

RESTORASI TOPOLOGI HASIL *THINNING* CITRA MAZE

Risma Septiana¹⁾, Indah Soesanti²⁾, Ahmad Fashiha Hastawan³⁾

^{1), 2), 3)} Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jl Grafika No.2 Yogyakarta 55281

Email : risma.septiana.mti13@mail.ugm.ac.id¹⁾, indsanti@gmail.com²⁾, fashiha.mti13@mail.ugm.ac.id³⁾

Abstrak

Thinning merupakan salah satu operasi morfologi pada proses pengolahan citra. Dalam penelitian ini, proses *thinning* akan dibantu oleh operasi morfologi yang lain yaitu *convex hull*. Penggunaan dua metode morfologi tersebut bertujuan untuk mempercepat proses mendapatkan informasi penting pada citra. Citra yang digunakan dalam pengujian adalah citra maze. Operasi *convex hull* akan dilakukan pada proses pemisahan *foreground* dan *background* citra, sedangkan operasi *thinning* merupakan proses inti untuk pengambilan informasi yang dibutuhkan pada citra maze. Informasi penting yang akan diambil adalah jalur dari maze. Jalur ini terdiri dari garis-garis lurus dengan berbagai macam bentuk sambungan. Algoritme *thinning* yang digunakan adalah Zhang dan Suen (ZS) serta pengembangannya yaitu algoritme LW dan KWK. Implementasi dua algoritme tersebut pada maze masih terdapat kekurangan terutama untuk sambungan garis yang mempunyai pola L dan T, sehingga hasil akhir yang diperoleh dari operasi *thinning* algoritme ZS dan KWK masih terdapat banyak kesalahan terutama dalam struktur topologinya. Pada penelitian ini dilakukan penyempurnaan algoritme ZS dan KWK dengan operasi ketetanggaan window 3x3 untuk merestorasi citra. Hasil yang diperoleh adalah citra maze dengan topologi yang mirip dengan citra asli.

Kata kunci: *Thinning*, *Convex hull*, *Maze*, Algoritme Zang and Suen

1. Pendahuluan

Operasi morfologi pada citra umumnya digunakan untuk mengubah struktur bentuk objek yang terkandung di dalam citra[1]. Hal ini bertujuan untuk mengambil informasi yang dibutuhkan dari suatu citra dan kemudian diaplikasikan untuk proses analisis citra. Operasi morfologi dapat dilakukan pada saat pre- maupun post *processing*[2]. Hasil dari operasi morfologi merupakan sebuah citra yang merepresentasikan bentuk objek, sehingga sangat cocok jika diterapkan pada bidang *computer vision* untuk pengenalan pola yang hanya membutuhkan bagian tertentu dari citra[3]. Penelitian ini akan menggunakan dua operasi morfologi yaitu *convex hull* dan *thinning*. *Convex hull* digunakan sebagai proses segmentasi pada pre-*processing* citra dan *thinning* sebagai proses utama.

Convex hull merupakan sebuah *polygon* terkecil yang dapat melingkupi suatu objek[1]. Operasi *convex hull* digunakan untuk segmentasi citra, dan mendapatkan bagian citra yang dibutuhkan. Operasi ini bekerja dengan mengelompokkan titik pada citra yang masuk dalam satu kelompok sehingga membentuk pola yang berbeda dari *background*[4][5]. Hasil proses *convex hull* selanjutnya akan digunakan pada proses *thinning*. Manfaat dari pemisahan *foreground* dan *background* sebelum proses *thinning* adalah hasil *thinning* yang diperoleh lebih tepat.

