DETEKSI TEPI UNTUK VALIDASI MODEL TIGA DIMENSI TULANG PANGGUL PADA PERENCANAAN DESAIN IMPLAN

EDGE DETECTION FOR VALIDATION OF THREE-DIMENSIONAL MODEL OF HIP BONE IN IMPLAN DESIGN PLANNING

Talitha Asmaria^{1,2*}, Rafidah Rahmi², Muhammad Satrio Utomo¹, Dhyah Annur¹, Daniel Panghihutan Malau¹, Muhamad Ikhlasul Amal¹, dan Ika Kartika¹

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Gedung 473, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia, 15314

²Program Studi Teknik Biomedis, International University Liaison Indonesia, Gedung My Republic, The Breeze, BSD City, Tangerang Selatan, Indonesia, 15345

^{1*}Pos el: talitha.asmaria@lipi.go.id

ARTICLE INFO

Article history

Received date

27 January 2020

Received in revised form date

08 May 2020

Accepted date

27 May 2020

Available online date

May 2020

Abstract

In the process of implan design planning, the anatomical background of human bone is an important aspect to determine the accuracy of implan design. To help in understanding the human bone anatomy, replicas of human bone can be reconstructed using three-dimensional (3D) printing technology. This study aims to validate the digital model of human bone and the imaging data of human bone in order to have an appropriate recommendation for designing the total hip replacement (THR). Achieved data from computed tomography scanning (CT-Scan) modality was deciphered to build the digital 3D model human bone. The bone and the digital 3D model of bone were captured to be two-dimensional(2D) data in the same dimension and processed using the algorithm of edge detection. The images from the edge detection process were processed for finding the similarity of the images. The percentage of similarity, precision, and accuracy between the bone and the digital 3D model have been validated and can be used as a reference in the THR designs.

Keywords: Implan, Femur bone, Validation 3-D model, Edge detection

Kata kunci:

Implan

Tulang Femur

Validasi Model Tiga Dimensi

Deteksi Tepi

Abstrak

Pada proses perencanaan desain implan, anatomi tulang manusia merupakan salah satu aspek utama yang menentukan desain dari sebuah implan. Untuk memahami anatomi tulang manusia, replika tulang manusia dapat direkonstruksi menggunakan teknologi pencetakan tiga dimensi (3D). Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi model tulang manusia digital dengan data citra tulang manusia untuk mendapatkan sebuah rekomendasi yang baik pada perencanaan penggantian total tulang panggul atau *total hip replacement* (THR). Data yang didapatkan dari modalitas pemindaian tomografi komputer atau *computed tomography scanning* (CT-Scan) direkonstruksi untuk membuat model 3D tulang manusia digital. Tulang dan model 3D tulang digital ditangkap menjadi data dua dimensi (2D) dengan dimensi yang sama dan diproses menggunakan algoritma deteksi tepi. Citra hasil pengolahan deteksi tepi kemudian diolah untuk menentukan derajat kesamaan dari citra-citra tersebut. Persentase kemiripan, kepresisian, dan akurasi antara tulang dan model 3D digital setelah divalidasi dapat dijadikan acuan ukuran dalam desain THR.

© 2020 Widyariset. All rights reserved

©2020 Widyariset. All rights reserved

DOI: <http://dx.doi.org/10.14203/widyariset.6.1.2020.51-61>

PENDAHULUAN

Implan merupakan alat yang ditanam di dalam tubuh manusia untuk menggantikan fungsi organ yang hilang ataupun rusak. Pada bidang ortopedi, implan digunakan sebagai pengganti tulang yang telah rusak akibat kecelakaan ataupun penuaan sehingga dapat digunakan sebagai penyangga fraktur. Implan pada umumnya terbuat dari bahan logam seperti paduan titanium, paduan kobalt, dan baja tahan karat. Pada proses pembuatan implan, terdapat berbagai pertimbangan yang dibutuhkan agar mencapai ketepatan dalam segi desain yang mengikuti bentuk tulang manusia serta dalam aspek material yang harus mempunyai sifat dapat diterima oleh tubuh manusia dan tidak bersifat racun.

Pada proses pembuatan desain implan, profil anatomi tulang manusia merupakan acuan utama dalam penentuan dimensi serta spesifikasi bentuk implan. Pada proses ini, teknologi pencetakan tiga dimensi dapat membantu visualisasi bentuk tulang manusia yang akan dipasang implan. Teknologi pencetakan tiga dimensi telah banyak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan berbagai bidang, khususnya pada bidang kedokteran. Penggunaan teknologi pencetakan tiga dimensi pada bidang medis dilakukan untuk menciptakan model anatomi organ manusia sebagai alat edukasi, alat perencanaan tindakan operasi, serta alat perencanaan pembuatan implan (Rengier dkk. 2010).

