

ANALISIS MORFOMETRI TIGA DIMENSI SAKRUM MENGGUNAKAN CT-SCAN PADA POPULASI INDONESIA: IMPLIKASI TERHADAP PEMASANGAN PEDICLE SCREW SAKRUM DAN SACROILIAC SCREW

Andi Karsapin Tarsan
Bagian Orthopaedi dan Traumatologi, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan,
Universitas Gadjah Mada/ Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sardjito, Yogyakarta

(*) Corresponding Author: dr.andikarsapint@yahoo.com

Article Info:	Abstract
Keyword: <i>sacrum; morphometry; computed tomography; pedicle screw; sacroiliac screw; safe zone</i>	Background: Accurate anatomical knowledge of the sacrum is essential for safe sacral and sacroiliac screw instrumentation. Sacral morphometry and safe zones are known to vary across populations, yet population-specific data for Indonesians remain limited. This study aimed to evaluate three-dimensional sacral morphometry and determine clinically relevant safe zones in the Indonesian population. Methods: A cross-sectional CT-based morphometric study was conducted on 98 healthy Indonesian adults aged 20–40 years. Key parameters related to surgical instrumentation were measured, including pedicle depth (PD), posterior pedicle height (PPH), pedicle width (PW), spinal canal dimensions, auricular surface dimensions, medial angulation, and area of the safe zone (AS). Comparisons between sexes were analyzed statistically. Results: Most sacral dimensions were larger in men than in women, with significant differences observed in pedicle depth, posterior pedicle height, vertebral body dimensions, and auricular surface measurements ($p < 0.05$). The mean area of the safe zone did not differ significantly between sexes. The estimated safe sacroiliac screw length was 9.09 ± 0.42 cm in men and 8.89 ± 0.42 cm in women, while the recommended S1 pedicle screw depth was 3.33 ± 0.27 cm in men and 3.00 ± 0.35 cm in women, with a medial angulation of 30°–43°. Conclusion: Sacral morphometry in the Indonesian population differs from that reported in other populations. These findings provide population-specific anatomical guidance that may improve the safety and accuracy of sacral and sacroiliac screw placement in clinical practice.
 This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI © 2025 The Author(s).	

PENDAHULUAN

Tulang belakang manusia merupakan sebuah tulang yang sangat kompleks dimana terdapat kombinasi berbagai struktur yang rumit dan memiliki gerakan yang sangat terbatas dengan jumlah persendian sekitar 24 persendian. Tulang belakang mampu menahan beban berat tubuh karena susunan morfologinya yang istimewa, terutama pada tulang sakrum, yang merupakan gabungan beberapa segmen tulang belakang. Terletak pada bagian bawah dari susunan tulang belakang yang memiliki *ala* yang lebar pada bagian lateralnya. Sakrum sendiri adalah tulang berbentuk trianguler yang sangat besar yang berasal dari penyatuan 5 segmen vertebra^{1,2}. Sakrum berartikulasi dengan empat tulang yaitu pada di bagian atas dengan vertebra lumbar lima melalui diskus intervertebralis dan *articulatio zigapophysialis*, pada bagian inferior berartikulasi tulang coccygeus pada *symphysis sacrococcygeus*, persendian tersebut diikat oleh ligamentum sacrococcygeus dorsal dan lateral, dan pada sisi lain kanan dan kiri berartikulasi dengan ilium melalui articulation sakroiliak dan merupakan salah satu penyusun dari gelang panggul/*pelvic ring*. *Articulatio sacroiliac* sangat kompleks dibentuk oleh jaringan synovial dengan ligamentum yang sangat kuat pada bagian posterior untuk pergerakan sendi dan transmisi beban secara axial dari tulang belakang ke pelvis³. Pada sacrum terdapat *ligamentum sacrospinale* yang berjalan mulai dari spina ischiadica ke batas lateral sacrum dan coccygeus⁴. Gelang panggul sendiri terdiri dari *os sacrum* dan 2 *os coxae* yang dihubungkan dengan *articulatio sacroiliaca* yang menghubungkan *ala osis sacrum* dan *os iliac*, dan *symphysis pubis* dibagian depan yang menghubungkan kedua *rami os pubis*. Pada beberapa kasus fraktur pelvis khususnya yang tidak stabil, terjadi distrupsi dari sacroiliac joint sehingga *os sacrum* terlibat pada penanganan pelvic ring fraktur.

