

## APLIKASI METODE MEDIAL AXIS TRANSFORM (MAT) UNTUK MENCARI LINTASAN DI DALAM GEDUNG BERDASAR DATA DENAHNYA

Siti Sendari

**Abstrak** : Salah satu kemampuan suatu agen cerdas adalah navigasi, sehingga tanpa bantuan manusia maka agen cerdas dapat berkeliling di dalam gedung tanpa menabrak halangan. Untuk memahami kondisi lingkungannya, agen dapat diberi pembelajaran dengan menggunakan data denah gedung. Data denah gedung dapat dipecah menjadi peta gedung menggunakan metode *MAT*. Proses pemetaan denah gedung meliputi: (1) pemrosesan gambar sketsa denah gedung menjadi himpunan garis terstruktur; (2) pemecahan (*cropping*) sketsa denah per-ruangan; (3) menentukan jalur per-ruangan menggunakan *MAT*; (4) mentransform hasil *MAT* menjadi *graph*; dan (5) melakukan penggabungan (*merging*) *graph* sehingga diperoleh *graph* denah secara keseluruhan. Setelah proses pemetaan denah, maka hasil *graph* diuji untuk pencarian jalur di dalam gedung menggunakan algoritma  $A^*$ .

Salah satu kemampuan agen cerdas adalah navigasi. Kemampuan navigasi diperlukan untuk menentukan arah gerakan agen cerdas berdasar fakta yang dibaca oleh sensor tanpa menabrak halangan, misal dinding. Suatu agen cerdas yang berjalan di dalam gedung harus mampu menentukan arah gerakan dalam gedung tanpa menabrak dan tanpa bantuan manusia, untuk itu diperlukan suatu kecerdasan dan pemahaman mengenai ruangan / lingkungannya (*map learning*).

Ada beberapa cara memberikan pengetahuan tentang lingkungan (*map learning*), antara lain: (1) sebelum mengoperasikan secara otomatis, agen diberikan pengetahuan tentang lingkungan di dalam gedung dengan menggerakkan robot melewati seluruh ruangan (Thrun, 1997); (2) diberikan gambar denah gedung yang bisa diolah oleh robot berdasar topologi denah (Setalapruck, et al., 2002).

Topologi denah gedung di-transformasi menjadi rangka denah

gedung (*graph*) sebagai pengetahuan tentang lingkungan di dalam gedung (*map learning*). Proses membuat *graph* denah gedung dilakukan dengan menggunakan algoritma mencari lintasan (*path tracing*) denah gedung yang diberikan. Arinyo, et al. (1996) yang secara konseptual jelas dan mudah diimplementasikan.

### Analisis Citra

Tujuan akhir atas sejumlah besar aplikasi pengolahan citra adalah mengekstraksi ciri penting atas data citra, dengan deskripsi, interpretasi, atau pun pemahaman atas suatu adegan yang dapat dilakukan suatu mesin. (Jain, 1989:343).

Langkah pertama adalah pra-pengolahan citra, yaitu proses binerisasi citra. Untuk memperoleh citra biner memerlukan proses pengambangan (*thresholding*) citra aras keabuan. Langkah kedua adalah proses segmentasi untuk mengelompokkan piksel-piksel obyek menjadi wilayah yang merepresen-

tasikan obyek. (Munir, 2004: 186). Segmentasi citra dapat disimpan sebagai peta keanggotaan, kode chain, atau pengkodean segmen garis. (Castleman, 1996:482). Penentuan bidang batas dengan 'pengkodean segmen garis' (*line segment encoding*) adalah teknik garis demi garis untuk menyimpan objek terekstrak.

### **Medial axis Transform (MAT)**

*MAT* secara luas dikenal sebagai *skeleton*, merupakan konsep geometri yang mempengaruhi analisis *image*, secara luas digunakan untuk analisis bangun/bentuk dan ekstraksi corak. Ide *skeleton* diperkenalkan oleh H. Blum pada tahun 1967 sebagai hasil dari *medial axis transform* (MAT).

Fabbri et al. (2002) menyatakan relasi diagram *voronoi* dengan *medial axis*, sebagai suatu konsep yang sangat dekat dan sangat erat, dengan memberikan dua teorema berikut.

