

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PROSES SINTERING
TUBE FURNACE BERPELINDUNG GAS ARGON TERHADAP
KUALITAS PRODUK BAHAN MAGNESIUM AZ31**

Skripsi

Oleh
MUHAMMAD YUSUF



**TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2018**

ABSTRACT

EFFECT OF TEMPERATURE VARIATIONS OF SINTERING PROCESS TUBE FURNACE PROTECT GAS ARGON ON QUALITY OF MAGNESIUM AZ31 PRODUCTS

By

Muhammad Yusuf

Dynamic Compression Plate (DCP) is one of the correction methods in cases of fractures. DCP techniques generally use discolored plates and bone screws (not degradable) in the body, consequently required a second operation process to lift bolts and bone plates that has been implanted. In this final project has been produced basic material for bone screws that capable of metal magnesium-based decay AZ31 with production method based on metallurgy powder. Test method which is done in this research is hardness test, density test, porosity, optical microscopy test and SEM & EDX test. The research process is varied based on the sinter temperature used, which aims to know the optimum temperature for material production process based AZ31 magnesium alloy. The results of hardness test from Magnesium AZ31 product showed the highest hardness value occurs at a sinter temperature of 400°C with a hardness of 41.49 kgf, which then continues to decrease from 450 ° C, 500 ° C and the smallest temperature at 550°C with hardness value 21,74 kgf. caused because the test material is overheating which makes the material's hard test capability down. In the temperature density test of 400°C with value 1.82 gram / cm³ until the smallest value at 550°C that is 1.70 gram / cm³ the cause is an enlarged metal grain because of heat treatment and produce a cavity that is then filled with air that lowers the density value. This research concludes that the most optimum process temperature for the AZ31 Magnesium metal is temperature 400°C because it yields the density value and hardness value with the best value compared with other sinter temperature variations that are also performed.

Keywords :Magnesium AZ31, Metallurgy powder, Hardness test, Density.

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PROSES SINTERING *TUBE FURNACE* BERPELINDUNG GAS ARGON TERHADAP KUALITAS PRODUK BAHAN MAGNESIUM AZ31

Oleh

MUHAMMAD YUSUF

Dynamic Compression Plate (DCP) merupakan salah satu metode penyembuhan pada kasus patah tulang. Teknik DCP umumnya menggunakan pelat dan baut tulang yang tidak mampu luruh (*non degradable*) dalam tubuh, akibatnya diperlukan proses operasi kedua untuk mengangkat baut dan pelat tulang yang sudah diimplankan. Dalam tugas akhir ini telah diproduksi bahan dasar untuk baut tulang yang mampu luruh berbasis logam Magnesium AZ31 dengan metode produksi berbasis *powder metallurgy*. Metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji keras, uji densitas, porositas, uji optikal mikroskopi juga uji SEM & EDX. Proses penelitian divariasikan berdasarkan temperatur *sinter* yang digunakan, dimana bertujuan untuk mengetahui temperatur optimum untuk proses produksi bahan berbasis paduan magnesium AZ31. Hasil uji keras produk Magnesium AZ31 menunjukkan angka kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur *sinter* 400°C dengan nilai kekerasan 41,49 kgf, yang kemudian terus menurun dari temperatur 450°C, 500°C dan yang terkecil pada temperatur 550°C dengan nilai kekerasan 21,74 kgf disebabkan karena material uji mengalami *overheating* yang membuat kemampuan uji keras material turun. Pada uji densitas temperatur 400°C dengan nilai 1,82 gram/cm³ sampai nilai terkecil pada suhu 550°C yaitu 1,70 gram/cm³ penyebabnya adalah butir logam yang membesar karna perlakuan panas dan hasilkan rongga yang kemudian terisi oleh udara yang menurunkan nilai densitas. Penelitian ini menyimpulkan bahwa temperatur proses yang paling optimum bagi logam Magnesium AZ31 adalah suhu 400°C karena menghasilkan nilai densitas juga kekerasan dengan nilai terbaik dibandingkan dengan variasi suhu *sinter* lainnya yang juga dilakukan.

Kata kunci :Magnesium AZ31, Powder metalurgi, uji keras, Densitas

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PROSES SINTERING
TUBE FURNACE BERPELINDUNG GAS ARGON TERHADAP
KUALITAS PRODUK BAHAN MAGNESIUM AZ31**

Oleh
MUHAMMAD YUSUF

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lmpung



**TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR
PROSES SINTERING TUBE FURNACE
BERPELINDUNG GAS ARGON
TERHADAP KUALITAS PRODUK BAHAN
MAGNESIUM AZ31**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Yusuf**

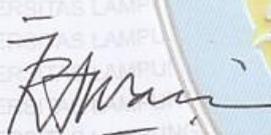
Nomor Pokok Mahasiswa : 1215021057

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

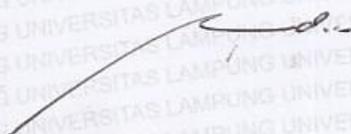
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.
NIP 197008122001121001


Dr. Ika Kartika, M.T.
NIP 197201251998032001

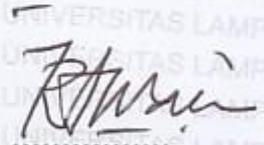
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 197408162000121001

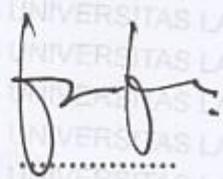
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

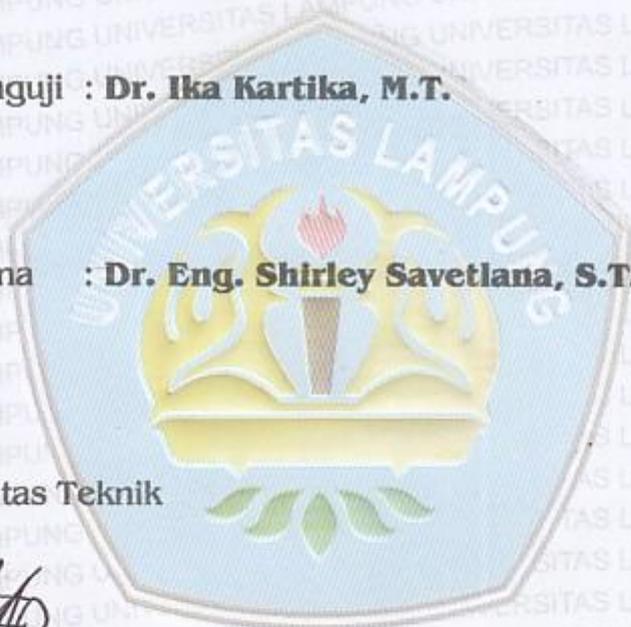
Ketua Penguji : Dr. Irza Sukmana, S.T.,M.T.



Anggota Penguji : Dr. Ika Kartika, M.T.



Penguji Utama : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T.,M.Met



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno MS, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Februari 2018

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT OLEH PENULIS DENGAN KARYA DAN PIKIRANYA SENDIRI TANPA PLAGIAT DARI HASIL KARYA ORANG LAIN. SEBAGAIMANA TELAH DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010

YANG MEMBUJAT PERNYATAAN



MUHAMMAD YUSUF
NPM : 1215021057

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Lampung Tengah pada tanggal 22 Mei tahun 1994 sebagai anak ke 2 dari 2 saudara dengan ayah bernama Tamam Sari dan seorang ibu yang bernama Nur Aini. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 Terbanggi Subing tahun 2006, kemudian tingkat sekolah menengah pertama di SMP Negeri 4 Gunung Sugih

tahun 2009, Sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Trimurjo tahun 2012. Kemudian tahun 2012 penulis resmi terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam keorganisasian kampus, yaitu sebagai anggota bidang kerohanian di organisasi himpunan jurusan teknik mesin (HIMATEM). Penulis juga pernah mengikuti organisasi kampus diluar lingkup jurusan, sebagai anggota pada bidang internal dan advokasi pada organisasi kampus badan eksekutif mahasiswa (BEM). Penulis melaksanakan kerja praktek di pusat penelitian metalurgi dan material (P2MM) LIPI, Serpong, tanggerang selatan pada tahun 2015. Kemudian pada tahun 2017 penulis melakukan penelitian tugas akhir yang dilakukan pada bidang biomaterial dengan judul “*PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PROSES SINTERING TUBE FURNACE BERPELINDUNG GAS ARGON TERHADAP KUALITAS PRODUK BAHAN MAGNESIUM AZ31*” dibawah bimbingan langsung dari Bapak Dr. Irza Sukmana,S.T,.M.T. dan Ibu Dr. Ika Kartika, M.T.

Orang yang paling sulit dikalahkan adalah jenis orang yang percaya kepada kemampuan dirinya sendiri dan hanya mengandalkan tuhan sebagai tempatnya meminta pertolongan.

Barang siapa yang menginginkan sebuah mutiara, maka haruslah dia berani untuk terjun di lautan yang dalam.

Beberapa hal yang tak bisa kita sebut bekas didunia ini diantaranya adalah sahabat, jaga dan hargailah sahabatmu karna besar kecil urusanmu pati disitu ada andil sahabat membantumu, terimakasih...

Banggaku untukmu

MECHANICAL ENGINEERING

KARYA INI AKU PERSEMBAHKAN UNTUK,

**Kedua Orang Tua dan Kakak juga Orang Terdekat serta Rekan – rekan
Jurusan Teknik Mesin 2012 dan Mereka yang selalu bertanya kapan
kuliahmu selesai.**

Almamater Tercinta

Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Lampung

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warohmatullohi Wabarokatu

Sholawat serta salam semoga tetap selalu terucap kepada nabi Muhammad SAW, yang selalu penulis harapkan syafa'atnya dihari yaumul akhir nanti juga segala puji dan rasa syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan yang maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir dengan judul “ *Pengaruh Variasi Temperatur Proses Sintering Tube furnace Berpelindung Gas Argon Terhadap Kualitas Produk Bahan Magnesium AZ31*” ini dengan baik.