Dalam praktik klinis ortopedi dan traumatologi, sakrum memiliki peran yang sangat penting, khususnya pada kasus fraktur pelvis tidak stabil, instabilitas *sacroiliac joint*, serta kondisi lain yang memerlukan instrumentasi sakrum. Keberhasilan pemasangan pedicle screw dan sacroiliac screw sangat bergantung pada ketepatan pemahaman anatomi dan morfometri sakrum. Kesalahan dalam menentukan panjang, sudut, dan trajektori screw dapat menimbulkan komplikasi serius, seperti cedera struktur neurovaskular, perforasi korteks tulang, hingga kegagalan fiksasi, sehingga pemahaman morfometri yang akurat menjadi aspek krusial dalam perencanaan praoperatif.

Karakteristik morfometri sakrum diketahui bervariasi antar populasi dan dipengaruhi oleh faktor anatomi serta dimorfisme seksual. Perbedaan ukuran korpus vertebra, pedikel, kanalis spinalis, dan *auricular surface* berpotensi memengaruhi keamanan serta efektivitas tindakan instrumentasi. Oleh karena itu, penggunaan data morfometri yang sesuai dengan karakteristik populasi setempat menjadi penting agar prosedur bedah dapat dilakukan secara presisi dan aman.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi morfometri vertebra sakrum pada populasi Indonesia menggunakan pencitraan CT-scan tiga dimensi, dengan fokus pada dimensi korpus, kanalis spinalis, *auricular surface*, dan pedikel, serta menentukan parameter zona aman yang relevan untuk pemasangan pedicle screw S1 dan sacroiliac screw. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rujukan anatomi lokal yang aplikatif bagi klinisi ortopedi dalam meningkatkan keamanan dan akurasi instrumentasi sakrum pada populasi Indonesia.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan desain *cross-sectional* menggunakan pendekatan deskriptif-analitik, yang bertujuan untuk mengevaluasi morfometri vertebra sakrum serta menentukan parameter zona aman (*safe zone*) yang relevan secara klinis pada populasi Indonesia. Subjek penelitian diperoleh melalui proses *screening* dan seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan.

Subjek penelitian terdiri dari laki-laki dan perempuan dewasa dengan kondisi vertebra sakrum yang sehat dan normal. Seluruh subjek telah memberikan persetujuan tertulis (*informed consent*) sebelum mengikuti penelitian. Rekrutmen subjek dilakukan secara sukarela di Poliklinik Orthopaedi dan Traumatologi Rumah Sakit Akademik Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

Sebelum pemeriksaan pencitraan, seluruh subjek diberikan edukasi singkat mengenai tanda dan gejala kelainan tulang belakang, kemudian dilakukan pemeriksaan fisik tulang belakang oleh tim peneliti untuk memastikan tidak adanya kelainan klinis. Selanjutnya, subjek menjalani pemeriksaan CT-scan vertebra sakrum di Rumah Sakit Akademik UGM.

Kriteria Inklusi

Subjek penelitian harus memenuhi seluruh kriteria berikut:

1. Usia 20–40 tahun, mewakili fase *skeletal maturity* dan sebelum terjadinya perubahan degeneratif.
2. Ras Mongoloid Indonesia.
3. Laki-laki dan perempuan.
4. Indeks Massa Tubuh (IMT) dalam batas normal.
5. *Alignment* vertebra normal.
6. Tidak terdapat tanda dan gejala deformitas tulang belakang.
7. Penampakan anatomi vertebra normal secara klinis.
8. Tidak memiliki riwayat kelainan bawaan tulang belakang (*congenital spine anomaly*).
9. Tidak memiliki riwayat atau sedang menderita tuberculosi.

Kriteria Eksklusi

Subjek dikeluarkan dari penelitian apabila memiliki:

1. Riwayat pekerjaan fisik berat.
2. Sakrum dismorfik.
3. Riwayat sebagai atlet beladiri.
4. Riwayat trauma jatuh atau tindakan operasi pada sakrum.
5. Riwayat infeksi yang memengaruhi sistem muskuloskeletal.

Parameter morfometri yang diukur meliputi dimensi yang relevan dengan perencanaan instrumentasi sakrum, yaitu:

- Dimensi korpus: Sacral Height (SH), Sacral Breadth (SB), Vertebral Body Maximum Width of S1 (VBW), Vertebral Body Mid-Diameter of S1 (VBD), dan Vertebral Body Height of S1 (VBH).
- Dimensi kanalis spinalis: Spinal Canal Width (SCW) dan Spinal Canal Mid-Diameter (SCD).

