

Deteksi Jumlah Percabangan pada *Trabecular Bone* Menggunakan COSFIRE Filter untuk Identifikasi Osteoporosis

Randy Cahya Wihandika

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, Malang
Jln. Veteran 8, Kota Malang, 65145, Indonesia
email: rendicahya@ub.ac.id

Abstract – Mandibular bone is one of the bones that are affected by the reduction of bone mineral density caused by osteoporosis. Therefore, dental panoramic radiographs have been widely used for the identification of osteoporosis. Previous study has shown that the number of branching differs between normal and low bone-mineral-density patients. However, the low contrast level and the presence of noise in the panoramic radiograph images make the extraction of the structure of the trabecular bone to be difficult. Therefore, an enhancement method is required to enhance the structure of the trabecular bone.

In this study, a method to detect the trabecular bone branching with enhancement on the trabecular bone structure using the line operator method is built. From the structure, the location of the branching is detected using COSFIRE method. The number of the branching is used to distinguish between the normal radiographs and the radiographs affected by osteoporosis.

Evaluation on the classification is performed on 98 images consisting of 41 images in the osteoporosis class and 57 images in the normal class. The evaluation results provide sensitivity, specificity, and accuracy of 0,90244, 0,23214, and 0,51546, respectively. The results show that the method proposed gives better performance than the method previously proposed.

Abstrak – Tulang rahang adalah salah satu tulang yang terkena pengaruh penurunan kepadatan mineral tulang yang diakibatkan oleh osteoporosis. Karena itu, citra radiograf panoramik gigi dapat digunakan untuk mengidentifikasi osteoporosis. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jumlah percabangan pada struktur tulang berbeda antara pasien normal dan pasien dengan kepadatan mineral tulang yang rendah. Namun, kontras yang rendah dan terdapatnya noise pada citra radiograf panoramik membuat ekstraksi struktur tulang menjadi sulit. Untuk itu, dibutuhkan sebuah metode untuk memperkuat struktur pada tulang tersebut.

Pada penelitian ini, diusulkan sebuah metode untuk mendeteksi percabangan pada *trabecular bone* dengan *enhancement* pada struktur tulang menggunakan metode *line operator*. Dari struktur tersebut, lokasi percabangan dideteksi menggunakan metode COSFIRE. Kemudian, jumlah percabangan digunakan untuk membedakan antara radiograf pasien normal dan radiograf pasien osteoporosis.

Pengujian klasifikasi dilakukan pada 98 citra yang terdiri atas 41 citra pasien osteoporosis dan 57 pasien normal. Hasilnya adalah *sensitivity*, *specificity*, dan akurasi masing-masing sebesar 0,90244, 0,23214, dan 0,51546. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan performa yang lebih baik daripada metode sebelumnya.

*) penulis korespondensi: Randy Cahya Wihandika
Email: rendicahya@ub.ac.id

Kata Kunci – osteoporosis, radiograf panoramik, tulang rahang, percabangan

I. PENDAHULUAN

Osteoporosis adalah salah satu masalah kesehatan utama di seluruh dunia [1]. Osteoporosis adalah penyakit tulang yang ditunjukkan dengan berkurangnya kepadatan tulang dan berubahnya struktur penyusun jaringan tulang, yang berakibat pada meningkatnya risiko patah tulang. Penyakit tersebut merupakan salah satu penyakit yang paling banyak terjadi pada pasien lanjut usia. Sebanyak 30% wanita yang telah melewati masa menopause terkena penyakit ini. Di Amerika Serikat, terjadi 1,5 juta kasus patah tulang setiap tahun akibat osteoporosis [2]. Osteoporosis banyak terjadi pada ras *Caucasian*, wanita, dan orang berusia lanjut [3]. Risiko terjadinya patah tulang pada wanita *postmenopause* yang berusia lebih muda jauh lebih rendah daripada risiko pada wanita yang berusia lebih tua [4]. Osteoporosis disebabkan oleh beberapa hal, yaitu usia, jenis kelamin, riwayat osteoporosis keluarga, aktivitas fisik, hormon, alkohol, kafein, rokok, kekurangan vitamin D atau kalsium, dan lain-lain. Osteoporosis menyebabkan turunnya kualitas hidup dan meningkatkan ketergantungan kepada orang lain dan juga biaya [5].