Dalam penyusunan laporan penelitian tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi serta bantuan baik moral dan materi dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Mamak terimakasih untuk doa dan semangat yang selalu bisa menguatkan juga rasa percaya dan dukungan yang tak pernah bisa digantikan.
2. Prof. Suharno M.Sc.,Ph.D. selaku dekan fakultas teknik universitas lampung.
3. Bapak Ahmad Suudi selaku ketua jurusan teknik mesin universitas lampung.
4. Bapak Harnowo Supriadi. S.T.,M.T selaku sekertaris jurusan
5. Bapak Dr.Irza Sukmana, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama dalam penyelesaian tugas akhir yang saya lakukan, terimakasih atas waktu juga kesediaan saran yang selama ini selalu diberikan

6. Ibu Dr. Ika Kartika, M.T. selaku pembimbing dua dalam penyelesaian tugas akhir yang dijalani, terimakasih untuk ijinya melakukan pengujian di P2MM LIPI Serpong Tangerang Selatan juga terimakasih saya ucapkan untuk selalu hadirnya saran yang membangun juga waktu yang selalu disempatkan.
7. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T.,M.Met selaku dosen pembahas yang selalu memberikan saran yang bermanfaat bagi proses selesainya laporan tugas akhir juga sebagai pembimbing akademik yang selalu berikan saran dan motivasi dalam jalanya proses perkuliahan
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diberikan selama menjalani masa perkuliahan
9. Mamas yang selalu siap dimintai bantuan saran juga pendanaan
10. Mbok dan oom yang selalu mengingatkan WISUDA
11. Konco mesra Purnadi, Agos, Suef, Aldi, Faisal, Faris, Rosyid jugak Joel dan Akbari terimakasih untuk keceriaan yang selalu hadir, waktu yang selalu ada, juga pemahaman disetiap keadaan terimakasih untuk semua bantuanya "BAXIAN".
12. Clara Luluk Herlina sebagai orang yang selalu disibukkan dengan segala urusan di ganggu dengan segala keluhan juga yang selalu sedia untuk direpoti tanpa pandang hari, terimakasih.
13. Buat kalian kawan KP, Terimakasih untuk hinaan semangat yang selalu ada terimakasih Dhika emon, Imam dan Farid.
14. Terimakasih untuk bapak rudi juga pendu selaku kawan yang selalu memberi pemahaman akan rasa sukur, saran juga motivasi yang selalu bisa memecah belah masalah dan meringankan pandangan yang berat.

15. Semua rekan teknik mesin terkhusus angkatan 2012, terimakasih untuk kebersamaan yang selama ini dijalani semua kesenangan dan ujian yang membuat penulis lebih paham arti dari persaudaraan, bangga saya ucapkan menjadi bagian dari kalian mesin 2012.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga yang telah dihasilkan walau sederhana nantinya dapat berguna dan bermanfaat bagi semua.

Wassalamualaikum warrohmatullohi wabarokatu

Bandar Lampung, 23 Februari 2018

Penulis

Muhammad Yusuf
1215021057

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	4
C. Batasan Masalah	4
D. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Patah Tulang	7
B. Biomaterial	7
C. Macam – Macam Biomaterial	8
D. Pelat Kompresi Dinamik	10
E. Magnesium dan Paduannya	11
F. Metalurgy Serbuk	14
G. Proses Pembuatan Serbuk	16
H. Proses Grinding	17
I. Proses Kompaksi	17
J. Proses Sintering	19
K. Uji SEM	22
L. Uji Kekerasan Vickers	24
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
B. Alat dan Bahan Penelitian	26
C. Alur Penelitian	38
D. Rencana Jalanya Penelitian.....	39
E. Pengambilan Data	40

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Data Hasil Pengujian.....	41
1. Data Hasil Pengujian Densitas	41
2. Data Hasil Pengujian Porositas	45
3. Data Hasil Pengujian Kekerasan	47
4. Data Hasil Pengujian Mikroskop Optic	48
5. Data Hasil Pengujian SEM dan EDX	50
B. Pembahasan	58
1. Uji Densitas	58
2. Uji Porositas	59
3. Uji Kekerasan.....	61
4. Uji Optik Mikroskop.....	62
5. Uji SEM	64
6. Uji EDX	66
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	72
B. Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Hasil Uji Densitas Pada Temperatur <i>Sinter</i> 400 °C	43
2. Data Hasil Uji Densitas Pada Temperatur <i>Sinter</i> 450 °C	44
3. Data Hasil Uji Densitas Pada Temperatur <i>Sinter</i> 500 °C	44
4. Data Hasil Uji Densitas Pada Temperatur <i>Sinter</i> 550 °C	45
5. Uji Porositas Temperatur <i>Sinter</i> 400 °C, 450 °C, 500 °C, dan 550 °C.	46
6. Data Hasil Uji Kekerasan	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fiksasi patah tulang metode DCP	10
2. Mesin <i>BallMill</i>	17
3. Perubahan struktur mikro pada saat sintering	19
4. Pengaruh <i>sinter</i> terhadap penyusutan.....	20
5. Diagram pengujian SEM	23
6. Skema identasi dengan mesin vickers	24
7. Magnesium AZ31	27
8. Mesin bubut.....	27
9. Mesin <i>ballmill</i>	28
10. Mesin penyaring	29
11. Mesin <i>sintering</i> dengan argon	30
12. Pengujian Densitas dan Porositas Teori Archimides.....	31
13. Alat Mikroskopi Optikal.....	32
14. Alat uji kekerasan	33
15. Mesin <i>kompaksi</i>	35
16. SEM berjenis ZEISS EVO® MA 10	36
17. Mikroskop Optik Sampel <i>Sinter</i> 400 °C.....	48
18. Mikroskop Optik Sampel <i>Sinter</i> 450 °C	49

19. Mikroskop Optik Sampel <i>Sinter</i> 500 °C	49
20. Mikroskop Optik Sampel <i>Sinter</i> 550 °C	50
21. Hasil Uji SEM Sampel <i>Sinter</i> 400 °C	51
22. Hasil Uji SEM Sampel <i>Sinter</i> 450 °C.....	51
23. Hasil Uji SEM Sampel <i>Sinter</i> 500 °C.....	52
24. Hasil Uji SEM Sampel <i>Sinter</i> 550 °C	52
25. Hasil Uji EDX Sampel <i>Sinter</i> 400 °C	54
26. Hasil Uji EDX Sampel <i>Sinter</i> 450 °C	55
27. Hasil Uji EDX Sampel <i>Sinter</i> 500 °C	56
28. Hasil Uji EDX Sampel <i>Sinter</i> 550 °C	57
29. Hasil Uji Densitas	58
30. Hasil Uji Porositas	60
31. Hasil Uji Kekerasan Vickers	61
32. Hasil uji Optik Mikroskopi suhu 400°C.....	62
33. Hasil uji Optik Mikroskopi suhu 450°C.....	63
34. Hasil uji Optik Mikroskopi suhu 500°C.....	63
35. Hasil uji Optik Mikroskopi suhu 550°C.....	64
36. Hasil uji SEM suhu 400°C.....	64
37. Uji SEM suhu 550°C	65
38. Hasil uji EDX sinter 400°C	67
39. Hasil uji EDX sinter 450°C.....	68
40. Hasil uji EDX sinter 500°C.....	69
41. Hasil uji EDX sinter 550°C.....	70

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.

Magnesium merupakan logam yang dapat digunakan dalam perkembangan teknologi dalam bidang industri. Magnesium digunakan karena sifat unggul yang dimiliki, seperti kepadatan yang rendah, nilai keuletan yang baik, dan besar nilai kekuatan yang menengah serta logam magnesium juga memiliki sifat ketahanan pada sifat korosi yang baik. Kemudian kelebihan dari logam magnesium lainnya adalah apabila magnesium digunakan sebagai unsur penguat pada logam aluminium, magnesium mampu untuk memperbaiki karakteristik dari sifat mekanik dan karakteristik dari sifat pengelasan pada logam aluminium (Buldum, and Sick, 2011).

Dengan banyaknya kelebihan yang dimiliki logam magnesium, maka banyak penelitian yang dilakukan contohnya dalam bidang ilmu kesehatan, mengenai salah satu strategi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah dalam proses penyembuhan pada kasus *fracture* tulang yaitu tentang pemanfaatan pelat penyangga yang saat ini masih menggunakan logam tahan karat yang dibautkan secara langsung pada daerah tulang yang mengalami patah. Pelat penyangga tahan karat ini dibuat dari bahan baja yang biasanya terbuat dari bahan paduan titanium dan platinum (Denkana, and Lucas, 2013).

Penggunaan material logam dengan sifat tahan karat ini memiliki beberapa kelebihan seperti diantaranya mampu memberikan sifat keseimbangan yang maksimal pada bagian tulang yang mengalami kerusakan atau patah tulang, namun disisi lain bahan material logam tahan karat ini juga memiliki beberapa kekurangan antara lain terjadinya kesulitan dalam proses pengambilan gambar sinar-X maupun dalam proses dilakukanya MRI (*magnetic resonance imaging*) juga perlunya dilakukan proses operasi kedua dengan tujuan pengambilan baut tulang yang diimplan kedalam tubuh namun tidak mampu luruh (Witte, 2013).