**Teorema 1.** Semua titik diagram *voronoi* adalah juga titik *medial axis*.

**Teorema 2.** Jika semua posisi *voronoi* tidak menjadi satu kelompok (*ungrouped*), suatu titik *medial axis* juga merupakan titik diagram *voronoi*.

*Medial axis* secara normal didefinisikan sebagai berikut.

**Definisi 1** : pikirkan  $S$  sebagai anggota himpunan (*subset*) suatu bidang *Euclidian* dimensi- $n$  dan batasnya  $B$ . Suatu bola terbuka di dalam  $B$  yang tidak berada di dalam bola terbuka lain di dalam  $B$  disebut sebagai bola maksimal. *Medial axis* (MA)  $S$  didefinisikan sebagai *locus* dari pusat bola maksimal tersebut. (Fabbri, et al.:7)

merupakan domain dalam  $\mathbb{R}^2$ , dengan  $B_r(p)$  menotasikan disk tertutup dengan jari-jari  $r$  dan pusat  $p$ . Didefinisikan himpunan semua disk tertutup yang dicakup oleh dinya-takan sebagai  $\mathfrak{D}(\Omega)$  : Choi et al: 67

$$\mathfrak{D}(\Omega) = \{B_r(p) \mid B_r(p) \subset \Omega\} \quad (1)$$

Inti (*core*) domain adalah himpunan semua elemen maksimal dalam  $\mathfrak{D}(\Omega)$ ,

$$\begin{aligned} \text{CORE}(\Omega) = \{ & B_r(p) \in \mathfrak{D}(\Omega) \mid B_s(q) \in \mathfrak{D}(\Omega) \\ & \text{and } B_r(p) \subset B_s(q) \text{ implies} \\ & B_r(p) = B_s(q)\} \end{aligned} \quad (2)$$

Selanjutnya  $B_r(p)$  disebut disk maksimal dan  $B_r(p)$  disebut lingkaran maksimal, jika  $B_r(p) \in \text{CORE}(\Omega)$

**Definisi 2:** *Medial axis* suatu domain adalah himpunan pusat-pusat disk dalam  $\text{CORE}(\Omega)$ , yaitu:

$$\text{MA}(\Omega) = \{p \in \text{CORE}(\Omega) \mid B_r(p) \in \text{CORE}(\Omega)\} \quad (3)$$

*Medial axis transform* suatu domain adalah himpunan pasangan pusat dan jari-jari disk yang dimaksud dalam  $\text{CORE}(\Omega)$ ,

$$\text{MAT}(\Omega) = \{(p,r) \in \mathbb{R}^2 \times (\mathbb{R}^+ \cup \{0\}) \mid B_r(p) \in \text{CORE}(\Omega)\} \quad (4)$$

Dalam hal ini jari-jari dimungkinkan besarnya 0.

Berdasar disk yang dicakup dalam  $B$ , maka titik-titik medial dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Titik akhir (*end point*) jika disk maksimal menyinggung  $\partial B$  secara tepat 1 titik (atau

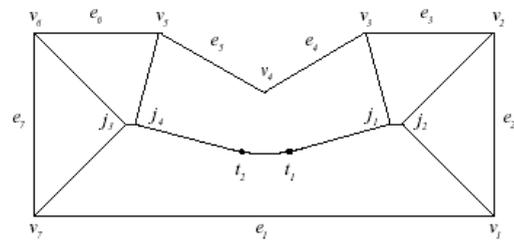
- rangkaian titik yang membentuk sudut melingkar).
2. Titik normal (*normal point*) jika disk maksimal menyinggung  $\partial B$  secara tepat dua titik.
  3. Titik cabang (*branch point*) jika disk maksimal menyinggung  $\partial B$  secara tepat tiga titik atau lebih.
  4. Titik filamen (*filament point*) jika maksimal disk berjari-jari 0.

