

**Aplikasi Pengoptimuman Berbilang Kriteria pada rekabentuk Femur Palsu
(*Artificial hip prosthesis*) untuk mengurangkan Hadangan Tegasan (*Stress
shielding*)**

oleh

MOHD. NIZAM AHMAD

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah SARJANA SAINS**

OKTOBER 2004

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur kepada Allah SWT kerana dengan kekuatan dan petunjuk daripada-Nya dapat saya menyiapkan penyelidikan ini. Kerja-kerja penyelidikan dan penulisan tesis memerlukan kesabaran, penghayatan serta semangat yang tinggi.

Saya merakamkan setinggi-tinggi terima kasih dan penghargaan kepada penyelia utama saya, Prof. Ahmad Yusoff Hassan di atas bimbingan, dorongan dan nasihat yang diberikan. Begitu juga penyelia bersama, En. Solehuddin yang banyak membantu menyelia perjalanan kerja-kerja penyelidikan dengan tekun dan sabar. Di samping itu, terima kasih juga kepada En. Halim Kadarman dan En. Abdus Samad yang telah memberi nasihat, pandangan dan bimbingan sewaktu saya menjalankan pengaturcaraan dan analisis. Begitu juga dengan Dr. Amran yang membantu memberikan maklumat mengenai bidang perubatan.

Tidak dilupakan juga kepada keluarga saya yang memahami, membantu dan memberi dorongan kepada saya, terutama ibu saya, Pn. Hj. Siti Rokiah. Setinggi-tinggi penghargaan juga buat isteri tersayang, Farah Riza Che Had yang sentiasa memberi sokongan dan galakan serta memahami bagi membantu saya menyiapkan penyelidikan.

Jutaan terima kasih diucapkan kepada Universiti Sains Malaysia kerana membiayai pengajian saya melalui Skim Biasiswa Khas. Tidak dilupakan juga kepada pihak pentadbiran Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik yang membantu menyediakan segala kemudahan untuk penyelidikan saya.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga juga kepada semua yang terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam membantu penyelidikan ini. Semoga semua sumbangan, galakan dan nasihat yang diberi akan mendapat balasan yang setimpal daripada-Nya. Semoga kita semua mendapat keberkatan dan rahmat daripada-Nya.

KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	i
KANDUNGAN	ii – v
SENARAI JADUAL	vi
SENARAI GAMBARAJAH	vii - ix
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB SATU : PENGENALAN	
1.1 Hadangan tegasan pada femur palsu (Implan)	1
1.2 Motivasi penyelidikan hadangan tegasan	2
1.3 Kaedah penyelesaian masalah hadangan tegasan	3
1.4 Organisasi tesis	4
BAB DUA : HADANGAN TEGASAN PADA IMPLAN	
2.1 Hadangan tegasan: Suatu tinjauan	6
2.1.1 Pendekatan awal hadangan tegasan	6
2.1.2 Kesan sampingan masalah hadangan tegasan	10
2.1.3 Lokasi hadangan tegasan	11
2.2 Implan	12
2.2.1 Implan sebagai penyelesaian masalah tulang femur	12
2.2.2 Jenis-jenis implan	13
2.2.3 Masalah-masalah lain pada implan	15
2.2.4 Rekabentuk implan mempengaruhi hadangan tegasan	16
2.3 Objektif penyelidikan	19
BAB TIGA : ANALISIS TEGASAN IMPLAN RUJUKAN	
3.1 Pemilihan implan rujukan untuk penyelidikan	21
3.1.1 Pemodelan implan rujukan	21
3.2 Analisis tegasan pada implan	22
3.2.1 Pemodelan tulang femur	22

3.2.2	Analisis tegasan pada implan rujukan	26
3.2.2.1	Model implan rujukan dan model tulang femur	27
3.2.2.2	Pemilihan bahan implan	28
3.2.2.3	Pembentukan model berjejaringan (<i>meshing</i>) pada implan rujukan	29
3.2.2.4	Syarat sempadan pada implan rujukan dan model tulang femur	31
3.2.2.5	Analisis tegasan dijalankan	34
3.3	Kaedah mendapatkan hadangan tegasan	35
3.4	Hadangan tegasan pada implan rujukan	37
3.4.1	Nilai tegasan terhadang	37
3.4.2	Lokasi tegasan terhadang	41
3.4.3	Keperluan mendapatkan bentuk implan optimum	42

BAB EMPAT : PENGOPTIMUMAN IMPLAN

4.1	Proses pengoptimuman berlangsung	43
4.1.1	Pengoptimuman struktur	44
4.1.1.1	Pengoptimuman topologi, saiz, bahan dan bentuk	45
4.1.1.2	Proses pengoptimuman implan yang bakal dijalankan	46
4.1.2	Pengoptimuman berbilang kriteria	47
4.1.2.1	Sejarah pengoptimuman berbilang kriteria	47
4.1.2.2	Aplikasi pengoptimuman berbilang kriteria	48
4.1.3	Pengoptimuman berbilang kriteria sebagai penyelesaian	49
4.1.4	Konsep pengoptimuman berbilang kriteria	50
4.2	Proses pengoptimuman saiz pada implan	51
4.2.1	Pengoptimuman berbilang kriteria pada saiz implan	53
4.2.2	Model implan rujukan untuk proses pengoptimuman	54
4.2.2.1	Kriteria rekabentuk untuk mengurangkan Tegasan	56
4.2.3	Penentuan elemen pengoptimuman pada implan	58
4.2.3.1	Parameter pengoptimuman	59
4.2.3.2	Rangkap objektif	59
4.2.3.3	Kekangan	60

4.2.4	Proses pengoptimuman berlangsung	61
4.2.5	Pengaturcaraan komputer penggerak pengoptimuman	62
4.2.5.1	Algoritma pengoptimuman	63
4.3	Hasil proses pengoptimuman saiz implan	65
4.3.1	Analisis tegasan pada implan optimum	66
4.3.1.1	Model implan optimum dan model tulang Femur	67
4.3.1.2	Pembentukan model berjejaringan (<i>meshing</i>)	68
4.3.1.2	Syarat sempadan pada implan optimum dan tulang femur	69
4.3.1.4	Analisis tegasan berlangsung	70
4.3.2	Keputusan analisis tegasan pada implan optimum	70
4.3.3	Kejayaan proses pengoptimuman: implan optimum Diperolehi	73
BAB LIMA : ANALISIS PENGESAHAN		
5.1	Pengesahan proses pengoptimuman	74
5.1.1	Ubahsuai saiz implan rujukan	74
5.1.1.1	Model-model ujian implan untuk pengesahan	74
5.1.2	Analisis tegasan pada model implan ujian	76
5.1.3	Pengesahan proses pengoptimuman yang dijalankan	76
5.2	Kejayaan menyelesaikan masalah hadangan tegasan	79
5.2.1	Hadangan tegasan pada implan rujukan dan optimum	79
5.2.2	Tegasan pada tulang femur	81
5.2.3	Hadangan tegasan minimum	83
5.2.4	Tulang menyerap tegasan	83
5.2.5	Agihan tegasan stabil	84
5.2.6	Perbezaan bahan implan: Aloi Titanium dan Kobalt-Krom	86
5.3	Rekabentuk optimum suatu penyelesaian	88
5.3.1	Pengaruh rekabentuk implan	88
5.3.2	Rekabentuk optimum	91
5.3.3	Pengaturcaraan pengoptimuman	92

BAB ENAM : RUMUSAN DAN CADANGAN

6.1	Keupayaan pengoptimuman berbilang kriteria	93
6.2	Rekabentuk optimum mengurangkan hadangan tegasan	93
6.3	Kesimpulan	94
6.4	Cadangan pada masa depan	95

RUJUKAN	97 – 101
----------------	-----------------

LAMPIRAN	102-104
-----------------	----------------

SENARAI JADUAL

	Muka surat
3.1 Sifat mekanikal bahan untuk analisis	28
5.1 Keputusan analisis tegasan pada implan	77
5.2 Keputusan tegasan yang diserap oleh tulang femur	82

SENARAI GAMBARAJAH

	Muka surat
1.1 Implan pada sistem tulang manusia	1
2.1 Beban yang bertindak tulang femur dan pada implan	6
2.2 Tinjauan penyelidikan implan oleh Jeong	8
2.3 Keadaan Hadangan Tegasan	9
2.4 Kawasan yang berlaku Hadangan Tegasan pada tulang femur	11
2.5 Contoh-contoh implan	12
2.6 Antara masalah-masalah tulang femur	13
2.7 Implan Bersimen	14
2.8 Implan Tak-Bersimen	14
2.9 Keadaan lekatan implan pada tulang	14
3.1 Implan konvensional	21
3.2 Model grafik 3-D implan rujukan	22
3.3 Kaedah amali untuk menentukan tegasan pada implan	23
3.4 Tulang femur dan model separuh tulang femur yang dipermudahkan	24
3.5 Anggapan bentuk tulang dan implan oleh penyelidik terdahulu	25
3.6 Model implan bersama tulang dan sistem bebanan serta kekangan	27
3.7 Model jejaringan implan dan implan dalam tulang femur untuk analisis	30
3.8 Syarat sempadan oleh penyelidik terdahulu	31
3.9 Syarat sempadan analisis implan dan tulang femur	32
3.10 Kawasan pemerhatian tegasan pada implan	35
3.11 Kontur tegasan <i>Von Mises</i> pada implan	38
3.12 Graf taburan tegasan <i>Von Mises</i> pada implan rujukan	40
3.13 Kawasan yang berlaku Hadangan Tegasan pada tulang femur	41

