

REKONSTRUKSI TULANG LUTUT MENJADI MODEL 3D IMPLAN FEMUR DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING BERBASIS PEMINDAI X-RAY

Feny Setiawan

Mahasiswa S2
Prodi. Magister Teknik Mesin Unila
feny.setiawan@polinela.ac.id

Suryadiwansa Harun

Dosen
Universitas Lampung
Jurusan Teknik Mesin
suryadiwansa.harun@eng.unila.ac.id

Yanuar Burhanudin

Dosen
Universitas Lampung
Jurusan Teknik Mesin
yanuarb64@gmail.com

In order to obtain the geometry and size of bone implants that match the patient's original bone from this study, the patient femur knee bone is reconstructed into a 3D femur implant model using an X-Ray data scanner during Reverse Engineering (RE) process. In the process of RE, the femur knee bone was initially reconstructed by scanning its front and side view into a photo using the digital radiography system. For building a 3D model of the femur implant, the front and side view of the knee bones are sketched according to the dimensions and shape of the scanned femur knee bones. Then, one of the sketches is defined as the sketch profile of the femur knee bone, while the other is the trajectory profile. 3D modeling of the femur implant was constructed by using the sweep method in 3D design software. The results of this knee reconstruction obtained a 3D model of the femoral knee bone implant that is following the patient's bone shape.

Keywords: Reverse Engineering, X-Ray Scanning, 3D Modelling, Femoral Knee Bone Implant.

1. PENDAHULUAN

Kasus operasi bedah tulang di Indonesia mencapai 300-400 kasus perbulan dimana endoprostetik sendi lutut secara statistik lebih banyak dibutuhkan ketimbang endoprostetik bagian tubuh yang lain [1]. Operasi bedah sendi lutut dilakukan karena tulang sendi lutut yang patah (*fracture*) atau rusak. Tulang sendi lutut yang sering patah karena rudapaksa adalah tulang paha atau femur, dimana tulang yang patah dapat disambung dengan menggunakan implan *jawbone plate* dan *bone screw* [2, 3]. Sedangkan kerusakan tulang sendi lutut umumnya dapat terjadi karena bergeser atau radangnya sendi lutut. Kerusakan sendi tulang ini dapat diatasi dengan penggantian tulang lutut total atau *Total Knee Replacement* (TKR), yaitu dengan cara mengganti sendi lutut menggunakan implan tulang lutut atau prosthesis. TKR bertujuan mengembalikan fungsi keselarasan sendi lutut secara normal [4, 5]. TKR saat ini ditanamkan dalam bentuk komponen *metallic femoral* dan komponen tibia berbentuk pelat pendukung logam serta sisipan polietilen [6, 7, 8, 9].

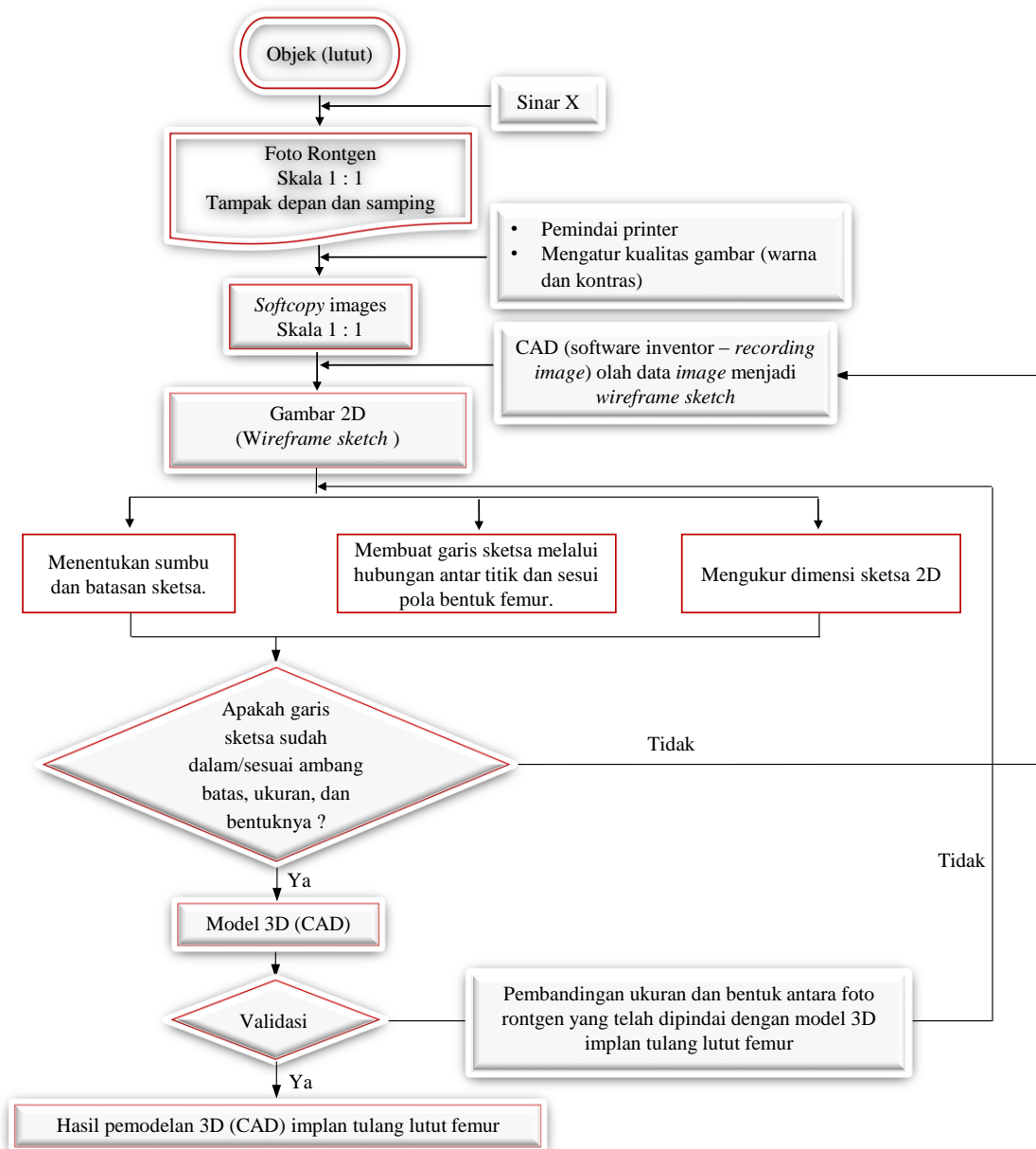
Namun kendala utama implementasi bedah TKR yang ditemui oleh pembuat implan dan dokter bedah ialah mendapatkan geometri dan ukuran implan tulang yang sesuai dengan tulang asli pasien. Implan tulang lutut komersial siap pakai biasanya kurang sesuai bentuk dan ukuran atau anatomi tulang lutut pasien [5], sehingga perlu penanganan khusus dengan serangkaian mekanisme pengangkatan tulang [10]. Selain itu, komplikasi atau efek samping TKR mungkin terjadi karena variasi bentuk struktur tulang manusia pasca operasi tulang lutut [11, 12].

