

REVERSE SHOULDER PROSTHESIS: REVIEW DARI FITUR IMAGING DAN KOMPLIKASINYA**Sharanya Ramachandran**

Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana

sharu_63@yahoo.com

ABSTRAK

Latar belakang: *reverse shoulder prosthesis* adalah prosthesis yang telah digunakan secara klinis di Eropa sejak 1985 dan telah disetujui untuk digunakan di Amerika Serikat pada tahun 2004. *Prosthesis* unik ini memiliki *dasar* melekat pada glenoid, yang memegang komponen yang berbentuk bola, sedangkan komponen humerus yang meliputi polietilen yang terdapat di dalamnya adalah datar. Desain ini adalah konfigurasi “terbalik” yang terlihat dengan artroplasti konvensional, di mana komponen yang berbentuk bola merupakan bagian dari komponen humerus. Indikasi untuk *prosthesis* terbalik adalah: (1) arthritis yang sangat nyeri dikaitkan dengan robekan rotator-cuff yang tidak dapat diperbaiki (robekan rotator-cuff arthropathy), (2) hemiarthroplasty gagal dengan robekan rotator-cuff yang tidak dapat diperbaiki, (3) pseudoparalisis yang masif, robekan rotator-cuff yang tidak dapat diperbaiki, (4) beberapa rekonstruksi setelah reseksi tumor, dan (5) beberapa patah tulang bahu tidak dapat diperbaiki atau rekonstruksi dengan teknik lain. *Prosthesis* ini dapat menghasilkan pengurangan yang signifikan dalam rasa sakit dan beberapa perbaikan dalam fungsi untuk sebagian besar indikasi yang disebutkan. Namun, konfigurasi unik dan tantangan penyisipan dapat mengakibatkan tingginya insiden berbagai komplikasi yang tidak biasa. Beberapa komplikasi, seperti dislokasi komponen, mirip dengan penggantian bahu konvensional. Komplikasi lain, seperti bentuk skapula dan patah stress acromial yang unik untuk *prosthesis* ini. **Kesimpulan:** Konfigurasi dari *prosthesis* terbalik, penampakan radiografi yang normal dan komplikasi potensial terkait penggunaan.

Kata Kunci: reverse shoulder prosthesis

PENDAHULUAN

Conventional total shoulder arthroplasty (TSA) mengganti *shoulder ball* dan kantong sendi dengan komponen humerus tersusun dari metal dan komponen glenoid tersusun dari polietilen. TSA hanya bisa diimplan bila ada manset rotator yang berfungsi dan tulang glenoid yang adekuat sebagai tempat komponen glenoid harus ditempelkan. Untuk

pasien-pasien tanpa manset rotator yang berfungsi, penggunaan hemiarthroplasty yang hanya mengandung komponen kepala humerus merupakan terapi yang direkomendasikan. Sayangnya, penggunaan komponen humerus saja pada pasien-pasien arthritis dan manset rotator non fungsional tidak mengurangi nyeri dan memperbaiki rentang gerak pada banyak pasien.

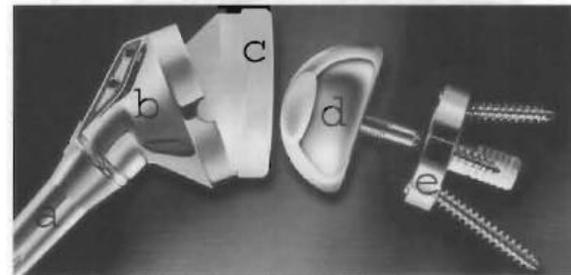


Gambar 1. Wanita 70 tahun yang menjalani arthroplasty bahu kiri total karena arthrosis degenerative. Radiograph anteroposterior bahu kiri menunjukkan arthroplasty total standard

Pada tahun 1985, seorang ahli bedah Prancis bernama Grammont mendesain sebuah prosthesis unik yang ditujukan untuk pasien-pasien yang memiliki arthritis bahu dan *rotator-cuff* yang tak berfungsi. Desain baru yang radikal ini membalikkan hubungan tradisional antara *ball* dengan kantongnya dan mengimplantasi *ball* ke dalam alas yang direkatkan pada glenoid dengan sekrup, sedangkan komponen humerus proksimal memiliki sisipan polietilen yang menyerupai kantong. Prostesis ini telah dimodifikasi beberapa kali dan diimplan oleh ahli-ahli bedah di Eropa selama 20 tahun. Tujuan dari desain yang unik ini tidak hanya untuk mengurangi nyeri, tetapi juga untuk memperbaiki pergerakan bahu untuk pasien-pasien dengan *rotator-cuff* yang tak berfungsi.

