

**ANALISA PEMASANGAN *HYBRID PLATING* PENDERITA FRAKTUR  
FEMUR DENGAN VARIASI *BONE SCREW* JENIS *LOCKING* DAN *NON  
LOCKING***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONSTRUKSI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :  
**TITA INDRAWATI**  
NIM. 0910620096 – 62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### ANALISA PEMASANGAN *HYBRID PLATING* PENDERITA FRAKTUR *FEMUR* DENGAN VARIASI *BONE SCREW* JENIS *LOCKING* DAN *NON LOCKING*

#### SKRIPSI KONSENTRASI KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**TITA INDRAWATI**  
NIM. 0910620096-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**DOSEN PEMBIMBING I**

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.  
NIP. 19720817 200003 1 001

Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., MEng.  
NIP. 19710310 199802 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PEMASANGAN *HYBRID PLATING* PENDERITA  
FRAKTUR *FEMUR* DENGAN VARIASI *BONE SCREW* JENIS  
*LOCKING* DAN *NON LOCKING***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**TITA INDRAWATI  
NIM. 0910620096-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 10 Desember 2013

**Majelis Penguji**

Skripsi I

Skripsi II

**Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.**  
NIP. 19591128 198710 1 001

**Ir. Suharto, MT.**  
NIP. 19531030 198212 1 001  
199802 1 001

Skripsi III

**Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met.**  
NIP. 19551117 1986 01 1 001

199903 1 004

Mengetahui,

An. Ketua

PJS Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

**Purnami, ST., MT.**  
NIP. 19770707 200812 1 005

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“ANALISA PEMASANGAN *HYBRID PLATING* PENDERITA FRAKTUR FEMUR DENGAN VARIASI *BONE SCREW* JENIS *LOCKING* DAN *NON LOCKING*”** ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Purnami ST.,MT. selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Endi Sutikno, Ir., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Konstruksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi masukan, bimbingan, pengetahuan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Bapak Hastono Wijaya, Ir.,MT selaku dosen wali.
7. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin.
8. Kedua orang tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda M. Sugito dan Ibunda Rumi yang tak hentinya mendo'akan dan memberi semangat saya, sungkem selalu buat bapak ibu, tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan-Nya.
9. Keluarga Besar dari ibu dan bapakku, terima kasih atas kasih sayang, do'a serta dukungan material dan spiritual yang diberikan selama ini.
10. Adik tersayang Tara Febri Arianto terima kasih atas semangatnya dan doanya.
11. Rekan kerja dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini Adhyatma Pratyaksa terimakasih sudah mau berjuang bersama dari awal sampai akhir.

12. Keluarga Besar Laboratorium Fenomena dasar Mesin, Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium yang telah banyak memberikan nasehat dan bantuannya selama saya menjadi asisten. Lek Joko Sumantri selaku laboran yang senantiasa mengingatkan. Tak lupa ucapan banyak terima kasih kepada saudara – saudaraku asisten : Angga, Risma, Bayu, Kipo terima kasih atas semua kebersamaan dan dukungannya selama penyelesaian skripsi ini. Dan juga tak lupa pada adik – adik asisten : Pungkas, Hamid, Raka, Fauzi, Bintoro, Farid dan Ryan terima kasih atas doa dan semangatnya.
13. Keluarga Besar Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium dan rekan – rekan asisten terima kasih atas fasilitas dan dukungannya.
14. Saudaraku Mammes tercinta dan tersayang : Risma, Kenong, Tasha, Potta, Maha, Ika dan Feni terima kasih atas semua kebersamaan dan selalu memberikan semangat dan doa.
15. Saudaraku “BLACK MAMBA” M’09 baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat, semoga selalu diberi kemudahan dan kelancaran. *Solidarity Forever!!!*
16. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu yang telah membantu penulis demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik – baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut. Amiin

Malang, Desember 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Analisa Tegangan dan Regangan.....	5
2.2.1 Tegangan ( <i>Stress</i> ) .....	5
2.2.2 Regangan ( <i>Strain</i> ) .....	5
2.2.3 Hubungan Tegangan dengan Regangan.....	6
2.3 Teori Kegagalan.....	8
2.3.1 Teori Tegangan Normal Maksimum.....	8
2.3.2 Teori Tegangan Geser Maksimum.....	9
2.3.3 Teori Tegangan Von-Mises .....	9
2.4 Defleksi (Lenturan).....	10
2.4.1 Teori Dasar Lenturan .....	12
2.4.2 Metode Castigliano .....	13
2.5 Tulang <i>Femur</i> .....	16
2.6 Fraktur <i>Femur</i> .....	17
2.7 <i>Screw</i> (Sekrup).....	17
2.7.1 <i>Screw Locking dan Non Locking</i> .....	18
2.8 <i>Hybrid Plating</i> .....	18
2.9 Penyembuhan Tulang ( <i>Bone Healing</i> ).....	19

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Metode Penelitian .....	20
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	20
3.3	Variabel Penelitian .....	20
3.4	Pemodelan Penelitian .....	22
3.5	Prosedur Penelitian .....	22
3.6	Langkah – Langkah Simulasi pada <i>Software</i> .....	24
3.6.1	<i>Pre – processor</i> .....	25
3.6.2	<i>Solution</i> .....	25
3.6.3	<i>Postprocessing</i> .....	25
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	25

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil .....	27
4.1.1	Data Defleksi Total .....	27
4.1.2	Data Tegangan Maksimal .....	29
4.1.3	Data Distribusi Tegangan pada <i>Hybrid Plating</i> .....	32
4.2	Pembahasan .....	34
4.2.1	Defleksi Tegangan pada Pemasangan <i>Hybrid Plating</i> .....	34
4.2.2	Jarak Antar Tulang setelah Pembebanan .....	36

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	38
5.2	Saran .....	38

**DAFTAR PUSTAKA**



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Variasi pemasangan pada penelitian sebelumnya	4
Gambar 2.2	Macam - macam tegangan	5
Gambar 2.3	Diagram tegangan regangan baja karbon rendah	6
Gambar 2.4	Pemodelan material pada diagram tegangan regangan	8
Gambar 2.5	Lingkaran Mohr	9
Gambar 2.6	Perbandingan ketiga terori kegagalan statis bersumbu dua	10
Gambar 2.7	Lenturan pada batang	13
Gambar 2.8	Tulang <i>femur</i>	16
Gambar 2.9	Bentuk fraktur dan arah beban pada fraktur <i>femur</i>	17
Gambar 2.10	(a) <i>Locking screw</i> , (b) <i>Non locking screw</i>	18
Gambar 2.11	Skema pemasangan <i>screw</i> dengan tiga model	18
Gambar 2.12	<i>Bone healing</i>	19
Gambar 3.1	(a) Pemodelan pemasangan <i>bone screw</i> dan plat pada tulang (b) <i>Locking screw</i> (c) <i>Non locking screw</i>	20
Gambar 3.2	Letak gaya dan tumpuan	21
Gambar 3.3	(a) Dimensi <i>Locking Screw</i> (b) Dimensi <i>Non Locking Screw</i>	22
Gambar 3.4	Dimensi patahan tulang	23
Gambar 3.5	Dimensi plat	23
Gambar 3.6	<i>Meshing</i> model	24
Gambar 3.7	Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1	Pemodelan awal spesimen	26
Gambar 4.2	Defleksi yang terjadi pada <i>hybrid plating</i> variasi (1)	26
Gambar 4.3	Grafik hubungan panjang pelat dengan defleksi	27
Gambar 4.4	Tegangan pada <i>hybrid plating</i> variasi (1)	28
Gambar 4.5	Tegangan maksimal pada berbagai variasi dari pemasangan <i>hybrid plating</i>	29
Gambar 4.6	Tegangan pada pemasangan <i>hybrid plating</i> variasi (6)	30
Gambar 4.7	Daerah pengambilan data pada pelat	31
Gambar 4.8	Distribusi tegangan pada <i>hybrid plating</i> variasi (1)	31
Gambar 4.9	Grafik hubungan jarak dengan distribusi tegangan pada pelat	33

Gambar 4.10 *Pull Out* pada *Screw* (skala 39), (a) variasi (1), (b) variasi (2),  
(c) variasi (3), (d) variasi (4), (e) variasi (5), (f) variasi (6) 34

Gambar 4.11 (a) Keadaan awal pemasangan *hybrid plating* sebelum terjadi  
pembebanan (b) variasi (1), (c) variasi (2), (d) variasi (3), (e)  
variasi (4), (f) variasi (5), (g) variasi (6) 35



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Defleksi yang Terjadi pada <i>Hybrid Plating</i>	27
Tabel 4.2	Data Tegangan Maksimal pada <i>Hybrid Plating</i>	29
Tabel 4.3	Data Distribusi Tegangan pada <i>Hybrid plating</i>	32



## RINGKASAN

**Tita Indrawati**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2013, *Analisa Pemasangan Hybrid Plating Penderita Fraktur Femur Dengan Variasi Bone Screw Jenis Locking Dan Non Locking*, Dosen Pembimbing : Moch. Agus Choiron dan Anindito Purnowidodo.

Penanganan medis untuk fraktur *femur* yang sering digunakan adalah *bone screw*. *Bone screw* adalah sekrup khusus untuk tulang yang biasanya juga dikombinasikan dengan pelat penyangga. *Bone screw* yang digunakan di pasaran saat ini ada dua jenis yaitu *locking screw* dan *non locking screw*. *Non locking screw* atau biasa disebut dengan *conventional screw* digunakan untuk penderita fraktur dengan kondisi tulang yang sehat. Sedangkan *locking screw* banyak digunakan pada penderita pengeroposan tulang (*osteoporosis*) yang mana bentuk alur ulirnya lebih halus dan pada kepala *screw* dibuat terkunci pada pelat. Pengembangan model *bone screw* adalah *hybrid plating* yaitu kombinasi *locking screw* dan *non locking screw*. Tantangan yang muncul adalah bagaimana memperoleh variasi yang tepat untuk menggabungkan pemakaian kedua jenis *screw* pada *hybrid plating*. Variasi yang tepat dapat ditinjau dari kekuatan dan kemampuan menahan *pull out* atau terlepasnya system *bone screw* dari jaringan tulang yang akan disambung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa tegangan dan defleksi pada pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking screw*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental semu dengan menggunakan bantuan *software ANSYS 14.5 Workbench* yang berbasis *finite element analysis*. Variabel bebas yang dipakai adalah variasi pemasangan *locking screw* dan *non locking screw* pada *hybrid plating*. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu tegangan dan defleksi (ditinjau pada *pull out*). Variabel terkontrolnya adalah *properties material* dari *screw* dan plat, tumpuan, beban aksial dan geometri *screw* plat dan tulang.

Hasil analisa tegangan dan *pull out* pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking* didapatkan kesimpulan yaitu variasi L-L-L-N N-L-L-L mempunyai kekuatan yang maksimal dan resiko untuk terjadinya *pull out* paling minimal.

Kata kunci: *hybrid plating*, *screw*, *pull out*, tegangan, fraktur *femur*.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan teknologi di masyarakat saat ini, muncul berbagai permasalahan di bidang kesehatan khususnya bedah tulang. Permasalahan patah tulang atau fraktur menjadi hal yang banyak dijumpai saat ini. Bahkan pada dasawarsa terakhir ini antara tahun 2000 sampai dengan tahun 2010 organisasi kesehatan tingkat dunia *World Health Organization* (WHO) menetapkan sebagai “Dekade Tulang dan Persendian”. Kecelakaan lalu lintas merupakan penyebab fraktur (patah tulang) terbanyak. Berdasarkan data dari Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) pada tahun 2004 setidaknya 3000 orang meninggal akibat kecelakaan lalu lintas. Dari jumlah itu setidaknya 85 persen terjadi di negara – negara dengan pendapatan rendah dan sedang.

Di Indonesia jumlah kasus fraktur yang terjadi cukup tinggi. Berdasarkan hasil Riset Kesehatan Dasar (RIKERDAS) oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Depkes RI tahun 2008 - 2010 di Indonesia terjadi kasus fraktur yang disebabkan oleh cedera antara lain karena jatuh, kecelakaan lalu lintas dan trauma benda tajam/tumpul. Dari 45.987 peristiwa terjatuh yang mengalami fraktur sebanyak 1.775 orang (3,8%), dari 20.829 kasus kecelakaan lalu – lintas, yang mengalami fraktur sebanyak 1.770 orang (8,5%), dari 14.127 trauma benda tajam/tumpul, yang mengalami fraktur sebanyak 236 orang (1,7%) (Depkes RI, 2010).

Fraktur adalah terputusnya kontinuitas tulang dan ditentukan sesuai jenis luasannya. Sebagian fraktur dapat disebabkan oleh kekuatan yang tiba – tiba dan berlebihan, yang dapat berupa pemukulan, penghancuran, penekukan, pemuntiran, atau penarikan (Smeltzer, 2001). Fraktur yang sering terjadi di Indonesia adalah fraktur *femur* disebabkan karena benturan dengan tenaga yang tinggi (kuat) seperti kecelakaan sepeda motor atau mobil. Dari data yang dikumpulkan oleh Unit Pelaksana Teknik Makmal Terpadu Imunoendokrinologi Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia (FKUI), pada tahun 2006 dari 1690 kasus kecelakaan lalu lintas, ternyata yang mengalami fraktur *femur* adalah sebanyak 249 kasus atau 14,7 % (Isbagio, 2007). Sedangkan berdasarkan data dari RSPAD Gatot Soebroto pada tahun 2011 terjadi kasus fraktur *femur* sebanyak 178 kasus. Untuk menangani fraktur ada beberapa cara tergantung pada jenis frakturnya. Dari berbagai cara penanganan fraktur semuanya

memerlukan biaya yang cukup tinggi. Dan banyak dari masyarakat Indonesia memilih untuk pengobatan alternatif dibandingkan dengan penanganan dari medis.

Pada umumnya penanganan medis untuk fraktur *femur* yang sering digunakan adalah *bone screw*. *Bone screw* adalah sekrup khusus untuk tulang yang biasanya juga dikombinasikan dengan pelat penyangga. *Bone screw* yang digunakan di pasaran saat ini ada dua jenis yaitu *locking screw* dan *non locking screw*. *Non locking screw* atau biasa disebut dengan *conventional screw* digunakan untuk penderita fraktur dengan kondisi tulang yang sehat. Sedangkan *locking screw* banyak digunakan pada penderita pengeroposan tulang (*osteoporosis*) yang mana bentuk alur ulirnya lebih halus dan pada kepala *screw* dibuat terkunci pada pelat. Pengembangan model *bone screw* adalah *hybrid plating* yaitu kombinasi *locking screw* dan *non locking screw*. Tantangan yang muncul adalah bagaimana memperoleh variasi yang tepat untuk menggabungkan pemakaian kedua jenis *screw* pada *hybrid plating*. Variasi yang tepat dapat ditinjau dari kekuatan dan kemampuan menahan *pull out* atau terlepasnya sistem *bone screw* dari jaringan tulang yang akan disambung.

Dari uraian di atas, perlu diteliti analisa tegangan pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking*. Diharapkan studi ini dapat memberikan model prediksi variasi yang terbaik untuk pemasangan *hybrid plating*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana analisa tegangan dan defleksi pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking*.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah analisa dan agar permasalahan tidak meluas, maka perlu diuraikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian secara simulasi (*non experimental*) dengan menggunakan Ansys Workbench 14.5 dan Solidwork.
2. Model berupa *Bone Screw* pada tulang patah yang dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi.
3. Beban yang digunakan adalah beban aksial.