### Komputasi

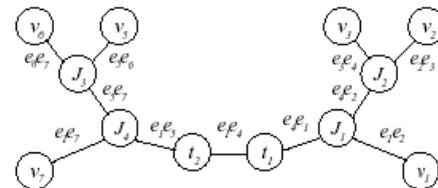
*Learning map* merupakan suatu langkah awal *path planning*. Ada beberapa teknik komputasi untuk menentukan MAT suatu bangun, baik suatu bangun dimensi-2 maupun bangun dimensi-3, salah satunya adalah teknik komputasi MAT yang dilakukan oleh Arinyo, et.al. (1996) dalam artikelnya "Computing the medial Axis Transform of Polygonal Domains by Tracing Paths". Algoritma yang ditawarkan didasarkan pada fakta bahwa *locus* pusat semua disk maksimal yang menyinggung batas poligon menentukan *medial axis*. *Medial axis* dihasilkan dengan mengikuti (*tracing*) jalur di dalam poligon, dengan menghitung anggota himpunan titik-titik *medial axis* yang terkoneksi. Komputasi ini diterapkan pada bidang dimensi-2, *medial axis* ditampilkan dalam bentuk suatu *graph* dimana *node* sebagai titik kunci *medial axis* dan *edge* sebagai jalur *medial axis* yang terikat pada titik-titik kunci. *Edge* dari *graph* tersebut diberi label dengan batas elemen *governing* dari *medial axis*.

*Medial axis* dibangkitkan dalam bentuk *graph* tak berarah,  $G(V,E)$ , dengan masing-masing

*vertex* dalam himpunan  $V$  adalah titik kunci, dan  $e$  adalah *jalur medial axis* yang menghubungkan dua titik kunci, sebagaimana Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 Medial axis suatu domain poligon



Gambar 2 Graph yang dibentuk oleh domain polygom

Sumber : Arinyo, et al. ; 6

Algoritma *tracing path*, dinyatakan sebagai berikut:

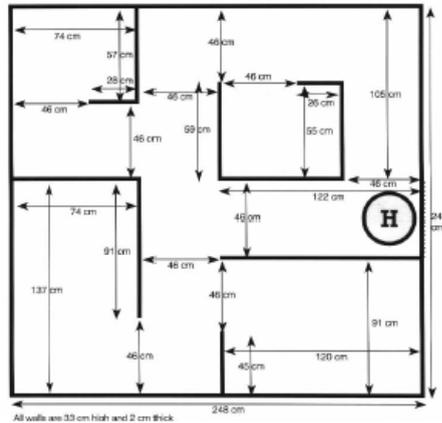
```

algoritma Tracing_jalur_MA
  Inialisasi jalur pertama (d,g1,g2)
  Push jalur(d,g1,g2)
  While not jalur_kosong() do
    Pop jalur(d,g1,g2)
    Trace_jalur (d,g1,g2, list
interferensi)
    If not Disk_akhir(d) then
      Inialisasi jalur_baru
(d,g1,g2, list
interferensi, list jalur_baru)
    For jalur in list jalur_baru do
      Push jalur(d,g1,g2)
    Endfor
  Endif
Endwhile
Endalgoritma
  
```

### METODE

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sketsa

gambar denah gedung satu lantai. Sketsa gambar diadopsi dari lomba rancang robot yang diadakan oleh Dirjen Dikti (Kontes Robot Cerdas Indonesia). Sketsa gambar tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3** Contoh denah gedung sebagai data utama

Metode penelitian yang digunakan adalah: melakukan eksperimen untuk membangun suatu sistem pembelajaran tentang lingkungan di dalam gedung menggunakan program bantu Matlab 5.3. Untuk mengimplementasikan sistem yang dimaksud, dibuat suatu fungsi Matlab yang menggunakan kombinasi algoritma-algoritma berdasar literatur.

