

**LAPORAN PENELITIAN**  
**PENELITIAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**

No Kontrak : 1279/UN40/PP/2018

**PENELITIAN DRPMKEMENRISTEK DIKTI**



**PENGARUH DEFORMASI PLASTIS TERHADAP SIFAT MEKANIS,  
PERAMBATAN RETAK, DAN FATIGUE, PADA *BIO-DEGRADABLE*  
MATERIAL MAGNESIUM PADUAN SETELAH MELALUI PROSES  
ECAP DAN PERNDAMAN DALAM CAIRAN FISILOGIS DMEM**

**Tahun ke-2 dari Rencana 3 Tahun**

**Tim Pengusul :**

Drs. Uum Sumirat, MPd., M.T

Prof. Dr. Asari Djohar, MPd

Dr. Iwa Kuntadi, MPd

**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

**2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengaruh Deformasi Plastis Terhadap Sifat Mekanis, Perambatan Retak, Dan Fatigue, Pada Bio-Degradable Material Magnesium Paduan Setelah Melalui Proses Ecap Dan Perndaman Dalam Cairan Fisiologis Dmem

Pelaksana  
Nama Lengkap : Drs. H. Uum Sumirat, M.Pd. M.T.  
NIDN : 0003026206  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Nomor HP : 082219414130  
Alamat surel (e-mail) : [sumiratum@gmail.com](mailto:sumiratum@gmail.com)

Anggota (1)  
Nama Lengkap : Prof. Dr. Ashari Djohar, M.Pd.  
NIDN : 005125003  
Perguruan Tinggi : Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI

Anggota (2)  
Nama Lengkap : Dr. Iwa Kuntadi, M.Pd.  
NIDN : 196208301988031002  
Perguruan Tinggi : Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI  
Institusi Mitra  
Nama Institusi Mitra :-  
Alamat :-  
Penanggung Jawab : Drs. H. Uum Sumirat, M.Pd. M.T.  
Tahun Pelaksanaan : 2017  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 75.000.000,-  
Biaya Keseluruhan : Rp 225.000.000,-

Bandung, 5 September 2018



(Prof. Dr. Ahman , M.Pd)  
NIP/NIK 195901041985031002

Ketua,



Drs. H. Uum Sumirat, M.Pd. M.T.,  
NIP. 196202031985031003

# **PENGARUH DEFORMASI PLASTIS TERHADAP SIFAT MEKANIS, PERAMBATAN RETAK, DAN FATIGUE, PADA *BIO-DEGRADABLE* MATERIAL MAGNESIUM PADUAN SETELAH MELALUI PROSES ECAP DAN PERNDAMAN DALAM CAIRAN FISILOGIS DMEM**

## **RINGKASAN**

Plat implan tulang hanya digunakan sementara, yaitu selama proses penyembuhan patah tulang sampai tersambung kembali tulang yang patah. Setelah itu harus dilakukan kembali operasi pengambilan plat implant tersebut. Dengan menggunakan biodegradable material maka tidak perlu dilakukan operasi pengambilan kembali, karena plat implan yang terbuat dari *biomaterial degradable* akan terdegradasi dan hancur dalam tubuh. Sebagai pengganti fungsi tulang yang patah selama proses fiksasi maka plat implan harus mampu menahan beban sampai tersambung kembali dan fungsinya diambil alih oleh tulang yang telah tersambung setelah itu terdegradasi dan hancur dalam tubuh. Salah satu material yang mempunyai kemampuan terdegradasi dan hancur dalam tubuh adalah magnesium (Mg). Akan tetapi kelemahan magnesium adalah sifat tahan korosinya dalam cairan tubuh yang lebih cepat sebelum tersambung kembali tulang yang patah. Oleh karena itu, proses *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP) akan meningkatkan kemampuan magnesium dalam menahan korosi dan meningkatkan sifat mekanisnya, sehingga mampu menggantikan fungsi plat implant yang patah sampai fungsinya sebagai plat implant diambil alih oleh tulang yang telah tersambung kembali dan selanjutnya terdegradasi dalam tubuh. Lingkungan cairan tubuh yang bersifat korosif, adanya beban berulang yang ditahan oleh plat implant selama proses fiksasi mengakibatkan terjadinya kelelahan plat implant. Untuk itu pengujian laju rambat retak Magnesium paduan ECAP setelah melalui proses perendaman dalam cairan fisiologis DMEM akan diketahui peningkatan kekuatan mekanis magnesium sehingga akan menjawab kelayakan magnesium ecap sebagai *biodegradable* material.

