



**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING SERBUK ALUMINIUM DAN
SERBUK ARANG KAYU KELAPA TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT KAMPAS REM**

SKRIPSI

Oleh

**Rendi Prisma Wahyudi
NIM 121910101053**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING SERBUK ALUMINIUM DAN
SERBUK ARANG KAYU KELAPA TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT KAMPAS REM**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Rendi Prisma Wahyudi
NIM 121910101053**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala rizki dan karuniaNya yang telah dilimpahkan, serta kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Keluargaku, Ibunda Rahayu, Ayahanda Supriyanto, adik-adikku Erwin Prisma Wahyudi, Imas Prisma Wahyu dan Rey Nanda Prisma Wahyu, atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi dan bimbingan.
3. Semua keluarga dari ibu dan semua keluarga dari ayah.
4. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku dosen penguji II, dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T juga selaku dosen pembimbing akademik.
5. Komunitas Keroncong Anak Jombang (KKAJ), *Jember Star Ordinary* (JSO) dan sahabat saya saudari Alzaena Geanina Irnawan yang tiada henti memberikan semangat untuk mengerjakan penelitian ini.
6. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Tiada hari tanpa berdoa”

“Tiada waktu tanpa berusaha”

Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik

(HR. THABRANI)

“Aku Cinta Keroncong”

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rendi Prisma Wahyudi

NIM : 121910101037

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “ **pengaruh temperatur sintering serbuk aluminium dan serbuk arang kayu kelapa terhadap sifat mekanik kampak rem** ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Juli 2018

Yang menyatakan,

(Rendi Prisma Wahyudi)

NIM 121910101053

SKRIPSI

**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING SERBUK ALUMINIUM DAN
SERBUK ARANG KAYU KELAPA TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT KAMPAS REM**

Oleh

Rendi Prisma Wahyudi
NIM 121910101053

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Agus Triono, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Temperatur Sintering Serbuk Aluminium dan Serbuk Arang Kayu Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Komposit Kampas Rem” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 17 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.,
NIP 19681207 199512 1 002

Dr. Agus Triono., S.T., M.T.
NIP 19700807 200212 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Hari Arbiantara, S.T., M.T.
NIP 19670924 199412 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP. 196612151995032001

RINGKASAN

Pengaruh Temperatur Sintering Serbuk Aluminium dan Serbuk Arang Kayu Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem; Rendi Prisma Wahyudi, 121910101053; 2017: xx halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sistem pengereman pada suatu kendaraan merupakan komponen penting sebagai keamanan dalam berkendara. Tidak berfungsinya rem dapat menimbulkan bahaya dan keamanan berkendara menjadi terganggu. Oleh sebab itu komponen rem yang bergesekan harus memiliki sifat kekerasan sesuai standart, tahan terhadap gesekan (tahan aus), tahan panas dan tidak mudah berubah bentuk pada saat bekerja dalam suhu tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur sintering serbuk arang kayu kelapa, serbuk aluminium dengan resin phenolic terhadap sifat mekanik kampas rem. Penelitian ini menganalisa variasi fraksi berat serbuk arang kayu kelapa dan serbuk aluminium dengan matrik resin phenolic, dengan variasi fraksi berat (40%,20%,40%). Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji kekerasan, uji laju keausan, uji koefisien gesek, uji struktur mikro. Tahapan dalam pembuatan spesimen kampas rem, pertama menyiapkan bahan, kemudian bahan di campur secara merata, tahap selanjutnya proses penekanan dan sintering material, selanjutnya proses pengujian spesimen.

Peningkatan temperatur sintering berdampak terhadap sifat meterial. Nilai kekerasan tertinggi adalah 55,6 BHN pada temperatur sintering 175⁰C. Sedangkan nilai kekerasan terendah adalah 35,9 BHN pada temperatur sintering 125⁰C. Sedangkan pada laju keausan kampas rem nilai yang terendah dicapai pada temperatur sintering 175⁰C dengan laju keausan $3,9 \times 10^{-7}$ gr/s mm², selanjutnya sintering dengan temperatur 225⁰C laju keausan $5,7 \times 10^{-7}$ gr/s mm² dan keausan

tertinggi dengan temperatur sintering 125°C dengan laju keausan $7,8 \times 10^{-7} \text{ gr/s mm}^2$. Nilai koefisien gesek tertinggi adalah 0,45 dicapai dengan temperatur sintering 125°C . Sedangkan nilai koefisien gesek untuk temperatur sintering 175°C dan 225°C sebesar 0,26 dan 0,22. Pada pengamatan mikro terlihat pada material dengan temperatur sintering 225°C memiliki porositas yang lebih tinggi dari pada material yang lainnya.

SUMMARY

Influences of Sintering Temperature of Aluminum Powder and Coconut Wood Charcoal Powder on Mechanical Properties of Brake System; Rendi Prisma Wahyudi, 121910101053; 2017: xx pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Braking system in a vehicle is an important component as a safety in driving. The malfunction of the brakes may cause danger and the safety of driving becomes impaired. Therefore, the braking components of the brake must have a standard hardness properties, resistant to friction (wear-resistant), heat resistance and not easily change shape when working in high temperatures.

This study aims to determine the influence of temperature sintering coconut wood charcoal powder, aluminum powder with phenolic resin to mechanical properties of brake lining. This study analyzed the variation of heavy fraction of coconut wood charcoal powder and aluminum powder with phenolic resin matrix, with variation of weight fraction (40%, 20%, 40%). Tests conducted in this study include hardness test, wear rate test, coefficient of friction test, microstructure test. Stages in the manufacture of brake lined specimens, first preparing the material, then the material mixed evenly, the next stage of the process of suppression and sintering material, then the process of testing the specimen.

Increased sintering temperature affects the properties of the material. The highest hardness value is 55,6 BHN at 175⁰C sintering temperature. While the lowest hardness is 35,9 BHN at 125⁰C sintering temperature. While at brake wear rate the lowest value is achieved at 175⁰C sintering temperature with 3.9×10^{-7} gr/s mm² sintering rate, then sintering with temperature 225⁰C wear rate 5.7×10^{-7} gr/s mm² and the highest wear with 125⁰C sintering temperature with wear rate of 7.8×10^{-7} gr/s mm². The highest coefficient of frictional value is 0.45 is achieved with 125⁰C sintering temperatures. While the coefficient of friction for sintering

temperature 175°C and 225°C equal to 0,26 and 0,22. In micro observations seen in materials with sintering temperature of 225°C has a higher porosity than other materials.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “PENGARUH TEMPERATUR SINTERING SERBUK ALUMINIUM DAN SERBUK ARANG KAYU KELAPA TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT KAMPAS REM ”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Keluargaku, Ibunda Rahayu, Ayahanda Supriyanto, adik-adikku Erwin Prisma Wahyudi, Imas Prisma Wahyu dan Rey Nanda Prisma Wahyu, atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi dan bimbingan.
3. Teman-teman kos danau toba Ivan Alex, Hakim, Ivan Jhon, Roni Cak Lontong. Yang selalu memberi semangat, dukungan, motivasi dan do'a-do'a yang selalu terucap.
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Ahmad Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
6. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;

7. KKAJ, JSO dan teman-teman keroncong yang selalu memotivasi penulis.
8. Bpk. Achmad Yani selaku pimpinan Komunitas Keroncong Anak Jombang dan Bpk. Irnawanto, S.T., selaku orang tua kedua saya yang banyak memberikan nasihat dan motivasi.
9. Cak Pardi selaku sahabat saya yang menemani dalam penelitian ini, Bpk. Widi Pimpinan Kr. LA Mbah Gondrong Lamongan, Bpk. Satriawan Pimpinan JSO, Bpk. Tinop Harsono S.Pd, Bpk. Dodik Hendro Kusumo S.Pd, Bapak Abdul Wakit, Bu Bambang yang memberikan semangat juga sebagai keluarga dan sahabat saya
10. Tim skripsi kampus rem M.Syaroni, Ady Purwanto, Khoirul Anam yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi.
11. Sahabat baik dan tim keroncong Jombang Haikal Ramadhan, Alzaena, Tri Atmaja, Cressando (SMPN 2 Jombang), Kromansa (SMA N 1 Jombang), Recoda (SMA N 2 Jombang) dan Ok SMAGA JOE (SMA N 3 Jombang)
12. Ketua Angkatan TM 12 Universitas Jember, Rama, yang telah sabar dan mengayomi dulur-dulur di angkatan 2012. Serta seluruh saudara seperjuangan, Hemas, Boyo, Agung Suseno, Budi Hermanto, Dendi Sogol, Nanda Jefri, Hilmi Gondrong, Mas Abduh, dll. Semoga persaudaraan ini akan tetap terjaga hingga akhir waktu;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 17 Juli 2018

Penulis

2.1.2.1 Komposit Serat (<i>Fiber Composite</i>)	7
2.1.2.2 Komposit Struktur (<i>Structure Composite</i>)	8
2.1.2.3 Komposit Butir (<i>Particulate Composite</i>)	9
2.2 Rem	9
2.2.1 Jenis Rem	10
2.2.2 Rem Tromol (<i>Drue</i>)	11
2.2.3 Rem Cakram (<i>Disc Brake</i>)	13
2.3 Aluminium	16
2.3.1 Klasifikasi Aluminium	16
2.2.1.1 Aluminium Murni	16
2.2.1.2 Aluminium Paduan	17
2.2.1.3 Serbuk Aluminium	18
2.4 Serbuk Kayu Kelapa	18
2.5 Resin Phenolic (<i>PHENOL FORMALDEHID</i>)	19
2.6 Proses Kompaksi	21
2.7 Sintering	21
2.8 Pengujian	22
2.8.1 Uji kekerasan	23
2.8.2 Uji keausan dan Koefisien Gesek	23
2.8.2.1 Rumus Uji Keausan	24
2.8.2.2 Rumus Koefisien Gesek	25
2.7.3 Uji Struktur Mikro	26

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Dan Bahan Penelitian	28
3.1.1 Alat	28
3.1.2 Bahan	29
3.2 Proses Pembuatan dan Pengujian Spesimen	29
3.2.1 Pembuatan Spesimen	39
3.2.2 Proses penekanan dan Pemanasan	30
3.2.3 Pengujian Kekerasan	31