Salah satu metode yang diterapkan oleh peneliti untuk mendapatkan implan tulang lutut adalah dengan rekonstruksi tulang lutut pasien menggunakan metode Rekayasa Terbalik atau *Reverse Engineering* (RE). Metode ini adalah proses sistematis untuk mendapatkan informasi desain suatu produk melalui pembelajaran prinsip kerja dan penciptaan desain ulang suatu produk yang sudah ada [13, 14, 15, 16]. Dengan metode ini, ketidaksesuaian antara tulang pasien dan tulang implan dapat dikurangi.

Metode RE untuk rekonstruksi tulang lutut dimulai dari proses digitalisasi tulang lutut pasien menjadi suatu model *Computer Aided Design* (CAD) tulang lutut [17]. Metode proses digitalisasi tulang lutut pasien dapat diklasifikasi dalam dua cara, yaitu dengan kontak langsung menggunakan *probing* kontak dan tanpa

kontak. Metode digitalisasi tulang lutut kontak langsung biasanya dilakukan dengan memindai tulang lutut pasien dengan *probing* dari peralatan *Coordinate Measuring Machine* (CMM). Sedangkan metode digitalisasi tulang lutut tanpa kontak langsung adalah pemindaian tulang lutut pasien dengan perangkat non kontak seperti mesin pemindai laser (*X-Ray*), *computed tomography* (CT) scan, *magnetic resonance imaging* (MRI), dan *common gateway interface* (CGI) scanner [18].

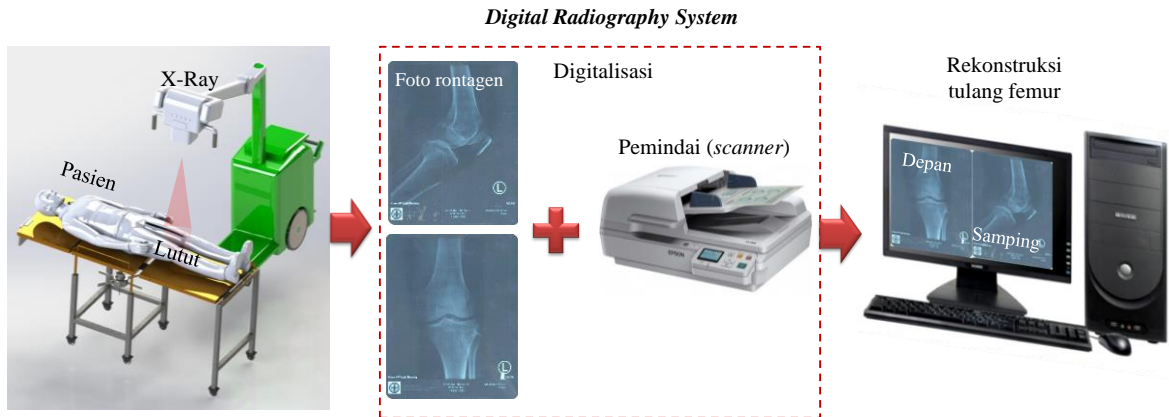
Salah satu metode non kontak yang relatif lebih murah biaya pemindaiaanya dibandingkan metode yang lain adalah pemindaian dengan *X-Ray*. Dari studi literatur yang sudah dilakukan, pemindaian tulang lutut pasien dengan *X-Ray* digunakan oleh praktisi kesehatan sebagai *template* dalam memilih ukuran implan TKR yang digunakan pada operasi pergantian sendi lutut pasien [19]. Penelitian yang menggunakan teknologi ini untuk merekonstruksi tulang lutut pasien menjadi model 3D implan tulang lutut TKR kurang dikembangkan. Padahal metode ini dapat memindai tulang lutut pasien dalam bentuk foto rontgen 2D. Oleh karenanya, rekonstruksi tulang lutut menjadi model implan tulang lutut 3D dengan menggunakan teknologi RE dengan pemindai *X-Ray* dapat dilakukan. Penelitian ini difokuskan untuk merekonstruksi tulang lutut femur pasien menjadi bentuk model tulang lutut femur 3D dengan teknologi pemindaian *X-Ray* dan RE. Hasil rekonstruksi tulang lutut femur akan menjadi hal yang penting untuk merancang implan tulang TKR yang lain seperti tulang tibial dan bantalannya.