Sekarang ini para ahli bidang biomaterial sedang mengembangkan baut tulang yang mampu luruh. Bahan *implant* yang memiliki kemampuan untuk luruh paling banyak digunakan dalam bidang bedah yaitu berbasis polimer. Namun bila dibandingkan dengan bahan logam, bahan polimer memberikan sanggahan biomekanik yang lebih rendah. Hal tersebut yang kemudian mendorong para peneliti untuk terus berinovasi sampai akhirnya penelitian yang dilakukan mengarah pada penggunaan logam magnesium dan paduannya, acuan tersebut karena logam magnesium dan paduannya memiliki sifat fisik dan mekanik serta sifat kimia yang cocok untuk pengaplikasian pada masalah baut tulang pada bidang bedah *implant*. Mengacu pada nilai densitas yang dimiliki oleh logam magnesium yang rendah, serta bersifat *biocompitibel* membuat logam magnesium diunggulkan sebagai jalan baru dalam dunia medis bidang bedah *implant* terkhusus pada bagian baut tulang. Kemudian sebagai contoh, logam magnesium dan paduannya mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 40 hingga 50 GPa, sangat mirip dengan angka modulus elastisitas yang dimiliki oleh tulang manusia yaitu sebesar 10-40 GPa (Black, 1988).

Magnesium juga merupakan elemen penting yang sangat diperlukan untuk proses jalanya metabolisme yang dilakukan oleh tubuh manusia, dimana standar makanan yang baik dan bergizi adalah jenis makanan yang terdapat kandungan unsur magnesium 300 - 400 mg (Sailer, 1987).

Dalam masalah bedah *implant* faktor utama yang sangat dipertimbangkan adalah keringanan material bahan logam yang digunakan, dimana paduan berbasis magnesium ini memiliki kepadatan sepertiga padat paduan logam seperti logam berbasis titanium. Sehingga disini dapat disimpulkan bahwa magnesium memiliki potensi yang sangat besar yang menjadikannya layak untuk dapat digunakan sebagai bahan material dalam masalah bedah *implant* karena sifat ringan yang dimiliki (Black, 1988).

Magnesium juga mudah *terdegradasi* dalam tubuh jadi dinilai sangat cocok sebagai bahan dasar logam yang dapat digunakan sebagai bahan *implant* dalam dunia medis (Blawert, and Hort, 2004).

Dengan banyaknya kelebihan dari sifat yang dimiliki oleh logam magnesium membuat penulis ingin lebih tau tentang logam magnesium ini secara lebih luas. Terutama dalam pemanfaatannya dalam bidang kesehatan yang khususnya dalam masalah bedah *implant* mengingat banyaknya kasus patah tulang yang sering sekali terjadi di Indonesia yang disebabkan oleh tingkat dari kesadaran berkendara masyarakat yang masih tergolong rendah sehingga cenderung meningkatkan kasus kecelakaan yang dapat menyebabkan resiko patah tulang.

B. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui sifat mekanik yang dihasilkan dari proses variasi temperatur *sinter* 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C terhadap serbuk logam Magnesium AZ31 yang telah dikompaksi.
2. Untuk mengetahui potensi geram hasil permesinan magnesium AZ31 yang tidak digunakan yang kemudian diaplikasikan pada proses metalurgi serbuk.
3. Untuk mengetahui dampak yang dihasilkan dari campuran paduan logam yang dilakukan. Juga dampak dari perlakuan yang diberikan pada serbuk logam magnesium seperti kekuatan tekan pada proses kompaksi serta variasi suhu *sinter* yang bervariasi.
4. Untuk mengetahui besar nilai kekerasan, densitas juga porositas dari uji mekanik yang dilakukan serta melakukan proses pengamatan melalui alat Optik Mikroskopi juga SEM & EDX

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Material yang digunakan berjenis magnesium AZ31
2. Metode yang digunakan dalam proses menghasilkan serbuk logam yaitu dengan proses permesinan *planetary ballmill*.
3. Alat pemanas yang digunakan adalah *tubefurnace* yang ditambahkan dengan aliran gas argon sebagai gas pelindung dalam proses *sintering* Magnesium AZ31.

4. Penelitian menggunakan metode metalurgi serbuk.
5. Beda perlakuan dilakukan pada besar variasi temperatur yang digunakan saat proses *sintering* dilakukan yaitu dengan menggunakan suhu *sinter* sebesar 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C.
6. Bentuk pengujian mekanik yang dilakukan menggunakan uji kekerasan, uji densitas dan porositas.
7. Bentuk pengamatan pada material uji dilakukan dengan alat Optical Metallografi, SEM dan EDX

D. Sistematika Penulisan

Format penulisan laporan tugas akhir yang dilakukan, penulis membaginya menjadi lima bab pokok pembahasan. Berikut penjelasan dari masing – masing bab.

Bab I Pendahuluan

Berisikan uraian dari latar belakang penelitian yang dilakukan juga tujuan dari penelitian serta membahas batasan - batasan masalah yang digunakan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Berisi semua materi yang dijadikan sebagai landasan teori yang mendukung jalanya penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian

Penguraian dari kegiatan yang dilakukan, juga pemaparan alat dan bahan yang digunakan serta berisikan tentang metode pengambilan data

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Berisikan data pengujian yang didapat setelah penelitian serta pembahasan dari data variasi temperatur pada proses *sintering* logam magnesium AZ31 yang dilakukan dengan besar temperatur 400°C, 450 °C, 500 °C, dan 550 °C.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan yang dapat diambil dari hasil data dan pembahasan yang telah didapat serta berisikan saran yang nantinya dapat digunakan untuk penyempurnaan penelitian ini dikemudian hari.

Daftar Pustaka

Berisikan materi literatur atau referensi yang penulis gunakan

Lampiran

Berisikan data hasil pengujian baik berupa gambar dan angka yang mendukung penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Patah Tulang

Tulang merupakan bagian tubuh yang berfungsi sebagai penopang tubuh juga tempat melekatnya otot, sehingga karena fungsi tulang tubuh dapat bergerak secara maksimal. Tulang juga memiliki fungsinya sendiri yaitu melindungi organ lain dalam tubuh. Misalnya tulang tengkorak yang berfungsi melindungi otak dari benturan yang dapat terjadi dari luar. Kemudian tulang rusuk yang melindungi organ dalam seperti jantung dan paru – paru (Triono, 2015).

Fracture tulang merupakan salah satu jenis kegagalan yang terjadi pada tulang, yaitu terjadinya *disfungsi* pada tulang atau terjadinya trauma pada tulang yang dapat disebabkan oleh cacat bawaan, penyakit, maupun karena terjadinya suatu kecelakaan (Sukmana, dkk, 2016).

B. Biomaterial

Biomaterial yaitu komponen yang ditanamkan kedalam bagian tubuh yang mengalami rusak. Komponen yang digunakan terbuat dari jenis material yang tidak menghasilkan zat beracun dan sesuai dengan jaringan tubuh. Tubuh akan memberikan reaksi penolakan seperti misalnya terjadinya *iritasi* ringan atau peradangan apabila material asing tersebut tidak sesuai dengan jaringan yang ada pada tubuh (Kim, 2003).

Sifat *biokompatibilitas* komponen material *implant* dapat diketahui dengan cara ditanamkan pada hewan uji yang ada di laboratorium. Kemudian dinilai berdasarkan reaksi yang ditimbulkan seperti ada atau tidaknya penolakan yang terjadi dalam tubuh hewan tersebut. Tingkat korosi dan ada atau tidaknya zat beracun yang dihasilkan. Jika aman komponen *implant* tersebut dikatakan berhasil dan prosedur ini dapat diulang pada manusia dengan material yang sama yang *relative biokompatibel*.

C. Macam – Macam Biomaterial

Pemilihan komponen material yang dapat digunakan dalam masalah bedah *implant* ditentukan setelah adanya penelitian yang dilakukan secara kimia dan fisika dari beberapa jenis material yang berbeda. Idealnya material yang dipilih adalah jenis material yang memiliki sifat *biokompatibel* dan nilai mekanik yang sesuai kepentingannya sebagai *implant* pengganti bagian tubuh yang rusak. Secara umum biomaterial dapat dikategorikan berdasarkan material penyusun yang digunakan yaitu:

1. Biomaterial logam.
2. Biomaterial keramik.
3. Biomaterial polimer.
4. Biomaterial komposit.

Jenis biomaterial ini dapat digunakan pada bagian tubuh manusia yang mengalami sakit atau rusak sesuai dengan material penyusun yang digunakan serta fungsi yang ingin didapatkan. Berikut adalah penjelasan mengenai jenis biomaterial berdasarkan material penyusun yang digunakan serta kegunaannya berdasarkan tujuan yang ingin dicapai.

1. Biomaterial logam (*Biometal*)

Jenis biomaterial logam yang saat ini banyak digunakan adalah yang mampu *terdegradasi* atau luruh dalam jaringan tubuh. Contohnya seperti komponen biomaterial yang digunakan untuk jantung yaitu jenis biomaterial dengan paduan magnesium (Mg) dan paduan besi (Fe).

2. Biomaterial Polimer (*Biopolymer*)

Polimer merupakan satuan yang tersusun dari struktur monomer yang berulang. Selulosa dan starch, protein dan peptida adalah contoh dari jenis biopolimer yang diproduksi oleh organisme hidup.