3.2.4 Pengujian Keausan dan Koefisien Gesek	32
3.2.5 Pengamatan struktur Mikro	32
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.4 Analisa Data	34
3.5 Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.6 Rencana Jadwal Penelitian	36
BAB 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA	
4.1 Pengujian Kekerasan	42
4.1 Pengujian Laju Keausan	44
4.3 Pengujian Koefisien Gesek	46
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	48
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya	7
Gambar 2.2 Tipe serat pada komposit.....	7
Gambar 2.3 Struktur lapisan.....	8
Gambar 2.4 Struktur <i>sandwich</i>	8
Gambar 2.5 Komposit partikel	9
Gambar 2.6 Silinder roda	12
Gambar 2.7 Sepatu rem	12
Gambar 2.8 Pegas pengembali	13
Gambar 2.9 <i>Backing plate</i>	13
Gambar 2.10 Bagian-bagian rem cakram.....	14
Gambar 2.11 Mater silinder.....	14
Gambar 2.12 Pirigan cakram.....	15
Gambar 2.13 Kampas rem	16
Gambar 2.14 Karakteristik kayu kelapa.....	19
Gambar 2.15 Phenolic resin	20
Gambar 2.16 Jenis-jenis kompaksi.....	21
Gambar 2.17 Mekanisme pemadatan sernuk dengan proses sintering	22
Gambar 2.18 Alat uji kekerasan <i>brinnell</i>	23
Gambar 2.19 Mesin <i>Prony brake</i>	24
Gambar 2.20 Skema sistem kerja <i>prony brake</i>	25
Gambar 2.21 <i>Zoom stereo microscope</i>	27
Gambar 3.1 Desain cetakan	30
Gambar 3.2 Desain penekan.....	31
Gambar 3.3 Serbuk Aluminium	31
Gambar 3.4 Resin <i>Phenolic</i>	31
Gambar 3.5 Serbuk arang kayu kelapa (glugu) mesh 50	31

Gambar 3.6 Mesin pres	34
Gambar 3.7 Mesin <i>prony brake</i>	36
Gambar 3.8 Diagram alir	38
Gambar 4.1 Grafik nilai kekerasan (BHN)	43
Gambar 4.2 Grafik laju keausan (gr/s mm^2)	45
Gambar 4.3 Grafik nilai koefisien gesek	47
Gambar 4.4 Hasil pengamatan struktur mikro	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar acuan spesifikasi teknik kampas rem.....	10
Tabel 2.2 Nilai berat jenis untuk serbuk aluminium hasil proses atomisasi.....	18
Tabel 3.1 <i>Maximum Allowable Pressure SCH pipes (psi)</i>	30
Tabel 3.2 Spesifikasi serbuk aluminium.....	31
Tabel 3.3 Variasi pencampuran bahan perspesimen	33
Tabel 3.4 Hasil uji kekerasan	38
Tabel 3.5 Hasil uji keausan.....	39
Tabel 3.6 Hasil uji koefisien gesek.....	40
Tabel 3.6 Rencana Jadwal Penelitian	41
Tabel 4.1 Tabel Nilai Pengujian Kekerasan kampas rem	42
Tabel 4.2 Laju Keausan	44
Tabel 4.7 Nilai Koesfisien Gesek	46

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pengereman pada suatu kendaraan merupakan komponen penting sebagai keamanan dalam berkendara. Tidak berfungsinya rem dapat menimbulkan bahaya dan keamanan berkendara menjadi terganggu. Oleh sebab itu komponen rem yang bergesekan harus memiliki sifat kekerasan sesuai standart, tahan terhadap gesekan (tahan aus), tahan panas dan tidak mudah berubah bentuk pada saat bekerja dalam suhu tinggi.

Komponen utama dalam sistem pengereman adalah kampas rem. Beberapa faktor yang menentukan kualitas kampas rem yaitu komposisi bahan, jenis bahan dan kekerasan. Bahan komposit merupakan bahan alternatif untuk pembuatan kampas rem (Fitrianto F.D, 2012). Dengan memilih bahan yang tepat dapat memperpanjang umur kampas rem serta mendapatkan daya pengereman yang baik dan efisien.

Berdasarkan bahan penyusun material geseknya, komposit dibagi menjadi tiga yaitu kampas rem *asbestos*, kampas rem *semimetalic* dan kampas rem *free-asbestos*. Kampas rem *non-asbestos* menggunakan bahan - bahan *organic* sebagai unsur penyusun material geseknya. Kampas rem *non-asbestos* memiliki performa gesek yang tidak kalah dari jenis kampas rem *asbestos* dan *semimetalic* serta memiliki sifat paling ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan lainnya. Serbuk arang kayu kelapa merupakan salah satu bahan *organic* yang dapat dijadikan sebagai bahan penyusun material gesek kampas rem karena memiliki kekerasan dan kerapatan tinggi serta serapan yang air yang rendah sehingga akan mempunyai koefisien gesek yang baik (Rony,2016).

Teknologi komposit sudah mulai memanfaatkan bahan-bahan alam, seperti serat alam, kayu alam dan limbah olahan kayu (I Gusti Ketut Puja, 2010). Karena bahan kampas rem yang terbuat dari asbes dapat membahayakan kesehatan manusia

serta menyebabkan penyakit kanker pada paru-paru (Sutikno, 2008), maka perlu dilakukan kajian-kajian mengenai serat alam alternatif yang tidak membahayakan kesehatan manusia namun kualitas tidak kalah dengan bahan *asbestos* atau *non-asbestos*.

Berdasarkan bahan penyusun kampas rem, serbuk aluminium memiliki sifat konduktivitas panas yang baik serta memiliki kekerasan dibawah material tromol. Saat kampas rem bergesekan, kampas rem dapat menyerap panas dengan baik serta melepaskan panas dengan cepat. Sehingga aluminium cocok digunakan sebagai bahan kampas rem. Temperatur sintering bahan-bahan kampas rem juga memiliki peranan penting dalam pembuatan kampas rem. Pemilihan temperatur yang tepat dapat menghasilkan produk yang optimal dan berkualitas.

Uraian tersebut diatas menunjukkan bahwa perkembangan teknologi menuntut masyarakat untuk menggunakan material yang ramah lingkungan dan tidak membahayakan bagi kesehatan serta memberikan kenyamanan dan keamanan bagi penggunaanya. Penelitian pembuatan kampas rem dari bahan yang ramah lingkungan dinilai perlu untuk menunjang kebutuhan masyarakat. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap variasi temperatur *sintering* serbuk arang kayu kelapa dan serbuk aluminium dengan penguat resin *phenolic*. Kemudian kampas rem di uji untuk mengetahui kekerasan kampas rem yang juga berpengaruh pada koefisien gesek tersebut, keausan serta struktur mikro dari kampas rem yang direkayasa dalam penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur sintering serbuk arang kayu kelapa pada komposit kampas rem terhadap nilai kekerasannya?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur sintering serbuk arang kayu kelapa pada komposit kampas rem terhadap laju keausan dan nilai koefisien geseknya?

3. Bagaimana struktur mikro komposit kampas rem berpenguat serbuk aluminium, serbuk arang kayu kelapa dengan matrik resin *phenolic*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencegah masalah tidak melebar dari pembahasan utama, maka permasalahan hanya dibatasi pada :

1. Pengujian yang dilakukan adalah uji keausan dan koefisien gesek
2. Suhu ruangan pada saat pembuatan dan pengujian bahan dianggap sama.
3. Suhu pada saat melakukan kompaksi bahan pada tiap-tiap variasi dianggap stabil.
4. Tidak membahas ikatan kimia.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Dilakukannya penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui nilai kekerasan pada komposit kampas rem dengan variasi temperatur sintering.
2. Mengetahui laju keausan dan nilai koefisien gesek pada komposit kampas rem dengan variasi temperatur sintering.
3. Mengetahui struktur mikro kampas rem.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan mengenai karakteristik komposit kampas rem dari bahan serbuk aluminium dan serbuk arang kayu kelapa dengan resin *phenolic*.
2. Memberikan keragaman penelitian masalah komposit dengan bahan alam kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

1.5 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur sintering maka nilai kekerasan akan menurun. Peningkatan suhu sintering yang diikuti dengan pendinginan secara perlahan akan berakibat menurunkan nilai kekerasan aluminium serta meningkatnya temperatur mengakibatkan resin cepat mengeras (sifat *thermosetting* resin) dan tidak terjadi pergerakan bahan yang signifikan sehingga porositas tidak berkurang yang mengakibatkan nilai kekerasan menurun.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih dari material berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis (Gibson, 1994).

Jadi definisi komposit dalam lingkup ilmu material adalah kombinasi beberapa material yang berbeda bentuk, komposisi kimia dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lain sebagai pengikat (Junus, 2011).

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (fiber) dan bahan pengikat serat. Unsur utama bahan komposit adalah serat dimana serat yang menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekuatan, kekakuan dan sifat-sifat mekanik yang lain. Serat berfungsi menahan sebagian gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit. Sedangkan matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Dari penggabungan beberapa material diharapkan dapat mengurangi kelemahan dan memperbaiki sifat dari bahan penyusunnya. Keunggulan dari bahan komposit memiliki sifat kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, berat lebih ringan, tahan aus dan tahan korosi (Priyanto, 2015).

2.1.1 Jenis Komposit Ditinjau dari Matrik

Dalam struktur komposit, matrik memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik komposit. Bahan matrik adalah bahan yang dapat meneruskan beban, sehingga serat dapat melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik. Umumnya bahan matrik yang dipilih adalah matrik yang memiliki ketahanan panas yang tinggi (Rianto, 2011). Secara umum bahan matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik (Gibson, 1994).

2.1.1.1 Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites-MMC*)

Komposit matrik logam mulai dikembangkan pada 1996. MMC adalah gabungan dari dua jenis material atau lebih dimana salah satunya berupa logam

sebagai material induk. Matrik logam digunakan pada suhu yang lebih tinggi dari pada matrik yang lainnya. Dengan menambahkan penguat (fiber) diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik komposit seperti kekakuan, ketangguhan, ketahanan aus, konduktivitas termal, modulus elastisitas, dan stabilitas dimensi sehingga dihasilkan material yang lebih baik dari pada material induknya (Callister, 2007).