Pada bulan Maret 2004, alat yang unik ini diluncurkan oleh FDA untuk digunakan oleh ahli-ahli bedah di Amerika Serikat. Dalam waktu singkat, ahli bedah ortopedi telah ahli menggunakan alat ini dan

antusiasme terhadap alat ini pun meningkat. Tujuan dari artikel ini adalah untuk mengulas mengenai indikasi prosthesis bahu dan memperkenalkan tiga sistem yang saat ini tersedia di pasaran, menjelaskan mengenai tampilan *imaging* dari prosthesis normal, dan untuk mengilustrasikan dan mendiskusikan komplikasi-komplikasi yang mungkin timbul dari alat ini.



Gambar 2A-E. Komponen humeral dan glenoid dari reverse shoulder prosthesis A. Shaft B. epiphysis C. Polyethylene D. Glenosphere E. Dasar



Gambar 3. Laki-laki 68 tahun dengan decreasing strength dan range of motion pada bahu kanan, pemeriksaan fisik menunjukkan elevasi aktif terbatas sampai 30°. Radiograph anteroposterior pada bahu kanan menunjukkan subluksasi anteroposterior kepala humerus dengan arthropathy rotator-cuff

INDIKASI PADA REVERSE SHOULDER PROSTHESIS

Indikasi utama dari *reverse* prostesis adalah adanya nyeri dan artropaty dari robekan *rotator-cuff*. Dimana kondisi tersebut memiliki karakteristik adanya superior subluksasi dari *head-humerus* pada gabungannya dengan artrosis glenohumeral. Dalam

pemeriksaan, pasien biasanya akan menunjukkan berkurangnya *range of motion* dan kelemahan pada saat abduksi dan rotasi eksternal. Seringkali, pasien juga sebelumnya telah mengalami kegagalan pada saat perbaikan cedera dari *rotator-cuff*, yang dapat menyebabkan nyeri dan subluksasi superior.

Indikasi tersering kedua untuk prostesis adalah kegagalan pada proses artroplasty bahu dimana *rotator-cuff* tidak berfungsi, yang menyebabkan subluksasi superior dari prostesis tradisional. Seperti juga pada kondisi yang terjadi pada pasien dengan insersi hemiarthroplasty untuk *rotator-cuff tear arthropathy*, atau insersi hemiarthroplasty untuk fraktur kominutif tiga atau empat bagian dari humerus proksimal.



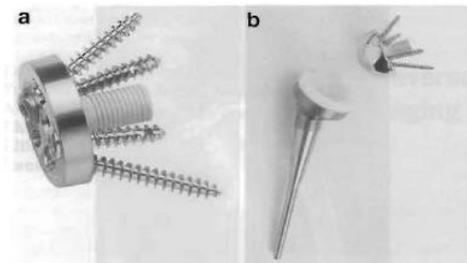
Gambar 4. Wanita 79 tahun yang menjalani hemiarthroplasty bahu kiri untuk fracture proksimal humerus 6 tahun yang lalu. Radiograph anteroposterior pada bahu kiri menunjukkan kegagalan hemiarthroplasty dengan subluksasi superior pada humerus karena rotator-cuff tear

Indikasi lain untuk *reverse* prostesis adalah pasien dengan rheumatoid arthritis yang terdapat hubungan dengan artropathy *rotator-cuff*. Penggunaan dari prostesis juga telah dapat

dijelaskan untuk pasien dengan *post-traumatic arthritis* dengan malunion atau nonunion dari tuberositas tulang dengan disfungsi *rotator-cuff*, untuk fraktur kominutif akut tiga atau empat bagian fraktur dari humerus proksimal, dan untuk rekonstruksi bahu setelah adanya beberapa tumor.