Thinning merupakan proses mengurangi jumlah *pixel* pada citra sehingga diperoleh pola yang hanya terdiri dari satu *pixel* dan disebut sebagai “*thinned image*”[6]. *Thinning* bekerja pada citra digital dan akan menghasilkan keluaran berupa citra digital[7]. Keluaran dari *thinning* juga dapat disebut sebagai *skeleton*. Pada penelitian-penelitian yang ada *skeleton* merupakan sebuah nama yang menandai adanya kumpulan pola berukuran satu *pixel* serta mempunyai arah serta garis[7]. Proses *thinning* akan menghilangkan pengulangan *pixel* pada suatu pola serta menampilkan karakteristik geometri dan topologi seperti jalur dari *pixel-pixel* yang terhubung, panjang, dan lebar dari pola tersebut.[8] Karakteristik geometri yang dipertahankan terlihat pada hasil *skeleton* yang diperoleh berupa kerangka di tengah objek sebelum mengalami pengurangan *pixel*, sedangkan karakteristik topologi dipahami sebagai representasi bentuk *skeleton* tetap sesuai dengan pola aslinya meskipun hanya disusun dengan satu *pixel*[6].

Dengan adanya proses *thinning*, ruang penyimpanan citra akan berkurang dan jika citra ditransmisikan, penghematan waktu dapat terwujud. Pengaplikasian proses *thinning* sangat luas seperti mengetahui suatu karakter, pengenalan dan analisis pola tulisan tangan, analisis citra medis, serta vektorisasi sarana transportasi berupa jalur[8]

Pada penelitian ini operasi morfologi diterapkan pada sebuah citra maze yang akan ditelusuri jalur-jalurnya sehingga diharapkan dengan hasil morfologi yang sempurna, pada penelitian selanjutnya diperoleh jalur keluar maze yang tepat. Maze merupakan objek yang terdiri dari dua bagian yaitu sel kosong yang menunjukkan jalur dan dinding penghalang [10]. Untuk menemukan jalur, pada awalnya kita harus mengetahui pola dari maze tersebut kemudian menentukan titik-titik percabangan, pintu masuk dan pintu keluar. Proses pengenalan pola inilah yang akan menggunakan operasi

morfologi. Operasi *convex hull* digunakan untuk mendapatkan kontur jalur *maze* dan menjadikan dinding penghalang sebagai *background*.

Penelitian yang dilakukan oleh Y.Murata,dkk[11] memberikan saran untuk menggunakan proses *thinning* pada saat *pre processing* citra *maze* untuk penyelesaian *maze* yang lebih cepat. Proses *thinning maze* membutuhkan algoritme yang dapat mempertahankan kondisi sambungan jalur karena sambungan-sambungan pada *maze* membentuk pola yang kompleks. Algoritme yang dipilih adalah algoritme Zhang dan Suen (ZS) serta perkembangannya yaitu algoritme LW dan KWK. Algoritme tersebut dianggap paling cocok karena mempunyai keunggulan dalam responnya terhadap hubungan antar *pixel* dan juga tidak terpengaruh pada gangguan pada garis tepi[13][14]. Selain itu metode ini merupakan metode *thinning* iterative. Pemilihan metode iterative karena pengurangan *pixel* pada *maze* akan dilakukan secara simultan dan berdasarkan pada nilai-nilai ketetanggaan *pixel* tersebut[8]. Meskipun handal dan banyak digunakan pada proses *thinning* iterative, metode ini mempunyai kelemahan dalam hal mengurangi *pixel* jika *pixel* terhubung secara diagonal dan mengurangi *pixel* dari pola berukuran 2x2. Kelemahan tersebut menyebabkan masih terdapat percabangan-percabangan kecil dari hasil *thinning*. Percabangan ini akan mengganggu bentuk pola yang diperoleh menjadi tidak sesuai dengan pola citra asli. Penelitian[6][8][14] melakukan modifikasi pada metode ini dengan menambahkan iterasi proses pengurangan *pixel*. Hasil yang diperoleh, percabangan kecil yang mengganggu bentuk kontur dapat dikurangi lebih banyak.

Pengurangan percabangan kecil sangat membantu dalam proses pengenalan pola terutama ketika mencari titik percabangan. Permasalahan lain yang ditemukan pada hasil *thinning* sebuah *maze* adalah adanya *pixel* yang hilang dalam percabangan berbentuk T dan L. Kehilangan *pixel* tersebut diakibatkan oleh proses pengurangan *pixel* yang tidak maksimal.