- Dimensi auricular surface: Transverse Diameter of Auricular Surface (TDA) dan Vertical Diameter of Auricular Surface (VDA).
- Dimensi pedikel: Posterior Pedicle Height (PPH), Pedicle Width (PW), dan Pedicle Depth (PD).
- Parameter tambahan: sudut insersi dan Area of Safe Zone (AS).

Definisi dan metode pengukuran parameter tersebut mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Lotfinia et al., Abuzayed et al., Wu et al., Singh et al., dan Cruz et al. Pengukuran dilakukan menggunakan CT-scan Philips Brilliance 64-slice dengan ketebalan irisan 0,65 mm. Seluruh citra dianalisis menggunakan software Extended Brilliance Workspace versi 4.0.0.1921 yang terintegrasi dengan sistem CT-scan. Pengukuran dilakukan secara digital pada potongan aksial, sagital, dan koronal sesuai dengan parameter yang dinilai, sehingga memungkinkan evaluasi morfometri secara tiga dimensi (3D).

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan penyajian nilai rerata, standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum. Uji normalitas data dilakukan menggunakan uji Kolmogorov–Smirnov dan Shapiro–Wilk. Perbandingan parameter morfometri antara laki-laki dan perempuan dianalisis menggunakan uji *t* tidak berpasangan, dengan tingkat signifikansi statistik ditetapkan pada nilai $p < 0,05$. Seluruh analisis statistik dilakukan untuk mendukung interpretasi perbedaan morfometri serta implikasinya terhadap perencanaan instrumentasi sakrum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebanyak 98 subyek berpartisipasi dalam penelitian ini. Total subyek terdiri dari 55 Laki laki (56,4%) dan 43 perempuan (43,4%) dengan keterangan ras Mongoloid Indonesia, usia minimal 20 tahun dan usia maksimal 37 tahun. Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro Wilk juga sudah dilakukan dengan hasil distribusi data berada dalam batas normal (nilai $p > 0.05$)

Berdasarkan studi morfometri sacral yang dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut; penilaian yang dilakukan adalah dimensi *body*, dimensi pada canal, dimensi pada *auricular surface*, dan juga dimensi pada pedicle.

Pada dimensi *body* dilakukan pengukuran pada 3 parameter utama yaitu *Sacral Height (SH)*, *Sacral breadth (SB)*, *Vertebral body maximum width of S1 (VBW)*, dan *Vertebral body mid-diameter of S1 (VBD)*. Dari hasil pengukuran pada dimensi *body* dengan pengukuran yang dilakukan pada 78 sampel yang ada didapatkan hasil sesuai dengan pada tabel 1.

Table 1. Tabel. Hasil Pengukuran Morfometri Sakrum Populasi Indonesia

Parameter	Rata-rata	Standar Deviasi	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Satuan
Sacral Height (SH)	12,143	1,163	8,49	14,19	cm
Sacral Breadth (SB)	10,991	0,683	9,49	13,26	cm
Vertebral Body Maximum Width of S1 (VBW)	4,809	0,414	4,09	5,78	cm
Vertebral Body Mid-Diameter of S1 (VBD)	3,262	0,260	2,56	3,85	cm
Vertebral Body Height of S1 (VBH)	3,218	0,297	2,56	3,85	cm
Spinal Canal Width (SCW)	2,861	0,409	1,16	3,81	cm
Spinal Canal Mid-Diameter (SCD)	1,059	0,269	0,568	1,87	cm
Transverse Diameter of Auricular Surface (TDA)	2,101	0,386	1,30	3,24	cm
Vertical Diameter of Auricular Surface (VDA)	4,776	0,580	3,48	5,86	cm

Dari data *Posterior pedicle height (PPH)*, hasil rata-rata didapatkan 2,144 cm dengan standar deviasi 0,286 cm. Nilai terendah didapatkan sebesar 1,25 cm dan nilai maksimal sebesar 2,67 cm. Pada pengukuran *Pedicle width (PW)*, didapatkan hasil nilai rata-rata 1,455 cm dan dengan standar deviasi 0,205 cm. Nilai terendah didapatkan sebesar 0,967 cm dan nilai maksimal sebesar 1,99 cm. Pengukuran pada *Pedicle depth (PD)* memberikan nilai rata rata 3,189 cm dengan standar deviasi 0,352 cm. Nilai minimum dan maksimum didapatkan sebesar 2,09 dan 4,01 cm. Menurut hasil pengukuran tersebut, populasi Indonesia memiliki rata rata sudut sebesar $36.429 \pm 2.590^\circ$ disertai nilai terkecil 30° dan nilai terbesar 43° .