Osteoporosis dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu primer dan sekunder. Osteoporosis primer disebabkan oleh bertambahnya usia atau berkurangnya hormon seksual. Sedangkan osteoporosis sekunder disebabkan oleh faktor dari luar tubuh, seperti penggunaan glukokortikoid, penyakit sistemik, dan kurangnya konsumsi kalsium. Pasien patah tulang yang disebabkan oleh osteoporosis memiliki risiko kematian yang lebih tinggi, terutama pada tahun pertama sejak kejadian patah tulang, dan peningkatan risiko patah tulang berikutnya [6].

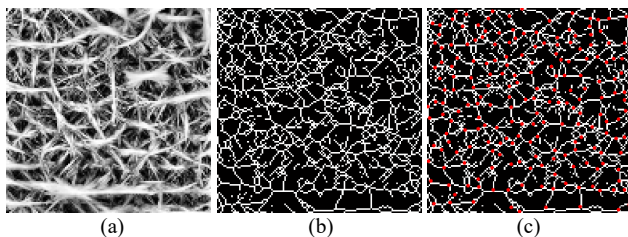
Diagnosis penyakit osteoporosis dilakukan dengan mengukur kepadatan mineral tulang (*bone mineral density*, BMD). Terdapat beberapa metode untuk mengukur BMD, antara lain *micro densitometry* (MD), *dual X-ray absorptiometry* (DXA), *single X-ray absorptiometry* (SXA), *quantitative computer tomography* (QCT), dan *peripheral QCT*. Metode-metode tersebut mengukur BMD dengan akurasi tinggi dalam satuan g/cm² atau g/cm³ (Sakoda, Kawamata, Kaneda, & Kashima, 2004). Saat ini, metode standar yang digunakan untuk mengukur BMD adalah DXA.

Gbr. 1 Contoh keempat *region of interest*

Perubahan morfologis tulang pada penderita osteoporosis terjadi pada bagian *cortical bone* dan *trabecular bone*. *Cortical bone* adalah jaringan tulang yang membentuk lapisan luar tulang, sedangkan *trabecular bone* adalah jaringan tulang yang membentuk bagian dalam tulang. *Cortical bone* memiliki kepadatan yang lebih tinggi daripada *trabecular bone*. Pada kasus osteoporosis, *trabecular bone* lebih banyak terkena dampak daripada *cortical bone* karena luas permukaannya yang lebih besar. Dampak tersebut antara lain adalah pengurangan ketebalan, kepadatan, dan kekuatan. Tulang yang juga terkena dampak pengeroposan tulang tersebut adalah tulang rahang yang dapat diamati pada foto radiograf panoramik. Penurunan BMD pada tulang pinggul, tulang belakang, dan tulang lengan berkorelasi dengan gigi dan ketebalan *cortical bone* pada tulang rahang bawah. Karena adanya korelasi tersebut, diagnosis penyakit osteoporosis banyak dilakukan menggunakan citra radiograf panoramik gigi. Selain itu, diagnosis menggunakan DXA memiliki kendala, di mana harga alat pemindai DXA sangat mahal dan tidak semua rumah sakit memiliki alat tersebut, bahkan di negara-negara maju sekalipun. Sedangkan pengambilan foto panoramik gigi lebih banyak dilakukan karena harganya lebih murah dan sering dilakukan untuk diagnosis penyakit gigi. Di beberapa negara, jumlah pengambilan foto radiograf panoramik yang dilakukan cukup tinggi, yaitu kurang lebih 10 juta di Jepang, 17 juta di Amerika Serikat, dan 1,5 juta di Inggris. Akan menjadi sangat ekonomis jika foto-foto radiograf panoramik tersebut dimanfaatkan juga untuk diagnosis osteoporosis.