4. Banyaknya *bone screw* yang digunakan adalah 8 buah.
5. Model material *bone screw*, pelat dan tulang diasumsikan *bilinear isotropic hardening*.
6. Tidak memperhitungkan faktor lingkungan seperti temperatur dan korosi.
7. Defleksi dijelaskan dengan *pull out*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah untuk menganalisa tegangan dan defleksi pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan prediksi model yang terbaik sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya.
2. Membantu dalam bidang kedokteran terutama dalam bidang bedah tulang.
3. Membantu masyarakat yang mengalami permasalahan patah tulang *femur*.
4. Membantu produsen *bone screw* dalam memproduksi *bone screw*.

## BAB II

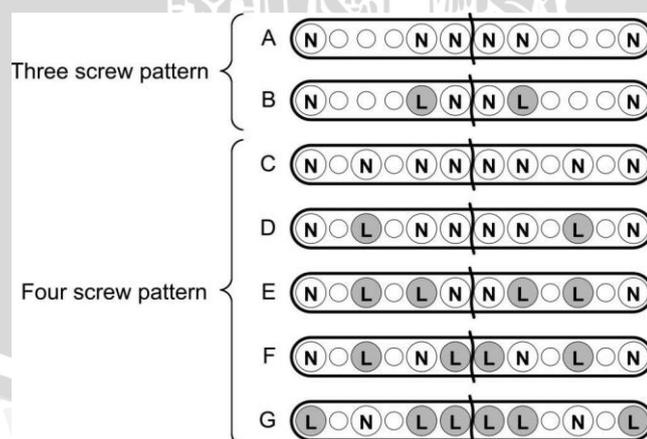
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang ada sebelumnya mengenai permodelan tulang dan *bone screw*:

Michael Bottlang, PhD, Josef Doornink, MS, dkk (2009) dalam tulisannya, "A *Nonlocking End Screw Can Decrease Fracture Risk Caused by Locked Plating in the Osteoporotic Diaphysis*", menjelaskan tentang simulasi variasi pemasangan jenis *bone screw* dan plat yaitu *conventional (nonlocked) plating (CP)*, *locked plating (LP)*, dan *hybrid plating (HP)*, mengganti satu *locked screw* dengan *conventional screw*). Hasil yang diperoleh yaitu LP memberikan *bending strength* lebih kecil yaitu 22% dibandingkan dengan CP, *equivalent strength* pada torsi ( $p = 0,05$ ) dan kekuatannya 15% lebih besar pada *axial compression*. *Bending strength* pada HP mengalami kenaikan yang signifikan sebesar 40% dibandingkan dengan CP.

Andrew L. Freeman, MSME, Paul Tornetta III, MD, dkk (2010) dalam tulisannya, "How Much Do Locked Screw Add to the Fixation of "Hybrid" Plate Construct in Osteoporotic Bone?", meneliti pemasangan *hybrid plating* dengan variasi *screw locking* dan *non locking* dengan jumlah *screw* yang digunakan yaitu 6 dan 8.



Gambar 2.1 Variasi pemasangan pada penelitian oleh Andrew L. Freeman, dkk  
Sumber : Andrew L. Freeman, dkk, 2010

Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa jumlah *screw* 8 dengan menggunakan 3 buah *screw locking* memiliki sifat kekakuan yang lebih tinggi.

## 2.2 Analisa Tegangan dan Regangan

### 2.2.1 Tegangan (*Stress*)

Tahanan ini per satuan luas dikenal dengan istilah tegangan. Atau dengan kata lain tegangan adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja (Iremonger, 1990). Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

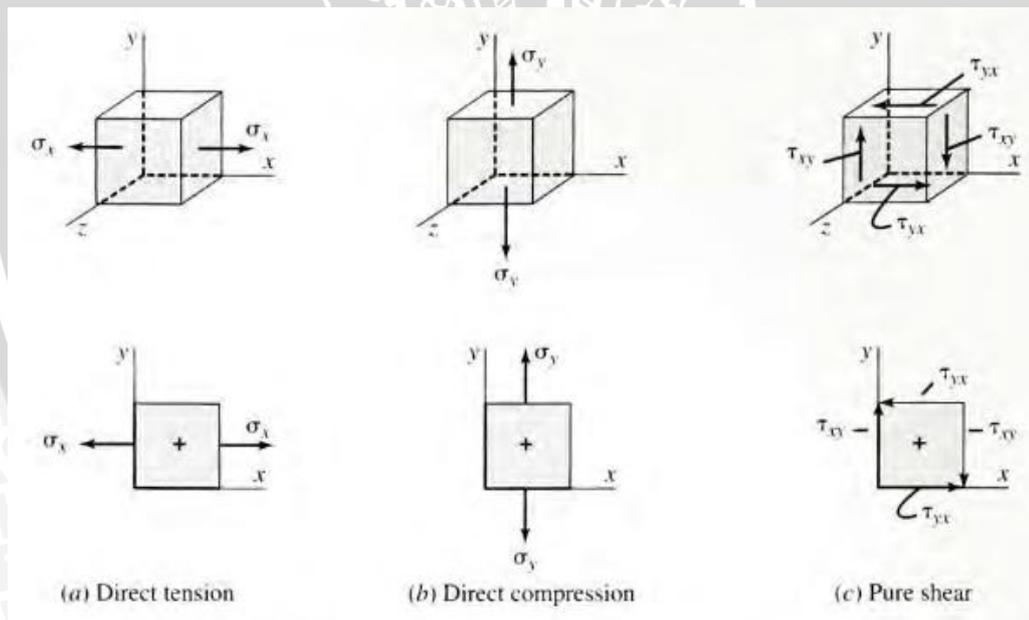
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan :  $\sigma$  = besarnya tegangan (N/m<sup>2</sup>)

P = besarnya gaya yang bekerja (N)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

Secara umum tegangan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu tegangan tarik (*tensile stress*), tegangan tekan (*compression stress*), dan tegangan geser (*shear stress*). Seperti yang terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini,



Gambar 2.2 Macam - macam tegangan

Sumber : Robert L.Mott, 2009

### 2.2.2 Regangan (*Strain*)

Regangan merupakan pertambahan panjang atau pemuaiian apabila suatu batang diberi gaya dari luar (Joseph E. Shigley, 1986). Regangan terjadi karena adanya gaya dari luar baik berupa gaya tarik ataupun gaya tekan. Regangan yang ditimbulkan dari gaya tarik disebut *tensile strain* sedangkan regangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan

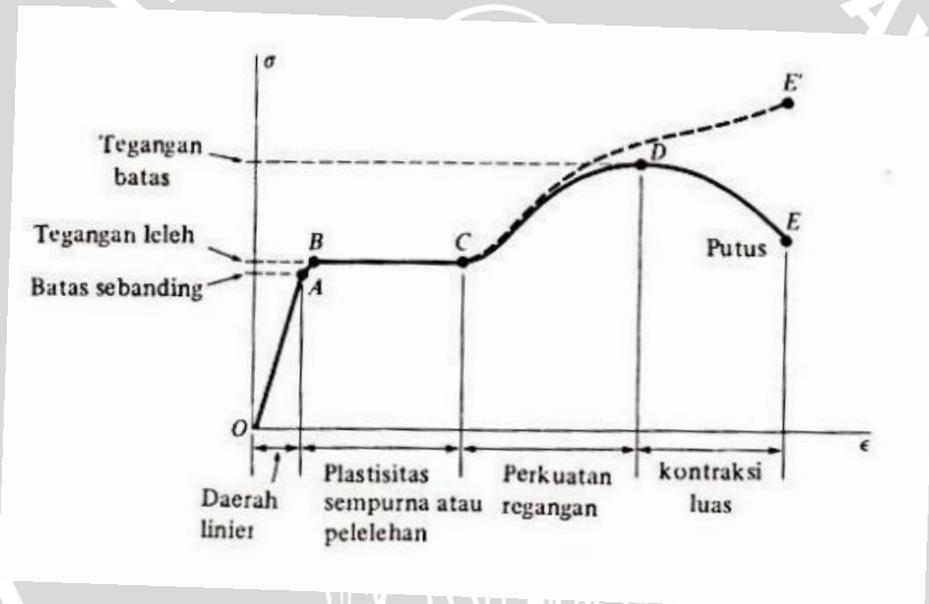
disebut *compressive strain*. Karena regangan adalah perbandingan antara dua ukuran panjang, maka regangan tidak memiliki dimensi (*dimension less quantity*). Regangan karena gaya tarik dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (2.2)$$

Keterangan :  
 $\varepsilon$  = besarnya regangan  
 $\delta$  = pertambahan panjang (m)  
 $l$  = panjang awal (m)

### 2.2.3 Hubungan Tegangan dengan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dapat dinyatakan dalam diagram tegangan regangan. Gambar 2.3 menunjukkan diagram tegangan regangan baja karbon rendah.



Gambar 2.3 Diagram tegangan regangan baja karbon rendah  
 Sumber : Gere, 1996 : 13

Diagram tersebut dapat menjelaskan beberapa titik penting, diantaranya adalah :

Titik A adalah proporsional limit point, yaitu titik batas antara tegangan dan regangan masih dalam keadaan proporsional atau linier. Pada daerah ini berlaku Hukum Hooke yang menyatakan pertambahan tegangan sebanding dengan pertambahan regangan. Daerah ini dinamakan daerah elastis, yaitu daerah dimana suatu struktur jika diberikan gaya dari luar kemudian gaya tersebut dihilangkan maka struktur akan kembali ke bentuk semula.

Titik B adalah *yield point*, yaitu titik yang menyatakan batas antara daerah elastis dan plastis. Material akan menjadi plastis sempurna ketika sudah mencapai titik C. Apabila dilakukan pemberian gaya secara terus – menerus dari luar maka material akan mengalami *strain hardening* sampai pada titik *ultimate*, yaitu titik D.

Titik D adalah *ultimate point*, yaitu titik yang menunjukkan tegangan suatu bahan mencapai tegangan tertingginya. Jika tegangan terus ditambah maka bahan akan putus sampai titik patahnya (titik E). Garis putus – putus merupakan diagram tegangan regangan sejati yang menggunakan luas sebenarnya.

Pada daerah plastis, Hukum Hooke sudah tidak berlaku lagi. Persamaan yang digunakan untuk mencari tegangan pada daerah plastis adalah sebagai berikut:

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (2.3)$$

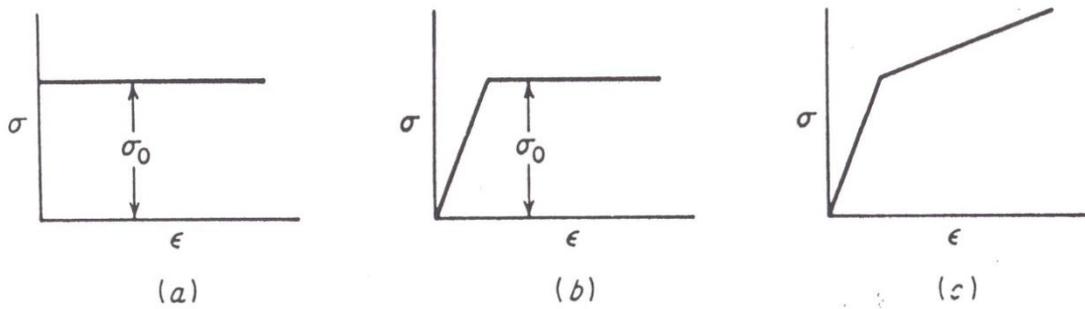
Keterangan :  $\sigma$  adalah tegangan

K adalah konstanta penguatan

$\epsilon$  adalah regangan

n adalah eksponensial *strain hardening*

Dalam analisa untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu untuk mengidealisasikan hubungan tegangan – regangan yang terjadi. Pada umumnya ada tiga permodelan pengidealisasian dari sudut pandang terjadinya deformasi pada material, yang pertama adalah *rigid perfectly plastic*, pada pemodelan ini material tidak mengalami deformasi elastis terlebih dahulu, namun langsung mengalami deformasi plastis pada saat diberi pembebanan sampai batas tertentu. Deformasi akan terus terjadi jika pembebanan terus dilakukan walaupun besar pembebanan tidak ditambahkan. Pada kurva diagram tegangan – regangan permodelan material ini dapat dilihat pada gambar 2.4 (a). Untuk material logam sendiri biasanya tergolong material yang *elastoplastic*, yang mana pada material terjadi dua macam deformasi yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Pada material jenis ini permodelan yang digunakan adalah jenis (b) dan (c), yaitu *elastic perfectly plastic* dan *elastic linier strain hardening*. Pada permodelan ini material akan mengalami deformasi elastis terlebih dahulu selama diberi pembebanan sampai batas tertentu, kemudian akan mengalami deformasi plastis. Untuk *elastic perfectly plastic*, deformasi plastis yang terjadi tidak diikuti penguatan tegangan sedangkan *elastic linier strain hardening*, deformasi plastis yang terjadi akan diikuti dengan penguatan tegangan. Berikut adalah gambar kurva tegangan-regangan berbagai macam permodelan material:



Gambar 2.4 Pemodelan material pada diagram tegangan regangan  
 Sumber : Dieter, 1988 : 72

### 2.3 Teori Kegagalan

#### 2.3.1 Teori Tegangan Normal Maksimum

Teori tegangan normal maksimum menyatakan bahwa kegagalan terjadi bila tagangan utama terbesar sama dengan kekuatan bahan. Bila ketiga tegangan utama disusun ke dalam bentuk :

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \tag{2.4}$$

kemudian, kriteria kegagalan adalah kekuatan *yield*, teori ini meramalkan bahwa kegagalan akan terjadi bila

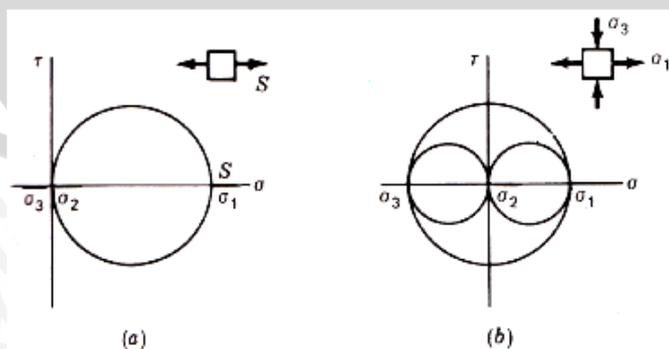
$$\sigma_1 = S_{yt} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{yc} \tag{2.5}$$

dimana  $S_{yt}$  dan  $S_{yc}$  adalah kekuatan *yield* tarik dan tekan bahan. Untuk bahan yang rapuh, yang digunakan adalah kekuatan *ultimate* sehingga kegagalan terjadi bila

$$\sigma_1 = S_{ut} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{uc} \tag{2.6}$$

dimana  $S_{ut}$  dan  $S_{uc}$  adalah kekuatan *ultimate* tarik dan tekan bahan.

Untuk kasus puntiran murni, dimana  $\sigma_1 = \tau = -\sigma_3$  dan  $\sigma_2 = 0$ , kegagalan akibat torsi atau puntiran akan terjadi bila  $\tau = S_y$ . Gambar 2.5 memperlihatkan lingkaran Mohr untuk tarikan sederhana dan puntiran murni.