Analisis mengenai perbedaan morfometri sacrum laki laki dan perempuan juga dilaksanakan berdasarkan dimensi yang bersangkutan. Dengan hasil yang didapatkan sebagai berikut pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Morfometri Sakrum antara Laki-laki dan Perempuan

Parameter	Laki-laki (Mean $\pm$ SD)	Min-Max (Laki-laki)	Perempuan (Mean $\pm$ SD)	Min-Max (Perempuan)	P value	Keterangan
Sacral Height (SH) (cm)	12,445 $\pm$ 1,037	9,45 – 14,18	11,752 $\pm$ 1,214	8,49 – 14,19	>0,005	Tidak signifikan
Sacral Breadth (SB) (cm)	10,928 $\pm$ 0,647	9,70 – 12,42	11,044 $\pm$ 0,750	9,49 – 13,26	>0,005	Tidak signifikan
Vertebral Body Width S1 (VBW) (cm)	5,007 $\pm$ 0,394	4,24 – 5,78	4,553 $\pm$ 0,280	4,09 – 5,22	<0,005	Signifikan
Vertebral Body Mid-Diameter S1 (VBD) (cm)	3,387 $\pm$ 0,217	2,97 – 3,85	3,100 $\pm$ 0,220	2,56 – 3,69	<0,005	Signifikan
Vertebral Body Height S1 (VBH) (cm)	3,265 $\pm$ 0,256	2,56 – 3,92	3,156 $\pm$ 0,337	2,41 – 3,71	0,052	Tidak signifikan
Spinal Canal Width (SCW) (cm)	2,937 $\pm$ 0,442	1,16 – 3,81	2,763 $\pm$ 0,343	2,02 – 3,64	>0,005	Tidak signifikan
Spinal Canal Mid-Diameter (SCD) (cm)	1,109 $\pm$ 0,295	0,598 – 1,87	1,109 $\pm$ 0,220	0,568 – 1,53	>0,005	Tidak signifikan
Transverse Auricular Diameter (TDA) (cm)	2,222 $\pm$ 0,427	1,30 – 3,24	1,950 $\pm$ 0,253	1,56 – 2,66	<0,005	Signifikan
Vertical Auricular Diameter (VDA) (cm)	5,122 $\pm$ 0,429	3,74 – 5,86	4,329 $\pm$ 0,423	3,48 – 5,56	<0,005	Signifikan
Posterior Pedicle Height (PPH) (cm)	2,260 $\pm$ 0,214	1,75 – 2,66	1,993 $\pm$ 0,299	1,25 – 2,67	<0,005	Signifikan
Pedicle Width (PW) (cm)	1,467 $\pm$ 0,207	0,967 – 1,99	1,439 $\pm$ 0,204	1,82 – 2,09	<0,05	Tidak signifikan
Pedicle Depth (PD) (cm)	3,337 $\pm$ 0,274	2,74 – 4,01	2,997 $\pm$ 0,352	2,09 – 3,63	<0,005	Signifikan
Medial Angle (°)	11,522 $\pm$ 4,648	2 – 20	13,264 $\pm$ 4,607	4 – 22	–	Deskriptif

Pengukuran sudut insersi pada zona kedua menunjukkan pola yang konsisten dengan temuan sebelumnya, di mana sudut pada laki-laki ($36,136 \pm 2,620^\circ$) cenderung lebih kecil dibandingkan perempuan ($37 \pm 2,556^\circ$). Meskipun demikian, rentang sudut minimal dan maksimal pada kedua kelompok adalah sama, yaitu 30° hingga 43° , dan analisis menggunakan uji *T test* tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna secara statistik ($P < 0,005$). Temuan ini mengindikasikan bahwa variasi sudut insersi pada zona kedua relatif seragam antara laki-laki dan perempuan, sehingga secara klinis sudut tersebut dapat diterapkan tanpa pembedaan berdasarkan jenis kelamin.

