

SEGMENTASI KANDIDAT NODUL PARU MENGGUNAKAN ACTIVE SHAPE MODEL DAN MATEMATIKA MORFOLOGI

Sri Widodo¹⁾, Kustanto²⁾, Sri Tomo³⁾

¹Akademi Perekam Medik dan Informatika Kesehatan APIKES Citra Medika Surakarta
Jl. KH. Samanhudi 93, Sondakan, Laweyan, Surakarta, Kode Pos: 57147
Telp : (0271) 712826 , Fax : (0271) 724926

^{2,3}Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Sinar Nusantara Surakarta.
Jl. KH. Samanhudi 102, Laweyan, Surakarta, Jawa tengah, Indonesia

E-mail : papa_lucky01@yahoo.com¹⁾, kus_sinus@yahoo.co.id²⁾, tomosri@yahoo.com³⁾
HP: 081 215 19953

Abstrak

Selama beberapa tahun terakhir penelitian tentang deteksi nodul paru masih banyak dibicarakan oleh para peneliti. Secara umum deteksi otomatis nodul paru terdiri dari dua tahapan, yaitu deteksi kandidat nodul dan klasifikasi untuk menentukan nodul. Proses deteksi kandidat nodul dimulai dengan segmentasi pada organ paru. Metode saat ini yang banyak digunakan untuk segmentasi paru dan kandidat nodul dari citra CT scan adalah thresholding dan Active Contour. Kelemahan dari kedua metode tersebut adalah jika nodul tersebut besar dan terletak pada batas tepi paru, bagian paru yang terdapat kelainan atau nodul akan hilang. Pada paper ini kami mengusulkan pendekatan segmentasi kandidat nodul paru pada citra CT Scan melalui dua tahapan yaitu, segmentasi paru dengan menggunakan Active Shape Model (ASM) dan segmentasi kandidat nodul menggunakan matematika morfologi. Hasil segmentasi kandidat nodul menunjukkan bahwa pendekatan segmentasi dengan matematika morfologi mempunyai akurasi 96.8%, sensitifitas 88.2%, dan spesifisitas 99.1%.

Kata Kunci : ASM, Nodul Paru, Matematika morfologi

Abstract

Over the last few years research on the detection of pulmonary nodules is still much discussed by researches. In general, automatic detection of pulmonary nodules consist of two phases, namely the candidate nodule detection and classification to determine the nodule. Nodule candidate detection process begins by segmenting the lung organ. The current method is widely used for lung segmentation and nodule candidates segmentation from CT scan images is thresholding and Active Contour. Disadvantages of these methods is, if nodule is large and located on the border of the lung, there are parts of lung abnormality or nodules will be lost. In this paper we propose a pulmonary nodule candidates segmentation approach on CT scan image that consists of two phases, namely, lung segmentation using Active Shape Model (ASM) and candidate nodule segmentation using mathematical morphology. Candidate nodule segmentation results show that segmentation approach with mathematical morphology has accuracy 96.8 %, sensitivity 88.2 % and specificity 99.1 %.

Keywords : ASM, Pulmonary Nodules, Mathematical Morphology

1. PENDAHULUAN

Nodul Paru merupakan jenis kelainan pada organ paru yang kemungkinan juga dapat menjadi kanker paru. Sedangkan kanker paru dalam arti luas adalah semua penyakit keganasan di paru. Keganasan dapat berasal dari paru sendiri (primer) atau penyebaran (metastasis) tumor dari organ lain [1]. *Computed Tomography* (CT) dianggap sebagai modalitas paling akurat yang tersedia untuk deteksi awal dan diagnosis dari nodul paru.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan [2]-[6], umumnya deteksi nodul secara otomatis terdiri dari dua tahapan, yaitu deteksi kandidat nodul dan klasifikasi untuk menentukan nodul. Deteksi kandidat nodul dimulai dengan segmentasi pada organ paru. Metode saat ini yang banyak digunakan untuk segmentasi bidang paru dan kandidat nodul dari citra CT scan adalah *thresholding* dan *Active Contour*. Kedua metode ini mengandalkan

