

PENGUKURAN KETEBALAN TULANG KORTIKAL PADA CITRA PANORAMA GIGI BERBASIS MODEL

Dini Adni Navastara¹⁾, Irna Dwi Anggraeni²⁾, dan Agus Zainal Arifin³⁾

^{1, 2, 3)} Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya

e-mail: dini_navastara@if.its.ac.id¹⁾, irna11@mhs.if.its.ac.id²⁾, agusza@cs.its.ac.id³⁾

ABSTRAK

Pengukuran ketebalan tulang kortikal pada citra panorama gigi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendiagnosa osteoporosis. Ketebalan tulang kortikal pada gigi merupakan predictor penting untuk mengetahui kualitas kepadatan tulang. Namun, pengukuran ketebalan tulang kortikal pada citra panorama gigi masih dilakukan secara manual oleh ahli medis. Penelitian ini mengusulkan sebuah sistem otomatis untuk mengukur ketebalan tulang kortikal pada citra panorama gigi berbasis model profil. Pengukuran ketebalan tulang kortikal terdiri dari 5 tahapan yaitu ekstraksi fitur menggunakan multiscale line operator dan gradient orientation analysis pada citra Region Of Interest (ROI), segmentasi tulang kortikal, deteksi centerline pada tulang kortikal, pemodelan profil tulang kortikal, dan estimasi tebal tulang kortikal. Metode ini dievaluasi menggunakan 30 citra panorama gigi. Berdasarkan hasil uji coba, rata-rata akurasi segmentasi tulang kortikal pada ROI paling kiri, ROI kiri-tengah, ROI kanan-tengah, dan ROI paling kanan secara berurut-turut sebesar 95.41%, 89.96%, 95.12%, dan 93.50%. Persentase rata-rata selisih ketebalan tulang kortikal antara sistem dan ground truth menggunakan uji-t dengan 95% confidence interval sebesar 96.65%.

Kata Kunci: ketebalan tulang kortikal, citra panorama gigi, centerline, segmentasi, model profil.

ABSTRACT

Measurement of cortical bone width on dental panoramic radiographs is one of methods for diagnosing osteoporosis. Cortical bone width of dental is an important predictor to detect the quality of bone density. However, the cortical bone width on dental panoramic radiograph is measured manually by radiologist. This research proposes an automatic system to measure the cortical bone width on dental panoramic radiographs based on profile model. Cortical bone width measurement consists of 5 steps, such as feature extraction using multiscale line operator and gradient orientation analysis on ROI images, segmentation of cortical bone, centerline detection on cortical bone, modelling of the cortical bone profile, and cortical bone width estimation. This method is evaluated by using 30 dental panoramic radiograph images. Based on the experimental results, mean accuracy of cortical bone segmentation on left ROI, left-center ROI, right-center ROI, and right ROI are 95.41%, 89.96%, 95.12%, and 93.50%, respectively. The average percentage of difference in the width of cortical bone between system and ground truth using t-test with 95% confidence interval of 96.65%.

Keywords: cortical bone width, dental panoramic radiographs, centerline, segmentation, profile model.

I. PENDAHULUAN

OSTEOPOROSIS adalah penyakit yang ditandai dengan rendahnya massa tulang dan kerusakan struktur jaringan tulang. Jumlah kasus patah tulang pinggul yang disebabkan oleh osteoporosis di seluruh dunia meningkat dari sekitar 1,3 juta pada 1990 dan diperkirakan meningkat menjadi 4,5 juta pada 2050 [1]. Oleh sebab itu, deteksi dini risiko osteoporosis dapat membantu mengurangi indikasi patah tulang.

Pengukuran kualitas tulang dapat dilakukan melalui pengukuran kepadatan mineral tulang atau *Bone Mineral Density* (BMD). Alat yang banyak digunakan dan diakui oleh WHO untuk mengukur kualitas tulang adalah *Dual energy X-ray Absorptometry* (DXA). Alat ini dijadikan sebagai *Gold Standard* karena mempunyai radiasi yang rendah dan akurasi yang tinggi. Namun, biaya untuk penggunaan alat ini cukup mahal, tidak banyak tersedia dan penyebarannya sangat terbatas [1]. Sehingga orang tidak akan memeriksa menggunakan alat ini kecuali jika sudah terjadi keluhan. Pada saat itu kebanyakan kualitas tulang mereka sudah sangat parah sehingga penanganannya lebih sulit. Di lain sisi, umumnya orang secara rutin mengunjungi dokter gigi untuk melakukan perawatan gigi ataupun pengobatan. Pada proses ini, seorang dokter gigi akan sangat mudah sekali mendapatkan data panorama gigi.

