



TUGAS AKHIR – SF 141501

**ANALISA MEKANIK KAMPAS REM KERETA API
MENGUNAKAN SERAT WARU DENGAN
VARIASI FRAKSI BERAT PASIR SILIKA**

**MUHAMMAD RIZKI MAULANA YUSUF
NRP 01111340000103**

**Dosen Pembimbing
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR – SF 141501

**ANALISA MEKANIK KAMPAS REM KERETA API
MENGUNAKAN SERAT WARU DENGAN
VARIASI FRAKSI BERAT PASIR SILIKA**

**MUHAMMAD RIZKI MAULANA YUSUF
NRP 01111340000103**

**Dosen Pembimbing
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT – SF 141501

**MECHANICAL ANALYSIS OF BRAKE CANVASS
BY USING WARU FIBER WITH WEIGHT
FRACTION FACTOR OF SILICA SAND**

**MUHAMMAD RIZKI MAULANA YUSUF
NRP 01111340000103**

**Advisor
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.**

**DEPARTEMENT OF PHYSICS
Faculty of Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

**ANALISA MEKANIK KAMPAS REM KERETA API
MENGUNAKAN SERAT WARU DENGAN VARIASI
FRAKSI BERAT PASIR SILIKA**

TUGAS AKHIR

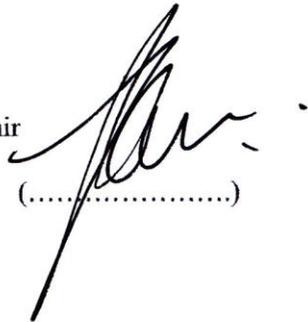
Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Strata 1
Departemen Fisika,
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD RIZKI MAULANA YUSUF
NRP. 01111340000103

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir

Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.
NIP. 19640130 199002.1.001



(.....)

Surabaya, Desember 2018



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisa Mekanik Kampas Rem Kereta Api Menggunakan Serat Waru dengan Variasi Fraksi Berat Pasir Silika

Nama : Muhammad Rizki Maulana Yusuf
NRP : 0111134000103
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.

Abstrak

Kampas rem merupakan salah satu komponen di dalam sistem pengereman pada suatu alat transportasi. Namun tidak semua bahan kampas rem berasal dari bahan-bahan logam saja yang menimbulkan efek samping yang tidak ramah lingkungan. Dengan itu, komposit memiliki peran untuk mendesain penggunaan bahan alami sebagai kampas alternatif ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk Membuat kampas rem kereta api dari bahan alam (serat waru dan pasir silika) serta mengetahui pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap sifat-sifat mekanik kampas rem. Variasi fraksi berat pasir silika yang digunakan adalah 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Sifat mekanik yang diteliti dengan beberapa pengujian, yaitu densitas, kekerasan, koefisien gesek, keausan dan impact. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fraksi berat pasir silika mempengaruhi sifat mekanik kampas rem. Semakin besar fraksi berat pasir silika yang digunakan, semakin bertambah nilai kekerasan yang digunakan. Akan tetapi nilai densitas, koefisien gesek, keausan, dan energi serap impact yang cenderung menurun.

Kata kunci: Kampas rem, Komposit, Serat Waru, Pasir Silika

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Mechanical Analysis of Brake Canvass by Using Waru Fiber with Weight Fraction Factor of Silica Sand

Name : Muhammad Rizki Maulana Yusuf
NRP : 0111134000103
Major : Fisika, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.

Abstract

Brake Canvass is one of parts in transportation braking system. However, not all of brake canvass materials comes from metals that make side effect to environment. Therefore, composite has role to design to make brake canvass come from natural materials as alternative way to make environment-friendly. This research is intended to make railway brake canvass made from natural materials (waru fiber and silica sand) and know the influence of silica sand's weight fraction to mechanical properties of brake canvass. The variation of silica sand's weight fraction used are 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. To study the mechanical properties by using several tests impact test. The result of the tests shown that weight fraction of silica sand has influence to mechanical properties of sample. It would be increase the hardness and decrease another mechanical properties such as density, friction coefficient, wear, and energy absorption of impact test.

Keyword : Brake canvass, Composite, Waru Fiber, Silica sand

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Tidak lupa Shalawat serta salam dicurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* beserta kepada keluarganya, sahabatnya serta para pengikutnya sampai *Yaumul Qiyamah*. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Fisika FIA ITS dengan judul:

“Analisa Mekanik Kampas Rem Kereta Api Menggunakan Serat Waru dengan Variasi Fraksi Berat Pasir Silika”

Penulis mempersembahkan Karya Tulis ini kepada masyarakat Indonesia guna berpartisipasi dalam perkembangan ilmu pengetahuan di bidang sains dan teknologi. Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Rachmat Hidayat dan Ibu Elin Herlina yang telah memberikan semua hal terbaik serta motivasi bagi penulis.
2. Bapak Dr.rer.nat. Bintoro A.S. sebagai dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan arahan bagi penulis
3. Bapak Dr. Mohamad Zainuri, M.Si. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengalamannya, wawasannya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Sarman dan seluruh karyawan CV Mukti Sarana yang memberikan fasilitas dalam melakukan proses produksi sampel kampas rem serta nasihat dan motivasi yang dapat membangun sikap yang lebih baik.

5. Bapak Ahmad Sholih, S.Si sebagai petugas Laboratorium Bahan yang telah memberikan fasilitas alat pengujian untuk kebutuhan Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Yono Hadi. P., M. Eng. Selaku Ketua Departemen Fisika FIA ITS
7. Keluarga Fisika ITS 2013 (*Supernova*) yang telah kebersamai penulis selama menjalani studi di departemen Fisika FIA ITS
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah memberikan balasan terbaik.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Amin Ya Rabbal ‘Alamin.

Surabaya, 18 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-------------------------------------|------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| COVER PAGE | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK..... | v |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.5 Manfaat Hasil Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika penulisan | 3 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Kampas Rem | 5 |
| 2.2 Material Komposit | 7 |
| 2.3 Waru | 14 |
| 2.4 Pasir Silika | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5 Sifat Mekanik Bahan | 17 |
| 2.5.1 Densitas | 17 |
| 2.5.2 Kekerasan | 18 |
| 2.5.3 Koefisien Gesek | 21 |
| 2.5.4 Keausan | 22 |
| 2.5.4 <i>Impact</i> | 22 |
| BAB III METODOLOGI..... | 25 |
| 3.1 Alat dan Bahan | 25 |
| 3.1.1 Alat | 25 |
| 3.1.2 Bahan..... | 25 |
| 3.2 Langkah Kerja | 25 |
| 3.3 Diagram Alir | 26 |
| 3.4 Prosedur Penelitian | 26 |
| 3.4.1 Pembuatan Komposit | 26 |
| 3.4.2 Pengujian densitas | 29 |
| 3.4.3 Pengujian kekerasan | 31 |
| 3.4.4 Pengujian koefisien gesek | 32 |
| 3.4.5 Pengujian Keausan | 33 |
| 3.4.5 Pengujian <i>Impact</i> | 35 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | 36 |
| 4.1 Hasil Pengujian Densitas | 37 |
| 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan | 40 |
| 4.3 Hasil Pengujian Koefisien Gesek | 42 |
| 4.4 Hasil Pengujian Keausan | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 4.5 Hasil Pengujian <i>Impact</i> | 46 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 51 |
| 5.1 Kesimpulan | 51 |
| 5.2 Saran | 52 |
| DAFTAR PUSTAKA | 53 |
| LAMPIRAN..... | 55 |
| BIODATA PENULIS..... | 65 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Satu set <i>Boogie</i> kereta api | 6 |
| Gambar 2. 2 Data perbandingan tegangan dan regangan pada suatu komposit..... | 8 |
| Gambar 2. 3 Pembagian komposit berdasarkan <i>filler</i> | 9 |
| Gambar 2. 4 Pembagian <i>filler</i> berdasarkan seratnya. (a). Kontinyu (searah), (b.) diskontinyu (searah) dan (c) diskontinyu (acak)..... | 10 |
| Gambar 2. 5 Penempelan <i>filler</i> untuk menjadi <i>laminar composite</i> | 12 |
| Gambar 2. 6 Struktur <i>Sandwich panel</i> | 13 |
| Gambar 2. 7 Pembuatan Struktur <i>sandwich panel</i> | 13 |
| Gambar 2. 8 Aplikasi komposit alam di beberapa produksi industri..... | 14 |
| Gambar 2. 10 Grafik pengaruh fraksi berat silika suatu bahan terhadap jarak keausan | 16 |
| Gambar 2. 12 Konversi nilai kekerasan..... | 19 |
| Gambar 2. 13 Variasi kekuatan tarik dengan beban serat yang digunakan | 20 |
| Gambar 2. 14 Salah satu alat uji tribometer <i>pin-on-disk</i> dan skema alatnya..... | 22 |
| Gambar 2. 15 Contoh spesimen dan skema alat <i>Charpy</i> | 23 |
| Gambar 3. 1 Diagram alir proses pembuatan kampas alir | 26 |
| Gambar 3. 2 Bahan dasar. Dari kiri Aluminium Oxide, Aluminium Powder, Iron Powder, Resin, Waru, Keramik Fiber, dan Pasir Silika..... | 27 |
| Gambar 3. 3 Mixer..... | 28 |
| Gambar 3. 4 Cetakan kampas rem yang sebagian telah terisi.... | 28 |
| Gambar 3. 5 Mesin Press kampas rem..... | 29 |
| Gambar 3. 6 Oven listrik sebelum dioperasikan dan sedang dioperasikan | 29 |
| Gambar 3. 7 Satu set alat densitas untuk mengukur massa celup bahan | 31 |
| Gambar 3. 8 Microhardness Vickers Tester | 32 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 3. 9 | Skema alat uji keausan | 34 |
| Gambar 4. 1 | Grafik densitas untuk perlakuan panas 25 °C..... | 38 |
| Gambar 4. 2 | Grafik densitas untuk perlakuan panas 150 °C..... | 38 |
| Gambar 4. 3 | Grafik densitas untuk perlakuan panas 300 °C..... | 39 |
| Gambar 4. 4 | Grafik pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap kekerasan bahan komposit..... | 41 |
| Gambar 4. 5 | Pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap nilai koefisien gesek | 43 |
| Gambar 4. 6 | Grafik pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap nilai keausan bahan..... | 45 |
| Gambar 4. 7 | Grafik pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap energi serap pada alat <i>impact</i> | 47 |
| Gambar 4. 8 | Hasil patahan dari setiap sampel uji <i>impact</i> | 48 |
| Gambar 4. 9 | Salah satu bagian dalam patahan sampel | 48 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Rata-rata tegangan dan regangan tarik dari pengujian waru yang diberi perlakuan perendaman..... | 15 |
| Tabel 2. 2 Contoh-contoh densitas setiap bahan..... | 17 |
| Tabel 4. 1 Nilai densitas pada semua sampel | 37 |
| Tabel 4. 2 Nilai kekerasan pada semua sampel | 40 |
| Tabel 4. 3 Hasil pengujian koefisien gesek | 43 |
| Tabel 4. 4 Hasil pengujian keausan | 44 |
| Tabel 4. 5 Data pengujian <i>impact</i> | 46 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kereta Api merupakan salah satu alat transportasi darat yang digunakan sampai saat ini. Alat transportasi ini dapat bergerak baik dilakukan dengan membangkitkan tenaga disel ataupun dengan energi listrik. Banyak komponen sistem dari transportasi tersebut yang digunakan. Salah satunya adalah sistem pengereman. (Reif, 2014)

Di dalam sistem rem sendiri ada yang disebut kampas rem, yaitu bahan yang berguna sebagai bahan penggesek. Ada pun parameter yang perlu diketahui dari bahan tersebut. Seperti keausan, kekerasan, dan lain-lain. Untuk mendesain bahan tersebut, digunakanlah ilmu komposit agar bahan tersebut memiliki kekuatan yang baik, serta tidak mudah aus ketika terkena gesekan. (Pygridis, 2016)

Salah satu bahan yang digunakan pada kampas rem salah satunya dapat menggunakan bahan dari bahan alami. Hal ini digunakan karena selain efektif mengurangi jumlah logam industri sebagai pengisi kampas rem, juga bahan tersebut mudah didapatkan di negara kita. Selain itu, bahan alami tersebut bisa digunakan sebagai bahan alternatif pengganti *asbestos*. Bahan ini biasa digunakan sebagai kampas kereta api. Namun bahan tersebut dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia. (Reif, 2014)

Salah satu kajian fisika yang dapat membahas mengenai penggunaan bahan alami di dalam penggunaan kampas rem adalah komposit. Yaitu perpaduan antara dua bahan atau lebih yang berukuran makroskopis. Kedua bahan ini bertujuan agar menghasilkan suatu sifat baru di dalam suatu bahan yang dapat meninjau dari berbagai aspek (Jones, 2004). Penggunaan bahan alami dalam komposit sangat dianjurkan dalam mengurangi polusi udara yang dihasilkan oleh bahan-bahan industri dan mengurangi dari segi biaya yang cenderung lebih mahal

dibandingkan dengan menggunakan bahan alami. (Pygridis, 2016). Bahan alami yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan waru. Tanaman ini sangat dikenal terutama di wilayah Indonesia. Tanaman ini biasanya tersebar di daerah tropis (Anonim, 2011) dan tumbuh di daerah tepi pantai. sehingga tanaman ini mudah didapatkan serta jumlahnya cukup banyak untuk dijumpai (Prasteyo, 2016)

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dilakukan pada penelitaian ini berdasarkan latar belakang di atas adalah

1. Bagaimana cara membuat kanvas rem dengan bahan serat waru dan pasir silika.
2. Bagaimana sifat mekanik kanvas rem dengan menggunakan serat waru dengan variasi fraksi berat pasir silika.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Variasi yang digunakan adalah fraksi berat pasir silika 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%
2. Ukuran butir pasir silika antara 0,1 - 0,5mm.
3. Arah serat waru secara acak
4. Sifat mekanik yang diuji adalah densitas, kekerasan, keausan, dan koefisien gesek.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk

1. Membuat kanvas rem kereta api dari bahan alam (serat waru dan pasir silika)
2. Mengetahui pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap sifat-sifat mekanik kanvas rem.

1.5 Manfaat Hasil Penelitian

Manfaat hasil penelitian yang dapat diperoleh agar dapat mengetahui sifat mekanik kampas rem dengan variasi yang digunakan. Selain itu, dapat mengetahui komposisi kampas rem yang ideal baik dari segi kuantitas maupun kualitas dari bahan tersebut.