Program utama adalah program *medial axis* untuk contoh denah gedung. Denah gedung terdiri dari beberapa ruang bangun/bidang persegi empat, maupun per-segiempat tertutup. Untuk memperoleh denah ruang secara keseluruhan dilakukan proses sebagai berikut:

1. pra-proses gambar denah gedung
  - a. pengambangan
  - b. identifikasi garis
2. pemotongan/*cropping*

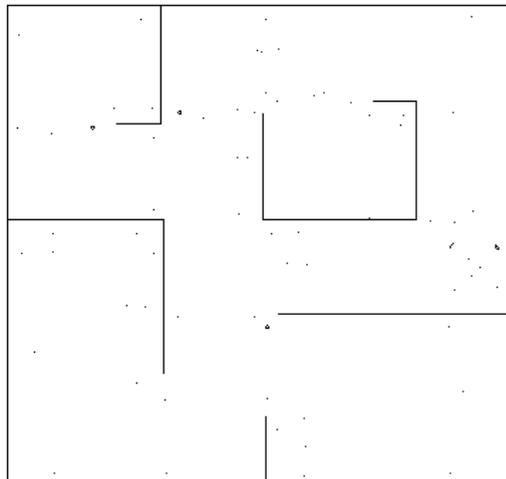
3. proses *medial axis* menggunakan metode *tracing path*.
4. transformasi *graph*
5. proses penggabungan/*merging*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Bidang/Bangun

Proses penentuan batas bidang adalah menentukan batas suatu bangun/bidang berdasar komponen pembentuknya. Bidang yang diolah pada dasarnya merupakan bidang persegiempat, sehingga batas bangunnya berupa garis horisontal dan garis vertikal.

Proses pertama adalah pra proses: proses pengambangan dengan taraf pengambangan 0,156 dan proses penipisan. Hasil pra-proses ditunjukkan dalam Gambar 4, tampak bahwa hasil pra-proses memiliki *noise*. Proses selanjutnya adalah segmentasi. Untuk menghapus *noise* yang terjadi pada proses segmentasi dilakukan filter luas, yaitu membatasi suatu kumpulan piksel, karena suatu kumpulan piksel dikategorikan sebagai garis bila berulang lebih dari atau sama dengan 10 piksel. Ukuran matriks untuk contoh denah gedung adalah 386x400. *Elapsed time* yang diperlukan untuk pra-proses adalah 1,65 detik.



Gambar 4 Hasil pra-proses denah gedung

### Hasil Segmentasi Garis

Proses segmentasi dilakukan dengan menggunakan metode *Run-Length*, yaitu menghitung piksel-piksel yang saling berdekatan. Hasil segmentasi denah ditunjukkan dalam Tabel 1. *Elapsed time* yang diperlukan untuk melakukan segmentasi garis dengan menggunakan fungsi *etime* untuk contoh denah adalah 0,49 detik.

Tabel 1. Hasil Segmentasi Denah.

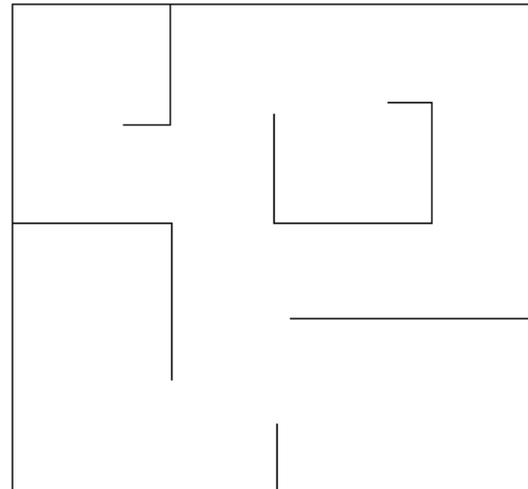
Segmentasi Garis Vertikal							
Nov	1	2	3	4	5	6	7
Vyawal	14	122	124	194	196	302	370
Vxawal	10	10	162	87	302	78	10
Pjv	340	85	110	76	48	85	340
Segmentasi Garis Horizontal							
Noh	1	2	3	4	5	6	7
Hyawal	10	78	94	162	162	229	349
Hxawal	14	272	91	14	194	205	14
Pjh	357	31	32	111	109	166	357

Keterangan:

- Nov = no garis vertikal
- Vyawal = koordinat awal garis vertikal sumbu y
- Vxawal = koordinat awal garis vertikal sumbu x
- Pjv = panjang garis vertikal
- Noh = no garis horisontal
- Hyawal = koordinat awal garis horisontal sb y
- Hxawal = koordinat awal garis horisontal sb x

Pjh = panjang garis horisontal

Untuk mengetahui apakah hasil segmentasi garis dapat merepresentasikan denah (rekonstruksi), maka dilakukan pengujian dengan menerapkan struktur data garis dalam Tabel 1 ke dalam suatu matriks, sehingga diperoleh hasil sebagaimana Gambar 5.