Ketika kualitas tulang seseorang menurun, tulang-tulang yang sering terpengaruh antara lain tulang belakang, pangkal paha, pergelangan tangan, serta tulang rahang (leher kondilus (29%), angulus mandibula (24%), dan symphysis (22%)). Penurunan kualitas tulang ini sebagian besar disebabkan oleh osteoporosis. Penurunan nilai BMD pada tulang pinggul, tulang belakang, dan tulang lengan berkorelasi dengan gigi dan ketebalan tulang kortikal pada

tulang rahang bawah [1].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Devlin [2] mengenai perbandingan *mandibular cortical width* (MCW) dan *cortical index* menunjukkan bahwa pengukuran MCW merupakan area penelitian yang lebih baik dibandingkan pengukuran *cortical index* untuk meningkatkan akurasi deteksi osteoporosis. Pada penelitian sebelumnya [3], pengukuran MCW dilakukan secara semi-otomatis dan masih memerlukan bantuan manusia pada beberapa bagian metode pengukuran sehingga berpotensi tidak konsisten. Selain itu, pada penelitian tersebut MCW hanya diukur pada satu titik. Sehingga jika pada titik tersebut terdapat noise yang tidak dapat dihilangkan, maka berpotensi terjadi kesalahan pada pengukuran. Penelitian lain telah dilakukan oleh Fraz dkk mengenai pengukuran ketebalan pembuluh darah retina berbasis model profil [4]. Pelokalisasi dalam pengukuran ketebalan retina dilakukan pada seluruh profil yang terbentuk. Profil-profil terbentuk di sepanjang pembuluh darah retina dan tegak lurus terhadap arah pembuluh.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sebuah sistem pengukuran tulang kortikal pada citra panorama gigi berbasis model profil dari tulang kortikal. Proses pengukuran tulang kortikal dimulai dari penentuan ROI pada citra panorama gigi di sebelah kanan dan kiri rahang bawah yang berisi tulang kortikal, ekstraksi fitur menggunakan *multiscale line operator* dan *gradient orientation analysis* (GOA), segmentasi tulang kortikal, pendeteksian *centerline* pada tulang kortikal, pemodelan profil tulang kortikal, dan estimasi ketebalan tulang kortikal. Penelitian ini diharapkan memberikan akurasi yang baik dalam segmentasi tulang kortikal sehingga dapat memberikan estimasi pengukuran ketebalan tulang kortikal secara akurat dan presisi.

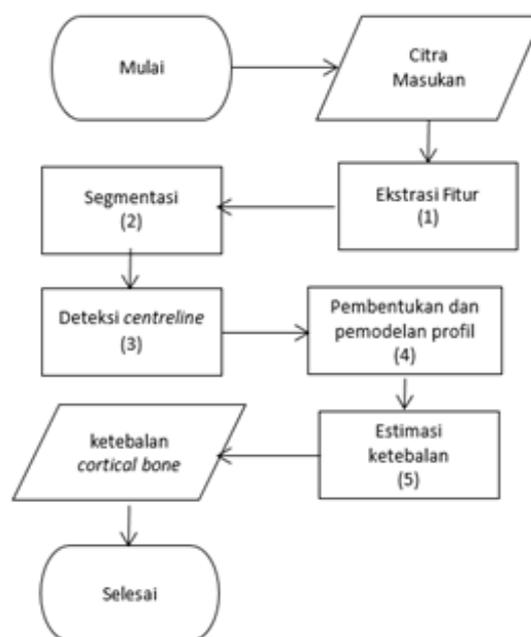
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari 5 tahapan, yaitu: ekstraksi fitur, segmentasi, deteksi *centerline*, pembentukan dan pemodelan profil, dan estimasi ketebalan tulang kortikal. Diagram alir sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

A. Ekstraksi Fitur

Data yang digunakan sebanyak 30 citra panorama gigi dari pasien wanita *menopause* Indonesia yang merupakan dataset dari Rumah Sakit Gigi dan Mulut Universitas Airlangga (UNAIR). Dari citra panorama gigi dilakukan penentuan ROI sebanyak empat tempat, masing-masing bagian paling kiri, kiri-tengah, kanan-tengah, dan paling kanan. Setiap ROI memiliki ukuran sebesar 264×264 piksel. Pemilihan ROI dilakukan sepanjang tulang kortikal yaitu tulang tepi bawah dari rahang bawah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Bagian yang berbentuk persegi merupakan ROI sebanyak 4 buah yang digunakan dalam uji coba.

Proses ekstraksi fitur dilakukan menggunakan metode *multiscale line operator* dan *gradient orientation analysis* (GOA). Hasil dari kedua ekstraksi fitur tersebut digabungkan dengan cara pengalihan aritmatika yang bertujuan untuk memperkuat intensitas dari kedua fitur.