1.6 Sistematika penulisan

Penulisan Tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian. Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, serta Bab V berupa kesimpulan dan saran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

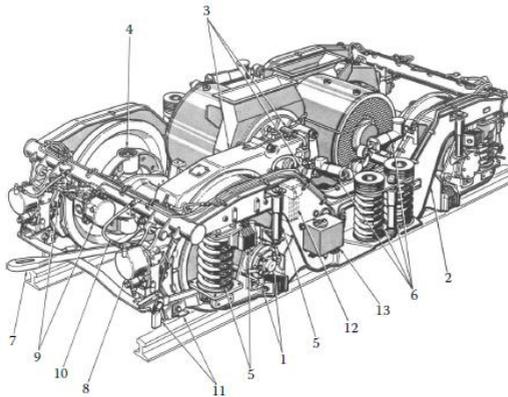
2.1 Kampas Rem

Sistem pengereman merupakan komponen yang digunakan pada suatu alat transportasi. Tujuan adanya sistem pengereman pada suatu transportasi bertujuan untuk menghambat kecepatan yang dapat dikendalikan. Biasanya hal ini digunakan ketika transportasi yang digunakan akan berhenti pada kecepatan tertentu atau mengurangi kecepatan pada saat akan menuruni suatu lintasan. Dalam pengembangannya, rem digunakan pada transportasi darat maupun udara. Ada beberapa komponen dalam sistem pengereman, di mulai dari sistem hidrolik, kampas rem, cakram rem, dan lain sebagainya. Hidrolik digunakan untuk meningkatkan energi dalam pengereman. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan gaya gesek ketika melakukan pengereman. Kampas rem adalah berperan sebagai penggesek, sedangkan cakramnya adalah yang digeseknya. Dalam pengembangan kampas rem, biasanya digunakan bahan terbuat dari serat *asbestos*. Namun bahan ini berbahaya bagi kesehatan sehingga diganti dengan menggunakan serat plastik. Adapun faktor yang diperhatikan dalam sistem pengereman yang antara lain energi yang tersimpan, gaya gesekan, dan stabilitas kemanan selama pengereman terjadi. (Reif, 2014)

Untuk mengetahui kualitas rem, ada beberapa hal yang diamati. Antara lain bahan penggesek, tingkat keausan, dan efektivitas bahan terhadap gesekan. Suatu bahan dikatakan baik bila menghasilkan gaya gesek yang baik pula. Bila bahan tersebut tidak menghasilkan gesekan yang baik, maka transportasi yang digunakan akan cenderung lebih lama untuk berhenti atau menurunkan percepatan. Bahan penggesek ini dapat digunakan pada kondisi kering ataupun basah. Pada saat kondisi basah dapat dilakukan pada di dalam fluida yang digunakan untuk pendingin. Hal ini dilakukan karena hal tersebut akan menghasilkan energi disipasi selama pengereman. Akan tetapi fluida ini tidak dapat

dioperasikan pada kondisi kering. Keausan merupakan banyaknya suatu bahan yang terkikis pada setiap perubahan gaya satuan panjang. Sedangkan efektivitas bahan terhadap gesekan yaitu banyaknya pengaruh gesekan bila terjadi pemanasan. (Orthwein, 2004)

Sistem pengereman di dalam kereta api terjadi pada sebuah *chassis* atau rangka roda kereta api yang disebut dengan *bogie* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Satu set *Boogie* kereta api

Keterangan gambar :

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. satu set as roda kereta api | 8. udara rem |
| 2. rangka <i>bogie</i> | 9. kampas rem |
| 3. alat peredam | 10. pipa rem |
| 4. transmitter | 11. alat penghambur pasir dan batu |
| 5. suspensi primer | 12. sikat kontak |
| 6. suspensi sekunder | 13. <i>lubricator</i> |
| 7. tuas rem | |

Dalam kondisi tertentu, sebuah kereta dapat menghasilkan polusi udara. Polusi udara ini yang ditimbulkan pada sistem pengereman kereta api merupakan salah satu

parameter untuk mengukur seberapa banyak polusi yang ditimbulkan suatu kereta. Sebab kebanyakan kereta menggunakan logam sebagai *filler* pada kampas rem. Hasilnya partikel logam berat akan berdifusi ke lingkungan yang menyebabkan polusi udara di sekitarnya. Oleh sebab itu digunakan serat alami yang dapat diganti di dalam kampas rem. Hal ini digunakan agar mengurangi pencemaran terhadap lingkungan yang mengandung material-material yang tidak baik. Selain itu, penggunaan serat alami dapat mengurangi penggunaan bahan-bahan yang mahal sebagai *filler* kampas rem yang digunakan pada kereta. (Pygridis, 2016)

2.2 Material Komposit

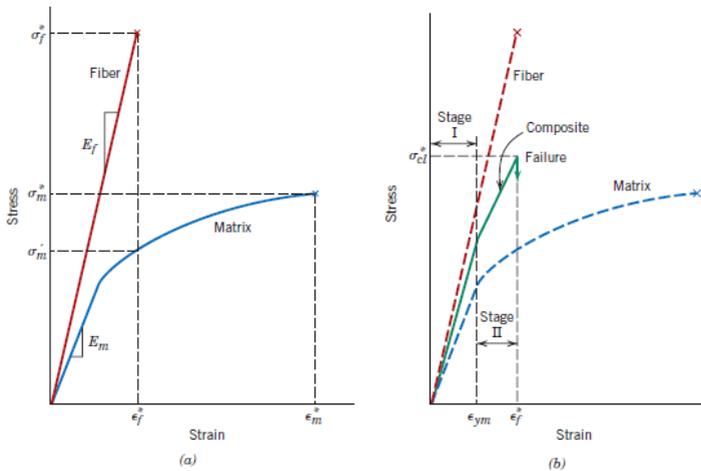
Bahan komposit adalah perpaduan antara dua atau lebih jenis bahan yang memiliki sifat yang berbeda dalam skala makroskopis. Berbeda dengan bahan yang terpadu dalam skala mikroskopis yang disebut dengan *alloy*. Tujuan digunakan bahan komposit yaitu untuk mendesain sifat dari suatu bahan. Sifat yang dimaksud dapat meningkatkan atau mendesain yang dapat ditinjau dalam beberapa aspek, di antaranya kekuatan, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap aus berat, kebergantungan terhadap suhu, ketahanan terhadap panas, mendesain konduktivitas termal, dan lain sebagainya. (Jones, 2004)

Komposit pun dapat diartikan sebagai campuran dari dua fase atau lebih dari suatu baham. Fase yang dimaksud adalah antara logam, keramik, dan polimer. Fase logam adalah fase suatu bahan yang secara kimiawi terdiri dari unsur-unsur logam. Keramik merupakan perpaduan antara logam dan non logam. Sedangkan polimer pada umumnya adalah bahan organik yang secara kimiawi terdapat kandungan karbon, hidrogen, dan unsur non-logam lainnya. (Callister, 2007).

Pada umumnya, bahan komposit terdiri dari dua bagian. Bagian pertama digunakan sebagai *matrix* dan bagian yang kedua sebagai *filler* atau *reinforced*. *Matrix* dapat dikenal sebagai bahan yang diisi. Sedangkan *filler* adalah bahan pengisinya.

Kebanyakan *matrix* menggunakan fraksi volume lebih dari 50%. Dibandingkan dengan *filler* hanya menggunakan fraksi volume kurang dari 25%. Selain itu, *matrix* dapat diperlakukan sebagai bahan yang homogen dan isotropik. Sifat kedua bagian ini sangat mempengaruhi sifat dari komposit yang akan dihasilkan (Vasiliev, 2001)

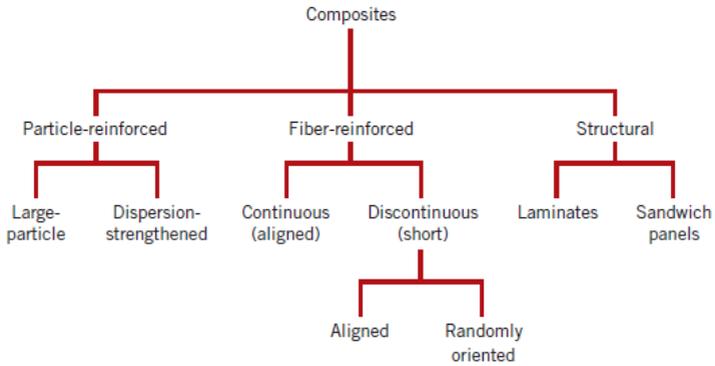
Hubungan antara *matrix* dan filler akan menghasilkan sifat antara kedua sifat bahan yang digunakan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Data perbandingan tegangan dan regangan pada suatu komposit

Misalkan *matrix* yang digunakan merupakan bahan yang dapat mengalami deformasi plastis sedangkan *filler* yang digunakan tidak mengalami deformasi plastis. Ketika keduanya disatukan, maka akan menghasilkan bahan yang memiliki sifat antara keduanya. Bila dilihat dari gambar 2.2, bila keduanya dicampur, maka bahan komposit ini tidak mudah patah, karena ada kondisi plastis. Selain itu, komposit ini memiliki kekuatan yang tinggi.

Ada pula pembagian komposit berdasarkan *filler*-nya. seperti pada Gambar 2.3.



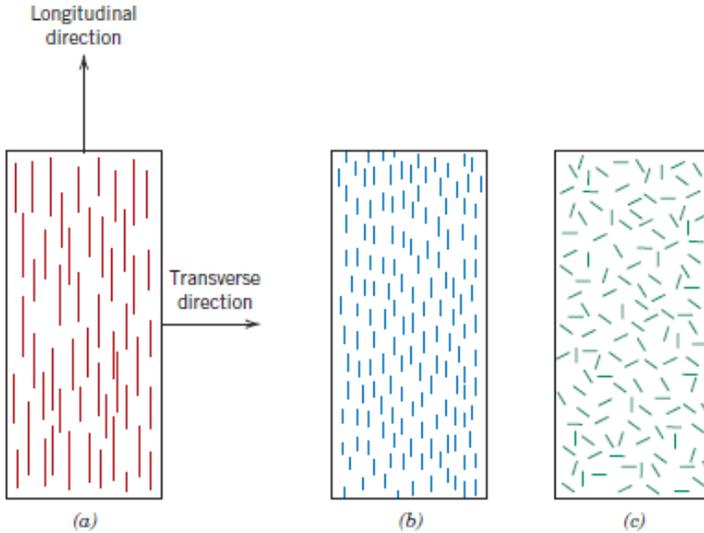
Gambar 2. 3 Pembagian komposit berdasarkan *filler*

Particle-reinforced merupakan *filler* yang berbentuk partikel. Partikel sendiri terbagi dua. Ada partikel besar dan partikel yang tersebar. Ukuran partikel yang besar ini lebih besar daripada partikel yang tersebar. Untuk partikel yang tersebar memiliki diameter setiap partikelnya antara 0.01 dan 0.1 μm . Sedangkan partikel yang besar lebih besar dari itu. Di dalam pembahasan partikel sebagai *filler* yang berukuran besar berkaitan dengan aturan campuran atau yang disebut dengan *rule of mixtures*. Yaitu pembagian fraksi antara *matrix* dan *filler* yang dapat memprediksi modulus elastisitas suatu bahan komposit. Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan

$$E_c = E_m f_m + E_f f_f \quad (2.1)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas bahan. f merupakan fraksi volume dari setiap bagian.

Fiber-reinforced adalah komposit dengan pengisinya dengan menggunakan serat. Serat ini terbagi dua macam. Ada kontinyu dan diskontinyu. Untuk yang kontinyu pada umumnya dibuat searah (tidak acak). Sedangkan untuk yang diskontinyu ada yang acak dan juga searah seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Pembagian *filler* berdasarkan seratnya. (a). Kontinyu (searah), (b.) diskontinyu (searah) dan (c) diskontinyu (acak)

Panjang serat suatu *filler* dapat mempengaruhi kekerasan bahan komposit yang dapat dinyatakan sebagai.

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{2\tau_c} \quad (2.2)$$

Di mana l_c adalah panjang serat di saat kritis, d adalah diameter serat, σ_f adalah kekuatan tarik serat, dan τ_c adalah kekuatan ikatan antara *matrix* dan *filler*. Bila l telah mencapai nilai kritis menunjukkan serat tersebut akan mengalami deformasi plastis atau perubahan panjang yang tidak dapat kembali seperti semula. Selain panjang serat, arah serat akan menentukan kekuatan suatu komposit. Pada gambar 2.2 dijelaskan ada arah longitudinal dan arah transversal. Arah longitudinal adalah arah beban yang searah dengan arah serat. Sedangkan arah transversal merupakan arah beban yang tegak lurus terhadap arah serat. Arah longitudinal inilah yang akan menghasilkan *isostrain*, yaitu kondisi bahan tersebut menghasilkan regangan yang sama antara *matrix* dan

filler. Pada kondisi ini, kekuatan tarik yang dihasilkan dapat dinyatakan dalam persamaan.

$$\sigma_c A_c = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m \quad (2.3)$$

A merupakan luasan dari setiap bahan. Luasan setiap bahan ini dapat diasumsikan sebagai fraksi bila persamaan tersebut dibagi dengan luasan komposit atau luasan keseluruhan. Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\sigma_c = \sigma_f f_f + \sigma_m f_m \quad (2.4)$$

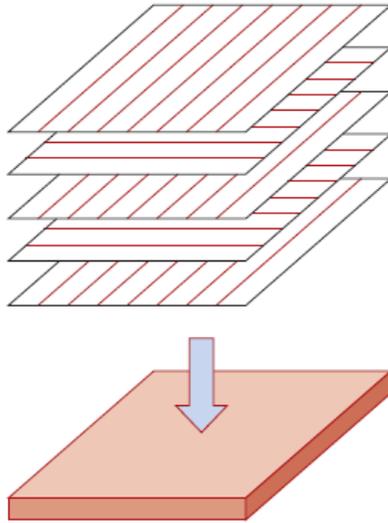
Sedangkan untuk mengetahui hubungan elastisnya, dilakukan beban secara transversal. Sebab dari pembebanan yang arahnya tegak lurus terhadap arah serat tersebut berada pada kondisi *isostres*, yaitu kondisi di mana tegangan yang sama terjadi baik pada *matrix* dan pada *filler*. Persamaan elastis dapat dinyatakan sebagai

$$\varepsilon_c = \varepsilon_c f_m + \varepsilon_f f_f \quad (2.5)$$

Di mana ε merupakan nilai elastisitas bahan. Sedangkan modulus elastisitas pada komposit untuk pembebanan transversal dapat dirumuskan sebagai perbandingan antara isostrain dan elastisitas dari komposit. Sehingga didapatkan.

$$E_c = \frac{E_m E_f}{f_m E_f + f_f E_m} \quad (2.6)$$

Selain *filler* dalam bentuk partikel dan serat. Ada pula komposit dalam bentuk strukur. Struktur yang dimaksud adalah dalam bentuk lapisan. Secara struktur, komposit terbagi dua. Pertama *laminar* dan kedua adalah *sandwich*. *Laminar* merupakan penggabukan dua atau lebih lapisan. Kebanyakan komposit jenis ini memiliki kekuatan yang tinggi. Akan tetapi ada kondisi kekuatan yang rendah pada arah yang berbeda disebabkan karena arah serat yang digunakan berbeda. Desain arah serat dapat dilakukan seperti pada Gambar 2.5.