3.14	Kawasan yang berlaku hadangan tegasan pada implan rujukan	42
4.1	Contoh struktur: normal (kiri) dan optimum (kanan)	45
4.2	Pengkelasan pengoptimuman struktur	45
4.3	Carta alir proses pengoptimuman saiz pada implan dijalankan	52
4.4	Implan yang dipermudahkan untuk proses pengoptimuman	54
4.5	Dimensi implan rujukan	55
4.6	Dimensi implan untuk pengoptimuman serta tegasan yang bertindak	58
4.7	Carta alir algoritma pengoptimuman	64
4.8	Rekabentuk dan dimensi implan optimum	66
4.9	Model implan optimum dan model tulang femur untuk dianalisis	67
4.10	Model bejajaran implan pada tulang femur	68
4.11	Syarat sempadan analisis implan optimum	69
4.12	Tegasan <i>Von Mises</i> pada implan optimum	71
4.13	Graf taburan tegasan <i>Von Mises</i> pada implan optimum	72
5.1	Model implan ujian dengan penambahan lebar dan pengurangan panjang	75
5.2	Taburan tegasan pada implan-implan untuk ujian pengesahan (Titanium)	77
5.3	Taburan tegasan pada implan-implan untuk ujian pengesahan (Kobalt-Krom)	78
5.4	Perbandingan tegasan pada implan Titanium	80
5.5	Perbandingan tegasan pada implan Kobalt-Krom	80
5.6	Tegasan <i>Von Mises</i> pada tulang femur bagi implan Titanium	81
5.7	Tegasan <i>Von Mises</i> pada tulang femur bagi implan Kobalt-Krom	82
5.8	Agihan tegasan pada tulang dan implan	85
5.9	Hadangan tegasan pada implan optimum	87
5.10	Hadangan tegasan pada implan rujukan	87

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

FEA	Finite Element Analysis
FEM	Finite Element Method
CAD	Computer Aided Design
I-DEAS	Integrated Design Engineering Analysis Software
FOTRAN	Formula Translation
mm	Milimeter
σ	Tegasan Normal
τ	Tegasan Ricih
UHMWPE	Ultra High Molecular Weight PolyEthylene
THA	Total Hip Arthroplasty
HP	Hemiarthroplasty Hip
PMMA	Polymethylmethacrylate
E	Modulus Young
ν	Nisbah Poisson

ABSTRAK

Hadangan tegasan (*stress shielding*) merupakan satu masalah yang timbul berikutan ketidaksempurnaan rekabentuk implan (*Artificial Hip Prosthesis*) yang dipasang pada tulang femur. Masalah ini menjadi sebab utama kepada pemodelan semula tulang (*bone remodeling*) dan seterusnya mewujudkan keliangan (*porous*) pada tulang femur serta melemahkannya. Sehingga kini, hadangan tegasan tidak dapat dihilangkan terus, tetapi sekadar dapat dikurangkan sahaja. Matlamat utama penyelidikan ini adalah untuk mengurangkan hadangan ke tahap paling minimum. Hasrat utama penyelidikan di dalam bidang ini ialah untuk menghilangkan terus masalah hadangan tegasan pada implan.

Di dalam penyelidikan ini, kaedah Pengoptimuman Berbilang Kriteria digunakan untuk mengoptimumkan saiz implan bagi mengurangkan hadangan tegasan. Satu pengaturcaraan komputer telah ditulis menggunakan perisian FORTRAN untuk proses pengoptimuman. Kejayaan proses pengoptimuman akan mengesahkan bahawa kaedah pengoptimuman yang dijalankan mampu mendapatkan saiz implan yang optimum.

Hasil pengoptimuman ialah saiz rekabentuk implan yang optimum. Analisis tegasan menggunakan kaedah Analisis Unsur Terhingga (FEA) telah dijalankan ke atas rekabentuk implan optimum dan rekabentuk implan konvensional bagi mengetahui nilai dan lokasi tegasan terhadap. Pemodelan dan FEA tulang femur dan implan dibuat berbantuan perisian I-DEAS. Perbandingan antara kedua-dua implan (konvensional dan optimum) dibuat selepas selesai analisis dilaksanakan melibatkan tegasan terhadap dan kesan-kesannya.

Berdasarkan keputusan analisis, proses pengoptimuman telah berjaya mengurangkan hadangan tegasan dalam lingkungan 40% menerusi rekabentuk saiz implan yang optimum. Kejayaan ini didorong oleh pemindahan beban yang baik pada permukaan antara-muka (*interface*) tulang femur dan implan optimum.

Application of Multiple Criteria Optimization in the design of Femoral Hip Prosthesis to reduce Stress Shielding

ABSTRACT

Stress shielding is a problem which occurs due to in appropriate design of hip prosthesis in the femur. That problem will cause bone remodelling and the bone becomes more porous and weak. Until now, that stress cannot be eliminated completely, but only be minimized. The primary goal of this research is to reduce that stress in to the minimum level. Even though, ideally it should be eliminated totally.

In this research, the multiple criteria optimization method will be used to optimize the size of hip prosthesis design to reduce stress shielding. The algorithm in FOTRAN (computer programming) was created based on multiple criteria optimization concept to optimize the implant. The optimization validation also was done to confirm the methodology adapted.

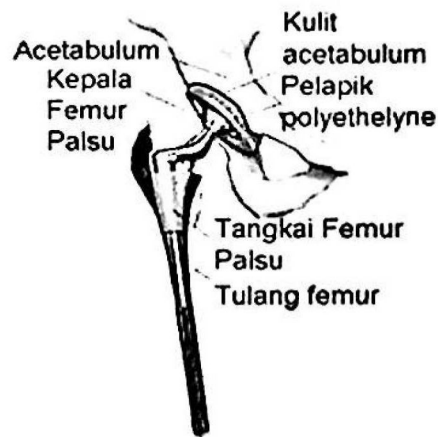
The output of the optimization (computer program) is an optimal size of implant design. The stress analysis using FEA was done for both optimum implant and conventional implant to check the stress value and the location where it is shielded. Finally, the comparison of the stress shielding magnitude and their side-effects was done for both implants.

Based on the analysis, the optimization was achieved in reducing the stress shielding through optimal implant design. Almost 40% stress shielding was reduced using the optimal implant design. It resulted the better load transfer condition between bone and implant interface.

BAB I PENGENALAN

1.1 Hadangan Tegasan pada Femur Palsu

Pemasangan implan femur palsu pada tulang femur mendatangkan masalah baru selepas menyelesaikan masalah kerosakan kepala atau leher tulang femur. Masalah hadangan tegasan (*stress shielding*) ini timbul selepas beberapa lama digunakan (lingkungan 5 tahun). Gambarajah 1.1 menunjukkan lokasi pemasangan implan pada tulang femur manusia.



Gambarajah 1.1: Implan pada sistem tulang manusia. [59]

Apabila implan diperkenalkan, ia mengambil sebahagian beban (berat badan dan aktiviti yang dilakukan) yang seharusnya dipindahkan kepada tulang femur. Ini membuatkan berlaku hadangan/pengurangan tegasan di sesetengah kawasan tulang femur serta menyebabkan permodelan semula tulang femur berlaku. Hadangan tegasan merupakan satu fenomena penghalang yang dipercayai menjadi sebab utama kepada permodelan semula tulang (*bone remodeling*). Permodelan semula tulang menyebabkan wujud keliangan (*porous*) pada kawasan tulang femur dan akan melemahkannya.

Kegagalan mengatasi masalah hadangan tegasan akan menyebabkan muncul beberapa masalah sampingan yang lain. Masalah-masalah sampingan tersebut akan memberi kesan buruk pada tulang femur dan kemuncaknya penukaran implan baru diperlukan. Tulang femur yang rosak teruk akan gagal menjalankan fungsinya dengan baik dan memudaratkan badan.

1.2 Motivasi penyelidikan hadangan tegasan

Masalah hadangan tegasan menjadi antara perkara yang penting dalam bidang orthopedik sekarang. Penyelesaian masalah ini sedang giat diusahakan. Matlamat utama (*primary goal*) penyelesaian masalah hadangan tegasan ialah mendapatkan satu penyelesaian yang menyeluruh dan bersifat kekal dalam menghilangkan terus masalah hadangan tegasan ini. Matlamat tersebut menjadi motivasi dan pendorong kepada usaha penyelidikan yang berterusan. Namun sehingga kini, hadangan tegasan hanya dapat diminimumkan.

Berikutan penyelidikan yang kian berkembang, bidang bio-mekanik diperkenalkan bagi mendapatkan suatu implan yang ideal serta dapat menghilangkan hadangan tegasan. Bio-mekanik merupakan gabungan kejuruteraan mekanik dan biologi bagi menyelesaikan masalah-masalah teknikal di dalam bidang perubatan. Konsep kejuruteraan mekanikal yang kritis diketengahkan bagi mendapatkan bentuk dan bahan implan yang ideal dan diterima oleh sistem tubuh manusia. Banyak penyelidikan melibatkan bidang bio-mekanik telah dijalankan dalam usaha menyelesaikan masalah dan menambahbaikkan implan yang digunakan dalam bidang perubatan.