II. PENELITIAN TERKAIT

Selain berdampak pada ketebalan *cortical bone*, penurunan BMD juga berdampak pada struktur dan kepadatan *trabecular bone*. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis struktur tersebut dari citra radiograf panoramik dan melakukan klasifikasi osteoporosis berdasarkan informasi struktur yang berhasil didapatkan. Metode *line operator* pada awalnya digunakan pada penelitian sebelumnya untuk segmentasi serat asbestos, kemudian diadaptasi pada proses segmentasi

Gbr. 2 (a) Citra *line strength* (b) Citra *skeleton trabecular bone* (c) Hasil deteksi percabangan *trabecular bone*

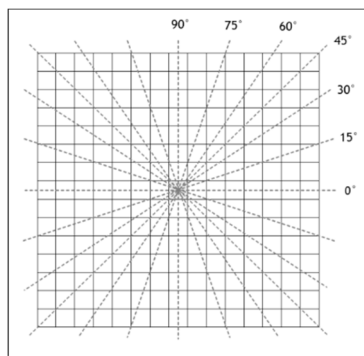
segmentasi pembuluh darah pada citra retina pada penelitian [7], [8]. Keluaran dari metode ini adalah citra keabuan dengan kecerahan yang tinggi, yang merepresentasikan *line strength*, pada area-area struktur linier sehingga kemudian dapat dibandingkan dari area-area yang lain dengan *thresholding*.

Ada fitur lain yang dapat diekstraksi dari struktur linier pada *trabecular bone* tersebut, yaitu fitur percabangan. Jumlah percabangan pada radiograf merupakan salah satu fitur yang paling signifikan yang dapat digunakan untuk membedakan antara pasien osteoporosis dan pasien normal. Metode deteksi percabangan tersebut diusulkan pada [9] yang berbasis pada operasi *skeletonization*. Jumlah percabangan didapatkan dengan menghitung banyaknya piksel hitam yang terhubung dengan minimal dua piksel lain. Di penelitian yang lain, [10] menyebutkan beberapa kelemahan dari metode deteksi berbasis *skeletonization* tersebut, antara lain bahwa metode tersebut sangat bergantung pada pada teknik segmentasi yang digunakan. Selain itu, metode tersebut juga tidak dapat mendeteksi percabangan yang terputus. Mereka kemudian mengusulkan sebuah metode yang dinamakan COSFIRE (*Combination Of Shifted Filter Responses*) yang diaplikasikan untuk mendeteksi percabangan pada citra pembuluh darah retina. Metode tersebut juga telah diaplikasikan pada beberapa kasus yang lain yaitu pengenalan objek [11], pengenalan tulisan tangan [10], pengenalan simbol listrik [12], pengenalan tempat dan objek [13], kategorisasi usia [14], pengenalan jenis kelamin berdasarkan wajah [15], dan deteksi pola gerigi pada citra mikroskopis biopsi kulit [16]. COSFIRE menggunakan *template* sebagai acuan untuk mendeteksi percabangan sehingga percabangan-percabangan yang sama atau mirip dengan *template* tersebut akan terdeteksi. Dalam mendeteksi titik percabangan, metode ini menggunakan filter Gabor untuk melakukan segmentasi pembuluh darah yang searah dengan pembuluh darah pada *template*. Untuk menoleransi perbedaan ukuran dan arah percabangan, variabel-variabel yang membentuk *template* tersebut divariasikan sehingga dapat menangani beberapa arah dan ukuran *template* yang berbeda.

Pada penelitian ini, digunakan metode *line operator* untuk meng-enhance struktur *trabecular bone* dan metode COSFIRE untuk mendeteksi percabangan-percabangan pada struktur tersebut. Metode tersebut digunakan agar dapat meningkatkan performa sistem klasifikasi penyakit osteoporosis dari citra radiograf panoramik.

III. METODE

Langkah-langkah yang dikembangkan pada penelitian ini antara lain adalah pemilihan *region of interest*, ekstraksi struktur linier, deteksi lokasi percabangan, penghitungan jumlah percabangan, dan klasifikasi osteoporosis. Pemilihan *region of interest* dari citra radiograf dilakukan secara manual oleh pengguna dengan memilih empat area persegi yang berbeda pada tulang rahang bawah dengan ukuran 128×128 piksel. Keempat *region of interest* tersebut sebaiknya berada di area *trabecular bone* dan tidak mengandung area gigi atau *cortical bone* untuk menghasilkan segmentasi yang baik. Pemilihan *region of interest* tersebut sangat memengaruhi keberhasilan proses-proses berikutnya. Contoh pemilihan *region of interest* ditunjukkan pada Gbr. 1. Keempat citra *region of interest* tersebut kemudian diproses pada tahapan-tahapan berikutnya.