Dalam penelitian ini akan dibahas cara merestorasi titik-titik percabangan yang hilang. Sehingga akan diperoleh hasil *thinning maze* yang memiliki pola seperti pada citra *maze* awal sebelum dilakukan proses pengurangan *pixel*. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam pendeteksian jalur pada *maze*.

A. Algoritme *Thinning* Zang and Suen (ZS)

Algoritme ZS bekerja untuk citra digital. Citra tersebut dapat direpresentasikan dalam sebuah matrik IT (i,j) dengan 2 jenis nilai yaitu dapat berupa 0 atau 1. Setiap *pixel* dalam citra tersebut akan melalui proses transformasi secara berulang (iterative) berdasarkan 8 nilai ketetanggaan. Diasumsikan anggota ketetanggaan dari (i,j) adalah (i-1,j), (i-1,j+1), (i,j+1), (i+1,j+1), (i+1,j), (i+1,j-1), (i,j-1), dan (i-1,j-1). Nilai-nilai tersebut tergabung dalam sebuah window 3x3 yang direpresentasikan oleh Gambar 1.

$P_9(i-1,j-1)$	$P_2(i-1,j)$	$P_3(i-1,j+1)$
$P_8(i,j-1)$	$P_1(i,j)$	$P_4(i,j+1)$
$P_7(i+1,j-1)$	$P_6(i+1,j)$	$P_5(i+1,j+1)$

Gambar 1. Desain 9 pixel dengan window 3x3

Algoritme ZS menjalankan dua subiterasi sehingga dapat menjaga sambungan antara *pixel*. Dua subiterasi tersebut menjalankan proses yang memutuskan *pixel* untuk diubah jadi 0 atau tetap bernilai 1. Hasil akhirnya merupakan citra yang hanya terdiri dari satu *pixel* dan bernilai 1. Inilah yang menjadi pola citra yang disebut dengan *skeletal* dan merupakan hasil *thinning*.

Subiterasi pertama adalah *pixel* akan dihapus jika memenuhi persyaratan di bawah ini:

a) $2 \leq B(P) \leq 6$ (1)

b) $A(P_1) = 1$ (2)

c) $P_2 * P_4 * P_6 = 0$ (3)

d) $P_4 * P_6 * P_8 = 0$ (4)

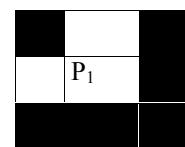
e) Persamaan 3 dan 4 dapat diartikan jika nilai $P_4=0$ atau $P_6=0$ atau ($P_2=0$ dan $P_8=0$).

$B(P)$ merupakan jumlah tetangga *pixel* $P_1(i,j)$ yang bernilai 1.

f) $B(P) = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$ (5)

$A(P)$ jumlah perpindahan nilai 0 ke 1 pada 8 ketetanggaan $P_1(i,j)$.

Sebagai contoh seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2, kondisi $P_1(i,j)=1$ yang akan terhapus



Gambar 2. Ilustrasi pixel yang akan terhapus

Subiterasi pertama akan menghapus tepi-tepi citra yang berada di Utara dan Barat serta titik sudut yang berada di Selatan dan Timur. Kondisi *pixel* bernilai 1 adalah *pixel* yang diwakili oleh warna putih.

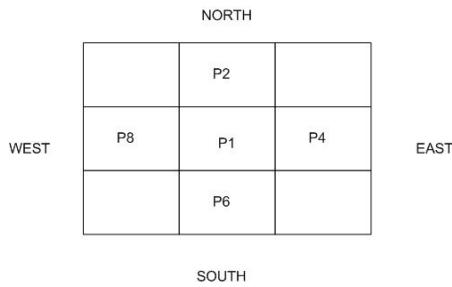
Subiterasi 2, dengan kondisi a dan b tetap dan c, d diubah menjadi

c') $P_2 * P_4 * P_8 = 0$ (6)

d') $P_4 * P_6 * P_8 = 0$ (7)

Persamaan 6 dan 7 dapat diartikan jika nilai $P_4=0$ atau $P_8=0$ atau ($P_2=0$ dan $P_6=0$).