Gambar 1. Diagram alir sistem pengukuran ketebalan tulang kortikal

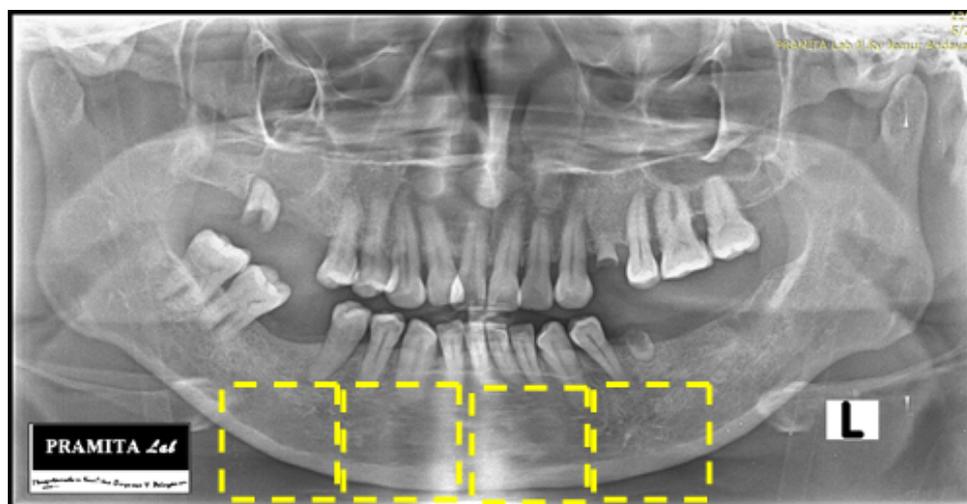
Metode *line operator* bekerja seperti operasi konvolusi citra, yaitu menggunakan sebuah *window* berukuran $n \times n$ yang berfungsi sebagai *template* yang digeser pada seluruh citra sehingga dapat memproses semua piksel. *Window* tersebut berisi beberapa buah garis berbeda yang diputar dengan pusat perputaran di tengah *window*. Ada dua mekanisme yang berbeda dalam melakukan perputaran garis tersebut. Mekanisme yang dipakai dalam penelitian ini adalah memutar garis beserta dengan *window*-nya. Masukan untuk metode ini merupakan citra yang telah melalui proses pelevelan *image pyramid*.

Image pyramid adalah sekumpulan citra yang berasal dari citra yang sama yang di-*subsampling* dengan faktor tertentu menjadi beberapa *level*. *Level nol* berisi citra dengan ukuran asli. *Level satu* berisi citra pada *level nol* yang di-*subsampling* ke ukuran yang lebih kecil. *Level dua* berisi citra pada *level satu* yang di-*subsampling* ke ukuran yang lebih kecil lagi. Proses tersebut dilakukan terus-menerus secara rekursif sebanyak beberapa *level* hingga terbentuk susunan citra yang menyerupai sebuah piramida. Citra yang berada pada *level* tertinggi akan mengalami pengurangan ukuran terbesar. Faktor *subsampling* yang umum digunakan adalah 0.5 sehingga citra di *level* yang lebih tinggi akan dikecilkan dengan ukuran setengah kali ukuran citra asalnya. Jika citra yang diperkecil pada setiap *level* dikembalikan ke ukuran semula, maka akan tampak hilangnya sejumlah detil halus citra, bergantung pada *level* citra tersebut berada. Dengan menghilangkan sejumlah detil halus tersebut, akan tersisa detil-detil kasar yang merupakan informasi yang berbeda dari citra tersebut. *Level* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *level 3* karena tulang kortikal sangat tampak jelas, detail garis di tengah area tulang kortikal menjadi pudar, dan berbeda dengan *background*. Citra hasil *multiscale line operator* dapat dilihat pada Gambar 3(c).

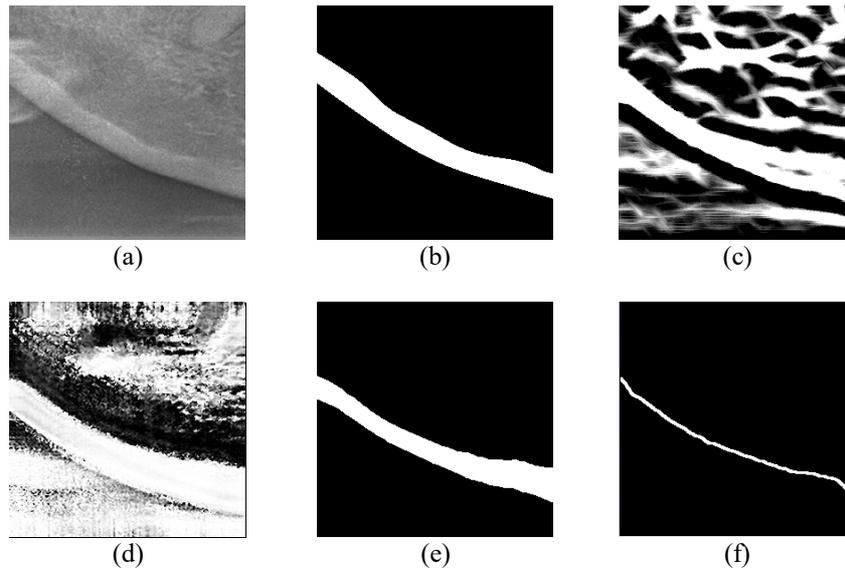
Jika dibandingkan dengan metode lain, metode *line operator* dapat melakukan segmentasi lebih baik dalam kondisi citra berderau dan latar belakang yang bervariasi karena cara kerjanya bersifat lokal dengan penggunaan *window*. Untuk orientasi garis, jika nilainya diperbesar, maka lebih banyak garis yang akan terbentuk pada *window* sehingga metode ini akan dapat mendeteksi struktur linier dengan lebih detil. Orientasi garis yang sering digunakan adalah 12 sehingga pada *window* akan terbentuk garis dengan perbedaan sudut 15° . Dalam penelitian ini, orientasi yang dipakai yaitu sebesar 5. Hal ini disebabkan oleh pengurangan detil arah garis pada *background* objek. Ukuran *window* yang dipakai dalam penelitian ini sebesar 21×21 piksel. Ukuran tersebut dipakai karena rentang ketebalan tulang kortikal yaitu berkisar 15 hingga 30 piksel. Jika digunakan ukuran *window* yang kecil, maka metode ini akan bekerja dengan lebih lokal dan citra keluarannya menjadi lebih detil. Ukuran *window* yang kecil tersebut dapat juga menghasilkan citra yang terlalu detil, sehingga menjadi seperti citra berderau.