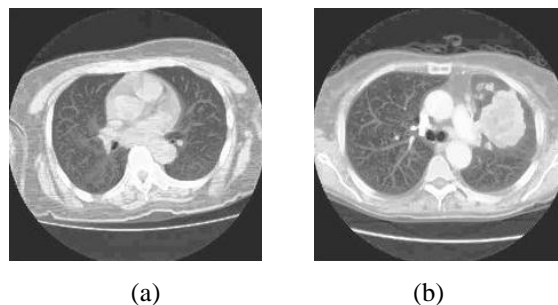
kontras yang besar dari nilai keabuan antara parenkim paru dan jaringan sekitarnya. Penelitian tentang segmentasi paru antara lain penelitian dari Nomura, dkk, 2007, segmentasi paru menggunakan *gray-scale thresholding*, pelabelan komponen, dan proses morfologi. Penelitian berikutnya adalah penelitian dari Dolejs. Metode yang digunakan dalam mendeteksi calon nodul paru adalah matematika morfologi. Deteksi kandidat nodul dilakukan dengan cara pengurangan citra mask hasil segmentasi dengan morfologi (*lung mask*) dengan citra mask yang telah dilakukan proses morfologi closing (*close lung mask*). Setelah objek yang diduga sebagai nodul ditentukan, langkah berikutnya adalah segmentasi lokal dengan thresholding. Kelemahan dari kedua metode tersebut adalah jika nodul tersebut besar dan terletak pada batas tepi paru, menyebabkan batas tepi paru tidak jelas, sehingga jika dilakukan segmentasi, nodul tersebut tidak akan masuk dalam citra paru (bagian paru yang terdapat nodul akan hilang). Hal ini berarti proses segmentasi organ paru dan kandidat nodul dianggap gagal.

Pendekatan yang dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan melakukan segmentasi paru dengan *Active Shape Model* (ASM), sehingga bentuk paru harus diinduksi tanpa bergantung hanya pada informasi tingkat keabuan. Sedangkan segmentasi calon nodul dengan menggunakan matematika morfologi. Metode *Active Shape Model* yang digunakan adalah metode dari Tcood [7]. Metode ini terdiri dari aktivitas : membentuk model menggunakan posisi penunjuk (*landmark*) dari citra data training, pelatihan model, pencarian citra. Hasil akhir dari proses segmentasi ASM adalah citra paru yang terpisah dengan jaringan disekitarnya. Proses selanjutnya adalah segmentasi kandidat nodul dengan matematika morfologi. Pertama citra paru hasil segmentasi dikomplemenkan, sehingga menghasilkan citra paru negatif. Langkah selanjutnya adalah pengurangan antara citra paru dengan citra paru negatif. Proses komplemen dilakukan sebanyak dua kali. Selanjutnya dilakukan proses morfologi. Hasil akhir berupa citra yang dicurigai sebagai nodul (kandidat nodul). Penelitian kami hanya terbatas pada segmentasi kandidat nodul saja, belum sampai proses klasifikasi. Untuk menguji keakuratan metode yang diusulkan, hasil segmentasi yang diusulkan dibandingkan dengan segmentasi secara manual dari groundtruth. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan, dari 20 citra CT Scan pasien menunjukkan bahwa pendekatan segmentasi dengan ASM dan Matematika Moefologi mempunyai akurasi 96,8%, sensitifitas 88,2%, dan spesifisitas 99.1%.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Dataset yang digunakan adalah citra CT Scan paru dari 20 pasien. Pencitraan dilakukan Rumah Sakit Dr. Moewardi Surakarta. Orientasi irisan axial dengan satu pasien diambil satu irisan, sehingga total irisan yang digunakan dalam percobaan berjumlah 20 irisan, menggunakan format jpg. Ukuran Citra 505x427 piksel, dan ketebalan 0.5–10 mm. Contoh citra CT paru normal dan tidak normal dengan irisan axial ditunjukkan pada Gambar 1.



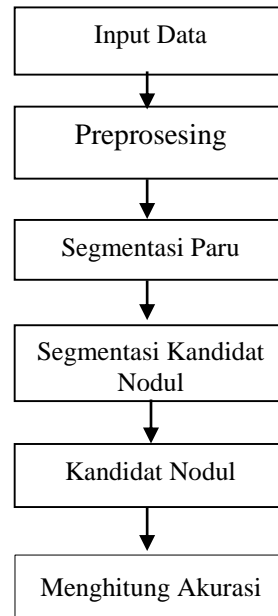
(a) Citra Ct Scan Paru Normal, (b) CT Scan Paru Tidak Normal

2.2. Metode

Tahapan segmentasi kandidate nodul dapat dijelaskan pada gambar 2 sebagai berikut:

a. Preprocessing.