3. Biomaterial keramik (*bioceramic*)

Terbuat dari material keramik yang bersifat padat untuk keperluan mengisi cacat yang ada pada bagian gigi dan tulang, contoh penerapan biomaterial keramik yaitu untuk melengkapi grafit tulang dan mengisi patahan pada tulang. Biomaterial keramik dapat diklasifikasikan menjadi 3:

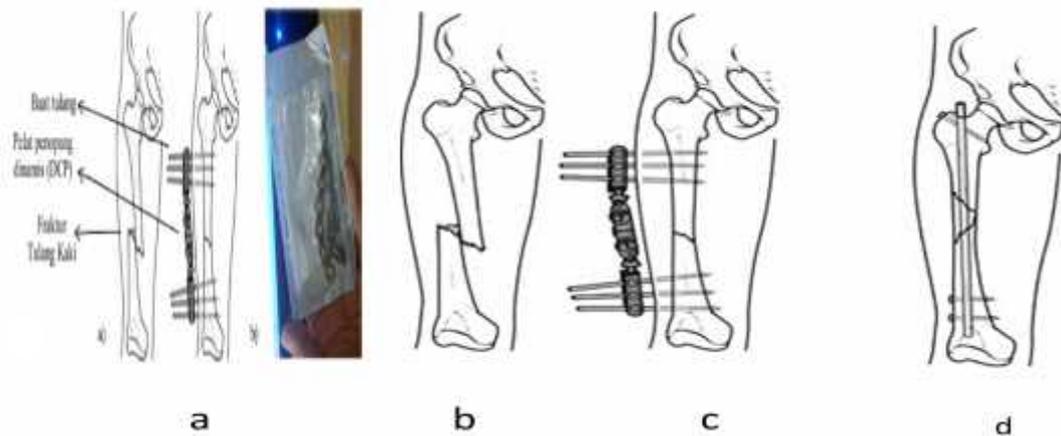
1. Bioinert keramik
2. Bioaktif keramik
3. Bioresorbable keramik.

4. Biomaterial komposit

Komposit adalah jenis material yang tersusun dari campuran dua bahan material yang memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda yang menghasilkan material baru yang memiliki sifat yang berbeda dari sifat material penyusunnya. Contoh komposit yaitu beton cor yang berasal dari campuran pasir, batu koral, semen, besi serta air (Syanur, 2015).

D. Pelat Kompresi Dinamik

Metode penyembuhan terbaik yang dapat digunakan oleh para ahli bedah untuk menangani kasus fiksasi pada tulang yang mengalami patah adalah dengan pemasangan alat penyangga pada struktur tulang yang disebut pelat kompresi dinamik. Pelat penyangga ini sendiri adalah jenis metode yang menggunakan dua komponen utama dalam prosesnya yaitu bagian pelat yang berlubang dan bagian baut tulang yang berfungsi untuk mengikatkan pelat dengan tulang. Teknik pemasangan pelat DCP dibagi dalam dua bagian terlihat pada gambar 1 dibawah, yaitu secara *internal* dimana pelat dipasang langsung ketulang, dan *external* yaitu pemasangan pelat dipasang di luar kulit (Sukmana, dkk, 2016).



Gambar 1. Fiksasi patah tulang metode DCP

Berdasarkan gambar 1 tentang fiksasi patah tulang dengan menggunakan metode DCP dijelaskan bahwa bagian (a) adalah Komponen pelat penyangga DCP bermerek stericlinTM, Jerman, (b) *Fraktur* tulang, (c) Metode fiksasi *external* dengan pelat DCP, (d) Sistem fiksasi dengan pelat DCP secara *Internal*.

Metode DCP seharusnya menggunakan material yang mampu luruh baik material berbasis *polymer* maupun berbasis logam. Material baut tulang berbasis *polymer* yang ada di pasaran yaitu PLA (*poly lactic acid*), kemudian PGA (*poly glicolic acid*) (Anker, et al, 2005).

Baut tulang berbasis *polymer* memiliki kelebihan yaitu nilai modulus elastisitas yang rendah, namun dalam aplikasinya bahan *polymer* dinilai kurang karena kekuatan mekanik yang dihasilkan masih relatif rendah. Bahan berbasis *polymer* umumnya untuk keperluan kekuatan tarik, gaya geser serta gaya kompresi yang rendah (Wittenberg, 1991).

Batasan tersebut membuka peluang aplikasi baut tulang yang mampu luruh dalam tubuh berbasis magnesium yang juga memiliki kelebihan pada sifat fisik serta mekanik dan modulus elastisitasnya yang dinilai baik yang menyerupai tulang manusia itu sendiri.

E. Magnesium dan Paduannya

Logam magnesium dan paduannya dinilai memiliki sifat kimia, fisik juga mekanik yang sangat cocok untuk dapat digunakan sebagai material *implant* pengganti tulang. Sebagai contoh, logam magnesium dan paduannya juga mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 40 hingga 50 GPa, dan besar nilai tersebut dinilai sangat mirip dengan besar nilai angka modulus elastisitas yang dimiliki oleh tulang manusia asli yaitu sebesar 10 - 40 GPa (Kim, 2003).

Magnesium juga merupakan elemen penting dalam proses metabolisme tubuh manusia, dimana *standart* makanan yang bergizi adalah makanan yang mengandung sebanyak 300 - 400 mg unsur magnesium (Sofyan, 2013).

Baut tulang mampu luruh berbahan dasar magnesium terkendala dalam masalah waktu luruh (*degradation time*) yang terjadi antara *implant* yang digunakan dengan proses penyembuhan dari tulang itu sendiri, sempurna baut tulang material *implant* dapat luruh dengan waktu yang sama pada saat tulang yang patah tersambung, sehingga tidak diperlukan proses operasi yang kedua untuk proses pengangkatan baut tulang material *implant* yang ada dalam tubuh. Kemudian untuk mengurangi kelemahan magnesium para peneliti yang bekerja dalam bidang ilmu material dunia telah berusaha untuk mencari jenis komposit yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan elastisitas dari bahan yaitu dengan penambahan beberapa unsur yang dapat dilakukan, seperti misalnya: Aluminium (Al), Argentem (Ag), Silikon (Si), Tin (Sn), Zinc (Zn), dan Zirkonium (Zr). Selain itu, untuk mengatur laju korosi magnesium yang *relative* tinggi, beberapa unsur umumnya ditambahkan dalam paduannya, seperti misalnya: Cadmium (Cd), Manganase (Mn), Tin (Sn), Zinc (Zn) dan Calcium (Ca) (Fan, 2005).

Kemudian berikut ini akan dijelaskan tentang pengertian serta manfaat dari unsur paduan yang digunakan dan seberapa berpengaruhnya sifat paduan tersebut pada perubahan sifat logam magnesium pada saat logam paduan digunakan sebagai unsur pemuat.

1. Aluminium (Al)

Aluminium merupakan unsur logam yang memberikan pengaruh terhadap perubahan besar nilai kekerasan serta meningkatkan sifat elastisitas juga dapat meningkatkan besar kekuatan tarik maksimum serta sifat mampu cor logam magnesium.

2. Litium (Li)

Litium merupakan unsur logam yang memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai elastisitas dari logam magnesium, tapi litium juga memberikan dampak ketidak mampuan logam magnesium terhadap sifat korosi yang kuat.

3. Mangan (Mn)

Mangan yaitu unsur paduan yang dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap peningkatan nilai elastisitas serta nilai kekerasan dan sifat tahan terhadap retakan yang terjadi pada batas butir material logam.

4. Calsium (Ca)

Calsium yaitu unsur paduan yang dapat memberikan pengaruh yang sangat baik terhadap peningkatan dari daya tahan material terhadap retakan yang dapat terjadi pada batas butir tapi kurang pada daya tahan terhadap sifat korosi.

5. Silicon (Si)

Silicon merupakan unsur padu yang memberikan pengaruh perubahan terhadap nilai kekuatan juga sifat ketahanan material terhadap temperatur tinggi tapi kurang terhadap sifat mampu bentuk.

Logam magnesium seri AZ31 banyak dijual karena banyak digunakan untuk keperluan *manufacture* pesawat terbang, diproduksi dalam bentuk batangan, juga lembaran dimana terdapat 3% Al dan 1% Zink dari tiap berat total material. Penambahan Al untuk meningkatkan nilai kekerasan serta kekuatan. Sedangkan Zinc untuk meningkatkan nilai tegangan tarik maksimum.

F. Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan pembuatan benda yang memiliki nilai komersial baik itu produk jadi atau berupa produk yang masih setengah jadi. Proses metalurgi serbuk dimulai dari penyiapan serbuk logam selanjutnya kompaksi yang kemudian dilakukan pemanasan dengan suhu pemanas berada dibawah titik cair logam (Hermanto, 2016).

Metalurgi serbuk dibuat dari produk logam yang berbeda bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar partikel dan mutu dari benda yang akan dihasilkan. Serbuk logam harus memiliki sifat khusus seperti

1. Bentuk

Bentuk partikel serbuk dapat berbentuk bulat, tidak teratur, dendritik, pipih juga dapat berbentuk bersudut tajam tergantung dari proses pembentukan.

2. Kehalusan

Kehalusan bentuk serbuk yang digunakan berkaitan dengan ukuran butir yang diambil dari proses mengayak serbuk logam.

3. Sebaran Ukuran Partikel

Pengaruh variasi sebaran ukuran partikel terhadap sifat mampu alir serta kemampuan porositas produk hasil bahan yang dihasilkan cukup besar.

4. Mampu Alir

Sifat mampu alir disini digambarkan sebagai laju aliran melalui suatu celah tertentu pada material.

5.Sifat Kimia

Sifat kimia menyangkut kemurnian serbuk, seperti halnya banyaknya jumlah oksida yang diperbolehkan dan banyaknya kandungan elemen lain.

6.Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan antara volume serbuk semula dengan volume benda material yang dihasilkan dari proses penekanan.

7.Berat Jenis

Berat jenis dinyatakan dalam standar satuan kilogram per meter kubik. Harga ini harus tetap agar jumlah serbuk yang mengisi tiap cetakan pada setiap waktunya bernilai sama.