Kondisi ini akan menghapus tepi-tepi *pixel* yang berada pada bagian Selatan dan Timur serta titik sudut yang berada di bagian Utara dan Barat. Lokasi titik ketetangaan direpresentasikan oleh Gambar 3[13].



Gambar 3. Titik ketetangaan dan bagian lokasinya

Algoritme ZS mempunyai kendala ketika menemui *pixel* yang tersusun secara diagonal. *Pixel-pixel* yang membentuk urutan diagonal akan hilang, sehingga sambungan antar *pixel* terhapus. Untuk mengatasi hal ini digunakan algoritme LW yang mengubah persamaan 1 menjadi $3 \leq B(P) \leq 6$. Hasil perbaikannya adalah *pixel-pixel* yang membentuk urutan diagonal tidak akan terhapus. Namun belum dapat menghasilkan satu *pixel*[14].

B. Algoritme KWK

Algoritme KWK memperbaiki algoritme ZS dan LW. Dengan algoritme ini, permasalahan pada *pixel-pixel* diagonal dapat diatasi. Aturan yang ditambahkan adalah *pixel* P1 yang bernilai 1 akan dihapus jika memenuhi kondisi :

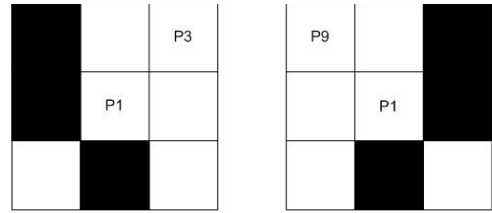
$$1. P_9 * P_8 * P_6 = 1 \& P_3 = 0 \quad \dots\dots(8)$$

$$2. P_3 * P_4 * P_6 = 1 \& P_9 = 0 \quad \dots\dots(9)$$

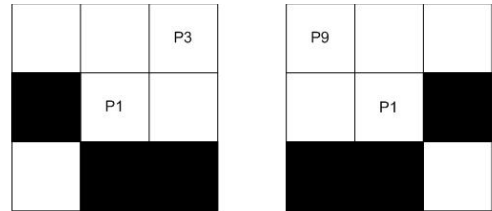
$$P_5 * P_6 * P_8 = 1 \& P_3 = 0 \quad \dots\dots(10)$$

$$P_4 * P_6 * P_7 = 1 \& P_9 = 0 \quad \dots\dots(11)$$

Kondisi di atas akan menunjukkan *pixel-pixel* berulang yang harus dihapus khususnya pada kondisi *pixel* yang berbentuk diagonal. Pada kondisi *pixel* yang berbentuk diagonal, nilai P9 dan P3 adalah 0 karena P9 dan P3 tidak mempunyai hubungan dengan *pixel* yang lain, jika P1 dan P3 bernilai 1 maka P1 tidak akan dihapus karena memiliki arti jika terdapat pola yang dibentuk oleh hubungan P1 dengan P9 atau P3. Beberapa contoh kondisi *pixel* P1 yang akan dihapus oleh aturan LW dan KWK seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4[14].



(a)



(b)

Gambar 4. Langkah pengurangan *pixel* pada bentuk diagonal

2. Pembahasan

I. Algoritme yang Diajukan

Algoritme yang diajukan merupakan beberapa peraturan tambahan pada *pixel*, dengan prinsip ketetangaan, nilai *pixel* yang diperhatikan tidak hanya *pixel* yang berada di pusat *window*, namun juga *pixel-pixel* yang berada di daerah 8 ketetangaan *window*. Penelitian menggunakan *window* 3x3 dikarenakan jika *window* terlalu besar, banyak *pixel* yang terlewat untuk direstorasi. Susunan *window* yang digunakan sama dengan yang ditunjukkan gambar 1. Kondisi *window* yang digunakan terbagi menjadi dua.