Kemudian, citra ROI masukan dilakukan proses ekstraksi fitur menggunakan metode GOA yang bertujuan untuk mempertegas daerah yang memiliki gradien dengan cara memperoleh vektor-vektor gradien dan dinormalisasi menjadi *gradient orientation*. Metode ini sangat cocok diterapkan pada citra yang memiliki iluminasi tidak merata, kekontrasan rendah, dan intensitas bervariasi. Kernel yang dipakai adalah *sobel* yang dimodifikasi.

Citra masukan dicari gradiennya secara vertikal dan horizontal menggunakan kernel *sobel* dan *sobel transpose*. Kemudian citra tersebut dinormalisasi dengan cara dibagi dengan *magnitude* kedua citra gradien tersebut. Dari hasil normalisasi tersebut sudah tampak jelas bagian tulang kortikal. Maka, citra gradien yang telah dinormalisasi diambil untuk digabungkan dengan hasil *multiscale line operator*. Penggabungan dilakukan dengan cara mengalikan hasil ekstraksi fitur tersebut dengan tujuan untuk memperkuat piksel-piksel yang dominan terang, khususnya di area tulang kortikal. Citra hasil dari *gradient orientation analysis* ditunjukkan pada Gambar 3(d).

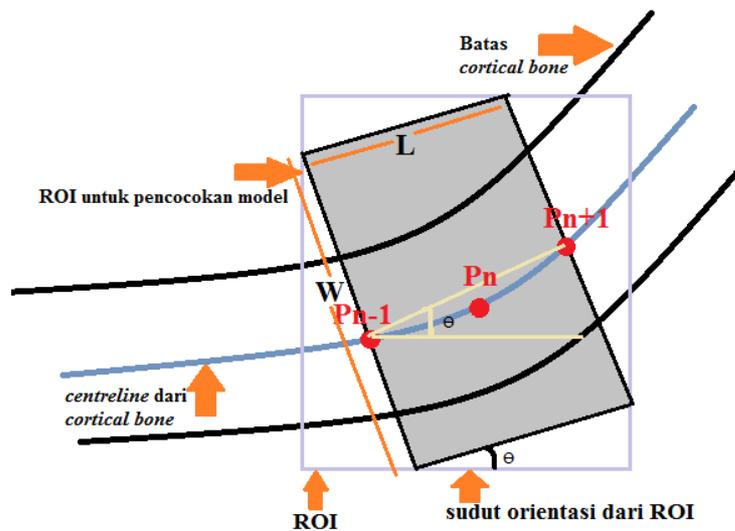


Gambar 2. Citra panorama gigi. Bagian yang berbentuk persegi merupakan *Region Of Interest* (ROI)

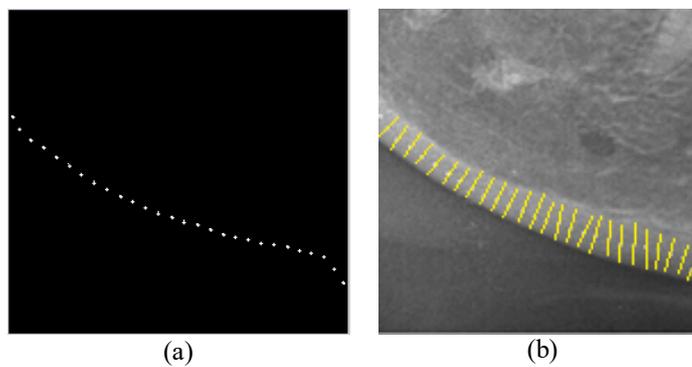


Gambar 3. Citra keluaran setiap tahapan proses.

(a) Citra Asli (b) Citra *Ground Truth* (c) Citra hasil *Multiscale Line Operator*
 (d) Citra hasil *Gradient Orientation Analysis (GOA)* (e) Citra hasil segmentasi (f) Citra hasil deteksi *centerline*



Gambar 4. Pembentukan masking untuk model dua dimensi pada profil.