***Kata kunci: magnesium, ECAP, rambat retak, biomaterial***

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
RINGKASAN .....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL .....	v
BAB 1 PENDAHULUAN .....	6
A. Latar Belakang.....	6
B. Tujuan Umum .....	8
C. State Of the Art .....	8
D. Perumusan Masalah.....	8
F. RoadMap Penelitian.....	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	11
A. Definisi Biomaterial.....	11
B. Magnesium .....	11
C. Metode Equal Chanel Angular Processing ( ECAP) .....	12
D. Upper Bound Analisy.....	13
E. Analisis Plunger Sebagai kolum ( Robet L.Mott , 2004 ) .....	14
BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	15
A. Tujuan Penelitian .....	15
B. Manfaat Penelitian.....	15
BAB 4 METODE PENELITIAN.....	16
A. Flow Chart Penelitian.....	17
BAB 5 HASIL DAN LUARAN .....	18
A. Hasil.....	18
B. Luaran .....	19
BAB 6 RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA.....	20
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN .....	21
A. Kesimpulan.....	21
B. Saran .....	21
DAFTAR PUSTAKA .....	22
LAMPIRAN .....	23

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1 Roadmap Penelitian 1 .....	9
Gambar 2 Roadmap Penelitian 2 .....	10
Gambar 3 Metode ECAP Sumber: ASME, 2015.....	12
Gambar 4 Dies Ecap 120° .....	12
Gambar 5 Perbandingan Load eksperimental .....	13

## **DAFTAR TABEL**

Table 1 Hasil Spesimen Pertama .....	18
Table 2 Hasil Specimen ke 2 .....	18
Table 3 Hasil Specimen Ke-3 .....	19

## BAB 1 PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Biomaterial dalam aplikasi ortopedi digunakan sebagai sebagai plat implant dan sekrup dalam proses fiksasi tulang yang patah sampai tersambungannya tulang dan fungsinya diambil alih kembali oleh tulang. Plat implant berfungsi menggantikan tulang sebagai struktur untuk menahan beban selama proses fiksasi. Untuk itu material plat implant harus mempunyai kemampuan mekanis yang mencukupi selama waktu penyembuhan sampai tersambungannya kembali tulang yang patah, memiliki kecepatan

biodegradasi yang bisa mengimbangi laju penyambungan tulang kembali, memiliki biokompatibilitas dan aman bagi tubuh.

Material plat implant yang umum digunakan diantaranya, stainless steel, paduan cobalt, titanium, material resorbable berbahan dasar polimer dan magnesium. Stainless steel dan titanium mempunyai sifat tahan karat dan sifat mekanik yang baik. Tetapi ketika proses fiksasi tulang telah selesai maka plat implant tersebut sudah tidak diperlukan lagi dan memerlukan operasi lagi untuk melepasnya. Material resorbable berbahan dasar polimer bisa diabsorpsi oleh tubuh, tetapi kemampuan mekanisnya tidak baik. Sedangkan magnesium (Mg) memiliki beberapa sifat mekanis yang menyerupai tulang dibandingkan dengan titanium, lebih ulet dari material sintesis HA dan lebih kuat daripada DL-PLA. Dengan densitas  $1.74 \text{ g/cm}^3$  mendekati densitas tulang  $1.8\text{-}2.0 \text{ g/cm}^3$ . Magnesium juga memiliki *ultimate tensile strength* (UTS) dan elongasi  $86.8 - 280 \text{ MPa}$  dan  $3\% - 21.8\%$  sehingga akan lebih cepat menurun kekuatannya ketika memasuki fase degradasi, dikarekan ketika tulang sudah menyatu maka tidak diperlukan lagi plat implan yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi.

Adapun kelemahan magnesium sebagai material implan adalah sifat tahan korosinya yang rendah yang menyebabkan material terdegradasi dan menurun kemampuan mekanisnya sebelum proses fiksasi tulang yang patah menyatu kembali. Salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan mekanis magnesium adalah mengurangi ukuran grain, yang bisa meningkatkan kekuatan mekanis magnesium adalah dengan proses *equal channel angular pressing* (ECAP).

*Equal channel angular pressing* (ECAP) merupakan suatu proses penghalusan ukuran butir, yaitu dengan cara memberikan gaya regangan pada specimen secara

menyeuluruh. Proses ini dapat memperbaiki mikrostruktur dari sebuah logam maupun paduan, yang dapat meningkatkan kekuatan dari material tersebut berdasarkan Hukum Hall-Petch, yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran butir maka nilai kekuatan material semakin besar.

Setelah melalui proses ECAP maka akan terjadi perbaikan sifat mekanis magnesium. Yaitu terjadinya peningkatan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), ketangguhan (*toughness*), kelenturan (*elasticity*), keuletan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), ketahanan aus (*wear resistance*), dan kekuatan luluh (*yield strength*) nya.

Beberapa penelitian yang menggunakan metode ECAP dihimpun dan direkap data parameter yang mereka gunakan (lampiran). Dapat dilihat bahwa parameter yang mereka gunakan tidak seragam bahkan ada yang tidak menyebutkannya dengan lengkap. Hal ini menyebabkan data kenaikan sifat mekanis yang mereka dapatkan tidak dapat diintegrasikan antara satu dengan penelitian yang lainnya sehingga harus dilakukan ECAP ulang dari awal setiap akan meneliti sifat mekanis lain.

Uum Sumirat, dkk (2017), telah mulai meneliti magnesium dan hendak melihat laju rambat retak dan ketahanan lelah setelah dilakukan ECAP. Tetapi saat dilakukan ECAP, terjadi buckling pada plunger yang mengindikasikan material plunger gagal. Padahal kekuatan tarik material plunger yang digunakan hampir 10 kali dari material magnesium yang diECAP. Wisnu (2014) juga menyampaikan hal senada bahwa kekurangan proses ECAP adalah kecenderungan terjadi *buckling instability* pada batang penekan (plunger).