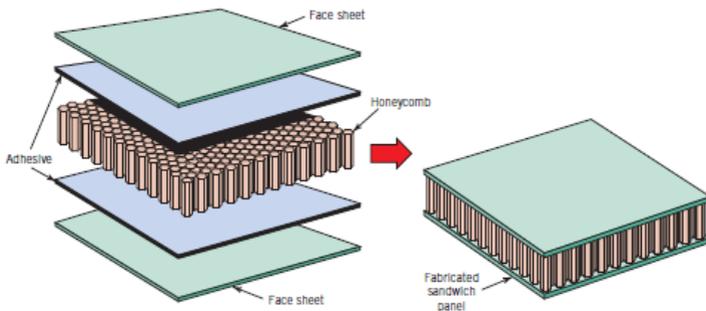
Gambar 2. 5 Penempelan *filler* untuk menjadi *laminar composite*.

Selain *filler* berupa partikel dan serat, ada pula komposit dalam bentuk terstruktur yang terdiri dari lapisan-lapisan. Jika dilihat secara terstruktur terbagi dua. Ada yang berupa lapisan-lapisan saja dan ada pula yang berbentuk *sandwich*. Desain berbentuk *Sandwich* memiliki keunggulan tersendiri, tidak hanya bebannya saja yang ringan, juga menghasilkan kekuatan yang tinggi. Secara struktural, *sandwich* ini terdiri dari 2 bagian antara lain lembaran permukaan atau biasa disebut dengan *face* dan *core* seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Struktur *Sandwich panel*

Face pada umumnya menggunakan bahan yang kaku dan kuat. Sedangkan *Core* dibuat dari bahan tertentu yang secara struktur didesain seperti *honeycomb*. Di antara *face* dan *honeycomb* terdapat adesif yang berfungsi sebagai pengikat (Callister, 2007). Berikut adalah salah satu contoh sandwich panel seperti pada Gambar 2.7.

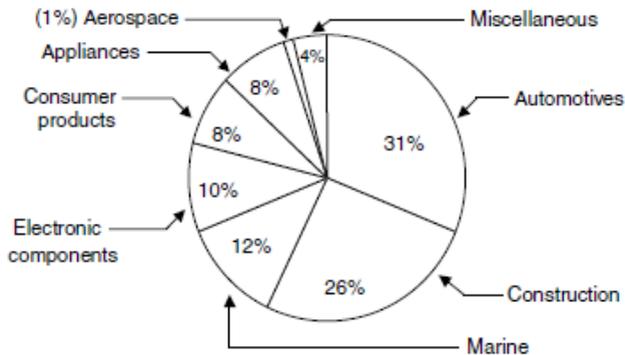


Gambar 2. 7 Pembuatan Struktur *sandwich panel*

Kebergantungan bahan komposit tidak selamanya berasal bahan-bahan dari sintesis industri. Bahan alami dapat berperan sebagai komposit pula yang disebut dengan *biocomposite*. *Biocomposite* adalah penggabungan atau pencampuran dua bahan atau lebih yang salah satunya menggunakan bahan alami. Biasanya Bahan alami ini digunakan sebagai *filler* dan berbasis polimer. Banyak sekali bahan komposit yang berasal dari biopolimer menjadi serat sintesis seperti halnya *fiber glass* dan *fiber carbon*. Keduanya merupakan bagian dari *biocomposite*, sebab keduanya serat yang berasal dari tumbuhan dan dapat

dijadikan sebagai *biopolymer*. Penggunaan bahan dasar alami ini berhasil menegubah tantang global dari segi ekonomi baik di dalam industri, akademik, dan pemerintah. Selain itu penggunaan bio komposit ini lebih ramah lingkungan. Berikut adalah penggunaan komposit alam di beberapa industri

Peranan aplikasi *biocomposite* di berbagai industri lebih banyak diterapkan dari beberapa industri. Berikut adalah persentase penggunaan komposit alam di berbagai dunia industri seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Aplikasi komposit alam di beberapa produksi industri

Berdasarkan persentase tersebut, dunia otomotif sangat berpotensi dalam pengembangan komposit alam. (Mohanty, 2005)

2.3 Waru

Waru (*Hibiscus tiliaceus*) merupakan salah satu jenis tanaman yang tumbuh di daerah tropis. Terutama tumbuh berkelompok di daerah pantai berpasir atau daerah pasang surut. Oleh sebab itu, tumbuhan ini jenis ini sangat dikenal oleh penduduk Indonesia dan sering ditemukan di tepi pantai. Biasanya tanaman ini disebut pula sebagai waru laut (Anonim, 2011). Tanaman ini tidak terlalu rimbun dan akarnya tidak dalam

sehingga merusak jalan dan bangungannya di sekitar (Suratman 2008).

Di dalam tanaman tersebut mengandung banyak serat, terutama pada kulit batang tantama tersebut. Pohon ini memiliki tinggi 5 – 15 meter, batang berkayu bulat, bercabang, warna cokelat, kayu yang terasa agak ringan, padat berstruktur cukup halus, tidak begitu keras, liat dan awet bertahan dalam tanah. Kayu dari tanaman ini biasa digunakan sebagai bahan bangunan atau perahu. Selain itu dapat digunakan sebagai perkakas, ukiran, serta kayu bakar. Untuk memperoleh serat daripohon waru dapat diperoleh dari kulit batangnya. Kulit pohon yang telah dikelupas dari batangnya kemudian direndam dan dipukul-pukul.

Adapun penelitian yang telah dilakukan untuk tanaman waru tersebut untuk mengetahui pengaruh lama perendaman terhadap tegangan dan regangan yang dihasilkan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rata-rata tegangan dan regangan tarik dari pengujian waru yang diberi perlakuan perendaman.

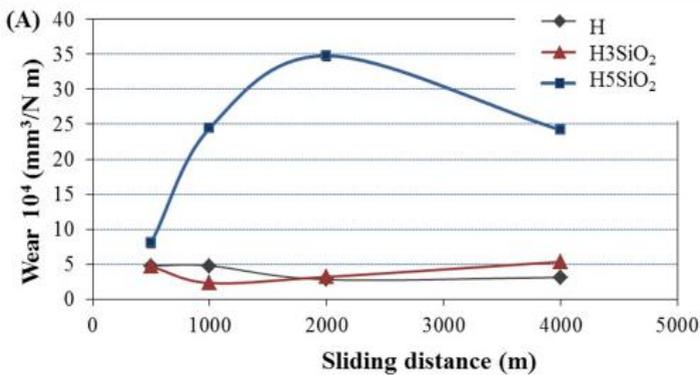
| No | Lama perendaman (jam) | Tegangan σ (kg/mm ²) | Regangan ϵ (%) |
|----|-----------------------|---|-------------------------|
| 1 | 0 | 30.63431 | 3.568 |
| 2 | 2 | 48.35578 | 4.168 |
| 3 | 4 | 31.78725 | 4.096 |
| 4 | 6 | 17.97420 | 4.780 |

Serat waru bila direndam lebih lama akan sebanding dengan regangan yang dihasilkan. Namun tegangan yang dihasilkan akan bervariasi. Sedangkan besar tegangan serat tanpa perlakuan sekitar 30 kg/mm² sedangkan regangan yang dihasilkan sekitar 3.5 % dari panjang mula-mula (Prasetyo, 2016).

2.4 Pasir Silika

Pasir silika merupakan salah satu bahan hasil produksi dari bahan alam. Pada umumnya, pasir tersebut diambil dari pasir pantai sebagai bahan dasarnya. Silika adalah senyawa kimia yang terdiri dari Silikon dan Oksigen (SiO_2). Senyawa tersebut ditemukan di alam dalam bentuk kuarsa. Kandungan silika paling banyak ditemukan khususnya di daerah tropis. Ada pula kegunaan silika khususnya sebagai bahan dasar keramik, sehingga bahan tersebut dapat meningkatkan kekerasan suatu bahan di dalam komposit. Adapun nilai densitas dari pasir silika tersebut adalah $2,64 \text{ g/cm}^3$ (Gualtieri, 2000).

Bila ditinjau dari uji keausan, fraksi silika di dalam suatu komposit berpengaruh terhadap banyaknya keausan seperti Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Grafik pengaruh fraksi berat silika suatu bahan terhadap jarak keausan

Data tersebut merupakan data yang diambil dari sampel pengujian keausan. Ada tiga sampel yang diuji. Sampel pertama digunakan resin saja. Sampel kedua digunakan fraksi berat silika 3%. Sedangkan sampel ketiga menggunakan fraksi berat silika 5%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak fraksi berat silika yang digunakan, maka semakin berkurang nilai keausannya. Karena hal ini terjadi disebabkan karena nilai

kekerasan dari bahan komposit tersebut seiring bertambahnya fraksi berat silika yang digunakan. (Abenojar, 2017)

2.5 Sifat Mekanik Bahan

2.5.1 Densitas

Densitas merupakan sebuah perbandingan antara massa dan volume pada suatu bahan. Pada umumnya densitas suatu bahan dapat ditulis dalam persamaan.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.7)$$

Dengan ρ adalah densitas suatu bahan, m adalah massanya dan V adalah volume dari bahan tersebut. Setiap bahan memiliki nilai densitasnya masing-masing dan nilainya yang berbeda-beda seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Contoh-contoh densitas setiap bahan

| Nama Zat | Massa Jenis | |
|--------------|--------------------|--------------------|
| | kg m ⁻³ | g cm ⁻³ |
| udara (27°C) | 1,2 | 0,0012 |
| alkohol | 800 | 0,80 |
| kayu | 300 – 900 | 0,3 – 0,9 |
| es | 920 | 0,92 |
| air (4°C) | 1.000 | 1,00 |
| aluminium | 2.700 | 2,70 |
| seng | 7.140 | 7,14 |
| besi | 7.900 | 7,90 |
| kuningan | 8.400 | 8,40 |
| perak | 10.500 | 10,50 |
| raksa | 13.600 | 13,60 |
| emas | 19.300 | 19,30 |
| platina | 21.450 | 21,45 |

Bila suatu bahan dengan densitas tinggi dibandingkan dengan bahan dengan densitas yang lebih rendah dengan volume yang

sama, maka bahan berdensitas tinggi akan lebih berat dibandingkan dengan bahan berdensitas yang rendah. Namun bila kedua bahan tersebut memiliki bahan yang sama, ukuran volume densitas tinggi lebih kecil dibandingkan dengan ukuran bahan dengan desitas yang lebih rendah (Antika, 2012).

Dikarenakan kompoisit merupakan suatu bahan yang terdiri dari dua fasa atau lebih, maka densitas komposit akan berubah bergantung pada densitas masing-masing fasa. Bila dihubungkan antara persamaan 2.1 dan 2.7, maka persamaan densitas suatu komposit dapat digunakan persamaan

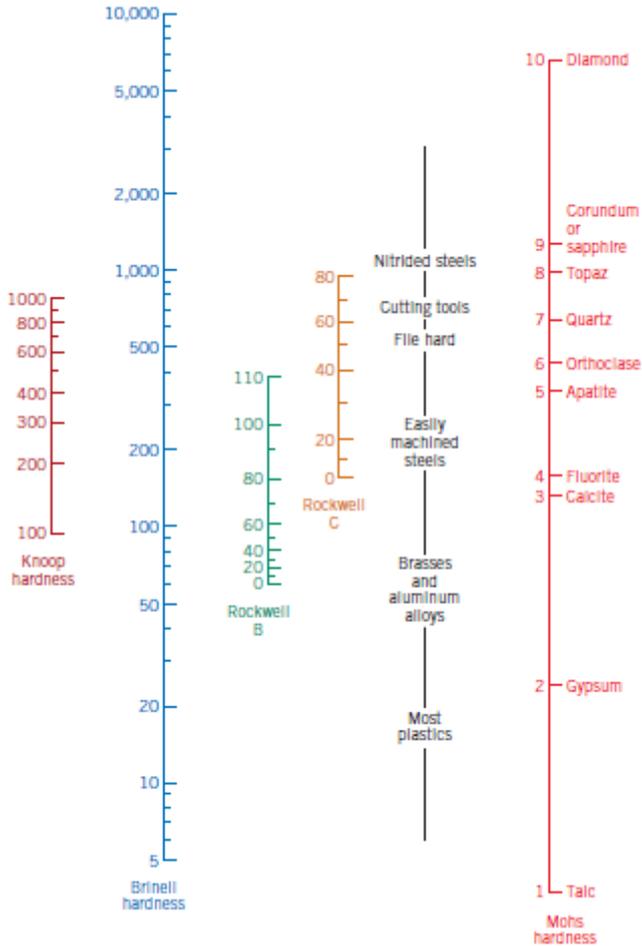
$$\rho_c = \rho_m f_m + \rho_f f_f \quad (2.8)$$

Dengan ρ_c merupakan densitas komposit, ρ_m adalah denistas matriks dan ρ_f adalah denistas filler. Bila densitas filler lebih besar dari denistas matriks maka denistas suatu komposit akan bertambah seiring bertambahnya fraksi filler (Callister, 2007)

2.5.2 Kekerasan

Sifat mekanik suatu bahan yang dapat diketahui salah sataunya adalah kekerasan, yaitu sebuah ukuran pada suatu bahan untuk mengetahui ketahanan bahan tersebut dapat mengalami deformasi plastis. Di dalam pengujian kekerasan ada bebrapa alas digunakan uji tersebut dengan beberapa alasan. Antara lain karena lebih mudah diuji, lebih murah, test dilakukan secara nondestruktif, dan untuk mengetahui kekuatan tarik dari sebuah bahan.

Dalam mengetahui kekerasan suatu bahan, setiap pengukur kekerasan memiliki perbedaan kalibrasi masing-masing. Berikut adalah konversi kekerasan pada setiap skala setiap nilai kekerasan seperti pada Gambar 2.10 (Callister, 2007).