Gambar 5. Pemodelan profil tulang kortikal.

(a) Sampel piksel profil yang dibentuk dari *centerline*. (b) Model profil yang dipetakan pada citra masukan.

B. Segmentasi

Hasil ekstraksi fitur menggunakan *multiscale line operator* dan *gradient orientation analysis* kemudian disegmentasi untuk memisahkan antara area tulang kortikal dan area bukan tulang kortikal. Proses segmentasi dilakukan menggunakan operator morfologi yaitu melalui proses *opening* dan *closing* secara berurut-turut. Proses segmentasi ini bertujuan untuk mendapatkan area tulang kortikal sehingga memudahkan pendeteksian *centerline* pada tulang kortikal. Citra hasil segmentasi dapat ditunjukkan pada Gambar 3(e), dimana daerah yang berwarna putih merupakan area tulang kortikal, sedangkan yang berwarna hitam merupakan area bukan tulang kortikal.

C. Deteksi Centerline

Pembentukan *centerline* merupakan pembentukan garis tengah yang melintang sepanjang tulang kortikal. Hasil segmentasi biner diproses dengan *skeletonization* untuk menghasilkan garis satu piksel di bagian tengah tulang kortikal. Metode dasar untuk menghasilkan *skeleton* adalah *thinning* yang iteratif dan berurutan, yang menghapus piksel-piksel di garis tepi, paling sedikit memiliki satu tetangga *background* dan penghapusan yang dilakukan tidak mengubah konektivitas. Dalam proses ini melibatkan dilasi dan *label propagation*.

Segmen tulang kortikal memasuki proses *thinning* agar menghasilkan piksel-piksel selebar satu piksel yang berada di tengah sepanjang tulang kortikal. Apabila hasil *thinning* bercabang atau tidak menghasilkan hanya sederet satu piksel di setiap kolom dan baris, maka profil tidak dapat terbentuk (*error*). Pada satu tulang kortikal akan menghasilkan satu garis *centerline* tanpa cabang. Hasil *centerline* yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 3(f).

D. Pembentukan dan Pemodelan Profil

Profil merupakan vektor yang mengekspresikan intensitas citra masukan *grayscale*. Setiap profil memiliki informasi lebar tulang kortikal dengan batas tepi dalam dan batas tepi luar yang telah dirumuskan. Sepanjang *centerline* dibentuk profil-profil berjarak seragam yang berukuran lebar maksimal tulang kortikal pada ROI terkait. Pembentukan profil-profil terjadi dengan cara peletakan ROI secara lokal pada setiap profil. Ukuran ROI tersebut sebesar $Y \times X$ dimana X merupakan lebar ROI dan Y merupakan tinggi ROI. ROI menghasilkan satu area *masking* untuk sebuah profil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 yang akan digunakan sebagai pencocokan model dua dimensi. Contoh sampel profil yang dibentuk dari *centerline* di sepanjang tulang kortikal ditunjukkan pada Gambar 5(a), sedangkan Gambar 5(b) merupakan model profil tulang kortikal yang dipetakan pada citra ROI masukan. Ukuran *masking* tersebut $W \times L$ dimana W merupakan tinggi tegak lurus *masking* dengan *centerline* dan L merupakan jarak antara dua titik profil lain sebelum dan setelah profil yang ditentukan. Perhitungan tersebut seperti pada (1).

$$\begin{aligned} X &= L \cos \Theta + W \sin \Theta \\ Y &= L \sin \Theta + W \cos \Theta \end{aligned} \quad (1)$$

Model dua dimensi ditentukan dari hasil pengamatan intensitas profil-profil sepanjang tulang kortikal. Hasil pemodelan berupa penentuan batas tepi dalam dan batas tepi luar tulang kortikal. Batas tepi dalam dan batas tepi luar tulang kortikal ditentukan dari hasil pengamatan beberapa *sample* profil dari citra. Batas tepi dalam tulang kortikal berupa lokal minima dari sebuah lembah intensitas yang berposisi sebelum posisi intensitas global maxima. Sedangkan, batas tepi luar tulang kortikal berupa global minima dari profil yang berposisi setelah posisi intensitas global maxima profil.

E. Estimasi Ketebalan Tulang Kortikal

Tahap terakhir proses pengukuran ketebalan tulang kortikal adalah estimasi ketebalan tulang kortikal. Lebar tulang kortikal ditentukan secara lokal dengan cara menghitung lebar setiap profil intensitas tulang kortikal pada setiap ROI berdasarkan jarak antara tepi dalam dan tepi luar tulang kortikal yang tegak lurus terhadap *centerline*, kemudian dihitung rata-ratanya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data uji coba yang digunakan sebagai masukan adalah citra panorama gigi dari 30x4 ROI. Citra panorama gigi dilakukan proses *cropping* untuk mendapatkan ROI pada bagian tulang kortikal kiri dan kanan. Ukuran ROI yang digunakan adalah 264x264 piksel. Untuk menguji kebenaran dari hasil segmentasi, digunakan data *ground truth* berupa citra hitam putih dari masing-masing ROI.