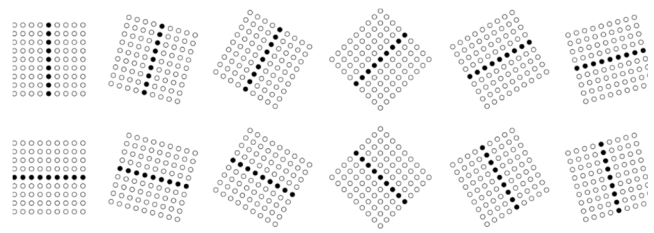


Gbr. 5 Template yang digunakan pada metode line operator

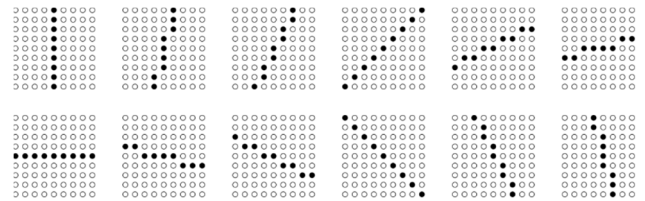
Proses berikutnya adalah ekstraksi struktur linier menggunakan metode *line operator*. Metode ini menggunakan parameter berupa ukuran *window*. Ukuran *window* yang berbeda dapat menghasilkan citra deteksi struktur linier yang berbeda dan kemudian dapat memengaruhi hasil penghitungan jumlah percabangan. Ukuran *window* yang kecil akan menghasilkan struktur linier yang kecil juga sehingga jumlah percabangannya menjadi lebih banyak. Sebaliknya, ukuran *window* yang besar akan menghasilkan struktur linier yang besar sehingga jumlah percabangannya menjadi lebih sedikit. Sedangkan untuk parameter besar sudut perputaran garis di dalam *window*, digunakan nilai 15 sehingga akan terdapat 12 garis. Nilai *line strength* yang dihasilkan biasanya memiliki rentang yang kecil, sehingga harus dinormalisasi menjadi nilai keabuan 0 hingga 255 agar tampak lebih jelas. Selain itu, untuk memperjelas semua tingkat keabuan, *histogram equalization* diaplikasikan pada citra *line strength* tersebut. Hasilnya dicontohkan pada Gbr. 2 (a). Citra tersebut kemudian dibinerisasi menggunakan metode Otsu yang menghasilkan citra struktur linier yang baik. Binerisasi dilakukan karena proses berikutnya, yaitu deteksi percabangan menggunakan filter COSFIRE, membutuhkan citra biner sebagai citra masukan. Lalu citra biner tersebut di-skeletonize untuk menghasilkan struktur *trabecular bone* dengan lebar 1 piksel. Citra skeleton tersebut dicontohkan pada Gbr. 2 (b).

Pada metode COSFIRE, terdapat tahap pelatihan yang menggunakan data pelatihan berupa beberapa citra yang masing-masing berisi sebuah percabangan. Citra pelatihan tersebut dipilih secara manual oleh pengguna. Pemilihan citra pelatihan tersebut akan sangat memengaruhi proses konfigurasi filter COSFIRE dan kemudian memengaruhi hasil akhir metode ini. Oleh karena itu, citra pelatihan harus dipilih dengan baik, yaitu yang hanya berisi satu percabangan, tidak terputus dan memiliki ukuran yang tidak terlalu kecil. Selain itu, pengguna juga harus menentukan titik pusat percabangan pada setiap citra pelatihan tersebut secara manual. Contoh titik pusat percabangan pada citra pelatihan disajikan pada Gbr. 6 (a). Diharapkan, dengan pemilihan citra pelatihan dan titik pusat percabangan yang baik, sedikit citra pelatihan dapat digunakan untuk mendeteksi banyak jenis percabangan pada beberapa citra radiograf yang berbeda.

Langkah berikutnya adalah aplikasi filter COSFIRE yang telah dikonfigurasi sebagai data pelatihan untuk deteksi percabangan. Citra masukan pada metode ini adalah citra segmentasi struktur linier dari metode line operator. Hasil filter COSFIRE adalah berupa citra segmentasi lokasi percabangan bertipe *grayscale*. Sedangkan hasil deteksi percabangan



Gbr. 3 Template yang terbentuk dari perputaran window dengan sudut 15°



Gbr. 4 Template yang terbentuk dari perputaran 12 garis dengan perbedaan sudut 15°

trabecular bone dicontohkan pada Gbr. 2 (c). Jumlah percabangan *trabecular bone* didapatkan dengan menghitung banyaknya segmen pada citra tersebut. Jumlah percabangan inilah yang digunakan untuk klasifikasi osteoporosis.