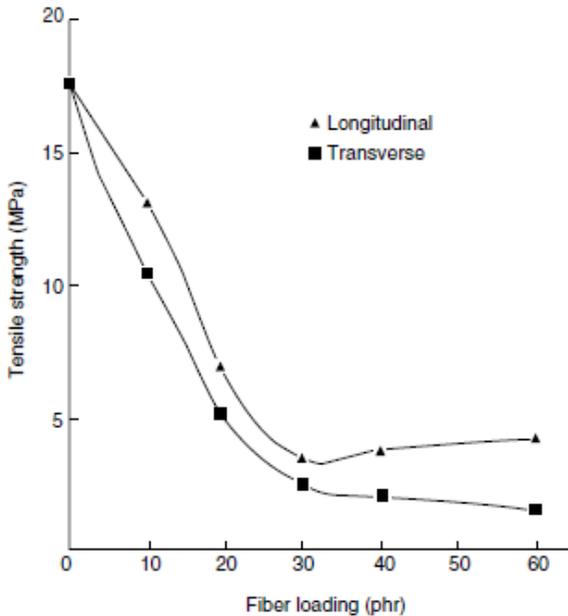
Gambar 2. 10 Konversi nilai kekerasan

Kekuatan suatu bahan bergantung pada bahan yang digunakan antara *filler* dan *matrix*. Di dalam aturan campuran, kekuatan tarik pada sebuah komposit dinyatakan sebagai

$$TS_c = f_f TS_f + f_m TS_m \quad (2.7)$$

Di mana TS merupakan kekuatan tarik. Sedangkan f merupakan fraksi dari bahan yang digunakan. Sedangkan D_i dalam matrix tidak disebutkan kekuatannya, sebab pada kasus ini sifat yang digunakan lebih ulet sehingga hanya digunakan sebagai pengikat saja (Askeland, 2011)

Serat suatu bahan alami memiliki sifat yang berbeda-beda. Terkadang bahan alami tidak hanya berperan sebagai *filler*, juga dapat berperan sebagai *matrix*. Berikut adalah data dari hasil pengamatan dengan menggunakan *matrix* dari karet dan *filler* menggunakan serabut kelapa yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Variasi kekuatan tarik dengan beban serat yang digunakan

Dari data ini memberi informasi bahwa dengan penambahan serat, ada kondisi serat tersebut memiliki kekuatan tarik yang

lemah. Sebab baik diberi beban secara longitudinal maupun transversal, nilai kekuatan tarik komposit tersebut semakin menurun. Artinya dengan menambahkan serat dari serabut kelapa. Pada kondisi ini, bahan yang digunakan sebagai *matrix* lebih berperan untuk menghasilkan kekuatan tarik yang baik. (Mohanthy, 2005)

Untuk mengetahui kekerasan suatu bahan digunakan uji kekerasan salah satunya dengan menggunakan *vickers*. Vickers ini merupakan pengujian kekerasan dengan menggunakan skala *Knoop Hardness*. Uji ini secara otomatis telah diintegrasikan melalui komputer dan perangkat lunak. Perangkat lunak ini berperan penting untuk mengetahui nilai kekerasan yang dilakukan melalui sejumlah data. (Callister, 2007)

2.5.3 Koefisien Gesek

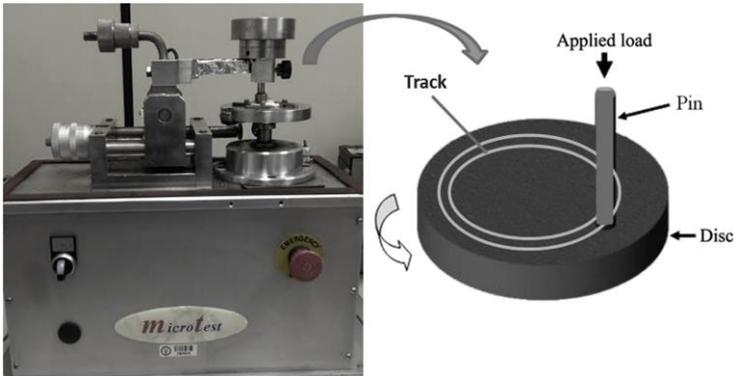
Di dalam persamaan gaya, biasanya dikenalkan koefisien gesek suatu bahan. Koefisien gesek merupakan suatu nilai yang terjadi disebabkan karena suatu gesekan antar bahan dengan bahan yang lain. Sedangkan gesekan adalah persinggungan antara dua atau lebih suatu benda di saat waktu yang sama. Di dalam kehidupan sehari-hari, gesekan antar permukaan ini sering terjadi. Sedangkan dalam pengaplikasiannya salah satunya terjadi pada proses pengereman di suatu transportasi untuk mengurangi kecepatan atau percepatannya.

Ada dua jenis gesekan bila ditinjau dari zatnya. Yaitu gesekan kering dan gesekan fluida. Gesekan kering terjadi bila adanya kontak antara suatu zat padat dengan zat padat yang lain. Gaya yang ditimbulkan dari interaksi kedua zat padat tersebut disebut dengan gaya gesek. Gaya gesek pun ada yang disebut dengan gaya gesek statik dan gaya gesek kinetik. Gaya gesek statik adalah gaya maksimum yang dibutuhkan agar suatu benda dapat bergerak. Syarat terjadi gaya tersebut harus berkontak dengan suatu permukaan padat di saat bersamaan. (Rusmadi, 2008)

2.5.4 Keausan

Keausan merupakan banyaknya volume yang terkikis ketika suatu bahan mengalami gesekan dengan suatu permukaan. Perbedaannya dengan penentuan koefisien gesek

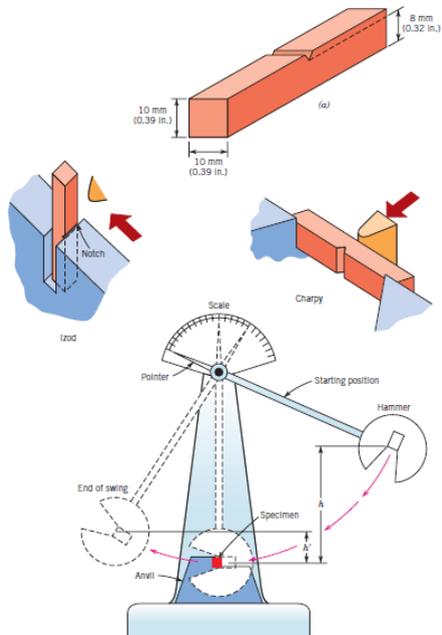
Untuk menguji keausan untuk sampel yang kering pada temperatur ruangan dapat menggunakan alat yang dinamakan dengan tribometer *pin-on-disk* seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Salah satu alat uji tribometer *pin-on-disk* dan skema alatnya

2.5.4 Impact

Impact merupakan suatu perlakuan pada suatu bahan dengan memberikan kejutan atau gaya yang besar. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketangguhan ataupun keuletan dari bahan tersebut. Untuk menguji besar energi *impact*, salah satu pengujiannya dapat digunakan alat bernama *Charpy* atau *Izod*. Berikut adalah salah satu contoh ukuran skesimen serta skema alat yang digunakan yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Contoh spesimen dan skema alat *Charpy*.

Pada alat ini digunakan suatu beban dari ketinggian tertentu. Kemudian dengan cara proses pembedulan, beban tersebut akan ditabrakan dengan spesimen bahan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan di dalam penelitian ini di antaranya timbangan digital, *mixer*, mesin *press*, dan oven listrik. Adapula alat yang digunakan untuk preparasi sampel dengan menggunakan *grinder* dan mesin bubut. Sedangkan alat yang digunakan untuk pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah *Furnace beaker glass*, *hot plate*, tisu, set alat uji densitas, *Vicker Hardness Tester*, *Tribometer Pin on Disc*, dan satu set alat uji koefisien gesek.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan komposit tersebut di antaranya 160 gram *Aluminium Oxide*, 240 gram *Aluminium Powder*, 50 gram *Ceramic Fiber*, 110 gram *Iron Powder*, 210 gram Resin, dan 100 gram Waru. Pasir silika yang digunakan antara lain 17 gram (untuk fraksi berat 2%), 35 gram (untuk fraksi berat 4%), 54 gram (untuk fraksi berat 6%), 74 gram (untuk fraksi berat 8%) dan 94 gram (untuk fraksi berat 10%).

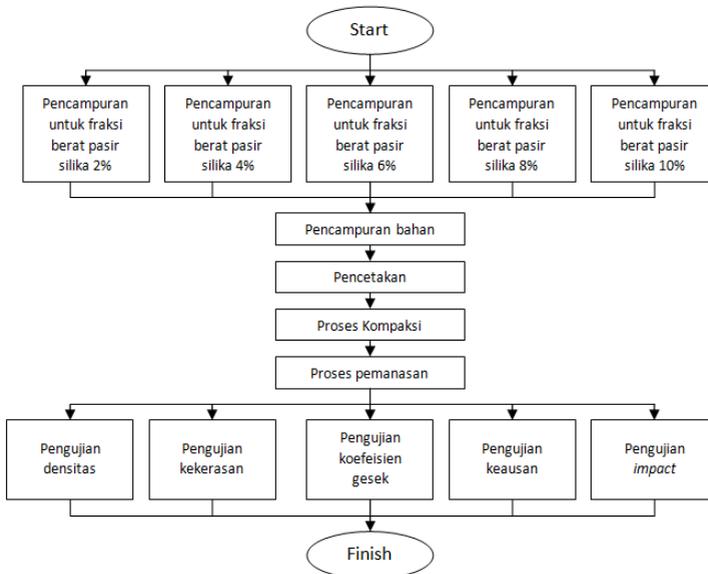
3.2 Langkah Kerja

Berikut langkah-langkah yang dilakukan di dalam penelitian ini. Di antaranya adalah:

1. Persiapan bahan
2. Pencampuran bahan dengan menggunakan fraksi pasir silika 2%, 4%, 6%, 8%, 10%
3. Proses pencampuran bahan
4. Proses pencetakan
5. Proses kompaksi
6. Proses pemanasan

7. Pengujian (densitas, kekerasan, koefisien gesek, keausan, dan *impact*)
8. Analisa data
9. Penarikan kesimpulan

3.3 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram alir proses pembuatan kampas alir

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Komposit

Langkah kerja yang dilakukan dalam pembuatan kampas rem sebagai berikut

1. Siapkan semua bahan dasar dan salah satu variasi fraksi berat pasir silika yang digunakan untuk membuat kampas rem. Bahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2.
2. Masukkan semua bahan ke dalam wadah

3. Campur semua bahan menggunakan *mixer* hingga merata. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3.
4. Ambil campuran tersebut sebanyak 800 gram untuk membuat satu unit kanvas rem sesuai dengan cetakan. Cetakan yang digunakan seperti pada Gambar 3.4
5. Masukkan campuran tersebut ke dalam cetakan yang telah dilapisi *lubricant*.
6. Dilakukan proses kompaksi dengan menggunakan mesin *press* dengan beban maksimum 500 ton. Mesin kompaksi yang digunakan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.5.
7. Dipanaskan sampai suhu permukaan atas oven berada di antara 160° sampai 165°C. Oven yang digunakan seperti pada gambar 3.6.
8. Dinginkan kanvas rem mencapai suhu ruang dengan pendinginan alami (tanpa perlakuan tertentu)
9. Keluarkan kanvas rem dari cetakan
10. Dilakukan pula pembuatan kanvas rem kembali dengan variasi fraksi berat pasir silika yang lainnya.



Gambar 3. 2 Bahan dasar. Dari kiri Aluminium Oxide, Aluminium Powder, Iron Powder, Resin, Waru, Keramik Fiber, dan Pasir Silika



Gambar 3. 3 Mixer



Gambar 3. 4 Cetakan kampas rem yang sebagian telah terisi



Gambar 3. 5 Mesin Press kampas rem



Gambar 3. 6 Oven listrik sebelum dioperasikan dan sedang dioperasikan

3.4.2 Pengujian densitas

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian densitas di antaranya sebagai berikut:

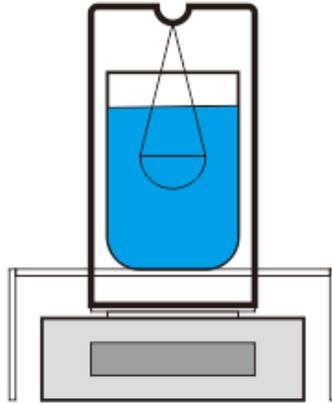
1. Dipotong tiga sampel dari setiap variasi dengan ukuran sekitar $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ dengan menggunakan *grinder*.
2. Digunakan perlakuan panas dengan suhu 25°C , 150°C , 300°C dengan menggunakan *Furnace*.
3. Ditimbang dan dicatat massa setiap sampel sebagai massa kering dengan menggunakan timbangan digital.

4. Dimasukkan sampel ke dalam *beaker glass* yang telah terisi 200 mL *aquades* yang telah dipanaskan dengan menggunakan *hot plate*.
5. Direndam selama 10 menit.
6. Dikeringkan permukaan sampel dengan menggunakan tisu.
7. Ditimbang dan dicatat massa sampel sebagai massa basah.
8. Dilakukan pengulangan sebanyak lima kali.
9. Dilakukan penimbangan dengan menggunakan satu set alat densitas untuk mengukur massa celup seperti pada Gambar 3.7.
10. Dicatat massa yang ditunjukkan pada timbangan digital.
11. Dilakukan pula pengujian yang sama pada sampel lainnya
12. Setelah semuanya dicatat, dilakukan perhitungan untuk mendapat nilai densitas dengan persamaan 3.1.

$$\rho = \frac{m_k}{m_b - m_c} \rho_0 \quad (3.1)$$

keterangan:

- ρ : densitas sampel (g/cm^2)
- m_k : massa kering (g)
- m_b : massa basah (g)
- m_c : massa celup (g)
- ρ_0 : densitas cairan (g/cm^2)



Gambar 3. 7 Satu set alat densitas untuk mengukur massa celup bahan

3.4.3 Pengujian kekerasan

Berikut langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian kekerasan di antaranya:

1. Dipotong tiga sampel dari setiap variasi dengan ukuran sekitar $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ dengan menggunakan *grinder*.
2. Digunakan variasi panaan dengan suhu 25°C , 150°C , dan 300°C .
3. Salah satu permukaan sampel diberi pasta perak.
4. Diletakkan salah satu sampel pada alat *Microhardness Vickers Tester* seperti pada Gambar 3.8.
5. Alat tersebut dinyalakan.
6. Diatur kefokusn lensa objektif sampai permukaan sampel dapat diamati jelas.
7. Ditekan tombol pada alat sesuai prosedur sampai alat mengeluarkan nilai-nilai yang diukur (d_1 dan d_2).
8. Dicatat nilai kekerasan sampel yang dikeluarkan dari alat.
9. Diulangi sebanyak 10 kali.
10. Dilakukan pula pada variasi sampel yang lain.