2.1.1.2 Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites-CMC*)

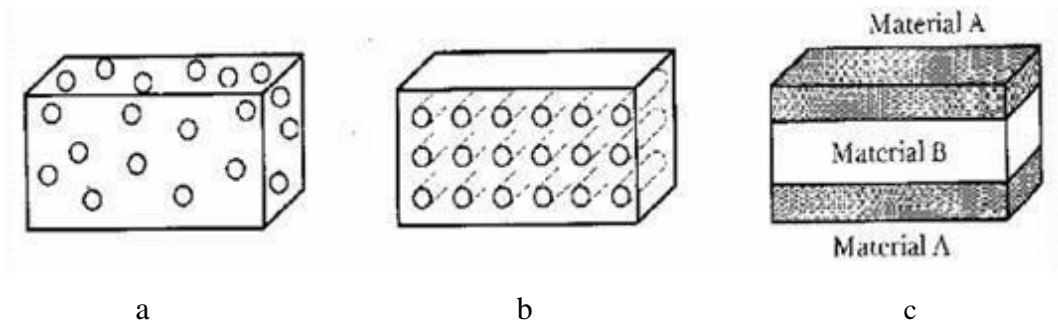
Komposit matrik keramik merupakan gabungan material dua fasa. Satu material sebagai penguat dan matrik yang umumnya bahan matrik terbuat dari keramik. Bahan matrik yang sering digunakan adalah keramik gelas, gelas anorganik, alumina, silikon nitrida. Sedangkan pengisi biasanya berasal dari nitrida, carbida dan oksida. Proses pembuatannya dinamakan DIMOX dengan reaksi oksidasi pembentukan logam untuk pertumbuhan matrik keramik di sekeliling daerah penguat (Junus, 2011). Komposit Jenis ini memiliki sifat tahan terhadap suhu tinggi dan oksidasi yang baik serta kelemahan komposit ini memiliki sifat yang getas, sehingga penggunaannya menjadi terbatas (Callister, 2007)

2.1.1.3 Komposit Matrik Polimer (*Polimer Matrix Composites-PMC*)

Komposit matrik polimer merupakan material komposit yang paling banyak digunakan pada era modern saat ini. Karena sifatnya yang mudah dibentuk serta alat yang digunakan lebih sederhana serta tidak memerlukan suhu dan tekanan yang tinggi, komposit matrik polimer banyak dikembangkan dan digunakan dalam memenuhi kebutuhan material (Junus, 2011). Polimer terdiri dari *thermosets* (*epoxy, poluester, phenolic*), *thermoplastics* [*polymide (PI), polysulfone (PS), polyetheretherketone (PEEK), polyphenylene sulfide(PPS)*]. *Thermosets* memiliki sifat tahan terhadap suhu tinggi (tidak meleleh suhu tinggi) dan tidak dapat di daur ulang. Sedangkan *thermoplastics* memiliki sifat lunak sehingga akan meleleh dengan suhu yang tinggi, kemudian akan mengeras setelah didinginkan (Gibson, 1994).

2.1.2 Jenis Komposit Ditinjau dari Penguat

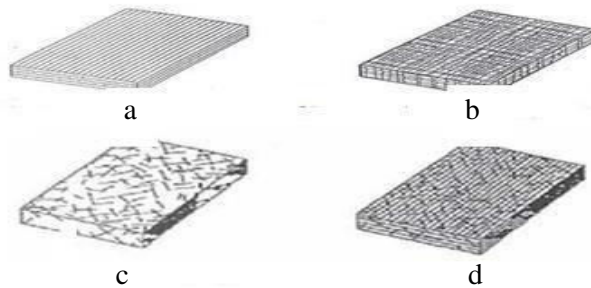
Jenis material komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi tiga (Junus, 2011) yaitu:



Gambar 2.1 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya (a) partikel, (b) fiber, (c) struktur (Junus, 2011)

2.1.2.1 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat adalah komposit yang menggunakan serat (*fiber*) sebagai penguatnya. Serat berasal dari *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers* (*poly aramide*), serat alam dan lain-lain. Serat dapat disusun dengan berbagai bentuk. Bentuk diperlihatkan pada gambar 2.2 berikut.



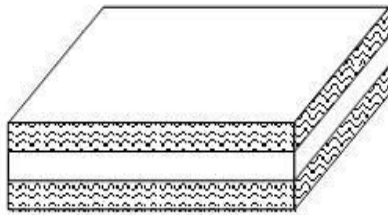
Gambar 2.2 Tipe serat pada komposit (a) serat komposit kontinu, (b) serat komposit anyaman, (c) serat komposit diskontnyu, (d) serat komposit *hybrid* (Junus, 2011)

2.1.2.2 Komposit Struktur (*Structure Composite*)

Komposit struktural dibentuk oleh pengisi yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur komposit dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminare* dan struktur *sandwich* (Schwartz, 1997)

a. Struktur Lapisan (*Laminare Structure*)

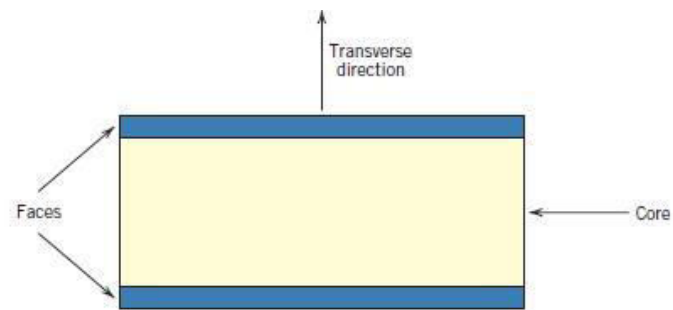
Merupakan jenis komposit yang dikombinasikan minimal dua lapisan yang menjadi satu sehingga setiap lapisan memiliki karakteristik sifat tersendiri.



Gambar 2.3 Struktur Lapisan (Junus, 2011)

b. Struktur *Sandwich* (*Sandwich STRUCTURE*)

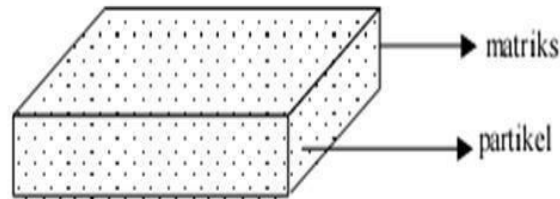
Komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari tiga lapisan sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) dibagian tengahnya. *Core* berfungsi untuk mendistribusikan beban aksial menjadi beban geser pada seluruh luasan yang terjadi akibat pembebanan gaya dari luar, sedangkan fungsi *skin* untuk menahan beban aksial dan *bending*.



Gambar 2.4 Struktur *Sandwich* (Callister, 2007)

2.1.2.3 Komposit Butir (*Particulate Composite*)

Komposit butir merupakan salah satu jenis komposit yang ditambahkan material lain berupa serbuk/butir dalam matriknya. Komposit butir dibagi menjadi komposit butir besar dan *dispersion-strengthened composite*



Gambar 2.5 Komposit Partikel (Junus, 2011)

a. Komposit Butir Besar (*Large Particulate Composite*)

Komposit yang disusun oleh penguat berbentuk partikel dimana interaksi antara partikel dan matrik tidak bereaksi dalam skala atomik atau molekular. Partikel berukuran sekitar 1 mikron dengan fraksi volume antara 20-40 % yang memungkinkan partikel terdistribusi secara merata (Junus, 2011).

b. *Dispersion-Strengthened Composite*

Komposit ini terdiri dari partikel penguat berukuran kecil (disebut dispersoid) sekitar 0,01-0,1 mikron dengan fraksi volume 1-15% yang berfungsi menguatkan komposit dengan cara menghambat gerakan dislokasi.

2.2 Rem

Rem merupakan bagian penting dalam suatu kendaraan yang memiliki fungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Penggunaan rem dalam kendaraan sangat penting bagi seorang pengemudi. Dengan adanya rem dapat dilakukan kontrol terhadap kecepatan kendaraan saat melaju maupun akan melakukan parkir, dengan kata lain rem juga memiliki fungsi keamanan bagi seorang pengendara agar terhindar dari kecelakaan.

Prinsip kerja sistem rem yaitu mengubah energi kinetik menjadi panas komponen yang saling bergesekan. Komponen rem harus memiliki koefisien gesek yang tinggi serta mampu melepas dengan cepat. Sehingga kualitas dan kapasitas rem sangat penting untuk diperhatikan. Kapasitas rem ditentukan beberapa faktor (K.M.Jossy, 2011), yaitu:

- a) Tekanan kampas rem dengan permukaan bidang pengereman.
- b) Koefisien gesek kampas rem dengan bidang pengereman.
- c) Batas kecepatan motor.
- d) Bidang gesek.
- e) Kemampuan kampas rem menyerap panas dari hasil gesekan.

Tabel 2.1 Standar Acuan Spesifikasi Teknik Kampas Rem SAE J661

No	Sifat Mekanik	Nilai
1	Nilai kekerasan	68 – 105 (Rockwell R).
2	Ketahanan panas	360 °C
3	Nilai keausan	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kg}$
4	Koefisien gesek	0,14 – 0,27
5	Massa jenis	1,5 – 2,4 gr/cm ³
6	Konduktivitas thermal	0,12 – 0,8 W.m.°K
7	Tekanan Spesifik	0,17 – 0,98 joule/g.°C
8	Kekuatan geser	1300 – 3500 N/cm ²
9	Kekuatan perpatahan	480 – 1500 N/cm ²

2.2.1 Jenis Rem

Jenis-jenis kampas rem (K.M.Jossy, 2011), yaitu:

a. Rem Udara

George Westinghouse pertama kali mengembangkan rem udara untuk digunakan kereta api dan dipatenkan pada 5 Maret 1872. Rem udara memanfaatkan tekanan udara untuk menekan sepatu rem. Umumnya digunakan untuk truk, bus, trailer, dan semi-trailer.

b. Rem Hidrolik

Pada 1918 Malcolm Lougheed mengembangkan sistem rem hidrolik. Rem hidrolik adalah pengaturan mekanisme pengereman yang menggunakan minyak rem, biasanya mengandung ethylene glycol, untuk mentransfer tekanan dari unit pengendali

c. Rem Listrik

Rem listrik yang digerakkan oleh tenaga listrik dirancang sebagai alternative sistem pengereman konvensional yang menerapkan gesekan atas roda untuk memperlambat gerakan.

d. Rem Elektromagnetik

Sistem pengereman ini menggunakan gaya elektromagnetik untuk memperlambat suatu gerakan, yang umumnya adalah gerakan poros.

e. Rem Mekanik

Pada rem mekanik gaya pengereman diterapkan dengan memberikan gaya tekan pada permukaan cakram atau sebuah tromol. Secara umum rem mekanik di bedakan menjadi rem cakram (*disc brake*) dan rem tromol (*drum brake*).