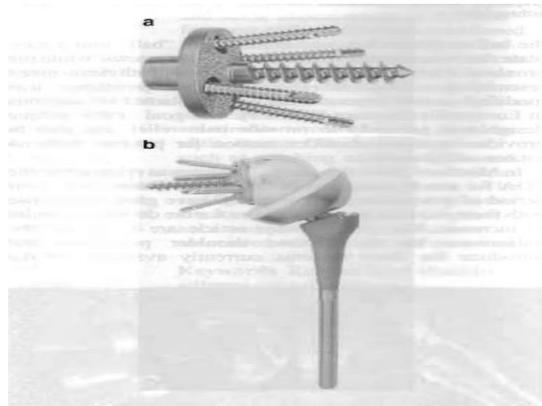
Komponen Prostesis

Pada saat ini, terdapat 3 jenis *reverse prosthesis* yang tersedia dipasaran. Alat dasar meliputi komponen humeral dan glenoid. Komponen glenoid pada 3 sistem merupakan yang paling mirip dan terdiri atas pasak sentral dan skrup yang terletak didalam lubang bor dibagian tengah glenoid (Gambar 5A). Pada saat dasar ini telah terpasang, 4 buah skrup diletakkan melewati dasar kedalam glenoid dan skapula dengan tujuan untuk mengunci piringan kedalam tulang. Setelah dasar ini terkunci, sebuah "*gleno-sphere*" ditanam menggunakan skrup sentral kedalam dasar (Gambar 5B). Komponen Glenoid tidak diertatkan karena didesain untuk tumbuh dalam tulang. Akan tetapi, apabila tulang tersebut lunak, semen digunakan untuk meningkatkan fixasi antara dari dasar dan skrup. Sepertiga sistem yang ada dipasaran memiliki skrup sentral daripada pasak sentral untuk mengunci piringan ke glenoid.



Gambar 5. A. Dasardan surgical screws dari sistem *reverse prosthesis*. B. *Reverse shoulder* sistem yang menunjukkan komponen humeral dengan sisipan plastik berpasangan dengan komponen glenoid, dimana sekarang hemisphere sudah diikatkan

Komponen humeral terdiri dari sebuah batang dan bagian proximal yang disatukan bersama-sama oleh sebuah galur sekrup (Gambar 5B). Komponen polyethylene cekung kemudian dimasukkan menuju ujung proximal pada batang humeral, dan komponen polyethylene ini memiliki kurvatura radius yang hampir serupa dengan gleno-sphere (Gambar 5B). pada salah satu sistem, komponen polyethylene merupakan komponen yang lebih besar dibandingkan 2 sistem lainnya (Gambar 6B). Batang humeral ini biasanya direkatkan, meskipun tersedia pula batang humeral yang tidak direkatkan di Eropa. Komponen humeral dan gleno-sphere berartikulasi satu sama lain dan terletak pada orientasi yang tepat dari komponen dan pada tegangan jaringan lunak untuk tetap pada posisinya (Gambar 7). Batang humeral panjang untuk revisi kasus tersedia dan biasanya direkatkan ke dalam piringan.



Gambar 6. Adasar dan surgical screws pada sistem *reverse prosthesis* dimana dasar memiliki sekrup sentral daripada pasak sentral. B. Komponen humeral memiliki polyethylene yang lebih besar dan komponen humeral berbeda dengan yang beredar dipasaran.

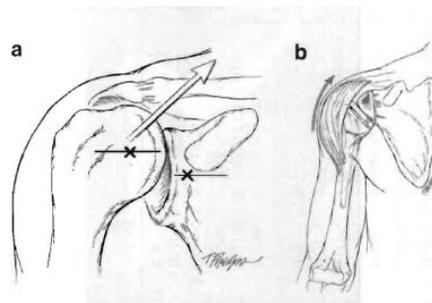
Secara biomekanik, *reverse prosthesis* bekerja dengan merubah arah dan menarik otot deltoid. Pada pasien yang tidak memiliki "*rotator-cuff*", bagian kepala humeral cenderung untuk mengalami

subluksasi dibagian superior ketika otot deltoid berkontraksi (Gambar 8). Vector ini tidak dapat dikoreksi dengan menggunakan hemiarthroplasty standard pada pasien yang tidak memiliki "*rotator-cuff*". *Reverse prosthesis* dapat mengkoreksi keabnormalan vector ini