Gambar 1: Algoritma rekonstruksi tulang lutut femur

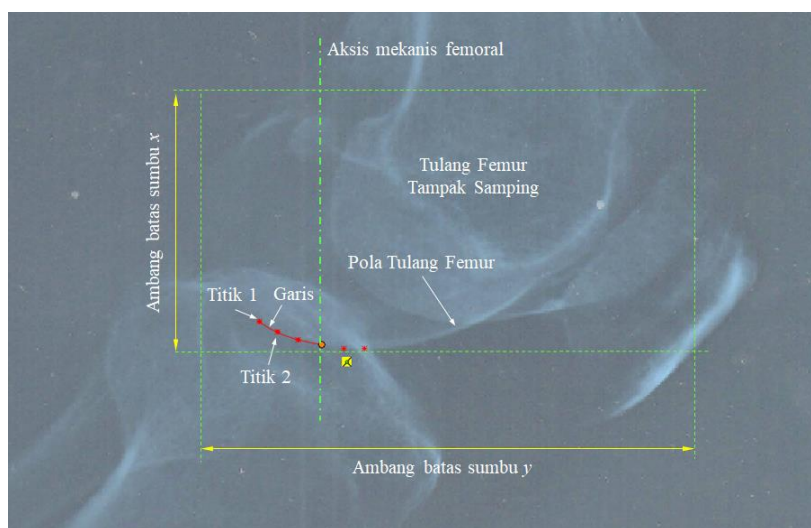
2. METODE DAN BAHAN

Implan tulang lutut (TKR) termasuk tulang femur mempunyai bentuk yang rumit dan perlu dirancang bangun sesuai dengan anatomi tulang lutut pasien. Teknologi RE dapat digunakan untuk merancang bangun ulang (rekonstruksi) objek tulang lutut dengan menggunakan peralatan pemindai dan mengkonversi objek kedalam bentuk 3D tulang lutut. Algoritma rekonstruksi tulang lutut femur pasien menjadi model 3D implan tulang lutut femur dapat dilihat pada Gambar 1.

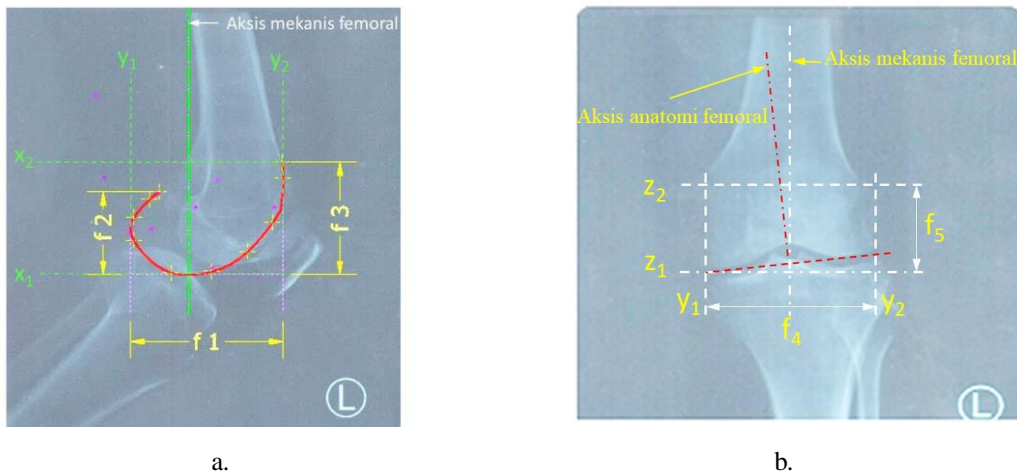


Gambar 2: Skematik rekonstruksi tulang lutut femur

Seperti diilustrasikan dalam Gambar 2, rekonstruksi tulang lutut femur dimulai dengan memotret tulang lutut pasien menggunakan perangkat *X-Ray* (Radiografi). Hasil pemotretan tulang lutut digitalisasi dengan pemindai (*scanner*) Epson. Dalam penelitian ini, obyek tulang lutut yang dipindai adalah bagian femur dengan penampakan depan dan samping dari tulang lutut kiri seorang pasien laki-laki berumur 69 tahun. Hasil pemindaian tulang lutut femur yang berformat file foto selanjutnya dibuat sketsanya dengan perangkat lunak *Computer Aided Design* (Inventor). Dalam pembuatan sketsa seperti terlihat pada Gambar 3, sketsa tulang femur digambar dari garis yang terbentuk dari hubungan titik-titik yang mengikuti pola tulang femur yang dipindai. Ada dua sketsa *wireframe* yang akan digambar yaitu sketsa tulang femur tampak depan dan samping. Penggambaran sketsa harus berada dalam ambang batas yang sudah ditentukan. Selanjutnya sketsa yang sudah dibuat diukur dimensinya. Sketsa tulang femur yang dalam bentuk 2D selanjutnya digunakan untuk membuat model tulang femur 3D dengan menggunakan perangkat lunak Inventor. Setelah model tulang lutut femur 3D terbentuk, maka validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dimensi kritis tulang lutut foto rontgen dengan dimensi parameter model implan tulang lutut femur.