2.2.2 Rem Tromol (*Drue*)

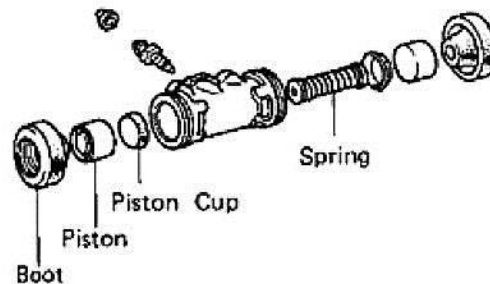
Rem tromol merupakan jenis rem yang banyak digunakan di pasaran. Kekuatan pengereman diperoleh dari sepatu rem saat menekan permukaan tromol yang berputar dengan roda. Kelebihan rem tromol dibandingkan dengan tipe rem

cakram, yaitu adanya *self energizing effect* sehingga dapat memperkuat daya pengereman, tetapi konstruksinya agak rumit dan tertutup yang mengakibatkan transfer panas ke udara dan *water recovery* kurang baik. Kemampuan bidang gesek (sepatu rem/ pad) untuk mengembalikan koefisien gesek pada kondisi semula disebut *water recovery*. Saat sistem rem terkena air mengakibatkan koefisien gesek sepatu rem/pad berkurang karena terlumasi air (Efendi, 2015).

Bagian-bagian rem tromol:

a. Silinder Roda (*Wheel Cylinder*)

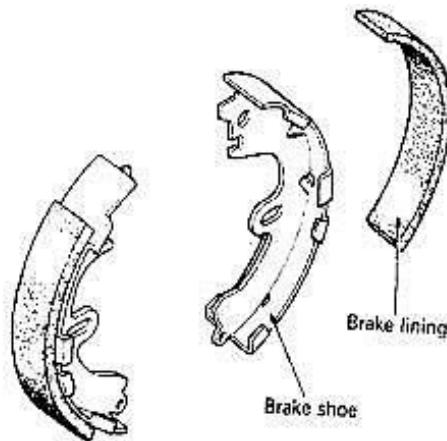
Berfungsi untuk menekan sepatu rem ke tromol rem (*brake drum*).



Gambar 2.6 Silinder roda (Andun dkk, 2015)

b. Sepatu Rem (*Brake shoe*)

Berfungsi menahan putaran *BRAKE DRUM* melalui gesekan.



Gambar 2.7 Sepatu rem (Andun dkk, 2015)

c. Pegas pengembali (*Return Spring*)

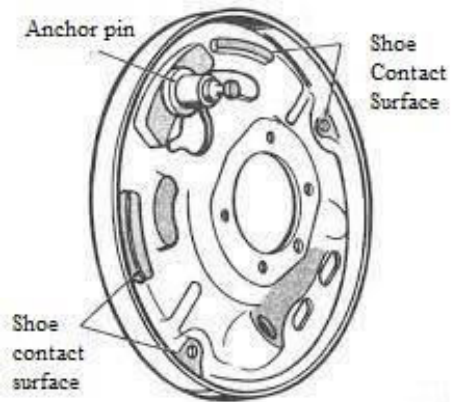
Pegas pengembali berfungsi untuk mengembalikan sepatu rem (*Brake shoe*) ke posisi semula pada saat tekanan silinder roda turun.



Gambar 2.8 Pegas Pengembali (Andun dkk, 2015)

d. *Backing Plate*

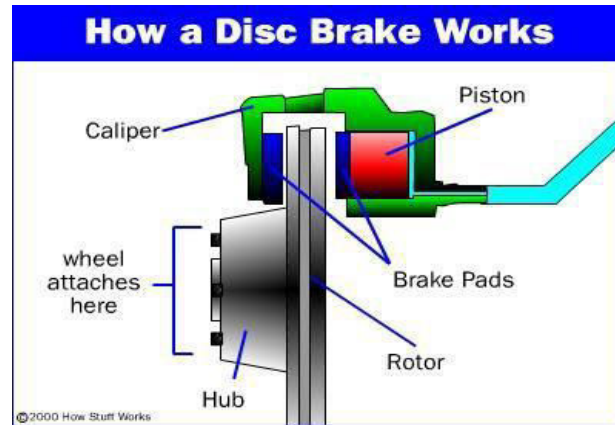
Berfungsi sebagai tumpuan untuk menahan putaran *drum* sekaligus sebagaiudukan silinder roda.



Gambar 2.9 *Backing Plate* (Andun dkk, 2015)

2.2.3 Rem Cakram (*Disc Brake*)

Rem cakram merupakan perangkat pengereman yang bekerja dengan menjepit cakram, biasanya dipasangkan pada roda kendaraan. Untuk menjepit cakram digunakan *caliper* yang digerakkan oleh piston untuk mendorong sepatu rem (*brake pads*) ke cakram



Gambar 2.10 Bagian-bagian rem cakram (Holifield dkk, 2009)
Bagian-bagian rem cakram:

a. Master Silinder

Master silinder adalah komponen dari sistem rem yang berfungsi meneruskan tekanan pedal rem menjadi tekanan hidrolik dalam suatu silinder.



Gambar 2.11 Master Silinder (<http://otomotif-edu.blogspot.co.id/2015/05/master-silinder-rem.html>)

b. *Disc* / piringan cakram

Piringan cakram merupakan komponen yang sangat penting dalam sebuah kendaraan yang berfungsi untuk menghentikan atau menghambat laju putaran roda atau kendaraan. Menurut Isniarto, Cakram honda supra x 125 memiliki nilai kekerasan 38,96 atau sekitar 200 BHN.



Gambar 2.12 Piringan Cakram (Holifield dkk, 2009)

c. Kaliper

Kaliper rem berfungsi untuk mencengkram disc motor adatu piringan cakram yang menyatu roda sehingga putaran roda bisa berhenti. Sistem kerjanya tergantung dari tekanan hidrolik master cakram. Tekanan hidrolik ini akan menekan piston dan kampas rem sehingga akan menjepit cakram.

d. Kampas Rem (*Brake pads*)

Kampas rem merupakan komponen utama dalam rem yang berfungsi untuk memperlambat maupun menghentikan laju kendaraan. Terutama pada saat kendaraan berkecepatan tinggi, kampas rem memiliki beban mencapai 90% dari komponen lainnya. Kampas rem yang terlalu lunak mengakibatkan umur kampas rem terlalu pendek sedangkan jika kampas rem terlalu keras menyebabkan umur drum atau cakram menjadi pendek (Wicaksono, 2016).

Kampas rem dapat bekerja dengan maksimal apabila mempunyai daya pengereman yang baik serta efisien, dimana efisiensi dari rem sangat dipengaruhi oleh besarnya koefisien gesek kampas rem (Setiyanto, 2009). Oleh karena itu bahan kampas rem harus di rancang untuk memenuhi standart kualitas yang baik seperti koefisien gesek, uji keausan serta tahan terhadap berbagai keadaan saat digunakan (T.singh.,at,al, 2014).



Gambar 2.13 Kampas Rem (M.C.Lagel, 2015)

2.3 Aluminium

Aluminium terdapat melimpah dalam kulit bumi, yaitu sekitar 7,6 %. Dengan kelimpahan sebesar itu, aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, serta merupakan unsur logam yang paling melimpah. Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang merupakan logam ringan dengan sifat tahan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan.

Sifat mekanik aluminium :

- a. Berat jenis $2,7 \text{ gr/cm}^3$
- b. Tahan korosi
- c. Penghantar listrik dan panas yang baik
- d. Kekuatan rendah tetapi bisa ditingkatkan dengan pepaduan

2.3.1 Klasifikasi Aluminium

2.3.1.1 Aluminium Murni

Aluminium didapat dalam keadaan cair melalui proses elektrolisa, yang umumnya mencapai kemurnian 99,85%, bila dilakukan proses elektrolisa lebih lanjut akan didapatkan kemurnian 99,99% (George, 1999).

2.3.1.2 Aluminium Paduan

a. Aluminium Copper Alloy (seri 2xxx)

Paduan unsur Cu pada aluminium berkisar antara 2-5%. Paduan ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi menurunkan sifat elongasi (pertambahan panjang saat ditarik). Selain itu ketahanan korosi juga ikut menurun, sehingga diperlukan lapisan Al murni atau Al paduan yang tahan korosi atau sering disebut alkad.

b. Aluminium Magnese Alloy (seri 3xxx)

Unsur Mn dalam paduan akan meningkatkan kekuatan dalam temperatur yang tinggi. Paduan Mn juga tidak mengurangi sifat tahan korosif dari Al, sehingga paduan ini banyak digunakan dalam pipa-pipa atau tngki minyak.

c. Aluminium Silikon Alloy (seri 4xxx)

Paduan Al-Si mempunyai permukaan yang sangat bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik digunakan untuk paduan coran. Paduan ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien kecil, sangat ringan, dan sebagai penghantar panas dan listrik yang baik.

d. Aluminium Magnesium Alloy (seri 5xxx)

Paduan Mg dapat menaikkan kekuatan aluminium dan menurunkan *ductility*-nya. Ketahanan korosi dan *weldability* juga baik.

e. Aluminium Magnesium Silikon Alloy seri (6xxx)

Penambahan sedikit Mg pada Al akan menyebabkan pengerasan, namun apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat diperkeras dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. Paduan ini memiliki sifat yang lebih kecil dari pada paduan yang lainnya, tetpi sifatnya sangat liat, kemampuan bentuk untuk penempaan sangat baik.

f. Aluminium Zink Alloy (seri 7xxx)

Paduan Zink alloy dapat menaikkan nilai tensile. Tetapi paduan ini menyebabkan keseimbangan biner semu dengan senyawa antar logam $MgZn_2$ dan kelarutannya menurun apabila temperaturnya turun.