Gambar 7.A. Radiograph anteroposterior dari bahu kiri wanita 76 tahun yang menjalani implantasi "*reverse prosthesis*" pada arthropathy *rotator-cuff*. B. Gambaran axilla pasien yang sama. C. Radiograph anteroposterior pada bahu kiri wanita 75 tahun yang menjalani revisi arthroplasty bahu total yang gagal dengan menggunakan "*long stem reverse prosthesis*"

Dengan memindahkan pusat rotasi dari lengan secara lateral dan mengalihkan arah tarikan otot deltoid (Gambar 8B). Pemindahan pusat rotasi dengan menggunakan prosthesis memudahkan deltoid untuk mengelevasi lengan meskipun sendi bahu memiliki sedikit atau bahkan tidak sekalipun memiliki "*rotator-cuff tendons*"



Gambar 8. A. Pada bahu pasien tanpa tendon *rotator-cuff*, terdapat sedikit pengekangan relative ke subluksasi antero-superior dari kepala humeral menuju glenoid ketika pasien berusaha untuk mengangkat lengannya. Tarikan pada otot deltoid

memperparah kondisi ini dengan menarik kearah superior dan medial (tanda panah) **B.** Pada reverse prosthesis, pengangkat otot deltoid kembali seperti semula, memudahkan untuk menarik humerus naik dan keluar (tanda panah)



Gambar 9. Radiograph anteroposterior bahu kanan laki laki 86 tahun yang menjalani shoulder replacement karena arthropathy *rotator-cuff*. Tanda panah menunjukkan scapular notching, tetapi tidak ada dampak pada notching ini dan tidak terdapat tanda penipisan

Clinical Outcome

Pada umumnya, “reverse prosthesis” menyediakan pemecahan masalah yang nyata pada bahu yang rusak dengan arthritis berat dan “irreparable rotator-cuff” (8,9,12,13,15-19). Terdapat perkembangan yang meningkat pada mayoritas pasien dalam hal perbaikan nyeri dan “range of motion”

Akan tetapi “reverse prosthetic” , secara teknik masih merupakan suatu tantangan bagi para ahli bedah karena komplikasinya yang umum (Tabel 2). Werner et al melaporkan komplikasi mayor dan minor pada 50% studi kohort 58 pasien; dengan ratio operasi kembali mencapai 33% (19). Frankle melaporkan komplikasi 17% dari 60 pasien dan 12% gagal dan membutuhkan revisi kembali. Frankle berpendapat bahwa periode krisis pemasangan

prosthesis ini terjadi pada 2 tahun pertama setelah implantasi.

Author	n	Age (range)	Diagnosis ^a	Indication, n (%)		Length FU (range)	Result, n (%)		Average constant score (range)	
				Primary	Revision ^b		Satisfied	Dissatisfied	Preop	Postop
Valenti 2001 [18]	39	70 (55-87)	1, 4	36 (92%)	3 (8%)	84 months (60-108)	N/S	N/S	21	63
Rittmeister 2001 [20]	7	60 (38-63)	6	7 (100%)	0	54.3 months (48-73)	7 (100%)	N/S	17	63
Jacobs 2001 [14]	14	72 (54-80)	1, 4, 6	9 (64%)	5 (36%)	26 months (16-37)	N/S	N/S	17.9	56.7
Boulahia 2002 [9]	16	77 (66-80)	1, 2	16 (100%)	0	35 months (24-65)	16 (100%)	N/S	22 (5-34)	59 (41-78)
De Wilde 2001 [10]	13	49 (26-68)	5	13 (100%)	0	36 months (5-120)	N/S	N/S	39 (5-100)	72.5 (30-90)
Sirveaux 2004 [16]	80	73 (60-86)	1	80 (100%)	0	44.5 months (24-97)	N/S	N/S	22.6 (4-50)	65.5 (34-85)
Werner 2005 [19]	58	68 (44-84)	1, 4	17 (29%)	41 (71%)	38 months (minimum 24)	N/S	N/S	29 (3-53)	64 (10-100)
Boileau 2005 [8]	45	NA	1, 3, 4	26 (58%)	19 (42%)	40 months (24-72)	35 (78%)	10 (22%)	17 (14-20)	59 (53-65)
Frankle 2005 [12]	60	71 (34-86)	1, 2, 6	60 (100%)	0	33 months (24-68)	57 (95%)	3 (5%)	34.3 ^c (0-65)	68.2 ^c (15-100)
De Wilde 2005 [11]	4	42 (23-51)	5	4 (100%)	0	38 months (24-60)	N/S	N/S	N/S	84.5 (70-91)