Gambar 3. 8 Microhardness Vickers Tester

3.4.4 Pengujian koefisien gesek

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini antara lain:

1. Dipotong pada setiap sampel dengan ukuran sekitar 2 cm × 2 cm × 1cm
2. Dihaluskan salah satu permukaan sampel dengan menggunakan amplas
3. Ditimbang dan dicatat massa sampel.
4. Ditimbang dan dicatat massa ember.
5. Diletakkan sampel yang telah dihaluskan pada permukaan baja pada alat uji koefisien gesek.
6. Dihubungkan sampel dan ember dengan menggunakan seutas tali.

7. Dimasukkan pasir sedikit demi sedikit ke dalam ember dari keadaan kosong sampai terjadi pergeseran pada sampel.
8. Ditimbang massa ember dan massa beban pasir.
9. Dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefien gesek dari sampel tersebut dengan menggunakan persamaan 3.2.
10. Diulang sebanyak 10 kali untuk setiap variasi sampel yang lain.

$$\mu = \frac{m_p}{m_s} \quad (3.2)$$

Keterangan: μ : koefisien gesek
 m_p : massa pasir
 m_s : massa sampel

3.4.5 Pengujian Keausan

Berikut langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian ini adalah:

1. Dipotong setiap sampel dalam bentuk *clynder* dengan diameter sekitar 1 cm dan tinggi sekitar 2 cm menggunakan *grinder* dan mesin bubut.
2. Dimasukkan salah satu sampel ke dalam alat uji keausan (*pin on disc*) sampai bahan sampel bersentuhan dengan *disc* seperti pada Gambar 3.9.
3. Diukur jari-jari keausan dari pusat *disc* ke bahan yang diuji.
4. Digunakan beban 5,5 kg untuk pembebanan terhadap bahan.
5. Dinyalakan alat uji keausan.
6. Diatur kecepatan putar dengan kecepatan 450 RPM.
7. Ditekan tombol FWD untuk memutar *disc*.
8. Ditunggu keausan bahan selama 10 menit.
9. Dimatikan alat uji dan dikeluarkan sampel ujinya

10. Diukur dan dicatat volume yang terkikis dengan menentukan selisih ketinggiannya atau bagian yang terkikis dengan menggunakan jangka sorong.
11. Dihitung nilai keausan dengan menggunakan persamaan 3.3
12. Dilakukan pula pada sampel yang lain.

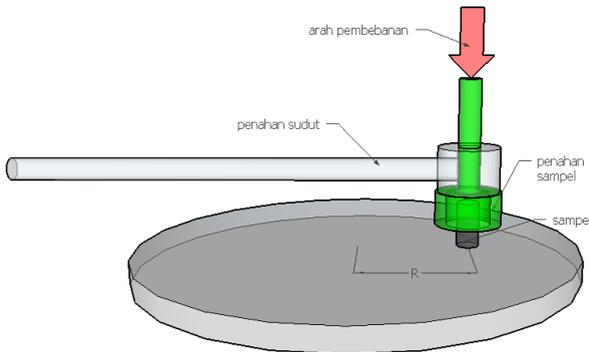
$$k' = \frac{V}{m \cdot S} \quad (3.3)$$

dengan

$$S = \omega R t \quad (3.4)$$

Keterangan :

- k' : nilai keausan (cm^2/kg)
- V : volume yang terkikis (cm^3)
- m : massa pembebanan (kg)
- S : jarak pembebanan (cm)
- ω : kecepatan putaran *disc* (rad/s^2)
- R : jari-jari *disc* (cm)
- t : lama pengausan (s)



Gambar 3.9 Skema alat uji keausan

3.4.5 Pengujian *Impact*

Berikut adalah langkah-langkah untuk menguji *impact*.

1. Dipotong setiap variasi sampel dengan menggunakan *grinder* dengan ukuran 1 cm × 1 cm × 5,5 cm dan diberi *notch* dengan kedalaman 2mm.
2. Diatur dan ditahan ketinggian atau sudut bandul dengan sudut 4° dari tempat spesimen.
3. Diletakkan salah satu sampel pada alat uji *impact* (*Charpy*) pada tempat spesimen uji.
4. Dilepaskan bandul dari sudut yang digunakan sebesar 10°
5. Dilakukan pula pengujian pada spesimen lain
6. Untuk mengetahui energi yang diserap bahan, dapat digunakan persamaan 3.8. Berikut penurunan persamaannya didapat dari persamaan 3.5, 3.6, dan 3.7.

$$E_p = mg\Delta h \quad (3.5)$$

$$E_p = mg R (1 - \cos \theta) \quad (3.6)$$

$$E_s = E_{pi} - E_{pf} \quad (3.7)$$

$$E_s = mg R (\cos \theta_f - \cos \theta_i) \quad (3.8)$$

Keterangan: E_p : Energi potensial (Joule)
 E_{pi} : Energi potensial pada sudut awal bandul
 E_{pf} : Energi potensial pada sudut akhir bandul
 E_s : Energi serap bahan (Joule)
 m : Massa beban bandul (g)
 Δh : Selisih ketinggian bandul (m)
 θ : Sudut pembandulan (°)
 R : Jari-jari bandul (m)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Densitas

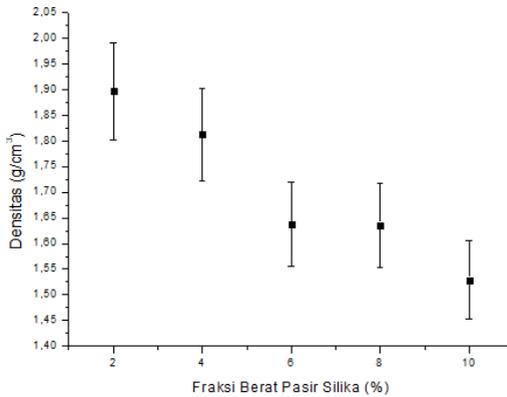
Pengujian densitas yang telah dilakukan untuk mengetahui nilai densitas massa dalam satuan volume tertentu. Di dalam pengujian ini digunakan prinsip hukum Archimedes yang memudahkan dalam proses mencari nilai densitas tanpa harus mengukur volume dari sampel. Pada setiap sampel diberi perlakuan panas dengan suhu 25, 150, dan 300 °C agar mengetahui pengaruh panas terhadap sampel. Karena pada kenyataannya kanvas rem yang terjadi gesekan akan menimbulkan panas, dan panas yang ditimbulkan memiliki suhu antara 25-300 °C.

Dari hasil pengujian tersebut diperoleh data yang dihasilkan berupa rata-rata densitas sampel seperti pada Tabel 4.1.

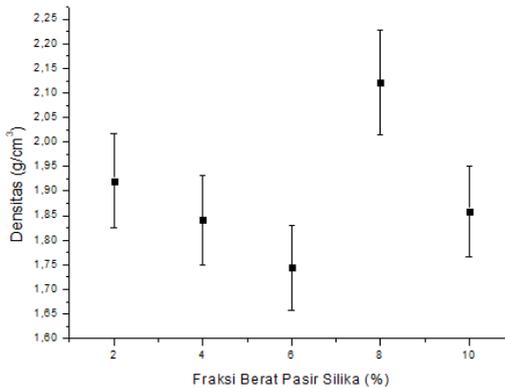
Tabel 4. 1 Nilai densitas pada semua sampel

| Fraksi berat Pasir silika (%) | Perlakuan panas (°C) | Rata-rata Densitas (g/cm ³) |
|----------------------------------|----------------------|--|
| 2 | 25 | 1,897 |
| | 150 | 1,920 |
| | 300 | 1,829 |
| 4 | 25 | 1,812 |
| | 150 | 1,841 |
| | 300 | 1,844 |
| 6 | 25 | 1,638 |
| | 150 | 1,744 |
| | 300 | 1,664 |
| 8 | 25 | 1,636 |
| | 150 | 2,122 |
| | 300 | 1,731 |
| 10 | 25 | 1,529 |
| | 150 | 1,859 |
| | 300 | 1,760 |

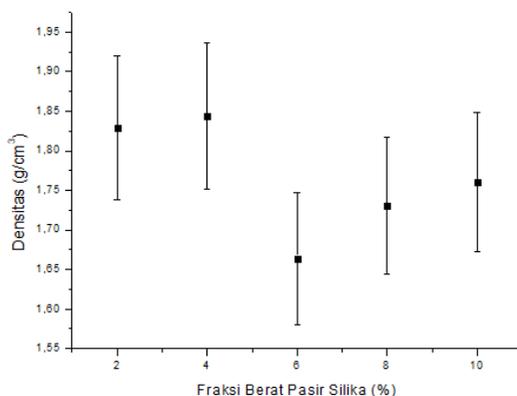
Rata-rata nilai densitas yang diperoleh dapat ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik nilai densitas untuk perlakuan panas 25°C dapat dilihat pada Gambar 4.1. Grafik nilai densitas untuk perlakuan panas 150°C dapat dilihat pada Gambar 4.2. Sedangkan Grafik nilai densitas untuk perlakuan panas 300°C dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 1 Grafik densitas untuk perlakuan panas 25 °C



Gambar 4. 2 Grafik densitas untuk perlakuan panas 150 °C



Gambar 4. 3 Grafik densitas untuk perlakuan panas 300 °C

Grafik yang ditunjukkan pada perlakuan panas 25⁰C (Gambar 4.1) menunjukkan nilai densitas semakin menurun seiring bertambahnya fraksi berat pasir berat silika. Sedangkan pada grafik yang ditunjukkan pada perlakuan panas 150 °C (Gambar 4.2) , nilai densitas semakin berkurang dari fraksi berat pasir silika 2% ke 6%. Sedangkan dari 6% ke 8% mengalami peningkatan yang signifikan dan mengalami penurunan kembali dari fraksi berat 8% ke 10%. Sedangkan pada Gambar 4.3 yakni perlakuan panas 300 °C, nilai densitas mengalami peningkatan dari 2% ke 4%, namun mengalami penurunan yang signifikan dari fraksi berat 4% ke 6%. Kemudian mengalami peningkatan kembali pada fraksi berat pasir silika 6% sampai 10%.

Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa fraksi berat pasir silika mempengaruhi nilai densitas komposit. Semakin besar fraksi berat pasir silika cenderung mengalami penurunan nilai densitas komposit. Hal ini disebabkan karena nilai densitas komposit tanpa pasir silika memiliki nilai densitas yang lebih besar dibandingkan dengan nilai densitas yang dimiliki oleh pasir silika. Sehingga nilai densitas cenderung menurun seiring bertambahnya fraksi berat fraksi silika.

Dari semua sampel yang telah dilakukan pengujian densitas tersebut bahwa sampel yang memiliki nilai densitas yang

paling tinggi terdapat pada sampel dengan fraksi berat pasir silika 8% dengan perlakuan panas 150 °C dengan nilai densitas sebesar 2,122 g/cm³. Sedangkan nilai densitas yang paling rendah terdapat pada sampel dengan fraksi berat pasir silika 10% dengan perlakuan panas 25 °C sebesar 1,529 g/cm³.

4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan sampel yang digunakan secara kualitatif menggunakan alat *Microharness Vickers Tester*. Alat ini menggunakan prinsip dari dua diameter yang dilihat dari hasil penekanan alat sehingga akan terlihat bekas penekanan pada sampel. Semakin besar ukuran bekasnya, diameter akan semakin besar dan nilai kekerasan akan semakin menurun. Adapula pada penelitian ini digunakan perlakuan panas 25°C, 150°C, dan 300°C pada setiap variasi fraksi berat pasir silika yang digunakan. Perlakuan ini dilakukan untuk memahami kekerasan bahan ketika terjadi interaksi panas saat terjadi pengereman. Panas yang ditimbulkan memiliki suhu antara 25-300 °C.

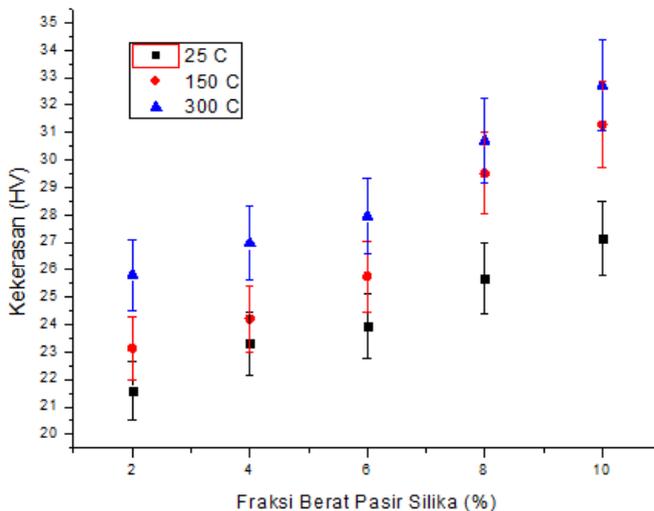
Dari pengujian tersebut, berikut adalah rata-rata nilai kekerasan untuk semua sampel ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai kekerasan pada semua sampel

| Fraksi berat Pasir silika (%) | Perlakuan panas (°C) | Rata-rata nilai Kekerasan (HV) |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 2 | 25 | 21,6 |
| | 150 | 23,14 |
| | 300 | 25,82 |
| 4 | 25 | 23,31 |
| | 150 | 24,21 |
| | 300 | 26,98 |
| 6 | 25 | 23,95 |
| | 150 | 25,76 |
| | 300 | 27,95 |
| 8 | 25 | 25,68 |
| | 150 | 29,51 |
| | 300 | 30,70 |

| | | |
|----|-----|-------|
| | 25 | 27,13 |
| 10 | 150 | 31,28 |
| | 300 | 32,72 |

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekerasan sampel memiliki nilai yang berbeda-beda. Bila ditinjau dari perbedaan perlakuan panasnya, besar nilai kekerasan sebanding dengan perlakuan panas yang diberikan. Semakin tinggi perlakuan panas yang diberikan maka nilai kekerasan bahan semakin besar. Begitu pula bila ditampilkan berupa grafik seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap kekerasan bahan komposit

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa fraksi berat pasir silika memiliki pengaruh terhadap kekerasan komposit. Adapun hubungan antara fraksi berat silika terhadap kekerasan fisiknya yang nilainya sebanding. Semakin besar fraksi berat pasir silika, maka semakin besar pula nilai kekerasan yang terjadi pada sampel tersebut. Hal ini disebabkan karena pasir silika memiliki

sifat yang lebih keras dibandingkan dengan sifat bahan yang dimiliki oleh bahan komposit tersebut bila tidak diberi pasir silika. Bahan komposit yang didominasi oleh logam dan sedikit polimer tersebut pada umumnya tidak lebih keras bila dibandingkan dengan pasir silika yang merupakan bahan keramik. Oleh sebab itulah bila ditambahkan fraksi berat silika maka nilai kekerasannya akan semakin meningkat.