Gambar 5 Hasil rekonstruksi segmentasi garis

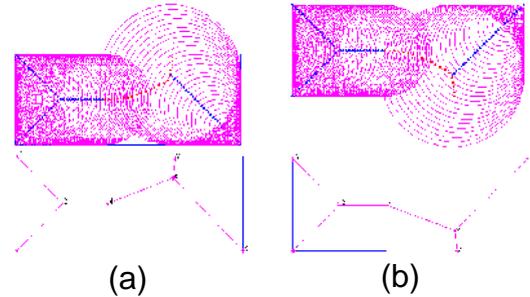
Hasil rekonstruksi menunjukkan matriks hasil rekonstruksi mempunyai kesamaan dengan matriks denah setelah pra-proses dan tanpa *noise*.

### Hasil Pengolahan Denah Menggunakan Metode *Medial Axis Transform*

Pengolahan denah dilakukan dengan menyusun basis pengetahuan untuk kombinasi bentuk bangun segi empat dasar. Respon waktu untuk pengolahan denah menunjukkan hasil yang non linear (polynomial orde dua) sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6, sementara dalam penulisan program menggunakan *time complexity* linear, hal ini diakibatkan dalam eksekusi program Matlab, setiap data direpresetasikan dalam

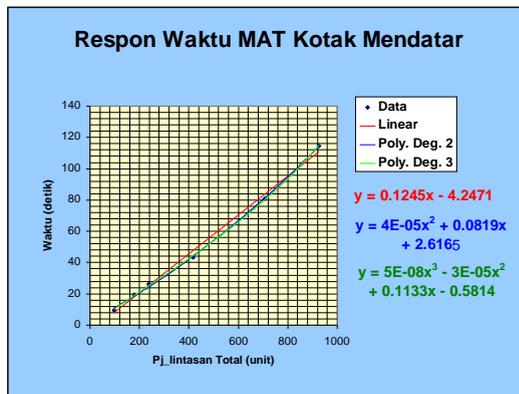
matriks, sehingga terdapat pengaruh terhadap waktu eksekusi program. Kecepatan rata-rata proses transformasi *medial axis transform* untuk bangun kotak mendatar adalah 9,1634 unit/detik, sedangkan untuk bangun kotak tegak adalah 9,0416 unit/detik.

Hasil proses *medial axis transform* untuk bangun kotak yang tidak tertutup bagian atas atau bawah, diperlihatkan pada Gambar 7, karena ada bagian terbuka, maka penyelesaian dilakukan dengan menggunakan metode hiperbolik. Hasil proses *medial axis transform* untuk bangun kotak yang tidak tertutup bagian samping atas atau bawah, diperlihatkan di Gambar 8.

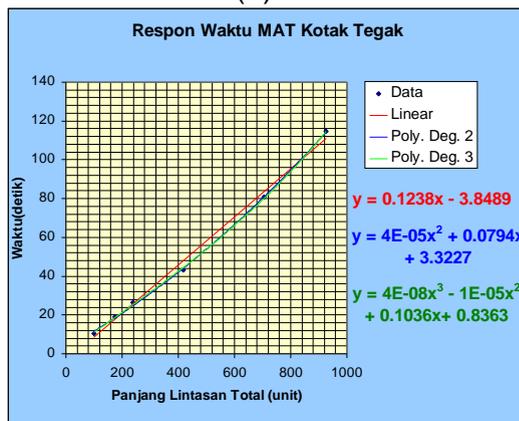


**Gambar 7** Hasil proses *medial axis transform* untuk bangun kotak tak tertutup

- (a) *Medial axis transform* untuk bangun kotak tak tertutup bagian bawah
- (b) *Medial axis transform* untuk bangun kotak tak tertutup bagian atas