A. Line Operator

Metode *line operator* pertama kali digunakan untuk segmentasi struktur linier pada citra serat asbestos. Metode ini kemudian diadopsi pada [7], [8] untuk mendeteksi dan mengklasifikasi struktur linier pada citra mammograf. Kemudian penelitian [7] menggunakan metode yang sama pada proses segmentasi pembuluh darah pada citra retina. Metode ini menghasilkan citra hasil segmentasi yang bertipe keabuan dengan nilai *line strength* yang tinggi pada area-area berstruktur linier. Untuk menghasilkan citra segmentasi akhir, citra keabuan tersebut kemudian dibinerisasi.

Metode ini 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*, seperti diilustrasikan pada Gbr. 5. Dari setiap garis yang diputar tersebut, dihitung nilai rata-rata dari piksel-piksel yang dilewatinya pada citra kemudian dipilih satu garis yang memiliki nilai rata-rata tertinggi. Selain itu, diambil juga nilai rata-rata dari piksel-piksel pada seluruh *window*. Area *window* yang terletak di luar citra diabaikan. Nilai rata-rata garis tersebut kemudian dikurangi dengan nilai rata-rata pada seluruh *window*, menghasilkan nilai *line strength* yang dihitung dengan persamaan (1).

$$S(i, j) = L(i, j) - W(i, j)$$

dengan:

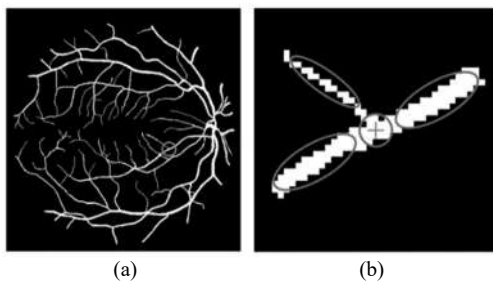
$S(i, j)$ adalah nilai *line strength* pada piksel i, j

$L(i, j)$ adalah nilai rata-rata garis terbesar

$W(i, j)$ adalah nilai rata-rata dari keseluruhan *window*

Ada dua mekanisme yang berbeda dalam melakukan perputaran garis tersebut. Mekanisme yang pertama adalah hanya memutar garis di dalam *window* tanpa memutar *window* tersebut, seperti diilustrasikan pada Gbr. 4. Pada mekanisme ini, nilai rata-rata *window* tidak berubah seiring dengan perputaran garis. Mekanisme ini digunakan pada [7].

Mekanisme yang kedua adalah memutar garis beserta dengan *window*-nya seperti diilustrasikan pada Gbr. 3.



Gbr. 6 (a) Percabangan yang dipilih secara manual oleh pengguna (b) Deteksi ukuran dan arah percabangan

Jika dibandingkan dengan metode lain, metode *line operator* dapat melakukan segmentasi dengan lebih baik dalam kondisi citra berderau dan latar belakang yang bervariasi karena cara kerjanya bersifat lokal dengan penggunaan *window*. Metode ini membutuhkan dua parameter masukan, yaitu ukuran *window* dan jumlah garis pada *window*. Jika digunakan ukuran *window* yang kecil, maka metode ini akan bekerja dengan lebih lokal dan citra keluarannya menjadi lebih detail. Namun, ukuran *window* yang kecil tersebut dapat juga menghasilkan citra yang terlalu detail, sehingga menjadi seperti citra berderau. Jika menggunakan ukuran *window* yang besar, maka metode ini akan dapat mereduksi derau, namun banyak mengabaikan detail-detail yang penting. Oleh karena itu, ukuran *window* harus disesuaikan dengan kondisi dan ukuran citra untuk menghasilkan citra segmentasi yang baik. Sedangkan untuk parameter jumlah garis, jika nilainya diperbesar, maka lebih banyak garis yang akan terbentuk pada *window* sehingga metode ini akan dapat mendeteksi struktur linier dengan lebih detail.