8. Kemampuan *Sinter*

Proses *sinter* adalah proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan yang dilakukan pada suatu material yang telah melalui proses *grinding* dan *kompaksi*.

Berikut ini Keuntungan yang didapatkan dari proses metalurgi serbuk yang dilakukan (Candrawan, 1999)

1. Mampu mengontrol kualitas dan kuantitas dari material yang dibuat.
2. Produk yang dihasilkan lebih beragam.
3. Dapat dikombinasikan dengan Co, Ni, *Stainless steel*, baja karbon rendah, juga logam-logam refraktori, besi murni, dan karbida.
4. Material mampu memiliki sifat *filtrasi* yang baik.
5. Memiliki ketahanan terhadap sifat aus yang baik.
6. Material memiliki kemampuan sifat mampu redam yang baik.

Metode metalurgi serbuk memiliki keterbatasan yaitu: (Candrawan, 1999)

1. Dimensi yang terbatas yang disesuaikan dengan mesin cetak.
2. Benda hasil dari metode metalurgi serbuk mempunyai berat jenis yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan benda pejal yang sejenis.
3. Kemurnian yang dihasilkan dinilai kurang karena luas permukaan serbuk yang *relative* lebih tinggi dibandingkan berat serbuk sehingga serbuk mudah untuk teroksidasi.
4. Sifat korosi, karena pada serbuk porositas lebih peka terhadap *oksidasi*.

G. Proses Pembuatan Serbuk

Proses pemesinan menghasilkan partikel kasar jadi perlu dilakukan proses penggilingan dengan mesin penghancur, seperti misalnya mesin giling dan mesin tumbuk. Ada tiga metode yang dapat dilakukan untuk mendapatkan serbuk logam yaitu:

1. Melalui proses mekanik, yaitu proses permesinan menggunakan gerinda, mesin bubut juga dapat menggunakan mesin gergaji.
2. Melalui proses kimiawai, pertukaran electron, perubahan bentuk padat, pertukaran panas, atau reaksi sintesis yang dilakukan dari padat ke padat.
3. Melalui proses fisika yang dapat dilakukan dengan menggunakan teknik atomisasi.

Ukuran serbuk, distribusi serbuk, nilai densitas, dan kemampuan tekan juga kekuatan alami sangat tergantung dari metode yang digunakan dalam proses pembuatan serbuk logam.

H. Proses *Grinding*

Dalam prosesnya penghancuran dilakukan dengan bantuan bola baja yang terus berputar dalam tabung melumat benda kerja kasar menjadikannya serbuk logam.

Pada gambar 2 dibawah ini adalah mesin *ballmill* yang digunakan



Gambar 2. Mesin *BallMill*

Proses kerja mesin *ball mill* yaitu material yang akan dihancurkan dimasukkan kedalam tabung kemudian ditambahkan bola baja yang berfungsi untuk menghancurkan material kasar menjadi serbuk logam. Kemudian dilakukan penyetelan untuk lamanya waktu kerja mesin berputar, waktu jeda serta kecepatan putar yang ingin digunakan.

I. Proses *kompaksi*

Bertujuan merubah serbuk logam menjadi material padat dengan bentuk sesuai cetakan yang digunakan pada proses *kompaksi*. Ada 2 metode *kompaksi*:

1. *Cold compress.*

Proses penekanan yang dilakukan pada keadaan temperatur kamar.

Digunakan pada material yang mudah teroksidasi seperti logam magnesium.

2. *Hot compress*

Penekanan yang dilakukan pada keadaan suhu melebihi *temperature* kamar.

Digunakan pada material logam yang tidak mudah teroksidasi.

Proses *kompaksi* menimbulkan gaya gesek partikel serbuk logam dengan dinding cetakan yang mengakibatkan terjadinya kerapatan pada daerah tepi dan ketidak rataan pada bagian tengah material hasil *kompaksi*. Untuk menghindari hal tersebut digunakan pelumas yang bertujuan mengurangi gesekan yang terjadi antara partikel material serbuk logam dengan dinding cetakan yang digunakan dalam jalanya proses *kompaksi*. Bahan pelumas yang dipilih harus bahan pelumas yang tidak *reaktif* terhadap campuran serbuk material logam yang digunakan dan harus memiliki titik leleh rendah sehingga pada saat proses *sintering* awal dilakukan pelumas yang digunakan dapat menguap dan hilang. Terkait dengan pemberian pelumas pada saat proses *kompaksi* dilakukan, terdapat 2 metode yang dapat digunakan

1. *Die-wall compressing*

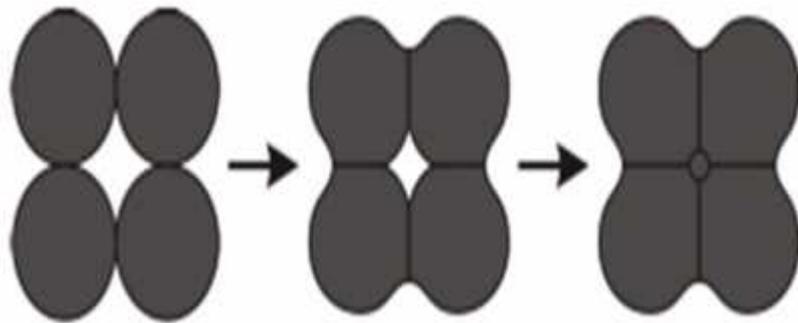
Proses *kompaksi* yang dilakukan dengan memberikan pelumas pada dinding cetakan yang digunakan dalam proses jalanya *kompaksi*.

2. *Internal lubricant compressing*

Proses *kompaksi* yang dilakukan dengan cara mencampurkan pelumas yang digunakan pada material serbuk logam (Hermanto, 2016).

J. Proses *Sintering*

Sintering merupakan proses pemanasan pada material yang dilakukan dibawah titik leleh untuk membentuk fase kerystal baru yang berpengaruh cukup besar terhadap volume porositas material yang dihasilkan. Fase kerystal dan volume porositas dapat dikontrol oleh suatu variabel misalnya saja dari nilai kepadatan serbuk, *temperature*, juga lama waktu *sinter*. Semakin besar temperatur semakin cepat proses pembentukan yang terjadi. Pada dasarnya besar kecil *temperature* dapat berpengaruh pada bentuk serta ukuran porositas yang dihasilkan (Bama, 2011). Perubahan struktur mikro pada saat *sintering* di gambarkan pada gambar 3 dibawah



Gambar 3. Perubahan struktur mikro pada saat *sintering*

Pada gambar 3 terlihat adanya penyusutan struktur mikro yang terjadi karena perubahan temperatur dari proses *sintering* yang mengakibatkan berikatanya partikel atom. Jika dalam proses atomik lebih cenderung pepadatan maka rongga pada material menjadi lebih kecil kemudian menghilang seiring dengan lama waktu *sinter*. Namun jika dalam proses atomik pengasaran cenderung lebih cepat, maka rongga dan butir yang ada pada material logam keduanya menjadi lebih besar seiring dengan lama waktu *sinter* (Bama, 2011).

Parameter yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses *sintering*.

1. Besar temperatur dan lamanya waktu *sinter*
2. Bentuk struktur dari partikel serbuk logam yang digunakan
3. Nilai densitas serbuk
4. Komposisi penyusun logam serbuk yang digunakan
5. Komposisi pelindung pada lingkungan tungku pemanas.

Empat langkah yang perlu dilakukan untuk serbuk dapat melakukan ikatan.

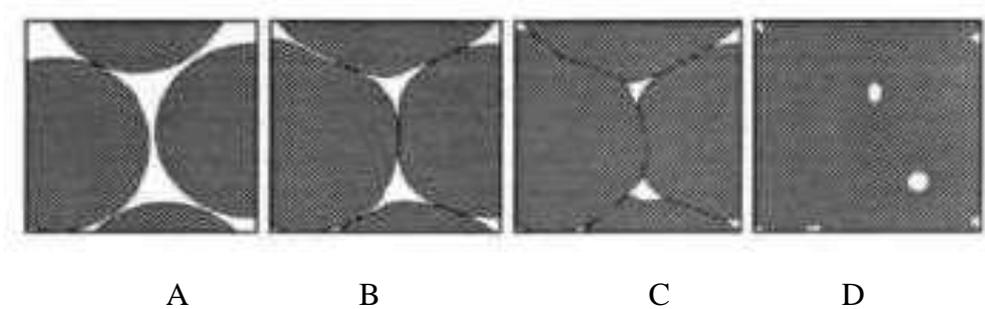
Titik kontak yaitu terjadinya ikatan antara serbuk logam satu dan lainnya.

Kemudian tahap awal tahap dimana leher mulai terbentuk diantara partikel dan pori yang runtuh. Tahap peralihan tahap ini leher terus tumbuh dan pori-pori

menyusut lebih lanjut namun masih ada batas butir antara partikel serbuk

logam. Tahap akhir batas butir dan partikel telah menjadi tubuh yang homogen.

Langkah proses *sintering* digambarkan pada gambar 4 dibawah



Gambar 4. Langkah proses *sintering*

Berdasarkan gambar 4 diatas berikut ini adalah keterangan mengenai empat tahapan bagaimana serbuk dapat melakukan ikatan.

- a. Terjadinya titik kontak
- b. Terbentuknya leher
- c. Tahap peralihan.
- d. Tahap akhir.

Berdasarkan pola ikatan yang terjadi pada proses *kompaksi*, ada 2 fenomena yang mungkin terjadi pada saat proses *sinter* dilakukan

1. Penyusutan (*shrinkage*)

Terjadi karena pada saat proses pemanasan berlangsung gas yang berada pada lubang porositas material mengalami *degassing*. Kemudian apabila *temperature sinter* yang digunakan terus dinaikkan maka terjadi difusi permukaan antar partikel yang akhirnya terbentuk *liquid bridge*. *Liquid bridge* ini nantinya akan menutupi porositas sehingga berkurangnya jumlah dan ukuran porositas material.