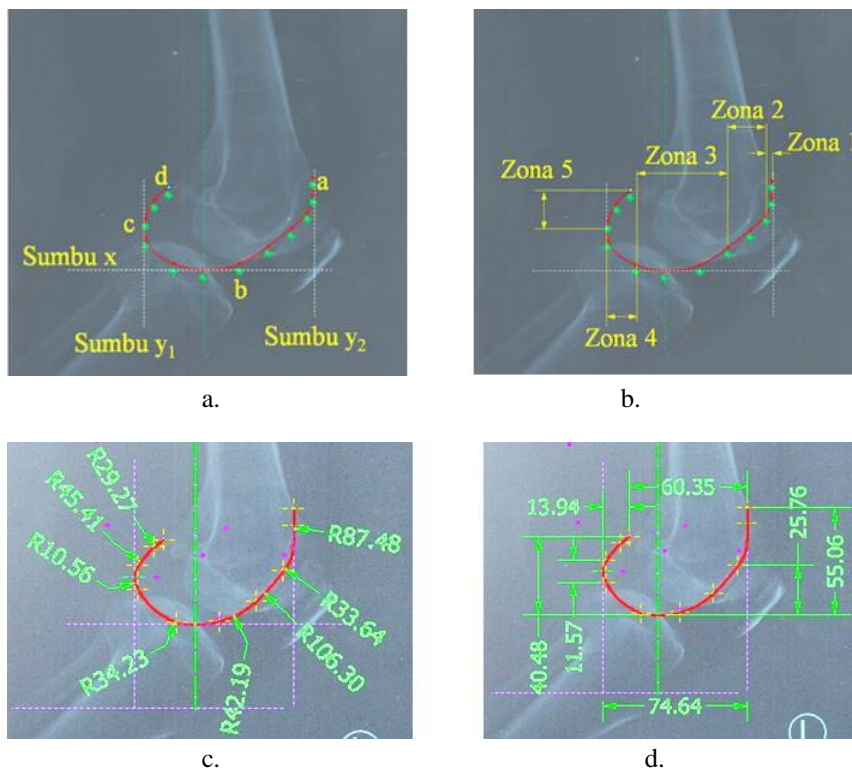
Gambar 3: Pembuatan sketsa tulang femur.



Gambar 4: Data Sekunder bahan penelitian tulang lutut pria sebelah kiri : a. foto tulang lutut tampak samping, b. foto tulang lutut kaki tampak depan.

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pemindaian tulang lutut femur sebelah kiri dari pasien pria berumur 69 tahun dapat dilihat pada foto rontgen dalam Gambar 4. Untuk mendapatkan bentuk dan ukuran implan tulang lutut femur yang sesuai dengan anatomi tulang lutut pasien, maka skala foto rontgen dibuat perbandingan 1:1. Selain itu, citra gambar (kualitas) dalam aspek kecerahan dan kontras sudah diperbaiki dengan perangkat lunak *image processing* sehingga gambar tulang lutut pasien mudah diamati. Seperti terlihat pada Gambar 4, ada dua pandangan yang dibutuhkan untuk membuat sketsa tulang lutut femur, yaitu tampak depan dan samping. Selain itu, ukuran parameter kritis (kondisi batas) tulang lutut femur pasien juga ditentukan sehingga penggambaran sketsa tidak melewati ukuran parameter kritis tulang lutut femur. Ukuran parameter kritis tulang lutut femur diukur untuk masing-masing sumbu, yaitu sumbu x adalah x_1 sampai x_2 , sumbu y adalah y_1 sampai y_2 , dan sumbu z adalah z_1 sampai z_2 .



Gambar 5: Proses *sketching* tulang lutut femur tampak samping (a) sketsa garis (b) pemetaan zona bagian (c) kelengkungan tiap bagian (d) dimensi ukuran.

3.1 Geometri Bagian Femur Tampak Samping

Berdasarkan bentuk pola tulang femur pasien dari foto rontgen yang dipindai, sketsa tulang femur tampak samping dapat dibuat dengan bantuan perangkat lunak Inventor, lihat Gambar 5. Pembuatan sketsa ini dilakukan dengan membuat garis melalui hubungan titik-titik mulai dari titik a sampai dengan titik d seperti terlihat dalam Gambar 5.a. Sebagai catatan bahwa semakin rapat jarak antar titik, garis yang terbentuk semakin mirip dengan pola tulang lutut pasien. Juga, penggambaran sketsa harus berada dalam ambang batas yang ditentukan, yaitu batas sumbu x dan y, lihat Gambar 4.a.