Penggunaan teknologi pencetakan tiga dimensi untuk menirukan model anatomi organ manusia terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu tahapan akuisisi sumber data, rekonstruksi tiga dimensi, dan pencetakan purwarupa organ tubuh manusia (Choi dkk. 2002). Pada tahapan akuisisi sumber data, tubuh manusia dipindai melalui perangkat elektronik pencitraan seperti pencitraan resonansi magnetik atau MRI (*magnetic resonance imaging*), pemindaian tomografi komputer

atau *computed tomography scanning* (CT-Scan), rontgen, dan ultrasonografi atau USG. Hasil pemindaian organ manusia merupakan data gambar dua dimensi yang terdiri atas beberapa lapisan. Lapisan-lapisan gambar dua dimensi ini jika digabungkan akan membentuk gambar tiga dimensi yang mencerminkan organ tubuh manusia yang dipindai. Selanjutnya, data gambar tiga dimensi ini direkonstruksi untuk mendapatkan bagian organ tubuh yang diinginkan untuk kemudian dicetak menggunakan alat cetak tiga dimensi (*3D Printer*).

Pada perencanaan desain implan, hasil pencetakan tiga dimensi organ manusia seharusnya mempunyai dimensi yang sama dengan organ manusia yang sesungguhnya. Hal ini sangat berkaitan erat dengan ketelitian pada proses desain implan yang sesuai dengan ukuran tulang manusia. Akan tetapi, pada kenyataannya (Brouwers dkk. 2018; Malleprea and Bergers 2009; Choi dkk. 2002) mengungkapkan bahwa hasil dari pencetakan tiga dimensi tidak sesuai dengan ukuran organ manusia yang sebenarnya. Penelitian dari (Malleprea and Bergers 2009) mengungkapkan ketidaksesuaian hasil dari pencetakan tiga dimensi dengan ukuran organ manusia yang sebenarnya disebabkan beberapa faktor, yaitu proses pengambilan data dengan modalitas pencitraan mempunyai parameter-parameter tertentu seperti sudut saat pengambilan gambar dan saturasi sehingga menyebabkan hasil pemindaian radiografi mempunyai perbedaan kecil dengan ukuran organ asli. Selain itu, proses rekonstruksi model organ tiga dimensi yang terdiri dari beberapa tahapan yang disesuaikan dengan tingkat kesulitan konstruksi organ manusia juga menyebabkan perbedaan ukuran organ manusia dengan hasil akhir model tiga dimensi. Penelitian-penelitian di atas menunjukkan perlu adanya metode yang dapat mengetahui lebih jauh mengenai

ketidakakuratan sebuah hasil rekonstruksi model tiga dimensi pada replika organ manusia.

Di sisi lain, pengolahan citra digital dengan berbagai metode seperti deteksi tepi, ekstraksi ciri, histogram, pemberian batas ambang, segmentasi, registrasi citra, serta beberapa metode perbaikan citra lainnya telah banyak membantu dalam hal pembentukan, pengolahan, serta analisis citra hingga mampu memberikan sebuah informasi yang tepat dan dapat dipahami oleh manusia. Salah satu metode pengolahan citra digital yang sering digunakan adalah metode deteksi tepi. Metode deteksi tepi mempunyai keunggulan mampu mengenali pola dengan tepat sesuai dengan input data dan hasil data yang diinginkan. Proses algoritma yang terstruktur membuat deteksi tepi banyak diaplikasikan untuk mengidentifikasi pola yang rumit pada suatu citra, contohnya penggunaan deteksi tepi untuk mengetahui pola tumor otak pada manusia berdasarkan citra MRI (Rulaningtyas and Ain 2009; Mei dkk. 2009). Teknik deteksi tepi juga telah berhasil diterapkan pada berbagai aplikasi medis seperti proses segmentasi untuk pendeteksian lesion kulit (Rajab, Woolfson, and Morgan 2004).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan derajat kesamaan hasil proses rekonstruksi model tiga dimensi organ manusia, pada khususnya tulang femur manusia dengan anatomi tulang femur manusia yang digambarkan dari hasil pemindaian. Proses penentuan derajat kesamaan dilakukan menggunakan pendekatan pemrosesan citra digital dengan teknik deteksi tepi. Proses validasi model tiga dimensi dengan cara penentuan derajat kesamaan menggunakan metode deteksi tepi pada penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi pembuatan desain implan khususnya pada penggantian total tulang panggul atau *total hip replacement* (THR) yang sesuai dengan anatomi tulang manusia.