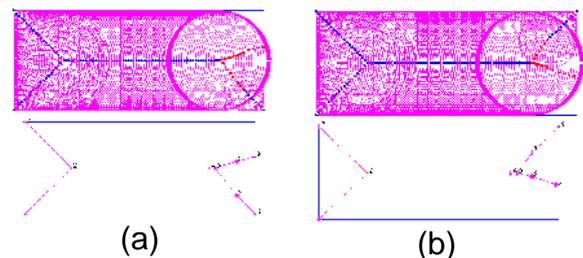


(a)



(b)

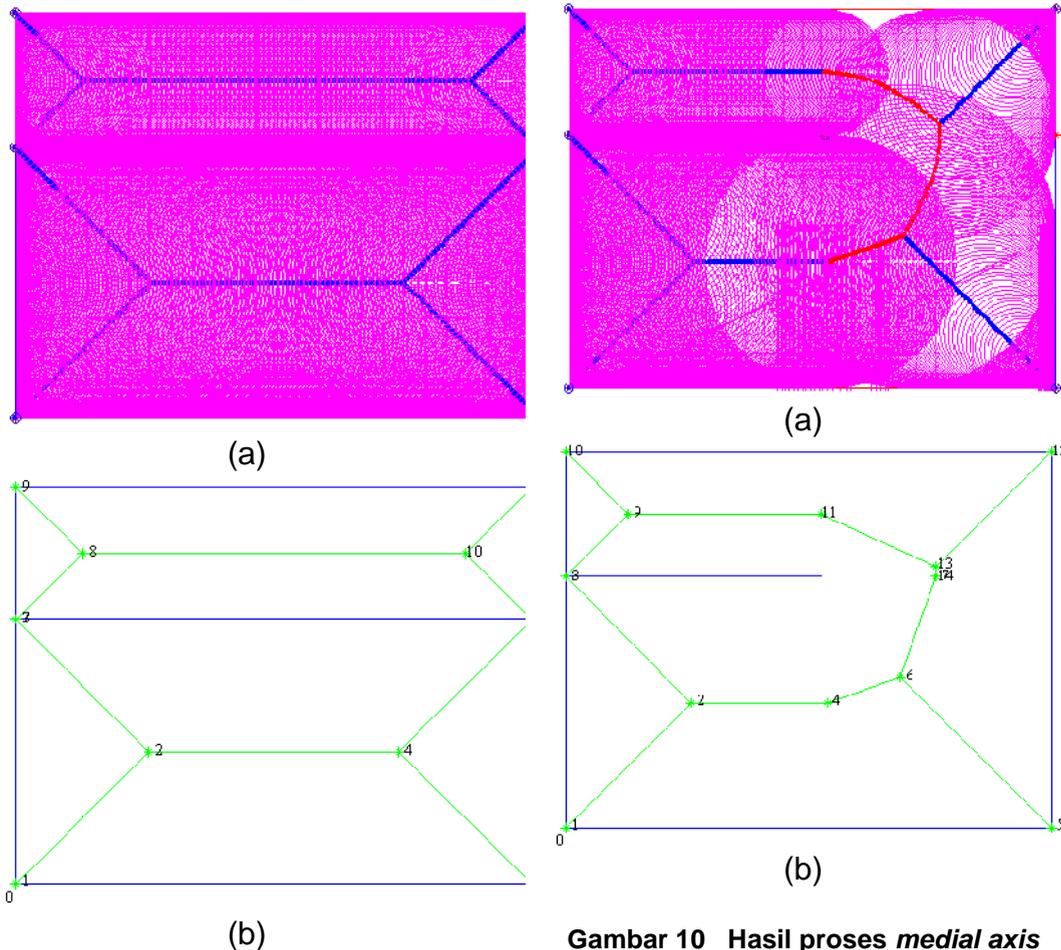
**Gambar 6** Respon waktu proses *medial axis transform* untuk bangun kotak mendatar dan kotak tegak.