Dari hasil rekap penelitian yang sama, hanya beberapa saja yang menyebutkan jenis material plunger dan dies yang digunakan. Diantaranya ada yang menggunakan SKD11, Orvar, dan HSS, selebihnya tidak disebutkan dalam jurnal penelitian yang mereka tulis. Kebanyakan penelitian itu lebih terfokus pada hasil perbaikan sifat mekanis material dibanding mengurai secara terperinci kondisi ECAP yang mereka lakukan. Dengan informasi yang terbatas itu, menjadikan kesulitan bagi peneliti penerus yang hendak mengulang atau mengembangkan proses ECAP.

Jens Christofer (2004) mengakui bahwa penguasaan keilmuan tentang ECAP di lingkungan kampusnya masih terbatas. Bisa jadi pernyataannya itu mewakili para peneliti yang lain sehingga pada kebanyakan penelitian tidak menguraikan mengenai spesifikasi teknis terutama yang berkaitan dengan plunger.

Dalam penelitian ini selain membahas tentang ECAP, juga akan dibahas tentang plunger yang digunakan dalam proses ECAP. Hal-hal yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah yang berkaitan dengan mekanika kekuatan material dan perancangan batang tekan sebagai kolom sebagai parameter yang membatasi prestasi material yang mengalami beban tekan.

## **B. Tujuan Umum**

- Menghasilkan material magnesium paduan hasil proses ECAP yang bisa digunakan sebagai *biodegradable* material plat implan.
- Menghasilkan sifat material untuk plunger di dalam proses ECAP

## **C. State Of the Art**

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahmi Syaflida (2012) menyatakan hasil dari proses ECAP yang dilakukan terhadap magnesium terjadi peningkatan UTS dari 15 Kgf/mm<sup>2</sup> (147.09 MPa) menjadi 19 Kgf/mm<sup>2</sup> (186.33 MPa). Adapun setelah magnesium ECAP direndam dalam larutan fisiologis DMEM terjadi penurunan UTS sebesar 26,31% pada hari ke 2, penurunan 11.43% pada hari ke 7 dan 21.43% pada hari ke 14 dan stabil sampai dengan hari ke 28.

Sedangkan Hera mendapatkan hasil peningkatan kekerasan hasil proses ECAP terhadap Aluminium 1050 dari 21, BHN menjadi 29,82 BHN (38%). Sedangkan dalam penelitian ini akan dilakukan proses pengujian tarik dengan beban 0.9, 1 dan 1.1 x batas UTS magnesium setelah direndam dalam cairan fisiologis DMEM dengan berbagai variasi waktu perendaman, dengan memberikan beban siklis untuk mengetahui ketahanan lelah material serta laju rambat retak yang terjadi, sehingga bisa diketahui kelayakan magnesium sebagai material plat implant yang bisa terdegradasi dalam tubuh untuk dijadikan acuan dalam proses perancangan plat implan berbahan magnesium.

## **D. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan menjadi dasar dan acuan untuk dipelajari, dipahami, dan diaplikasikan terdiri dari:

1. Apakah terjadi peningkatan kekuatan sifat mekanis magnesium setelah mengalami proses ECAP?
2. Berapa nilai penurunan kekuatan magnesium paduan yang telah melalui proses ECAP setelah direndam dalam cairan fisiologis?
3. Bagaimana hasil prediksi rambat retak material magnesium paduan setelah melalui proses ECAP dan direndam dalam cairan fisiologis?

4. Bagaimana hasil prediksi korosi yang terjadi pada material magnesium setelah melalui proses ECAP dan direndam dalam cairan fisiologis?
5. Bagaimana sifat mekanis untuk plunger yang dipakai dalam proses ECAP?