METODE

Penelitian ini terdiri atas empat tahapan utama, yaitu akuisisi sumber data, rekonstruksi model tiga dimensi, dan pengolahan citra menggunakan metode deteksi tepi, dan penentuan derajat kesamaan.

Akuisisi Sumber Data

Data sumber diperoleh dari kumpulan contoh data radiografi pada perangkat lunak Osirix. Data merupakan data bebas akses yang mempunyai format *digital imaging and communication in medicine* (DICOM) dengan judul data AMNESIX. Data AMNESIX merupakan data yang didapatkan dari hasil pemindaian abdomen tomografi komputer atau *computed tomography abdomen* (CTA) pada bagian limpasan ekstremitas bawah pasien dengan penempatan aneurisma iliaka. Data DICOM yang diperoleh merupakan kumpulan dari data dengan karakteristik lapisan dua dimensi yang terdiri dari 1625 lapisan. Osirix merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melihat dokumen dengan format DICOM. Perangkat lunak OSIRIX dilengkapi dengan beberapa alat pemrosesan citra digital, seperti gunting, penggaris, dan ISO kecerahan. Perangkat lunak Osirix yang digunakan pada penelitian ini adalah versi umum yang tidak dikhususkan untuk kebutuhan medis, dimana versi ini bebas untuk diunduh dan digunakan, tetapi mempunyai kekurangan, yaitu tidak tersedianya beberapa alat pemrosesan citra digital tertentu (Rosset, Spadola, dan Ratib 2004).

Rekonstruksi Model Tiga Dimensi

Proses rekonstruksi model tiga dimensi tulang femur terdiri atas beberapa tahapan, yaitu proses pemuatan data, proses segmentasi tiga dimensi, dan proses perbaikan model. Proses pemuatan data dengan format data DICOM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak 3D

Blender. 3D Blender merupakan perangkat lunak yang gratis digunakan tanpa lisensi tertentu. Data yang dimuat merupakan seluruh area ekstremitas rendah dari bagian panggul hingga mata kaki. Selanjutnya, data DICOM di segmentasi menggunakan perangkat lunak yang sama, yaitu 3D Blender. Proses segmentasi bertujuan untuk memisahkan bagian yang diinginkan, yaitu tulang femur dari keseluruhan area hasil pemindaian. Proses segmentasi dilakukan dengan bantuan perangkat digital pemotong yang terdapat pada 3D Blender. Setelah mendapatkan bagian tulang femur, data kemudian diterjemahkan menjadi data volume tiga dimensi. Proses perbaikan model dilakukan pada data volume tiga dimensi tulang femur dengan beberapa perangkat digital seperti penghalusan, penghilangan kekosongan, dan pengisian kekosongan yang tersedia pada 3D Blender (Porion dkk. 2004). Data volume tiga dimensi tulang femur ini mempunyai format STL (*stereolithography*). Format STL merupakan format siap cetak yang digunakan menjadi data masukan untuk alat cetak tiga dimensi.

Pengolahan Citra Deteksi Tepi

Pengolahan citra deteksi tepi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab 2015. Hasil segmentasi tulang femur dan hasil volume data tulang femur dalam bentuk STL ditangkap menggunakan perangkat lunak tangkap layar pada enam dimensi tampilan yang sama, yaitu: anterior (depan), posterior (belakang), inferior (atas), superior (bawah), kanan, dan kiri. Data kemudian disimpan dalam bentuk format dua dimensi, yaitu *portable network graphics* (PNG). Data dua dimensi yang telah didapatkan merupakan data berwarna yang kemudian diolah menjadi data keabuan. Data keabuan digunakan untuk menentukan titik ambang yang akan digunakan untuk mengubah data keabuan

menjadi data hitam dan putih. Algoritma penentuan titik ambang dituliskan pada persamaan 1.

$$f_{(K)} = \begin{cases} 1, & \text{jika } K < 20 \\ 0, & \text{jika } K \geq 20 \end{cases} \quad (1)$$