2.3.1.3 Serbuk Aluminium

Serbuk aluminium berbentuk serbuk yang berwarna perak hingga abu-abu sertatidak berbau dengan massa jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$.

Tabel 2.2 Nilai Berat Jenis untuk Serbuk Aluminium Hasil Proses Atomisasi (ASM, 1990).

Sifat	Satuan SI	Nilai
<i>Apparent density</i>	g/cm^3	0,8 - 1,3
<i>Tap density</i>	g/cm^3	1,2 - 1,5
Kandungan oksigen	Wt%	0,1 - 1,0

2.4 Serbuk Kayu Kelapa

Kelapa merupakan komoditi yang seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan mulai dari daun, buah, dan batangnya. Kelapa adalah salah satu hasil perkebunan terbesar di Indonesia dengan luas perkebunan kelapa sekitar 3.8 juta ha yang terdiri dari 96 persen yang merupakan perkebunan rakyat, sedangkan 2 persen merupakan perkebunan yang dikelola pemerintah, dan 2 persen di kelola perusahaan swasta (Johar, 2013).

Selama proses produksi kayu kelapa akan menghasilkan serbuk sebagai limbah. Karena jumlah limbah yang sangat banyak maka perlu pengolahan ulang agar lebih bermanfaat salah satunya sebagai kombinasi bahan kampas rem sepeda motor. Komposisi limbah pada kegiatan pemanenan dan industri pengolahan kayu adalah sebagai berikut (Purwanto dkk, 1994):

1. Pada pemanenan kayu, limbah umumnya berbentuk kayu bulat, mencapai 66,16%.

2. Pada industri penggergajian limbah kayu meliputi serbuk gergaji 10,6%. Sebetan 25,9% dan potongan 14,3%, dengan total limbah sebesar 50,8% dari jumlah bahan baku yang digunakan.
3. Limbah pada industri kayu lapis meliputi limbah potongan 5,6%, serbuk gergaji 0,7%, sampah vinir basah 24,8%, sampah vinir kering 12,6% sisa kupasan 11,0% dan potongan tepi kayu lapis 6,3%. Total limbah kayu lapis ini sebesar 61,0% dari jumlah bahan baku yang digunakan

Sifat (<i>Properties</i>)		Varietas kelapa (<i>Coconut variety</i>)						
		Dalam (<i>Tall</i>)			Hibrida (<i>Hybrid</i>)			
		Pangkal (<i>Bottom</i>)	Tengah (<i>Middle</i>)	Ujung (<i>Edge</i>)	Pangkal (<i>Bottom</i>)	Tengah (<i>Middle</i>)	Ujung (<i>Top</i>)	
Retensi (<i>Retention</i>), kg/m ³		25,57	27,64	63,34	29,23	32,44	47,06	
Kerapatan (<i>Density</i>), g/cm ³	K	0,87	0,86	0,47	0,77	0,72	0,51	
	P	1,10	1,10	0,72	1,00	0,95	0,75	
Kekerasan (<i>Hardness</i>), kg/cm ²	K	//	571	550	274	545	434	243
		⊥	327	315	167	545	280	120
	P	//	865	863	365	673	659	555
		⊥	494	411	365	495	443	318
Keteguhan tekan (<i>impregnability depress</i>), kg/cm ²	K	//	812,54	781,69	307,60	603,81	559,63	303,55
		⊥	191,41	147,67	63,25	193,97	149,00	69,56
	P	//	858,64	815,57	359,26	758,00	641,19	377,16
		⊥	238,42	221,42	117,04	159,18	159,59	71,65

Gambar 2.14 Karakteristik Kayu kelapa (Santoso & Barly, 2007)

2.5 Resin Phenolic

Phenol formaldehid merupakan resin sintesis yang pertama kali digunakan secara komersial baik dalam industri plastik maupun cat (surface coating). Phenol formaldehid dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara phenol dan formaldehid. Polimerisasi terjadi ketika senyawa organik ini dicampur, selanjutnya tekanan dan panas yang diterapkan akan menyebabkan terjadinya polimerisasi untuk membentuk rantai jaringan.

Fenol digunakan dalam produksi resin fenolik (plastik). Resin ini menjadi komponen penting dalam pembuatan barang-barang seperti tombol-tombol alat, peralatan rumah tangga, bagian-bagian mesin dan perangkat listrik. Salah satu contoh penggunaan komersial adalah fenol-formaldehida polimer atau resin fenol-

formaldehida disebut *Bakelite* yang pertama kali dibuat di Amerika Serikat pada tahun 1909. Nama tersebut diambil dari nama penemunya yaitu Leo Baekeland yang mengembangkan secara komersial antara 1905 dan 1910. Bakelite menjadi polimer pertama yang dibuat secara sintesis dengan keunggulan biaya rendah, stabilitas dimensi yang baik, kekuatan tinggi, kekakuan dan ketahanan terhadap penuaan serta sifat yang mudah dibentuk (Zvi Rappoport, 2003)

Phenolic dapat digunakan sampai pada suhu yang cukup tinggi (200 – 315 °C) dan sebagai bahan isolator yang baik (Nafi',2013). Dalam proses pembuatan komposit *phenolic* membutuhkan kondisi proses yang ekstra, karena resin ini sangat sulit diproses dalam suhu dingin.

Karakteristik *phenolic* yaitu (C. Banciu dkk: 2010)

Appearance	Yellowish powder
No tamped volumetric weight, g/dm ³	350-550
Tamped volumetric weight, g/dm ³	600-800
pH	7-8.5
Softening point, °C	75-90
Melting point, °C	100-115



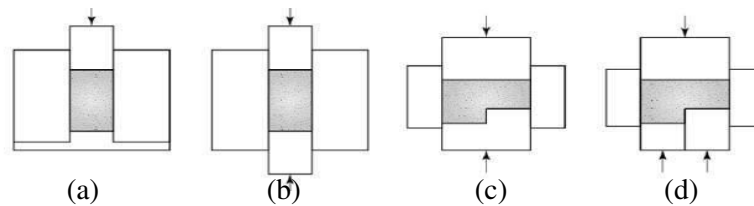
Gambar 2.15 Phenolic Resin

2.6 Proses Kompaksi

Kompaksi merupakan proses pemadatan serbuk menjadi sampel dengan bentuk tertentu sesuai dengan cetaknya

Ada 2 macam metode kompaksi, yaitu:

- a. Penekanan dingin, yaitu penekanan dengan temperatur kamar. Metode ini digunakan untuk material yang mudah teroksidasi.
- b. Penekanan panas, yaitu penekanan dengan temperatur di atas temperatur kamar. Metode ini dipakai apabila material yang digunakan tidak mudah teroksidasi.



Gambar 2.16 Jenis-jenis kompaksi (a) penekan tunggal, (b) penekan ganda dan (c) penekan beda ukuran dan (d) penekan banyak (*Smallman dan Bishop, 2000*)

Dalam penggunaan bahan pelumas digunakan bahan yang tidak reaktif terhadap campuran serbuk. Berdasarkan cara pelumasan terdapat 2 metode kompaksi, yaitu:

- a. *Die-wall compressing* → **penekanan dengan memberikan pelumas pada dinding cetakan**
- b. *Internal lubricant compressing* → **penekanan dengan mencampurkan pelumas pada material yang akan ditekan**

2.7 Sintering

Sintering adalah salah satu tahapan metodologi yang sangat penting dalam ilmu bahan. *Sintering* merupakan metode pembuatan material dari bahan yang berupa

serbuk dengan pemanasan sehingga akan terjadi ikatan antar partikel. *Sintering* dapat terjadi dibawah suhu leleh (*melting point*) sehingga antar partikel akan saling mengikat. Dengan adanya proses *sinter* maka akan terjadi proses penggerakan partikel antar serbuk pada bagian permukaan serbuk.

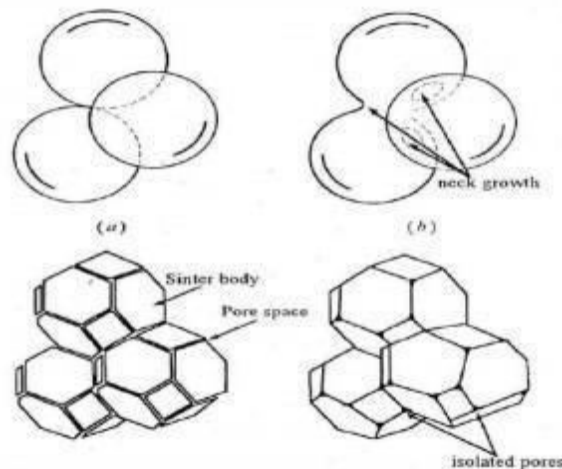
Ada dua tipe dapur *sinter*, yaitu:

a. Dapur Satuan (*batch furnace*)

Batch furnace diisi material yang akan disinter lalu temperatur diatur sesuai dengan kebutuhan. Dapur ini biasanya digunakan pada siklus *sintering* khusus dengan produksi terbatas.

b. Dapur Kontinyu

Dilengkapi dengan sabuk yang terdiri dari jalinan kawat dimana diletakkan *green body*. Sabuk ini bergerak menuju daerah pemanasan, kemudian ke daerah pendingin. Proses *sinter* dengan dapur kontinyu biasanya digunakan untuk memproduksi komponen dalam jumlah banyak.



Gambar 2.17 Mekanisme Pemadatan Serbuk Dengan Proses Sintering
(Priyanto, 2015)

2.8 Pengujian

Pengujian pada suatu material sangatlah dibutuhkan untuk mengetahui hasil dari penelitian kita. Pengujian disini ada bermacam-macam, diantaranya:

2.8.1 Uji Kekerasan.

Uji kekerasan merupakan satu cara untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan suatu material. Uji keras merupakan pengujian yang efektif untuk mengetahui gambaran sifat mekanik suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada titik-titik tertentu. Nilai kekerasan yang dapat digunakan untuk menyatakan kekuatan suatu material dan material dapat dengan mudah digolongkan sebagai material ulet atau getas.