Ramai penyelidik sedang menumpukan usaha menyelesaikan masalah hadangan tegasan. Penyelidikan yang giat mereka jalankan meliputi pelbagai aspek yang kritikal melibatkan beberapa bidang yang berkaitan. Penyelidikan yang dijalankan ini bertujuan menyumbang satu penyelesaian bagi meminimumkan masalah hadangan tegasan. Ia juga

bagi memperkayakan lagi teknik penyelesaian hadangan tegasan yang sedia ada. Sumbangan penyelesaian hadangan tegasan menerusi penyelidikan ini dibuat dengan mengutarakan kaedah, konsep dan strategi yang telah diguna-pakai di dalam aplikasi yang lain dengan baik dan berkesan.

1.3 Kaedah penyelesaian masalah hadangan tegasan

Dalam penyelidikan ini, teori pengoptimuman akan digunakan untuk mengoptimumkan saiz implan. Kaedah Pengoptimuman Berbilang Kriteria digunakan sebagai kaedah asas untuk menjalankan proses pengoptimuman. Proses pengoptimuman dijalankan menerusi satu algoritma pengoptimuman yang ditulis. Pengaturcaraan komputer digunakan sebagai perkakasan (*tools*) untuk menjalankan proses pengoptimuman bagi mendapatkan parameter rekabentuk (saiz) implan yang optimum terhadap pengurangan tegasan. Perisian pengaturcaraan yang digunakan ialah FORTRAN.

Kaedah Analisis Unsur Terhingga (*Finite Element Analysis*) digunakan sebagai kaedah penyelesaian proses pengoptimuman. Hasil pengoptimuman dengan parameter rekabentuk terbaik akan membentuk rekabentuk implan optimum. Proses pengoptimuman yang dapat menghasilkan implan optimum yang mampu mengurangkan hadangan tegasan dikira berjaya. Analisis tegasan melalui analisis unsur terhingga dijalankan pada implan konvensional dan implan optimum yang dipasang pada tulang femur untuk mengetahui nilai tegasan yang terhadang. Nilai tegasan yang dihadang semasa implan digunakan dijadikan perbandingan bagi menentukan kejayaan proses pengurangan tegasan. Implan optimum seharusnya mempunyai nilai tegasan terhadang yang lebih rendah berbanding implan konvensional.

1.4 Organisasi tesis

Penulisan tesis ini secara umumnya terbahagi kepada 6 bab utama. Pembahagian bab dan sub-topik dibuat berdasarkan kepada kronologi penyelidikan. Bab pertama menerangkan secara ringkas masalah hadangan tegasan dan motivasi penyelidikan yang dijalankan. Kaedah dan strategi yang bakal digunakan bagi menyelesaikan masalah hadangan tegasan dijelaskan secara ringkas. Bab ini penting dalam memberi petunjuk awal tentang penyelidikan yang dijalankan. Penjelasan ringkas tentang kandungan tesis ini juga dinyatakan dalam bab pertama.

Tinjauan ilmiah penyelidikan ini dipersembahkan di dalam bab dua. Tinjauan ilmiah memberi gambaran yang lebih jelas mengenai pemasalahan hadangan tegasan yang timbul. Pendekatan awal hadangan tegasan berlaku, punca serta kesan-kesan hadangan tegasan juga diterangkan. Perkembangan penyelidikan, kaedah yang diguna-pakai serta dapatan penyelidikan terdahulu juga ditinjau dan dinilai bagi mengorak penyelidikan yang dijalankan ini agar secocok dengan kehendak dan keperluan semasa. Di akhir bab ini, objektif penyelidikan akan ditentukan setelah memahami keperluan dan ruang penyelidikan yang masih ada. Peranan penyelidikan ini agar dapat menyumbangkan dan memperkayakan penyelesaian dalam menjayakan matlamat utama menghilangkan hadangan tegasan.

Dalam bab tiga, penggunaan kaedah Pengoptimuman Berbilang Kriteria dibincangkan dengan lebih lanjut yang melibatkan konsep, teori dan algoritma pengoptimuman. Pendekatan yang komprehensif tentang bagaimana konsep tersebut bertindak serta menjurus kepada penyelesaian masalah hadangan tegasan juga dinyatakan. Pendekatan yang teliti kepada masalah yang hendak diselesaikan dibuat bagi memastikan kaedah pengoptimuman berbilang kriteria cukup sesuai digunakan serta memenuhi kehendak akhir penyelesaian masalah.

Perlaksanaan kaedah yang dipilih diterangkan secara lanjut dalam bab empat. Gerak kerja penyelidikan dinyatakan meliputi penentuan rangkap objektif, parameter pengoptimuman dan kekangan yang bertindak untuk proses pengoptimuman. Satu aturcara komputer (*computer program*) pengoptimuman ditulis menggunakan perisian FORTRAN untuk menjalankan proses pengoptimuman. Parameter rekabentuk baru (optimum) implan dikemukakan sebagai hasil proses pengoptimuman. Sebelum itu, pemodelan implan konvensional dan implan optimum dibuat menggunakan perisian I-DEAS. Analisis Unsur Terhingga (FEA) pada implan konvensional dan implan optimum dijalankan juga menggunakan perisian I-DEAS untuk mengetahui nilai tegasan pada kedua-dua implan apabila digunakan. Nilai tegasan yang terhadang pada kedua-dua implan tersebut digunakan untuk mengesahkan keputusan pengoptimuman.

Semua keputusan yang diperolehi daripada proses pengoptimuman dan analisis yang dijalankan dimuatkan di dalam bab lima. Model implan optimum turut dimuatkan. Keputusan analisis yang diperolehi dibuat perbandingan dengan keputusan serta dapat penyelidik terdahulu pada tinjauan ilmiah. Perbincangan secara terperinci mengenai hasil pengoptimuman dan analisis dibuat. Keberkesanan/keupayaan kaedah pengoptimuman untuk menyelesaikan masalah hadangan tegasan dibincangkan dengan terperinci.

Akhir sekali rumusan penyelidikan dibuat dalam bab enam. Kesimpulan kerja-kerja pengoptimuman dan hasilnya dinyatakan. Pada penghujung bab ini, dinyatakan cadangan pada masa hadapan bagi memberi ruang dan idea untuk penyelidikan seterusnya. Melalui cadangan masa depan, penyelidikan dapat dilanjutkan pada bidang/ruang yang belum sempat dibuat dalam penyelidikan ini dan dikembangkan pada aplikasi-aplikasi lain. Ini bagi menambahbaikkan rekabentuk implan yang telah dikemukakan dan yang berada dalam pasaran dalam memuaskan objektif utama menghilangkan terus hadangan tegasan.

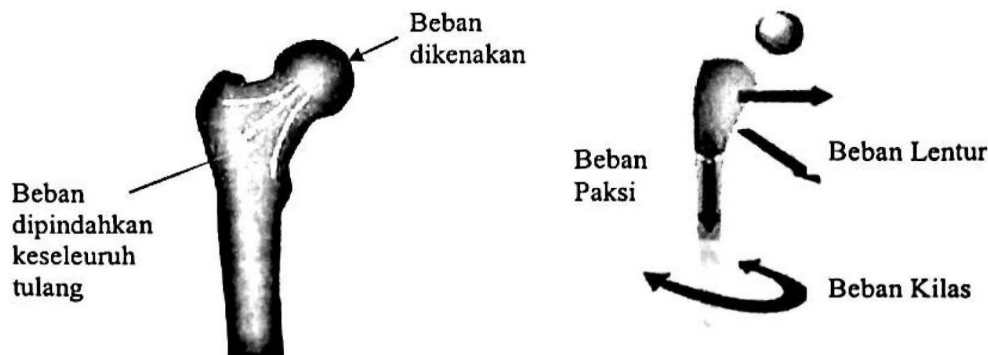
BAB II HADANGAN TEGASAN PADA IMPLAN

2.1 Hadangan tegasan: Suatu tinjauan

Penggunaan implan sebagai penyelesaian masalah kerosakan kepala dan leher tulang femur telah mendatangkan masalah lain. Hadangan tegasan merupakan masalah yang utama yang timbul berikutan penggunaan implan. Ia memerlukan perhatian serius agar dapat diselesaikan. Masalah ini menyumbang kepada kesakitan paha yang serius serta menjadi titik mula masalah longgar dan masalah-masalah sampingan yang lain.

2.1.1 Pendekatan awal hadangan tegasan

Implan secara asas mempunyai tiga jenis bebanan yang bertindak padanya iaitu beban paksi, beban lentur dan beban kilas (Gambarajah 2.1) semasa di dalam tulang femur.