Pada tahap uji coba, dilakukan penentuan nilai optimal untuk masing-masing parameter pada metode ekstraksi fitur. Parameter yang diuji coba pada metode *multiscale line operator* adalah level dan jumlah orientasi garis. Sedangkan Parameter yang diuji coba pada metode *gradient orientation analysis* adalah ukuran kernel. Selain itu, pengujian juga dilakukan pada hasil segmentasi dan estimasi ketebalan tulang kortikal.

A. Uji Coba Penentuan Level dan Jumlah Orientasi Garis pada Multiscale Line Operator

Uji coba penentuan level pada *multiscale line operator* berfokus pada pengaruh nilai level yang berbeda pada hasil metode *line operator*. Nilai level yang digunakan dalam uji coba adalah 1, 2, 3, 4, dan 5. Hasil dari uji coba metode *line operator* dengan nilai level yang bervariasi ditunjukkan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut terlihat bahwa level 3 (Gambar 6(c)) menghasilkan citra yang menghasilkan area tulang kortikal lebih jelas dan akurat dibandingkan dengan citra pada level 1, 2, 4 dan 5.

Uji coba pada penentuan jumlah orientasi garis pada *line operator* diperlukan agar garis/*line strength* yang dibutuhkan saja yang dipertegas oleh *line strength*. Semakin besar nilai orientasi garis, semakin detail garis pada citra keluaran yang dihasilkan. Hal tersebut dibenarkan dengan adanya uji coba ini. Hasil dari uji coba dengan nilai orientasi 5, 7, 9, dan 12 ditunjukkan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa orientasi 5 (Gambar 7(a)) memperlihatkan area tulang kortikal terbentuk dengan batas yang jelas. Citra keluaran dengan jumlah orientasi 7, 9, dan 12 masih memiliki derau (*noise*). Sedangkan, citra keluaran dengan jumlah orientasi 5 tidak memiliki derau sehingga area tulang kortikal dapat dipisahkan dengan baik dari area bukan tulang kortikal. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan level 3 dan jumlah orientasi garis sebanyak 5 pada *multiscale line operator*.

B. Uji Coba Penentuan Ukuran Kernel pada Gradient Orientation Analysis

Uji coba pada penentuan ukuran kernel pada *gradient orientation analysis* digunakan untuk menentukan area tulang kortikal yang lebih akurat. Ukuran rata-rata ketebalan dari tulang kortikal antara 15 hingga 30 piksel. Oleh karena itu, pengujian level kernel GOA adalah 3, 4, 5, dan 6 yang berukuran secara berurutan sebesar 9x9, 17x17, 33x33, dan 65x65 piksel. Hasil keluaran ekstraksi fitur GOA dengan ukuran kernel berbeda-beda ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa citra keluaran dengan kernel level 3 (Gambar 8(a)) sudah memiliki area tulang kortikal yang jelas, tetapi masih terdapat sedikit derau di area tulang kortikal. Citra keluaran dengan kernel level 4 (Gambar 8(b)) memiliki area tulang kortikal yang jelas dan ketebalan menyerupai tulang kortikal citra masukan. Citra keluaran dengan kernel level 5 (Gambar 8(c)) menghasilkan area tulang kortikal jelas, tetapi tebal area tulang kortikal lebih besar daripada citra masukan dan batas tepi bawah menjadi kurang jelas. Citra keluaran dengan kernel level 6 (Gambar 8(d)) memiliki area tulang kortikal jelas, tetapi tebal area tulang kortikal jauh lebih besar daripada citra masukan dan batas tepi bawah paling tidak jelas. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan ukuran kernel level 4, yaitu 17x17.

C. Uji Coba Hasil Segmentasi Tulang Kortikal

Uji coba hasil segmentasi tulang kortikal dilakukan dengan cara membandingkan antara citra hasil segmentasi pada sistem dengan citra *ground truth*. Hasil evaluasi pengujian pada metode segmentasi berupa nilai akurasi, *sensitivity*, dan *specificity* yang ditunjukkan pada Tabel I. Berdasarkan Tabel I, nilai rata-rata akurasi dan *sensitivity* terbesar yaitu pada ROI paling kiri sebesar 95.41% dan 69.75%. Sedangkan nilai rata-rata *specificity* terbesar terletak pada ROI kanan-tengah sebesar 99.46%.

D. Uji Coba Estimasi Ketebalan Tulang Kortikal

Uji coba estimasi ketebalan tulang kortikal dilakukan berdasarkan selisih ketebalan tulang kortikal antara sistem dan *ground truth*, yang selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan uji-t dengan 95% *confidence interval*. Persamaan (2) merupakan perhitungan selisih pengukuran ketebalan tulang kortikal antara sistem w_i yang dibuat dengan *ground truth* ϕ_i .