Pre-prosesing citra dengan menggunakan histogram equalization, yang bekerja dengan memperbaiki kontras dari citra dengan meregangkan (*stretching*) distribusi intensitas dari citra atau merubah nilai pada colormap yang digunakan. Suatu citra dapat diproduksi dengan perkiraan menyesuaikan histogram spesifik. Pre-prosesing selanjutnya adalah proses filtering dengan menggunakan Gaussian Lowpass Filter. Ini dimaksudkan untuk menghilangkan noise (derau) dan menghaluskan fitur dari citra.



Gambar 2. Langkah-langkah Metode Yang Diusulkan

b. Segmentasi Paru

Metode segmentasi paru yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Active Shape Model* (ASM). Pada penelitian ini kami tidak membahas tentang segmentasi paru. Hal ini dikarenakan tahap segmentasi paru sudah kami bahas di paper sebelumnya [9].

c. Segmentasi Kandidat Nodul

Tahapan-tahapan dalam segmentasi kandidat nodul menggunakan matematika morfologi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengurangan Citra Paru Dengan Citra Paru Negatif

Proses ini dilakukan untuk mendapatkan citra kandidat nodul paru yang lebih dominan (kontras) dengan citra paru, sehingga memudahkan dalam deteksi tepi nodul paru. Proses pengurangan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: Citra paru hasil segmentasi dengan ASM dilakukan proses komplemen, yang akan menghasilkan citra paru negatif. Komplemen pada citra biner, nilai nol menjadi satu dan sebaliknya. Komplemen dari intensitas atau citra RGB, didapatkan dari hasil pengurangan nilai piksel maksimum (255) dikurangi dengan nilai pada citra. Keluaran dari komplemen suatu citra adalah jika area citra gelap menjadi terang, dan sebaliknya. Pengurangan antara citra paru dengan citra paru negatif. Hasil pengurangan di atas akan dilakukan proses morfologi.

2. Deteksi Tepi

Proses ini bertujuan untuk mendapatkan batas tepi nodul paru yang jelas. Deteksi tepi paru merupakan operasi yang mendeteksi perubahan tingkat keabuan yang signifikan dari citra paru. Perubahan tingkat intensitas diukur oleh suatu gradien citra. Misalnya suatu citra paru $f(x,y)$ adalah fungsi dua dimensi, maka vektor gradien dari x dan y masing-masing adalah merupakan turunan pertama terhadap x dan y yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan.

$$G = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Operator gradien menghitung perubahan intensitas tingkat keabuan dan arah perubahan yang terjadi. Perubahan tersebut dihitung melalui perbedaan nilai dari tetangga-tetangga piksel tersebut. Dalam citra dua dimensi, gradien didekati menggunakan persamaan 2.

$$G = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x+1,y) - f(x,y) \\ f(x,y+1) - f(x,y) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Pada persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk matrik

$$G_x = [-1 \ 1] \quad (3)$$

Dan

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sedangkan besaran dari gradien dapat dihitung menggunakan beberapa model persamaan, salah satunya ditunjukkan pada persamaan 5.

$$G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

Deteksi tepi yang digunakan pada penelitian ini adalah deteksi tepi dengan metode konvolusi prewitt. Hal ini dikarenakan, operasi ini biasanya menghasilkan dua buah citra atau gambar, yang satu memperkirakan ukuran dari gradient tepi lokal dan yang satu memperkirakan orientasi tepi dari citra yang dimasukkan. Deteksi tepi kandidat nodul paru menggunakan konvolusi prewitt, citra kandidat nodul dikonvolusikan menggunakan sebuah set matriks konvolusi, dimana setiap matriks sensitif terhadap batas gambar atau citra dalam orientasi yang berbeda. Ukuran yang digunakan Prewitt adalah 3x3 dengan elemen horisontal yang ditengah untuk G_x sama dengan 0 dan elemen vertikal yang di tengah untuk G_y juga sama dengan 0, seperti diperlihatkan pada persamaan 6 dan 7 di bawah ini.