Gambar 2.5 Lingkaran mohr (a) Tarikan sederhana (b) Puntiran murni  
 Sumber : Shigley, 1983 : 237



### 2.3.2 Teori Tegangan Geser Maksimum

Teori ini hanya dipakai pada material yang bersifat daktil karena hanya digunakan untuk meramalkan *yield*. Teori ini menyatakan bahwa kegagalan terjadi bila tegangan geser maksimum pada tiap elemen sama dengan tegangan geser maksimum bahan dalam percobaan tarik dari bahan yang sama bila bahan tersebut mulai mengalami *yield*. Jadi teori tegangan geser maksimum meramalkan bahwa kegagalan akan terjadi bila

$$\tau_{\max} = S_y / 2 \text{ atau } \sigma_1 - \sigma_3 = S_y \quad (2.7)$$

### 2.3.4 Teori Tegangan Von-Mises

Teori teori Von Mises ini juga disebut teori energi geser (*shear energy theory*). Teori ini menjelaskan bahwa *yield* bukanlah semata – mata suatu fenomena tarikan atau tekanan sederhana, tetapi lebih tepat bahwa *yield* tersebut berkaitan dengan distorsi sudut (puntir) dari elemen yang diberi tegangan tersebut. Teori ini menyatakan bahwa kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap spesimen dari material yang sama.

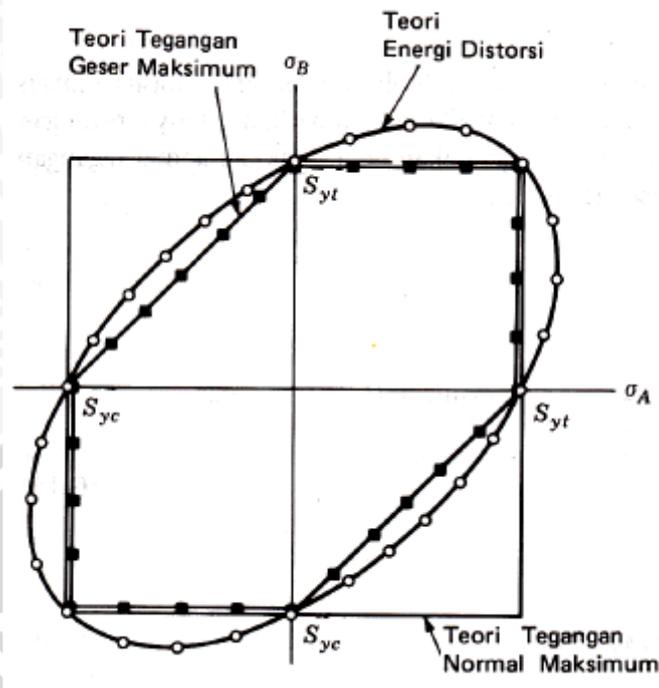
Untuk keadaan tiga dimensi,

$$S_y = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_1 \sigma_3 - \sigma_2 \sigma_3)^{1/2} \quad (2.8)$$

Sementara untuk keadaan dua dimensi,  $\sigma_2 = 0$  maka

$$S_y = (\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_3)^{1/2} \quad (2.9)$$

Tegangan efektif Von Mises ( $\sigma'$ ) didefinisikan sebagai tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja.



Gambar 2.6 Perbandingan ketiga teori kegagalan statis bersumbu dua  
Sumber : Shigley, 1983 : 247

Gambar 2.6 memperlihatkan perbandingan teori Von Mises dengan teori yang lainnya. Teori tegangan geser maksimum memberikan hasil yang konservatif, karena grafiknya terdapat di dalam elips Von Mises. Pada teori tegangan normal maksimum, pada kuadran 1 dan 3 grafik berada di dalam elips Von Mises sementara pada kuadran 2 dan 4 berada pada luar lingkaran Von Mises. Jadi sangat berbahaya bila menggunakan teori tegangan normal maksimum karena teori ini memberi ramalan aman sementara pada kenyataannya tidak. Teori Von Mises memberi ramalan yang paling tepat.

#### 2.4 Defleksi (Lenturan)

Defleksi merupakan peristiwa melengkungnya suatu batang yang ditumpu akibat adanya beban yang bekerja pada batang tersebut. Beban yang dimaksud di sini dapat berupa beban dari luar ataupun beban dari dalam karena pengaruh berat batang sendiri. Lenturan pada suatu batang dapat terjadi akibat adanya beban gaya geser atau momen lentur. Lenturan akibat beban geser umumnya sangat kecil dibandingkan dengan lenturan akibat beban momen. Lenturan akibat beban geser biasanya hanya diperhitungkan untuk batang yang sangat pendek, sehingga proporsi terhadap lenturan yang terjadi karena beban momen menjadi cukup berarti. Dalam bahasan buku ini hanya lenturan karena beban momen saja yang diperhitungkan, karena struktur yang

dibahas memakai batang relatif panjang. Besarnya lenturan akibat beban momen dapat dihitung dengan memakai salah satu dari empat metode berikut:

- a. Metode analitis (cara integrasi)
- b. Metode luas bidang momen
- c. Metode penjumlahan (superposisi)
- d. Metode energi strain atau metode Castigliano.

Metode integrasi dilakukan dengan cara mencari persamaan diferensial momen yang terjadi sepanjang batang. Dari persamaan momen kemudian diselesaikan dengan cara integrasi dua kali, untuk mendapatkan persamaan lenturan. Dua konstanta yang timbul akibat proses integrasi dapat dihitung dari kondisi batas (*boundary conditions*), yang ada pada struktur yang bersangkutan. Hasilnya adalah sebuah persamaan fungsi besar lenturan yang terjadi terhadap panjang batang, dari titik koordinat awal yang ditentukan.

Metode luas bidang momen adalah metode semigrafis, dengan memanfaatkan sifat-sifat dari persamaan matematis lenturan. Luas bidang momen tidak dicari dengan menurunkan persamaannya, tetapi dengan cara menghitung luasan yang terjadi secara geometri. Metode ini lebih sederhana dan lebih cepat dibandingkan dengan metode integrasi terutama untuk struktur yang menerima banyak beban sepanjang batangnya.

Metode penjumlahan (superposisi) dilakukan dengan memanfaatkan besar lenturan yang telah dihitung sebelumnya (biasanya ditabelkan), pada struktur yang sederhana. Suatu struktur yang kompleks dibagi menjadi beberapa bagian berupa struktur yang lebih sederhana, yang besar lenturannya masing-masing telah diketahui. Besar lenturan pada struktur keseluruhan adalah jumlah dari semua lenturan yang terjadi pada masing-masing bagian struktur tersebut.

Metode energi strain biasa disebut dengan nama penemunya yaitu seorang insinyur Italia bernama Alberto Castigliano, pada tahun 1873. Teori Castigliano menyatakan bahwa lenturan yang terjadi pada suatu titik pada suatu batang adalah merupakan turunan parsial dari persamaan energi yang tersimpan didalam batang akibat beban yang bekerja, terhadap gaya yang bekerja pada titik tersebut. Apabila pada titik yang dicari lenturannya tidak ada gaya yang bekerja, maka biasanya diberikan gaya nol (*dummy load*) pada titik tersebut.

Penentuan metode mana yang terbaik atau seharusnya dipakai untuk memecahkan masalah lenturan suatu struktur, tergantung kepada jenis pembebanan dan

kompleksitas strukturnya dan sedikit banyak juga tergantung kepada pengalaman perencana yaitu metode mana yang paling dikuasai. Tingkat ketelitian perhitungan yang diperlukan juga menentukan pemilihan metode yang dipakai, karena metode pada semigrafis misalnya sering memerlukan pendekatan untuk dapat menghitung luas bidang momen. Metode Castigliano adalah metode yang banyak dipakai, karena prosedur perhitungannya sederhana walaupun dipakai pada batang dengan banyak beban dan struktur yang kompleks, dan derajat ketelitian perhitungannya tinggi.

#### 2.4.1 Teori Dasar Lenturan.

Untuk dapat menurunkan persamaan matematis lenturan yang terjadi pada suatu batang struktur, diambil beberapa persyaratan dan asumsi sbb.

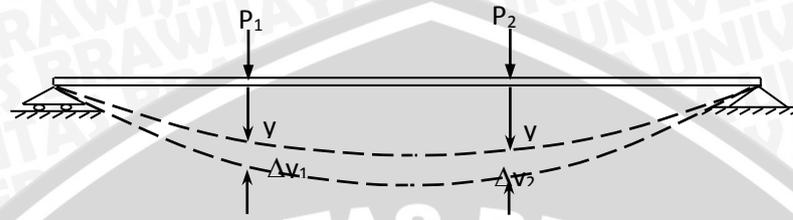
- a. Bahan dari batang masih dalam kondisi elastis selama pembebanan.
- b. Besarnya lenturan akibat gaya geser kecil sekali dibanding dengan lenturan yang terjadi akibat beban momen (hanya untuk batang yang relatif panjang).
- c. Besarnya modulus elastisitas ( $E$ ) dan momen inersia ( $I$ ) konstan sepanjang batang yang ditinjau. Apabila besaran  $E$  atau  $I$  tidak konstan, fungsi matematis kedua besaran tersebut terhadap panjang batang harus diketahui.
- d. Struktur bahan sepanjang batang dianggap homogen, sehingga deformasi yang terjadi akibat beban selalu kontinyu. Dengan demikian bentuk lenturan yang terjadi berupa suatu kurva yang kontinyu dan terdapat bidang netral ditengah-tengah batang pada waktu terjadi lenturan.
- e. Besarnya lenturan yang terjadi kecil sekali dibanding panjang batang, sehingga kwadrat dari besaran sudut lenturannya dapat diabaikan.

Pada struktur batang, istilah kekakuan digunakan untuk faktor  $EI$  dari batang, atau dalam bahasa Inggris disebut *stiffness*.

#### 2.4.2 Metode Castigliano

Metode ini merupakan metode yang paling banyak dipakai untuk pemecahan masalah lenturan yang terjadi pada suatu struktur atau batang. Metode ini dikembangkan oleh seorang insinyur Italia bernama Alberto Castigliano pada tahun 1873. Teori dasar metode ini dikembangkan berdasarkan perhitungan besar energi yang tersimpan didalam suatu batang akibat beban yang bekerja padanya.

Prinsip kekekalan energi dapat dipakai sebagai dasar pembahasan metode ini, yaitu energi *input* harus selalu sama dengan *output* ditambah energi yang hilang dan lain-lain. Pada suatu batang yang terbebani energi *input* nya adalah kerja yang dilakukan oleh beban, sedang *output* nya adalah energi yang tersimpan didalam batang karena batang tidak melakukan kerja.



Gambar 2.7. Lenturan pada batang

Misalkan batang seperti pada gambar 2.7, dibebani secara bersamaan oleh gaya  $P_1$  dan  $P_2$  secara perlahan-lahan mulai dari nol sampai mencapai harga terbesar masing-masing beban. Pada akhir pembebanan, lenturan yang terjadi pada titik bekerjanya gaya  $P_1$  dan  $P_2$  berturut-turut adalah  $y_1$  dan  $y_2$ . Bentuk energi yang tersimpan didalam batang karena kedua beban adalah energi strain yang besarnya dapat dihitung dari energi inputnya, yaitu jumlah usaha yang dilakukan oleh masing-masing gaya tsb.

$$U = \frac{1}{2} \cdot P_1 \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot P_2 \cdot y_2 \quad (2.10)$$

Gaya yang bekerja dianggap setengahnya, karena pembebanan selalu dimulai awal ( $P_1=0$ , dan  $P_2=0$ ) kemudian secara perlahan bertambah sampai mencapai beban penuh, sehingga besar gaya yang bekerja selama proses deformasi dapat didekati dengan harga rata-ratanya. Setelah tercapai beban penuh kemudian gaya  $P_1$  ditambah dengan elemen beban kecil  $\Delta P_1$ , sehingga mengakibatkan pertambahan besar lenturan pada posisi kedua gaya tersebut masing-masing  $\Delta y_1$  dan  $\Delta y_2$ . Pertambahan energi strain karena pertambahan gaya adalah,

$$\Delta U = \frac{1}{2} \Delta P_1 \cdot \Delta y_1 + P_1 \cdot \Delta y_1 + P_2 \cdot \Delta y_2 \quad (2.11)$$

Apabila kemudian dilakukan percobaan yang sama tetapi urutan pembebanan dirubah, yaitu gaya  $\Delta P_1$  dikenakan terlebih dahulu kemudian baru disusul dengan gaya  $P_1$  dan  $P_2$ , maka jumlah energi yang tersimpan didalam batang menjadi,

$$U + \Delta U = \frac{1}{2} \cdot \Delta P_1 \cdot \Delta y_1 + \Delta P_1 \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot P_1 \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot P_2 \cdot y_2 \quad (2.12)$$

Walaupun urutan pembebanan berbeda, tetapi energi yang tersimpan pada batang ( $U + \Delta U$ ) akibat kedua urutan pembebanan tersebut seharusnya sama, berdasarkan prinsip kekekalan energi. Dengan mengkombinasikan persamaan (2.10) - (2.12) didapatkan,

$$\Delta P_1 \cdot y_1 = P_1 \cdot \Delta y_1 + P_2 \cdot \Delta y_2 \quad (2.13)$$

Kombinasi antara persamaan (2.11) dan (2.13) menghasilkan,

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta P_1} = y_1 + \frac{1}{2} \Delta y_1 \quad (2.14)$$

Apabila besar beban  $\Delta P_1$  mendekati limit nol, maka besar lenturan  $\Delta y_1$  yang terjadi juga mendekati limit nol sehingga,

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta P_1} = y_1 \quad (2.15)$$

Rumus diatas adalah teori dasar dari metode Castigliano, yang secara umum dapat dijabarkan dalam bentuk teori yaitu: "*Apabila energi strain yang tersimpan didalam batang dapat dinyatakan dalam fungsi gaya-gaya yang bekerja padanya, turunan partial fungsi tsb. terhadap salah satu gaya adalah sama dengan lenturan yang terjadi pada titik bekerjanya gaya tersebut.*" Dalam pengembangannya, teori Castigliano juga berlaku untuk turunan partial energi yang tersimpan terhadap momen yang bekerja, yang akan menghasilkan besar sudut lenturan sbb.

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta M_1} = \theta_1 \quad (2.16)$$

Apabila pada posisi besar lenturan yang akan dihitung tidak terdapat gaya yang bekerja, maka gaya nol dapat dikenakan pada posisi tersebut. Sesudah didapatkan persamaan energi terhadap gaya nol, maka lenturan yang terjadi dihitung berdasarkan turunan terhadap gaya kosong tersebut. Kemudian limit nol dikenakan pada semua besaran yang mengandung gaya tersebut, sehingga akhirnya didapat besar lenturan yang terjadi. Prosedur ini berlaku pula pada perhitungan sudut lenturan pada persamaan (2.16).

