini, Rahul Kumar, "Featureless Image Mosaicing Of Torn Document", *Indian journal of applied research*, Volume : 3, Issue : 6, ISSN - 2249-555X, June 2013.
- [11] S. A. SantoshKumar, B. K. ShreyamshaKumar, "Edge Envelope Based Reconstruction Of Torn Document", *Proceedings of the Seventh Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image processing*, pp. 391-397, 2010.
- [12] "mosaic." *The Oxford English Dictionary*. 11th ed. 2008. Print.
- [13] Ling-wei Ye, Zhe Wang, Wei Feng, "Orientation estimation for corner detection", *International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*, 2013.
- [14] Serkan Kiranyaz, Hantao Liu, et al, "An Efficient Approach For Boundary Based Corner Detection By Maximazing Bending Ratio and Curvature", *International Symposium on Signal Processing and Its Applications*, 2007.
- [15] C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector", In *Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1988.
- [16] C. Schmid, R. Mohr and C. Bauckhage, "Evaluation of Interest Point Detectors", *International Journal of Computer Vision*, 2000.

- [17] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", Communications of the ACM, vol. 24, issue 6, 1981.