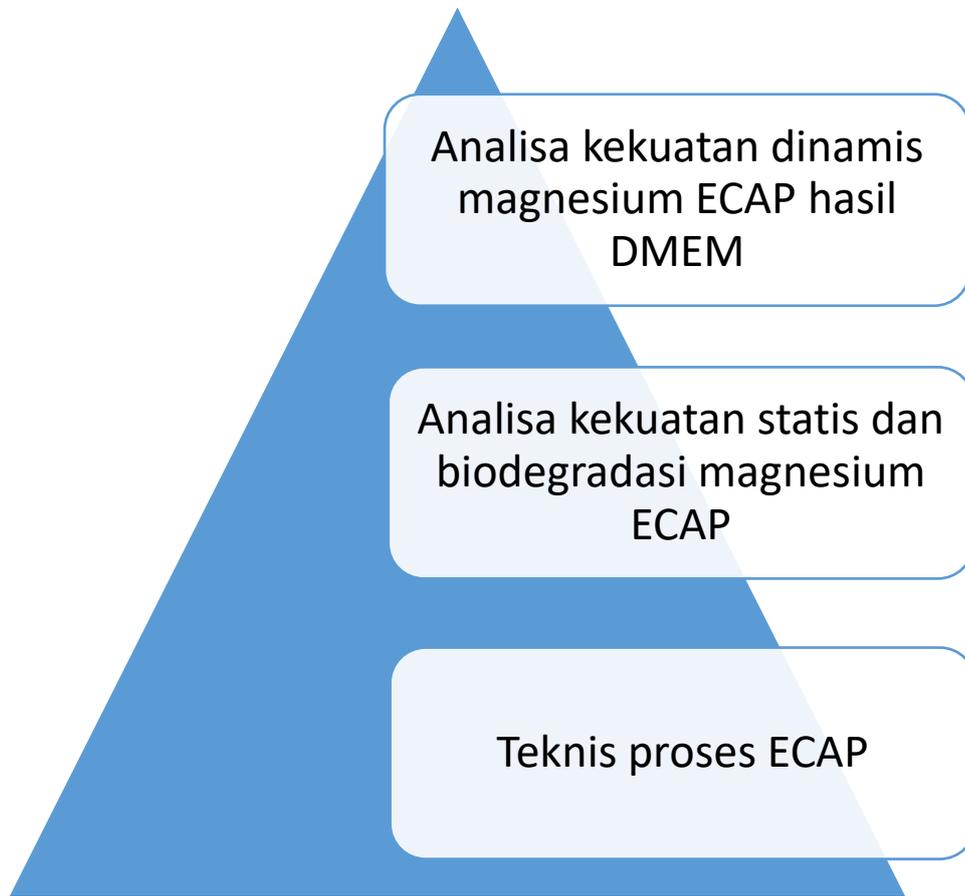
### E. Manfaat Penelitian

Dengan diketahuinya terjadinya peningkatan kekuatan material magnesium setelah melalui proses ECAP dan laju penurunan kekuatannya setelah direndam dalam larutan fisiologis DMEM bisa digunakan sebagai dasar pertimbangan pemilihan material magnesium sebagai bahan pembuatan plat implant.

### F. RoadMap Penelitian



Gambar 1 Roadmap Penelitian 1



Gambar 2 Roadmap Penelitian 2

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Definisi Biomaterial**

Terdapat beberapa material yang dapat digunakan untuk dijadikan plat dan screw dalam jangka waktu tertentu hingga proses penyembuhan tulang selesai. Syarat utama material untuk digunakan adalah bio compatible, harus tidak memperlihatkan respon yang merugikan dari tubuh, harus tidak beracun, dan tidak karsinogenik. Syarat ini mengeliminasi material teknik lainnya. Selain itu, material tersebut harus memiliki sifat fisik dan mekanis yang memadai untuk berfungsi sebagai pengganti atau pengganti dari jaringan tubuh, Untuk aplikasi secara klinis, material harus dapat mudah dibentuk atau dapat diproduksi pemesinan dalam beberapa bentuk, harga yang relatif murah, dan bahan bakunya tersedia di pasaran.

Penggunaan biomaterial khususnya materialnya juga harus disesuaikan dengan waktu penyembuhan tulang. Dimana fiksasi harus dipertahankan sampai penyatuan fibro selesai, pada mandibula berkisar dari 4-6 minggu dan maksila berkisar 3-4 minggu. Terdapat beberapa macam material palat dan screw, material logam seperti baja tahan karat, kobalt alloy, dan titanium, hingga material reasonable berbahan polymer. Setiap material tersebut, memiliki kelebihan dan kekurangan. Beberapa tahun terakhir, banyak penelitian yang menemukan bahwa magnesium menjadi material yang dapat diaplikasikan pada jaringan keras.

### **B. Magnesium**

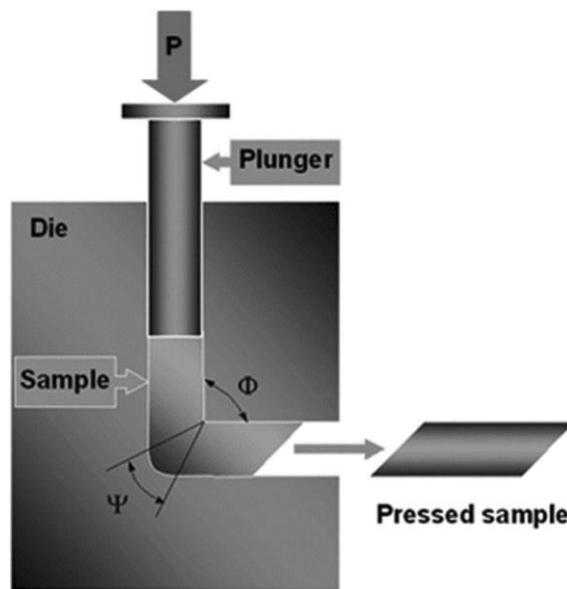
Magnesium adalah logam ringan yang cukup kuat dan berwarna putih keperakan. Magnesium diklasifikasikan ke dalam alkali tanah dalam tabel periodik dengan simbol Mg dan nomor atom 12, serta berat atom, 24,31. Magnesium memiliki densitas (pada suhu 22 C) adalah 1,738 gr/cm<sup>3</sup>, titik leleh 650 C, titik didih 1107 C, kekuatan tarik 21-140 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan tekan 21-115 N/mm<sup>2</sup>, dan kekerasan 30-47 HB.

Tubuh manusia dewasa mengandung 24 gram magnesium dengan 60% dalam tulang, 39% intra seluler, dan 1% ekstra seluler. Dalam bidang kedokteran dipakai sebagai pencahar umum, antisida (misalnya susu magnesium), dan dalam sejumlah keadaan untuk stabilisasi dari ekstrasaraf (Syafliida, R, 2012).

Gambar 2.1 menggambarkan proses ECAP pada ilustrasi gambar, terdapat saluran internal pada dies yang dibengkokkan dengan sudut 90 dan diujungngnya terdapat tempat keluar sampel.