^a number of patients, N/S no statement

^b 1-cuff tear arthropathy, 2-posttraumatic arthropathy, 3-fracture sequelae, 4-failed hemi or total arthroplasty, 5-tumor on proximal humerus, 6-rheumatoid arthritis

^cRevision Removal of failed arthroplasty with immediate implantation of reverse prosthesis

^dASES score

Tabel 1. Kesimpulan laporan outcomes klinik dengan reverse shoulder prosthesis

Author	Complication, n (%)					Failure or revision, n (%)
	Total	Loosening ^a	Dislocation	Infection	Others	
Valenti 2001 [18]	6 (15%)	4 GL (10%) (3 unscrew)	0	2 (5%)	None	3 (8%)
Rittmeister 2001 [20]	4 (50%)	3 GL (38%)	0	1 (13%)	3 acromial fractures (transacromial approach)	1 (13%)
Jacobs 2001 [14]	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
Boulahia 2002 [9]	4 (25%)	1 GL (6%)	1 (1%)	0	1 phlebitis, 1 hematoma	2 (13%)
De Wilde 2003 [10]	5 (39%)	N/S	4 (31%)	2 (15%)	None	1 (8%)
Sirveaux 2004 [16]	11 (14%)	8 (10%) (7 GL, 1 HL)	N/S	1 (1%)	None	3 (4%)
Werner 2005 [19]	29 (50%)	4 (7%) (3 GL, 1 HL)	5 (9%)	6 (10%)	12 hematomas, 1 nerve lesion, 4 fractures, 1 inlay dislocation	6 (10%)
Boileau 2005 [8]	10 (13%)	5 HL (11%)	3 (7%)	2 (4%)	1 periprosthetic fracture, 1 glenoid fracture	10 (22%)
Frankle 2005 [12]	10 (17%)	6 GL (12%)	1 (2%)	3 (5%)	1 scapular fracture, 3 acromial fractures	7 (12%)
De Wilde 2005 [11]	N/S	0	N/S	0	None	0

^aGL Glenoid loosening and HL humeral loosening

N/S No statement

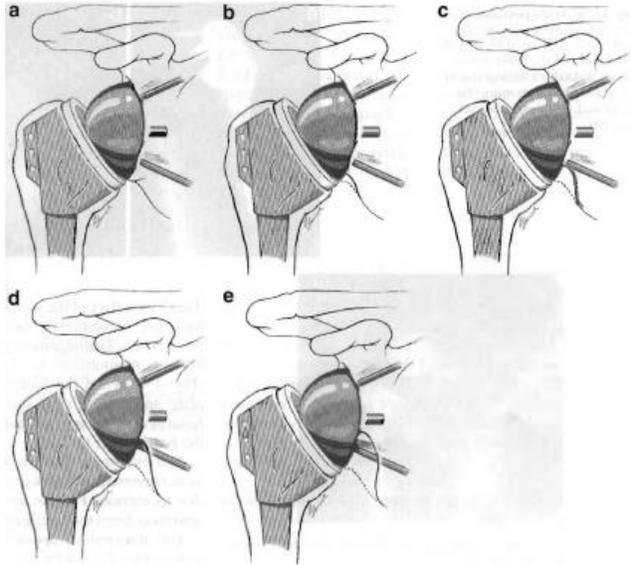
Tabel 2. Kesimpulan laporan komplikasi dengan reverse shoulder prosthesis

KOMPLIKASI

Beberapa komplikasi yang dapat terjadi dengan penggunaan reverse prosthesis sama dengan komplikasi yang ditimbulkan dengan arthroplasty shoulder yang dilakukan pada pasien dengan rekonstruksi kompleks dari bahu, antara lain hematoma, infeksi dan kerusakan saraf. Infeksi dapat menyebabkan kelonggaran komponen dan akhirnya kegagalan.