Pada pengukuran kekerasan menurut Brinell, bahan penekan dipergunakan suatu peluru baja yang disepuh keras atau suatu kerucut intan dengan ukuran yang telah ditetapkan. Menurut Setiyanto 2009, kelebihan menggunakan pengujian Brinell adalah dengan kerucut intan dapat diukur kekerasan baja yang disepuh, dengan bekas tekan yang kecil kerusakan benda kerja akan lebih sedikit. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dengan menggunakan *Leeb Hardness Tester TH120* seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Alat Uji Kekerasan *Leeb Hardness Tester TH120*

2.8.2 Uji Keausan dan Koefisien Gesek dengan Metode *Prony Brake*

Prony brake dapat difungsikan sebagai alat uji torsi dan daya dengan prinsip kerja sama dengan rem cakram pada sepeda motor. Pada *Prony brake* ini menggunakan motor penggerak motor listrik bertenaga 1 HP. Putaran motor ditransmisikan dengan menggunakan gear dan rantai untuk menggerakkan cakram. Komponen pengereman menggunakan komponen dari motor yamaha jupiter Z. Pada

rumah kampas rem diberi tambahan lengan yang panjangnya 35 mm yang bertujuan untuk meneruskan gaya, kemudian gaya pada lengan ayun tersebut diukur dengan timbangan digital untuk mendapatkan nilai gaya berat. Besarnya torsi didapat dari mengalikan gaya berat dengan panjang lengan ayun. Putaran motor didapat dengan menggunakan *tachometer* digital yang ditembakkan ke putaran piringan. Daya pengereman didapat dengan mengalikan putaran motor dengan torsi yang telah didapat. Serta besarnya koefisien gesek kampas rem didapat dengan membagi antara gaya pengereman dengan tekanan yang bekerja pada kampas rem. Standart ASTM G99-04



Gambar 2.19 Mesin *Prony Brake* .

2.8.2.1 Rumus Uji Keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan memberikan beban tekan pada spesimen kampas rem dengan waktu tertentu (Sukamto, 2012).

$$N = \frac{W_0 - W_1}{t \cdot A} \dots\dots\dots (1)$$

t.A

N : Nilai laju keausan (gram/detik.mm²)

W₀ : Berat mula benda uji (gram)

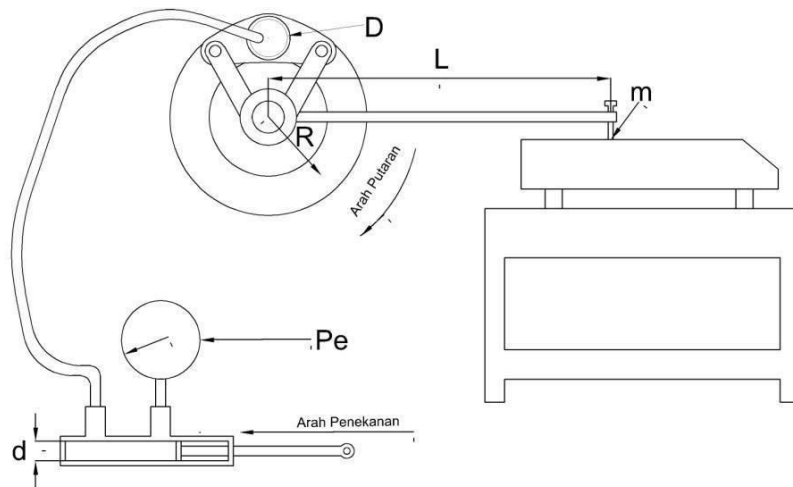
W₁ : Berat pengausan (gram)

t : Waktu pengausan (detik)

A : Luas pengausan (mm²)

2.8.2.2 Rumus Koefisien Gesek

Torsi atau usaha adalah hasil kali antara gaya berat yang dihasilkan pada timbangan dikalikan dengan jarak antara titik tekan timbangan dengan poros benda yang bergerak (panjang lengan). Dengan catatan bahwa lengan ayun tidak ikut berputar. (K.M.Jossy, 2011).



Gambar 2.20 Skema Sistem Kerja *Prony Brake* (Prabowo 2010)

$$T = w \times L \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: T = Torsi (Nm)

w = Gaya berat (N)

L = Panjang lengan (m)

$$w = m \times g \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: m = massa (Kg)
 g = Percepatan grafitasi bumi (m/ s^2)

$$FP = PE \times 0,785 (D)^2 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: F_p = Gaya yang menekan *brake pad* (N)
 P_e = Tekanan minyak rem (Pa)
 D = Diameter piston kaliper (m)

$$F_{\mu} = T / R \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: F_{μ} = Gaya pengereman (N)
 R = Jari-jari bidang pengereman (m)

$$\mu = F_{\mu} / FP \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan: μ = Koefisien Gesek

2.8.3 Uji Struktur Mikro

Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui struktur mikro kampas rem serta sifat – sifatnya. Selain itu juga untuk mengetahui pengaruh sintering dan kompaksi pada saat proses pembuatan kampas rem terhadap perubahan struktur mikro dan perubahan sifat material kampas rem serta membandingkannya dengan sifat mekanik yang diinginkannya.

Struktur mikro dapat diubah dengan jalan memberikan proses sintering dan proses penekanan saat pencetakan pada kampas rem, selain itu, proses deformasi juga dapat mengubah struktur mikro dari kampas rem. Dalam pemeriksaan metalografi ini spesimen kampas rem yang akan diuji dilakukan proses pengereman terlebih dahulu, kemudian dilakukan pemeriksaan struktur mikro pada beberapa sample. Sehingga

pada saat pemeriksaan struktur mikro akan terlihat material yang memberikan kontak terhadap piringan rem. Pada pengujian ini, uji struktur mikro menggunakan mikroskop seperti pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 *Zoom Stereo Microscope Olympus BX41M*

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat

1. Mesin Tribometer Tipe Prony Brake
2. Mikroskop Olympus U-MSSP4
3. Alat pres hidrolik Tekiro
4. Pressure Gauge Young You 120bar
5. Timbangan digital
6. Ayakan mesh 50
7. Kamera 5 MP
8. Spidol/ pen
9. Gelas ukur
10. Mikrometer
11. Kertas gosok/amplas
12. Sendok
13. Masker
14. Gerinda
15. Cetakan specimen
16. Kawat nikelin diameter 0,9 mm panjang 1,5 m
17. Gip
18. Accu 12V (4 buah)
19. Termocontrol Shimaden SR42
20. Kabel
21. Cetakan

Cetakan dibuat dari pipa schedule 40 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Ukuran : 1 inchi (diameter luar 34)
- Kategori : Seamless Pipe
- Material : Carbon Steel
- Grade : A106 ASTM, API 5L, Gr.B, SCH40
- Certification : API 5L PSL2, API 5CT, EN10217 -1, 2, 5.

Analisa kemampuan cetakan.

Tegangan yang diijinkan untuk pipa sch 40 ukuran 1” dapat dilihat pada tabel 3.1 yaitu sebesar 4956 psi.

Perhitungan beban tekan :

$$F= 2000\text{kg}$$

$$r= 1,4\text{cm}$$

$$P= F/A$$

$$= 2000/ 3,14.(1,5)^2 (\text{Kg}/\text{cm}^2)$$

$$= 283 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$= 4025 \text{ psi}$$

Keterangan

F= Beban tekan (kg)

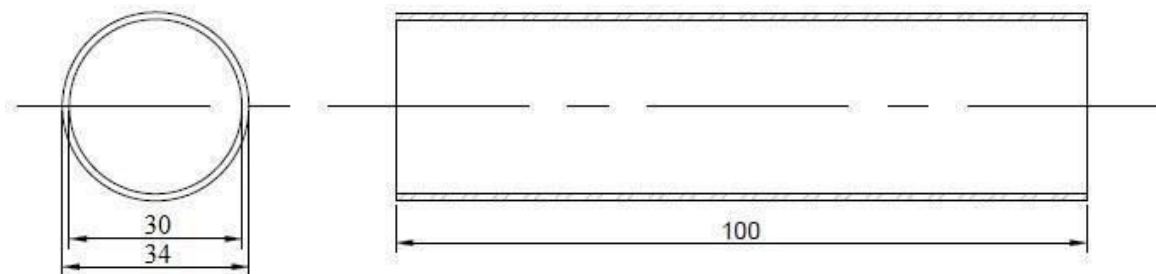
r= diameter cetakan (cm)

P= Tekanan (*psi*)

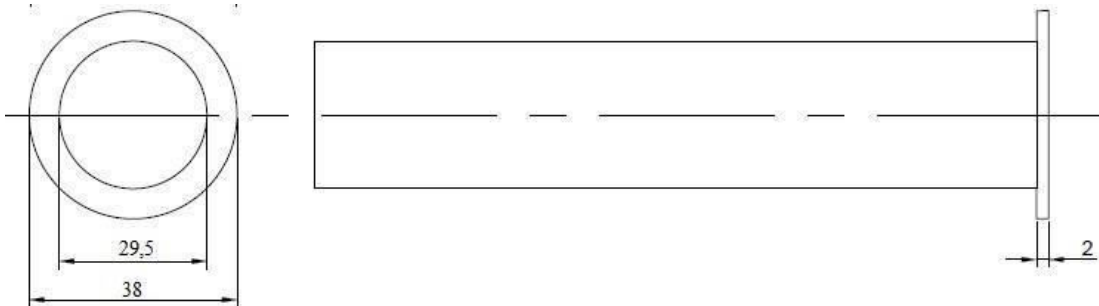
Dapat disimpulkan bahwa pipa sch 40 mampu untuk digunakan dalam proses pembuatan material dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 *Maximum Allowable Pressure SCH pipes (psi)*
 (https://www.engineeringtoolbox.com/astm-steel-pipes-working-pressure-d_775.html)

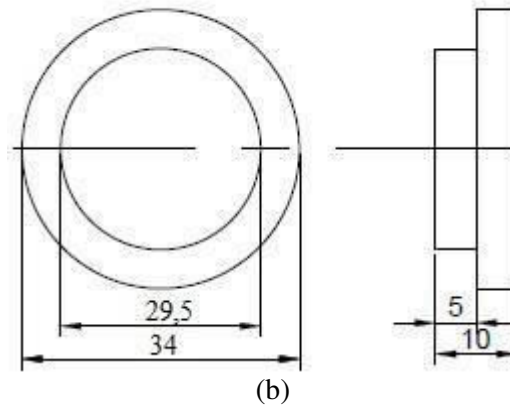
Size (Inside) (in)	Outside Diameter (in)	Maximum Allowable Pressure (psi)							
		10	2030	STD	40	60	XS	80	100120
1/4 "	0.54			7985	7985		10798	10798	
3/8"	0.675			6606	6606		9147	9147	
1/2"	0.84			6358	6358		8575	8575	
3/4"	1.05			5273	5273		7187	7187	
1	1.315			4956	4956		6670	6670	



Gambar 3.1 Desain Cetakan



(a)



Gambar 3.2 Desain penekan (a) atas, (b) bawah.