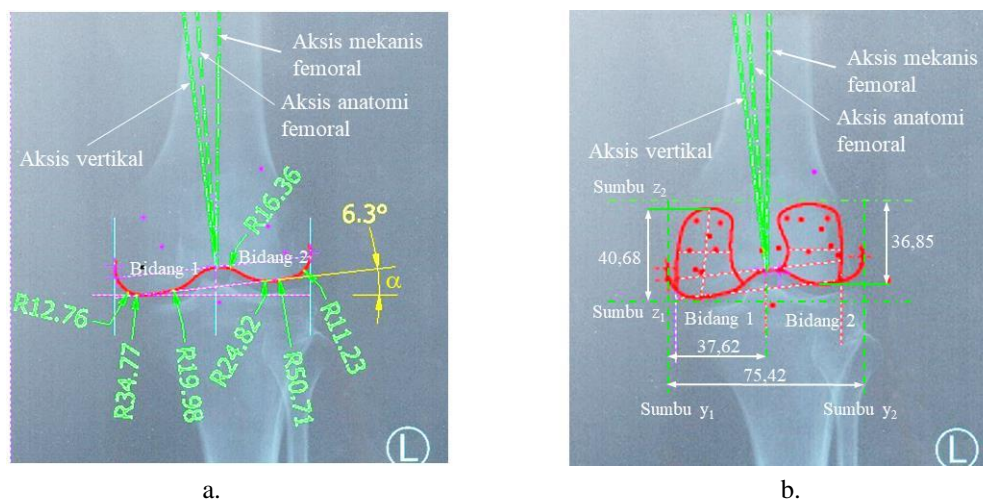
Untuk memudahkan dalam pembuatan sketsa, maka area segmentasi dibuat dalam bentuk zona yang terdiri atas 5 zona, lihat Gambar 5.b. Sketsa garis yang terbentuk sebaiknya halus mengikuti pola tulang lutut pasien. Oleh karena itu, garis sketsa diberi kelengkungan dengan radius (R) tertentu terutama pada garis antar zona (garis sambung) seperti terlihat pada Gambar 5.c. Pembuatan garis kelengkungan dilakukan dengan memanfaatkan fitur *3 point arch* pada perangkat lunak Inventor (2D). Adapun dimensi kelengkungan (radius) garis pada masing-masing zona diuraikan berikut ini. Pada zona 1 ada dua kelengkungan garis yaitu R 87,48° dan R 33,64° mm, zona 2 mempunyai kelengkungan garis R 106,3° mm, zona 3 mempunyai kelengkungan garis R 42,19° mm, zona 4 mempunyai kelengkungan garis R 34,23° mm, dan terakhir zona 5 mempunyai tiga kelengkungan garis yaitu R 10,56°, R 45,4° dan R 29,27°.

Proses terakhir dari pembuatan sketsa tulang femur tampak samping adalah pemberian ukuran sketsa. Seperti terlihat pada Gambar 5.d, panjang keseluruhan tulang femur tampak samping yaitu 74,64 mm. Sedangkan tinggi tulang femur sisi bagian belakang adalah 55,06 mm, serta sisi bagian depan adalah 40,48 mm.

3.2 Geometri Bagian Femur Tampak Depan

Pembuatan sketsa tulang femur pada posisi tampak depan secara prinsip sama dengan pada posisi tampak samping. Garis sketsa tulang femur ini juga dibuat dari hubungan titik-titik mengikuti pola tulang femur tampak depan yang sudah dipindai, lihat Gambar 6. Sketsa tulang femur itu digambar pada dua bidang, yaitu sebelah kiri (bidang 1) dan kanan (bidang 2) dari garis aksis (sumbu) mekanis femoral tulang femur. Seperti terlihat dalam Gambar 4, penggambaran sketsa tulang femur ini juga harus berada dalam batasan yang sudah ditentukan, yaitu pada bidang sumbu y dan z. Garis batas sumbu z mengacu pada garis datum (z_1), sedangkan untuk sumbu y garis batasnya mengacu pada garis sumbu mekanis femoral tulang femur, lihat Gambar 4.b.

Untuk memperhalus garis sketsa tulang femur tampak depan yang sudah dibuat, selanjutnya dibuat garis kelengkungan (R) dengan menggunakan fungsi *3 point arch* dari perangkat lunak Inventor 2D. Gambar 6.a merupakan hasil kelengkungan sketsa dari tulang lutut femur pada bidang pertama dan kedua. Dimensi kelengkungan pada masing-masing bidang tulang femur pandangan depan adalah beradius R11,23°, R50,71°, R24,82°, R16,36°, R19,98°, R34,77°, dan R12,76°.



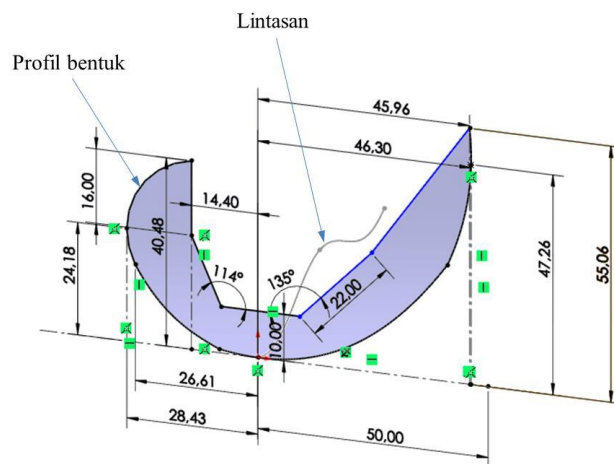
Gambar 6: Proses *sketching* tulang lutut femur tampak depan: a. sketsa garis dan kelengkungan garis, b. dimensi ukuran.