Komplikasi yang sering terjadi setelah implantasi reverse prosthesis adalah penyatuan scapula inferior dengan komponen humeral (Gambar.9). Penyatuan ini diyakini karena kontak antara bagian proksimal humerus dan scapula

inferior. Penyatuan ini telah diklasifikasikan oleh Nero (Gambar.10) dan muncul segera setelah implantasi, biasanya menjadi stabil setelah 1 tahun pada sebagian besar pasien. Masih ada kontroversi apakah penyatuan ini menimbulkan gejala klinis.

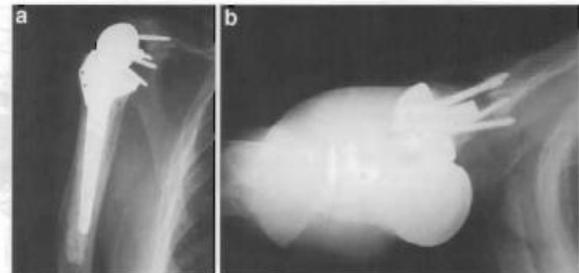


Gambar 10. Klasifikasi Nero tentang progresivitas penyatuan skapula. **A)** Grade 0 : tidak ada penyatuan, **B)** Grade 1 : penyatuan kecil, **C)** Grade 2 : penyatuan dengan kondensasi (stabil), **D)** Grade 3 : *evolutionary notch* (erosi dari skrup inferior), **E)** Grade 4 : kelonggaran glenoid awal.

Komplikasi lain yang dapat terjadi adalah dislokasi dari *prosthesis* (Gambar.11). Radiografi tegak lurus satu sama lain diperlukan untuk membuat diagnosis tersebut (Gambar.12). Ketidakstabilan *prosthesis* mungkin disebabkan oleh ketegangan jaringan lunak yang tidak adekuat, malposisi dari komponen atau kelonggaran dari komponen dengan gerakan.



Gambar 11. Wanita 82 tahun dilakukan *reverse shoulder arthroplasty* 7 bulan sebelumnya. Dia mengalami onset nyeri ketika menggerakkan bahunya dengan posisi abduksi dan rotasi eksternal. Radiografi oblik dari bahu kanannya menunjukkan dislokasi dari *reverse prosthesis*.



Gambar 12.A) Radiografi anteroposterior pada bahu kanan menunjukkan dislokasi *reverse prosthesis* pada pasien yang berbeda. **B)** Radiografi aksilari pada pasien yang sama menunjukkan dislokasi *prosthesis*.

Garis radiolusen sekitar dasar pada glenoid telah diobservasi, namun sebagian orang meyakini gambaran ini disebabkan oleh penutupan dari bidang gleno pada perlekatannya terhadap *dasar*. Pergeseran pada dasar bisa dilihat, tapi hubungannya dengan garis radiolusen belum diketahui (Gambar.13). Ketika fiksasi dari dasar gagal, mangkok

dan bola glenoid dapat bergeser dan bergerak. Walaupun kegagalan skrup dapat terlihat, itu mengindikasikan kegagalan yang pasti terjadi pada dasar (Gambar.14).

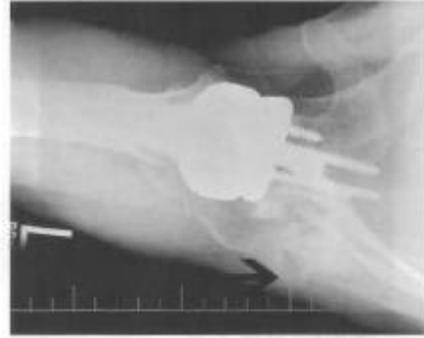


Gambar 13. Radiografi anteroposterior dari bahu kiri menunjukkan pergeseran dari dasar glenoid.



Gambar 14. Radiografi anteroposterior dari bahu kanan menunjukkan fraktur skrup pada dasar glenoid, yang pada kasus ini berhubungan dengan migrasi superior dari dasar glenoid.