Energi yang tersimpan didalam batang adalah berupa tegangan antar molekul didalam batang, sebagai reaksi terhadap adanya gaya luar yang bekerja. Akibat fisik dari adanya tegangan didalam bahan berupa deformasi yang terjadi pada batang yang terkena beban. Apabila suatu batang menerima beban aksial P, yang mengakibatkan pertambahan panjang d maka usaha yang dilakukan oleh gaya P adalah :

$$U = \int P d\delta \quad (2.17)$$

Besar tegangan yang terjadi akibat gaya P didefinisikan sebagai :

$$\sigma = \frac{P}{A}, \text{ atau, } P = \sigma A, \text{ dan } \varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

sehingga persamaan (2.17) menjadi :

$$U = \int \sigma \cdot A \cdot L \cdot d\varepsilon = AL \int \sigma \cdot d\varepsilon \quad (2.18)$$

Karena batang melentur dalam kondisi elastis maka Hukum Hooke berlaku, sehingga

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ atau } d\varepsilon = \frac{d\sigma}{E};$$

sehingga persamaan (2.18) menjadi,

$$U = \frac{AL}{E} \int \sigma d\sigma = AL \frac{\sigma^2}{2E} \quad \text{atau} \quad \frac{U}{AL} = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (2.19)$$

dimana, A = luas penampang batang

L = panjang batang

E = modulus elastisitas batang

U = energi strain yang tersimpan

$\sigma$  = tegangan yang terjadi.

Persamaan (2.19) menunjukkan hubungan antara besarnya energi strain yang tersimpan setiap unit volume batang dengan tegangan yang ditimbulkan. Dengan demikian besarnya total energi strain akibat tegangan didalam volume batang adalah:

$$U = \int_{VOL} \frac{\sigma^2}{2E} dV \quad (2.20)$$

Apabila beban yang bekerja adalah momen (M), maka tegangan yang terjadi pada batang adalah (M.y/EI) sehingga energi strain akibat beban momen tersebut menjadi,

$$U = \frac{1}{2E} \int_{VOL} \left( \frac{M y}{I} \right)^2 dV \quad (2.21)$$

Elemen volume :  $dV = dA \cdot dx$ , sehingga persamaan energi diatas menjadi,

$$U = \frac{1}{2E} \int_0^L \left[ \frac{M^2}{I^2} \int_{AREA} (y^2 \cdot dA) \right] dx$$

Besaran  $\int_{AREA} (y^2 \cdot dA)$  adalah momen inerti I sehingga,

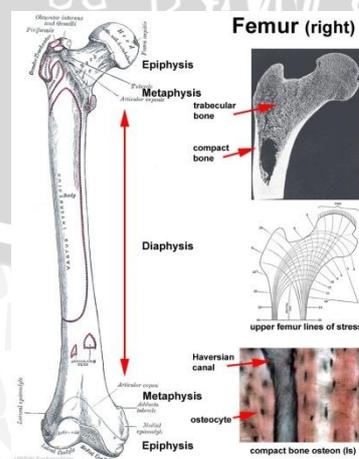
$$U = \frac{1}{2E} \int_0^L \frac{M^2}{I} dx \quad (2.22)$$

Persamaan (2.22) menunjukkan besarnya energi strain yang terjadi akibat adanya beban momen saja. Telah dinyatakan dalam permulaan bahasan bahwa untuk pemakaian pada batang struktur, besar lenturan yang terjadi akibat beban gaya dan gaya geser kecil sekali dibandingkan dengan besar lenturan akibat beban momen. Dengan demikian berdasarkan teori Castigliano pada persamaan (2.22), maka besar lenturan ( $y_i$ ) yang terjadi pada suatu titik dimana bekerja gaya  $P_i$  adalah,

$$y_i = \frac{\delta U}{\delta P_i} = \frac{1}{EI} \int_0^L M \frac{\delta M}{\delta P_i} dx \quad (2.23)$$

## 2.5 Tulang Femur

Tulang femur (tulang paha) termasuk tulang panjang yang bersendi ke atas dengan pelvis dan ke bawah dengan tulang tibia. Tulang femur terdiri dari *epiphysis proximal*, *diaphysis* dan *epiphysis distalis*. Pada tulang femur ini yang berfungsi dalam persendian lutut adalah *epiphysis distalis*. *Epiphysis distalis* merupakan bulatan sepasang yang disebut *condylus femoralis lateralis* dan *medialis*. Dibagian *proximal* tonjolan tersebut terdapat sebuah bulatan kecil yang disebut *lateralis* dan *epicodylus lateralis*. Pandangan dari depan, terdapat dataran sendi yang melebar ke lateral yang disebut *fades patellaris* yang nantinya bersendi dengan tulang *patella*. Dan pandangan dari belakang, diantara *condylus lateralis* dan *medialis* terdapat cekungan yang disebut *fossa intercondyloidea* (Platser W, 1993). Dibawah ini merupakan gambar dari tulang femur (gambar 2.6)

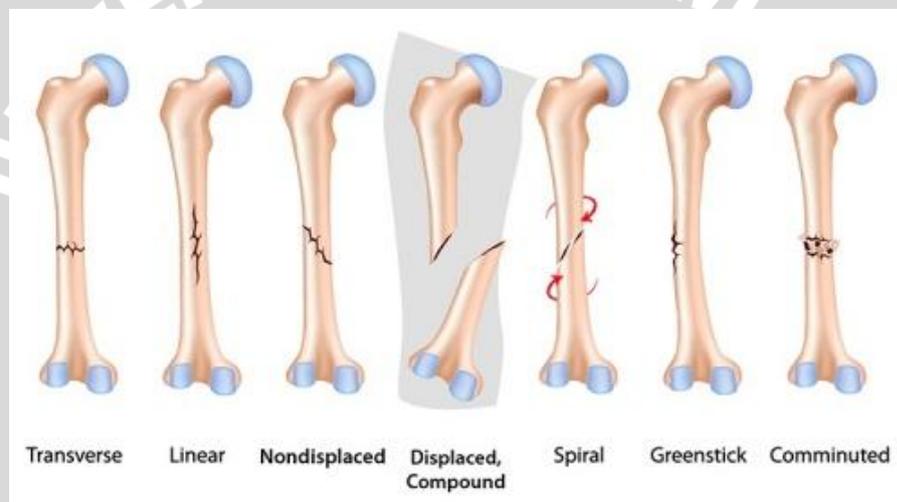


Gambar 2.8 Tulang femur  
Sumber : Anonymous 1, 2007

## 2.6 Fraktur Femur

Fraktur atau patah tulang adalah terputusnya kontinuitas tulang dan ditentukan sesuai jenis luasannya. Sebagian fraktur dapat disebabkan oleh kekuatan yang tiba – tiba dan berlebihan, yang dapat berupa pemukulan, penghancuran, penekukan, pemuntiran, atau penarikan. Fraktur pada tulang *femur* atau tulang paha, dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu fraktur *femur* 1/3 *proximal*, fraktur *femur* 1/3 *medial*, dan fraktur *femur* 1/3 *distal*. Yang sering terjadi adalah fraktur pada 1/3 *medial* dimana fraktur ini terjadi pada batang tulang.

Fraktur pada *femur* umumnya terjadi akibat beban tekan dan bending. Bentuk fraktur yang terjadi dipengaruhi beban yang menyebabkan fraktur tersebut. Gambar 2.9 memperlihatkan bentuk fraktur dan arah beban pada fraktur *femur*.



Gambar 2.9 Bentuk fraktur dan arah beban pada fraktur *femur*.

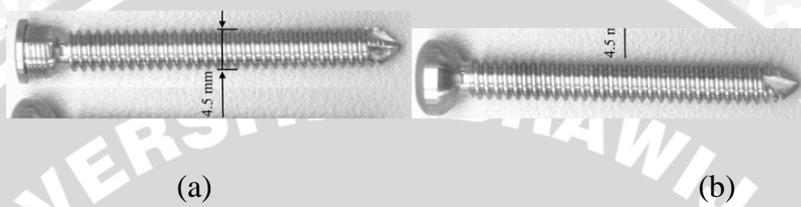
Sumber : *Anonymous* 2, 2012

## 2.7 Screw (Sekrup)

*Screw* (sekrup) adalah sebuah pengunci yang berbentuk silindris berulir yang pemasangannya ditujukan ke dalam suatu lubang yang tersedia, atau dengan kata lain tidak memakai mur. (Joseph E. Shigley, 1986). Dalam bidang *osteoporotics*, *screw* digunakan dalam penanganan patah tulang. Penangan patah tulang yang dilakukan dengan menggunakan *screw* terdapat dua jenis yaitu *external fixation* dan *internal fixation*. Pada *internal fixation*, *screw* merupakan komponen yang sangat penting. *Screw* yang digunakan pada *internal fixation* ada dua macam menurut bentuk dan kedalaman dari ulir pada *screw* itu sendiri, dua macam *screw* itu adalah *cortical screw* dan *concellous screw*. Sedangkan berdasarkan teknik pemasangan pada pelat ada dua macam yaitu *non locking (conventional) screw* dan *locking screw*.

### 2.7.1 Screw Locking dan Non Locking

Dalam penanganan fraktur pada tulang dengan menggunakan *internal fixation bone screw* ada dua jenis *screw* yang digunakan yaitu *locking* dan *non locking screw*. *Locking screw* merupakan sebuah *screw* yang berulir pada seluruh bagian silindris nya, dan dengan bentuk ini memungkinkan *screw* tersebut mengunci posisi pelat. Sedangkan *non locking screw* tidak seluruhnya berulir, bagian kepala *screw* tidak berulir maka posisi pelat tidak terkunci. Di bawah ini merupakan gambar dari *locking* dan *non locking screw* (gambar 2.10)

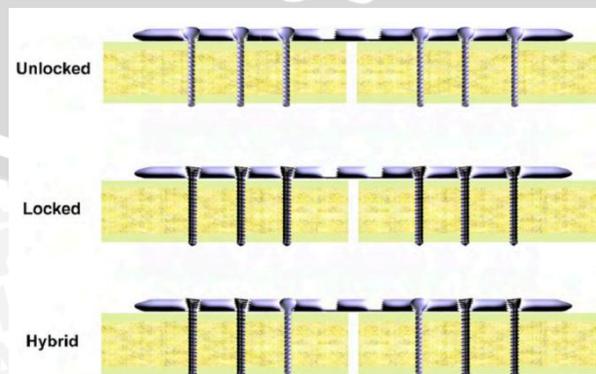


Gambar 2.10 (a) *Locking screw*, (b) *Non locking screw*

Sumber: Michael Bottlang, PhD, Josef Doornink, MS, dkk , 2009

### 2.8 Hybrid Plating

Pada penyambungan tulang yang patah dengan menggunakan metode penyambungan dalam (*internal fixation*) digunakan *plate* sebagai jembatan untuk tulang patah. Seperti halnya *screw*, pada *plate* yang digunakan juga terdapat dua macam *plate* yaitu *non locking plate* dan *locking plate*. Selama ini dalam bidang *fixation* masih banyak yang menggunakan model *non locking plating* saja atau *locking plating* saja. Dan sekarang sedang dikembangkan model *hybrid plating*. *Hybrid plating* merupakan metode penyambungan tulang patah dengan menggunakan *screw* yang jenis penguncinya merupakan campuran dari *non locking screw* dan *locking screw* (gambar 2.11).



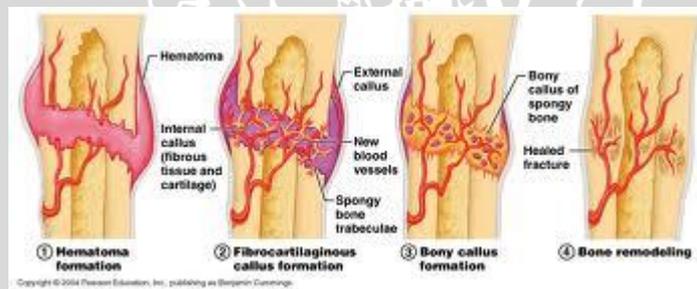
Gambar 2.11 Skema pemasangan *screw* dengan tiga model: *unlocked*, *locked*, dan *hybrid*

Sumber : Michael J. Gardner, dkk, 2006

## 2. 9 Penyembuhan Tulang (*Bone Healing*)

Secara umum proses penyembuhan tulang yang mengalami fraktur dapat dibagi menjadi dua, yaitu penyembuhan fraktur tulang primer dan penyembuhan fraktur tulang sekunder. Pada penyembuhan fraktur tulang primer terjadi *internal remodelling* yang meliputi upaya langsung oleh korteks untuk membangun kembali dirinya ketika kontinuitas terganggu. Agar fraktur menjadi menyatu, tulang pada salah satu sisi korteks harus menyatu dengan tulang pada sisi lainnya (kontak langsung) untuk membangun kontinuitas mekanis. Sedangkan penyembuhan fraktur tulang sekunder melalui pembentukan *kallus*.

Syarat bagi terbentuknya proses penyembuhan fraktur tulang primer adalah reduksi yang benar, fiksasi yang stabil, dan suplai pembuluh darah yang cukup. Apabila kestabilan pada daerah fraktur kurang akan terjadi *micromotion* dan regangan pada daerah fraktur. *Micromotion* dan regangan pada daerah fraktur akan mengganggu proses penyembuhan fraktur tulang primer dan memicu terjadinya penyembuhan fraktur tulang sekunder. Pada proses penyembuhan fraktur tulang sekunder, akan dihasilkan *kallus* dimana proses ini sama dengan proses pembentukan tulang baru. Hasil sambungan tulang pada proses penyembuhan sekunder memiliki *mechanical properties* yang sama dengan tulang aslinya.



Gambar 2.12 *Bone Healing*  
Sumber : *Anonymous 3, 2013*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental semu, yaitu melakukan studi literatur untuk mencari hubungan sebab akibat dalam suatu proses melalui pengumpulan data dari berbagai sumber, kemudian data tersebut diolah dalam simulasi yang menggunakan *software* berbasis elemen hingga.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Juni – Oktober 2013.

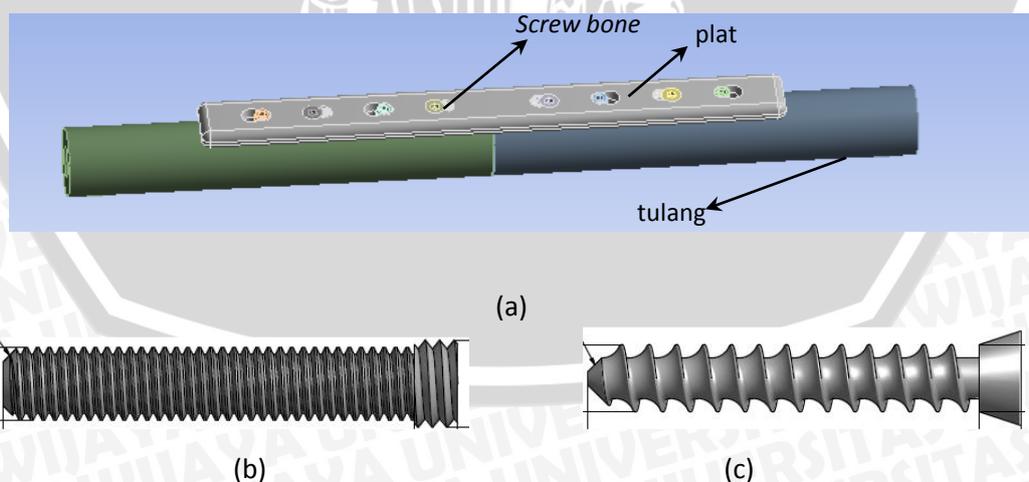
### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dimanipulasi atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diobservasi atau diamati. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

Variasi pemasangan jenis *bone screw* : *locking screw* dan *non locking screw*. Pada gambar 3.1 di perlihatkan gambar pemodelan pemasangan penyambungan tulang dan *bone screw* yang digunakan.