Pada umumnya, nilai kekerasan berhubungan erat dengan nilai densitasnya. Namun berbeda pada kasus pasir silika. Karena pasir silika memiliki densitas yang rendah bila dibandingkan dengan logam-logam lainnya yang sering digunakan di dalam industri. Tapi kelebihanannya, pasir silika memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan logam lainnya. Sehingga pasir silika memiliki keunggulan selain ringan, namun juga keras.

Bila ditinjau secara kualitatif, maka sampel dengan kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 32,72 HV yang dimiliki oleh sampel dengan fraksi berat pasir silika sebesar 10% dengan perlakuan panas 300 °C. Sedangkan sampel dengan nilai kekerasan terendah yaitu sebesar 21,60 HV yang terdapat pada sampel dengan fraksi berat silika sebesar 2% dengan perlakuan panas 25 °C.

4.3 Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Pengujian Koefisien gesek yang digunakan pada penelitian ini menggunakan prinsip koefisien gesek statis. Di mana nilai koefisien gesek yang didapatkan di saat tepat sampel bergerak dari keadaan diam. Atau dengan kata lain koefisien gesek statis merupakan gaya maksimum yang dibutuhkan agar sampel dapat bergerak. Tingkat kualitas terbaik suatu kampas rem memiliki nilai koefisien gesek yang tinggi. Karena semakin tinggi koefisien gesek kampas rem, maka semakin baik kampas tersebut menghambat laju kereta. Pada pengujian ini, dilakukan 10 kali pengulangan pada setiap sampelnya. Berikut merupakan hasil dari

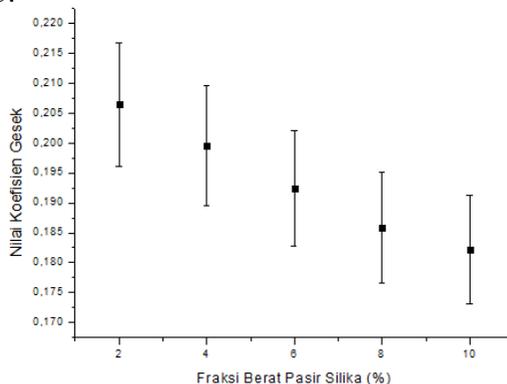
pengujian koefisien gesek berdasarkan fraksi berat pasir silika yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian koefisien gesek

| Fraksi berat Pasir silika (%) | Massa sampel (g) | Rata-rata Massa pasir (g) | Rata-rata Nilai Koefisien Gesek |
|-------------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2 | 8,9452 | 1,8472 | 0,2065 |
| 4 | 10,1001 | 2,0162 | 0,1996 |
| 6 | 10,4199 | 2,0047 | 0,1924 |
| 8 | 10,1503 | 1,8860 | 0,1858 |
| 10 | 10,2098 | 1,8607 | 0,1822 |

Jika ditinjau dari grafik tersebut, Nilai koefisien gesek yang paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan fraksi berat pasir silika 2% dengan rata-ratanya sebesar 0,2065. Sedangkan nilai koefisien yang paling rendah dimiliki oleh fraksi berat pasir silika sebesar 10% dengan rata-rata nilai koefisien geseknya sebesar 0,1822.

Bila ditinjau berdasarkan grafik maka hubungan antara fraksi berat pasir silika yang berada di dalam bahan tersebut dengan nilai koefisien geseknya dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap nilai koefisien gesek

Dari data yang ditampilkan tersebut bahwa fraksi berat pasir silika memiliki pengaruh terhadap nilai koefisien gesek dari bahan komposit yang digunakan. Adapula hubungan antara fraksi berat pasir silika tersebut terhadap koefisien gesek yang cenderung berbanding terbalik. Sebab semakin besar persentase fraksi berat pasir silika maka nilai koefisien gesek semakin menurun. Hal ini berhubungan dengan nilai kekerasan yang dimiliki oleh sampel seperti pada pengujian sebelumnya. Karena semakin keras suatu bahan, luasan interaksi antar permukaan sampel dengan permukaan baja akan semakin tipis atau semakin licin. Berbeda dengan bahan yang lebih lunak, maka interaksi permukaan baja dengan sampel akan semakin luas.

4.4 Hasil Pengujian Keausan

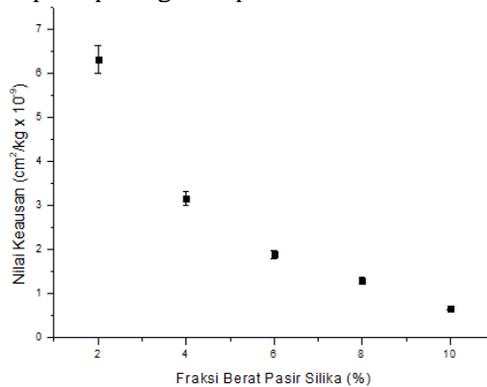
Nilai keausan suatu bahan mengidentifikasi seberapa banyak bahan yang terkikis selama terjadi gesekan. Kampas rem yang telah mengalami gesekan lama-lama akan mengalami penipisan. Semakin tipis suatu kampas, maka kampas rem tidak akan berfungsi kecuali harus diganti dengan kampas rem yang baru. Oleh sebab itu, kualitas kampas rem dapat dilihat dari nilai keausannya. Semakin tinggi nilai keausannya, maka semakin banyak bahan dari kampas rem yang terbuang disaat gesekan yang terjadi. Jadi kualitas terbaik dari kampas rem memiliki nilai keausan yang rendah sehingga kampas rem lebih awet dan tahan lama. Berdasarkan perbedaan fraksi pasir silikanya, berikut adalah hasil pengujian keausan yang telah dilakukan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian keausan

| Fraksi Berat Pasir Silika (%) | Volume yang terkikis (cm ³) | Nilai keausan (cm ² /kg) |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| 2 | $3,927 \times 10^{-3}$ | $6,313 \times 10^{-9}$ |
| 4 | $1,963 \times 10^{-3}$ | $3,157 \times 10^{-9}$ |
| 6 | $1,117 \times 10^{-3}$ | $1,894 \times 10^{-9}$ |
| 8 | $0,808 \times 10^{-3}$ | $1,299 \times 10^{-9}$ |
| 10 | $0,417 \times 10^{-3}$ | $0,670 \times 10^{-9}$ |

Ada tiga informasi yang didapatkan dari tabel tersebut pada pengujian ini. Di antaranya adalah fraksi berat pasir silika, volume yang terkikis, serta nilai keausannya. Nilai keausan merupakan banyaknya suatu bahan yang terkikis yang disebabkan oleh interaksi gesekan antara permukaan sampel dengan permukaan lain serta diberi perlakuan pembebanan dan jarak tertentu. Pembebanan yang digunakan pada pengujian ini dengan menggunakan massa 5,5 kg. Kecepatan putar yang digunakan adalah 450 RPM dengan menaruh sampel pada 4 cm dari pusat putaran sehingga jarak yang digunakan sekitar 1,1310 km.

Bila ditinjau berdasarkan grafik, maka data tersebut akan ditampilkan seperti pada grafik pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap nilai keausan bahan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai keausan pada setiap bahan memiliki nilai yang berbeda-beda. Adapula hubungan antara berat fraksi berat pasir silika terhadap nilai keausan. Semakin besar persentasenya, maka semakin kecil nilai keausannya. Hal ini disebabkan karena nilai kekerasan sampel yang bervariasi. Bila ditinjau dari pengujian kekerasan bahwa semakin besar fraksi berat pasir silikanya maka semakin besar pula nilai kekerasannya. Oleh sebab itu bahan yang

memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah, maka bahan tersebut lebih cepat mengalami pengausan dibandingkan dengan bahan yang lebih keras. Selain itu faktor lainnya bisa disebabkan pula karena ikatan yang terjadi oleh matriks pada komposit tersebut. Karena fraksi berat pasir silika bertambah, maka fraksi berat matriks yang digunakan akan berkurang. Namun karena ikatan yang ditimbulkan oleh matriks masih kuat, maka fraksi matriks tersebut tidak mengalami pengaruh besar terhadap nilai keausan bahan tersebut.

4.5 Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* ini menggunakan alat yang bernama *charpy*. Alat ini menggunakan prinsip pembedulan dengan membandingkan antara energi potensial pada sudut awal dan energi potensial pada sudut akhirnya. Energi potensial erat hubungannya dengan massa, percepatan gravitasi, dan ketinggian. Pada bandul tersebut digunakan bandul dengan beban sebesar 13,17 kg dan jari-jari bandul 0,6 m. Ketinggian tersebut dapat diketahui dari persamaan trigonometri sehingga pada persamaan yang digunakan akan muncul menjadi persamaan 3.5 tanpa harus mengukur ketinggian dari bandul ke sampel. Sudut awal bandul yang digunakan adalah 10^0 . Selisih energi potensial awal dan energi potensial akhir merupakan energi serap dari bahan yang diuji.

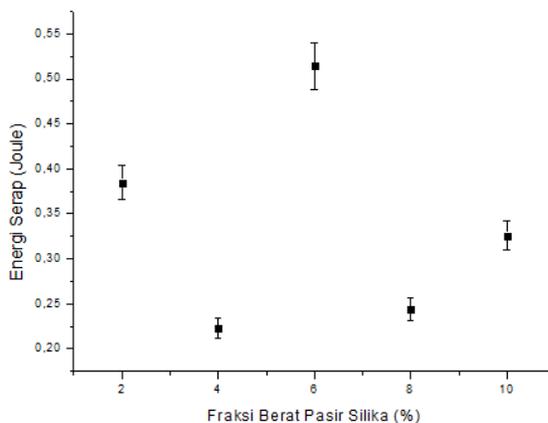
Dari hasil pengujian *impact* yang dilakukan, berikut adalah data yang diperoleh yang dapat ditampilkan pada Tabel 4.5. dan grafik pada Gambar 4.7.

Tabel 4. 5 Data pengujian *impact*

| Fraksi Berat Pasir Silika (%) | Sudut akhir ($^{\circ}$) | Energi Serap (Joule) |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 2 | 8,2 | 0,3847 |
| 4 | 9,0 | 0,2230 |
| 6 | 7,5 | 0,5140 |
| 8 | 8,9 | 0,2441 |
| 10 | 8,5 | 0,3259 |

Dari data tersebut menunjukkan bahwa nilai energi serap dari bahan tersebut memiliki nilai yang bervariasi. Nilai energi serap dari yang tertinggi dimiliki oleh sampel dengan menggunakan fraksi berat pasir silika 6% sebesar 0,5140 Joule. Sedangkan fraksi berat pasir silika yang memiliki energi serap paling rendah terdapat pada sampel keempat yang memiliki fraksi berat pasir silika sebesar 0,2441 Joule.

Bila ditinjau dari grafik, maka akan ditunjukkan seperti pada grafik di bawah ini.

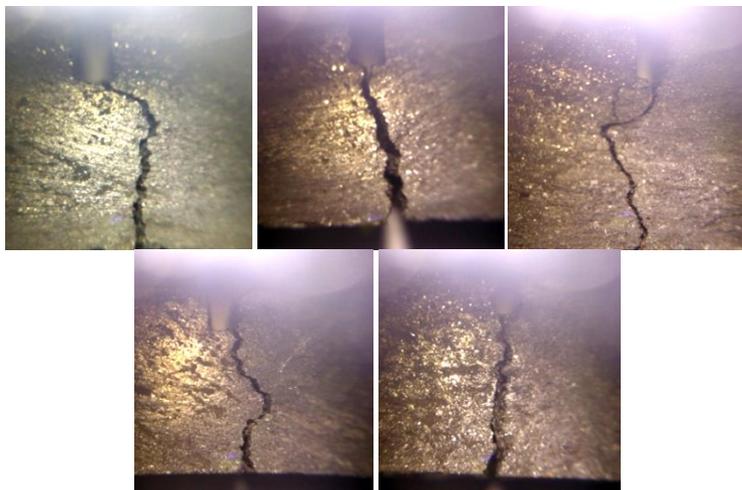


Gambar 4. 7 Grafik pengaruh fraksi berat pasir silika terhadap energi serap pada alat *impact*

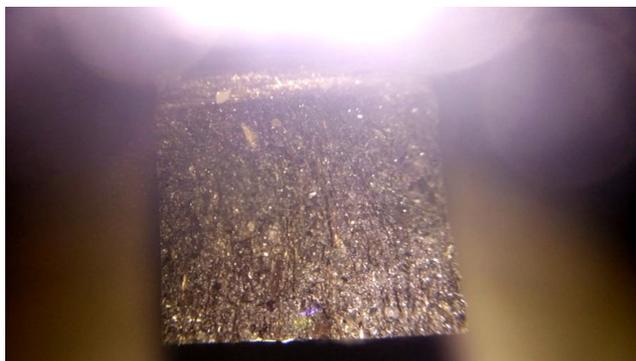
Bila ditinjau dari pendekatannya terhadap nilai rata-rata tersebut, maka didapatkan energi serap yang cenderung menurun. Karena pada sampel pertama memiliki nilai lebih dari nilai rata-ratanya yakni 0,0464 J di atas nilai rata-rata energi serap sampel. Pada sampel kedua memiliki selisih 0,1153 J di bawah nilai rata-rata. Pada sampel ketiga memiliki selisih 0,1756 J di atas nilai rata-rata. Pada sampel keempat memiliki selisih 0,0943 J di bawah nilai rata-rata. Dan pada sampel kelima memiliki selisih 0,0125 J di bawah nilai rata-rata tersebut. Oleh sebab itu, dari semua energi serap dari setiap sampel bisa diketahui hubungan

antara fraksi berat pasir silika terhadap energi serapnya adalah berbanding terbalik. Dengan kata lain semakin banyak pasir silika yang digunakan, maka semakin kecil serapnya.

Sedangkan, patahan yang dihasilkan dari pengujian *impact* ini dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4. 8 Hasil patahan dari setiap sampel uji *impact*.