Acromial stress fractures telah dilaporkan pada penggunaan *reverse prosthesis* (Gambar.15). Ini diyakini karena peningkatan tekanan yang dialami bagian posterior akromion dari konfigurasi prosthesis.



Gambar 15. Laki-laki 65 tahun, dilakukan *reverse shoulder prosthesis placement* dengan *rotator-cuff arthroplasty*. Empat bulan setelah operasi, ia mengalami nyeri yang signifikan pada bahunya, yang lebih dominan di bagian posterior. Dia menyangkal riwayat trauma. Radiografi aksilari dari bahu kanan menunjukkan *acromial stress fracture*.

Bagian batang komponen humeral terlihat lebih seperti sebuah *standard total shoulder stem* kecuali itu cenderung melebar secara proksimal di dekat ujung atas humerus. Komplikasi bagian humeral adalah tidak biasa, namun menyertakan radiolusen, kemiringan dari komponen humeral jika tidak menyatu, dan patah (Gambar.16).



Gambar 16. Wanita 79 tahun, dengan *rotator-cuff arthroplasty* yang dilakukan arthroplasty bahu total. Dia mengalami nyeri yang signifikan setelah penonjolan lengannya. Radiografi anteroposterior dari bahu kanan menunjukkan patah pada batang humerus.

Gambaran radiologi memainkan peranan vital untuk mendeteksi dan menentukan karakteristik komplikasi operasi yang potensial terjadi. Radiografi masih diandalkan untuk diagnosis awal dari komplikasi tersebut. Radiografi harus meliputi gambaran anterior-posterior dan gambaran aksila. Gambaran anterior-posterior pada rotasi internal dan eksternal memungkinkan visualisasi *dasar* dari sudut pandang yang berbeda. Meskipun, teknik CT yang maju dengan pemetaan 3D mungkin berguna untuk meningkatkan deteksi terhadap abnormalitas tersebut. Dengan volume 3D-CT yang diberikan, alat penanda yang dihubungkan dengan perangkat keras bedah secara nyata dikurangi, secara potensial menimbulkan peningkatan demonstrasi patologi tulang halus dibandingkan dengan radiograf, meskipun perlu dicatat bahwa reformasi multiplanar dapat memberikan detail lebih dari penggambaran 3D dengan teknik penggambaran permukaan dan lebih dipilih untuk diagnosis aktual dan interpretasi.

Kesimpulan

Reverse shoulder prosthesis adalah protesis inovatif yang dirancang untuk pasien dengan rotator-cuff arthropathy tingkat lanjut, gagal hemiarthroplasty dengan kelainan rotator-cuff atau subluksasi superior dari humerus karena kelainan rotator-cuff. Komponen protes adantampilan pencitraan normal telah ditinjau, karena memiliki manifestasi radiografik dari komplikasi yang terkait dengan itu. Kelangsungan jangkauan jang implan ini tidak diketahui, dan praktis harus menyadari potensi untuk

membongkar dan kegagalan dari komponen dari waktu ke waktu

DAFTAR PUSTAKA

1. Byrd RB, Miller WE, Carr DT, Payne WS, Woolner LB. The roentgenographic appearance of squamous cell carcinoma of the bronchus. *Mayo Clinic Proceedings* 1968;43:327–332. MedlineWeb of Science
2. Forster BB, Muller NL, Miller RR, Nelems B, Evans KG. Neuroendocrine carcinomas of the lung: clinical, radiologic, and pathologic correlation. *Radiology* 1989;170:441–445. MedlineWeb of Science
3. Pearlberg JL, Sandler MA, Lewis JW Jr, Beute GH, Alpern MB. Small-cell bronchogenic carcinoma: CT evaluation. *Am J Roentgenol* 1988;150:265–268. MedlineWeb of Science
4. Dahnert W. Chest Disorders. In: Dahnert W, ed. *Radiology Review Manual*. 3rd edition. Baltimore, Williams and Wilkins, 1996; pp. 346–346.
5. Fraser RG, Parre JAP. *Diagnosis of diseases of the chest*. 4th edition. Philadelphia, W.B. Saunders, 1999; pp. 1142–1143.
6. Shin MS, Jackson LK, Shelton RW Jr, Greene RE. Giant cell carcinoma of the lung. Clinical and roentgenographic manifestations. *Chest* 1986;89:366–369. CrossRef MedlineWeb of Science
7. Hyer JD, Silvestri G. Diagnosis and staging of lung cancer. *Clin Chest Med* 2000;21:95–106. CrossRef MedlineWeb of Science
8. Webb WR. Radiologic evaluation of the solitary pulmonary nodule. *Am J Roentgenol* 1990;154:701–708. MedlineWeb of Science
9. Remy-Jardin M, Remy J, Giraud F, Marquette CH. Pulmonary nodules: detection with thick-section