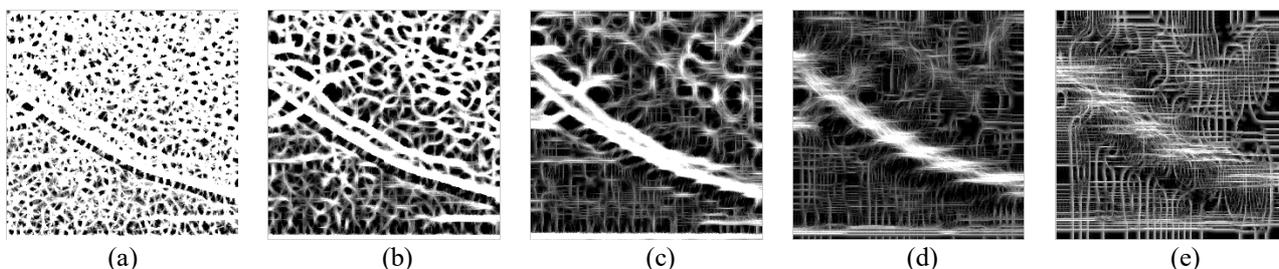
$$x_i = w_i - \phi_i \quad (2)$$

Hasil titik-titik posisi koordinat x dari seluruh profil pada setiap ROI dijadikan koordinat x pada *ground truth*. Kemudian, masing-masing dicari ketebalan pada posisi tersebut. Perbedaan antara keduanya dihitung. Seluruh selisih perhitungan tersebut diamati persebarannya terhadap rentang antara *mean* seluruh selisih ROI terkait \pm (nilai uji-t) x SD. Semakin banyak selisih yang termasuk dalam rentang tersebut, maka semakin *confidence* karena selisih tersebut stabil dan tidak berubah dengan penambahan ketebalan. Persentase rata-rata selisih yang masuk ke dalam

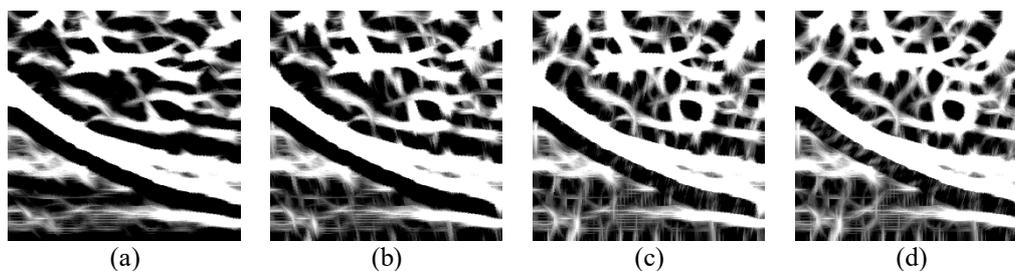
rentang ketebalan tulang kortikal menggunakan uji-t dengan 95% *confidence interval* adalah sebesar 96.65% seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.

IV. KESIMPULAN

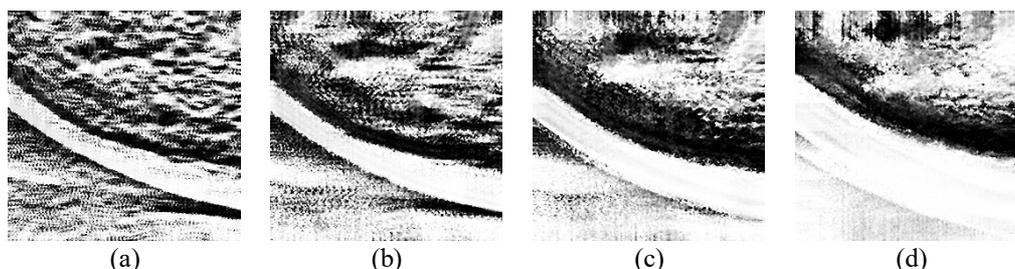
Metode pengukuran ketebalan tulang kortikal secara lokal berbasis model di setiap profil sangat baik karena mengacu pada citra masukan asli yang tidak dipengaruhi oleh proses morfologi. Nilai parameter yang optimal pada metode *multiscale line operator* adalah level 3 dan jumlah orientasi garis 5. Sedangkan nilai parameter yang optimal pada metode *gradient orientation analysis* adalah ukuran kernel level 4, yaitu berukuran 17x17. Berdasarkan hasil uji coba segmentasi tulang kortikal, nilai rata-rata akurasi segmentasi pada ROI paling kiri, ROI kiri-tengah, ROI kanan-tengah, dan ROI paling kanan secara berurut-turut sebesar 95.41%, 89.96%, 95.12%, dan 93.50%. Nilai rata-rata *sensitivity* segmentasi pada ROI paling kiri, ROI kiri-tengah, ROI kanan-tengah, dan ROI paling kanan secara berurut-turut sebesar 69.75%, 42.53%, 65.40%, dan 65.29%. Nilai rata-rata segmentasi *specificity* pada ROI paling kiri, ROI kiri-tengah, ROI kanan-tengah, dan ROI paling kanan secara berurut-turut sebesar 99.16%, 97.21%, 99.46%, dan 97.48%. Berdasarkan hasil uji coba estimasi ketebalan tulang kortikal, persentase rata-rata selisih ketebalan tulang kortikal antara sistem dan *ground truth* menggunakan uji-t dengan 95% *confidence interval* adalah sebesar 96.65%.