Pertama, *window* dengan nilai pusat 0. Nilai ini menunjukkan adanya *pixel* kosong diantara sambungan *pixel* sehingga harus diisi dengan sebuah *pixel* (nilai 1).

Kedua, *window* dengan nilai pusat 1 dan nilai tersebut menunjukkan *pixel* yang tidak diperlukan sehingga harus dihapus.

Kondisi 1 dengan P1=0, menggunakan beberapa peraturan, yaitu:

1. Nilai P1 diisi dengan sebuah *pixel* jika memenuhi salah satu kondisi berikut
- a) Dua nilai *pixel* pada posisi diagonal sama dengan satu atau nilai dua *pixel* ketetangaan sama dengan satu.

Contoh: P2=1 dan P4=1 atau P5=1 dan P7=1

$$b) P_4 * P_6 * P_8 = 1 \quad \dots\dots(12)$$

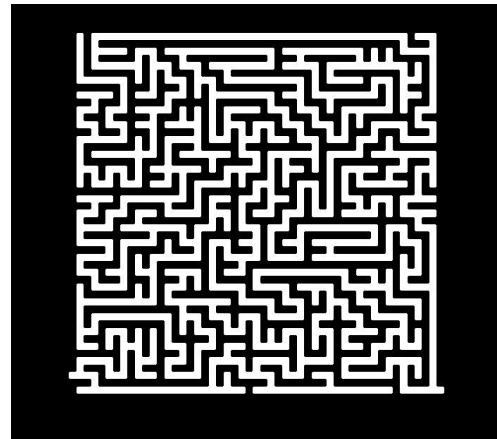
$$c) P_3 * P_4 * P_6 = 1 \quad \dots\dots(13)$$

2. Nilai P1 diisi dengan 1, dan nilai *pixel* yang berada pada posisi diagonal dihapus.

$$a) P_4 * P_5 * P_6 \quad \dots\dots(14)$$

$$b) P_2 * P_3 * P_4 \quad \dots\dots(15)$$

3. Nilai P1 diisi dengan 1, dan posisi 4 ketetangaan seperti pada gambar 3. Harus dihapus jika
 - a) $P4 * P6 = 1$ (16)
 - b) $P7 * P8 = 1$ (17)
4. Nilai P1 dan P2 diisi dengan 1, nilai P4 dan P5 dihapus, jika
 $P3 * P4 * P5 * P6 = 1$ (18)
5. Nilai P1 dan P3 diisi dengan 1, nilai P4 dihapus, jika
 $P2 * P5 * P6 * P9 = 1$ (19)
6. Nilai P1 dan P7 diisi dengan 1, nilai P2, P6 dan P8 dihapus, jika
 $P4 * P6 * P8 * P9 = 1$ (20)



Gambar 6. Hasil operasi *convex hull*

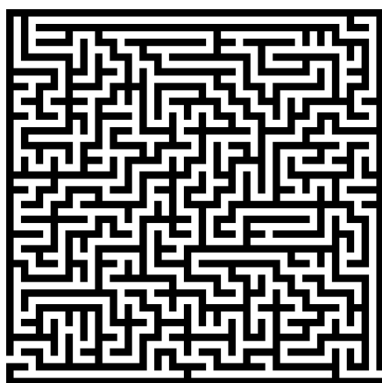
Gambar 6 Menunjukkan hasil segmentasi citra menggunakan operasi *morfologi* citra hasil *convex hull* berupa jalur *maze* yang dapat dilewati. Jalur ini direpresentasikan dengan *pixel-pixel* bernilai 1 sehingga polanya terlihat berwarna putih. Adanya jalur ini maka akan membantu proses selanjutnya yaitu *thinning*. Sehingga diperoleh hasil *thinning* yang tepat.