Gambarajah 2.1: Beban yang bertindak pada tulang femur dan pada implan [63]

Beban paksi memindahkan beban secara menegak ke bawah dan kebanyakannya menyebabkan penyerapan (*resorption*) pada tulang. Beban kilas menyebabkan kilasan di sekitar paksi menegak pada tulang femur. Pemindahan beban kilas dengan baik penting untuk mengelakkan gerakan relatif memusat berlaku dan implan menjadi longgar. Beban

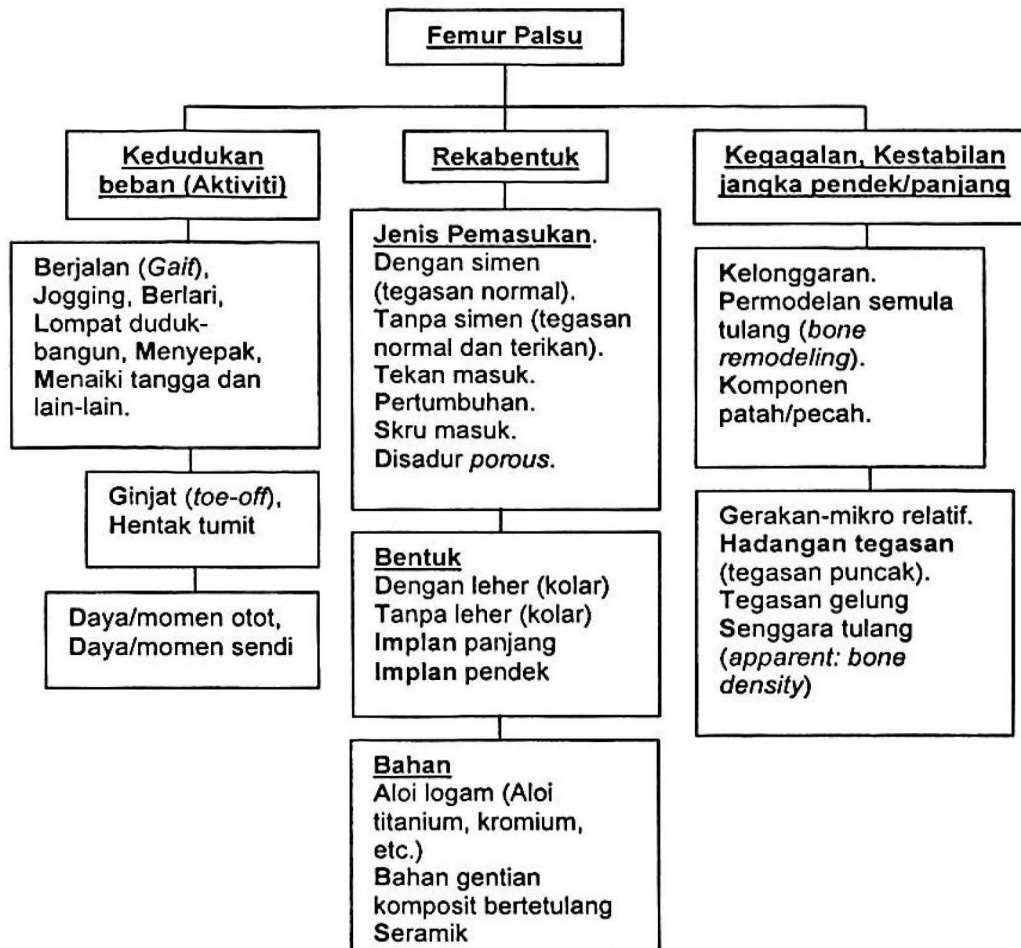
lentur memberikan daya lentur pada tulang dan mampu menyebabkan kegagalan (retak dan pecah) jika tidak dibendung. Rekabentuk implan yang baik perlu mengambil kira semua jenis beban.

Hasil daripada bebanan yang dikenakan pada implan, wujud 3 jenis tegasan yang bertindak pada implan dan tulang femur. Tegasan-tegasan tersebut ialah tegasan lentur, tegasan mampatan/terus dan tegasan kilas. Tegasan lentur cuba melenturkan implan, contohnya semasa berdiri (normal) dan berjalan. Ujian makmal menunjukkan bahawa simen pada Implan Bersimen membantu mengagihkan tegasan lentur ke kawasan sekeliling tulang. Tegasan mampatan/terus bertindak terus kepada tulang berkadar dengan magnitud beban. Tegasan ini yang selalunya tinggi dan yang utama dihadap. Tegasan kilas pula cuba memutar tangkai implan, contohnya menaiki tangga atau kerusi. Banyak implan mempunyai tangkai berleher tirus (*proximal taper*) bagi meningkatkan tegasan secara longitud pada tulang. Tangkai tersebut penting dalam pemindahan beban dan mengelakkan berlaku tegasan lentur dan tegasan kilas.

Dalam keadaan normal (tanpa implan), semua bebanan yang dikenakan pada kepala tulang femur dipindahkan terus kepada keseluruhan tulang femur. Namun apabila implan diperkenalkan, ia menahan sebahagian beban daripada dipindah dan diagihkan pada tulang. Inilah merupakan masalah hadangan tegasan.

Tulang femur secara semulajadi bertindak balas terhadap tegasan fizikal yang dikenakan padanya dalam kadar yang perlahan. Menurut J.Wolff, tulang akan merubah bentuknya sebagai tindakbalas terhadap tegasan yang bertindak padanya. Hukum Wolff menerangkan: *Tulang akan memodelkan diri sebagai tindak balas terhadap tegasan mekanikal yang dirasakan dan akan membuatnya membentuk suatu struktur anatomi terbaik untuk menahan tegasan yang dikenakan padanya.*[17]

Hadangan tegasan dipercayai berlaku berikutan masalah rekabentuk, sifat bahan dan sifat ikatan antara-muka tulang-implan. Kenyataan ini disokong oleh tinjauan yang dibuat oleh Jeong [61] (gambarajah 2.2).



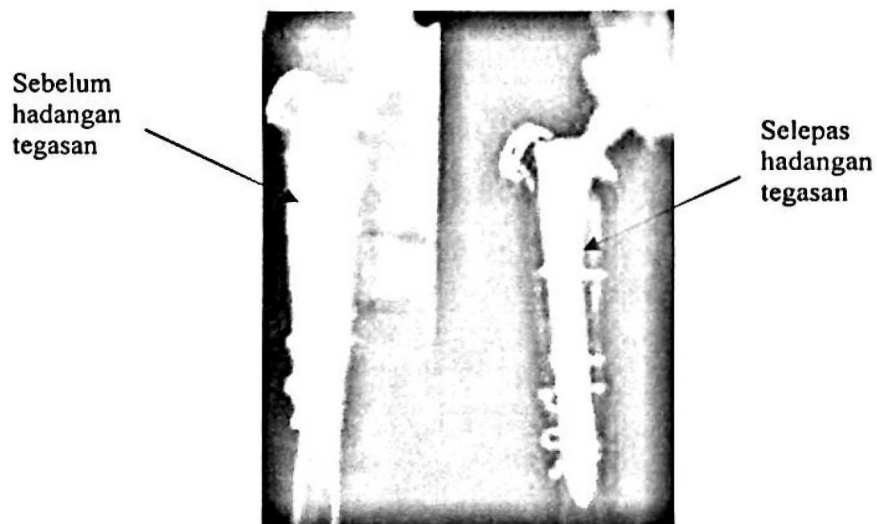
Gambarajah 2.2: Tinjauan penyelidikan implan oleh Jeong [61]

Jeong telah mengkategorikan penyelidikan implan kepada 3 komponen utama. Rekabentuk berperanan penting membentuk implan serta mempengaruhi pemindahan beban. Aspek-aspek yang menjadi isu dalam rekabentuk ialah bentuk, bahan dan jenis penusukkan implan. Kedudukan sistem beban juga penting untuk diambil kira. Ini membolehkan implan memenuhi kehendak semulajadi kerangka dan kestabilan tubuh.

Kesukaran mendapatkan bahan implan yang mempunyai kesesuaian sifat kekakuan dan keserasian biologi (*bio-compatibility*) merupakan satu cabaran pada masa kini.

Tulang teransang secara terus pada tegasan fizikal yang diterima. Jika dibebankan secara berlebihan ia akan patah dan jika berkurangan akan berlaku proses lisis. Hadangan tegasan akan memberikan kesan negatif pada jangka masa panjang berikutan sel tulang yang semakin mengurai dan tulang menjadi pendek relatif kepada implan termasuk dalam tulang dan pemodelan semula tulang.

Susulan masalah hadangan tegasan, tulang menjadi lebih berliang (*porous*), berlaku pengurangan jisim dan isipadu berpunca daripada penyusutan kalsium. Tulang femur yang normal memerlukan kalsium yang cukup bagi mengekalkan kesihatan, kekuatan dan kestabilan bentuknya. Penyusutan kalsium memakan masa yang lama. Fenomena penyusutan kalsium yang menggambarkan keadaan tulang femur bila berlaku hadangan tegasan dapat dikesan menggunakan sinar-X. Gambarajah 2.3 dan memaparkan keadaan sebelum hadangan tegasan (sebelah kiri) dan selepas terjadi hadangan tegasan (sebelah kanan) [63]. Tulang semakin mengecil dan akhirnya menjadi lemah. Hadangan tegasan yang serius akan menyebabkan kegagalan pada tulang femur.



Gambarajah 2.3: Keadaan Hadangan Tegasan.