Hasil dari operasi penentuan ambang akan menjadi nilai masukan pada algoritma deteksi tepi. Metode deteksi tepi yang digunakan pada penelitian ini adalah Canny. Pemilihan metode deteksi tepi Canny dilakukan setelah percobaan dengan metode lainnya seperti Roberts, Prewitt, dan Sobel serta menghasilkan data segmentasi citra yang terbaik adalah Canny. Penelitian dari (Zhi and Sai-Xian 2004) mengungkapkan metode deteksi Canny memberikan hasil pengolahan citra yang lebih baik dari beberapa metode deteksi tepi lainnya. Pengodean deteksi tepi pada penelitian ini menggunakan skema kode sebagai berikut.

```
I=imread('left_bone.png');
II = (rgb2gray(I));
figure,imshow(I);
figure,imshow(II);
maks=max(II(:));
mini=min(II(:));
[brs klm]=size(II);
for i=1:brs
    for j=1:klm
        if(II(i,j)>=25)
            c(i,j)=0;
        else
            c(i,j)=1;
        end
    end
end
c
figure,imshow(c)
E_canny=edge(c,'canny');
figure,imshow(E_canny);
```

Penentuan Derajat Kesamaan Model Tiga Dimensi

Proses penentuan derajat kesamaan pada hasil tangkapan dua dimensi menggunakan algoritma pada Persamaan 2 yang menjelaskan penentuan derajat kesamaan antara hasil tangkapan dua dimensi tulang dan hasil pemodelan tiga dimensi tulang. Proses penentuan derajat kesamaan telah digunakan penelitian untuk pengenalan pola pada tulang pelvis (Asmaria dkk. 2019).

$$\text{Derajat Kesamaan} = \frac{TP+TN}{(TP+FP+FP+FN)} \times 100\% \quad (2)$$

Setiap informasi yang tertera pada data citra dua dimensi merupakan piksel yang berukuran sesuai dengan besaran citra tersebut. Citra tulang femur dan citra volume data tulang femur dalam format STL ditangkap pada dimensi ukuran yang sama, sehingga dapat dipastikan bahwa piksel pertama dari citra tulang femur akan dibandingkan dengan dengan piksel pertama dari citra volume data tulang femur dalam format STL. Perbandingan data piksel ini ditentukan dengan empat nilai, yaitu nilai benar positif atau *true positive* (TP), nilai salah positif atau *false positive* (FP), nilai benar negatif atau *true negative* (TN), dan nilai salah negatif atau *false negative* (FN). Nilai benar positif (TP) adalah nilai piksel dari citra tulang yang dikenali sebagai citra tulang pada citra stereolitografi. Nilai salah positif (FP) adalah nilai piksel citra bukan tulang yang dikenali sebagai citra tulang pada citra stereolitografi. Nilai benar negatif (TN) adalah nilai piksel bukan citra tulang yang dikenali sebagai citra bukan tulang pada citra stereolitografi. Sedangkan nilai salah negatif (FN) adalah nilai piksel dari citra bukan tulang yang dikenali sebagai citra tulang pada citra stereolitografi.

HASIL

Hasil dari penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian pembahasan yaitu hasil rekonstruksi model tiga dimensi, hasil pengolahan citra deteksi tepi, dan hasil penentuan derajat kesamaan model tiga dimensi.

Hasil Rekonstruksi Model Tiga Dimensi

Hasil rekonstruksi model tulang femur tiga dimensi ditampilkan pada Gambar 1(a), yaitu mengenai hasil pemuatan data, Gambar 1(b) mengenai hasil segmentasi model tiga dimensi, dan Gambar 2 hasil perbaikan model tiga dimensi.

Hasil pemuatan data CT-Scan dalam format DICOM pada Gambar 1 masih memuat seluruh area bagian bawah tubuh (*low extremities*). Data DICOM kemudian disegmentasi dan menghasilkan data tulang femur tiga dimensi dalam format DICOM yang diterangkan pada Gambar 1(b). Data DICOM memiliki ciri data yaitu menerangkan keadaan tulang sebenarnya sesuai dengan struktur jaringan yang terdapat pada area sekitar tulang. Proses segmentasi menggunakan perangkat digital pemotongan pada perangkat lunak 3D Blender berfungsi untuk memisahkan area yang diinginkan, yaitu tulang femur dengan keseluruhan area pemindaian data CT-Scan pada area bagian ekstremitas bawah tubuh.

