

Segmentasi Area Teks Aksara Bali pada Citra Lontar Kuno Bali Berdasarkan Peta Nilai *Lacunarity*

Made Windu Antara Kesiman
Jurusan Pendidikan Teknik Informatika
Universitas Pendidikan Ganesha
Singaraja, Bali, Indonesia
e-mail: dekndu@yahoo.com

Abstrak—Area teks pada citra seringkali menjadi *region of interest* (ROI) pada pengolahan citra, khususnya pada citra dokumen atau manuskrip kuno. Untuk itulah, pada tahap pra proses dari pengolahan citra dokumen, dibutuhkan metode untuk mendeteksi dan mensegmentasi area teks yang akan diproses lebih lanjut, misalnya untuk binarisasi teks pada citra dokumen, serta untuk pengenalan karakter dan teks. Artikel ini memaparkan tentang metode segmentasi area teks aksara bali pada citra lontar kuno bali dengan menggunakan pemetaan nilai-nilai *lacunarity*. Metode baru yang diusulkan dalam artikel ini memanfaatkan konsep pemetaan nilai-nilai *lacunarity* untuk memisahkan area teks aksara bali dalam citra lontar kuno bali. Hasil uji coba menunjukkan bahwa pemetaan nilai-nilai *lacunarity* dapat digunakan untuk melakukan deteksi area teks aksara bali pada citra lontar kuno bali. Fitur tekstur yang diekstraksi melalui nilai *lacunarity* pada citra sangat membantu dalam mendeteksi dan mensegmentasi area teks aksara bali, khususnya pada citra lontar yang memiliki warna *background* citra yang tidak seragam dan ber-*noise* dan hampir sama dengan warna *foreground* untuk area teks.

Kata kunci—segmentasi; teks; citra; lontar; *lacunarity*

I. PENDAHULUAN

Proses segmentasi area teks pada citra dokumen adalah salah satu tahap pra proses yang sangat penting dalam pengolahan citra dokumen. Namun seringkali fitur warna saja tidak cukup untuk dapat memisahkan antara *foreground* area teks dengan *background* citra dokumen yang pada umumnya tidak memiliki warna yang seragam serta terganggu penuh oleh *noise*. Dokumen dan naskah lontar kuno yang telah mengalami kerusakan fisik telah banyak menjadi objek penelitian dalam bidang restorasi citra digital. Metode-metode pengolahan citra digital diharapkan mampu memberikan citra digital hasil restorasi yang mudah dibaca dari tulisan-tulisan yang telah mengalami kerusakan.

Sebuah *review* yang cukup lengkap dan terinci tentang metode-metode perbaikan citra dari naskah-naskah tua dengan kondisi *background* yang rusak diberikan dalam S. R. Yahya et al (2010) [1]. Dijelaskan bahwa secara garis besar terdapat tiga jenis metode perbaikan citra yaitu (a) perbaikan citra dengan metode binarisasi dan *thresholding*,