3.1.2 Bahan

1. Serbuk Aluminium

Tabel 3.2 Spesifikasi serbuk aluminium

No	Komposisi	Jumlah
1.	Assay (complexometric)	90 %
2.	Heavy Metals (as.Pb)	0.03 %
3.	As (Arsenic)	0.0005 %
4.	Fe (Iron)	1.0 %



Gambar 3.3 Serbuk Aluminium

2. Resin Phenolic



Gambar 3.4 Resih Phenolic

3. Serbuk Arang Kayu Kelapa (Glugu) *mesh 50*



Gambar 3.5 Serbuk Arang Kayu Kelapa (Glugu)

3.2 Proses Pembuatan dan Pengujian Spesimen

3.2.1 Pembuatan Spesimen

Proses pertama adalah mempersiapkan bahan yaitu serbuk arang kayu kelapa dengan ukuran mesh 50, serbuk aluminium dan resin *phenolic*. Setelah itu dilakukan penimbangan dan pencampuran masing masing bahan yang mengacu pada tabel 3.1 berikut.

Table 3.3 Variasi Pencampuran Bahan per Spesimen

NAMA	Serbuk Aluminium (%)	Serbuk Arang Kayu Kelapa (%)	Phenolic (%)	Temperatur (^o C)
Sampel 1	20	40	40	125
Sampel 2	20	40	40	175
Sampel 3	20	40	40	225

Untuk cetakan pengujian keausan menggunakan bahan yang sama dengan cetakan pengujian kekerasan dengan ukuran diameter 3 cm dengan tinggi 10 cm. Dalam pengadukan, serbuk kayu, serbuk aluminium dan resin phenolic di campur dan diaduk sebanyak 100 kali.

Proses selanjutnya adalah proses memasukkan matriks kedalam spesimen, akan tetapi terlebih dahulu cetakan diberi margarin agar tidak lengket saat pelepasan. Setelah adonan di masukkan ke dalam cetakan semua, lalu adonan di tutup bagian atas dan bawah, dan juga penutup digunakan sebagai alat penekan untuk proses selanjutnya.

3.2.2 Proses Penekan dan Pemanasan

a. Penekanan (Kompaksi)

Proses ini bertujuan untuk memadatkan campuran menjadi sampel dengan bentuk sesuai dengan cetakannya. Pada proses penekanan menggunakan metode penekanan panas yaitu penekanan dengan temperatur tertentu yang diberikan kepada

cetakan. Kemudian adonan ditekan menggunakan alat pres dengan tekanan 2000 kg dengan lama waktu 10 menit.

Untuk memastikan tekanan sebesar 2000kg maka dilakukan modifikasi pada dongkrak dengan melakukan pengeboran dan menyambungkan dengan *pressure gauge*. Spesifikasi dongkrak sebagai berikut

Merk	: Tekiro
Kapasitas	: 20 Ton
Diameter piston	: 5,28 cm
Pressure gauge:	: Young You
Kapasitas	: 120 Bar

Perhitungan Tekanan 2000 Kg

$$P = F/A$$

$$P = 2000 \text{ kg} / 3,14 (2,64)^2 \text{ cm}^2$$

$$P = 91,388 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 89,621 \text{ Bar} = 90 \text{ Bar}$$



Gambar 3.6 Mesin Pres

b. Proses Pemanasan (*Sintering*)

Karena pemilihan bahan menggunakan serbuk, maka perlu dilakukan pemanasan agar serbuk saling mengikat dan membentuk suatu benda rigid. Proses ini dilakukan dengan variasi temperatur 125°C, 175°C dan 225°C. Pengambilan variasi pemanasan didasarkan pada beberapa alasan yaitu:

- Sifat masing-masing material berbeda, sehingga perlu dicari temperatur optimal untuk mendapatkan material kampas rem yang sesuai standart.
- Resin phenolic yang berfungsi sebagai pengikat partikel-partikel paduan memiliki temperatur leleh pada 100-115⁰C (C. Banciu dkk: 2010), sehingga pemilihan temperatur terendah 125⁰C dinilai cukup baik untuk menghindari kegagalan selama proses sintering.
- Setiyanto 2009, melakukan penelitian dengan menggunakan temperatur sintering 180⁰C, 205⁰C, 230⁰C dimana terjadi penurunan sifat kekerasan dan keausan meningkat seperti pada tabel 3.4, sehingga perlu dilakukan penelitian menggunakan variasi temperatur dibawah 180⁰C untuk mengetahui karakteristik material serta diatas 180⁰C untuk mengetahui koefisien geseknya.

Tabel 3.4 Kekerasan dan keausan (Setiyanto, 2009)

No	Temperatur Sintering	Kekerasan (kg/mm ²)	Keausan (mm/kg ²)
1	180	10,054	0,000001432
2	205	8,596	0,00000145
3	230	7,074	0,00000166

Proses pemanasan menggunakan cetakan yang dilapisi *gypsum* dan kawat nikelin dililitkan pada cetakan yang sudah terlapisi *gypsum*. Kemudian ujung kawat nikelin dihubungkan dengan dengan accu 48volt dan *thermcontrol* untuk mengkondisikan temperatur agar stabil saat sintering. Agar thermocontrol bekerja secara maksimal saat sintering, maka letakkan thermocouple pada penekan agar mendapatkan temperatur permukaan cetakan bagian dalam yang bersentuhan langsung dengan material yang

dipanaskan. Selanjutnya menahan pada temperature yang telah ditentukan selama 10 menit dan melakukan pendinginan pada temperature ruang.

3.2.3 Pengujian kekerasan

Proses pengujian kekerasan menggunakan Leeb Hardness Tester TH120. Alat ini sudah otomatis mengeluarkan angka kekerasan setiap bahan, pada proses persiapan alat pengujian di seting pada nilai brinell hardness (BHN).

3.2.4 Pengujian Keausan dan Koeffisien Gesek

Proses pengujian keausan dapat dilakukan dengan menimbang kampas rem untuk mengetahui massa awal dan menimbang setelah dilakukan pengausan dengan alat *prony brake*. Dari alat uji ini juga mendapatkan nilai koefisien geseknya. Dengan standart ASTM G 99-04. Alat uji yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.4



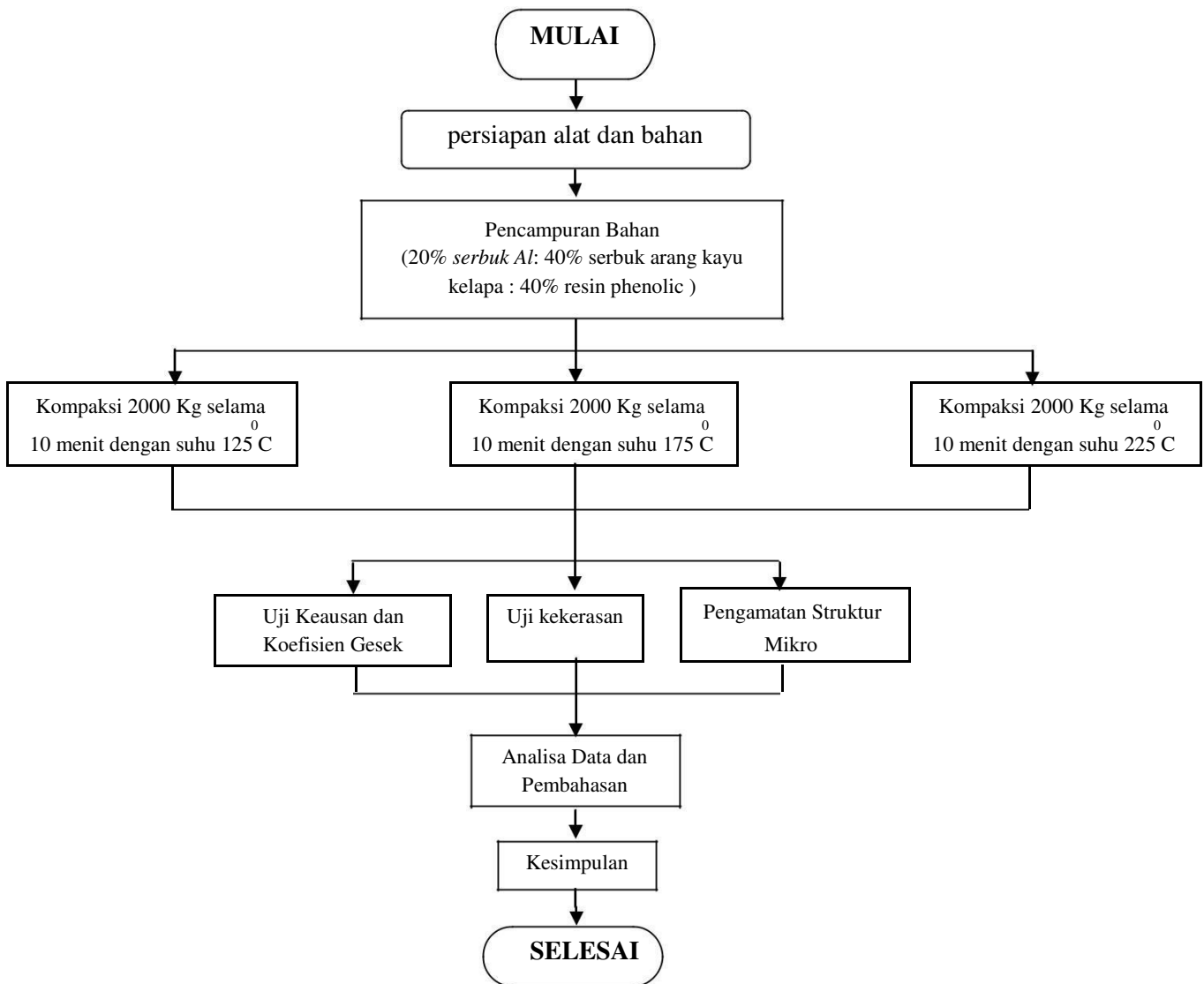
Gambar 3.7 Mesin Prony Brake

3.2.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro mengacu pada ASTM E 3 – 95 dapat digunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4. Dengan melihat permukaan kampas rem dapat diketahui prosentase bahan yang mengalami gesekan dengan disk brake. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui distribusi partikel komposit.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.8 menunjukkan dari proses awal pembuatan spesimen, pengujian spesimen sampai pengolahan data.