Gambar 3.1 (a) pemodelan pemasangan *bone screw* dan plat pada tulang  
(b) *locking screw* (c) *non-locking screw*

Variasi dari pemasangan *screw* adalah:

(N = *Non Locking*, L = *Locking*)

- a. Variasi (1) : N-N-N-L L-N-N-N
- b. Variasi (2) : L-N-N-N N-N-N-L
- c. Variasi (3) : N-L-L-L L-L-L-N
- d. Variasi (4) : L-L-L-N N-L-L-L
- e. Variasi (5) : L-N-L-N N-L-N-L
- f. Variasi (6) : N-L-N-L L-N-L-N

## 2. Variabel Terikat

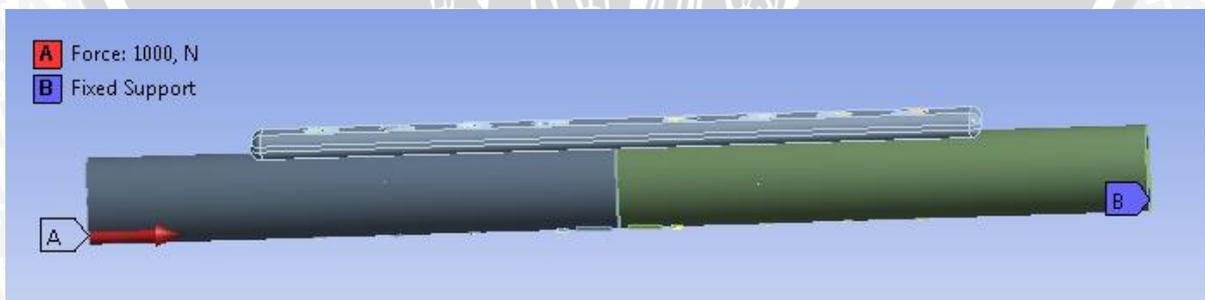
Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang ditentukan. Nilai dari variabel terikat diketahui setelah melakukan penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tegangan dan defleksi.

## 3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Properties material* yang digunakan pada permodelan tulang, plat dan *bone screw*.
- Geometri *screw bone*, plat dan permodelan tulang yang tidak disebutkan dalam variabel bebas.
- Gaya aksial yang diberikan 1000 N.
- Tumpuan *fix support*.

Pemberian gaya dan tumpuan pada pemodelan ini ditunjukkan pada gambar 3.2



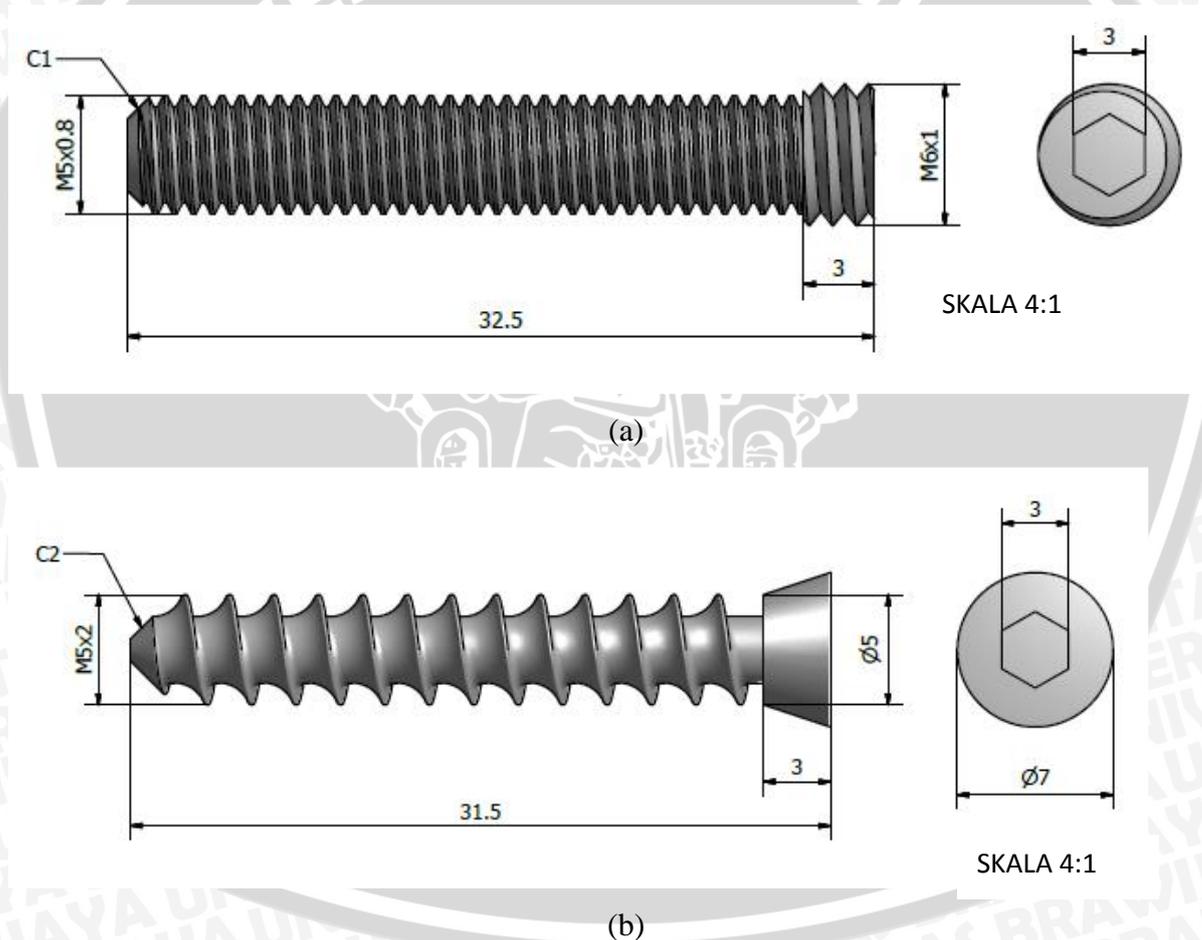
Gambar 3.2 Letak gaya dan tumpuan

### 3.4 Pemodelan Penelitian

1. Bahan yang digunakan untuk *bone screw* adalah *stainless steel SS 316 L* (Amalraju D., dkk, 2012). Karakteristik material SS 316 L yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:

- *Density* : 8000 kg/m<sup>3</sup>
- *Young modulus* : 193 GPa
- *Poisson ratio* : 0,30
- *Yield Strength* : 290 MPa
- *Tensile Strength* : 485 MPa
- *Compressive Strength* : 570 MPa

*Bone screw* yang digunakan memiliki dimensi seperti pada gambar 3.3,

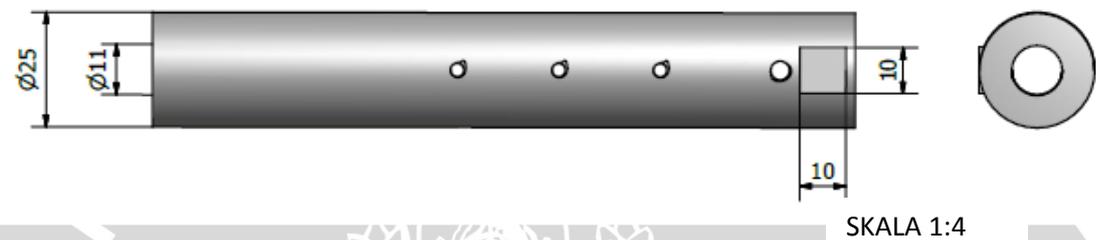


Gambar 3.3 (a) Dimensi *locking screw* (b) Dimensi *non locking screw*

## 2. Tulang

- *Density* : 1950 kg/m<sup>3</sup>
- *Young modulus* : 17,4 GPa
- *Poisson ratio* : 0,39
- *Yield Strength* : 115 MPa
- *Tensile Strength* : 133 MPa
- *Compressive Strength* : 195 MPa

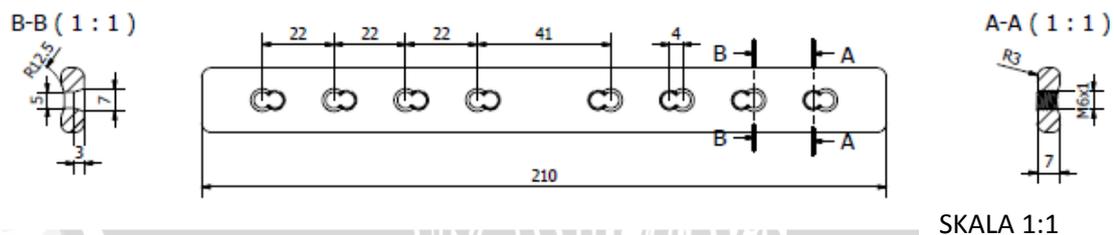
Dimensi tulang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Dimensi patahan tulang

## 3. Bahan pelat adalah *stainless steel* SS 316 L (Amalraju D., dkk, 2012).

Dimensi pelat ditunjukkan pada gambar 3.5.



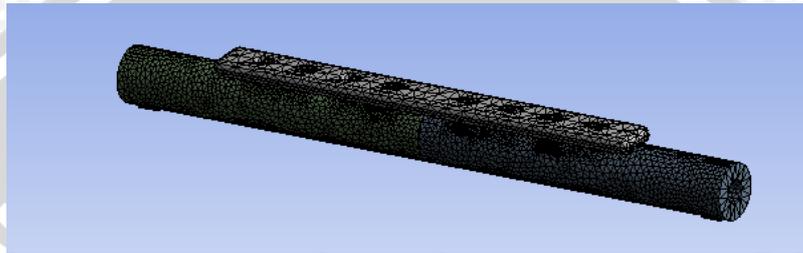
Gambar 3.5 Dimensi pelat

### 3.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan analisa pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking* terhadap kekuatan bending dengan menggunakan *software* yang terdapat dalam Ansys 14.5 Workbench. Adapun langkah – langkah dalam penelitian ini adalah :

1. Memodelkan *bone screw*, plat dan tulang dengan ukuran bentuk sesuai dengan batas-batas yang diinginkan.
2. Menentukan material bahan yang akan digunakan pada penelitian.
3. Memberi beban pada model yang telah dibuat pada penelitian.

4. *Meshing*, yaitu proses membagi geometri menjadi elemen-elemen kecil dimana nantinya dihasilkan node – node yang dapat digunakan dalam perhitungan komputasi secara elemen hingga. Semakin kecil elemen yang dibentuk semakin besar pula persamaan yang harus diselesaikan oleh *software* sehingga beban komputer akan semakin besar tetapi hasil yang akan diperoleh juga semakin akurat yang diakibatkan karena node yang dihasilkan sangat banyak. *Meshing* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu manual dan otomatis. Gambar 3.6 merupakan *meshing* untuk pemodelan kali ini.



Gambar 3.6 Meshing Model

### 3.6 Langkah – langkah Simulasi pada *Software*

Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys 14.5 Workbench dengan analisis secara statis. Langkah-langkah proses simulasi dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

1. *Preprocessing*
2. *Solution*
3. *Postprocessing*

#### 3.6.1 *Preprocessing*

Pada tahap ini dilakukan pemodelan:

1. *Import file* geometri benda kerja yang sudah dimodelkan dari *software* Solidwork dalam bentuk *file type* (.SLDASM) ke dalam *software* analisis Ansys 13.0 Workbench.
2. Menentukan jenis sistem analisis, dalam hal ini dipilih jenis *Static Structural*.
3. Memasukkan *material properties* untuk tulang, pelat dan *bone screw*.
4. Melakukan *meshing* pada semua *body* benda kerja.
5. Menentukan besar pembebanan pada sambungan tulang dan tumpuan sesuai prosedur pengujian.

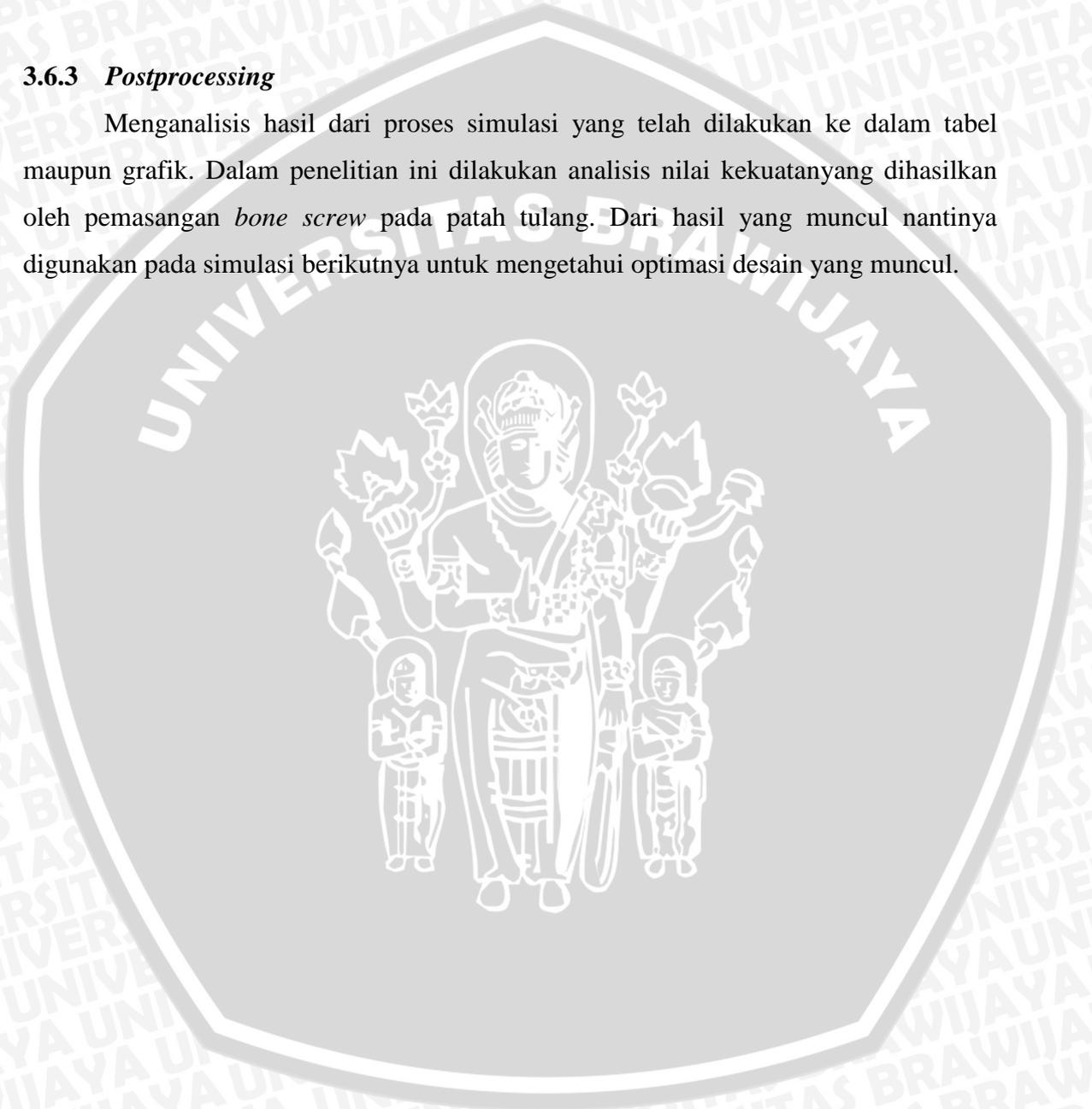
### 3.6.2 *Solution*

Pada tahap ini mendefinisikan jenis hasil yang akan ditampilkan yang mengacu kondisi batas sebelumnya. Dalam simulasi ini dipilih :