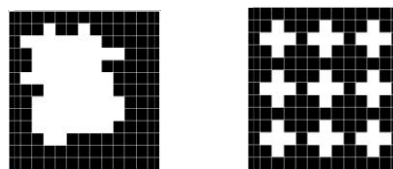
(b) perbaikan citra dengan metode hibridisasi antara binarisasi/*thresholding* dengan metode lainya, serta (c) perbaikan citra tanpa metode *thresholding*. Hasil *review* yang dilakukan menjelaskan bahwa metode ke dua memberikan peningkatan yang potensial dalam proses perbaikan citra. Khusus untuk metode perbaikan citra dengan metode binarisasi citra, J. Sauvola et al (2000) [2] mengusulkan sebuah metode binarisasi adaptif yang dapat memisahkan dengan baik komponen teks, *background*, serta gambar dari sebuah citra dokumen. Dengan penentuan nilai *threshold* secara local, Sauvola berhasil mengatasi permasalahan pokok kerusakan citra dokumen yang disebabkan oleh adanya *noise* serta perbedaan tingkat iluminasi. Sebuah *review* tentang perbandingan berbagai jenis algoritma *thresholding* untuk memisahkan bagian teks dan *background* dari sebuah dokumen yang kompleks diberikan oleh G. Leedham et al (2003) [3]. Graham memberikan *review* perbandingan untuk 5 (lima) jenis algoritma yaitu algoritma Niblack, teknik *Mean-Gradien*, metode substraksi *background*, metode QIR (*Quadratic Integral Ratio*), serta metode Yanowitz and Bruckstein. Kesimpulan yang diperoleh adalah tidak terdapat metode / algoritma yang bekerja lebih baik untuk setiap jenis dokumen. Untuk meningkatkan performansi harus dilakukan kombinasi algoritma sesuai dengan jenis dokumen yang berbeda. Survei tentang teknik-teknik *thresholding* pada citra dengan evaluasi performansi secara kuantitatif juga dilakukan oleh M. Sezgin et al (2004) [4]. Metode binarisasi yang ditujukan khusus untuk citra dengan teks berwarna diusulkan pada tahun 2005 oleh K. B. Wang et al [5]. Metode binarisasi dilakukan dengan cara menganalisis tekstur biner yang terdapat pada citra. Dengan kombinasi pembentukan kluster warna dan analisa tekstur, algoritma yang diusulkan mampu menangani citra-citra dengan *background* yang kompleks. Tahun 2007, E. Badekas et al [6] juga mengusulkan metode baru untuk proses binarisasi teks pada dokumen berwarna. Metode ini didasarkan pada kuantisasi warna dan estimasi warna dominan untuk mereduksi warna sehingga warna teks dan *background* menjadi lebih *uniform*. Perbaikan citra digital dengan teknik normalisasi yang diaplikasikan pada citra digital naskah daun lontar telah diusulkan oleh Z. Shi et al (2005) [7].

Zhixin Shi et al mengusulkan sekumpulan metode transformasi untuk proses perbaikan citra daun lontar. Model pertama yang diusulkan adalah dengan melakukan aproksimasi warna *background* dokumen dengan model linear dan non linear. Teknik normalisasi dilakukan secara adaptif di daerah lokal tertentu. Sebuah proyek pengolahan dan pengenalan naskah Yunani Kuno (*The D-SCRIBE Project*) juga telah melakukan pengembangan sistem pengolahan citra digital untuk pengenalan dokumen tertentu (S. Perantonis, 2005) [8]. Sistem ini dikembangkan untuk dapat mengenali tulisan tangan dari naskah Yunani kuno, melalui metode binarisasi, segmentasi, dan ekstraksi fitur. Proyek ini juga telah melakukan digitalisasi koleksi naskah Yunani kuno dalam jumlah yang besar. Beberapa proyek lain yang berhubungan dengan proses perbaikan citra dari naskah kuno diantaranya adalah proyek untuk naskah kuno *Hebrew* oleh I. B. Yosef (2004) [9], proyek perbaikan naskah kuno India oleh A. Gupta et al (2007) [10], serta proyek pencarian teks naskah *Medieval* pada citra oleh Y. Leydier et al (2007) [11].

Pada citra dokumen, area teks secara natural memiliki fitur tekstur yang cukup berbeda. Informasi tekstur dapat digunakan untuk membedakan sifat-sifat permukaan suatu benda dalam citra yang berhubungan dengan kasar dan halus, juga sifat-sifat spesifik dari kekasaran dan kehalusan permukaan tadi, yang sama sekali terlepas dari warna permukaan tersebut. Salah satu ukuran fitur tekstur yang dikenal dalam citra adalah nilai *lacunarity*. Artikel ini diawali dengan paparan tentang metode perhitungan nilai *lacunarity* pada citra, kemudian metode pembentukan peta *lacunarity*, serta hasil uji coba deteksi dan segmentasi area teks aksara Bali pada citra lontar, dan diakhiri dengan simpulan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