Gambar 3.8 Diagram alir

3.4 Analisis Data

Data yang dihasilkan pada penelitian ini akan dianalisa secara kuantitatif. Pada uji tarik data yang didapat seperti terlihat pada tabel 3.3

Table 3.4 Hasil Uji Kekerasan

No	Temperatur Sintering	Uji Kekerasan (BHN)	Rata-Rata
1			
2			
3	125°C		
4			
5			
6			
7			
8	175°C		
9			
10			
11			
12			
13	225°C		
14			
15			

Table 3.5 Hasil Uji Keausan

No	Temperatur Sintering	Uji Keausan (gram/s mm ²)	Rata-Rata
1			
2			
3	125°C		
4			
5			
6			
7			
8	175°C		
9			
10			
11			
12			
13	225°C		
14			
15			

Table 3.6 Hasil Uji Koefisien Gesek

No	Temperatur Sintering	Koefisien Gesek	Rata-Rata
1			
2			
3	125°C		
4			
5			
6			
7			
8	175°C		
9			
10			
11			
12			
13	225°C		
14			
15			

3.5 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian diawali pada bulan september 2016 sampai dengan agustus 2016. Penelitian terdiri dari dua kegiatan utama yaitu pembuatan spesimen dan pengujian spesimen. Untuk pembuatan spesimen di Bengkel Mobil Listrik Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengamatan mikro dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian keausan dan koefisien gesek dilakukan di Bengkel Mobil Listrik Fakultas Teknik Universitas Jember.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan temperatur sintering pada penelitian ini mempengaruhi nilai kekerasan material yang dibuat. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada temperatur sintering 175°C dengan nilai 55,6 BHN.
2. Laju keausan terendah adalah $3,96 \times 10^{-7} \text{ gr/s mm}^2$ dengan temperatur sintering 175°C . Sedangkan nilai keausan tertinggi dihasilkan dari temperatur sintering 125°C dengan laju keausan $7,83 \times 10^{-7} \text{ gr/s mm}^2$
3. Nilai koefisien gesek tertinggi adalah 0,45 dengan temperatur sintering 125°C dan nilai koefisien gesek terendah adalah 0,22 dengan temperatur sintering 225°C . Mengacu pada SAE J661 nilai koefisien gesek untuk penggunaan kampas rem sebesar 0,14-0,27 maka temperatur sintering 175°C dengan koefisien gesek 0,26 yang paling optimal dalam penelitian ini.
4. Pengamatan struktur mikro menunjukkan pada gambar 4.4a sebaran serbuk arang kayu kelapa lebih banyak dipermukaan, gambar 4.4b sebaran serbuk aluminium terlihat dipermukaan relatif banyak dan gambar 4.4c menunjukkan banyak terjadi porositas.

5.2 Saran

1. Penelitian ini terbatas pada pengujian kekerasan, koefisien gesek dan keausan, oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan dengan pengujian tekanan spesifik, kekuatan geser dan kekuatan perpatahan.
2. Penelitian ini hanya menggunakan variasi temperatur sintering, maka dari itu perlu adanya penambahan variasi waktu penahanan atau variasi tekanan kompaksi,

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Multazam, Achmad Zainuri dan Sujita. 2012. *Analisa Pengaruh Variasi Merek Kampas Rem Tromol Dan Kecepatan Sepeda Motor Honda Supra X125 Terhadap Keausan Kampas Rem*. Teknik Mesin Universitas Mataram.
- Andun, Adhari and Agus P. 2005. *Overhaul Komponen Sistem Rem*. Departemen Pendidikan Nasional.
- ASM Handbook. 1990. *Powder Metallurgy Technologies and Applications*. USA: ASM International.
- Callister, W.D. 2007. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, New York; John Wiley and Sons.
- C. Banciu, dkk. 2010. *Structural and functional properties of porous carbon fibers composites*. National Institute for Research and Development in Electrical Engineering. Romania.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Efendi, N. 2015. *Kajian Eksperimental Performasi Pengereman Kampas Rem Serbuk Bambu Sebagai Suplemen Materi Kajian Mata Kuliah Komposit*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- https://www.engineeringtoolbox.com/astm-steel-pipes-working-pressured_775.html
- Fitrianto F.D, 2012. *Pemanfaatan Serbuk Tongkol Jagung Sebagai Alternatif Bahan Friksi Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- George. E, 1999, *Handbook of Aluminium*, Vol. 1, Marcel Dekker, New York, Bassel.
- Gibson, R.F., 1994, *Principle of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill International Book Company, New York.
- Holifield. P dan Nick Weil. 2009. *Materials of Brake Pads*.
- <http://otomotif-edu.blogspot.co.id/2015/05/master-silinder-rem.html> di akses 26/06/16 pukul 23:05
- Isniarto, D.O. *Studi Karakteristik dan Mekanik Piringan Cakram Sepeda Motor Honda Supra X 125, Yamaha Vega dan Suzuki Smash*. Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang

- Johar ,D. 2013. *Penerapan Material Kayu Kelapa Pada Konstruksi Resort Pantai Goa Cina*. Universitas Brawijaya, Malang
- Junus, S. 2011. *Komposit Proses, Fabrikasi dan Aplikasi*. Jember: Jember University Press.
- K.M Josyy. 2011. *Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Serbuk Bambu, Serbuk Aluminium (Al), Magnesium Oksida (Mgo) Dan Resin Polyester Terhadap Nilai Koefisien Gesek* . Solo
- Lagel. M.C. 2015. *Automotive brake pads made with a bioresin matrix*. France : University of Lorraine.
- Nafi'. N. 2013. *Pengaruh Kandungan Partikel dan Serat Serta Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Serat Karbon- Serbuk Genteng Sokka-Phenolic*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Prabowo Y.S, 2010. *Studi Perbandingan Kampas rem nonasbes Berbahan Fiberglass dan Karung goni*. Tugas Akhir S1, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pramuko dan Bambang. 2014. *Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa Terhadap Koefisien Gesek dan Temperatur Gesek pada Bahan Kopliah Clutch Kendaraan dari Komposit Serat Sabut Kelapa Serbuk Tembaga Fiberglass Dengan Matrik Phenol*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta
- Priyambodo, dkk. *Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Komposit Limbah Kulit Mete/Phenolic Dengan Penguat Skrap Aluminium Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Non-Asbestos*. Akademi Teknologi Warga Surakarta.
- Priyanto, S. 2015. *Kaji Eksperimental Performansi Pengereman Kampas Rem Komposit Serbuk Bonggol Jagung Sebagai Suplemen Materi Kajian Mata Kuliah Komposit di Prodi PTM JPTK FKIP Universitas Sebelas Maret Surakarta*.
- Puja, I Gusti Ketut. 2010. *Studi Sifat Impak Ketahanan Aus dan Koefisien Gesek Bahan Komposit Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu Glugu Dengan Matrik Epoxy*. *Ilmiah Teknik Mesin*. 4(2) : 155-159.
- Purwanto D, Samet, Mahfuz, dan Sakiman, 1994. *Pemanfaatan Limbah Industri Kayu lapis untuk Papan Partikel Buatan secara Laminas*. Departemen Perindustrian, Banjar Baru.
- Rappoport, Z. 2003. *The chemistry of Phenols*. The Hebrew University, Jerusalem.
- Rianto,Y. 2011. *Pengaruh Komposisi Campuran Filler Terhadap Kekuatan Bending Komposit Ampas Tebu-Serbuk Kayu dalam Matrik Polyester*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

SAE J 661 :1997 Brake Lining Quality Control Test Procedure

Santoso dan Barly, 2007, *Aplikasi Kopolimer Tanin Resorsinol Formaldehida Untuk Meningkatkan Sifat Fisis-Mekanis Bagian Lunak Kayu Kelapa*.

Schwartz, Mel.M. 1996. *Composite Materials*. United States Of America : Prentice Hall PTR

Setiyanto, I. 2009. *Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Terhadap Ketahanan Aus Bahan Rem Sepatu Gesek*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Smallman, RE dan RJ Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta : Erlangga.

Sukamto. 2012. *Analisis Keausan Kampas Rem Pada Sepeda Motor*. Universitas Janabadra, Matara.

Sutikno. 2008. *Pengaruh Komposisi Serbuk Tempurung Kelapa terhadap Sifat-Sifat Fisik dan Mekanik Bahan Gesek Non Asbes untuk Aplikasi Kampas Rem Sepeda Motor*. *Ilmiah Populer dan Teknologi Terapan*. 6(2) :893-904. Semarang : Profesional.

Sya'Rony, M. 2016. *Pengaruh Serbuk Arang Kayu Glugu Dan Serbuk Aluminium Terhadap Karakteristik Komposit Hybrid Kampas Rem*. Universitas Jember. Jember

T.Singh, A.Patnaik. 2014. *Performance assessment of lapinus–aramid based brake pad hybrid phenolic composites in friction braking*. a Department of Mechanical Engineering, Manav Bharti University, Solan 173229, India b Department of Mechanical Engineering, M.N.I.T. Jaipur, Rajasthan 302001, India.

Utomo, W. 2013. *Pengaruh Ketebalan Kampas Rem Terhadap Getaran Sistem Rem Cakram Pada Berbagai Kondisi Pengereman*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Wicaksono, R.G. 2016. *Kaji Eksperimental Performansi Pengereman Kampas Rem Serat Bonggol Jagung Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Mobil*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Zvi Rappoport. 2003. *The Chemistry of Phenols Part 1*. Jerusalem: The Hebrew University.