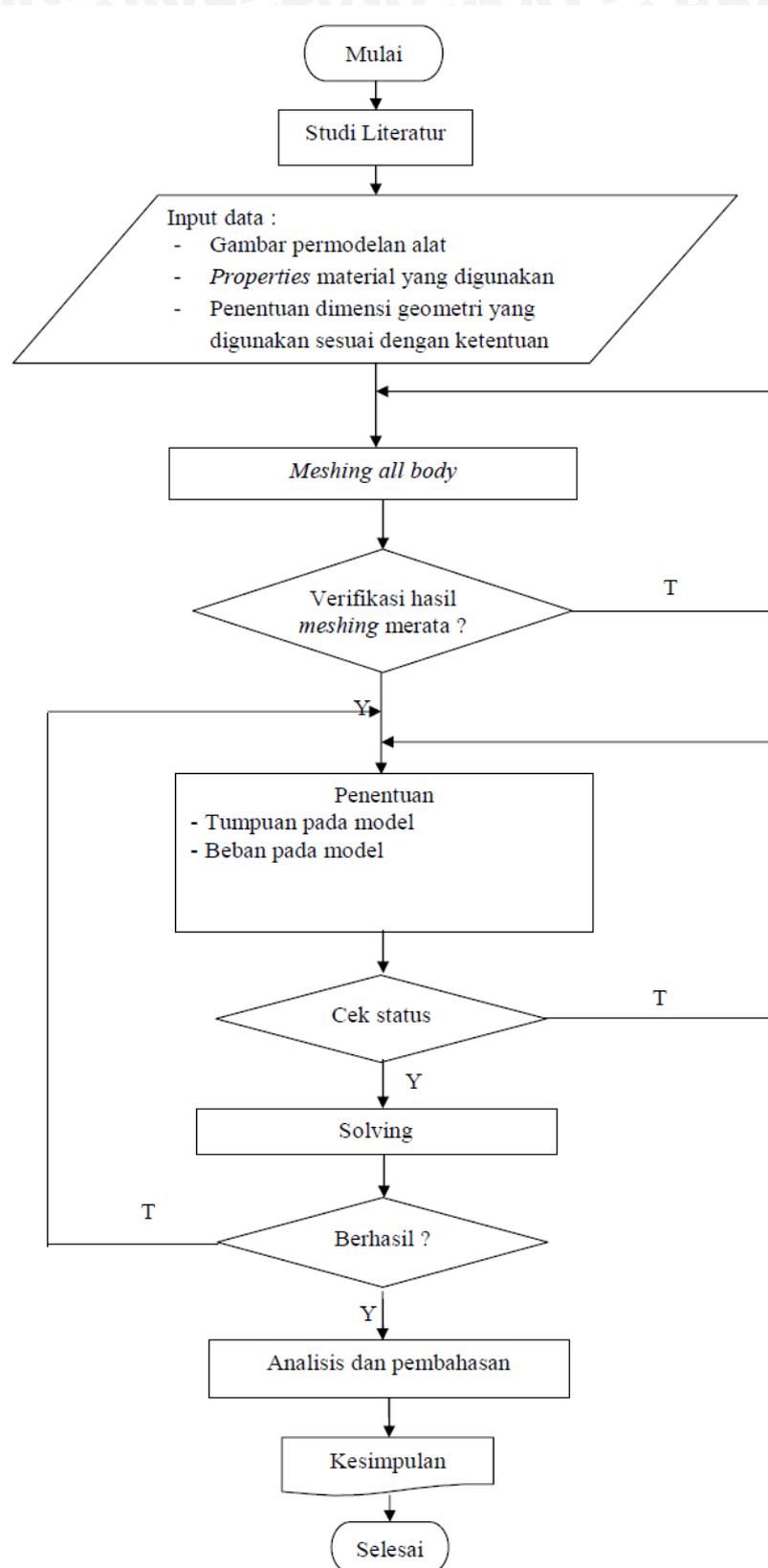
- *Directional Deformation* pada semua *body*.
- *Equivalent Stress* pada semua *body*.

### 3.6.3 *Postprocessing*

Menganalisis hasil dari proses simulasi yang telah dilakukan ke dalam tabel maupun grafik. Dalam penelitian ini dilakukan analisis nilai kekuatanyang dihasilkan oleh pemasangan *bone screw* pada patah tulang. Dari hasil yang muncul nantinya digunakan pada simulasi berikutnya untuk mengetahui optimasi desain yang muncul.



## 3.7 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

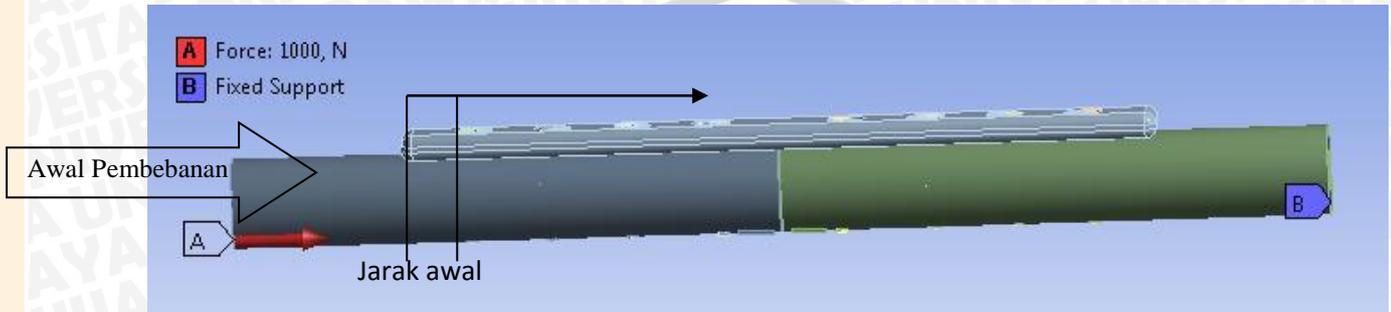


Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

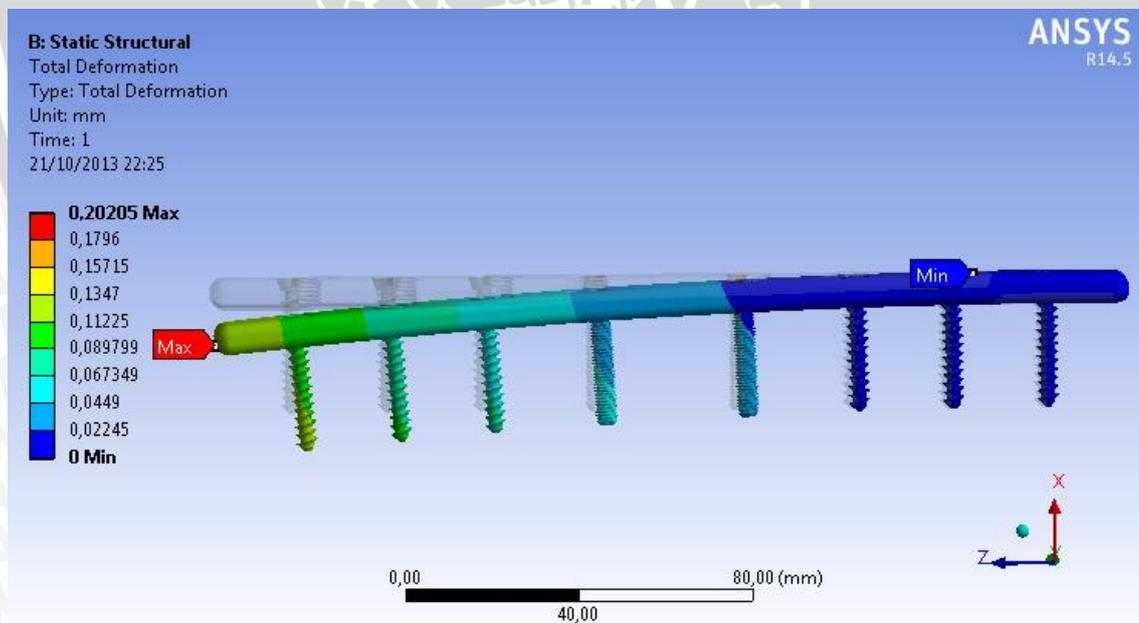
### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Data Defleksi Total



Gambar 4.1 Pemodelan awal spesimen

Gambar 4.1 menunjukkan model awal spesimen yang diberikan beban sebesar 1000 N ke arah aksial pada salah satu sisinya. Model tumpuan digunakan bentuk *fix support* pada sisi yang lain. Pada penelitian ini diambil data defleksi sepanjang pelat dan panjang awal diukur dari awal pembebanan ke arah aksial sepanjang pelat. Defleksi pada gambar 4.2 merupakan salah satu contoh defleksi total pada variasi (1).



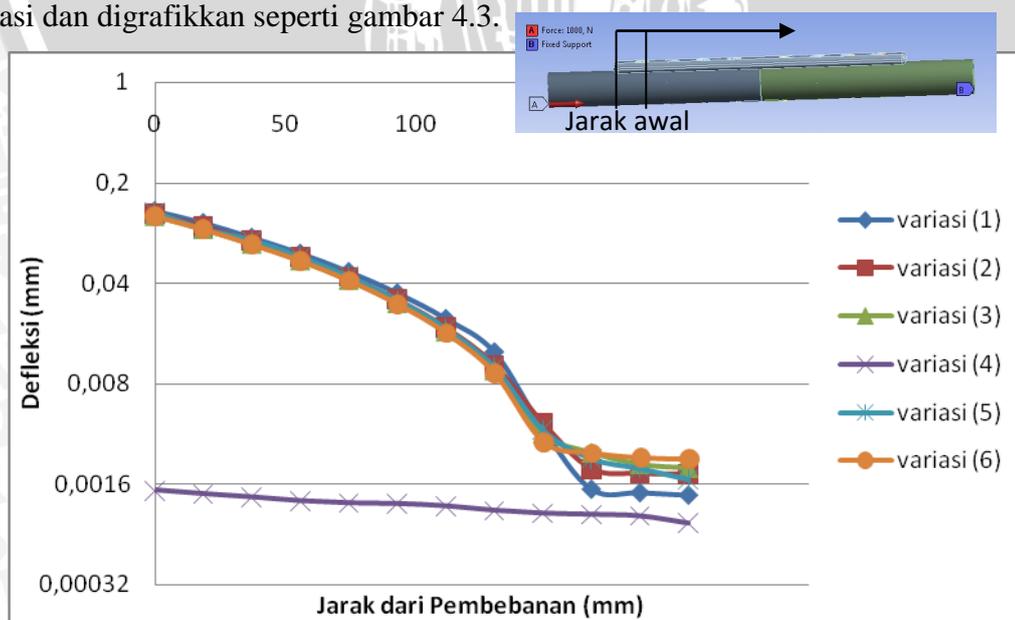
Gambar 4.2 Defleksi yang terjadi pada *hybrid plating* variasi (1)

Tabel 4.1 berikut ini merupakan data defleksi yang terjadi pada sepanjang pelat yang digunakan dari panjang awal pembebanan

Tabel 4.1 Defleksi yang Terjadi pada *Hybrid Plating*

No	Length [mm]	Defleksi [mm]					
		variasi (1)	variasi (2)	variasi (3)	variasi (4)	variasi (5)	variasi (6)
1	0	0,12739	0,1213	0,11772	1,45E-03	0,12436	0,11719
2	18,545	0,1052	9,88E-02	0,0952	1,37E-03	0,0956	9,49E-02
3	37,091	8,32E-02	7,83E-02	0,0754	1,30E-03	7,97E-02	7,43E-02
4	55,636	6,45E-02	6,00E-02	5,77E-02	1,23E-03	6,08E-02	5,71E-02
5	74,182	4,81E-02	4,42E-02	4,23E-02	1,19E-03	4,45E-02	4,16E-02
6	92,727	3,42E-02	3,06E-02	2,92E-02	1,17E-03	3,06E-02	2,86E-02
7	111,27	2,27E-02	1,96E-02	1,85E-02	1,13E-03	1,93E-02	1,79E-02
8	129,82	1,33E-02	1,08E-02	9,92E-03	1,06E-03	1,04E-02	9,37E-03
9	148,36	3,90E-03	4,27E-03	3,59E-03	1,01E-03	3,82E-03	3,12E-03
10	166,91	1,47E-03	2,05E-03	2,65E-03	9,90E-04	2,40E-03	2,62E-03
11	185,45	1,39E-03	1,90E-03	2,20E-03	9,66E-04	2,05E-03	2,42E-03
12	204	1,34E-03	1,88E-03	2,07E-03	8,63E-04	1,72E-03	2,37E-03

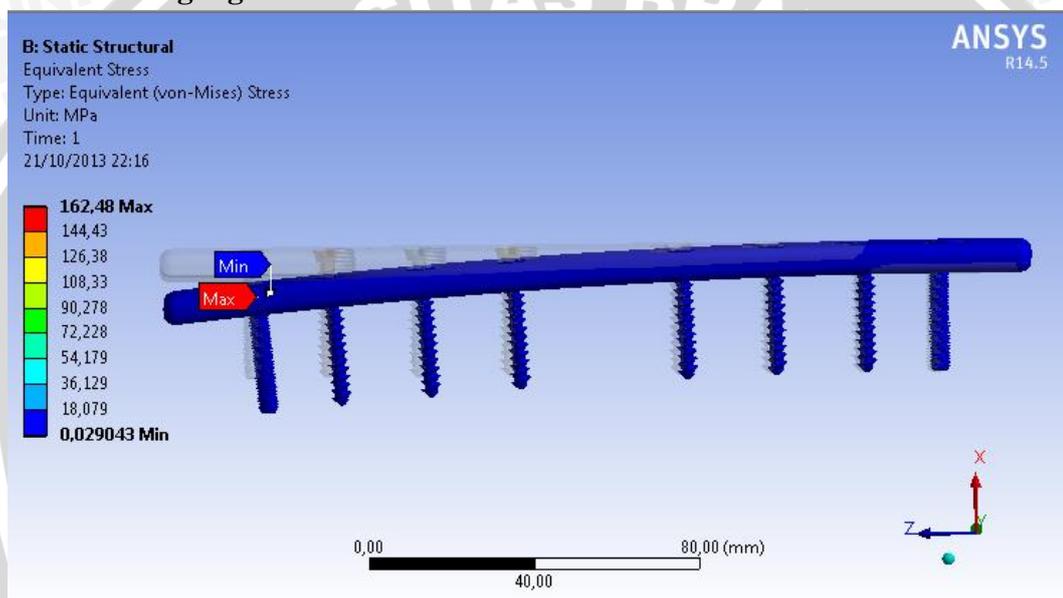
Dari tabel 4.1 data defleksi yang terjadi pada *hybrid plating* didapat hubungan antara jarak pelat dari awal pembebanan dan defleksi yang terjadi pada tiap – tiap variasi dan digambarkan seperti gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan panjang pelat dengan defleksi

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin panjang jarak dari pembebanan maka defleksi yang terjadi semakin kecil, sebaliknya jarak yang berada dekat dengan pembebanan defleksinya besar. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa lima variasi dari variasi yang ada memiliki trend data yang hampir sama. Dan satu variasi yang memiliki trend data yang berbeda dari lima variasi yang lainnya. Variasi (4) memiliki defleksi yang lebih kecil daripada lima variasi lainnya, dapat dilihat pada gambar 4.3 dari jarak awal sampai akhir nilai defleksi yang terjadi pada variasi (4) nilai besarnya defleksi berada dibawah lima variasi yang lainnya.