Evaluasi terhadap Area of Safe Zone (AS) menunjukkan bahwa luas zona aman pada populasi Indonesia memiliki rerata $2,403 \pm 0,543 \text{ cm}^2$. Meskipun ukuran safe zone pada laki-laki cenderung lebih besar dibandingkan perempuan, perbedaan tersebut tidak mencapai signifikansi statistik. Hal ini menegaskan bahwa, secara umum, batas zona aman untuk pemasangan screw pada sakrum relatif sebanding antara kedua jenis kelamin, sehingga tidak diperlukan penyesuaian khusus berdasarkan perbedaan jenis kelamin semata.

Analisis trajektori sacroiliac screw menunjukkan bahwa proyeksi panjang screw pada laki-laki lebih besar dibandingkan perempuan dan perbedaan ini bermakna secara statistik ($P = 0,0389$). Temuan serupa juga terlihat pada pengukuran vestibulum ala ossis sacrum, yang menunjukkan ukuran lebih besar pada laki-laki dengan perbedaan yang signifikan ($P = 0,0095$). Berdasarkan hasil tersebut, dapat diperkirakan bahwa trajektori sacroiliac screw pada populasi Indonesia memiliki variasi panjang dan koridor yang dipengaruhi oleh dimorfisme seksual, namun tetap berada dalam batas zona aman yang memungkinkan penerapan prinsip pemasangan screw yang relatif seragam dengan penyesuaian panjang sesuai karakteristik individu.

Penggunaan *pedicle screw* dalam berbagai operasi seperti degenerasi diskus intervertebralis, stenosis kanalis spinalis, spondylolisthesis, trauma spinal, tumor, dan deformitas menjadikan *pedicle screw* sebagai salah satu instrumen penting dibidang ortopedi⁵. Prosedur pemasangan *pedicle screw* membutuhkan pengetahuan anatomis yang baik agar prosedur dapat berlangsung tanpa efek samping yang merugikan pasien^{6,7}.

Dari hasil penelitian, secara umum sakrum pada jenis kelamin laki-laki lebih besar dibandingkan perempuan sesuai dengan temuan Triwidodo *et al.*⁸ Apabila dibandingkan dengan populasi lain, rerata SB milik populasi Indonesia tercatat lebih besar daripada populasi Turki⁹. Namun hasil perbedaan tersebut tidak signifikan ($P=0.23$) secara statistik. Pengukuran dimensi VBD yang didapatkan lebih besar daripada hasil penelitian dari Xu¹⁰ yang meneliti morfologi sakrum populasi amerika, namun hasil dinyatakan berbeda tidak signifikan dengan nilai $P=0,198$. Sedangkan apabila dibandingkan dengan penelitian milik Basaloglu, dan Arman didapati hasil bermakna dengan nilai P masing-masing sebesar $P<0,001$ dan $P=0,0017$ ¹¹ sedangkan hasil VBW yang terukur berada diatas hasil rata rata penelitian Xu dimana hasil dinyatakan berbeda secara statistik ($P<0.001$)

namun berada dibawah penelitian Basaloglu dengan hasil yang bermakna secara statistik juga ($P < 0.001$).^{10,12}

Hasil TDA dan VDA yang terukur pada penelitian ini lebih kecil dibandingkan populasi Turki⁸. Perbedaan ukuran antara TDA dan VDA pada os sakrum populasi Indonesia dan Turki dinyatakan bermakna secara statistik ($P < 0.001$). SCW dan SCD yang terukur berada diantara hasil penelitian Basaloglu, Xu dan Arman, menunjukan perbedaan morfologi bahwa sakrum populasi Indonesia, lebih kecil dibandingkan dengan yang diteliti oleh Basaloglu *et al*, dan Arman *et al* yang meneliti pada populasi Anatolia Barat dengan metode diseksi tapi lebih besar dibandingkan populasi amerika yang diteliti oleh Xu *et al*. Perbedaan dinyatakan signifikan dengan nilai P masing-masing $P = 0.0024$, $P = 0,00482$ dan, $P < 0.001$ untuk parameter SCW serta $P < 0.001$ untuk parameter SCD pada ketiga penelitian^{8,10,11} tersebut dengan hasil PPH yang lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Asher¹³ namun memiliki rata rata yang lebih besar pada populasi laki laki dan lebih kecil pada populasi perempuan saat dibandingkan dengan populasi Turki dan Amerika. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bentuk bagian posterior sakrum yang mana didalamnya termasuk kanalis sakralis milik populasi Indonesia lebih lebar dibandingkan dengan populasi amerika namun lebih sempit dibandingkan populasi Turki.