2. Retak (*cracking*)

Terjadi saat proses *kompaksi* terbentuk pola ikatan antar partikel berupa bidang-bidang sehingga menyebabkan adanya gas yang terjebak di dalam material logam, maka saat proses pemanasan gas yang terjebak pada logam material mengakibatkan porositas material tertutup rapat. Kemudian gas yang terjebak akan mendesak kesegala arah sehingga material mengembang. Bila kualitas ikatan partikel logam pada bahan komposit tersebut rendah, maka material tidak akan mampu menahan tekanan yang lebih besar sehingga menyebabkan terjadinya retakan (*cracking*).

Kemudian berikut ini adalah penjelasan tentang jalanya proses pemanasan yang meliputi 3 tahap mekanisme pemanasan yaitu:

1. *Presintering*

Terjadi pada saat *temperature sinter* mencapai suhu $\frac{1}{3}$ dari Titik Cair. Bertujuan mengeluarkan gas atau pelumas yang terjebak.

2. Difusi permukaan

Proses pemanasan untuk terjadinya transportasi massa pada permukaan antar partikel serbuk yang saling berinteraksi. Proses tahap ini terjadi pada temperatur penyinteran dengan besar suhu $2/3$ dari Titik cair material logam yang digunakan sebagai material dasar. Pada temperatur ini atom yang ada pada permukaan partikel serbuk logam akan saling berdifusi sehingga meningkatkan gaya kohesifitas antar partikel.

3. Eliminasi porositas

Terjadi akibat adanya difusi antar permukaan partikel serbuk logam, sehingga menyebabkan adanya tumbuh leher (*liquid bridge*) antar partikel dan proses akhir dari pemanasan penyinteran menyebabkan eliminasi porositas pada logam material.

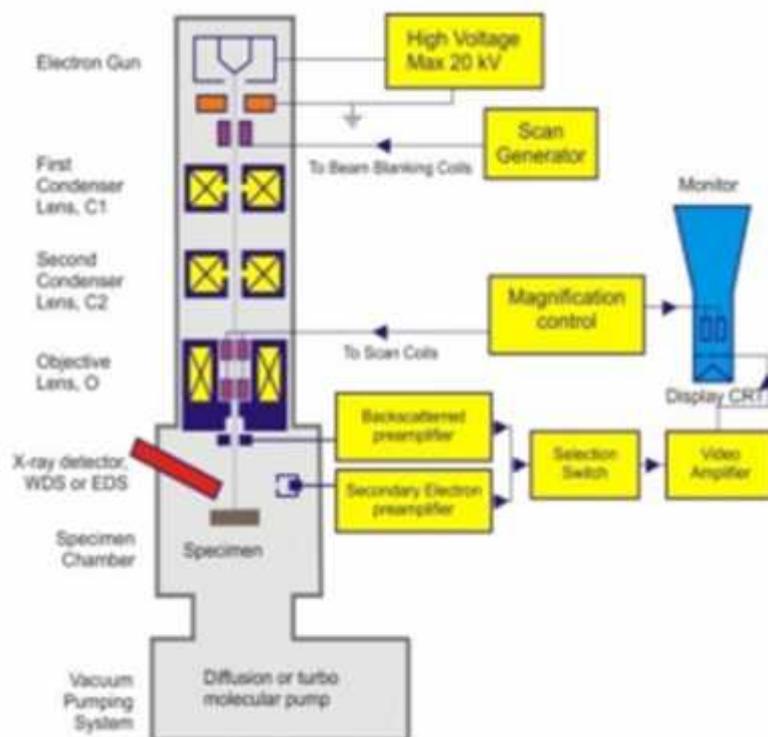
K. Uji SEM

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah suatu peralatan pengujian yang digunakan untuk mengetahui karakteristik permukaan suatu material melalui media penampil gambar. Pengujian SEM juga digunakan untuk mengetahui kandungan komposisi unsur yang terdapat pada suatu material. Prinsip dasar pengujian SEM adalah dengan menggunakan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisa dan kristal yang terbentuk. Pengujian SEM dilakukan dengan cara sampel yang diletakkan dan ditempel di atas SEM *speciment holder* dengan menggunakan *carbon double tipe* dengan posisi bagian vertikal ke atas atau lensa obyektif (Sujatno, 2015).

Double tipe yang digunakan terbuat dari bahan karbon yang konduktif di dua sisinya yang berfungsi untuk menghantarkan semua elektron yang masuk ke dalam sampel dapat keluar melalui *grounding*. Ruang peletaan sampel yang digunakan divakum hingga 10^{-6} torr untuk keperluan menjamin ruangan tersebut pada keadaan bebas dari molekul udara dan menghindari resiko oksidasi yang dapat terjadi. Pengujian SEM dilakukan dengan menggunakan standar parameter operasi sebagai berikut:

- High Voltage : 20 kV
- Spot Size : 50
- Work Distance (WD) : 10 mm
- Standar SEM : JSM-6510LA dari fabrikasi

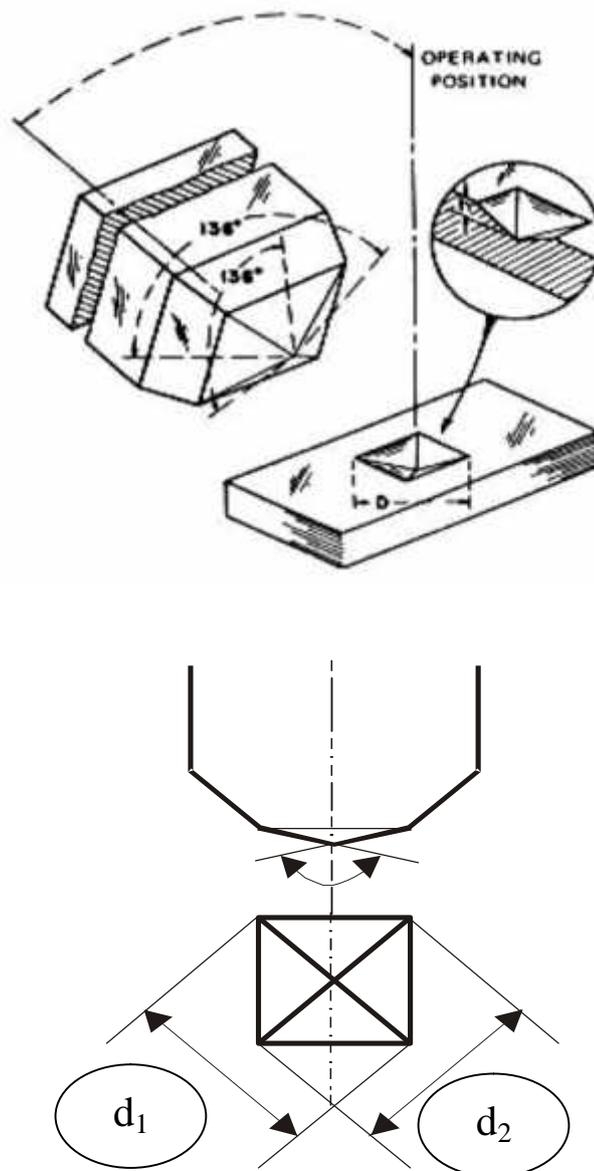
Pada gambar 5 dibawah ini adalah merupakan skema kerja yang dilakukan mesin uji SEM sampai menghasilkan tampilan gambar



Gambar 5. Diagram pengujian SEM

L. Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan adalah merupakan bentuk pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material. Uji kekerasan Vickers dilakukan dengan menggunakan penumbuk berbentuk piramida intan yang pada bagian dasarnya berbentuk bujur sangkar. Pada gambar 6 dibawah adalah gambaran bekas injakan dari proses uji kekerasan metode vickers:



Gambar 6. Skema identasi dengan mesin vickers

Berdasarkan gambar 6 diatas dapat dilakukan perhitungan nilai untuk uji kekerasan yang menggunakan metode vickers dengan rumus sebagai berikut

$$1,854 \times \frac{p}{\frac{(d_1+d_2)^2}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

Agar diperoleh nilai kekerasan yang cermat dan tepat, sebaiknya pengujian harus diambil besar nilai rata - rata dari dilakukanya pengujian setidaknya tiga kali proses penekanan yang dilakukan berdekatan. Setelah proses penekanan selesai dilakukan, hasil tekan yang ada pada spesimen dapat dilihat menggunakan mikroskop dengan besar pembesarann yang dikehendaki agar dapat melihat besar diagonal atau diameter bekas penekanan pada spesimen yang berbentuk bujur sangkar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian Mulai dilaksanakan pada bulan Februari di Laboratorium Proses Produksi, Teknik Mesin, Universitas Lampung untuk proses permesinan bubut. Permesinan *ballmill* untuk menghancurkan geram menjadi serbuk logam dilakukan di Laboratorium Biomassa Universitas Lampung. Proses *kompaksi* dan *sintering* dilaksanakan di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) LIPI, Serpong Tangerang Selatan.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Magnesium AZ31.

Gambar 7 dibawah adalah merupakan gambaran bentuk dari Magnesium AZ31 yang merupakan bahan utama dalam jalanya penelitian yang dilakukan, Magnesium AZ31 merupakan jenis logam magnesium dengan unsur paduan, dimana unsur pepadunya berupa aluminium sebanyak 3% dan unsur zinc sebanyak 1% dari jumlah berat total paduan.



Gambar 7. Magnesium AZ31

2. Mesin Bubut

Pada gambar 8 dibawah adalah gambar mesin bubut yang digunakan dalam jalanya proses penelitian tugas akhir.