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dan

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

3. Threshold

Tujuan dari proses ini adalah mempertegas batas tepi yang terbentuk pada proses deteksi tepi. Thresholding merupakan proses pemisahan piksel-piksel berdasarkan derajat keabuan yang dimilikinya. Piksel yang memiliki derajat keabuan lebih kecil dari nilai batas yang ditentukan akan diberikan nilai 0, sementara piksel yang memiliki derajat keabuan yang lebih besar dari batas akan diubah menjadi bernilai 1.

4. Dilasi

Dilasi dilakukan untuk membuat batas tepi yang dihasilkan dari proses sebelumnya kelihatan seperti garis yang menyambung atau tidak putus-putus. Fungsi dilatasi adalah menambahkan piksel pada pinggiran tiap objek biner yaitu daerah yang memiliki nilai 1. Dimana dilatasi menambahkan 8 piksel yang saling berhubungan pada sekeliling objek. Dan dilasi merupakan proses penggabungan titik-titik latar (0) menjadi bagian dari objek (1). Penggunaan dilasi adalah letakkan titik poros S pada titik A. Beri angka 1 untuk semua titik (x,y) yang terkena atau tertimpa oleh struktur S pada posisi tersebut. Persamaan dilasi ditunjukkan pada persamaan 8 di bawah ini:

$$D(A, S) = A + S \quad (8)$$

5. Mengisi Daerah Gambar

Setelah proses dilasi, akan terbentuk pola-pola yang mempunyai piksel-piksel yang saling berhubungan. Pola-pola yang terbentuk itulah yang dinamakan daerah gambar. Untuk mengisi daerah gambar digunakan algoritma berdasarkan rekonstruksi morfologi. Yang dimaksud daerah gambar adalah daerah piksel gelap yang dikelilingi oleh piksel lebih terang. Setelah lokasi gambar ditentukan, operasi selanjutnya adalah mengisi lokasi (daerah gambar) dengan menggunakan 4 koneksi tetangga latar belakang untuk citra input 2-D dan 6-Koneksi tetangga latar belakang untuk 3-D input. Output dari proses ini adalah daerah yang dikelilingi oleh piksel yang berwarna terang akan mempunyai nilai satu.

6. Erosi

Fungsi erosi adalah menghilangkan 8 piksel dari objek biner yang berhubungan dengan pinggiran dari objek. Erosi merupakan penghapusan titik objek (1) menjadi bagian dari latar (0). Penggunaan erosi adalah letakkan titik poros S pada titik A tersebut. Jika ada bagian dari S yang berada di luar A maka titik poros dihapus atau

dijadikan latar. Hasil dari proses ini adalah daerah gambar yang telah diberi nilai 1, sehingga kelihatan terang. Erosi ditunjukkan dengan persamaan 9 di bawah ini.

$$E(A,S)=A \times S \quad (9)$$

7. Perkalian

Perkalian citra dilakukan untuk mendapatkan citra kandidat nodul final. Proses ini merupakan perkalian antara daerah gambar hasil proses erosi dengan citra CT asli. Hasilnya adalah citra kandidat nodul yang bentuknya seperti daerah gambar pada proses erosi. Secara matematis dapat dimodelkan menggunakan persamaan 10 di bawah ini.

$$\forall f(x,y); Nf(x,y) = f(x,y) * Th \quad (10)$$

$$\forall Nf(x,y); \text{if } Nf(x,y) > 255 \text{ then } Nf(x,y) = 255$$

Dengan

$$Th \geq 1$$

$F(x,y)$ adalah citra asal

$Nf(x,y)$ adalah citra hasil perkalian antara intensitas citra asal dengan nilai Th . Pada penelitian ini proses perkalian merupakan perkalian antara citra mask kandidat nodul hasil hasil proses erosi, dengan citra hasil pengurangan komplemen.

d. Menghitung Akurasi, Sensitivitas Dan Spesifisitas.