#### 4.1.2 Data Tegangan Maksimal



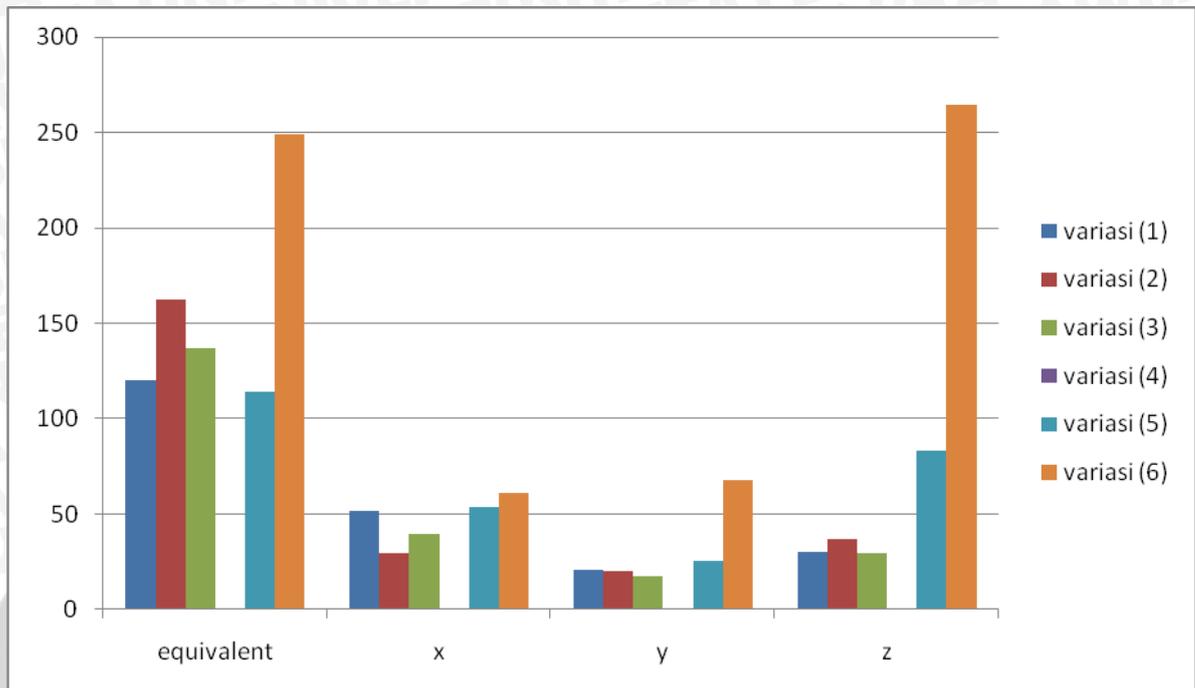
Gambar 4.4 Tegangan pada *hybrid plating* variasi (1)

Gambar 4.4 merupakan contoh gambar hasil simulasi pada *hybrid plating* variasi (1). Tabel 4.2 menampilkan data hasil simulasi yang didapatkan yaitu tegangan maksimal pada masing – masing arah sumbu dan tegangan ekuivalen yang terjadi pada tiap – tiap variasi.

Tabel 4.2 Data Tegangan Maksimal pada *Hybrid Plating*

Arah stress	Stress Max (MPa)					
	variasi (1)	variasi (2)	variasi (3)	variasi (4)	variasi (5)	variasi (6)
<i>equivalent</i>	120,44	162,48	137,07	3,1268 E-004	113,85	249,31
x	51,674	29,394	39,867	1,0299 E-004	53,992	61,33
y	20,721	20,101	17,421	7,4309 E-005	25,838	67,78
z	30,199	37,088	29,687	7,4131 E-005	82,914	264,21

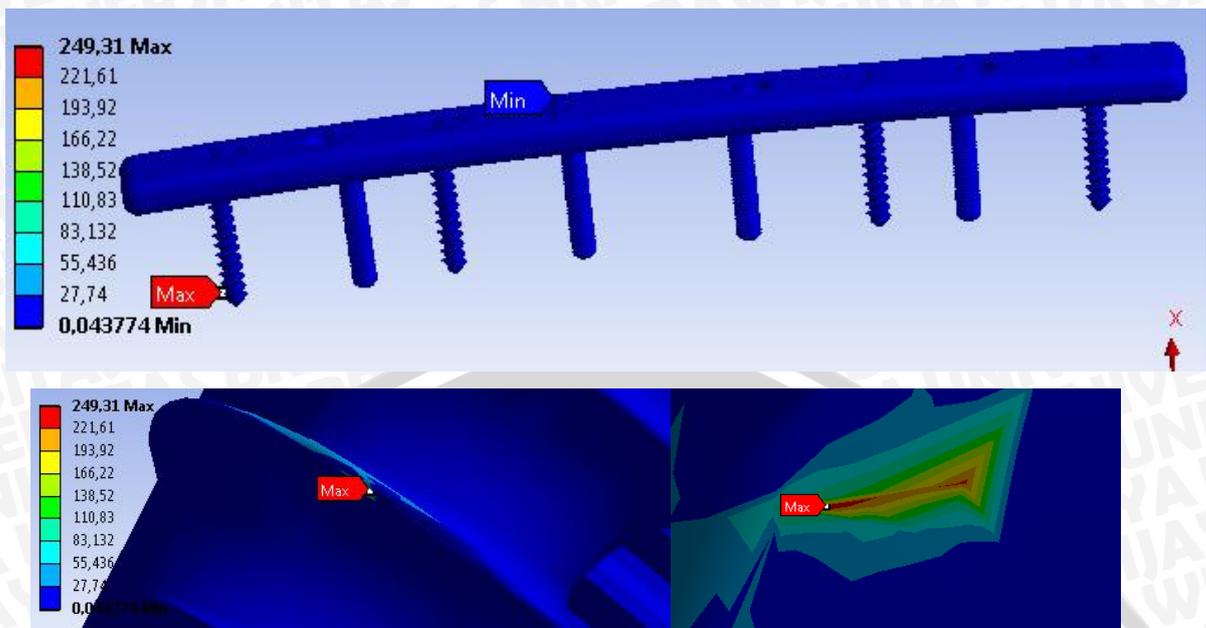
Data pada tabel 4.2 ditampilkan dalam bentuk diagram batang seperti gambar 4.6.



Gambar 4.5 Tegangan maksimal pada berbagai variasi dari pemasangan *hybrid plating*.

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa semua data tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan *yield* untuk pelat dan *screw*. Berdasarkan data Von Mises yang digunakan tegangan yang terjadi masih berada dititik aman yaitu di bawah 290 MPa. Nilai tegangan tertinggi pada tegangan total adalah variasi (6) yaitu sebesar 249,31 MPa lalu diikuti dengan variasi (2) sebesar 162,48 MPa, variasi (3) sebesar 137,07 MPa, variasi (1) sebesar 120,44 MPa, variasi (5) sebesar 113,85 dan yang terakhir dan terkecil adalah variasi (4) sebesar 3,1268 E-004 MPa.

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa tegangan tertinggi terjadi pada *hybrid plating* dengan variasi (6), dan tegangan terendah terjadi pada variasi (4). Variasi (6) mendominasi tegangan tertinggi pada berbagai macam tegangan.

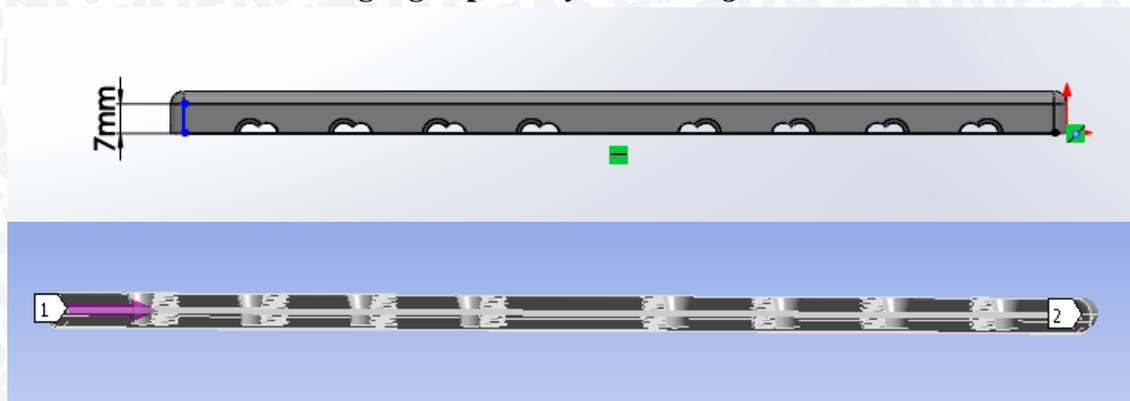


Gambar 4.6 Tegangan pada pemasangan *hybrid plating* variasi (6)

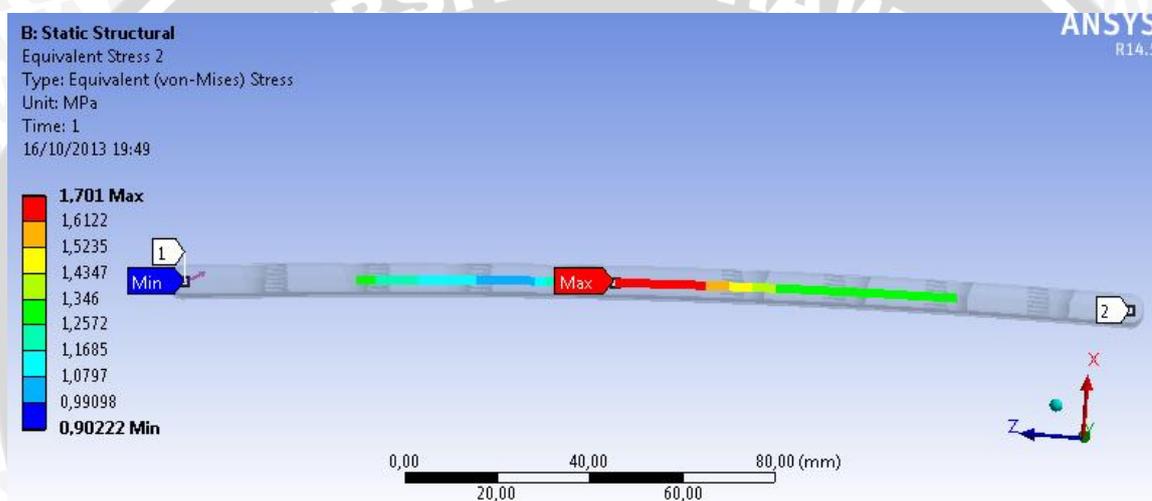
Tegangan tertinggi pada variasi (6) terjadi pada *screw* di daerah yang berkontak langsung dengan tulang, dapat dilihat pada gambar 8. Tegangan yang dihasilkan sebesar 249,31 MPa yang berada dibawah *yield strength* untuk *screw* yang bernilai 290 MPa. Tegangan yang dihasilkan ini berada di atas nilai *yield strength* pada tulang yang bernilai 115 Mpa, sehingga dapat diprediksi terjadi kegagalan pada variasi (6) pada bagian tulang.

Untuk variasi (4) memiliki tegangan yang sangat kecil dan jauh dari nilai *yield strength* yang dimiliki oleh tulang maupun *screw* dan pelat. Pada 4 variasi yang lain, tegangan tertinggi berada pada *screw* yang berkontak langsung dengan pelat. Tegangan maksimal pada *screw* yang berkontak dengan tulang memiliki nilai dibawah *yield strength* tulang.

4.1.3 Data Distribusi Tegangan pada *Hybrid Plating*



Gambar 4.7 Daerah pengambilan data



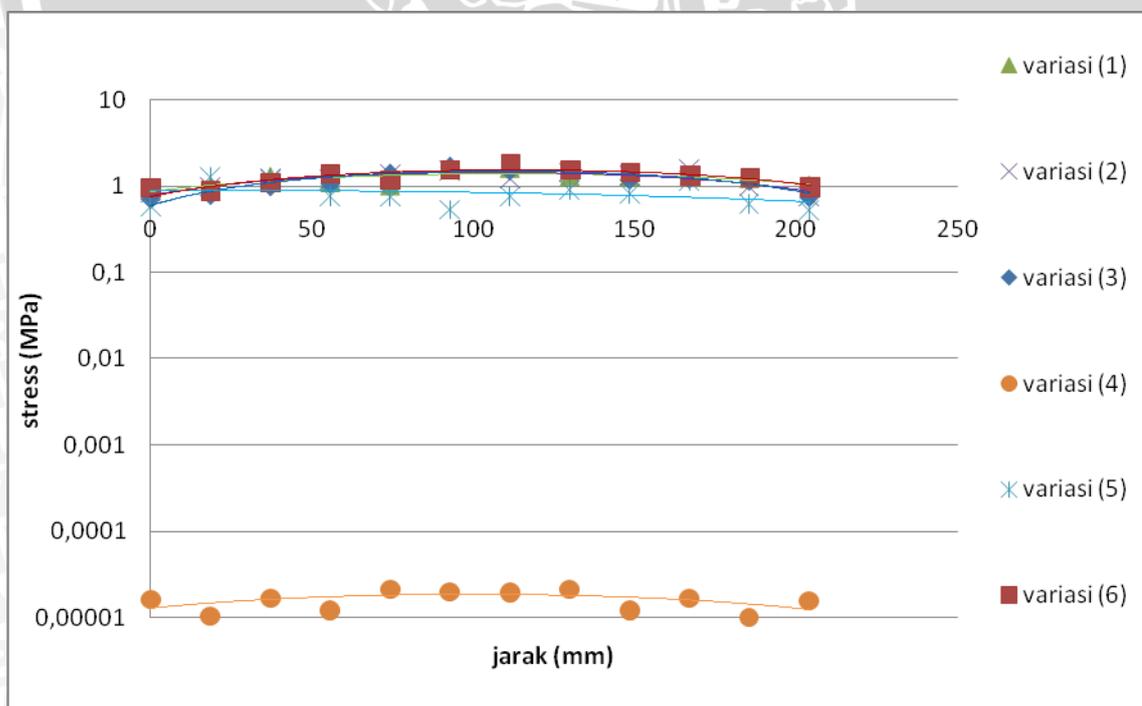
Gambar 4.8 Distribusi tegangan pada *hybrid plating* variasi (1)

Gambar 4.8 merupakan gambar distribusi tegangan pada *hybrid plating*, dimana data diambil pada bagian tengah dari pelat sepanjang pelat jarak pertama diambil dari tempat pembebanan awal. Tabel 4.3 di bawah ini merupakan data distribusi tegangan pada tiap – tiap variasi.