Gambar 8. Mesin bubut

Mesin bubut digunakan untuk mendapatkan geram dari hasil permesinan.

Mesin bubut yang digunakan dalam jalanya penelitian tugas akhir memiliki kelengkapan data spesifikasi seperti berikut.

Merk	: pinacho
Type	: S-90/200
Penyerahan	: 22-8-2000
Buatan	: SPAIN, JULY 1999
Main Motor Power	: 4 Kw
Pump Motor Power	: 0,06 Kw
Central High	: 200 mm
Central Distance	: 750 – 1150 mm
Swing Over Bed	: 400 mm
Swing Over Grap	: 600 mm
Swing Over Carriage	: 370 mm
Swing Cross Slide	: 210 mm
Bed Width	: 300 mm

3. Mesin *Planetari Ballmill*

Gambar 9 dibawah adalah merupakan gambar yang menunjukkan bola baja yang digunakan dalam proses *grinding* dan tampilan penuh dari mesin *ballmill* yang digunakan dalam jalanya proses penelitian.



Gambar 9. Mesin *ballmill*

Prosesnya geram hasil permesinan bubut dihancurkan menggunakan bola baja yang terus berputar yang membuat geram hancur menjadi serbuk. Parameter yang digunakan menggunakan bola baja diameter 10 mm dengan 10 kali penggilingan dengan waktu giling 3 menit waktu jeda 2 menit dan kecepatan putar yang digunakan yaitu 650 Rpm. Spesifikasi mesin *grinding*.

Tabel 1 Spesifikasi mesin *grinding*

Nama Alat	Planetary Ballmill
Type	PM 200
Drive Power	750 W
W x H x D	630 x 468 x 415 mm
Feed Size	<4 mm
Batch / Sample Volume	Max 2 x 50 ml

4. Mesin Penyaring

Mesin penyaring ukuran serbuk logam yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 10 dibawah



Gambar 10. Mesin penyaring

Digunakan untuk menyaring ukuran serbuk logam yang dihasilkan sesuai dengan besar kecil dari ukuran serbuk logam. Proses penyaringan ini akan mempermudah dalam kegiatan penggolongan serbuk logam berdasarkan ukuran yang akan digunakan.

5. Mesin *Sinter*

Pada gambar 11 dibawah adalah merupakan tampilan dari *tube furnace* yang ditambahkan aliran gas argon



Gambar 11. Mesin *sintering* dengan argon

Proses *sinter* adalah proses pemanasan yang dilakukan dibawah titik leleh material untuk meningkatkan ikatan antar partikel. Prosesnya serbuk logam yang telah dipadatkan kemudian dipanaskan dalam tungku tabung pemanas dengan lama waktu tahan pemanasan setelah mencapai ketetapan temperatur yang diharapkan yaitu 45 menit dengan aliran gas argon selama jalanya proses *sinter* dilakukan dan dengan variasi suhu *sinter* yang digunakan yaitu sebesar 400°C, 450 °C, 500 °C, dan 550 °C.

6. Gas Argon

Gas argon merupakan jenis gas mulia yang digunakan untuk memperkuat struktur dari sebuah logam material saat logam material tersebut dalam proses *sintering*. Gas argon juga dapat digunakan untuk mengurangi jumlah carbon yang terdapat pada suatu material juga dapat berfungsi sebagai penetral ruangan pada tabung pemanas dari adanya udara bebas atau unsur oksigen berlebih yang dapat sebabkan terjadinya oksidasi.

Proses pengujian densitas dan porositas yang dilakukan menggunakan metode archimides dapat dilihat pada gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12. Pengujian Densitas dan Porositas teori archimides

7. Pengujian Densitas

Pengujian densitas menggunakan teori archimides, yaitu pengujian densitas dengan cara menimbang berat material logam pada paduan udara bebas dan kemudian membandingkannya dengan berat material logam yang ditimbang pada paduan fluida yang berisikan cairan aquades.

8. Pengujian Porositas

Nilai pengujian porositas didapatkan dari hasil perhitungan perbandingan antara nilai densitas material yang sebenarnya dengan nilai densitas secara teoritik mengacu pada standar pengujian yang digunakan yaitu standar ASTM 378-88. Nilai densitas material yang sebenarnya disini didapatkan dari perhitungan teori archimides yang dilakukan melalui media air. Nilai densitas teoritis didapatkan berdasarkan perhitungan densitas yang dimiliki dari masing-masing unsur logam material.

9. Mikroskopi Optik

Gambar 13 dibawah merupakan mikroskopi optikal digunakan untuk melihat struktur micro dari sebuah material logam yang telah melewati proses *sintering*.



Gambar 13. Alat Mikroskopi Optik

Berikut adalah data spesifikasi alat Mikroskopi Optik yang digunakan dalam jalannya proses penelitian.

Tabel 2 spesifikasi alat Mikroskopi Optik

Nama alat	Microskop optik MEIJI MT 7000
Head	Binocular
Illumination	30 w vertical kohler
Eyepieces	SSWH 10XFN22
Objectives	Plan EPI 50x 100x 200x 250x500x

10. Uji Kekerasan

Gambar 14 dibawah adalah merupakan alat uji keras yang digunakan untuk mencari nilai kekerasan pada permukaan logam Magnesium AZ31 hasil *sinter*.



Gambar 14. Alat uji kekerasan

Berikut ini adalah data dari spesifikasi mesin yang dimiliki oleh alat uji kekerasan yang digunakan dalam proses jalanya penelitian tugas akhir yang dilakukan.

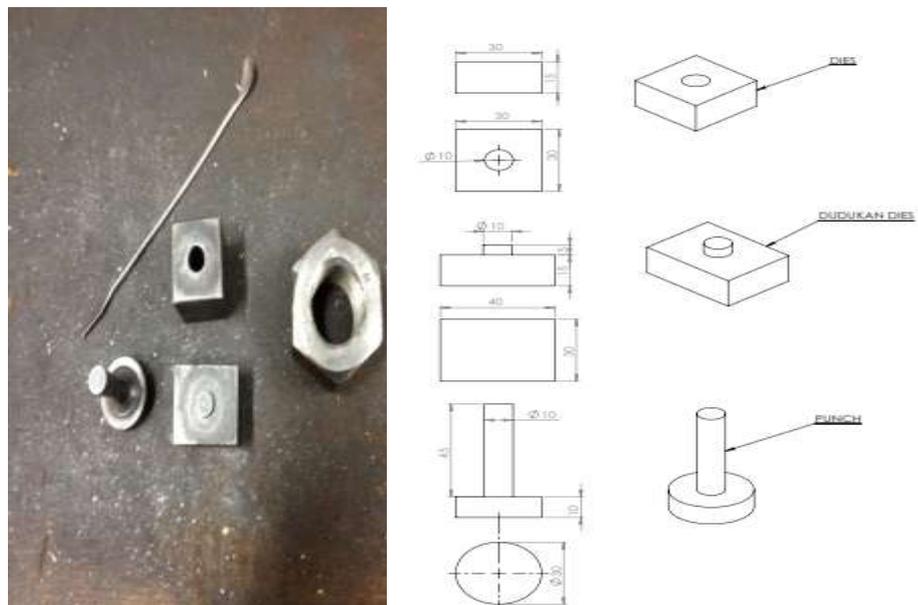
Tabel 3 Spesifikasi alat uji keras vickers

Nama Alat	AFFRI/206 RTD
Pre Load	10 kgf (98,07 N)
Test Load	60 -100 – 150 Rockwell
	63,5 – 125 – 187,5 Brinell
	10-60 Vickers
Working	Rockwell traditional – electronic control
Feasible test	Rockwell, Brinell + Vickers
Hight and DepthCapacity	215 x 190 mm
Diameter of coloumn and anvil	60 x 60 mm
Max load	1.000 kg
Field of application	For all metal, sheet, hard steel, cast iron, bronze, alumunium over 0,6 mm, plastic, soft and hard rubber

11. Mesin *Kompaksi*

Prosesnya menekan serbuk logam pada cetakan yang telah disiapkan dengan tekanan 300 Psi selama 3 menit penahanan dilanjutkan 400 Psi selama 2 menit. Proses jalanya *kompaksi* dilakukan dengan metode *cold compressing*, metode ini dipilih karena bahan logam mudah mengalami oksidasi.

Gambar 15 berikut ini adalah gambar alat kompaksi dengan cetakan yang digunakan beserta dimensi yang digunakan.



Gambar 15. Mesin kompaksi dan *dies*

Kemudian berikut adalah paparan data spesifikasi dari mesin *kompaksi* yang digunakan dalam proses penelitian.

Tabel 4 spesifikasi mesin *kompaksi*

Nama alat	Mesin Press
Type	DA/MS/100/RGI
Kapasitas	100 ton
Sistem	Hydrolik
Serial number	1016

12.Uji SEM dan EDX

Gambar 16 dibawah adalah mesin *Scanning Electron Microscope* digunakan untuk melihat struktur yang tersusun pada permukaan logam hasil *sintering*.



Gambar 16. *Scanning Electron Microscope* berjenis ZEISS EVO® MA 10.

Memiliki kemampuan perbesaran 10–3000000x, depth of field 4–0.4 mm dan memiliki besar resolusi sebesar 1 – 10 nm. Juga dilengkapi dengan alat *detektor Energy Dispersive X-ray (EDX)* yang dapat melakukan mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif terhadap material logam.

Kemudian berikut ini adalah spesifikasi yang dimiliki oleh alat pengujian SEM - EDX yang digunakan dalam jalanya penelitian tugas akhir.