2.1.2 Kesan sampingan masalah hadangan tegasan

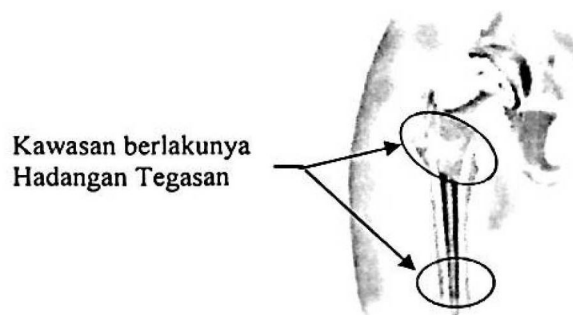
Hadangan tegasan membuatkan tulang menjadi *porous* serta berlaku lisis (*resorption*) merujuk kepada kekurangan tegasan. Masalah longgar dihubungkan dengan hadangan tegasan menurut Lewis [22]. Masalah longgar berlaku berasaskan gerakan mikro relatif implan dan akhirnya menjadi gerakan makro. Keliangan (*porous*) pada tulang menyebabkan struktur tulang menjadi lemah dan membenarkan gerakan mikro implan, apabila dikenakan beban pada tempoh yang lama. Gerakan makro yang serius menyebabkan masalah longgar bermula dan memberi tekanan tinggi pada sekitar lubang tulang femur. Kegagalan (retak dan pecah) berlaku berdasarkan tekanan/tegasan tinggi secara mendadak dalam keadaan fizikal hujung tulang yang lemah. Tekanan yang melampau juga membolehkan kemungkinan implan termasuk ke dalam tulang femur dan membuatkan kaki yang terlibat menjadi pendek. Masalah longgar dapat dikesan menggunakan sinar-X dengan melihat perbezaan garisan kecerunan pada tulang di sekitar tangkai implan. Pada masa sekarang, wujud Sinar-X *Stereofotogrammetry* yang mampu mengukur perubahan posisi implan relatif kepada tulang. Hadangan tegasan kebanyakan berlaku pada Implan Tidak-Bersimen.

Pemindahan beban mewujudkan daya dan tegasan ricih merentasi permukaan antara-muka tulang dan badan implan. Masalah pemindahan beban dipengaruhi oleh sifat kekakuan bahan implan. Semakin kaku implan, akan kurang/susah beban dipindahkan dan lebih besar tegasan yang dihadapi. Jika sifat kekakuan dikurangkan ke tahap minimum, beban mudah dipindahkan, mengurangkan hadangan tegasan tetapi meningkatkan risiko kegagalan simen (Implan Bersimen) kerana tegasan tinggi pada permukaan antara-muka. Kegagalan cengkaman tulang pada badan implan pula berlaku pada Implan Tidak-Bersimen. Nilai sifat kekakuan bahan implan menjadi cabaran pada masa sekarang. Nilai tersebut mestilah selari dengan sifat tulang bagi memenuhi keperluan pemindahan beban dan tegasan.

Penggunaan implan pada tulang femur telah menyebabkan lebih daripada 78 % kehilangan ketumpatan mineral tulang. Kenyataan ini berdasarkan tinjauan yang telah dibuat pada 14 mayat menggunakan Implan semasa hayatnya. Pemantauan dibuat selama 12 ke 93 bulan [63]. Hasil pemantauan menunjukkan hadangan tegasan adalah progresif terhadap masa. Kehilangan ketumpatan mineral tulang berpunca daripada penyusutan kalsium kerana hadangan tegasan. Ini mengesahkan peranan kalsium dalam menyebabkan hadangan tegasan berlaku.

2.1.3 Lokasi hadangan tegasan

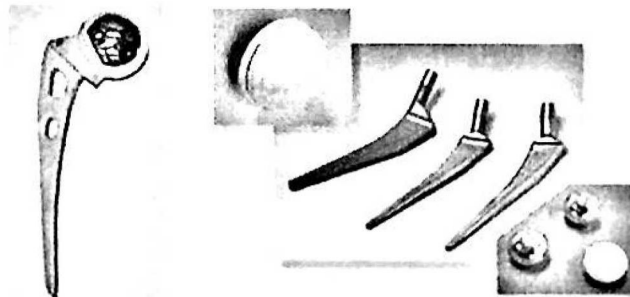
Hadangan tegasan belum dapat dihilangkan terus sehingga kini, namun hanya dapat diminimumkan, bergantung kepada keadaan fizikal dan bahan implan. Nilai tegasan adalah abstrak, bergantung kepada keadaan tulang dan jenis implan. Nilai terbaik menghampiri sifar, bermaksud sangat sedikit tegasan dihadang dan dapat diabaikan. Gambarajah 2.4 menunjukkan kawasan hadangan tegasan yang dipercayai berlaku pada tulang.



Gambarajah 2.4: Kawasan yang berlaku Hadangan Tegasan pada tulang femur [57]

2.2 Implan

Femur Palsu (*Artificial Hip Prosthesis*) merupakan implan yang digunakan untuk menggantikan kepala/leher tulang femur yang bermasalah. Ia membantu pesakit menjalani kehidupan seperti biasa dalam tempoh masa yang tertentu, bergantung kepada umur pesakit, jenis implan dan kepakaran pemasangan implan. Gambarajah 1.1 mempamerkan komponen-komponen implan. Soket palsu diperbuat daripada UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight PolyEthylene*), logam atau seramik, manakala bahan kepala implan ialah logam atau seramik dan berbentuk bebola. Badan implan diperbuat daripada logam aloi seperti Aloi titanium dan Kobalt-Krom. Otot di sekeliling tulang femur bertindak sebagai daya aktif untuk memegang sendi buatan bersama implan. Rekabentuk dan spesifikasi implan adalah pelbagai, bergantung kepada kesesuaian pesakit. Pemasangan femur palsu pada tulang femur ditunjukkan pada gambarajah 2.4. Contoh antara implan yang digunakan oleh para pesakit dipamerkan pada gambarajah 2.5.

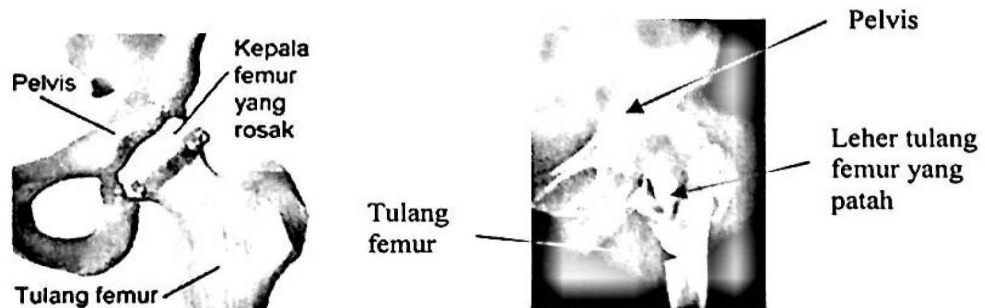


Gambarajah 2.5: Contoh-contoh implan. [59], [62]

2.2.1 Implan sebagai penyelesaian masalah tulang femur

Kepala atau leher tulang femur rosak merupakan masalah yang serius, terutamanya pada warga emas. Masalah tersebut berpunca daripada penyakit atau kemalangan. Antara penyakit sering menjangkiti tulang femur ialah Radang Sendi (*arthritis, osteoarthritis, dan rheumatoid arthritis*), Lisis Tulang (*osteolysis*), dan Pengurangan Berat Tulang (*osteoporosis*). Gambarajah 2.6 menunjukkan tulang femur

yang bermasalah. Tulang femur yang bermasalah (retak atau patah) memerlukan pemasangan implan sebagai kaedah rawatan yang efektif dan berkesan. Kehadiran implan yang baik mampu memberikan keadaan hujung (kepala dan leher) tulang femur sama seperti keadaan asal.



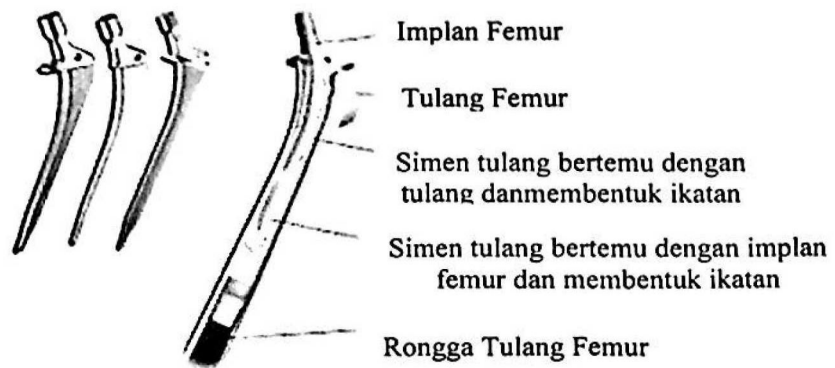
Gambarajah 2.6: Antara masalah-masalah tulang femur [56]

Terdapat 2 situasi kewujudan implan pada sistem tulang femur; samada ia bergabung dengan sendi palsu/buatan sebagai Penggantian Implan Sepenuhnya (THA) atau ia bergabung dengan sendi lesung asal sebagai Penggantian Femur Sebahagian (HP). Secara umumnya terdapat dua jenis implan yang digunakan, merangkumi pelbagai rekabentuk dan saiz yang berbeza. Pengelasan implan adalah berdasarkan kepada teknik/cara lekatan implan pada tulang femur.

2.2.2 Jenis-jenis implan

Implan Bersimen (*Cemented Hip Prosthesis*): Simen merupakan medium lekatan implan. Antara simen yang digunakan ialah *Calcium Phosphate* dan PMMA. Gambarajah 2.7 menunjukkan contoh Implan Bersimen.

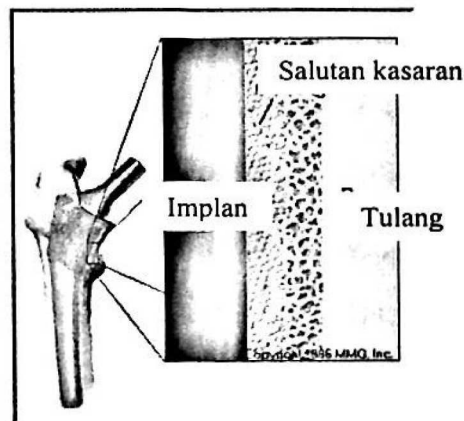
Implan Tidak-Bersimen (*Cementless Hip Prosthesis*): Permukaan kasar adalah turapan jaringan halus Aloi titanium dan pensinteran bebola halus Aloi titanium (gambarajah 2.9). Pertumbuhan tulang pada celahan kasaran berlaku bagi mencengkam serta memegang badan implan. Gambarajah 2.8 menunjukkan Implan Tidak-Bersimen.