Tabel 4.3 Data Distribusi Tegangan pada *Hybrid plating*

No	Length [mm]	Stress (Mpa)					
		variasi (1)	variasi (2)	variasi (3)	variasi (4)	variasi (5)	variasi (6)
1	0	0,90222	0,83944	0,72612	1,63E-05	0,58379	0,94982
2	18,545	0,99156	1,0121	0,80346	1,04E-05	1,2915	0,86676
3	37,091	1,2977	1,2078	1,0095	1,70E-05	1,2493	1,089
4	55,636	1,117	1,2066	1,0743	1,21E-05	0,76435	1,3824
5	74,182	1,0234	1,4032	1,4101	2,15E-05	0,75534	1,1799
6	92,727	1,701	1,5538	1,6859	2,02E-05	0,53648	1,5475
7	111,27	1,6308	1,227	1,5287	1,99E-05	0,77326	1,8121
8	129,82	1,3084	1,4512	1,5334	2,13E-05	0,90489	1,5414
9	148,36	1,2719	1,3464	1,1994	1,21E-05	0,8264	1,4366
10	166,91	1,3001	1,6124	1,2295	1,70E-05	1,1469	1,3263
11	185,45	1,2458	0,99642	1,1664	1,00E-05	0,62542	1,2583
12	204	1,0271	0,76675	0,75801	1,56E-05	0,52302	0,96596

Tabel 4.3 merupakan data pengujian dari pelat yang digunakan pada berbagai variasi pemasangan *screw*. Gambar 4.9 merupakan gambar grafik yang menunjukkan distribusi tegangan pada tiap pelat yang digunakan sesuai dengan variasi yang digunakan.



Gambar 4.9 Grafik hubungan jarak dengan distribusi tegangan pada pelat

Gambar 4.9 menunjukkan hubungan antara tegangan yang terjadi pada pelat terhadap distribusi tegangan pada jarak tertentu. Dari grafik tersebut dapat dilihat semakin jauh jarak dari pembebanan maka tegangan akan semakin naik dan pada jarak tertentu akan kembali turun. Pelat di daerah patahan memiliki tegangan yang lebih besar daripada bagian lainnya. Hal ini karena pada bagian tersebut menerima 2 gaya yaitu momen dan gaya resultan dari pembebanan pada tulang. Momen terjadi karena gaya yang diberikan tidak segaris dengan *screw* yang menjadi tumpuan. Gaya yang diterima pelat merupakan resultan dari gaya pada tulang dan *screw*.

Pada gambar 4.9 dapat dilihat pada variasi (4) pelat memiliki tegangan yang sangat kecil sekali. Bahkan jika dilihat dari gambar perbedaannya cukup jauh dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Tegangan yang sangat kecil membuktikan bahwa pada *hybrid plating* dengan variasi (4) memiliki kemampuan yang baik untuk menahan beban secara aksial.

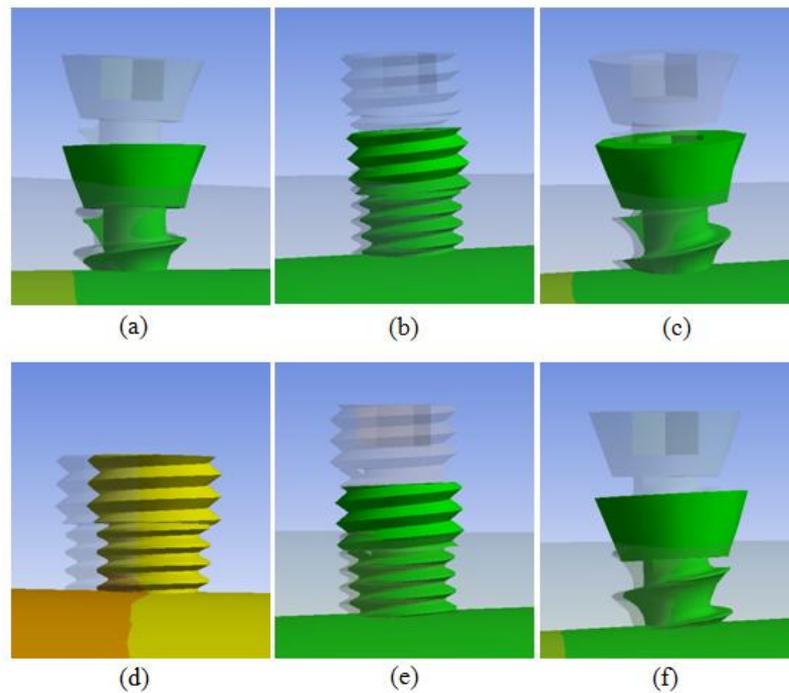
## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Defleksi dan Tegangan pada Pemasangan *Hybrid plating*

Pada penelitian kali ini didapatkan data yaitu defleksi dan tegangan yang diambil dengan menggunakan Von Mises. Dari data tabel 4.2 dan gambar 4.5 dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang terjadi pada pemasangan *hybrid plating* pada variasi (6) nilai tegangan tertingginya berada di atas nilai *yield strength* pada tulang untuk itu pada tulang dapat terjadi keretakan. Hal ini dikarenakan pada variasi ini *screw non locking* berada pada penempatan paling dekat dengan pembebanan, selain itu *screw locking* yang berada pada posisi kedua dari pembebanan menjadi tumpuan pada kepala *screw* yang berkontak langsung dengan pelat, karena memiliki kekuatan yang paling tinggi pada *screw* maupun pelatnya. Oleh karena itu pada ujung bawah *screw non locking* yang paling dekat dengan pembebanan memiliki tegangan tertinggi. Untuk itu variasi (6) merupakan variasi terburuk pada pemodelan.

Pada 5 variasi yang lain, tegangan masih berada di bawah nilai *yield strength* nya, yaitu dibawah 290 GPA dan berada pada bagian *screw* yang berkontak langsung dengan pelat. Kondisi ini merupakan kondisi aman untuk 5 variasi yang lain untuk pemodelan yang dilakukan. Selain itu dapat dilihat pada gambar 4.5, variasi (4) merupakan variasi terbaik karena tegangan yang terjadi paling kecil.

Dari data defleksi pada tabel 4.1 pemasangan *hybrid plating*, dari semua variasi dapat diketahui bahwa pada variasi (4) merupakan variasi terbaik dalam pemasangan *hybrid plating*. Dapat dilihat pada gambar grafik 4.3, pada variasi (4) memiliki trend data dibawah lima variasi yang lainnya. Dari data pada tabel 4.3, dapat dilihat kemungkinan pemasangan *hybrid plating* untuk *pull out* ataupun tetap berada pada posisinya setelah diberi pembebanan, seperti yang ditunjukkan gambar 4.10.



Gambar 4.10 *Pull out* pada *screw* (skala 39), (a) variasi (1), (b) variasi (2), (c) variasi (3), (d) variasi (4), (e) variasi (5), (f) variasi (6)

Dari gambar 4.10 di atas, pada variasi (4) dapat diketahui bahwa kemungkinan untuk *pull out* sangat kecil bila dibandingkan dengan kelima variasi yang lainnya. Sehingga kemungkinan terjadi *pull out* pada pemasangan *hybrid plating* kecil. *Screw* yang keluar dengan *pull out* akan memberikan tegangan yang lebih besar lagi dan tentunya tulang dan jaringannya yang bersentuhan langsung dengan *screw* akan tertarik keluar secara paksa.

Pada variasi (4) tegangan dan defleksinya sangat kecil dikarenakan penempatan masing – masing bagian 3 *screw locking* yang berada di luar daerah patah. Pada *screw locking* kepala dari *screw* mengunci pelat, kondisi ini membuat pelat *screw* dan tulang menjadi satu kesatuan. Oleh karena itu, pada variasi (4) memiliki sifat kekakuan yang lebih tinggi. Dengan kakunya pemasangan pelat pada tulang patah maka pemodelan ini akan lebih kuat apabila mendapatkan beban secara aksial dan resiko *pull out* lebih kecil

daripada lima variasi yang lainnya. Sehingga variasi (4) merupakan variasi yang terbaik untuk variasi pemasangan *screw* pada *hybrid plating*.

#### 4.2.2 Jarak Antar Tulang setelah Pembebanan

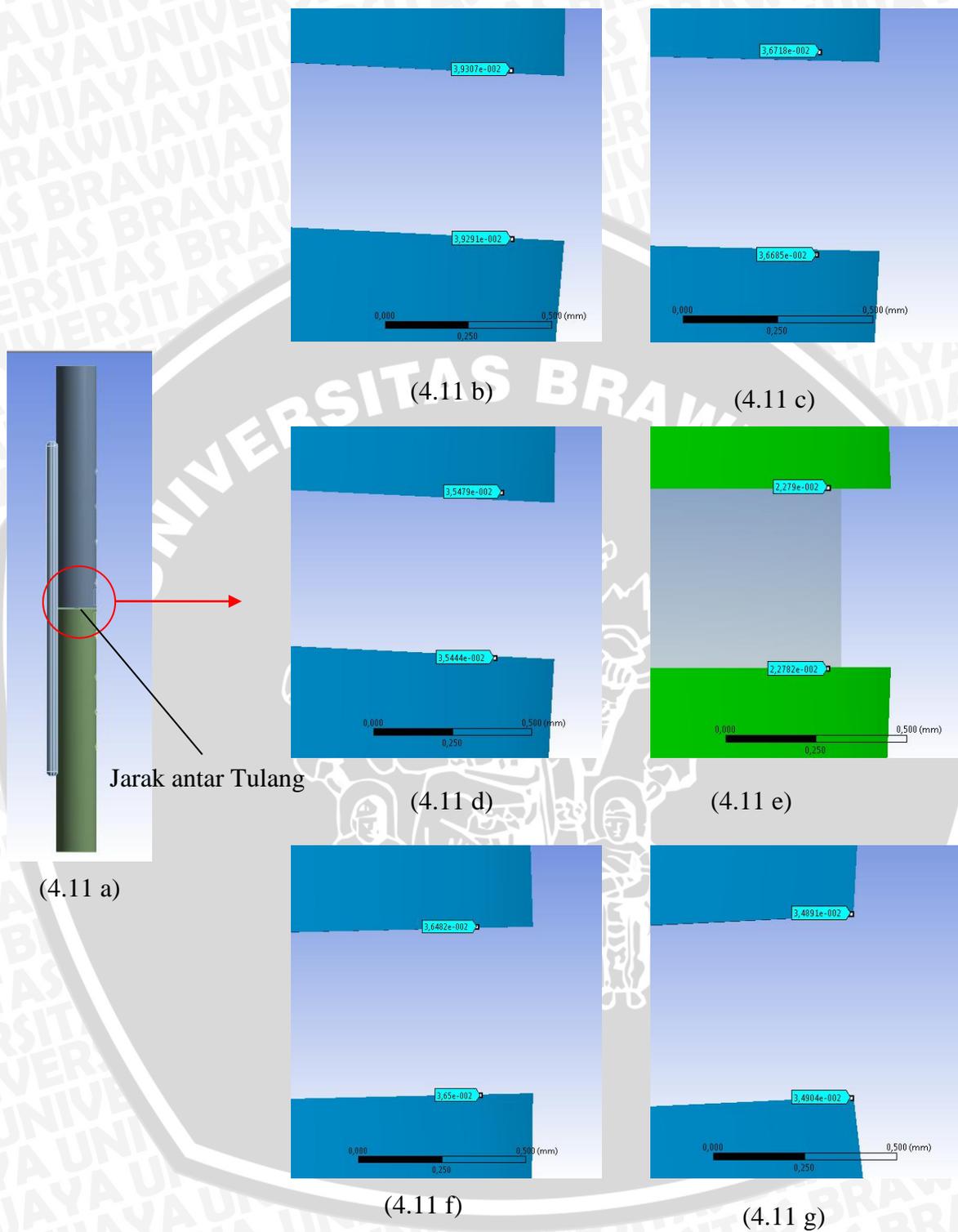
Dilihat dari segi medis, penyambungan kembali tulang (*bone healing*) dilakukan ada dua cara yaitu *primary bone healing* dan *secondary bone healing*. Pada tulang *femur* yang tidak membutuhkan penyembuhan secara anatomi dilakukan mekanisme *secondary bone healing* yang mana pada mekanisme ini dibutuhkan jarak antar tulang patah agar terjadi *micromotion* dimana tulang muda (*kallus*) dapat tumbuh dan menyambung kembali tulang yang patah. Pada *secondary bone healing* jarak penting ada agar *kallus* terbentuk untuk mengetahui apakah tulang sudah kembali tersambung atau belum.

Untuk itu jarak antar tulang ditinjau untuk mengetahui apakah pemasangan *hybrid plating* berpengaruh pada jarak antar tulang setelah terjadi pembebanan. Pada gambar 4.11 menunjukkan pengaruh pembebanan aksial terhadap jarak antar tulang untuk proses *bone healing*.

Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa semua jarak antar tulang yang patah pada masing – masing variasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan atau bisa dikatakan sama. Jadi penempatan *screw* pada *hybrid plating* tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk proses *bone healing* jika ditinjau dari jarak antar tulang setelah pembebanan.

Hal ini menunjukkan bahwa pada penelitian kali ini yang berpengaruh pada pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* adalah pada *pull out* (dilihat dari besarnya tegangan dan defleksi yang terjadi). Pada *bone healing*, pemasangan dengan variasi apapun tetap membuat proses *secondary bone healing* dapat terjadi. Berdasarkan acuan tersebut maka variasi pemasangan *hybrid plating* yang paling baik adalah yang memberikan *pull out* paling sedikit.

Perbesaran Jarak antar Tulang



Gambar 4.11 (a) Keadaan awal pemasangan *hybrid plating* sebelum terjadi pembebanan (b) variasi (1), (c) variasi (2), (d) variasi (3), (e) variasi (4), (f) variasi(5), (g) variasi (6)

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa tegangan dan *pull out* pemasangan *hybrid plating* penderita fraktur *femur* dengan variasi *bone screw* jenis *locking* dan *non locking* didapatkan kesimpulan yaitu variasi L-L-L-N N-L-L-L mempunyai kekuatan yang maksimal dan mengalami *pull out* paling minimal.

#### 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, peneliti berharap untuk kedepannya

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambah variasi pembebanan yaitu beban bending dan beban torsi.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan pelat berbahan polimer.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amalraju D., dkk, 2012. *Mechanical Stength Evaluation Analysis of Stainless Steel and Titanium Locking Plate for Femur Bone Fracture*. ESTIJ
- Bottlang, Michael, PhD, dkk, 2009. *A Nonlocking End Screw Can Decrease Fracture Risk Caused by Locked Plating in the Osteoporotic Diaphysis*.
- E. Shigley, Joseph, 1986. *Perencanaan Teknik Mesin*. Erlangga, Jakarta.
- J. Gardner, Michael, dkk, 2006. *Hybrid Locked Plating of Osteoporotic Fractures of the Humerus*.
- L. Freemaan, Andrew, dkk, (2010). "How Much Do Locked Screw Add to the Fixation of "Hybrid" Plate Construct in Osteoporotic Bone?". *J Orthop Trauma*
- L.Mott, Robert, 2009. *Machine Elements And Mechanical Design*, Edisi Pertama, Unisersity Of Dayton
- Nash, William, 1998. *Strength of Materials*. Schaum's Outlines,
- W. Buchloz, Robert, dkk, 2005. *Rockwood and Green's Fracture in adults, 6th Edition*, Lippincott.
- Anonymous 1, 2007. <http://php.med.unsw.edu.au/embryology/index.php?title=File:Bone-femur.jpg>
- Anonymous 2, 2012. [http://www.physio-pedia.com/Femoral\\_Fractures](http://www.physio-pedia.com/Femoral_Fractures)
- Anonymous 3, 2013. <http://heyaristi.tumblr.com/post/21504296676>