II. LACUNARITY PADA CITRA

Istilah *Lacunarity* berasal dari bahasa Latin "*Lacunas*" yang berarti jarak atau lubang. *Lacunarity* pertama kali diperkenalkan oleh Mandelbrot (1982) untuk mendeskripsikan karakteristik dari sebuah fraktal dari dimensi yang sama dengan tekstur yang berbeda. Ini melengkapi dimensi fraktal, yang hanya dapat mengetahui seberapa banyak tempat yang terisi data. *Lacunarity* digunakan untuk perhitungan distribusi dari derajat kekosongan (*lacunas*) dalam citra dan itu terkait erat dengan analisa citra tekstur. Secara umum, nilai *Lacunarity* yang rendah mengindikasikan kesamaan dari tekstur, sebaliknya nilai *Lacunarity* yang tinggi mengindikasikan tekstur yang beragam. Tekstur tersebut didapat dari distribusi gap/lubang pada citra tersebut. Berikut contoh matriks dari citra biner yang memiliki variasi tekstur dengan distribusi lubang yang berbeda-beda tersebut (D. A. P. K. M. Utami, 2012) [12].



Gambar 1. Lacunarity Tinggi dan Lacunarity Rendah

A. Nilai Lacunarity

Teknik untuk menghitung *Lacunarity* pertama kali diperkenalkan secara umum oleh Mandelbort (1983). Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghitung nilai *Lacunarity* suatu citra. Metode yang paling sering digunakan adalah metode *Gliding-Box* yang diperkenalkan oleh Allain dan Cloitre (1991) dan dipopulerkan oleh Plotnick et al. (1993). Allain and Cloitre (1991) memulai konsep langsung dan perhitungan yang mudah dalam metode "*Gliding-Box*" untuk menghitung nilai *Lacunarity* (dalam D. A. P. K. M. Utami, 2012) [12].

Menurut metode ini, sebuah kotak tertentu dengan ukuran sisi r , memproses seluruh citra yang akan dicari nilai *Lacunarity*-nya dengan mendata massa kotak, S . Langkah-langkah metode *Gliding-Box* ini dimulai dengan cara menempatkan *box* atau kotak persegi dengan ukuran $r \times r$ di pojok kiri atas citra, selanjutnya kotak tersebut akan mengecek setiap piksel yang berisi 1 atau 0 sampai akhirnya seluruh piksel terlewati oleh *box* tersebut. Kotak ini bergerak dari pojok kiri atas citra melewati piksel per piksel dari citra tersebut sampai akhirnya seluruh piksel dalam citra teridentifikasi. Saat kotak ini berada pada piksel tertentu, program akan menghitung setiap nilai piksel yang dilewati yang dianggap sebagai objek dalam citra tersebut.

Frekuensi dari distribusi isi piksel yang didapat dalam setiap *box* dilambangkan dengan $n(M,r)$ yang selanjutnya akan digunakan untuk menentukan $Q(M,r)$ sebagai distribusi peluang dari setiap nilai dalam *box* yang didapat dari pembagian distribusi per piksel dengan jumlah total maksimal dari jalannya *box* tersebut yang dilambangkan dengan $N(r)$. Selanjutnya kedua distribusi tersebut akan diproses dengan rumus berikut :

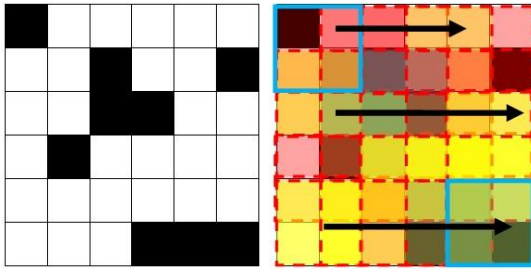
$$Z(1) = \sum MQ(M,r) \quad (1)$$

$$Z(2) = \sum M^2 Q(M,r) \quad (2)$$

Dari kedua persamaan diatas didapat rumus untuk menghitung *Lacunarity* dengan ukuran *box* r , $\Lambda(r)$ sebagai berikut :

$$\Lambda(r) = \frac{z(2) - (z(1))^2}{(z(1))^2} \quad (3)$$

Berikut akan diberikan contoh pendekatan *Gliding-Box* pada citra biner, sehingga lebih mudah untuk dipahami. Perhitungan *Lacunarity* dengan ukuran kotak $r = 2$, untuk sebuah citra seperti Gambar 2.