**Gambar 8** Hasil proses *medial axis transform* untuk bangun kotak tak tertutup.

- (a) *Medial axis transform* untuk bangun kotak tak tertutup bagian samping bawah
- (b) *Medial axis transform* untuk bangun kotak tak tertutup bagian samping atas

Proses pembentukan *medial axis* untuk dua bangun kotak tertutup ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9** Hasil proses *medial axis transform* untuk dua bangun kotak tertutup

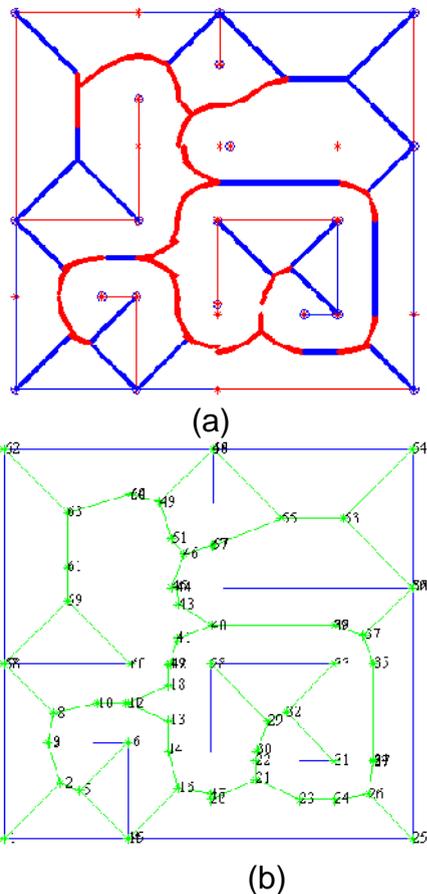
**Gambar 10** Hasil proses *medial axis transform* untuk dua bangun kotak terbuka

- (a) *Medial axis transform* untuk dua bangun kotak
- (b) *Graph* dari dua bangun kotak

- (a) *Medial axis transform* untuk dua bangun kotak terbuka
- (b) *Graph* dari dua bangun kotak terbuka

Proses pembentukan *medial axis* untuk dua bangun kotak tertutup ditunjukkan sebagaimana Gambar 10.

Proses pembentukan *medial axis* untuk contoh1 denah gedung ditunjukkan sebagaimana Gambar 11 (a). Waktu yang diperlukan untuk proses *medial axis transform* contoh denah1 adalah 221,35 detik, dengan panjang lintasan total 2490,6 unit. Tampilan *graph* dari Gambar 11 (b) dapat diwakili dengan suatu matriks *adjacency*, matriks koordinat posisi *vertex*, dan matriks nama *vertex*.



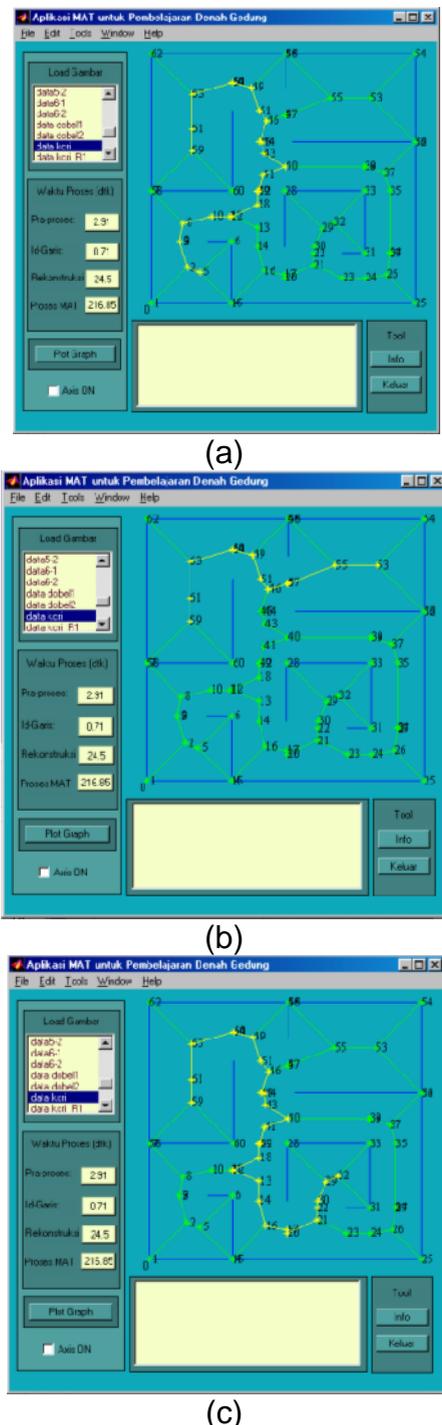
**Gambar 11 Hasil proses medial axis transform untuk contoh denah 1**

- (a) Medial axis transform untuk contoh denah
- (b) Graph dari contoh denah

Aplikasi proses *searching* dapat dilihat dalam Gambar 12 dan 13. Hasil pengujian proses *path searching* contoh denah.