Untuk menghitung akurasi, sensitivitas dan spesifisitas dari segmentasi organ paru dilakukan dengan cara menambahkan data citra hasil segmentasi menggunakan ASM dengan citra hasil segmentasi oleh ground truth yang diubah menjadi tipe data *unsigned integer* (uint8). Proses segmentasi organ paru oleh groundtruth dilakukan dengan menandai pada batas tepi paru pada citra CT Scan asli menggunakan program *Paint*. Selanjutnya piksel-piksel yang terdeteksi dikelompokkan ke dalam 4 kelompok : TP (*true positive*), TN (*true negative*), FP (*false positive*) dan FN (*false negative*). TP adalah piksel paru yang terdeteksi dengan benar. TN adalah piksel bukan paru yang teridentifikasi dengan benar. FP adalah piksel bukan paru yang teridentifikasi sebagai piksel paru. Sedangkan FN adalah piksel paru yang tidak terdeteksi. Kemudian untuk menguji performa dari metode segmentasi yang diusulkan, dengan cara menghitung akurasi, sensitivitas dan spesifisitas. Akurasi menunjukkan performa dari metode yang diusulkan. Sensitivitas menunjukkan proporsi piksel paru yang terdeteksi dengan benar. Sedangkan spesifisitas menunjukkan proporsi piksel bukan paru yang tidak salah terdeteksi sebagai paru.

Sedangkan untuk menghitung akurasi segmentasi kandidat nodul, dilakukan dengan cara, membandingkan hasil segmentasi kandidat nodul menggunakan matematika morfologi dengan hasil penentuan manual oleh groundtruth. Untuk segmentasi kandidat nodul paru, dilakukan dengan menandai citra yang dicurigai sebagai kelainan (nodul). Selanjutnya hasil analisis dikelompokkan ke dalam 4 kelompok : TP (*true positive*), TN (*true negative*), FP (*false positive*) dan FN (*false negative*). TP adalah citra nodul yang terdeteksi dengan benar. TN adalah citra bukan nodul yang teridentifikasi dengan benar. FP adalah piksel bukan nodul yang teridentifikasi sebagai piksel nodul. Sedangkan FN adalah citra nodul yang tidak terdeteksi. Persamaan dari akurasi, sensitivitas dan spesifisitas adalah sebagai berikut :

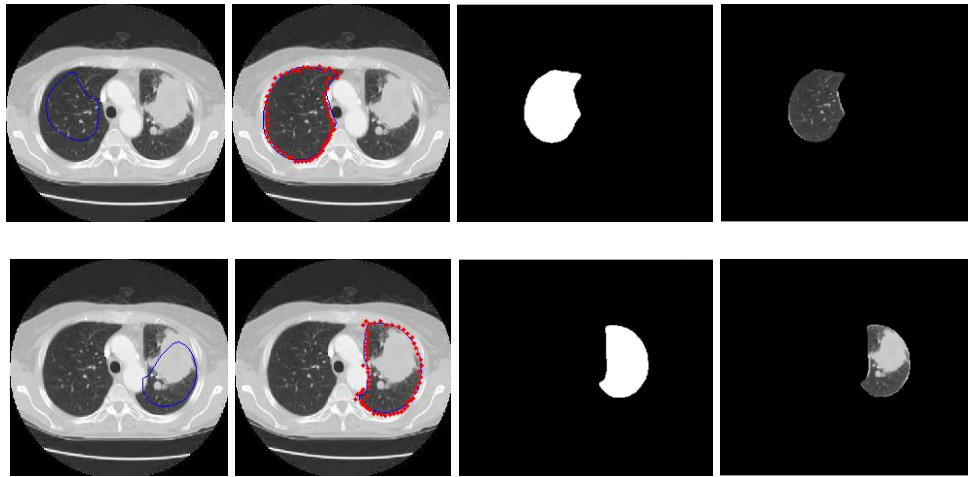
$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (11)$$

$$Sensitivitas = \frac{TP}{TP+FN} \quad (12)$$

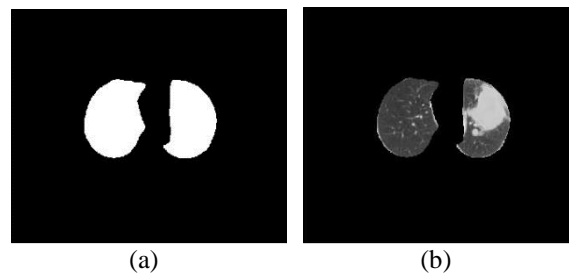
$$Spesifisitas = \frac{TN}{TN+FP} \quad (13)$$