Gambar 2. Citra Biner dengan Ukuran 6x6 Diproses dengan Ukuran Box = 2x2

TABEL I. TABEL DISTRIBUSI HASIL PERHITUNGAN PIKSEL DALAM CITRA BINER BERUKURAN 6X6 DENGAN UKURAN BOX = 2x2

M	n(M,r)	Q(M,r)	MQ(M,r)	M ² Q(M,r)
0	8	0,32	0	0
1	11	0,44	0,44	0,44
2	5	0,20	0,40	0,80
3	1	0,04	0,12	0,36
4	0	0,00	0	0
Jumlah			Z(1) =0,96	Z(2) =1,60

Maksimal dari box N(r) = 25

Nilai Lacunarity untuk box size, r = 2 adalah :

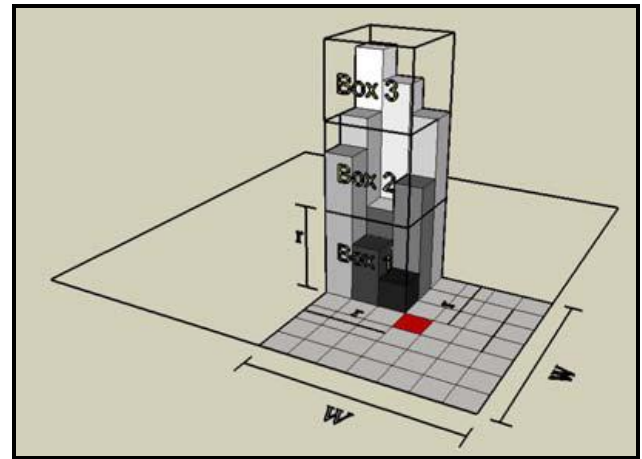
$$\Lambda(r) = \frac{z(2) - (z(1))^2}{(z(1))^2}$$

$$\Lambda(r) = \frac{1,6 - (0,96)^2}{(0,96)^2} = 0,736$$

Satu citra hanya memiliki satu nilai Lacunarity. Setiap ukuran box memiliki satu nilai Lacunarity, untuk ukuran box yang sama dengan ukuran citra, nilai Lacunarity akan sama dengan 0. Semakin ukuran box mendekati ukuran citra, maka nilai Lacunarity akan semakin kecil.

B. Pendekatan Metode Differential Box-Counting pada Citra Grayscale

Metode *Gliding-Box* biasanya digunakan untuk menghitung nilai Lacunarity pada citra biner. Dong (2000) (dalam D. A. P. K. M. Utami, 2012) memperkenalkan penghitungan Lacunarity pada citra *Grayscale* melalui metode yang disebut dengan *Differential Box-Counting*.



Gambar 3. Contoh Ilustrasi Metode Differential Box-Counting (Filho, M. N. Barros, 2008) dalam (D. A. P. K. M. Utami, 2012)

Metode *Differential Box-Counting (DBC)* diajukan oleh Dong (2000) didasarkan pada metode *Gliding-Box* yang telah dijelaskan sebelumnya. Secara umum penghitungan Lacunarity dilakukan pada beberapa ukuran *window* dan *box*. Kedua parameter inilah yang berpengaruh pada nilai Lacunarity citra tersebut.

Dalam contoh ini akan dijelaskan pendekatan menggunakan moving windows biasa yang mirip dengan *Gliding-Box*. Pada metode *Gliding-Box*, kotak yang bergerak menuju piksel bertumpuk pada piksel yang pernah dilalui sebelumnya. Sesuai dengan metode *Gliding-Box* yang diusulkan oleh Allain dan Cloitre (1991), $n(M,r)$ dapat didefinisikan sebagai jumlah meluncurnya kotak dengan r radius dan massa M . Fungsi probabilitas $Q(M,r)$ diperoleh dengan membagi $n(M,r)$ dengan jumlah kotak, sehingga Lacunarity pada skala r didefinisikan sebagai berikut:

$$\Lambda(r) = \frac{\sum_M M^2 Q(M,r) - [\sum_M M Q(M,r)]^2}{[\sum_M M Q(M,r)]^2} \quad (4)$$

dimana

$$\Lambda(r) = \text{Lacunarity dengan ukuran kotak } r$$

$$M = \text{Massa dari setiap piksel yang dilalui kotak}$$

$$Q(M,r) = \text{probabilitas dari } M \text{ pada kotak berukuran } r$$

Sebuah kubus dengan ukuran $r \times r \times r$ ($r = 3,5,7,\dots$) ditempatkan di atas pojok kiri atas dari *window* citra dengan ukuran $W \times W$. Untuk setiap kotak *Gliding-Box* $r \times r$, nilai minimum dan maksimum dari piksel dalam kotak tersebut akan menjadi nilai kotak u dan v , masing-masing secara berurutan. Selanjutnya dari data tersebut akan diperoleh panjang relatif dari kolom tersebut (Myint et al, 2006) (dalam D. A. P. K. M. Utami, 2012), sebagai berikut :

$$n_r(i, j) = v - u - 1 \quad (5)$$

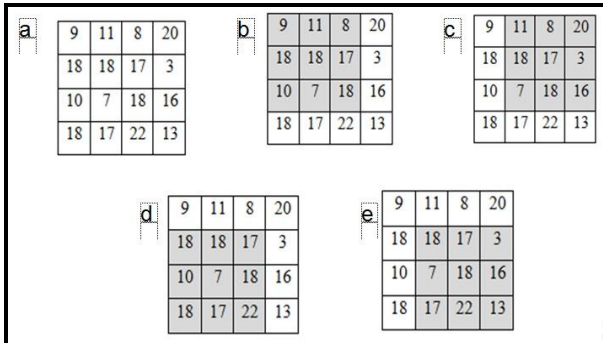
dimana i dan j merupakan koordinat citra.

$$M_r = \sum_{i,j} n_r(i, j) \quad (6)$$

dimana

M_r = Massa dari citra *Grayscale*
 $n_r(i, j)$ = tinggi relative dari kolom dengan koordinat i, j
 M yaitu massa digantikan dengan M_r untuk memperoleh nilai *Lacunarity* $\Lambda(r)$ dalam *window* $W \times W$ (Dong 2000).

Perhitungan nilai *Lacunarity* akan dicontohkan pada citra *Grayscale* berikut:



Gambar 4. Tahap-Tahap Pengolahan Citra Grayscale Menggunakan (A) Citra Ukuran 4 X 4, (B) – (E) Tahap Pertama – Keempat Window Bergerak dengan Ukuran Window 3x3

Intensitas nilai dengan menggunakan citra contoh pada Gambar 4a dihitung pada posisi pertama, kedua, ketiga, dan keempat dari kotak kubus. Sebagai contoh, pada Gambar 4b nilai piksel minimum dan maksimum berturut-turut adalah 7 dan 18, masing-masing untuk posisi pertama dari kotak *window* bergerak.

Dengan sebuah kubus kotak 3 x 3 x 3, nilai-nilai ini masing-masing jatuh di kotak nomor 3 (nilai u) dan 6 (nilai v). Ketinggian relatif dari kolom ini kemudian dalam dihitung dengan rumus (5). Nilai ini akan menjadi M dalam table. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$n_r(i, j) = v - u - 1$$

$$n_r(i, j) = 6 - 3 - 1 = 2$$

Dengan cara yang sama, kita bisa menghitung parameter yang diperlukan untuk semua posisi kubus kotak sebagai berikut. Untuk posisi kedua dari kotak meluncur nilai minimum = 3 dan maksimum didapatkan = 20, sehingga $u = 1$ dan $v = 7$, sehingga

$$n_r(i, j) = v - u - 1$$

$$n_r(i, j) = 7 - 1 - 1 = 5$$

Untuk posisi ketiga dari kotak meluncur diperoleh nilai minimum = 7 dan maksimum=22 sehingga, $u = 3$ dan $v = 8$, sehingga

$$n_r(i, j) = v - u - 1$$

$$n_r(i, j) = 8 - 3 - 1 = 4$$

Untuk posisi keempat dari kotak meluncur diperoleh nilai minimum=3 dan maksimum = 22 sehingga , $u = 1$ dan $v = 8$, sehingga

$$n_r(i, j) = v - u - 1$$

$$n_r(i, j) = 8 - 1 - 1 = 6$$

Jumlah persebaran maksimal *moving window* ($N(r)$) = 4.