Pembuatan sketsa tulang lutut femur tampak depan diakhiri dengan pemberian ukuran sketsa. Gambar 6.b memperlihatkan ukuran sketsa tulang lutut femur tampak depan. Lebar sisi kiri (bidang 1) tulang femur

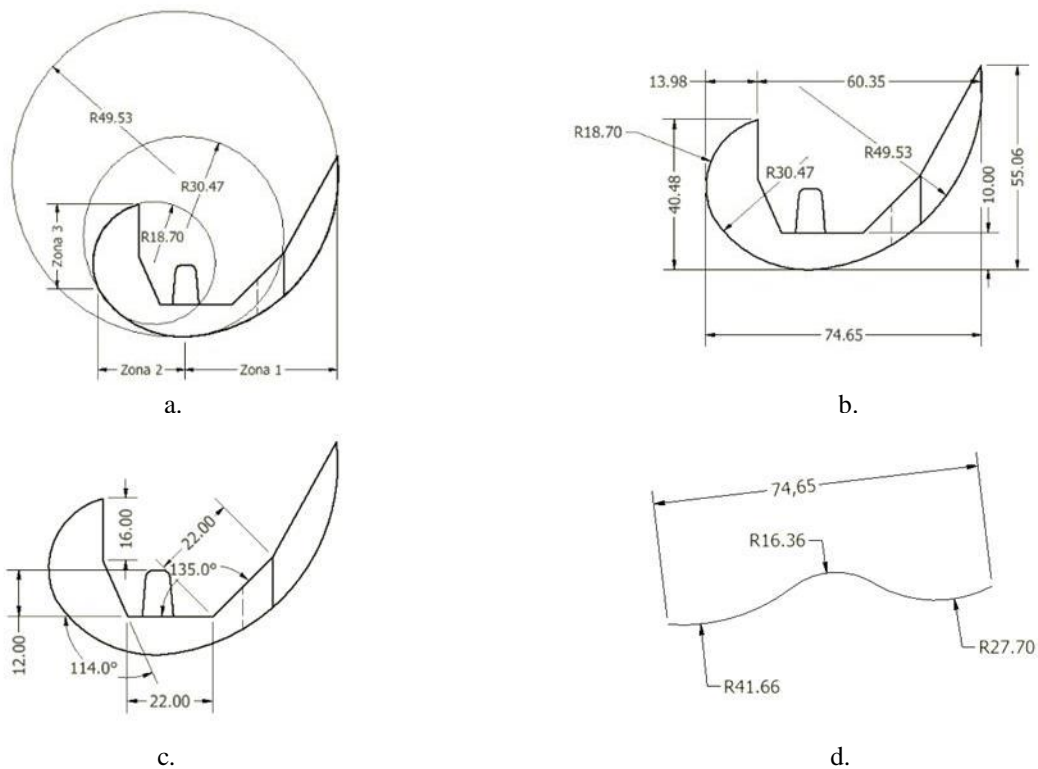
tampak depan adalah 37,62 mm, sedangkan sisi kanan (bidang 2) mempunyai lebar 38,80 mm. Jadi lebar total tulang lutut femur tampak depan adalah 75,42 mm. Tinggi tulang lutut femur tampak depan sisi kiri (bidang 1) adalah 40,68 mm sedangkan sisi lainnya (bidang 2) adalah 36,85 mm.

Seperti terlihat dalam Gambar 6, nampak jelas bahwa sketsa anatomi tulang femur tampak depan pada bidang 1 tidak simetris dengan anatomi tulang pada bidang 2. Ketinggian antara tulang femur sebelah kiri (bidang 1) berbeda sekitar $6,3^\circ$ dengan tulang femur sebelah kanan (bidang 2). Hal ini juga bisa diartikan bahwa sudut sumbu anatomi tulang femur berbeda $6,3^\circ$ dengan sumbu mekanikal tulang femur.

Penelitian sebelumnya menemukan perbedaan sudut tersebut berkisar 5 sampai dengan 7° [3]. Bagaimanapun, informasi bentuk dan ukuran tulang lutut femur yang digunakan untuk membuat tulang lutut implan haruslah akurat dan sesuai dengan anatomi tulang lutut pasien. Karena hasil penelitian menyatakan bahwa tulang lutut implan yang bentuknya sesuai dengan anatomi tulang lutut pasien dan ukurannya yang akurat akan menghasilkan dampak, yaitu hasil bedah yang lebih baik, daya tahan lebih lama, lebih sedikit rasa sakit pada tahap awal implantasi, dan mengurangi masalah pelonggaran implan di masa depan [20, 21].



Gambar 7: Profil Bentuk dan Lintasannya.