Gambar 1. (a) Hasil Pemuatan Data CT Scan pada Area Tulang Bagian Bawah Tubuh. (b) Hasil Segmentasi Data DICOM dari Tulang Femur

Hasil segmentasi data kemudian dikonversi menjadi data siap cetak (*ready to print*) dengan format *stereolithography* (STL) yang ditunjukkan pada Gambar 2(a). Pada Gambar 2(a) terlihat bahwa data hasil konversi pada proses segmentasi mengalami banyak kerusakan, baik pada permukaan dan pada area bagian dalam tulang femur. Pada bagian ujung atas tulang femur, data kerusakan meliputi keseluruhan area, yaitu bonggol, leher, trokanter besar dan trokanter kecil. Sedangkan, pada bagian ujung bawah tulang femur kerusakan meliputi keseluruhan area, yaitu kondilus medial dan kondilus lateral. Data hasil konversi dari format DICOM menjadi format STL ini kemudian diperbaiki menggunakan beberapa perangkat digital pada 3D Blender dan Autodesk Powershape Premium dengan lisensi Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI. Hasil perbaikan data pada Gambar 2(a) menghasilkan data tulang femur yang lebih baik untuk dicetak. Hasil akhir perbaikan data siap cetak tulang femur ditunjukkan pada Gambar 2(b).

Hasil segmentasi model tiga dimensi pada Gambar 2 serta hasil perbaikan data tulang femur dengan format STL pada Gambar 2(b) akan dijadikan input pada proses pengolahan citra deteksi tepi. Hasil

dari metode pengolahan citra deteksi tepi pada kedua subjek kemudian akan dijadikan input pada proses penentuan derajat kesamaan.

Hasil Pengolahan Citra Deteksi Tepi

Pengolahan citra dengan menggunakan metode deteksi tepi diawali dengan proses penangkapan gambar dua dimensi pada enam dimensi tampilan baik pada data tulang femur dengan format DICOM dan data tulang femur dengan format STL. Gambar 3(a)–(f) menerangkan hasil penangkapan gambar dua dimensi pada tulang femur dengan format DICOM pada enam dimensi tampilan, yaitu anterior, posterior, inferior, superior, kanan, dan kiri. Gambar 4(a)–(f) menerangkan hasil penangkapan gambar dua dimensi pada tulang femur dengan format STL pada enam dimensi tampilan, yaitu anterior, posterior, inferior, superior, kanan, dan kiri. Data tulang femur tiga dimensi pada kedua format DICOM dan STL mempunyai dimensi piksel yang sama, yaitu 220 x 588 pada tampilan anterior, 157 x 582 pada tampilan posterior, 128 x 151 pada tampilan inferior, 153 x 203 pada tampilan superior, 120 x 590 pada tampilan kanan, dan 100 x 528 pada tampilan kiri.

Selanjutnya, hasil penangkapan layar pada Gambar 3 dan 4 dijadikan data derajat keabuan dan diubah menjadi data hitam dan putih dengan menerapkan nilai ambang 20. Penentuan nilai ambang 20 didapatkan dari beberapa percobaan menggunakan beberapa angka nilai ambang lainnya, yaitu, 60, 80, 100, dan beberapa angka lainnya. Nilai ambang 20 merupakan nilai yang optimum saat digunakan untuk keseluruhan proses perubahan data citra keabuan menjadi data hitam putih, karena dapat menghasilkan kehilangan informasi data yang paling minimum. Gambar 5(a) dan 5(b) menunjukkan hasil pengolahan citra keabuan

Gambar 2. (a) Hasil konversi data DICOM menjadi data STL . (b) Hasil perbaikan data STL.

Gambar 3. Hasil Penangkapan Data Dua Dimensi Tulang Femur DICOM pada Enam Dimensi Tampilan (a) Anterior, (b) Posterior, (c) Kanan, (d) Kiri, (e) Superior, dan (f) Inferior

Gambar 4. Hasil Penangkapan Data Dua Dimensi pada Data Tulang Femur STL pada Enam Dimensi Tampilan (a) Anterior, (b) Posterior, (c) Kanan, (d) Kiri, (e) Superior, dan (f) Inferior

dan hasil pengolahan citra hitam dan putih pada salah satu area tampilan tulang femur, yaitu tampilan anterior. Hasil keluaran pada proses hitam putih yang ditunjukkan pada Gambar 5(b) dijadikan data masukan untuk algoritma deteksi Canny. Hasil pengolahan citra deteksi Canny ditunjukkan pada Gambar 5(c).