Berikut diberikan penjelasannya dalam tabel. Akhirnya, nilai *Lacunarity* dari contoh Gambar 4 disajikan dalam Tabel II.

TABEL II. TABEL DISTRIBUSI HASIL PERHITUNGAN PIKSEL DALAM CITRA BINER BERUKURAN 4X4 DENGAN UKURAN BOX = 3x3

M	$n(M, r)$	$Q(M, r)$	$MQ(M, r)$	$M^2Q(M, r)$
2	1	0,25	0,5	1
5	1	0,25	1,25	6,25
4	1	0,25	1	4
6	1	0,25	1,5	9
Jumlah			$Z(1) = 4,25$	$Z(2) = 20,25$

$$\Lambda(r) = \frac{\sum_M M^2 Q(M, r) - [\sum_M M Q(M, r)]^2}{[\sum_M M Q(M, r)]^2}$$

$$= \frac{[(2 \times 2) \times (1/4)] + [(5 \times 5) \times (1/4)] + [(4 \times 4) \times (1/4)] + [(6 \times 6) \times (1/4)] - [(2/4) + (5/4) + (4/4) + (6/4)]^2}{[(2/4) + (5/4) + (4/4) + (6/4)]^2}$$

$$\Lambda(3) = \frac{20,25 - [4,25]^2}{[4,25]^2} = 0,121$$

C. Peta Nilai Lacunarity

Peta *lacunarity* dibentuk dari hasil perhitungan nilai-nilai *lacunarity* (*lacunarity_value*) dari *window-window* citra yang berukuran lebih kecil. Sehingga untuk sebuah citra, akan dihitung nilai *lacunarity* untuk setiap sub-citra berukuran tertentu (*window size*). Untuk setiap *window size*, nilai *lacunarity* yang dihitung akan ditempatkan sebagai nilai *lacunarity* dari pixel pada posisi tengah dari *window size* tersebut. Kemudian ditentukan nilai *lacunarity* maksimum (*max_lacunarity*) dan minimum (*min_lacunarity*) yang ditemukan pada keseluruhan citra. Rentang nilai *lacunarity* dari *min_lacunarity* sampai *max_lacunarity* selanjutnya dibagi menjadi beberapa kelompok, tergantung jumlah level (*nb_level*) pembagian segmen tekstur atau jenis tekstur yang diinginkan. Berikut rumusan untuk menentukan kelompok tekstur yang berbeda (*grade*) yang ditemukan pada citra:

$$\text{delta_col} = 255 \text{ div } \text{nb_level} \quad (7)$$

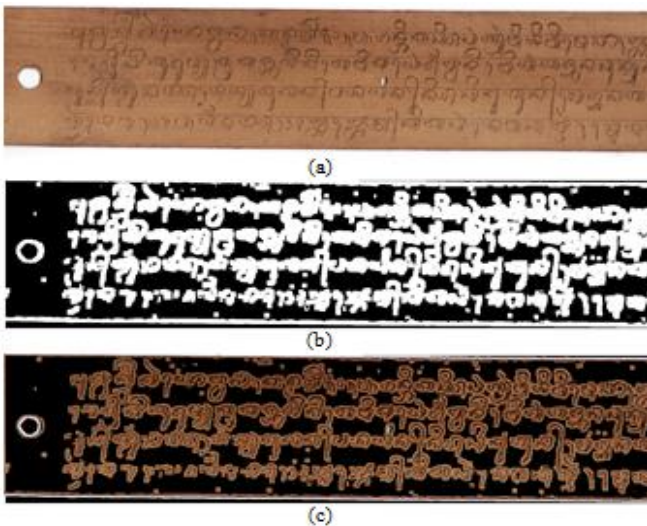
$$\text{ndg_lac} = \text{round}\left(\frac{\text{lacunarity_value} - \text{min_lacunarity}}{\text{max_lacunarity} - \text{min_lacunarity}} \times 255\right) \quad (8)$$