Kondisi 2, dengan $P=1$

1. Nilai P akan dihapus, nilai P8 diisi dengan 1 apabila memenuhi kondisi
 $P2 * P3 * P7 * P9 = 1$ (21)
2. Nilai P akan dihapus, nilai P8 dan P9 diisi dengan 1 apabila memenuhi kondisi
 $P2 * P3 = 1$ (22)
3. Nilai P akan dihapus, nilai P3 dan P4 diisi dengan 1 apabila memenuhi kondisi
 $P2 * P9 = 1$ (23)

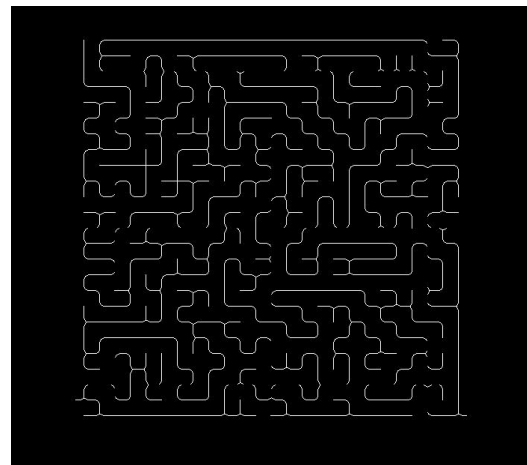
II. Hasil Pengujian dan Analisis

Operasi *convex hull* dan *thinning* diterapkan pada sebuah citra *maze* yang berbentuk persegi. Hasil-hasil pada setiap penerapan algoritme menunjukkan perbedaan dengan adanya peningkatan struktur topologi yang terlihat lebih baik. Penilaian ini dilakukan secara kualitatif dengan melihat tampilan visual dari citra *maze*.



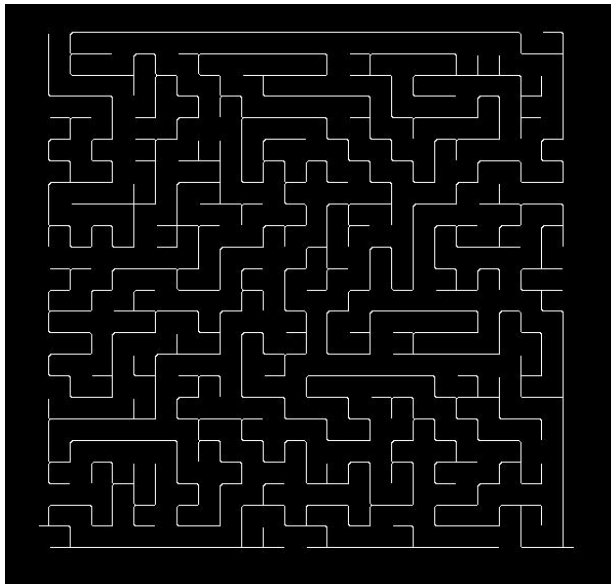
Gambar5. Citra *maze* awal

Pada citra *maze* awal yang ditunjukkan oleh Gambar 5, dilakukan proses segmentasi untuk mendapatkan informasi penting yaitu berupa pola jalur.

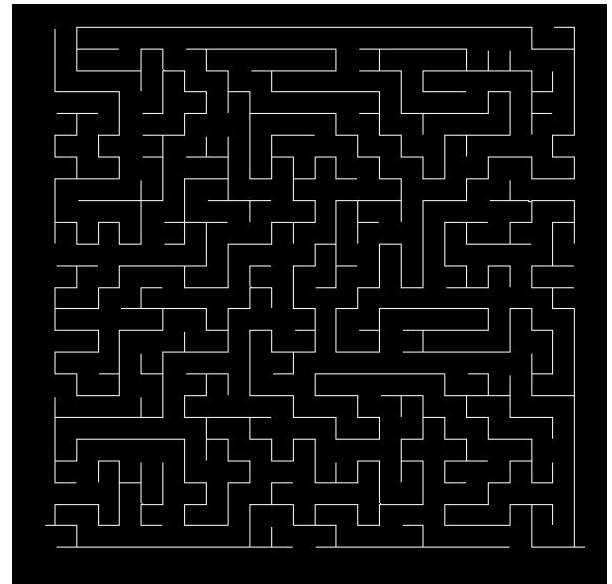


Gambar 7. Hasil *Thinning* dengan Algoritme Zhang and Suen

Gambar 7 Menunjukkan hasil *thinning* yang menggunakan algoritme Zhang dan Suen. Hasil tersebut menunjukkan jalur-jalur *maze* banyak yang terhapus. Hasil algoritme ini diperbaiki dengan menerapkan algoritme KWK.