Gambar 5. (a) Hasil Pengolahan Citra Keabuan, dan (b) Hasil Pengolahan Citra Hitam dan Putih pada Tulang Femur. (c) Hasil Pengolahan Citra Deteksi Canny pada Tulang Femur

Hasil Penentuan Derajat Kesamaan Model Tiga Dimensi

Penentuan derajat kesamaan antara citra tulang dengan format DICOM dan citra tulang pada format STL menentukan ketelitian pada proses fabrikasi model tulang dengan format *ready to print* atau *stereolithography* (STL). Angka persentase yang tinggi menunjukkan bahwa proses pembuatan model tulang femur telah sesuai dan sama dengan dimensi dari tulang femur yang sebenarnya. Tabel 1 menjelaskan hasil penentuan derajat kesamaan tulang femur pada enam dimensi layar, yaitu anterior, posterior, kanan, kiri, inferior, dan superior. Penentuan derajat kesamaan dengan menggunakan tampilan enam dimensi mampu mencerminkan semua sisi pada bidang tiga dimensi tulang femur.

Tabel 1. Hasil Penentuan Derajat Keasaman

Tampilan	Persentase (%)
Anterior	98.3666
Posterior	94.1220
Superior	84.7548
Inferior	82.3624
Kanan	92.6808
Kiri	96.1686

Pada Tabel 1, nilai derajat kesamaan pada tampilan inferior dan superior lebih rendah, yaitu 82,36% dan 84,75%. Hal ini disebabkan pada penangkapan layar dua dimensi pemodelan tulang dalam format stereolitografi yang relatif tidak sama dengan hasil penangkapan layar dua dimensi pada hasil *rendering* volume tulang yang sebenarnya. Hasil ini dapat dikembangkan lebih baik jika kedua citra, yaitu hasil *rendering* volume tulang sebenarnya dengan hasil pemodelan tulang tiga dimensi dengan lebih memperhatikan derajat yang sama pada proses penangkapan layar dua dimensi. Selain itu, kemiripan kedua citra tersebut dapat dicapai dengan merencanakan teknik pemrosesan citra lebih lanjut. Dimensi inferior dan superior memperlihatkan bagian ujung bawah tulang femur, yaitu, trokanter medial dan lateral. Presisi bagian bawah tulang femur membutuhkan pendekatan kemiripan 100% pada pemodelan tulang tiga dimensi jika digunakan pada aplikasi perencanaan implan penggantian lutut total atau *total knee replacement* (TKR).

PEMBAHASAN

Pembuatan desain implan yang bersifat *customized* atau disesuaikan dengan keadaan tulang pasien membutuhkan alat visualisasi seperti replika tulang manusia. Pembuatan replika tulang manusia dapat dilakukan menggunakan teknologi pencetakan 3D. Proses pencetakan 3D terdiri atas tiga tahapan utama, pengambilan data dari modalitas citra, pembuatan model 3D,

dan pencetakan replika tulang. Pencetakan 3D pada perencanaan implan tulang pada THR dapat digunakan untuk mengulas morfologi tulang femur, salah satunya adalah diameter dari kepala tulang femur.

Seperti yang diketahui dalam literatur (Malik dan Malik 2015), diameter kepala femoral adalah salah satu pertimbangan yang penting untuk menentukan rentang gerak, stabilitas dan properti keausan dari penggantian sendi. Rentang gerak dan stabilitas saling berkaitan karena merupakan fungsi dari rasio kepala dan leher komponen THR. Rasio kepala dan leher komponen THR akan meningkat bersamaan dengan semakin besarnya diameter dari kepala tulang femur serta leher tulang femur yang meruncing atau lebih sempit. Kepala tulang femur yang berdiameter lebih besar juga membutuhkan perpindahan yang lebih besar untuk dislokasi, yaitu jarak lompatan. Rasio bonggol-leher komponen implan THR yang lebih besar dari tulangnya memungkinkan gerak primer yang lebih luas sebelum terjadinya tumbukan antara tulang dengan implan yang terpasang. Oleh karena itu, rasio bonggol-leher komponen implan THR yang lebih besar menawarkan rentang gerak dan stabilitas yang lebih baik.

Hasil dari penangkapan citra dua dimensi pada dua tahapan pertama pencetakan 3D, yaitu pengambilan data dari modalitas citra pada format DICOM dan data model 3D pada format STL menerangkan bahwa keduanya memiliki rentang diameter kepala femur yang sama yaitu 5,18 cm. Gambar 8 menerangkan hasil pengukuran kepala tulang femur dari penangkapan citra dua dimensi dari modalitas citra pada format DICOM dan data model 3D pada format STL. Pengukuran diameter kepala tulang femur pada data dengan format DICOM dilakukan menggunakan alat segmentasi dan penggaris digital pada perangkat lunak Radiant DICOM, sedangkan pada data

STL menggunakan penggaris digital pada perangkat lunak Blender.