Pada pengukuran regio pedikel, PW pada penelitian ini lebih besar saat dibandingkan dengan hasil penelitian Basaloglu dan Xu ($P < 0.001$)^{10,11}, dan hasil PD yang terukur lebih besar pada populasi Indonesia dibandingkan populasi Turki ($P < 0.001$)⁸ *Medial angle* pada penelitian ini memiliki hasil rata rata yang lebih besar dibandingkan penelitian Xu ($P = 0.0056$). Dapat disimpulkan bahwa pedikel sakrum milik Indonesia lebih besar dibandingkan populasi Turki.

Dibandingkan dengan penelitian Xu dan Asher insersi *screw* S1 secara posteroanterior pada populasi Indonesia menggunakan acuan sudut yang relatif sama⁹. Namun, *screw* yang digunakan untuk populasi Indonesia sebaiknya jauh dibawah panjang *screw* yang digunakan pada penelitian Xu, Asher, dan Basaloglu, sehingga prosedur pemendekan *screw* perlu dilakukan untuk penyesuaian.

Pada hasil pengukuran untuk panjang *sacroiliac screw* pada orang Indonesia dapat dipasang sebesar 9.09 ± 0.420 pada jenis kelamin laki-laki dan $8,89 \pm 0,417$ pada populasi perempuan. Dengan memperhatikan koridor lebar dari alla sacrum sebesar $1,80 \pm 0,227$

pada populasi laki-laki dan $1,67 \pm 0,195$ pada populasi perempuan. Walaupun dilakukan penambahan dengan 4mm pada tiap sisinya sebagaiantisipasi, namun trajektori *sacroiliac screw* tetap tidak melebihi hasil pengukuran. Sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan *cannulated screw* 0.73 mm dapat digunakan pada populasi Indonesia.

Dengan hasil tersebut, dapat kami simpulkan bahwa *pedicle screw* S1 pada populasi Indonesia dapat dipasang dengan kedalaman $3,18 \pm 0,352$ cm dan angulasi 30° - 43° kearah anteromedial tanpa memandang jenis kelamin. Pada populasi laki laki Indonesia, pembuatan lubang *screw* S1 memerlukan panjang *screw* $3,33 \pm 0,274$ cm dan $2,997 \pm 0,352$ cm untuk perempuan tanpa perbedaan angulasi kearah medial dari *screw*. Sedangkan untuk *sacroiliac screw* tetap disarankan menggunakan 7mm *cannulated screw* dengan sudut angulasi sesuai arah pedikel S1.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menegaskan bahwa morfometri sakrum populasi Indonesia memiliki karakteristik yang khas dan tidak sepenuhnya dapat disamakan dengan data yang berasal dari populasi Barat maupun Turki. Perbedaan tersebut terutama terlihat pada dimensi korpus vertebra S1, *auricular surface*, serta parameter pedikel, yang secara langsung berkaitan dengan keamanan dan stabilitas pemasangan implant. Meskipun terdapat variasi dimorfisme seksual pada beberapa parameter, seperti VBW, VBD, TDA, VDA, PPH, dan PD, batas zona aman dan rentang sudut insersi relatif seragam antara laki-laki dan perempuan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan instrumentasi berbasis populasi lebih relevan dibandingkan penyesuaian yang terlalu menitikberatkan pada perbedaan jenis kelamin semata.

Implikasi klinis dari penelitian ini adalah pentingnya penggunaan data morfometri lokal sebagai dasar perencanaan praoperatif, khususnya pada pemasangan *pedicle screw* S1 dan *sacroiliac screw*. Penggunaan panjang dan kedalaman *screw* yang disesuaikan dengan karakteristik anatomi populasi Indonesia berpotensi menurunkan risiko komplikasi, seperti perforasi korteks, cedera struktur neurovaskular, maupun kegagalan fiksasi. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan anatomi praktis bagi klinisi ortopedi dan traumatologi di Indonesia, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengembangan standar instrumentasi yang lebih aman dan presisi pada populasi Asia Tenggara

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa morfometri vertebra sakral pada populasi Indonesia memiliki karakteristik yang spesifik, dengan sebagian besar dimensi yang terutama pada korpus vertebra S1, *auricular surface*, dan pedikel yang cenderung lebih besar pada laki-laki dibandingkan perempuan. Meskipun demikian, tidak seluruh parameter menunjukkan perbedaan yang bermakna secara statistik, dan zona aman (*safe zone*) serta rentang sudut insersi relatif seragam antara kedua jenis kelamin.