Gambar 6. Hasil uji coba level pada *multiscale line operator* (a) level 1 (b) level 2 (c) level 3 (d) level 4 (e) level 5.



Gambar 7. Hasil uji coba jumlah orientasi garis pada *multiscale line operator* (a) orientasi 5; (b) orientasi 7; (c) orientasi 9; (d) orientasi 12



Gambar 8. Hasil uji coba ukuran kernel GOA (a) level 3; (b) level 4; (c) level 5; (d) level 6.

TABEL I
EVALUASI RATA-RATA SEGMENTASI

ROI ke-	Akurasi (%)	<i>Sensitivity</i> (%)	<i>Specificity</i> (%)
1	95.41	69.75	99.16
2	89.96	42.53	97.21
3	95.12	65.40	99.46
4	93.50	65.29	97.48

TABEL II
NILAI SELISIH KETEBALAN TULANG KORTIKAL TERHADAP GROUND TRUTH

Citra	Mean (piksel)	SD (piksel)	Nilai uji-t x SD (piksel)	Persentase Masuk Rentang (%)
1	7.09	7.79	16.25	95.45
2	-0.76	8.18	17.35	88.24
3	5.00	10.04	21.53	100.00
4	1.61	9.56	19.61	92.86
5	4.13	7.17	14.65	93.55
6	13.04	8.13	16.74	92.86
7	5.91	8.52	17.37	93.55
8	12.00	8.22	17.27	96.15
9	8.27	5.18	11.10	100.00
10	4.70	6.07	12.43	100.00
11	7.29	8.28	16.85	100.00
12	4.81	14.66	29.89	96.30
13	12.80	6.63	15.00	94.12
14	9.58	6.80	14.07	96.88
15	3.00	4.50	9.41	100.00
16	10.86	6.78	14.11	100.00
17	0.96	5.52	11.42	100.00
18	1.69	4.42	9.05	100.00
19	3.50	6.73	13.93	95.83
20	4.62	9.51	19.84	89.66
21	2.46	12.68	26.12	95.83
22	5.52	12.78	26.65	100.00
23	5.57	5.24	10.63	96.15
24	10.96	6.70	13.91	95.24
25	11.04	10.80	22.39	97.14
26	7.18	7.39	15.04	95.65
27	10.88	10.08	21.37	100.00
28	14.89	11.63	24.53	100.00
29	11.64	8.33	17.12	94.12
30	13.92	9.57	19.80	100.00
Rata-rata				96.65

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Z. Arifin, A. Yuniarti, L. R. Dewi, A. Asano, A. Taguchi, T. Nakamoto, A. Razak and H. Studiawan, "Computer aided diagnosis for osteoporosis based on trabecular bone analysis using panoramic radiographs," *Dental Journal*, vol. 43, no. 3, pp. 107-112, 2010.
- [2] H. Devlin, K. Karayianni, A. Mitsea, R. Jacobs, C. Lindh, P. van der Stelt, et al, "Diagnosing Osteoporosis by Using Dental Panoramic Radiographs: the OSTEODENT Project," *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, no. 104, pp. 821-828, 2007.
- [3] A. Z. Arifin, A. Asano, A. Taguchi, T. Nakamoto, M. Ohtsuka, and K. Tanimoto, "Computer-aided System for Measuring the Mandibular Cortical Width on Dental Panoramic Radiographs in Identifying Postmenopausal Women With Low Bone Mineral Density," *Osteoporosis International*, vol. 17, no. 5, pp. 753-759, May 2006.
- [4] M. Fraz, P. Remagnino, A. Hoppe, A. Rudnicka, C. Owen, P. Whincup and S. Barman, "Quantification of blood vessel calibre in retinal images of multi-ethnic school children using a model based approach," *Elsivier*, no. 37, pp. 48-60, 2013.
- [5] R. Zwiggelaar, C. R. Boggis, C. J. Taylor and S. M. Astley, "Linear Structure in Mammographic Images: Detection and Classification," *IEEE Trans on Medical Imaging*, vol. 23, no. 9, pp. 1077-1086, September 2004.
- [6] R. N. Dixon and C. Taylor, "Automated Asbestos Fiber Counting," ser. Conference. Philadelphia, PA: Ist. Physics, vol. 44, pp. 178-185, 1979.
- [7] D. Farnel, F. Hatfield, P. Knox, M. Reakes, S. Spencer, D. Parry and S. Harding, "Enhancement of blood vessels in digital fundus photographs via the application of multiscale line operators," *Elsivier*, vol. 345, no. 7, pp. 748-765, 2008.
- [8] D. Onkaew, R. Turior, B. Uyyanonvara and T. Kondo, "Automatic Extraction of Retinal Vessels Based on Gradient Orientation Analysis," *Eighth International Joint Conference*, 2011.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]