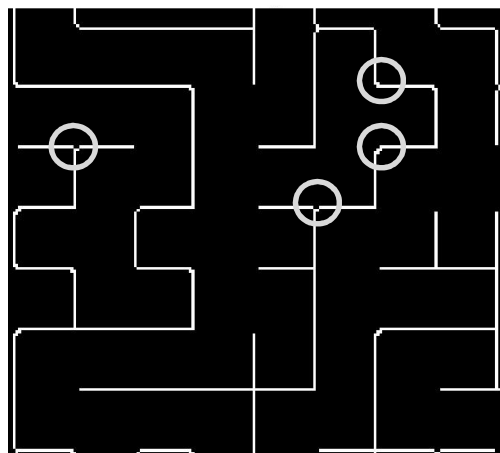


Gambar 8. Hasil *Thinning* dengan menambahkan algoritme KWK



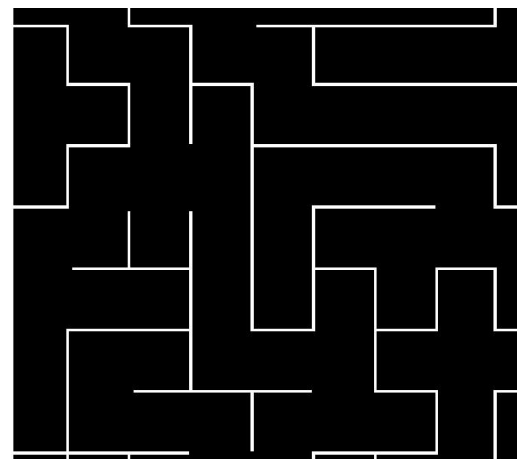
Gambar 10. Hasil penerapan aturan tambahan

Gambar 8. Menunjukkan hasil penerapan algoritme KWK untuk memperbaiki hasil *thinning* algoritme ZS. Hasilnya menunjukkan jalur-jalur *maze* yang terputus dapat dihubungkan. Namun terlihat pada kondisi sambungan L dan T tidak dapat membentuk topologi yang sempurna karena adanya *pixel* yang terletak tidak pada posisinya. Seperti yang ditunjukkan Gambar 9



Gambar 9. Sambungan L dan T yang tidak sempurna

Pada Gambar 9 terlihat jika sambungan T terputus dan terdapat *pixel* yang keluar dari jalur garis, sedangkan pada sambungan L maupun L terbalik, bentuk diagonal sambungan *pixel* tidak sempurna. Penggunaan aturan tambahan pada algoritme yang diusulkan, menyebabkan sambungan L dan T dapat diperbaiki. Sehingga menghasilkan garis-garis jalur *maze* yang membentuk sambungan dengan topologi sesuai dengan citra asli. Hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 11. Bentuk sambungan L dan T yang sesuai dengan topologi citra awal

Gambar 10 menunjukkan hasil akhir dari restorasi topologi *maze*. Penerapan aturan tambahan menghasilkan *maze* dengan topologi yang sesuai dengan *maze* asli. Pada sambungan L dan T *pixel* dapat dikembalikan ke posisi yang seharusnya sehingga terlihat kondisi belokkan yang lebih halus. Seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 11.