$$\text{grade} = \text{ndg_lac} \text{ div } \text{delta_col} \quad (9)$$

III. HASIL UJI CITRA LONTAR

Uji coba dilakukan pada koleksi citra lontar dalam format ruang warna RGB dengan kedalaman warna 24 bit, yang diperoleh dengan proses *scan* 300 dpi, berukuran kurang lebih 2800 x 400 pixel (ukuran citra bervariasi).

Tahapan-tahapan segmentasi sesuai hasil analisis masalah dan usulan solusi sebagai berikut: melakukan proses-proses *mathematical morphology* operasi *Erosion* untuk lebih menebalkan bagian aksara Bali, melakukan proses penghitungan nilai *Lacunarity* dari citra digital, serta menghasilkan citra *Map of Lacunarity* untuk mendeteksi area text aksara Bali pada citra lontar, menggabungkan citra *Map of Lacunarity* dari tiga channel menjadi satu citra, sebagai citra *Mask*, melakukan proses *masking* antara citra *Mask* dengan citra greyscale asli dari masing-masing channel citra lontar, menggabungkan hasil *masking* dari ketiga channel menjadi satu citra warna RGB kembali. Pada uji coba kasus citra lontar ini, digunakan parameter *window_size* = 12, *box_size* = 11, dan *nb_level* = 2 (area teks atau bukan). Hasil uji coba dapat dilihat pada Gambar 5-8.



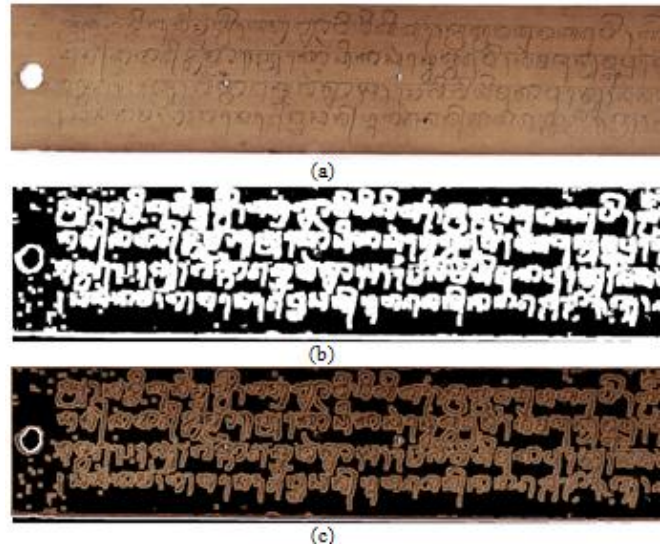
Gambar 5. Hasil Uji Citra 1 (a) Citra Asli IMG1.bmp RGB 24 bit (b) Citra Peta Lacunarity Biner 1 bit (c) Citra Hasil Segmentasi dengan Masking RGB 24 bit



Gambar 6. Hasil Uji Citra 2 (a) Citra Asli IMG2.bmp RGB 24 bit (b) Citra Peta Lacunarity Biner 1 bit (c) Citra Hasil Segmentasi dengan Masking RGB 24 bit



Gambar 7. Hasil Uji Citra 3 (a) Citra Asli IMG8.bmp RGB 24 bit (b) Citra Peta Lacunarity Biner 1 bit (c) Citra Hasil Segmentasi dengan Masking RGB 24 bit



Gambar 8. Hasil Uji Citra 4 (a) Citra Asli IMG11.bmp RGB 24 bit (b) Citra Peta Lacunarity Biner 1 bit (c) Citra Hasil Segmentasi dengan Masking RGB 24 bit