### C. Metode Equal Chanel Angular Processing ( ECAP)

Segal dalam Syaflida, 1970 di Uni Soviet diperkenalkan equal channel angular processing untuk pertama kali. ECAP disebut juga dengan equal channel angular extrusion (ECAE) metode ini bertujuan untuk mengembangkan proses pembentukan logam dimana akan didapatkan strain yang tinggi dimana shear sederhana.



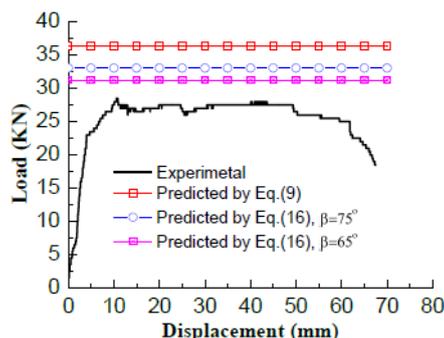
Gambar 3 Metode ECAP Sumber: ASME, 2015



Gambar 4 Dies Ecap 120°

#### D. Upper Bound Analisy

Pada proses ECAP terdapat solusi analisis. Solusi analisi ini berdasarkan kepada metode Upper bound dimana mempertimbangkan nonlinear material work-hardening, sifap gesekan dan bermacam radius fillet yang berada pada perpotongan die channel. Upper-bound analysis digunakan untuk memperkirakan beban tekan yang dibutuhkan (pressing presure) dan regangan plastis efektif. Sejak proses ECAP diperkenalkan oleh Segal pada 1995, pressing pressure juga telah dirumuskan dan terus berkembang dari tahun ke tahun. (Medeiros, 2014).



Gambar 5 Perbandingan Load eksperimental dengan hasil analisis upper bound (Kunxia Wei, 2015)

Terdapat beberapa persamaan yang dipakai oleh beberapa peneliti. Berbagai persamaan tersebut pada dasarnya adalah memperkirakan beban maksimum yang dibutuhkan pada proses ECAP. Seperti ditunjukkan gambar 3, berbagai persamaan menghasilkan pendekatan yang berbeda-beda dengan hasil eksperimen. Berawal dari Segal, 1995 yang memperhitungkan tegangan yield, effective plastic strain, dan sudut perpotongan channel. Pada persamaan itu tidak dipertimbangkan material work-hardening dan gesekan. Tahun-tahun selanjutnya, model upper-bound analysis berkembang dengan mempertimbangkan lebih banyak faktor seperti efek gesekan, material work hardening, dan bentuk geometri dies yang lebih rinci. Perkembangan solusi upper-bound dapat dilihat dalam tabel 2.

Belum ditemukan jurnal yang mengatakan mana persamaan yang paling baik untuk solusi upper-bound. Namun, pada kesempatan ini akan membahas dan menggunakan persamaan dari Eivani dan Kahimi Taheri (2007) karena ditemukan disitasi oleh dua penulis lain yaitu F. Djavanroodi (2010) dan N. Medeiros (2014). Persamaannya adalah :

$$P = \tau_0(1 + m) \left\{ 2 \cot \left[ \frac{\Phi + \psi}{2} \right] + \psi \right\} + 4m\tau_0 \frac{(l_i + l_0)}{a} \quad (1)$$

Persamaan 1 Solusi upper-bound yang disitasi oleh F. Djavanroodi (2010)

$$p = \frac{\sigma_y(1+m)}{\sqrt{3}} \left\{ 2 \cot \left[ \frac{\Phi+\beta}{2} \right] + \beta \right\} + \frac{4m\sigma_y(l_E+l_S)}{\sqrt{3}d} \quad (2)$$

Persamaan 2 Solusi upper-bound yang disitasi oleh N. Medeiros (2014)

Kedua persamaan diatas pada dasarnya sama, hanya saja berbeda simbol dimana :

$P = p$  beban tekan yang dibutuhkan, (Mpa)

$\tau_0 = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}$  tegangan yield geser (Mpa)

(von mises criterion, Medeiros, 2014)

$m$  koefisien gesek

$\Phi$  sudut perpotongan channel (rad)

$\psi = \beta$  sudut fillet radius (fillet radii) (rad)

$l_i = l_E$  panjang spesimen pada channel masuk (mm)

$l_0 = l_S$  panjang spesimen pada channel keluar (mm)

$a = d$  lebar sisi penampang channel (mm)

(Persamaan upper bound yang telah di gunakan beberapa jurnal terlampir)

#### E. Analisis Plunger Sebagai kolom ( Robert L.Mott , 2004 )

Struktur yang ramping dan relatif panjang dan menerima beban tekan harus dianalisis sebagai kolom. Kolom adalah sebuah bagian struktur yang mendukung beban tekan aksial dan yang cenderung mengalami kegagalan oleh ketidak-stabilan elastis (*elastic instability*) atau tekukan (*buckling*), bukan oleh kelemahan bahan. Ketidak stabilan elastis adalah kondisi kegagalan dimana bentuk kolom tidak cukup kaku untuk menjaga kelurusan saat mendukung beban. Pada titik tekukan, defleksi radial dari sumbu kolom terjadi secara tiba tiba. Jika beban tidak dikurangi, kolom akan terlipat.