- spiral CT versus conventional CT. *Radiology* 1993;187:513–520. *MedlineWeb of Science*
10. Brink JA, Heiken JP, Semenkovich J, Teefey SA, McClennan BL, Sagel SS. Abnormalities of the diaphragm and adjacent structures: findings on multiplanar spiral CT scans. *Am J Roentgenol* 1994;163:307–310. *CrossRefMedlineWeb of Science*
 11. Kuriyama K, Tateishi R, Kumatani T, et al. Pleural invasion by peripheral bronchogenic carcinoma: assessment with three-dimensional helical CT. *Radiology* 1994;191:365–369. *MedlineWeb of Science*
 12. Aquino SL, Vining DJ. Virtual bronchoscopy. *Clin Chest Med* 1999;20:725–730. *CrossRefMedlineWeb of Science*
 13. Ohnesorge B, Flohr T, Schaller S, et al. The technical bases and uses of multi-slice CT. *Radiologe* 1999;39:923–931. *CrossRefMedlineWeb of Science*
 14. McCollough CH, Zink FE. Performance evaluation of a multi-slice CT system. *Med Phys* 1999;26:2223–2230. *CrossRefMedlineWeb of Science*
 15. Patz EF Jr, Erasmus JJ, McAdams HP, et al. Lung cancer staging and management: comparison of contrast-enhanced and nonenhanced helical CT of the thorax. *Radiology* 1999;212:56–60. *MedlineWeb of Science*
 16. Cascade PN, Gross BH, Kazerooni EA, et al. Variability in the detection of enlarged mediastinal lymph nodes in staging lung cancer: a comparison of contrast-enhanced and unenhanced CT. *Am J Roentgenol* 1998;170:927–931. *MedlineWeb of Science*
 17. Gefter WB. Magnetic resonance imaging in the evaluation of lung cancer. *Semin Roentgen* 1990;25:73–84. *CrossRef*
 18. Hatabu H, Stock KW, Sher S, et al. Magnetic resonance imaging of the thorax. Past, present, and future. *Clin Chest Med* 1999;20:775–803. *CrossRefMedlineWeb of Science*
 19. Batra P, Brown K, Steckel RJ, Collins JD, Ovenfors CO, Aberle D. MR imaging of the thorax: a comparison of axial, coronal, and sagittal imaging planes. *J Comp Assist Tomogr* 1988;12:75–81. *MedlineWeb of Science*
 20. Aitken K, Armstrong P. Clinical imaging for staging lung cancer. *Imaging* 1992;4:15–22.
 21. Webb WR, Jensen BG, Sollitto R, et al. Bronchogenic carcinoma: staging with MR compared with staging with CT and surgery. *Radiology* 1985;156:117–124. *MedlineWeb of Science*
 22. Padovani B, Mouroux J, Seksik L, et al. Chest wall invasion by bronchogenic carcinoma: evaluation with MR imaging. *Radiology* 1993;187:33–38. *MedlineWeb of Science*
 23. Erasmus JJ, Patz EF Jr. Positron emission tomography imaging in the thorax. *Clin Chest Med* 1999;20:715–724. *CrossRefMedlineWeb of Science*
 24. Duhaylongsod FG, Lowe VJ, Patz EF Jr, Vaughn AL, Coleman RE, Wolfe WG. Lung tumor growth correlates with glucose metabolism measured by fluoride-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Annals of Thoracic Surgery* 1995;60:1348–1352. *CrossRefMedlineWeb of Science*