B. COSFIRE

COSFIRE (*Combination Of Shifted Filter Responses*) diusulkan pada [10] sebagai metode untuk segmentasi percabangan pada citra pembuluh darah retina. Metode ini menggunakan data pelatihan berupa citra yang berisi sebuah area percabangan. Dengan penggunaan konsep pelatihan tersebut, metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi percabangan pada bermacam jenis citra. Percabangan yang digunakan sebagai data pelatihan dipilih secara manual oleh pengguna, seperti dicontohkan pada Gbr. 7 (a). Berdasarkan citra percabangan pada data pelatihan tersebut, dibentuk beberapa filter Gabor dengan lokasi, ukuran, dan orientasi yang sama dengan ruas-ruas di sekitar titik percabangan tersebut. Lokasi, ukuran, dan orientasi data pelatihan tersebut dideteksi pada tahap konfigurasi filter. Filter-filter Gabor tersebut kemudian digunakan untuk mendapatkan hasil segmentasi citra dengan beberapa arah yang berbeda. Beberapa hasil segmentasi tersebut kemudian dikombinasikan untuk mendapatkan segmentasi titik percabangan. Hasil akhir dari metode ini adalah titik-titik percabangan dengan arah dan ukuran yang mirip atau sama dengan percabangan pada citra pelatihan. Metode ini hanya dapat memproses citra biner hasil segmentasi sebagai citra masukannya.

Tahap pertama pada metode ini adalah konfigurasi filter sebagai tahap pelatihan filter COSFIRE. Proses ini bertujuan

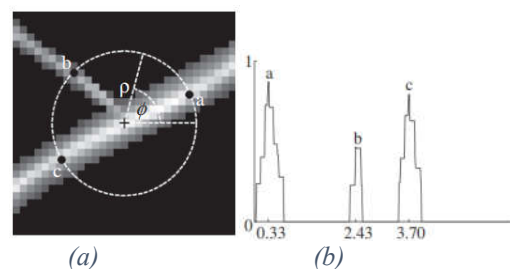
untuk membentuk beberapa filter Gabor dengan titik pusat, ukuran, dan orientasi yang bersesuaian dengan ruas-ruas pada citra pelatihan. Beberapa filter Gabor dengan frekuensi dan orientasi yang berbeda diaplikasikan pada citra pelatihan kemudian dikombinasikan. Proses filtering tersebut dilakukan untuk mendapatkan intensitas yang tinggi di tengah ruas-ruas. Citra tersebut kemudian digunakan untuk mendeteksi titik tengah ruas-ruas tersebut dengan menelusuri tepi sebuah bentuk lingkaran dengan radius yang diletakkan di pusat percabangan. Gbr. 7 (b) menunjukkan grafik intensitas piksel-piksel yang dilewati oleh lingkaran tersebut. Dari gambar tersebut, tampak bahwa terdapat tiga puncak maksimum a, b, dan c yang merepresentasikan posisi tengah ruas. Titik-titik tersebut dipilih dari nilai maksimum pada daerah ketetanggaan sebesar sudut pada lingkaran tersebut. Untuk setiap titik tersebut, dicari nilai frekuensi dan orientasi optimal yang paling merepresentasikan ciri-ciri setiap ruas tersebut. Mekanismenya adalah dengan mengaplikasikan filter Gabor dengan semua kombinasi frekuensi dan orientasi dan mengambil kombinasi yang memberikan hasil filtering yang terbesar. Keluaran dari proses ini adalah beberapa filter Gabor dengan ukuran dan arah yang merepresentasikan ruas-ruas yang ada di sekitar titik percabangan.

Proses berikutnya adalah mengaplikasikan beberapa filter Gabor yang telah dikonfigurasi pada citra masukan. Proses tersebut menghasilkan beberapa citra segmentasi dengan arah yang bersesuaian dengan arah filter Gabor. Kemudian dilakukan proses *blurring* dan *shifting* pada masing-masing citra tersebut dengan arah yang sama dengan filter Gabornya. Tujuan dari langkah ini adalah agar ruas-ruas pada setiap citra tersebut saling *overlapping* pada area percabangannya. Setiap citra tersebut lalu dikalikan dan akan menghasilkan citra segmentasi percabangan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dataset

Data yang digunakan pada uji coba sistem ini adalah citra radiograf panoramik yang diambil dari 98 pasien yang seluruhnya berjenis kelamin wanita. Pasien tersebut memiliki rentang usia 49 hingga 79 tahun dengan rata-rata usia 60,3 tahun. Data tersebut terbagi menjadi kelas normal, osteopenia, dan osteoporosis. Jumlah citra untuk masing-masing kelas adalah 57 pasien normal, 28 pasien osteopenia, dan 13 pasien osteoporosis. Faktor-faktor klinis seperti tinggi badan, berat badan, kebiasaan merokok, penyakit kronis, dan konsumsi kalsium tidak diketahui.