Telah dijelaskan bahwa kegagalan kolom disebabkan oleh ketidak-stabilan elastis. Terlihat bahwa modulus elastisitas adalah kuncinya. Kekuatan bahan tidak terlibat seluruhnya. Karena itulah sering tidak menguntungkan untuk menetapkan bahan berkekuatan tinggi dalam penggunaan kolom panjang. Bahkan dengan kekuatan yang lebih rendah dan memiliki kekakuan yang sama, E, mempunyai unjuk kerja yang sama baiknya. Robert L. Mott telah memberikan bagan alir untuk perancangan kolom dan menganjurkan menggunakan *spreadsheet* dalam menyelesaikan proses. Berikut adalah spreadsheet dalam proses rancangan kolom:

## BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### A. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum penelitian, sebagai berikut:

1. Menganalisis sifat mekanis magnesium murni.
2. Menganalisis sifat mekanis magnesium setelah proses ecap
3. Menganalisis sifat magnesium setelah perendaman dalam larutan DMEM

Adapun tujuan khusus penelitian

1. Membandingkan nilai *ultimate tensile strength* magnesium setelah magnesium murni, setelah proses ecap, dengan magnesium setelah melalui larutan DMEM.
2. Membandingkan nilai kekerasan magnesium murni, magnesium setelah proses ecap, dan magnesium setelah direndam dalam larutan DMEM.

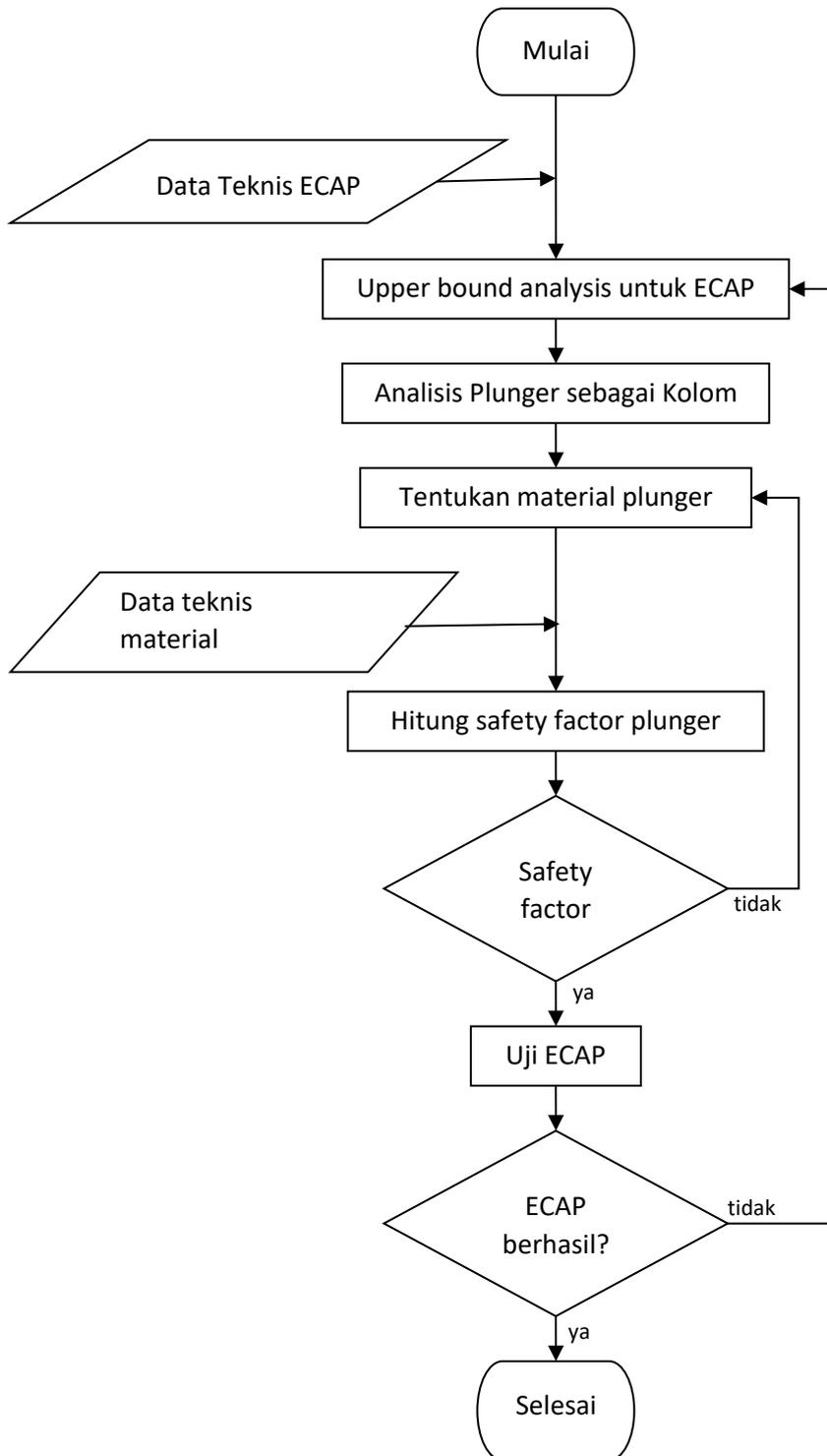
### B. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai sifat mekanis dan kekerasan magnesium ecap melalui uji tarik dan uji kekerasan.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan dasar penelitian lanjutan di bidang kedokteran untuk membuat implant tulang patah.
3. Hasil penelitian ini berpotensi menjadi Hak Kekayaan Intelektual yang akan didaftarkan melalui LPPM UPI.