Gambar 4. 9 Salah satu bagian dalam patahan sampel

Gambar 4.8. sebelumnya merupakan hasil patahan dari pengujian *impact* secara berurutan berdasarkan fraksi berat pasir silikanya. Bila ditinjau dari jalur patahannya, sampel kedua dan kelima lebih cenderung lurus dibandingkan sampel yang lain. Sedangkan sampel ketiga memiliki jalur patahan yang lebih jauh. Dari sini dapat mengidentifikasi adanya pengaruh yang ditimbulkan akibat arah serat waru yang digunakan. Karena arah serat waru di dalam sampel memiliki arah secara acak serta distribusinya yang tidak sama pada setiap luasan. Bila ditinjau dari arah seratnya, bila arah serat cenderung sejajar dengan arah patahan, maka energi serap akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena jika arah serat tegak lurus terhadap arah patahan, masih ada ikatan *interface* antara *filler* dengan *matrix* yang menyebabkan bahan lebih sukar untuk dipatahkan. Bila ditinjau dari distribusinya, semakin banyak distribusinya pada patahan tersebut, maka semakin tinggi nilai energi serapnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan antara lain:

1. Kampas rem kereta api berpenguat serat waru dan pasir silika telah berhasil dibuat dengan variasi fraksi berat pasir silika 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%.
2. Fraksi berat pasir silika memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik kampas rem kereta api antara lain:
 - a. Besar nilai densitas cenderung berkurang bila ditambahkan jumlah fraksi berat pasir silika. Nilai densitas terbesar terdapat pada sampel ke-4 dengan perlakuan panas 150 °C dengan nilai sebesar 2,122 g/cm³. Dan nilai densitas terkecil pada pengujian ini terdapat pada sampel ke-5 dengan perlakuan panas 25 °C dengan nilai sebesar 1,529 g/cm³.
 - b. Besar nilai kekerasan cenderung meningkat bila fraksi berat pasir silika bertambah. Nilai kekerasan terbesar terdapat pada sampel ke-5 dengan perlakuan panas 300 °C dengan nilai sebesar 32,72 HV. Sedangkan nilai kekerasan terkecil pada pengujian ini terdapat pada sampel pertama dengan perlakuan panas 25 °C dengan nilai sebesar 21,60 HV.
 - c. Besar nilai koefisien gesek cenderung berkurang bila fraksi berat pasir silika bertambah. Nilai koefisien gesek terbesar terjadi pada sampel pertama dengan nilainya sebesar 0,2065. Nilai koefisien gesek terkecil terdapat pada sampel kelima dengan nilainya sebesar 0,1822.
 - d. Besar nilai keausan cenderung berkurang bila fraksi berat pasir silika bertambah. Nilai keausan terbesar terjadi pada sampel pertama dengan nilai keausannya sebesar $6,313 \times 10^{-9}$ dan nilai terkecilnya terdapat

pada sampel kelima dengan nilai keausannya sebesar $6,698 \times 10^{-10}$.

- e. Besar energi serap yang terbesar dimiliki oleh sampel ketiga sebesar 0,5140 Joule. Sedangkan energi serap terkecil terdapat pada sampel keempat dengan besar energi serap sebesar 0,2441 Joule.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya. Di antaranya sebagai berikut

1. Menggunakan variasi lainnya seperti komposisi bahan yang digunakan, beban kompaksi serta lama pemanasan.
2. Melakukan pengujian sifat mekanik yang lainnya. Seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. “Daun Bunga, Buah, dan Biji Tanaman Waru (*Hibiscus Tilaceus*)”.[http://tnalaspurwo.org/media/pdf/key_war_u_lengis_\(hibiscus_tiliaceus_I\).pdf](http://tnalaspurwo.org/media/pdf/key_war_u_lengis_(hibiscus_tiliaceus_I).pdf). Diunduh tanggal 3 Agustus 2011
- Askeland, Donald R. 2011. “The Science and Engineering of Materials 6th edition” Cengage Learning: United States of America.
- Callister, William D. 2007. “Materials Science and Engineering An Introduction 7th Edition” John Wiley: United States of America
- Gulatieri A. F. 2000. “Accuracy of XRPD QPA using the combined Rietveld-RIR method Locality: Baveno, Novara, Italy” Journal of Applied Crystallography Vol. 33, Hal 267-278
- J, Abenojar. 2017. “Erosion-wear, Mechanical And Thermal Properties of Silica Filled Epoxy Nanocomposites” Composites Part B: Engineering Vol. 120, 1 Juli 2017, Hal. 42-53
- Jones, Robert M. 1999. “Mechanics of Composite Materials 2nd edition” Taylor and Francis. London
- L. Antika, E. Julianty, Miroah, A. Nurul, F. Hapsari. 2012 “Pengukuran (Kalibrasi) Volume dan Massa Jenis Aluminium” Jurnal Fisika dan Aplikasinya Vol.13, 1 Mei 2012
- Mohanty, Amar K. 2005. “Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites“ .Taylor and Francis. London
- Orthwein, William C. 2004. “Clutches and Brakes: Design and Selection 2nd Edition” Marcel Dekker, Inc: New York.

- Prasetyo, Agung. 2016. "Pengaruh Waktu Perendaman Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) pada Air Laut Terhadap struktur Mikro dan Kekuatan Tarik.". Momentum Vol. 12, No. 2, Oktober 2016, Hal. 42-47.
- Pygridis, Christos N. 2016. "Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation" CRC Press: Boca Raton
- Reif, Konrad. 2014. "Fundamentals of Automotive and Engine Technology" Springer Vieweg: Germany
- Rusmadi. 2008. "Analisis Percobaan Gsekan (*Friction*) untuk Pengembangan Teknologi Pengereman pad Kendaraan Bermotor" Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa Vol. 2 Maret 2008.
- Suratman, 2008. "Mengenal Lebih Dekat Suku Waru- Waruan (Malvaceae)".<http://suratmanbiologiuns.wordpress.com/2008/05/12/mengenal-Lebih-dekat-sukuwaru-waruan-malvaceae/>.
- Vasiliev, Valery V. 2001. "Mechanics and Analysis of Composite Materials" Elsevier Science Ltd."Oxford.

LAMPIRAN

A. Data hasil pengujian densitas

Tabel 1 Hasil pengujian densitas semua sampel dengan perlakuan panas 25 °C

| Fraksi berat pasir silika (%) | Massa kering (g) | Massa basah (g) | Massa celup (g) | Densitas (g/cm ³) | Rata- rata densitas (g/cm ³) | Error (%) |
|---|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|---|--------------|
| 2 | 2,254 | 2,308 | 1,128 | 1,911 | 1,897 | 0,755 |
| 2 | 2,254 | 2,311 | 1,129 | 1,907 | 1,897 | 0,525 |
| 2 | 2,254 | 2,318 | 1,126 | 1,891 | 1,897 | 0,335 |
| 2 | 2,254 | 2,317 | 1,127 | 1,893 | 1,897 | 0,193 |
| 2 | 2,254 | 2,327 | 1,130 | 1,883 | 1,897 | 0,752 |
| 4 | 2,182 | 2,283 | 1,087 | 1,824 | 1,812 | 0,658 |
| 4 | 2,182 | 2,261 | 1,082 | 1,850 | 1,812 | 2,100 |
| 4 | 2,182 | 2,257 | 1,092 | 1,873 | 1,812 | 3,388 |
| 4 | 2,182 | 2,258 | 1,023 | 1,767 | 1,812 | 2,465 |
| 4 | 2,182 | 2,258 | 1,007 | 1,745 | 1,812 | 3,682 |
| 6 | 2,762 | 2,836 | 1,176 | 1,664 | 1,638 | 1,594 |
| 6 | 2,762 | 2,858 | 1,206 | 1,673 | 1,638 | 2,105 |
| 6 | 2,762 | 2,832 | 1,205 | 1,698 | 1,638 | 3,674 |
| 6 | 2,762 | 2,862 | 1,194 | 1,656 | 1,638 | 1,082 |
| 6 | 2,762 | 2,865 | 1,023 | 1,500 | 1,638 | 8,455 |
| 8 | 2,000 | 2,333 | 1,060 | 1,571 | 1,636 | 3,976 |
| 8 | 2,000 | 2,327 | 1,113 | 1,646 | 1,636 | 0,641 |
| 8 | 2,000 | 2,322 | 1,108 | 1,648 | 1,636 | 0,724 |
| 8 | 2,000 | 2,329 | 1,124 | 1,660 | 1,636 | 1,469 |
| 8 | 2,000 | 2,327 | 1,119 | 1,655 | 1,636 | 1,141 |
| 10 | 2,263 | 2,813 | 1,330 | 1,526 | 1,529 | 0,234 |
| 10 | 2,263 | 2,820 | 1,327 | 1,515 | 1,529 | 0,902 |
| 10 | 2,263 | 2,810 | 1,332 | 1,531 | 1,529 | 0,118 |
| 10 | 2,263 | 2,802 | 1,328 | 1,535 | 1,529 | 0,348 |
| 10 | 2,263 | 2,798 | 1,328 | 1,539 | 1,529 | 0,669 |

Tabel 2 Hasil pengujian densitas semua sampel dengan perlakuan panas 150 °C.

| Fraksi berat pasir silika (%) | Massa kering (g) | Massa basah (g) | Massa celup (g) | Densitas (g/cm ³) | Rata- rata densitas (g/cm ³) | Error (%) |
|---|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|---|--------------|
| 2 | 1,997 | 2,001 | 0,961 | 1,921 | 1,920 | 0,023 |
| 2 | 1,997 | 2,000 | 0,960 | 1,920 | 1,920 | 0,006 |
| 2 | 1,997 | 2,001 | 0,961 | 1,921 | 1,920 | 0,042 |
| 2 | 1,997 | 2,002 | 0,962 | 1,920 | 1,920 | 0,013 |
| 2 | 1,997 | 2,002 | 0,961 | 1,919 | 1,920 | 0,073 |
| 4 | 1,514 | 1,518 | 0,670 | 1,785 | 1,841 | 3,039 |
| 4 | 1,514 | 1,519 | 0,705 | 1,861 | 1,841 | 1,109 |
| 4 | 1,514 | 1,519 | 0,704 | 1,857 | 1,841 | 0,873 |
| 4 | 1,514 | 1,521 | 0,702 | 1,849 | 1,841 | 0,442 |
| 4 | 1,514 | 1,522 | 0,704 | 1,852 | 1,841 | 0,614 |
| 6 | 2,162 | 2,174 | 0,930 | 1,738 | 1,744 | 0,369 |
| 6 | 2,162 | 2,174 | 0,934 | 1,743 | 1,744 | 0,064 |
| 6 | 2,162 | 2,174 | 0,959 | 1,779 | 1,744 | 2,000 |
| 6 | 2,162 | 2,173 | 0,926 | 1,733 | 1,744 | 0,625 |
| 6 | 2,162 | 2,174 | 0,922 | 1,728 | 1,744 | 0,943 |
| 8 | 2,375 | 2,413 | 1,162 | 1,897 | 2,122 | 10,622 |
| 8 | 2,375 | 2,411 | 1,629 | 3,036 | 2,122 | 43,063 |
| 8 | 2,375 | 2,409 | 1,153 | 1,891 | 2,122 | 10,928 |
| 8 | 2,375 | 2,408 | 1,152 | 1,891 | 2,122 | 10,928 |
| 8 | 2,375 | 2,408 | 1,157 | 1,898 | 2,122 | 10,586 |
| 10 | 2,367 | 2,425 | 1,223 | 1,968 | 1,859 | 5,881 |
| 10 | 2,367 | 2,428 | 1,126 | 1,818 | 1,859 | 2,227 |
| 10 | 2,367 | 2,424 | 1,135 | 1,836 | 1,859 | 1,233 |
| 10 | 2,367 | 2,425 | 1,137 | 1,839 | 1,859 | 1,095 |
| 10 | 2,367 | 2,423 | 1,133 | 1,834 | 1,859 | 1,325 |

Tabel 3 Hasil pengujian densitas semua sampel dengan perlakuan panas 300 °C.

| Fraksi berat pasir silika (%) | Massa kering (g) | Massa basah (g) | Massa celup (g) | Densitas (g/cm ³) | Rata-rata densitas (g/cm ³) | Error (%) |
|-------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---|-----------|
| 2 | 1,801 | 1,805 | 0,820 | 1,829 | 1,829 | 0,014 |
| 2 | 1,801 | 1,807 | 0,821 | 1,827 | 1,829 | 0,075 |
| 2 | 1,801 | 1,808 | 0,825 | 1,832 | 1,829 | 0,179 |
| 2 | 1,801 | 1,806 | 0,823 | 1,831 | 1,829 | 0,108 |
| 2 | 1,801 | 1,808 | 0,821 | 1,825 | 1,829 | 0,197 |
| 4 | 2,250 | 2,257 | 1,060 | 1,879 | 1,844 | 1,879 |
| 4 | 2,250 | 2,258 | 0,986 | 1,769 | 1,844 | 4,113 |
| 4 | 2,250 | 2,256 | 1,025 | 1,828 | 1,844 | 0,911 |
| 4 | 2,250 | 2,256 | 1,086 | 1,922 | 1,844 | 4,185 |
| 4 | 2,250 | 2,258 | 1,025 | 1,825 | 1,844 | 1,040 |
| 6 | 2,473 | 2,493 | 1,014 | 1,673 | 1,664 | 0,538 |
| 6 | 2,473 | 2,478 | 1,005 | 1,678 | 1,664 | 0,879 |
| 6 | 2,473 | 2,479 | 1,039 | 1,717 | 1,664 | 3,190 |
| 6 | 2,473 | 2,478 | 0,939 | 1,607 | 1,664 | 3,421 |
| 6 | 2,473 | 2,479 | 0,974 | 1,644 | 1,664 | 1,186 |
| 8 | 3,094 | 3,121 | 1,339 | 1,737 | 1,731 | 0,329 |
| 8 | 3,094 | 3,121 | 1,354 | 1,751 | 1,731 | 1,123 |
| 8 | 3,094 | 3,125 | 1,347 | 1,740 | 1,731 | 0,515 |
| 8 | 3,094 | 3,120 | 1,299 | 1,699 | 1,731 | 1,886 |
| 8 | 3,094 | 3,124 | 1,336 | 1,730 | 1,731 | 0,081 |
| 10 | 1,645 | 1,660 | 0,755 | 1,817 | 1,760 | 3,223 |
| 10 | 1,645 | 1,665 | 0,738 | 1,773 | 1,760 | 0,720 |
| 10 | 1,645 | 1,665 | 0,741 | 1,780 | 1,760 | 1,101 |
| 10 | 1,645 | 1,681 | 0,739 | 1,746 | 1,760 | 0,820 |
| 10 | 1,645 | 1,689 | 0,713 | 1,686 | 1,760 | 4,225 |