Gambarajah 2.7: Implan Bersimen [58]



Gambarajah 2.8: Implan Tak-Bersimen [58]



Gambarajah 2.9: Keadaan lekatan implan pada tulang [53]

Implan Bermodul (*modular hip prosthesis*) juga ditampilkan sebagai suatu penyelesaian. Ia menawarkan komponen implan secara berasingan mengikut keperluan dan kesesuaian tulang. Ini membenarkan doktor memilih komponen implan yang sesuai

dengan keadaan tulang dan pesakit. Pemilihan implan yang sesuai dengan tulang dapat meningkatkan jangka hayat kebolegunaan implan serta mengurangkan hadangan tegasan yang berlaku.

2.2.3 Masalah-masalah lain pada implan

Campuran komposisi simen tidak seimbang merupakan masalah yang sering dihadapi oleh Implan Bersimen. Masalah tersebut mempengaruhi kekuatan simen. Tempoh simen membeku yang tidak menentu, perubahan posisi implan sebelum simen membeku, risiko lapisan simen retak dan gagal (setelah lama digunakan) serta risiko kejatuhan tekanan darah dan kegagalan jantung semasa mensimen juga merupakan beberapa masalah Implan Bersimen. Masalah-masalah tersebut menyebabkan implan gagal berfungsi dalam jangka masa yang lama sebagai penyelesaian masalah pada tulang femur.

Risiko kebocoran bendalir sum-sum tulang (semasa proses pemasukkan) serta kesakitan paha berterusan (hampir 1 tahun) merupakan masalah pada Implan Tidak-Bersimen. Risiko kepatahan tulang mungkin berlaku, sewaktu doktor menekan implan terlalu kuat ke dalam tulang yang berongga kecil dan nipis. Antara masalah lain yang timbul berikutan penggunaan implan ialah pemodelan semula tulang, tulang pecah/patah dan pengelenggaraan implan selepas pemasangan. Kebanyakan masalah-masalah tersebut memerlukan masa beberapa tahun untuk menjadi ketara dan memerlukan pemerhatian.

Tempoh penggunaan implan merupakan antara aspek penting, bergantung kepada aktiviti pesakit, rekabentuk implan dan kepakaran pemasangan implan. Implan mestilah memenuhi kriteria rekabentuk, sifat bahan dan proses pembuatan untuk meningkatkan kebolegunaan (*reliability*) dan jangka hayatnya. Penyelidikan yang berterusan

menambahbaikan rekabentuk dan keupayaan implan yang sedia ada bagi menghilangkan terus hadangan tegasan.

2.2.4 Rekabentuk implan mempengaruhi hadangan tegasan

Rekabentuk merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hadangan tegasan [17], [26], [63]. Rekabentuk tangkai terbaik diperlukan bagi mencapai kestabilan asas dan tegap. Magnitud tegasan mampatan yang bertindak pada tulang bergantung kepada bentuk implan. Sesetengah implan mencapai kestabilan dengan mempunyai tangkai berbentuk silinder bersalut permukaan berliang penuh yang dipadan-ketat. Kebanyakan rekabentuk tangkai implan memfokuskan kepada kestabilan asas beserta ciri rekabentuk *proximal* seperti bentuk tirus baji berganda dan relang. Rekabentuk seperti fin serta lilitan salutan berliang hampiran diperkenalkan bagi meningkatkan kestabilan bagi sesetengah implan.

William telah menjalankan penyelidikan mengenai rekabentuk implan dengan berbentuk tirus yang diperbuat daripada bahan Aloi titanium-Vanadium (sifat kekakuan rendah) [63]. Implan tersebut menggunakan konsep baji bagi memudahkan pemindahan beban pada tulang berlaku. Keputusan penyelidikan yang diperolehi ialah tiada lisis (*resorption*) tulang merujuk kepada tegasan dihadangan. Ini membuktikan kemampuan konsep baji dalam memindahkan beban dengan baik. Dalam hal yang sama, AML[™] (DePuy, Inc.) telah mengemukakan implan bertangkai silinder berliang penuh bagi mengurangkan hadangan tegasan [63]. Tangkai silinder tersebut berjaya mengurangkan hadangan tegasan, namun lebih rendah berbanding tangkai tirus baji.

Satu ujian klinikal telah dijalankan untuk melihat kesan diameter tangkai implan terhadap hadangan tegasan [63]. Tangkai berdiameter 13.50 mm dijadikan sebagai rujukan. Keputusan ujian menunjukkan tangkai berdiameter besar (≥ 13.00 mm) dan berpermukaan salutan berliang penuh akan menyebabkan kadar lisis berlaku pada tulang

lebih tinggi berbanding tangkai kecil bersalutan berliang. Kesimpulan yang dibuat berdasarkan ujian tersebut ialah, pada suatu tangkai yang diberikan saiz dan nilai kekakuan (lapisan tulang nipis dan ketumpatan tulang rendah), adalah mudah berlaku hadangan tegasan dan lisis tulang. Hadangan tegasan ketara berlaku apabila pembedahan pembedahan susulan dibuat, iaitu apabila tangkai implan berdiameter besar ditanam pada tulang femur yang berdinding nipis.

Kepentingan rekabentuk dalam mempengaruhi hadangan tegasan membuatkan Michael dan rakan-rakan [24] membuat kajian mengenai rekabentuk berasaskan tegasan bagi meminimumkan hadangan tegasan. Olahan parameter rekabentuk telah dibuat bagi mendapatkan parameter yang memenuhi keperluan tegasan. Satu rekabentuk implan optimum dikemukakan di akhir penyelidikannya. Model unsur terhingga terperinci (*detail FEM*) diguna untuk melihat kesan tegasan yang berlaku. Hasilnya; pada sebahagian kawasan tulang, rekabentuk implan optimum memberikan sedikit atau tiada langsung hadangan tegasan. Ini menunjukkan bahawa rekabentuk merupakan antara faktor penting dalam meminimum dan seterusnya menghilangkan hadangan tegasan.

Rekabentuk tangkai implan geronggang (*hollow stem*) telah membuka dimensi baru rekabentuk implan. Implan geronggang berpotensi untuk mengurangkan hadangan tegasan. Namun begitu, penyelidikan implan jenis ini masih di peringkat awal dan memerlukan kajian lanjut. Boby [5] serta Schmidt dan Hackenbroch [34] melihat kesan tangkai implan geronggang dengan dinding selari pada tulang femur. Tangkai implan tersebut mampu meminimumkan tegasan pada tulang melalui sifat kekakuan bahan yang lebih rendah. Engelhardt dan Saha [11] serta Viceconti dan rakan-rakan [50] telah melanjutkan idea tangkai implan geronggang dengan memperkenalkan pula geronggang melintang bagi mengurangkan sifat kekakuan. Täger [48] menggunakan geronggang melintang untuk menggalakkan pertumbuhan kerongga (*sponge*) dalam tulang. Kerongga yang banyak membantu pemindahan beban berlangsung dengan baik melalui proses

cengkaman tulang pada tangkai implan. Cengkaman maksimum menyediakan sentuhan permukaan antara-muka implan-tulang yang maksimum sekaligus memaksimumkan pemindahan beban berlangsung.

Analisis bentuk tangkai implan dijalankan dalam usaha memahami mekanisma pemindahan beban. Crowninshield dan rakan-rakan [9] telah mendapati peningkatan luas keratan rentas tangkai implan telah menurunkan nilai tegasan tangkai dan simen implan. Katoozian dan Davy [19] , Huiskes dan Boeklagen [17], Yoon dan rakan-rakan [51] dan Hedia dan rakan-rakan [16] pula menggunakan model yang dioptimum secara teori bagi mendapatkan bentuk luaran tangkai implan yang terbaik secara keseluruhan. Semua pencapaian mereka menunjukkan bentuk akhir yang hampir sama. Mereka juga telah menyelidik kesan rekabentuk tangkai implan terhadap tegasan (tulang dan simen). Kesimpulannya, rekabentuk tangkai implan mestilah optimum (maksimum) terhadap ruang antara-muka tulang dan implan bagi mendapatkan pemindahan antara-muka yang maksimum dan terbaik.

Model implan yang dipermudahkan (*simplified*) menyediakan geometri awal (*platform*) yang baik bagi teknik pengoptimuman. Kuiper [21] telah mengaplikasi kaedah pengoptimuman untuk memilih modulus elastik terbaik implan. Beliau mempersembahkan skim pengoptimuman rekabentuk berangka (*finite design optimization scheme*) bersama ungkapan matematik bagi menerangkan rangkap objektif rekabentuk. Pengoptimuman rekabentuk pada implan 2-dimensi dijalankan dan seterusnya pada 3-dimensi bagi menjelaskan dan memudahkan proses pengoptimuman. FEA digunakan untuk menganalisis dan mengesahkan penyelidikannya. Kuiper telah melakarkan asas kerja yang diperlukan untuk merekabentuk dan mengoptimumkan implan melalui penyelidikannya.