## **BAB 4 METODE PENELITIAN**

Metode eksperimen penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, material magnesium yang digunakan adalah magnesium murni komersial dengan tingkat kemurnian 99,9%. Untuk proses uji tarik, material di potong dan dibubut menjadi spesimen sesuai dengan ASTM E8/E8M (Metode tes standar untuk uji tarik material metal) spesimen berbentuk silinder berdiameter 12,5 mm, diameter pemegang 20 mm, dengan panjang gauge section 100 mm, dan panjang pemegang masing-masing 20 mm. Permukaan specimen, murni hasil bubut dan tidak dilakukan pengerjaan permukaan.

## A. Flow Chart Penelitian



## BAB 5 HASIL DAN LUARAN

### A. Hasil

Dari pengujian sprcimen tanpa proses ecap dan proses DMEM dilakukan dari dua spacemen dengan ukuran yang sama dengan baseling 99 mm dan kecepatan beban sebesar 5 kg/s. Specimen pertama mencapai tegangan fraktur tidak sampai benar benar putus (Gambar 2). Didapat data sebagai berikut:

Table 1 Hasil Spesimen Pertama

<b>Gaya puncak</b>	765 kg
<b>Tegangan puncak</b>	6, 04 kh/mm <sup>2</sup>
<b>Gaya elastic</b>	544 kg
<b>Tegangan elastik</b>	4, 30 kg/mm <sup>2</sup>

Sedangkan specimen kedua mencapai tegangan fraktur sampai putus (gambar 3 dan 4). Didapat data sebagai berikut :

Table 2 Hasil Specimen ke 2

<b>Gaya puncak</b>	778 kg
<b>Tegangan puncak</b>	6, 14 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Gaya elastik</b>	633 kg
<b>Tegangan elastik</b>	4, 99 kg/mm <sup>2</sup>

Dengan demikian dari hasil diatas diketahui magnesium murni yang dibubut tanpa perlakuan deformasi plastis dari hasil pengujian tarik didapat bahwa magnesium

memiliki tegangan luluh sebesar 4,3 kg/mm<sup>2</sup> sampai dengan 4,99 kg/mm<sup>2</sup> dan tegangan ultimate sebesar 6,04 kg/mm<sup>2</sup> sampai dengan 6,14 kg/mm<sup>2</sup>.

Sedangkan specimen yang telah dilakukan deformasi plastis didapat hasil uji tarik sbb:

Table 3 Hasil Specimen Ke-3

<b>Gaya puncak</b>	864 kg
<b>Tegangan puncak</b>	7,04 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Tegangan elastik</b>	6,04 kg/mm <sup>2</sup>

## **B. Luaran**

Adapun luaran dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Data tegangan yield ultimate magnesium murni
2. Data tegangan ultimate dan yield setelah di ecap
3. Data tegangan ultimate dan yield untu magnesium yang sudah direndam dalam cairan DMEM
4. Menghasilkan perancangan *dies* untuk deformasi plastis magnesium.

## **BAB 6 RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA**

1. Berdasarkan hasil pengujian tarik dan kekerasan untuk magnesium tanpa di ecap dan tanpa direndam dalam cairan DMEM diuji fatigue and fracture mekaniknya.
2. Berdasarkan hasil pengujian tarik dan kekerasan magnesium yang di ecap dan diuji fatigue dan fracture mekaniknya.
3. Berdasarkan hasil pengujian tarik dan kekerasan untuk magnesium yang direndam dalam cairan DMEM diuji juga fatigue and fracturenya.

## BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian tarik didapatkan bahwa magnesium murni termasuk material yang getas dan lunak terindikasi dari tegangan ultimate (tegangan maksimum) dari hasil penelitian ini hanya mencapai 6 kg/mm<sup>2</sup> dan tegangan yield adalah 4 kg/mm<sup>2</sup>, diharapkan dengan proses deformasi plastis dari ecap kekuatan dari magnesium murni itu bisa meningkat dan bisa dipakai untuk plate dan screw pada implan tulang patah
2. Dari hasil ecap ternyata harus diberikan plunger (penekan) yang lebih kuat dari magnesium, di dalam penelitian ini dipakai bahan atau material plunger adalah ST 60 (S45C) yang mempunyai kekuatan sebesar 60 kg/mm<sup>2</sup>. Setelah diberikan compression sebesar 12 ton ternyata pada plunger terjadi buckling, sehingga harus diberikan suatu cara pada dies ecap untuk supaya deformasi dengan ecap bisa berjalan dengan baik.