Setiap manusia mempunyai perbedaan ukuran dan morfologi dari setiap tulangnya. Pada perencanaan pembuatan desain implan, khususnya pada penggantian panggul total atau THR, ukuran dan morfologi dari tulang femoral tiap manusia merupakan salah satu aspek utama yang harus dipertimbangkan. Hal ini berkaitan dengan tujuan utama tindakan THR, yaitu untuk memulihkan pusat rotasi sendi, mempertahankan sumbu mekanis pada bagian ekstrimitas bawah, mempertahankan panjang kaki, dan mencapai keseimbangan jaringan lunak yang benar. Adaptasi yang baik dari pemasangan prosthesis ke tulang merupakan sebuah kunci untuk mencapai stabilitas dan fiksasi untuk artroplasti panggul total.

Gambar 8. Hasil Pengukuran Diameter Kepala Tulang Femur (a) dengan Format DICOM dan (b) Data Format STL

Kajian yang mengulas tentang morfologi tulang khususnya pada tulang manusia yang berkaitan dengan penentuan desain implan telah banyak dilakukan pada berbagai negara (Baharuddin dkk. 2014; Lecerf dkk. 2009; Rawal dkk. 2012; Mirza dkk. 2010; Yang dkk. 2018), tetapi di Indonesia kajian mengenai morfologi tulang manusia cukup terbatas. Pada tahun 2019, beberapa penelitian mengenai studi validasi proses dan hasil pencetakan 3D juga telah dilaksanakan pada bagian organ tubuh hati (Witowski dkk. 2019), pelvis dan acetabulum (Fang dkk. 2019), serta model jantung (Odeh dkk. 2019), tetapi kajian mengenai studi validasi proses pencetakan 3D khususnya pada area tulang femur sebagai acuan pembuatan desain implan THR dan TKR juga masih terbatas. Gambar 8 menunjukkan bahwa penelitian ini dapat menganalisis morfologi tulang, khususnya pada diameter kepala tulang femur yang berkaitan pada penentuan desain kepala dan leher komponen THR. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan analisis derajat kesamaan antara hasil penangkapan layar dua dimensi tulang femur pada data CT-Scan dengan hasil penangkapan layar dua dimensi tulang femur hasil pengolahan citra digital (Tabel 1).

Berdasarkan pada perkembangan kajian morfologi tulang untuk perencanaan implan, studi ini dapat dilanjutkan untuk memvalidasi hasil pencetakan 3D, sehingga keakurasian dari keseluruhan proses pencetakan 3D dapat tercapai dan menjadi rekomendasi yang tepat dalam hal perencanaan implan yang sesuai dengan morfometri tulang manusia.

KESIMPULAN

Proses validasi antara model 3D tulang femur manusia dengan data citra CT-Scan tulang femur manusia telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai

yang tinggi, yaitu dengan angka persentase paling rendah 82% pada perolehan derajat kesamaan antara model 3D tulang femur manusia dengan data citra CT-Scan tulang femur manusia pada enam dimensi bidang. Hal ini menerangkan bahwa proses perencanaan implan penggantian panggul total yang menggunakan teknologi pemodelan serta pencetakan 3D dapat mencapai akurasi yang tinggi dan mampu memenuhi desain implan yang sesuai dengan morfologi tulang pasien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih untuk Dr. Yudi Nugraha Thaha yang memberikan akses penggunaan perangkat lunak MATLAB 2015. Talitha Asmaria adalah kontributor utama dalam penelitian ini. Riset ini mendapatkan pendanaan dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