Selain daripada rekabentuk, terdapat beberapa lagi faktor yang menyebabkan hadangan tegasan berlaku. Faktor-faktor tersebut ialah sifat ikatan permukaan antara-

muka serta pemindahan beban. Bahan implan juga merupakan faktor yang mempengaruhi hadangan tegasan. Penekanan diberikan pada bahan yang mempunyai modulus elastik dan sifat kekakuan yang hampir sama dengan tulang dan tidak menimbulkan kesan sampingan (*bio-compatibility*). Penelitian faktor-faktor tersebut membolehkan hadangan tegasan diminimumkan serta kesan sampingan dielakkan

Berdasarkan tinjauan yang telah dilakukan, dalam menangani masalah hadangan tegasan, kaedah pengoptimuman sesuai digunakan. Proses pengoptimuman akan dijalankan pada struktur badan implan bagi mendapatkan rekabentuk implan yang optimum terhadap pengurangan hadangan tegasan.

2.3 Objektif Penyelidikan

Hadangan tegasan merupakan masalah global yang belum lagi dapat diselesaikan sepenuhnya sehingga kini. Matlamat utama penyelidikan ini dijalankan ialah untuk menyelesaikan masalah hadangan tegasan. Penyelidikan ini adalah sebahagian daripada usaha menghilangkan terus hadangan tegasan dan ia merupakan satu cabaran pada masa sekarang. Bagi merealisasikan matlamat utama, 4 objektif telah ditetapkan di dalam penyelidikan ini:

1. Untuk mendapatkan implan rujukan sebagai asas kepada proses pengurangan hadangan tegasan. Implan konvensional yang sering diguna-pakai dipilih sebagai implan rujukan.

2. Untuk mengetahui nilai sebenar hadangan tegasan pada implan rujukan. Analisis tegasan dijalankan pada implan bagi mengetahui magnitud dan lokasi sebenar hadangan tegasan pada implan. Berdasarkan magnitud dan lokasi tegasan terhadang pada implan rujukan, satu kaedah penyelesaian dirangka bagi menyahkan atau meminimumkan hadangan tegasan.

3. Untuk mendapatkan rekabentuk implan optimum, kaedah pengoptimuman saiz akan digunakan. Kaedah pengoptimuman berbilang kriteria dipilih sebagai kaedah penyelesaian bagi mendapatkan rekabentuk implan yang optimum. Implan yang optimum mempunyai bentuk terbaik (parameter rekabentuk yang optimum) yang dapat mengurangkan hadangan tegasan pada tahap yang paling minimum.

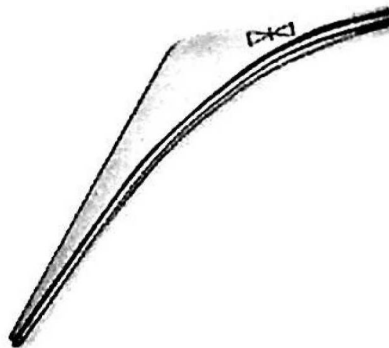
4. Untuk mengesahkan kerja-kerja pengoptimuman dan pengurangan hadangan tegasan yang telah dijalankan.

Perkembangan teknik penyelesaian hadangan tegasan memampukan tegasan yang terhadang dihilangkan terus pada implan yang digunakan. Penyelidikan ini menyumbang dan memperkayakan kaedah penyelesaian bagi menyelesaikan masalah hadangan tegasan. Penyelidikan ini juga diharap dapat memberi faedah kepada masyarakat Malaysia khususnya dan masyarakat dunia amnya.

BAB III ANALISIS IMPLAN RUJUKAN

3.1 Pemilihan implan rujukan untuk penyelidikan

Implan rujukan dipilih berdasarkan kepada implan konvensional yang terdapat di dalam pasaran sekarang serta telah dipasang pada pesakit oleh pihak Hospital Universiti, Universiti Sains Malaysia. Gambarajah 3.1 menunjukkan implan konvensional yang diguna. Pemilihan implan konvensional ini dibuat setelah terbukti implan tersebut dapat digunakan, walaupun ia masih lagi mempunyai masalah hadangan tegasan.

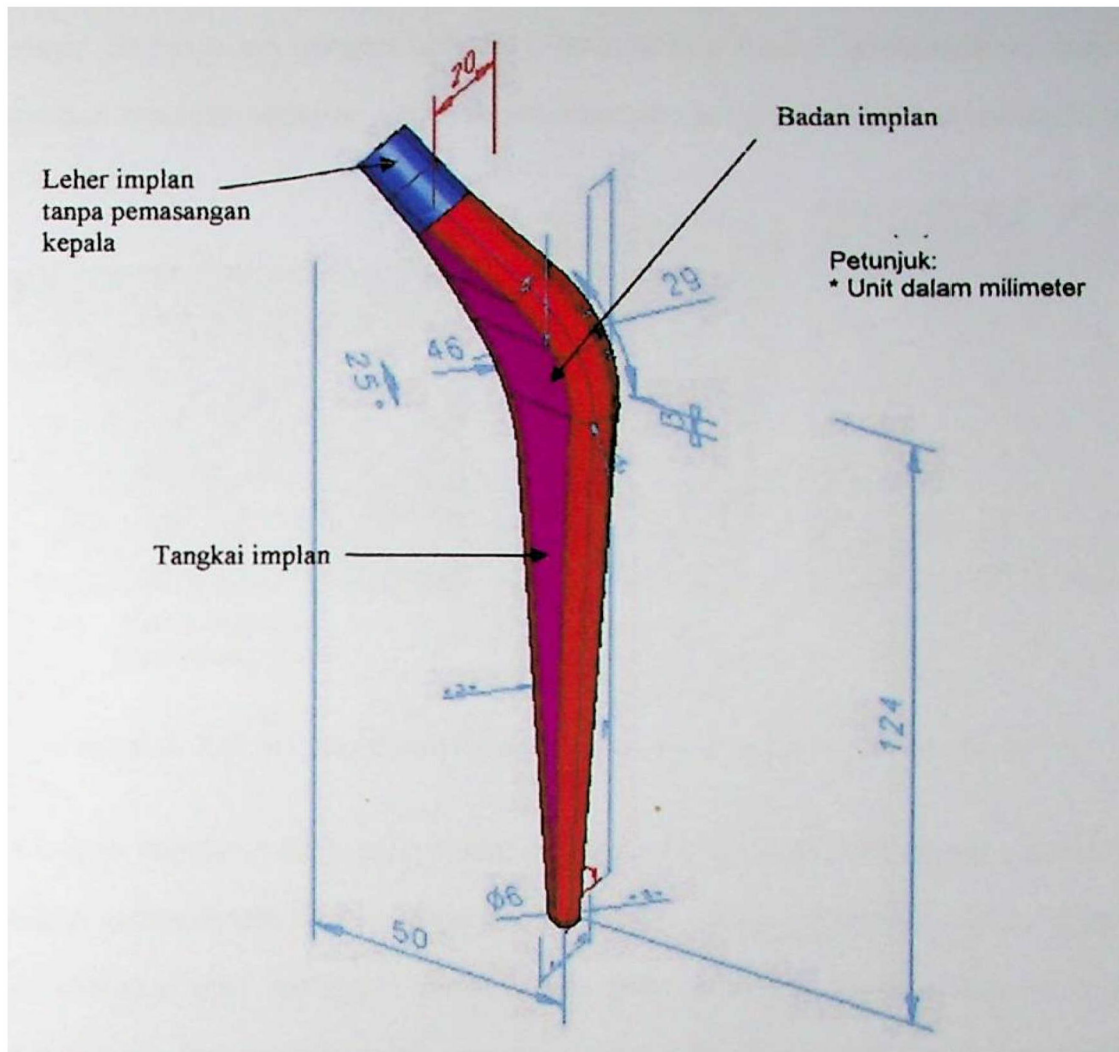


Gambarajah 3.1: Implan konvensional

3.1.1 Pemodelan implan rujukan

Implan rujukan yang dimodelkan sama seperti implan yang telah digunakan oleh pihak Hospital Universiti Sains Malaysia. Namun begitu, implan tersebut dipermudahkan bagi memudahkan proses analisis dijalankan.

Pemodelan implan meliputi bahagian badan, tangkai dan leher kecuali kepala. Kepala implan rujukan merupakan komponen lain dan dipasang bersama sewaktu pembedahan pemasangan implan dijalankan serta tidak terlibat dalam analisis. Pengecualian penggunaan kepala implan dapat dibuat dengan memindahkan beban pada kepala implant kepada bahagian leher. Gambarajah 3.2 menunjukkan model implan rujukan yang telah dimodelkan.