3. EKSPERIMEN DAN HASIL

Percobaan pertama adalah segmentasi satu irisan citra CT paru dengan bentuk ketidaknormalan yang besar (melampaui batas paru). Hasil dari proses segmentasi ASM ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Urutan Proses Segmentasi Dengan ASM
Gambar Atas Dari Kiri Ke Kanan adalah Segmentasi Paru Kanan, Gambar Bawah Dari Kiri Ke Kanan adalah Segmentasi Paru Kiri



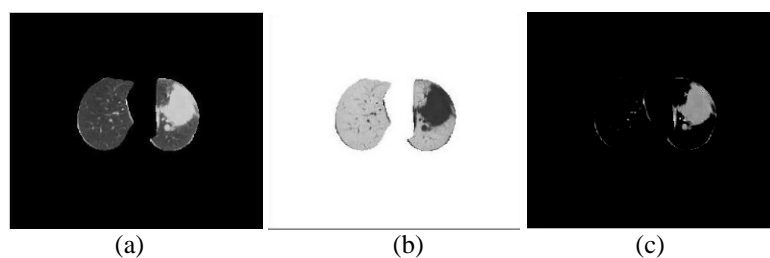
(a) (b)
Gambar 4. Hasil Akhir Segmentasi Paru
(a) Citra Kontour Paru, (b) Citra Paru Final

Hasil dari segmentasi organ paru di atas dapat diketahui bahwa segmentasi dengan ASM mempunyai akurasi paling tinggi dibandingkan dengan metode *thresholding* maupun *active contour*. Hasil perhitungan akurasi dari tiga metode yang digunakan dalam percobaan di atas dapat dilihat pada Tabel 1.

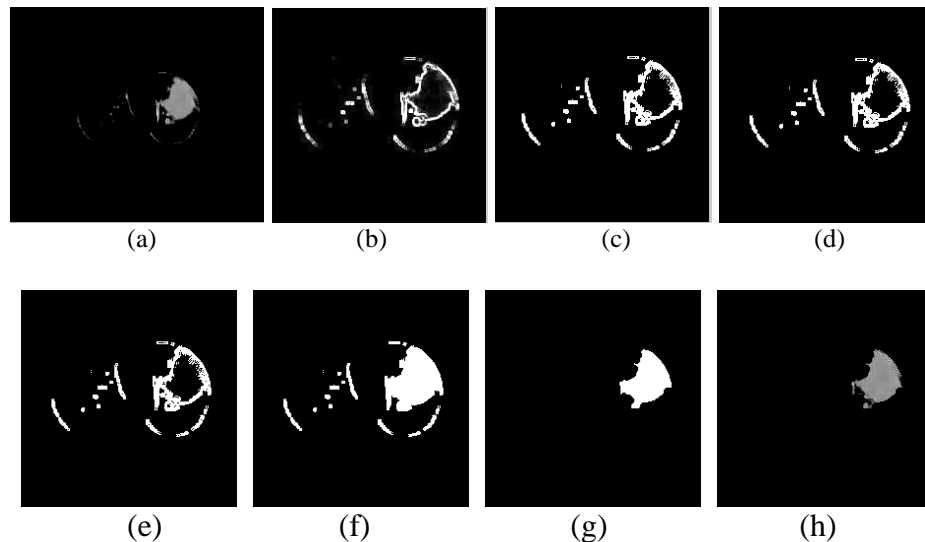
Tabel 1. Akurasi Sensitifitas dan Spesifisitas Metode Yang Digunakan

| Metode Segmentasi | Akurasi | Sensitifitas | Spesifisitas |
|-------------------|---------|--------------|--------------|
| Thresholding | 92.6 | 96.3 | 92 |
| Active Contour | 83 | 98.2 | 75 |
| ASM | 94.6 | 90.2 | 95.9 |

Hasil dari proses segmentasi kandidat nodul dengan morfologi dari citra di atas dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini:



(a) (b) (c)
Gambar 5. Proses Komplemen
(a) Citra Paru , (b) Citra Negatif, (c) Citra Hasil Pengurangan Antara Citra a dan Citra b.