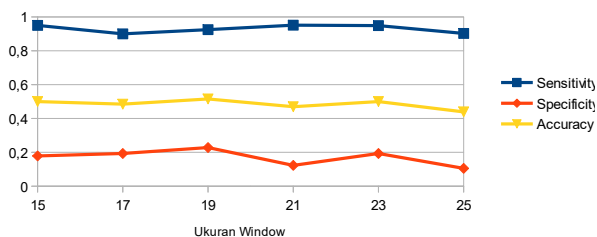


Gbr. 7 (a) Pencarian titik tengah ruas (b) Nilai intensitas di tepi lingkaran

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN VARIABEL UKURAN WINDOW PADA METODE LINE OPERATOR

No.	Ukuran Window	Sensitivity	Specificity	Akurasi	Threshold
1	15	0,95122	0,19298	0,51020	111
2	17	0,90244	0,21053	0,5	106
3	19	0,92683	0,22807	0,52041	174
4	21	0,95122	0,17544	0,5	99
5	23	0,95122	0,19298	0,51020	95
6	25	0,92683	0,17544	0,48980	96

B. Pengujian



Gbr. 8. Grafik hasil pengujian variabel ukuran window pada line operator

Evaluasi dilakukan pada metode klasifikasi penyakit osteoporosis. Pada evaluasi klasifikasi, citra pada kelas osteopenia dan osteoporosis digabungkan menjadi kelas baru yaitu kelas “kepadatan mineral tulang rendah” sehingga pada proses klasifikasi hanya dilakukan untuk membedakan antara kelas “kepadatan mineral tulang normal” dan “kepadatan mineral tulang rendah”. Oleh karena itu, kelas “kepadatan mineral tulang rendah” akan berisi 41 citra yang terdiri dari 28 citra pasien osteopenia dan 13 citra pasien osteoporosis. Pada bagian pengujian, kelas “kepadatan mineral tulang rendah” disebut juga kelas positif, sedangkan kelas “kepadatan mineral normal” disebut juga kelas negatif. Kemudian dicari nilai threshold terbaik yang dapat memisahkan antara kedua kelas tersebut. Nilai tersebut dicari dengan mengubah nilai *threshold* dan mengambil nilai yang memberikan akurasi, *sensitivity*, dan *specificity* terbaik. Untuk mencari nilai-nilai yang paling optimal dari parameter masukan, pencarian dilakukan secara exhaustive dengan mengubah nilai parameter tersebut untuk mendapatkan hasil terbaik.

Pada pengujian ini, dilakukan variasi terhadap ukuran window pada metode line operator. Ukuran window ini memengaruhi ukuran struktur trabecular bone pada citra line strength. Pengujian dilakukan dengan mencari performa terbaik yang dihasilkan oleh metode line operator dari ukuran 7 hingga 25. Ukuran window tersebut diperbesar dengan penambahan nilai sebesar 2 untuk membuat ukuran window tersebut bernilai ganjil. Grafik hasil pengujian ditampilkan pada Gbr. 8 dan Tabel 1. Grafik dan tabel tersebut menunjukkan hasil terbaik pada ukuran window 19 dengan *sensitivity* sebesar 0,92683; *specificity* sebesar 0,22807; dan akurasi sebesar 0,52041. Nilai *sensitivity* tersebut didapatkan dari jumlah *true positive* sebanyak 38 berbanding total data