DAFTAR ACUAN

- Asmaria, T., D. Annur, M.S. Utomo, A.K. Sari, D.P. Malau, Y. Prabowo, A.J. Rahyussalim, and M.I. Amal. 2019. "Validation of 3D Models Using Template Matching for Implan Planning." In *2019 16th International Conference on Quality in Research, QIR 2019 - International Symposium on Electrical and Computer Engineering*.
- Baharuddin, Mohd Yusof, Sh Hussain Salleh, Ahmad Hafiz Zulkifly, Muhammad Hisyam Lee, and Alias Mohd Noor. 2014. "Morphological Study of the Newly Designed Cementless Femoral Stem." *BioMed Research International* 2014.
- Brouwers, Lars, Arno Teutelink, Fiek A.J.B. van Tilborg, Mariska A.C. de Jongh, Koen W.W. Lansink, and Mike Belmelman. 2018. "Validation Study of 3D-Printed Anatomical Models Using 2 PLA Printers for Preoperative Planning in Trauma Surgery, a Human Cadaver Study." *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 0 (0): 1–8.
- Choi, J. Y., J. H. Choi, N. K. Kim, Y. Kim, J. K. Lee, M. K. Kim, J. H. Lee, and M. J. Kim. 2002. "Analysis of Errors in Medical Rapid Prototyping Models." *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 31 (1): 23–32.
- Fang, Christian, Hong Cai, Evelyn Kuong, Elvis Chui, Yuk Chuen, and Siu Tao. 2019. "Surgical Applications of Three-Dimensional Printing in the Pelvis and Acetabulum : From Models and Tools to Implants," no. March: 278–85.
- Lecerf, G., M. H. Fessy, R. Philippot, P. Massin, F. Giraud, X. Flecher, J. Girard, P. Mertl, E. Marchetti, and E. Stindel. 2009. "Femoral Offset: Anatomical Concept, Definition, Assessment, Implications for Preoperative Templating and Hip Arthroplasty." *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research* 95 (3): 210–19.
- Malik, Sherzaz S., and Shahbaz S. Malik. 2015. "Biomechanics of the Hip and Total Hip Replacement." In *Orthopaedics Biomechanics Made Easy*, 96–110. Cambridge University Press.
- Mallepree, Timon, and Diethard Bergers. 2009. "Accuracy of Medical RP Models." *Rapid Prototyping Journal* 15 (5): 325–32.
- Mei, Xie, Zhen Zheng, Wu Bingrong, and Li Guo. 2009. "The Edge Detection of Brain Tumor." *2009 International Conference on Communications, Circuits and Systems, ICCAS 2009*, 477–79.
- Mirza, Saeed B, Douglas G Dunlop, Sukhmeet S Panesar, Syed G Naqvi, Shafat Gangoo, and Saif Salih. 2010. "Basic Science Considerations in Primary Total Hip Replacement Arthroplasty." *The Open Orthopaedics Journal* 4 (1): 169–80.
- Odeh, Mohammad, Dmitry Levin, Jim Inziello, Flavio Lobo Fenoglietto, Moses Mathur, Joshua Hermsen, Jack Stubbs, and Beth Ripley. 2019. "Methods for Verification of 3D Printed Anatomic Model Accuracy Using Cardiac Models as an Example." *3D Printing in Medicine* 5 (1): 1–12.

- Porion, Patrice, Nathalie Sommier, Anne Marie Faugère, and Pierre Evesque. 2004. "Dynamics of Size Segregation and Mixing of Granular Materials in a 3D-Blender by NMR Imaging Investigation." *Powder Technology* 141 (1-2): 55-68.
- Rajab, M. I., M. S. Woolfson, and S. P. Morgan. 2004. "Application of Region-Based Segmentation and Neural Network Edge Detection to Skin Lesions." *Computerized Medical Imaging and Graphics* 28 (1-2): 61-68.
- Rawal, B. R., Rahul Ribeiro, Rajesh Malhotra, and Naresh Bhatnagar. 2012. "Anthropometric Measurements to Design Best-Fit Femoral Stem for the Indian Population." *Indian Journal of Orthopaedics* 46 (1): 46-53.
- Rengier, F., A. Mehndiratta, H. Von Tengg-Kobligk, C. M. Zechmann, R. Unterhinninghofen, H. U. Kauczor, and F. L. Giesel. 2010. "3D Printing Based on Imaging Data: Review of Medical Applications." *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 5 (4): 335-41.
- Rosset, Antoine, Luca Spadola, and Osman Ratib. 2004. "OsiriX: An Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images." *Journal of Digital Imaging* 17 (3): 205-16.
- Rulaningtyas, Riries, and Khusnul Ain. 2009. "Edge Detection for Brain Tumor Pattern Recognition." *International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009, ICICI-BME 2009*, 2-4.
- Witowski, Jan, Nicole Wake, Anna Grochowska, Zhonghua Sun, Andrzej Budzyński, Piotr Major, Tadeusz Jan Popiela, and Michał Pędzwiatr. 2019. "Investigating Accuracy of 3D Printed Liver Models with Computed Tomography." *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery* 9 (1): 43-52.
- Yang, Kai Ke, Ji Hong Zhu, Chuang Wang, Dong Sheng Jia, Long Long Song, and Wei Hong Zhang. 2018. "Experimental Validation of 3D Printed Material Behaviors and Their Influence on the Structural Topology Design." *Computational Mechanics* 61 (5): 581-98.
- Zhi, Wang, and He Sai-Xian. 2004. "An Adaptive Edge-Detection Method Based on Canny Algorithm." *Journal of Image and Graphics* 8: 65-70.