Berdasarkan temuan tersebut, panjang sacroiliac screw yang aman pada populasi Indonesia diperkirakan sebesar $9,09 \pm 0,420$ cm pada laki-laki dan $8,89 \pm 0,417$ cm pada perempuan, dengan arah insersi ke arah posteromedial pada potongan aksial (*inlet view*). Sementara itu, pedicle screw S1 dapat dipasang dengan kedalaman rata-rata $3,33 \pm 0,274$ cm pada laki-laki dan $2,997 \pm 0,352$ cm pada perempuan, menggunakan sudut insersi 30° – 43° ke arah anteromedial, tanpa memerlukan perbedaan sudut berdasarkan jenis kelamin.

Temuan ini menegaskan pentingnya penggunaan data morfometri lokal sebagai dasar perencanaan instrumentasi sakrum, guna meningkatkan keamanan dan akurasi pemasangan implant pada populasi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nastoulis E, Karakasi MV, Pavlidis P, Thomaidis V, Fiska A. Anatomy and clinical significance of sacral variations: a systematic review. *Folia Morphol.* 2019 Dec 4;78(4):651–67.
2. Dayananda R, Pradhan P, Chander JK, Kumar MV. Sexual dimorphism in sacrum. *J Indian Acad Forensic Med.* 2020;42(3):161–3.
3. Shi D, Wang F, Wang D, Li X, Wang Q. 3-D finite element analysis of the influence of synovial condition in sacroiliac joint on the load transmission in human pelvic system. *Med Eng Phys.* 2014 June;36(6):745–53.
4. Siddiqui AU, Gurudiwan R, Siddiqui AT, Gupta P, Singh J. Putative Clinical Implications of Unilateral Ossified Sacrospinous Ligament. *J Health Allied Sci NU.* 2020 Dec;10(03):135–7.
5. Hirabayashi S, Kumano K, Kuroki T. Cotrel-Dubousset Pedicle Screw System for Various Spinal Disorders Merits and Problems: *Spine.* 1991 Nov;16(11):1298–304.
6. Saarenpää I, Laine T, Hirvonen J, Hurme S, Kotilainen E, Rinne J, et al. Accuracy of 837 pedicle screw positions in degenerative lumbar spine with conventional open surgery

- evaluated by computed tomography. *Acta Neurochir (Wien)*. 2017 Oct;159(10):2011–7.
7. Weinstein JN, Rydevik BL, Rauschnig W. Anatomic and Technical Considerations of Pedicle Screw Fixation: *Clin Orthop*. 1992 Nov;284:34–46.
 8. Triwidodo A, Yulisa ND, P J, elaki, Dilogio IH, Rahyussalim AJ, et al. Evaluation of lower lumbar morphometry in Asian population: A computed tomography scans study. *Imaging Med*. 2021 Aug 31;13(8):1–13.
 9. Triwidodo A, Rahyussalim AJ, Yulisa ND, Pandelaki J, Huraiby LS, Hadi IAN, et al. Sacrum morphometry and spinopelvic parameters among the Indonesian population using computed tomography scans. *Medicine (Baltimore)*. 2021 Nov 24;100(47):e27955.
 10. Xu R, Ebraheim NA, Yeasting RA, Wong FY, Jackson WT. Morphometric Evaluation of the First Sacral Vertebra and the Projection of Its Pedicle on the Posterior Aspect of the Sacrum: *Spine*. 1995 Apr;20(8):936–9.
 11. Başaloğlu H, Turgut M, Taşer FA, Ceylan T, Başaloğlu HK, Ceylan AA. Morphometry of the sacrum for clinical use. *Surg Radiol Anat*. 2005 Dec;27(6):467–71.
 12. Banik S, Mohakud S, Sahoo S, Tripathy PR, Sidhu S, Gaikwad MR. Comparative Morphometry of the Sacrum and Its Clinical Implications: A Retrospective Study of Osteometry in Dry Bones and CT Scan Images in Patients Presenting With Lumbosacral Pathologies. *Cureus*. 14(2):e22306.
 13. Asher MA, Strippgen WE. Anthropometric studies of the human sacrum relating to dorsal transsacral implant designs. *Clin Orthop*. 1986 Feb;(203):58–62.