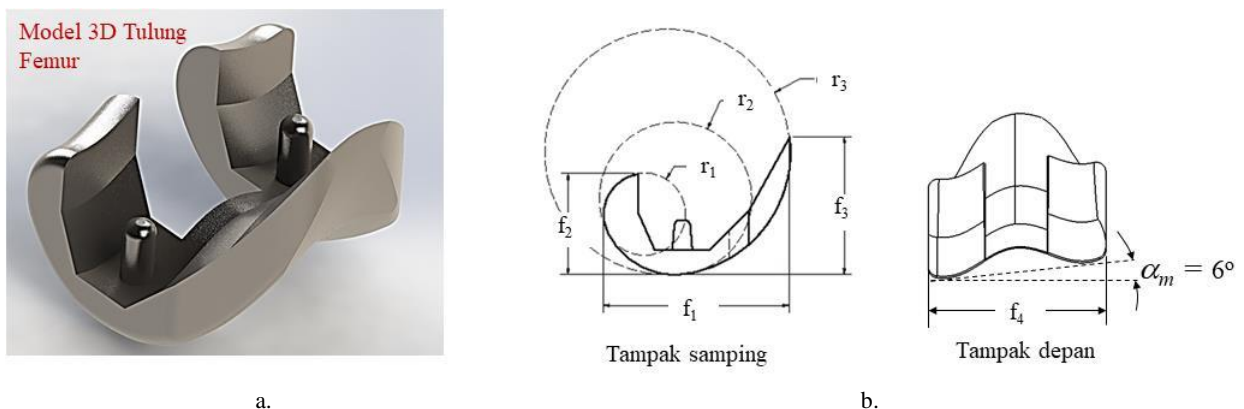


Gambar 8: Sketsa dua dimensi (2D) tulang lutut femur: a. radius kelengkungan profil (tampak samping), b. tinggi-jarak profil (tampak samping), c. dimensi profil dalam (tampak samping), d. lintasan *sweep* profil (tampak depan).

3.3 Pemodelan 3 Dimensi Implan Tulang Lutut Femur

Untuk mendapatkan model 3D tulang lutut femur yang bentuknya sesuai dan dimensinya yang akurat, maka sketsanya harus dibuat sedemikian presisi mendekati bentuk geometri tulang lutut pasien. Sketsa tulang lutut femur yang sudah terbentuk dan berdimensi selanjutnya akan dimanfaatkan untuk membangun model 3D implan tulang lutut femur. Dengan teknik *swept base feature* dari perangkat lunak 3D *Design* (Inventor), pemodelan 3D tulang lutut femur minimal membutuhkan dua sketsa, satu sebagai profil bentuk dan yang lainnya sebagai lintasan, lihat Gambar 7. Oleh karena itu, sketsa tampak samping ditetapkan sebagai profil bentuk, lihat gambar 8.a, 8.b, dan 8.c., sedangkan sketsa tampak depan ditetapkan sebagai lintasan profil, lihat Gambar 8.d.

Hasil pemodelan 3D implan tulang lutut femur dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar 9.a memperlihatkan *rendering* model 3D implan tulang lutut femur. Gambar 9.b memperlihatkan tampilan depan dan samping dari model 3D implan tulang lutut femur. Model implan ini diberi parameter ukuran geometri tulang femur, dimana parameter ukuran ini mengacu pada penelitian sebelumnya [5]. Ukuran parameter model 3D implan tulang femur dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk memastikan bahwa parameter ukuran model 3D implan tulang telah sesuai maka parameter ukuran itu akan divalidasi dengan ukuran parameter kritis (kondisi batas) dari bentuk tulang pasien yang dipindai. Tabel 1 juga menunjukkan hasil validasi parameter ukuran model 3D implan tulang femur, dimana perbedaan dimensi antara parameter ukuran model implan tulang femur dengan parameter kritis tulang lutut femur pasien yang dipindai relatif kecil. Oleh karena itu, model implan ini dapat dimanfaatkan oleh perancang dan pabrikan untuk merancang bangun (kostumisasi) purwarupa implan tulang lutut TKR secara menyeluruh, termasuk implan tibial dan bantalannya.



Gambar 9: Hasil pemodelan tiga dimensi (3D) implan tulang lutut femur: a. *rendering* 3D, b. tampak samping dan depan.

Table 1: Ukuran Parameter Model 3D dan Parameter Kritis Tulang Femur Pasien.

PARAMETER MODEL 3D TULANG FEMUR	UKURAN	PARAMETER KRITIS TULANG FEMUR PASIEN	UKURAN	SELISIH UKURAN
f_1	74,65 mm	f_1	74,64 mm	0 mm
f_2	40,48 mm	f_2	40,48 mm	0 mm
f_3	55,06 mm	f_3	55,06 mm	0 mm
f_4	72,56 mm	f_4	75,42 mm	2,86 mm
α_m	6°	α	$6,3^\circ$	$0,3^\circ$
r_1	18,7 mm			
r_2	30,47 mm			
r_3	49,53 mm			