Gambar 6. Proses Segmentasi Kandidat Nodul Paru

(a) Citra Hasil Pengurangan, (b) Citra Hasil Deteksi Tepi Dengan Konvolusi Prewitt, (c) Citra Threshold Dengan Nilai Threshold 60, (d) Citra Hasil Proses erosi, (e) citra Hasil Proses Dilasi Dengan Nilai : 1.5, (f) Citra Hasil Proses Masking , (g) Citra kontur Hasil Segmentasi, (h) Citra Kandidat Nodul.

Hasil akurasi segmentasi kandidat nodul paru menggunakan matematika morfologi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Akurasi Sensitifitas dan Spesifisitas Segmentasi Kandidat Nodul

| Metode Segmentasi | Akurasi % | Sensitifitas % | Spesifisitas % |
|-------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Matematika Morfologi | 96.8 | 88.2 | 99.1 |

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1. Simpulan

Segmentasi dengan ASM dapat berhasil mensegmentasi paru yang mempunyai bentuk penyakitnya besar yang mengakibatkan batas tepi paru tidak jelas, yang disebabkan nilai kontras yang rendah. Segmentasi kandidat nodul dengan operasi morfologi berhasil mensegmentasi citra yang dicurigai sebagai nodul, bahkan nodul yang menempel pada arteri, yang menurut beberapa peneliti sulit dilakukan. Selain itu, dengan metode yang diusulkan di atas, dapat melakukan segmentasi kandidat nodul pada paru kiri dan kanan sekaligus. dan Segmentasi kandidat nodul menggunakan Matematika Morfologi mempunyai akurasi 96,8%, sensitifitas 88,2%, dan spesifisitas 99.1%.

4.2. Saran

Penelitian yang dilakukan hanya terbatas sampai segmentasi kandidat nodul paru. Untuk membuktikan bahwa kandidat nodul adalah benar nodul paru atau bukan maka harus dilakukan proses deteksi nodul, menggunakan metode klasifikasi. Hasil dari segmentasi kandidat nodul sangat berpengaruh terhadap keberhasilan proses deteksi nodul.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Jusuf A, Harryanto A, Syahrudin E, Endardjo S, Mudjiantoro S, Sutandio N, 2005, Type of lung cancer non-small cell carcinoma. National guidelines for diagnosis and management in Indonesia, 2005. PDPI dan POI, Jakarta, 2005.
- [2] D. Cascio, S. C. Cheran, A. Chincarini, G. De Nunzio, 2007, Automated Detection of Lung Nodules in Low-dos Computed Tomography, International Journal of Computer assisted Radiology and Surgery, Vol 2, Supplement 1, June 2007, pp.357-359.
- [3] Heidi C Roberts, Anna Walsham, Errol Colak, Hany Kashani, Chris Mongiardi, Demetris Patsios, 2007, The Utility of Computer-aided-detection for the Assessment of Pulmonary Arterial Filling defects at CT Angiography, University Healt Network, Toronto, ON, Canada, International Journal of Computer assisted Radiology and Surgery, Vol 2, Supplement 1, June 2007, pp.360-362.

- [4] Ilaria Gori, 2007, A Multi-Scale Approach to Lung Nodule detection in Computed Tomography, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pisa Italy, International Journal of Computer assisted Radiology and Surgery, Vol 2, Supplement 1, June 2007, pp333-335.
- [5] Martin Dolejš, Jan Kybic, The Lung TIME Annotated Lung Nodule Dataset and Nodule Detection Framework, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic.
- [6] Yukihiro Nomura, Haruhiko Itoh, Eriko Maeda, Yoshitaka Masutani, 2001, Departement of Radiology, The University of Tokyo Hospital, International Journal of Computer assisted Radiology and Surgery, Vol 2, Supplement 1, June 2007.
- [7] T. F. Cootes, A. Hill, C. J. Taylor, and J. Haslam, 1994, The use of active shape models for locating structures in medical images, Image Vis. Computing, vol. 12, no. 6, pp. 355–366, 1994.
- [8] T.F.Cootes, C.J.Taylor, D.H.Cooper, and J.Graham, 1995, Active Shape Models- their Training and Application, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 61, No.1, January 1995, pp.38-59.
- [9] Sri Widodo, Wijiyanto, 2013, Lung Field Segmentation On Computed Tomography Image Using Active Shape Model, Jurnal Kursor, Universitas Trunojoyo, Volume 7, Nomor 2, Juli 2013, pp 99-108.