IV. PENUTUP

Dari hasil uji coba, dapat diambil beberapa simpulan bahwa metode *mathematical morphology* dengan operasi *erosion* sangat baik digunakan pada tahap *pre-processing* untuk menebalkan bagian aksara bali pada citra digital lontar kuno bali. Nilai *lacunarity* dapat digunakan secara efektif untuk mendeteksi area teks aksara bali pada citra digital lontar kuno bali. Pemetaan nilai-nilai *lacunarity* dapat digunakan untuk melakukan deteksi dan segmentasi area teks aksara bali pada citra digital lontar kuno bali. Saran-saran untuk pengembangan selanjutnya adalah dalam hal optimalisasi nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk seluruh tahapan pembentukan peta nilai *lacunarity*, yang hendaknya lebih memperhatikan kondisi citra asli yang berbeda-beda. Uji coba juga sebaiknya bisa dilakukan dengan menggunakan ruang warna selain *RGB color space*. Hasil segmentasi awal ini akan dianalisa pada penelitian lebih lanjut untuk mendapat citra lontar biner melalui proses *adaptive thresholding* pada area lokal citra lontar. Area hasil segmentasi yang telah diekstraksi diharapkan akan dapat digunakan sebagai pedoman proses *thresholding* selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. Yahya, S. N. H. S. Abdullah, K. Omar, M. S. Zakaria, and C. -Y. Liong, 2010, "Review on Image Enhancement Methods of Old Manuscript with Damaged Background", International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Vol. 2, No. 1
- [2] J. Sauvola, and M. Pietikainen, 2000, "Adaptive document image binarization", Pattern Recognition, Vol. 33 Issue 2, pp. 225-236
- [3] G. Leedham, C. Yan, K. Takru, J. H. N. Tan, and L. Mian, 2003, "Comparison of some thresholding algorithms for text/background segmentation in difficult document images", in Proc. 7th ICDAR, IEEE
- [4] M. Sezgin, and B. Sankur, 2004, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation", Journal of Electronic Imaging, Vol. 13 Issue 1, pp. 146-165
- [5] K. B. Wang, X. F. Li, F. Liu, and F. Q. Hu, 2005, "Color text image binarization based on binary texture analysis", Pattern Recognition Letters, Vol. 26 Issue 10, pp. 1568-1576
- [6] E. Badekas, N. Nikolaou, and N. Papamarkos, 2006, "Text binarization in color documents", International Journal Imaging System Technology, Vol. 16, 262-274
- [7] Z. Shi, S. Setlur, and V. Govindaraju, 2005, "Digital Enhancement of Palm Leaf Manuscript Images using Normalization Techniques", Center of Excellence for Document Analysis and Recognition (CEDAR)
- [8] S. Perantonis, B. Gatos, K. Ntzios, L. Pratikakis, L. Vrettaros, A. Drigas, C. Emmanouilidis, A. Kesidis, and D. Kalomirakis, 2005, "Digitization Processing and Recognition of Old Greek Manuscripts (The D-Scribe project)", International Journal Information Theories & Applications, Vol. 11, pp. 232-239
- [9] I. B. Yosef, 2005, "Input sensitive thresholding for ancient Hebrew manuscript", Pattern Recognition Letters, Vol. 26, pp. 1168-1173
- [10] A. Gupta, S. Kumar, R. Gupta, S. Chaudhury, S. D. Joshi, 2007, "Enhancement of Old Manuscript Images", Document Analysis and Recognition, Ninth International Conference, ICDAR, IEEE
- [11] Y. Leydier, F. Lebourgeois, and H. Emptoz, 2007, "Text search for medieval manuscript images", Pattern Recognition, Vol. 40 Issue 12, pp. 3552-3567
- [12] D. A. P. K. M. Utami, 2012, "Segmentasi Citra Berdasarkan Tekstur Menggunakan Pengukuran Lacunarity dengan Metode Differential Box-Counting", Skripsi (Tidak diterbitkan), Jurusan Pendidikan Teknik Informatika, Universitas Pendidikan Ganesha