4. KESIMPULAN

Penelitian rekonstruksi tulang lutut femur menjadi model 3D (CAD) implan tulang lutut femur telah dilakukan. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah model 3D implan tulang lutut femur dapat dibangun melalui rekonstruksi tulang lutut pasien dengan metode *Reverse Engineering* (RE) dan dengan pemindai X-Ray. Selain itu, perbedaan ukuran parameter model 3D implan tulang femur dengan parameter kritis tulang lutut femur pasien relatif kecil, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil pemodelan 3D implan tulang lutut femur adalah cukup akurat. Oleh karena itu, model 3D implan tulang lutut femur dapat digunakan oleh perancang dan pabrikan untuk merancang bangun (kostumisasi) purwarupa implan tulang lutut TKR secara menyeluruh, termasuk implan tibial dan bantalannya.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Lampung atas dukungan hibah penelitian pas-casarjana 2021 (Hibah No.: 1234/UN26.21/PP/2021). Juga, terima kasih kepada dr. Helmi Ismunandar, Sp. OT atas pendapatnya sebagai ahli ortopedi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] GIAT, S.S., NURCHAMID, J., BAMBANG, S., SITOMPUL, YUSWONO, “Pembuatan Prototip Prostetik Sendi Lutut”, Dalam: *Prosiding Seminar Nasional INSINas 2012*, pp. 175-180, Bandung, 29 – 30 November 2012.
- [2] MAMUNGKAS, M.I., CHOIRON, M.A., SUPRAPPTO, W., “Simulasi Komputer pada Optimasi Desain *Hybrid Plating* dalam Proses *Bone Healing*”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 5, n. 3, pp.247-252, 2014.
- [3] WIRANEGARA, H., FAUZI, M.N., VIRDHIAN, S., “Precision Mold Of Prototype Titanium Orthopedic Implant Using Metal Injection Molding Approach”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 11, n. 3, pp.487-495, 2020.
- [4] CYTEVAL, C., “Imaging of knee implants and related complications”, *Journal of Diagnostic and Interventional Imaging*, v. 97, pp. 809—821, 2016.
- [5] JUN, Y., “Morphological analysis of the human knee joint for creating custom-made implant models”, *Int J Adv Manuf Technol*, v. 52, pp. 841–853, 2011.
- [6] MADETI, B.K., CHALAMASETTI, S.R., BOLLA PRAGADA S.S., “Biomechanics of knee joint — A review”, *Front. Mech. Eng.* v. 10, n. 2, pp. 176–186, 2015.
- [7] MARKOPOULOS, ANGELOS, P., NIKOLAOS E., *et al.*, “Design and Machining of the Femoral Component of Total Knee Implant”, *Solid State Phenomena*, v. 261, pp. 313–20, August 2017.
- [8] MITSUISHI, M., SUGITA, N., FUJIWARA, K., *et al.*, “Development of a Medical CAD/CAM System for Orthopedic Surgery”, *CIRP Annals*, v. 56, n. 1, pp. 405-410, 2007.
- [9] ZUBRZYCKI, J., SMIDOVA, N., “Computer-Aided Design of Human Knee Implant”, *AMM*, v. 613, pp. 172-181, 2014.
- [10] EKSTEEN, P.D.W., *Development of incrementally formed patient-specific titanium knee prosthesis*. Dissertation, Stellenbosch University, 2013.
- [11] KO, L.N., SCHALOCK, P.C., “Hypersensitivity to Hip and Knee Implants”, *Metal Allergy*, pp. 249–262, 2018.
- [12] HOTH, H., *et al.*, “The Silver Solution to Infection in Knee Implants”, *OPN*, issue 180, pp. 28-31, July 2017.
- [13] KHOO, L.P., GOH, J.C.H., CHOW, S.L., “Parametric Modelling of a Knee Joint Prosthesis”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, v. 207, n. 2, pp. 115-120, 1993.
- [14] LIN, Y. *et al.*, “Reverse engineering in CAD model reconstruction of customized artificial joint”, *Medical Engineering & Physics*, v. 27, pp. 189–193, 2005.
- [15] SHAH, R., NAGARSHETH, H.J., “Role Of Cad/Cam For Development Of Tailor Made Knee Implant”, *National Conference on Bio-Mechanical Science*, S‘O‘A University Bhubaneswar, India, March 07-08, 2014.

- [16] SIVARASU, S., *et al.*, “Reverse Engineering Vs Conceptual Design Principles in the Making of Artificial Knee Models”, *Trends Biomater. Artif. Organs*, v. 25, n. 2, pp. 60-62, 2011.
- [17] COLOMBO, G., BERTETTI, M., BONACINI, D., *et al.*, “Reverse Engineering and Rapid Prototyping Techniques to Innovate Prosthesis Socket Design”, *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging*, v. 6056, pp. 1-11, 2006.
- [18] DEVARAJ, AK, ADHIKARI, R, ACHARYA, KKV., *et al.*, “Finite element analysis of a human knee joint”, In: *NAFEMS India regional conference*, Bangalore, India, 30–31 August 2016.
- [19] <https://www.orthobullets.com/recon/12303/tka-templating>. Diakses: Maret 2021
- [20] KHAW, F.M., KIRK, L.M.G., GREGG, P.J., ”Survival analysis of cemented press-fit condylar total knee arthroplasty,” *Journal of Arthroplasty*, v. 16, n. 2, pp.161–167, 2001.
- [21] MAHALUXMIVALA J., BANKES, M. J., NICOLAI, P., “The effect of surgeon experience on component positioning in 673 Press Fit Condylar posterior cruciate-sacrificing total knee arthroplasties”, ”*Journal of Arthroplasty*, v. 16, n. 5, pp. 635–640, 2001.