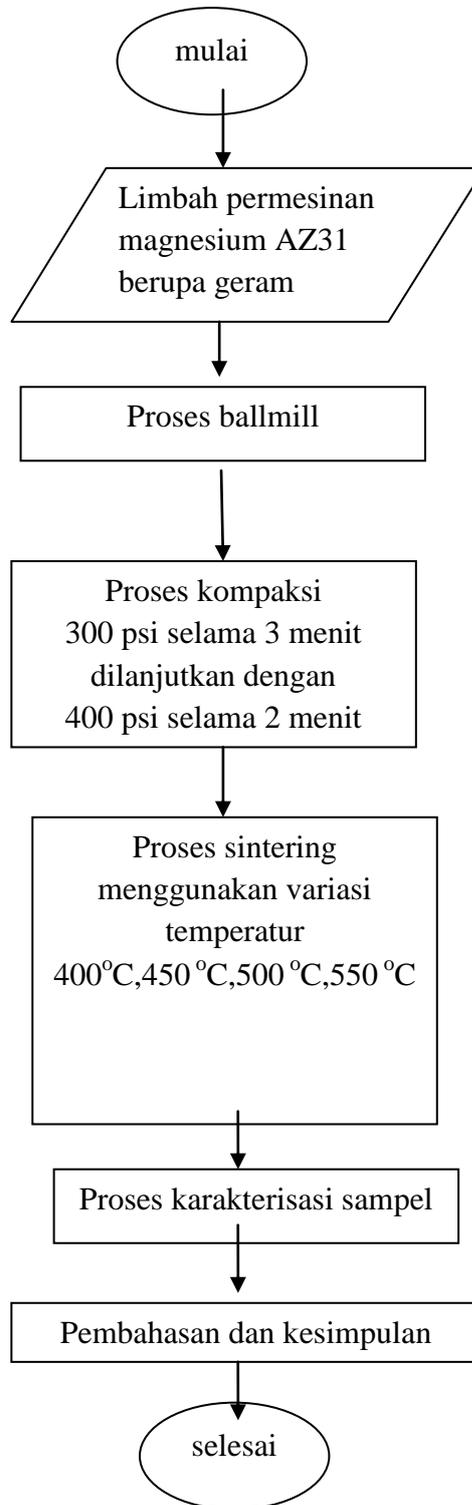
Tabel 5 spesifikasi alat pengujian SEM - EDX

Nama Alat	SEM-EDX Zeiss Evo ® MA 10
Resolusi	1.9 nm, 2 nm, 3nm @30 kV SE with HD, LaB ₆ , W
	3nm, 3,4 nm @ 30 kV SE VP mode HD, W
	10nm, 15 nm @ 30 kV 1 nA with HD, LaB ₆
	5 nm, 8 nm @ 3kV SE with HD, LaB ₆ or W
	8 nm, 15 nm, 20 nm @ 1kV SE with HD, LaB ₆ , W
	6 nm @3 kV with beam deceleration
Acceleration Voltage	0,2 to 30 kV
Magnification	< 7 – 1.000.000x

C. Alur Penelitian

Alur jalanya kegiatan penelitian tugas akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut

Tabel 6 Alur jalanya kegiatan penelitian tugas akhir



D. Rencana Jalanya Penelitian

Penelitian yang dilakukan mengacu pada rencana yang telah dibuat.

Tabel 7 rencana jalanya penelitian

Aktivitas	Bulan														Output
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		
Studi Literatur	←—————→														Pengumpulan jurnal tentang manfaat magnesium pada aplikasi baut tulang.
Persiapan material dengan proses; Ball mill Kompaksi Sintering	←————→														Serbuk metal Material hasil kompaksi Material hasil sintering
Pengujian Uji Kekerasan Uji Densitas Uji Porositas Uji mikroskopi optikal Uji SEM						↔								Data hasil uji kekerasan Data pengukuran Densitas dan porositas Gambar uji mikro Gambar uji SEM	
Pembahasan								↔						Hasil dan Pembahasan	
Seminar Proposal							◆							Diajukan pada seminar proposal	
Seminar Hasil												↔		Diajukan pada seminar hasil	
Seminar Akhir													◆	Diajukan pada seminar akhir	

E. Pengambilan Data

Berikut ini adalah bentuk skema pengambilan data yang digunakan untuk hasil data pengujian yang telah didapatkan.

Tabel 8 skema pengambilan data

Temperatur Sinter	Tekanan Kompaksi	Waktu Sinter	Data Uji Keras
400 °C	300 Psi selama	45 Menit	
450 °C	3 menit dilanjutkan		
500 °C	400 Psi selama		
550 °C	2 menit		

Berdasarkan tabel 8 diatas data hasil pengujian didapat dengan menggunakan Skema pengambilan data pengujian yang dilakukan dalam pelaksanaan pengujian Densitas, Porositas, Kekerasan, juga dalam melakukan pengamatan dengan alat SEM dan Mikroskopi Optik dilakukan dengan menggunakan tabel terlampir diatas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. jika nilai densitas suatu material itu tinggi, pori yang ada pada material tersebut bernilai rendah atau nilai porositas yang dimiliki material tersebut bernilai rendah. Pendapat ini sejalan dengan data hasil pengujian yang didapatkan dengan nilai uji densitas tertinggi dan nilai porositas terendah terdapat pada material uji yang di *sinter* pada besar temperatur 400°C.
2. Semakin tingginya temperatur *sinter* yang digunakan maka hasil nilai uji keras yang didapatkan juga akan semakin kecil, hal ini disebabkan karena material uji mengalami *overheating* atau terlalu panas sehingga material uji yang dihasilkan menjadi getas dan menurunnya kemampuan material dalam kemampuan uji keras (asep,2016). Pendapat ini sejalan dengan hasil uji keras yang telah didapat.
3. Kandungan Oksigen dan Karbon pada serbuk logam dikarenakan tidak adanya perlakuan pemberian gas pelindung seperti gas argon misalnya pada saat dilakukanya proses *ballmill* sehingga Oksigen masuk kedalam proses yang dilakukan. Kemudian peningkatan kandungan Karbon disebabkan oleh akibat dari proses Oksidasi yang terjadi pada serbuk metal.

4. Dampak dari perlakuan perbedaan suhu *sinter* yang dilakukan pada material uji dapat diketahui berdasarkan uji kekerasan bahwa semakin besar suhu sinter yang diberikan akan menghasilkan besar nilai kekerasan yang semakin kecil. .

B. Saran

1. Sediakan sebuah tempat yang vakum untuk proses penyimpanan sampel material baik dari proses awal sampai akhir penelitian sehingga kandungan Oksigen pada material logam dapat di minimalisasi.
2. Waktu lama proses penyimpanan juga harus diperhatikan agar material tidak banyak terkena udara yang dapat menyebabkan material logam teroksidasi. Jadi sebaiknya dalam jalanya penelitian proses pengujian karakterisasi yang dilakukan juga harus dilakukan dalam waktu yang cepat.
3. Untuk penelitian yang selanjutnya disarankan untuk dapat menggunakan serbuk metal murni yang dijual dipasaran sehingga bisa memanipulasi paduannya dan meminimalisasi kandugan-kandungan lain yang tidak dibutuhkan dalam serbuk logam yang akan digunakan.
4. Dalam kegiatan *grinding* usahakan alat *grinding* bersih atau memang hanya digunakan untuk proses *grinding* dengan jenis material yang sama yang kita *grinding*, agar hasil yang didapatkan murni tanpa tercampur unsur lain yang bisa jadi tertinggal pada alat *grinding*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bama, A.A. and Ramlan. 2011. Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering Terhadap Sifat Bahan Porselin Untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik). Jurnal Penelitian Sains. Chapter 12. Vol 14 Nomer 3(B) 14305. Sumatra Selatan. Indonesia.
- Buldum, B.B. and Sik, A. 2011. *Investigation of machining alloy machinibility. International journal of electronic: Mechanical and Mechatronics Engineering* Vol.2 No.3 pp.(216-268).
- Black, J. 1988. *Orthopaedic Biomaterials in Research and Practice*. New York. Churchill Livingstone.
- Blawert, C. and Hort, N. 2004. Automotif application of magnesium and its alloy. *Trans Indian Ins. Met* Vol.57. No.4 pp.397-408
- Denkana, B. And Lucas, A. 2013. Biocompatible Magnesium Alloys as Degradable Implant Material – Machining Induced Surface and Subsurface Properties and Implant Permormance. *Spesial Issue on Magnesium Alloys*. p. 109-128.

- Hermanto, A. 2016. Peluang dan Tantangan Aplikasi Baut Tulang Mampu Terdegradasi Berbasis Logam Magnesium. *Dinamika Teknik*. Bandar Lampung. Vol 6.
- Kim, S.R. and Lee, J.H. 2003, Synthesis of Si, Mg Substituted Hydroxyapatites and their Sintering behaviors. *Biomaterials*; Vol 24, p. 1389 – 1398.
- Sofyan, B.T. and Susanti, O. 2013. Magnesium dan Paduannya sebagai Biomaterial. *Seminar Material Metalurgi*. Serpong. PP 27-33
- Sujatno, A. Salam, R. 2015. Studi Scanning Electron Microscopi (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM-BATAN) *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Volume 9 nomer 2.
- Sukmana, I. Hermanto, A. Burhanuddin, Y. 2016. Aplikasi Logam Magnesium dan Paduannya sebagai Material Baut Tulang Mampu Luruh. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV)*. Bandung. 5-7 Oktober 2016.
- Syanur, F.N. 2015. Preparasi dan Karakterisasi Mekanik Paduan Mg-Ca-Zn Berpori di (P2MM) PUSAT Penelitian Metalurgi dan Material Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Serpong. Tangerang Selatan
- Witte, F. 2013. Application use of magnesium in medical application. Woodhead Publishing Limited. P 342-345.