### B. Saran

1. Pada proses ecap disarankan supaya diberikan gaya diantara 10 ton-15 ton *compression*, pemberian gaya sebesar itu diharapkan bertahap.
2. Dalam proses ecap di dalam dies harus diberikan sudut bukan =90 tetapi 120 supaya *plunger* tidak tertahan oleh *dies*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. EJens Christofer Weenskiold, Equal Channel Angular Pressing (ECAP) of AA6082: Mechanical Properties, Texture and Microstructural Development, Thesis, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
2. Eun Jeong Kwak, Cheon Hee Bok, Min Hong Seo, Taek-Soo Kim, Hyoung Seong Kim, 208, Processing and Mechanical Properties of Fine Grained Magnesium by Equal Channel Angulas Pressing, Materials Transactions, Vol. 49, No. 5
3. Xue-Nan GU, Yu-Feng ZHENG, 2010, A Review on Magnesium Alloys as Biodegradable Material, Front. Mater, Sci. China 2010, 4(2): 111-115
4. Kirkland, Nicholas Travis, 2012, Magnesium biomaterials: past, present and future, Corrosion Engineering, Science and Technology, 47(5), pp.322-328; 2012
5. Analisis sifat mekanis magnesium setelah proses Equal. Channel Angular Pressing (ECAP) Melalui Uji Tarik dan Uji Kekerasan Dalam Cairan Fisiologis (In Vitro), Tesis, Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Bedah Mulut, UI, Jakarta
6. Arfan Badeges, 2012, Analisis Proses Biodegradasi Magnesium yang Telah Melalui Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Dalam Cairan Fisiologis (In Vitro), Tesis Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis, UI, Jakarta
7. Kuswarini, 2012, Penghalusam Butir Material Kuningan Melalui Proses Equal Channel Angular Pressing Dengan Sudut Cetakan 120, Tugas Akhir, FTUI, Jakarta
8. R K Singh Raman, 2013, Mechanical Integrity of Magensium-Based Biodegradable Alloys under Combined Actoon of Stress and Corrosive Body Fluid, European Cells and Materilas Vol. 26. Suppl. (page 22)
9. Pengaruh Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Terhadap Struktur Mikro Alumunium, Jurnal Teknik Meisn S-1, Vol. 2, No. 3, Tahun 2014
10. Jianghua Jiang, Fan Zhang, Aibin MA, Dan Song, Jiangqing Chen, Huan Liu adn Mingshan Qiang, 2015, Biodegradable Behaviors of Ultrafine-Grained ZE41A Magnesium Alloy in DMEM Solution, Metals 2016, 6,3
11. Balloková, M. Besterčí, K. Sulleiova, M. Balog, S.J. Huang, 2015, Effects of ECAP on the mechanical properties of Mg-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Research Paper, Journa

## LAMPIRAN

Persamaan Upper-Bound Yang Digunakan Pada Beberapa Jurnal

Tahun	Peneliti	Persamaan	keterangan	Penyitasi
1995	Segal	$p = \sigma_y \varepsilon_{eq} = \frac{2\sigma_y}{\sqrt{3}} \cot(\phi)$	Single ECAP pass	N Medeiros
1996	Iwahashi	$\varepsilon_{eq} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 2 \cot \left[ \frac{\phi + \beta}{2} \right] + \beta \csc \left[ \frac{\phi + \beta}{2} \right] \right\}$	Improve effective plastic strain calculation, account outer radius, $\beta$	N Medeiros
2000	Dong Nyung Lee	$P = \sigma_d = k(\cot\alpha + \cot\beta)$	Frictionless, $m = 0$	Dong Nyung Lee
2000	Dong Nyung Lee	$P = \sigma_d = 2k \cot\alpha + k(S_{AB} + S_{EO}) \left( \frac{1}{t_0} + \frac{1}{B} \right) + k(S_{BC} + S_{OD}) \left( \frac{1}{t_0} + \frac{1}{B} \right)$	Under sticking friction, $\alpha = \beta$	Dong Nyung Lee
2003	Alkorta and Sevillano	$p = \frac{K}{(n+1)\sqrt{3}} \left\{ 2 \cot \left[ \frac{\phi + \beta}{2} \right] + \beta \right\}^{n+1}$	Frictionless, include work hardening effect	N Medeiros
2004	Perez	$p = \frac{2\sigma_y}{\sqrt{3}} \left[ m \cot \left( \frac{\phi}{2} \right) + \frac{m(l_E + l_S)}{d} + \frac{Rm(\pi - \phi)}{d} \right]$	Friction effect, die geometric parameter, for a rigid plastic material	N Medeiros
2007	Eivani and Karimi Taheri	$p = \frac{\sigma_y(1+m)}{\sqrt{3}} \left\{ 2 \cot \left[ \frac{\Phi + \beta}{2} \right] + \beta \right\} + \frac{4m\sigma_y(l_E + l_S)}{\sqrt{3}d}$	Die geometric parameter, friction condition, work hardening behavior	N Medeiros

2007	Eivani and Karimi Taheri	$P = \tau_0(1 + m) \left\{ 2 \cot \left[ \frac{\Phi + \psi}{2} \right] + \psi \right\} + 4m\tau_0 \frac{(l_i + l_o)}{a}$		F. Djavanroodi (2010)
2008	Perez and Luri	$P = LWk \left\{ \frac{(\pi - \phi)}{\sin \left( \frac{\Phi + \beta}{2} \right)} + f \left[ \frac{2H}{L} + (\pi - \phi) \left( \frac{R_{inner} + R_{outer}}{L} \right) \left( 1 - \frac{1}{\sin \left( \frac{\Phi + \beta}{2} \right)} \right) + \frac{2H}{W} \right] \right\}$	$R_{inner} < R_{outer}$ , all possible die design, tribological effect	FRF Silva (2012)