pada kelas positif sebanyak 41. Sedangkan nilai *specificity* didapatkan dari jumlah *true negative* sebanyak 13 berbanding total data pada kelas negatif sebanyak 57. Hasil tersebut didapatkan pada nilai *threshold* sebesar 174.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, diusulkan sebuah metode untuk mendeteksi percabangan pada trabecular bone dari radiograf panoramik. Sebagai langkah pertama, struktur pada trabecular bone tersebut di-enhance menggunakan metode line operator, menghasilkan citra line strength yang dibinerisasi dengan nilai threshold yang dihitung menggunakan metode Otsu. Lokasi percabangan pada citra biner tersebut kemudian dideteksi menggunakan metode COSFIRE dan dihitung jumlahnya. Hasil klasifikasi menggunakan jumlah percabangan tersebut memberikan performa terbaik yaitu *sensitivity* sebesar 0,92683; *specificity* sebesar 0,22807; dan akurasi sebesar 0,52041.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Osteoporosis knowledge and related factors among orthopedic nurses in Hunan province of China - ScienceDirect.” [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878124119300036>. [Accessed: 30-Oct-2019].
- [2] D. M. Black and C. J. Rosen, “Postmenopausal Osteoporosis,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 374, no. 3, pp. 254–262, Jan. 2016, doi: 10.1056/NEJMcpl513724.
- [3] T. Sözen, L. Özışık, and N. Ç. Başaran, “An overview and management of osteoporosis,” *Eur. J. Rheumatol.*, vol. 4, no. 1, pp. 46–56, Mar. 2017, doi: 10.5152/eurjrheum.2016.048.
- [4] C. J. Crandall and K. E. Ensrud, “Osteoporosis Screening in Younger Postmenopausal Women,” *JAMA*, vol. 323, no. 4, pp. 367–368, Jan. 2020, doi: 10.1001/jama.2019.18343.
- [5] P. Ryan, R. L. Brown, M. E. Csuka, and P. Papanek, “Efficacy of Osteoporosis Prevention Smartphone App,” *Nurs. Res.*, vol. 69, no. 1, pp. 31–41, Feb. 2020, doi: 10.1097/NNR.0000000000000392.
- [6] A. Al-Dam et al., “Mandibular cortical shape index in non-standardised panoramic radiographs for identifying patients with osteoporosis as defined by the German Osteology Organization,” *J. Cranio-Maxillo-fac. Surg. Off. Publ. Eur. Assoc. Cranio-Maxillo-fac. Surg.*, vol.

- 41, no. 7, pp. e165-169, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.jcms.2012.11.044.
- [7] U. T. V. Nguyen, A. Bhuiyan, L. A. F. Park, and K. Ramamohanarao, "An effective retinal blood vessel segmentation method using multi-scale line detection," *Pattern Recognit.*, vol. 46, no. 3, pp. 703–715, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.patcog.2012.08.009.
- [8] R. C. Wihandika and N. Suciati, "Retinal Blood Vessel Segmentation with Optic Disc Pixels Exclusion," *Int. J. Image Graph. Signal Process.*, vol. 5, no. 7, p. 26, Jun. 2013.
- [9] S. C. White and D. J. Rudolph, "Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis," *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, vol. 88, no. 5, pp. 628–635, Nov. 1999.
- [10] G. Azzopardi and N. Petkov, "Automatic detection of vascular bifurcations in segmented retinal images using trainable COSFIRE filters," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 34, no. 8, pp. 922–933, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.patrec.2012.11.002.
- [11] B. Gecer, G. Azzopardi, and N. Petkov, "Color-blob-based COSFIRE filters for object recognition," *Image Vis. Comput.*, vol. 57, pp. 165–174, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.imavis.2016.10.006.
- [12] J. Guo, C. Shi, G. Azzopardi, and N. Petkov, "Recognition of Architectural and Electrical Symbols by COSFIRE Filters with Inhibition," in *Computer Analysis of Images and Patterns*, 2015, pp. 348–358.
- [13] M. López-Antequera, M. Leyva Vallina, N. Strisciunglio, and N. Petkov, "Place and Object Recognition by CNN-Based COSFIRE Filters," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 66157–66166, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918267.
- [14] L. M. Demajo, K. Guillaumier, and G. Azzopardi, "Age Group Recognition from Face Images Using a Fusion of CNN- and COSFIRE-based Features," in *Proceedings of the 2Nd International Conference on Applications of Intelligent Systems*, New York, NY, USA, 2019, pp. 12:1–12:6, doi: 10.1145/3309772.3309784.
- [15] G. Azzopardi, A. Greco, and M. Vento, "Gender recognition from face images with trainable COSFIRE filters," in *2016 13th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 2016, pp. 235–241, doi: 10.1109/AVSS.2016.7738068.
- [16] C. Shi *et al.*, "Detection of u-serrated patterns in direct immunofluorescence images of autoimmune bullous diseases by inhibition-augmented COSFIRE filters," *Int. J. Med. Inf.*, vol. 122, pp. 27–36, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2018.11.007.