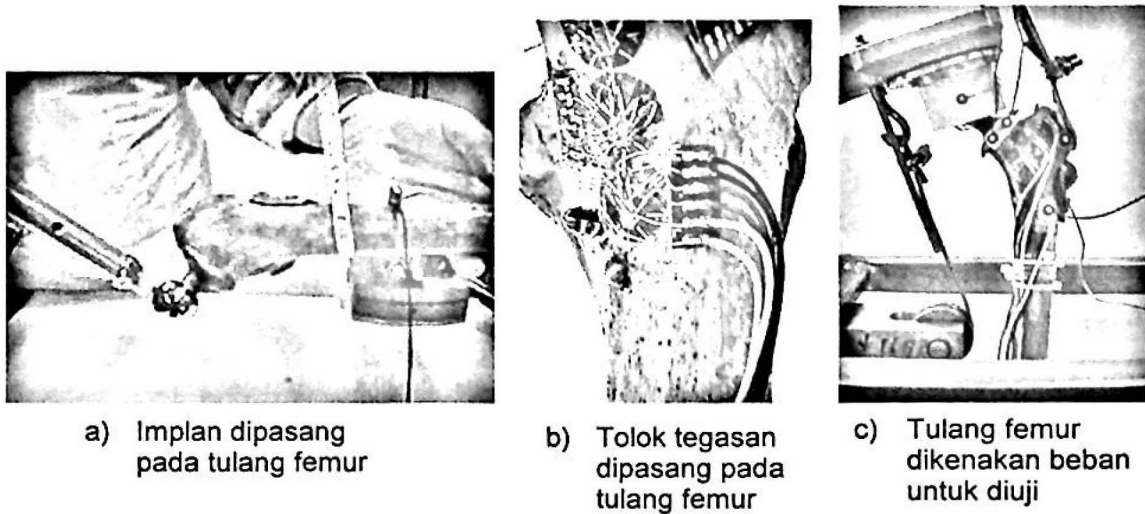
Gambarajah 3.2: Model grafik 3-D implan rujukan

3.2 Analisis tegasan pada implan

Nilai tegasan boleh diperolehi samada menerusi kaedah analisis/sintesis menggunakan perisian komputer, kaedah analitikal atau menerusi kaedah amali. Gambarajah 3.3 menunjukkan amali yang dijalankan bagi mengetahui nilai tegasan yang bertindak pada tulang femur.

Simulasi menerusi perisian komputer lebih praktikal kerana tidak melibatkan spesimen sebenar, peralatan teknikal dan radas pengujian. Situasi sebenar (*real condition*) mesti diwujudkan pada perisian komputer semasa analisis dijalankan bagi membolehkan

“amali maya” berlangsung dengan baik. Ini membolehkan hasil analisis/sintesis mematuhi keperluan dan keadaan sebenar, sama seperti keadaan yang sebenar hasil daripada amali.



Gambarajah 3.3: Kaedah amali untuk menentukan tegasan pada implan [59]

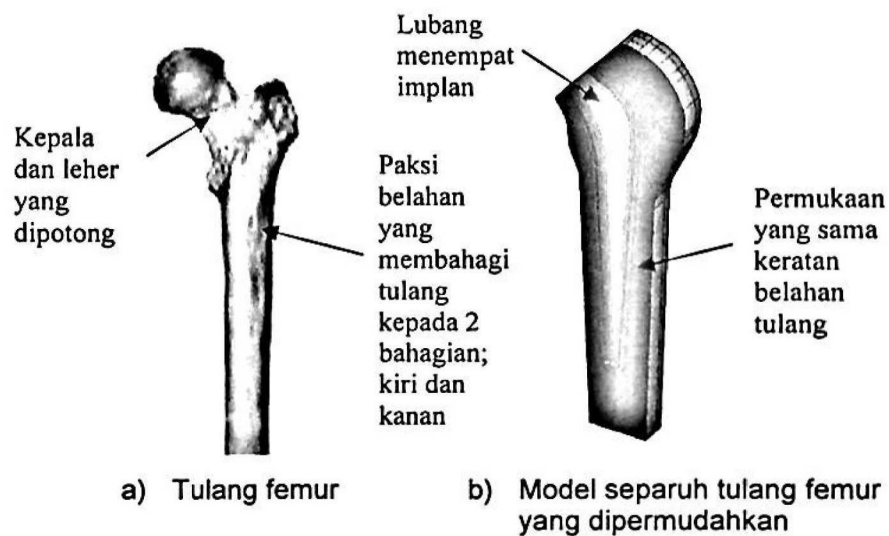
Perisian komputer lebih anjal dalam menjalankan analisis/sintesis pengesahan dan ujian. Dalam penyelidikan ini, nilai tegasan terhadap pada implan dan tulang diperolehi menerusi simulasi FEA menerusi perisian komputer I-DEAS. Selain perisian I-DEAS, terdapat beberapa lagi perisian lain yang digunakan untuk tujuan analisis seperti ANSYS dan ABAQUS.

Analisis tegasan dijalankan pada implan dalam keadaan statik. Implan yang dipasang pada tulang femur dijalankan analisis secara statik tetapi dengan memasukkan syarat sempadan dan sistem bebanan ketika menjalankan aktiviti. Penyelidikan lanjut mengenai sistem bebanan pada keadaan menjalankan aktiviti dilakukan. Keadaan ini akan memberikan penyelesaian yang menjurus kepada masalah pada keadaan sebenar. Analisis dinamik sukar dijalankan dan tidak dijalankan di dalam penyelidikan ini. Walau bagaimanapun ia akan dipertimbangkan untuk dijalankan pada masa akan datang bagi memantapkan lagi penyelesaian yang diperolehi menerusi analisis statik.

3.2.1 Pemodelan tulang femur

Tulang femur asal mempunyai rupabentuk yang tidak sekata (gambarajah 3.4), bergantung kepada bangsa, umur dan jantina. Pemodelan pada tulang femur asal adalah penting dan rumit serta dapat dijalankan dengan penggunaan teknologi terkini. Model tulang femur amat penting dan diperlukan untuk digandingkan bersama implan di dalam analisis tegasan. Kehadiran model tulang femur yang baik akan memberikan nilai penyelesaian yang menghampiri nilai semulajadi/asal dan munasabah.

Sebagai penyelesaian kepada kesukaran pemodelan, rupabentuk tulang femur asal dipermudahkan bagi mendapatkan satu model tulang femur yang hampir sama bentuknya. Sifat mekanikal bahan pada tulang femur asal dikekalkan pada model tulang femur bagi mendapatkan penyelesaian yang sama seperti keadaan asal menggunakan tulang femur sebenar.



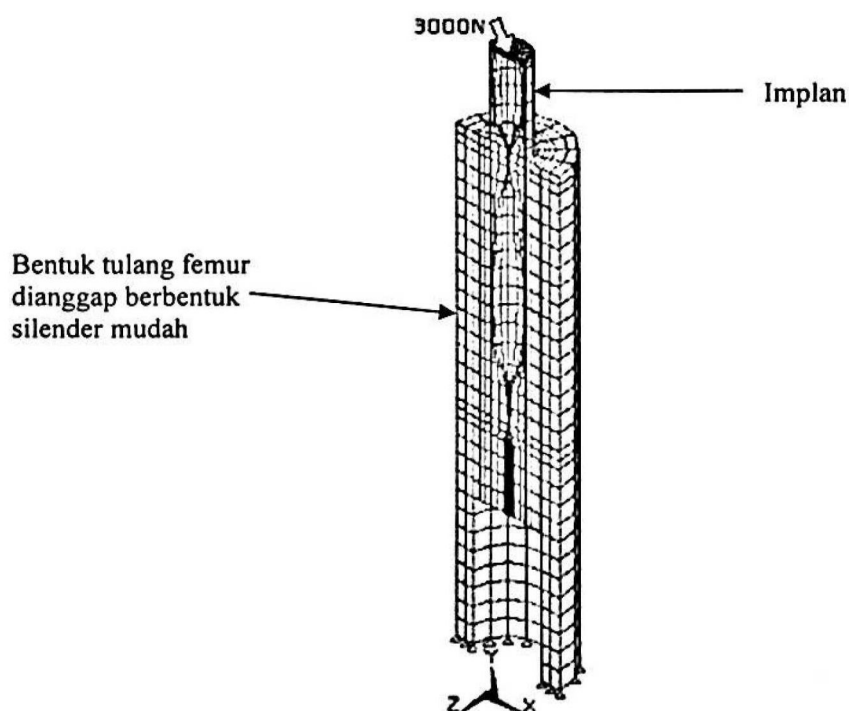
Gambarajah 3.4: Tulang femur dan model separuh tulang femur yang dipermudahkan

Tulang femur yang dimodelkan mempunyai bentuk keratan belahan yang sama seperti bentuk keratan belahan tulang femur asal (gambarajah 3.4). Kedudukan implan pada model tulang femur juga dibuatkan sama seperti keadaan asal implan pada tulang femur asal. Bentuk silinder badan tulang femur asal yang tidak sekata dipermudahkan

dengan memberikan ketebalan yang melebihi diameter asal silinder tulang femur. Gambarajah 3.4 memberikan model tulang femur yang dipermudahkan. Anggapan ini dibuat kerana tumpuan penyelidikan adalah pada tegasan antara-muka tulang femur dan implan. Diameter model tulang femur yang dipermudahkan sudah cukup dan melebihi diameter tulang femur asal.

Tulang femur juga dimodelkan separuh kerana mempunyai bentuk yang simetri. Pemodelan separuh tulang femur adalah untuk memudahkan analisis dijalankan serta mengurangkan masa pemrosesan analisis.

Andaian terhadap geometri model tulang femur untuk tujuan analisis dibuat berdasarkan kepada penyelidikan penyelidik terdahulu. Gross dan Abel [15] telah mempermudah bentuk tulang femur kepada bentuk silinder kosong yang memegang rod (implan). Andaian mereka dibuat kerana tumpuan penyelidikan adalah pada antara-muka tulang femur dan implan. Gambarajah 3.5 menunjukkan anggapan mengenai bentuk tulang dan implan yang dibuat oleh Gross dan Abel.



Gambarajah 3.5: Anggapan bentuk tulang dan implan oleh penyelidik terdahulu [15]