3. Kesimpulan

Penerapan operasi *morfologi* pada sebuah citra akan menapis informasi yang diperlukan pada citra, sehingga diperoleh informasi penting yang dapat digunakan untuk analisis citra. Operasi *convex hull* dapat menghasilkan kontur yang terpisah dari *background* citra. Hasil pemisahan tersebut jika digunakan pada proses *thinning* akan membantu mempercepat proses dan hasil yang diperoleh lebih tepat karena hanya melingkupi daerah yang diinginkan. Namun, *thinning* dengan menggunakan algoritme ZS dan KWK menghasilkan pola dengan

topologi yang tidak sesuai jika dibandingkan citra asli sehingga penelitian ini menerapkan aturan tambahan. Aturan tersebut menggunakan operasi ketetanggaan *pixel* dengan *window* berukuran 3x3. Hasil akhirnya berupa citra *maze* yang memiliki topologi sesuai dengan citra asli terutama pada bagian sambungan L dan T.

Metode pemisahan jalur *maze* sebagai *foreground* citra dengan *background* citra menjadi perhatian pada penelitian selanjutnya karena operasi *convex hull* yang digunakan belum sempurna dan prosesnya sangat lama ketika melakukan pemisahan kontur sehingga perlu adanya perbaikan *metode convex hull* terlebih dahulu kemudian dilakukan restorasi hasil *thinning*.

Daftar Pustaka

- [1] A. Khadir, A.Susanto,2013, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, Yogyakarta:Andi
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods,*Digital Image Processing*, 3rd ed., Prentice Hall
- [3] T.-A. Pham, M. Delalandre, S. Barrat, and J.-Y. Ramel, "A robust approach for local interest point detection in line-drawing images," presented at the Proceedings - 10th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems, DAS 2012, 2012, pp. 79–84.
- [4] J. Shukla and A. Dwivedi, "A method for hand gesture recognition," presented at the Proceedings - 2014 4th International Conference on Communication Systems and Network Technologies, CSNT 2014, 2014, pp. 919–923.
- [5] S. Chen, A. Wiliem, C. Sanderson, and B. C. Lovell, "Matching image sets via adaptive multi *convex hull*," presented at the 2014 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, WACV 2014, 2014, pp. 1074–1081.
- [6] G. K. Viswanathan, A. Murugesan, and K. Nallaperumal, "A parallel *thinning* algorithm for kontur extraction and medial axis transform," presented at the 2013 IEEE International Conference on Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology, ICE-CCN 2013, 2013, pp. 606–610
- [7] A Parallel *Thinning* Algorithm for Numeral Pattern Images in BMP Format, Gulshan Goyal, Dr. Maitreyee Dutta,Er. Akshay Girdhar, International Journal of Advanced Engineering & Application, Jan. 2010
- [8] P. Tarabek, "A robust parallel *thinning* algorithm for pattern recognition," presented at the SACI 2012 - 7th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Proceedings, 2012, pp. 75–79.
- [9] K. Kaur, M. Sharma, "A method for binary image *thinning* using gradient and watershed Algorithm," International Journal of Advance Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 3, no. 1, pp.287-290, 2013
- [10] Z. V. Zatuchna and A. Bagnall, "*Learning mazes* with aliasing states: An LCS algorithm with associative perception," *Adapt. Behav.*, vol. 17, no. 1, pp. 28–57, 2009.
- [11] Y. Murata and Y. Mitani, "A study of shortest path algorithms in *maze* images," 2011, pp. 32–33.
- [12] R.Paranjpe, A.Saied, *Maze Solver For Android*,Department of Electrical Engineering Stanford University
- [13] T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "FAST PARALLEL ALGORITHM FOR *THINNING* DIGITAL PATTERNS," *Commun. ACM*, vol. 27, no. 3, pp. 236–239, 1984
- [14] J.-S. Kwon, J.-W. Gi, and E.-K. Kang, "An enhanced *thinning* algorithm using parallel processing," presented at the IEEE International

Biodata Penulis

Risma Septiana, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T), Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang, lulus tahun 2012. Saat ini sedang menyelesaikan study Magister Engineering (M.Eng) di jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Indah Soesanti, Saat ini menjadi Dosen di Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Ahmad Fashiha Hastawan, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T), Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang, lulus tahun 2013. Saat ini sedang menyelesaikan study Magister Engineering (M.Eng) di jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.