Hasil *path searching* menunjukkan, bahwa *searching* dapat dilakukan dari satu ruang ke ruang lain dapat dilakukan, karena adanya konektivitas antar ruang. Secara keseluruhan, rute ditemukan dalam waktu kurang dari 1 detik. Dengan diketahuinya struktur data *graph* contoh denah, maka proses *path searching* dapat dilakukan dengan sangat cepat, meskipun proses *path tracing* cukup lama. Proses *path tracing* hanya

dilakukan pada saat *load* denah (awal proses). *Path searching* untuk ruang tertutup (simulasi ruang tertutup) ke ruang yang lain tidak bisa dilakukan karena tidak ada konektivitas, sehingga hasil *searching* tidak ada hasil.



**Gambar 12 Hasil searching contoh denah**

- (a). titik awal =59, titik tujuan=5 ;
- (b). titik awal =59, titik tujuan=53;
- (c). titik awal =59, titik tujuan=32;



(a)



(b)



(c)

Gambar 13 Hasil *searching* contoh denah

- (a). titik awal =5, titik tujuan=32;
- (b). titik awal =53, titik tujuan=5;
- (c). titik awal =53, titik tujuan=32

## KESIMPULAN

*Medial axis transform* dapat dipergunakan untuk mencari lintasan (*path tracing*) di dalam gedung, sehingga diperoleh *graph* denah gedung sebagai basis pengetahuan tentang lingkungan di dalam gedung (*map learning*). Respon waktu *medial axis transform* berupa polinomial orde dua.

*Graph* denah gedung dapat diimplementasikan untuk mempermudah proses mencari rute lintasan pergerakan (*path searching*) di dalam gedung yang harus dilalui dari suatu ruang ke ruang yang lain, dengan mempergunakan algoritma  $A^*$ , maka proses pencarian rute memerlukan waktu kurang dari satu detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arinyo, R. Joan, L. Perez and J. Vilaplana. 1996. *Computing The Medial Axis Transform of Polygonal Domains by Tracing Paths*. Preprint. Dept. Llenguatges I Sistemes Informàtics, Universitat Politècnica de Catalunya. Diakses dari [citeseer.ist.psu.edu](http://citeseer.ist.psu.edu), tanggal 9 September 2004.
- Castleman, Kenneth R. 1996. *Digital Image Processing*. New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Fabbri, R., L.F. Estrozi, and L. da F. Costa. 2002. *On Voronoi Diagrams and Medial Axes*. Diakses dari website [citeseer.ist.psu.edu](http://citeseer.ist.psu.edu), tanggal 9 September 2004.
- Jain, Anil K. 1989. *Fundamentals of Digital Image Processing*. New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Munir, Rinaldi. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan*

- Pendekatan Algoritmik.* Bandung: Penerbit Informatika.
- Setalaprak, Vachirasuk, Takashi Uneno, Yasuyuki Kono, and Masatsugu Kidode. 2002. *Topological Map Generation from Simplified Map for Mobile Robot Navigation*. The 16<sup>th</sup> Annual Conference of Japanese Society for Artificial Intelligence.
- Thrun, Sebastian. 1997. *Learning Maps for Indoor Mobile Robot Navigation*. Accepted for publication in Artificial intelligence, preprint submitted to Elsevier Science. Artikel bisa dilihat di [www.ri.edu/pub\\_files/pub1/thrun\\_sebastian\\_1998\\_8/thrun\\_sebastian\\_1998\\_8.pdf](http://www.ri.edu/pub_files/pub1/thrun_sebastian_1998_8/thrun_sebastian_1998_8.pdf)