B. Data Kekerasan

Tabel 4 Hasil pengujian kekerasan dengan perlakuan panas 25 °C

| Fraksi berat pasir silika (%) | Kekerasan | Rata-rata | Error |
|-------------------------------|-----------|-----------|-------|
| 2 | 19,8 | 21,6 | 8,33 |
| 2 | 17,8 | 21,6 | 17,59 |
| 2 | 21,0 | 21,6 | 2,78 |
| 2 | 19,0 | 21,6 | 12,04 |
| 2 | 21,5 | 21,6 | 0,46 |
| 2 | 19,9 | 21,6 | 7,87 |
| 2 | 22,7 | 21,6 | 5,09 |
| 2 | 24,2 | 21,6 | 12,04 |
| 2 | 24,9 | 21,6 | 15,28 |
| 2 | 25,2 | 21,6 | 16,67 |
| 4 | 22,2 | 23,3 | 4,76 |
| 4 | 23,0 | 23,3 | 1,33 |
| 4 | 24,1 | 23,3 | 3,39 |
| 4 | 23,2 | 23,3 | 0,47 |
| 4 | 23,1 | 23,3 | 0,90 |
| 4 | 24,9 | 23,3 | 6,82 |
| 4 | 23,1 | 23,3 | 0,90 |
| 4 | 24,6 | 23,3 | 5,53 |
| 4 | 22,7 | 23,3 | 2,62 |
| 4 | 22,2 | 23,3 | 4,76 |
| 6 | 26,7 | 24,0 | 11,48 |
| 6 | 23,1 | 24,0 | 3,55 |
| 6 | 26,5 | 24,0 | 10,65 |
| 6 | 23,7 | 24,0 | 1,04 |
| 6 | 22,6 | 24,0 | 5,64 |
| 6 | 22,8 | 24,0 | 4,80 |
| 6 | 23,0 | 24,0 | 3,97 |
| 6 | 25,3 | 24,0 | 5,64 |
| 6 | 22,5 | 24,0 | 6,05 |

| | | | |
|----|------|------|-------|
| 6 | 23,3 | 24,0 | 2,71 |
| 8 | 24,0 | 25,7 | 6,54 |
| 8 | 25,8 | 25,7 | 0,47 |
| 8 | 25,9 | 25,7 | 0,86 |
| 8 | 28,7 | 25,7 | 11,76 |
| 8 | 27,3 | 25,7 | 6,31 |
| 8 | 25,3 | 25,7 | 1,48 |
| 8 | 25,4 | 25,7 | 1,09 |
| 8 | 21,2 | 25,7 | 17,45 |
| 8 | 26,4 | 25,7 | 2,80 |
| 8 | 26,8 | 25,7 | 4,36 |
| 10 | 31,6 | 27,1 | 16,48 |
| 10 | 34,1 | 27,1 | 25,69 |
| 10 | 35,8 | 27,1 | 31,96 |
| 10 | 24,1 | 27,1 | 11,17 |
| 10 | 28,2 | 27,1 | 3,94 |
| 10 | 23,2 | 27,1 | 14,49 |
| 10 | 21,3 | 27,1 | 21,49 |
| 10 | 24,2 | 27,1 | 10,80 |
| 10 | 23,2 | 27,1 | 14,49 |
| 10 | 25,6 | 27,1 | 5,64 |

Tabel 5 Hasil pengujian kekerasan dengan perlakuan panas 150 °C

| Fraksi berat pasir silika (%) | Kekerasan | Rata-rata | Error |
|-------------------------------|-----------|-----------|-------|
| 2 | 20,0 | 23,1 | 13,57 |
| 2 | 22,9 | 23,1 | 1,04 |
| 2 | 23,2 | 23,1 | 0,26 |
| 2 | 21,1 | 23,1 | 8,82 |
| 2 | 25,0 | 23,1 | 8,04 |
| 2 | 26,1 | 23,1 | 12,79 |
| 2 | 22,0 | 23,1 | 4,93 |
| 2 | 28,0 | 23,1 | 21,00 |

| | | | |
|----|------|------|-------|
| 2 | 21,0 | 23,1 | 9,25 |
| 2 | 22,1 | 23,1 | 4,49 |
| 4 | 21,8 | 24,2 | 9,95 |
| 4 | 22,9 | 24,2 | 5,41 |
| 4 | 21,9 | 24,2 | 9,54 |
| 4 | 24,6 | 24,2 | 1,61 |
| 4 | 24,4 | 24,2 | 0,78 |
| 4 | 28,8 | 24,2 | 18,96 |
| 4 | 26,6 | 24,2 | 9,87 |
| 4 | 24,2 | 24,2 | 0,04 |
| 4 | 24,0 | 24,2 | 0,87 |
| 4 | 22,9 | 24,2 | 5,41 |
| 6 | 29,2 | 25,8 | 13,35 |
| 6 | 22,3 | 25,8 | 13,43 |
| 6 | 27,8 | 25,8 | 7,92 |
| 6 | 28,6 | 25,8 | 11,02 |
| 6 | 24,5 | 25,8 | 4,89 |
| 6 | 31,3 | 25,8 | 21,51 |
| 6 | 21,9 | 25,8 | 14,98 |
| 6 | 23,6 | 25,8 | 8,39 |
| 6 | 24,2 | 25,8 | 6,06 |
| 6 | 24,2 | 25,8 | 6,06 |
| 8 | 34,4 | 29,5 | 16,57 |
| 8 | 26,5 | 29,5 | 10,20 |
| 8 | 34,2 | 29,5 | 15,89 |
| 8 | 29,2 | 29,5 | 1,05 |
| 8 | 24,4 | 29,5 | 17,32 |
| 8 | 28,5 | 29,5 | 3,42 |
| 8 | 29,3 | 29,5 | 0,71 |
| 8 | 27,7 | 29,5 | 6,13 |
| 8 | 32,0 | 29,5 | 8,44 |
| 8 | 28,9 | 29,5 | 2,07 |
| 10 | 31,3 | 31,3 | 0,06 |
| 10 | 28,2 | 31,3 | 9,85 |
| 10 | 34,1 | 31,3 | 9,02 |

| | | | |
|----|------|------|------|
| 10 | 29,9 | 31,3 | 4,41 |
| 10 | 32,9 | 31,3 | 5,18 |
| 10 | 32,0 | 31,3 | 2,30 |
| 10 | 31,4 | 31,3 | 0,38 |
| 10 | 33,9 | 31,3 | 8,38 |
| 10 | 30,4 | 31,3 | 2,81 |
| 10 | 28,7 | 31,3 | 8,25 |

Tabel 6 Hasil pengujian kekerasan dengan perlakuan panas 150 °C

| Fraksi berat pasir silika (%) | Kekerasan | Rata-rata | Error |
|-------------------------------|-----------|-----------|-------|
| 2 | 26,6 | 25,8 | 3,02 |
| 2 | 27 | 25,8 | 4,57 |
| 2 | 24,8 | 25,8 | 3,95 |
| 2 | 23,6 | 25,8 | 8,60 |
| 2 | 24,9 | 25,8 | 3,56 |
| 2 | 27,4 | 25,8 | 6,12 |
| 2 | 25,3 | 25,8 | 2,01 |
| 2 | 25,4 | 25,8 | 1,63 |
| 2 | 25,6 | 25,8 | 0,85 |
| 2 | 27,6 | 25,8 | 6,89 |
| 4 | 26,3 | 27,0 | 2,52 |
| 4 | 24,9 | 27,0 | 7,71 |
| 4 | 26,1 | 27,0 | 3,26 |
| 4 | 27,7 | 27,0 | 2,67 |
| 4 | 26,5 | 27,0 | 1,78 |
| 4 | 27,3 | 27,0 | 1,19 |
| 4 | 27,7 | 27,0 | 2,67 |
| 4 | 28 | 27,0 | 3,78 |
| 4 | 27,7 | 27,0 | 2,67 |
| 4 | 27,6 | 27,0 | 2,30 |

| | | | |
|----|------|------|-------|
| 6 | 28,6 | 28,0 | 2,33 |
| 6 | 26,5 | 28,0 | 5,19 |
| 6 | 28,4 | 28,0 | 1,61 |
| 6 | 27,3 | 28,0 | 2,33 |
| 6 | 27,5 | 28,0 | 1,61 |
| 6 | 29,6 | 28,0 | 5,90 |
| 6 | 28,8 | 28,0 | 3,04 |
| 6 | 27,8 | 28,0 | 0,54 |
| 6 | 26,2 | 28,0 | 6,26 |
| 6 | 28,8 | 28,0 | 3,04 |
| 8 | 29,9 | 30,7 | 2,61 |
| 8 | 32,6 | 30,7 | 6,19 |
| 8 | 27,7 | 30,7 | 9,77 |
| 8 | 29 | 30,7 | 5,54 |
| 8 | 30,9 | 30,7 | 0,65 |
| 8 | 30,3 | 30,7 | 1,30 |
| 8 | 32,4 | 30,7 | 5,54 |
| 8 | 30,5 | 30,7 | 0,65 |
| 8 | 33,2 | 30,7 | 8,14 |
| 8 | 30,5 | 30,7 | 0,65 |
| 10 | 36,5 | 32,7 | 11,55 |
| 10 | 32,5 | 32,7 | 0,67 |
| 10 | 31,6 | 32,7 | 3,42 |
| 10 | 34,8 | 32,7 | 6,36 |
| 10 | 30,9 | 32,7 | 5,56 |
| 10 | 32,4 | 32,7 | 0,98 |
| 10 | 30,2 | 32,7 | 7,70 |
| 10 | 30,4 | 32,7 | 7,09 |
| 10 | 33,5 | 32,7 | 2,38 |
| 10 | 34,4 | 32,7 | 5,13 |

C. Data Koefisien Gesek

Tabel 7 Hasil pengujian koefisien gesek

| Fraksi berat pasir silika (%) | Massa sampel (g) | Massa pasir dan ember (g) | Nilai koefisien gesek | Rata-rata nilai koefisien gesek | Error |
|-------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------|
| 2 | 8,9452 | 1,7112 | 0,1913 | 0,2065 | 7,37 |
| 2 | 8,9452 | 1,8128 | 0,2027 | 0,2065 | 1,87 |
| 2 | 8,9452 | 1,7633 | 0,1971 | 0,2065 | 4,55 |
| 2 | 8,9452 | 1,9187 | 0,2145 | 0,2065 | 3,87 |
| 2 | 8,9452 | 2,0897 | 0,2336 | 0,2065 | 13,12 |
| 2 | 8,9452 | 2,041 | 0,2282 | 0,2065 | 10,49 |
| 2 | 8,9452 | 1,7966 | 0,2008 | 0,2065 | 2,74 |
| 2 | 8,9452 | 1,7496 | 0,1956 | 0,2065 | 5,29 |
| 2 | 8,9452 | 1,8075 | 0,2021 | 0,2065 | 2,15 |
| 2 | 8,9452 | 1,7823 | 0,1992 | 0,2065 | 3,52 |
| 4 | 10,1001 | 2,491 | 0,2466 | 0,1996 | 23,55 |
| 4 | 10,1001 | 1,9399 | 0,1921 | 0,1996 | 3,79 |
| 4 | 10,1001 | 2,0328 | 0,2013 | 0,1996 | 0,82 |
| 4 | 10,1001 | 1,884 | 0,1865 | 0,1996 | 6,56 |
| 4 | 10,1001 | 1,9799 | 0,1960 | 0,1996 | 1,80 |
| 4 | 10,1001 | 1,8881 | 0,1869 | 0,1996 | 6,35 |
| 4 | 10,1001 | 1,8373 | 0,1819 | 0,1996 | 8,87 |
| 4 | 10,1001 | 1,9474 | 0,1928 | 0,1996 | 3,41 |
| 4 | 10,1001 | 2,1097 | 0,2089 | 0,1996 | 4,64 |
| 4 | 10,1001 | 2,0521 | 0,2032 | 0,1996 | 1,78 |
| 6 | 10,4199 | 1,976 | 0,1896 | 0,1924 | 1,43 |
| 6 | 10,4199 | 2,1307 | 0,2045 | 0,1924 | 6,29 |
| 6 | 10,4199 | 2,0019 | 0,1921 | 0,1924 | 0,14 |
| 6 | 10,4199 | 2,0497 | 0,1967 | 0,1924 | 2,25 |

| | | | | | |
|----|---------|---------|--------|--------|-------|
| 6 | 10,4199 | 1,9446 | 0,1866 | 0,1924 | 3,00 |
| 6 | 10,4199 | 1,9943 | 0,1914 | 0,1924 | 0,52 |
| 6 | 10,4199 | 2,0697 | 0,1986 | 0,1924 | 3,24 |
| 6 | 10,4199 | 1,988 | 0,1908 | 0,1924 | 0,83 |
| 6 | 10,4199 | 1,9256 | 0,1848 | 0,1924 | 3,94 |
| 6 | 10,4199 | 1,9663 | 0,1887 | 0,1924 | 1,91 |
| 8 | 10,1503 | 1,9644 | 0,1935 | 0,1858 | 4,16 |
| 8 | 10,1503 | 1,9029 | 0,1875 | 0,1858 | 0,90 |
| 8 | 10,1503 | 1,77049 | 0,1744 | 0,1858 | 6,12 |
| 8 | 10,1503 | 1,9588 | 0,1930 | 0,1858 | 3,86 |
| 8 | 10,1503 | 1,8 | 0,1773 | 0,1858 | 4,56 |
| 8 | 10,1503 | 1,8966 | 0,1869 | 0,1858 | 0,56 |
| 8 | 10,1503 | 1,822 | 0,1795 | 0,1858 | 3,39 |
| 8 | 10,1503 | 1,8344 | 0,1807 | 0,1858 | 2,73 |
| 8 | 10,1503 | 1,8355 | 0,1808 | 0,1858 | 2,68 |
| 8 | 10,1503 | 2,0746 | 0,2044 | 0,1858 | 10,00 |
| 10 | 10,2098 | 1,8571 | 0,1819 | 0,1822 | 0,19 |
| 10 | 10,2098 | 1,9419 | 0,1902 | 0,1822 | 4,36 |
| 10 | 10,2098 | 1,8391 | 0,1801 | 0,1822 | 1,16 |
| 10 | 10,2098 | 1,8042 | 0,1767 | 0,1822 | 3,04 |
| 10 | 10,2098 | 1,9878 | 0,1947 | 0,1822 | 6,83 |
| 10 | 10,2098 | 1,7409 | 0,1705 | 0,1822 | 6,44 |
| 10 | 10,2098 | 1,8299 | 0,1792 | 0,1822 | 1,66 |
| 10 | 10,2098 | 1,9454 | 0,1905 | 0,1822 | 4,55 |
| 10 | 10,2098 | 1,7578 | 0,1722 | 0,1822 | 5,53 |
| 10 | 10,2098 | 1,9029 | 0,1864 | 0,1822 | 2,27 |

BIODATA PENULIS



Muhammad Rizki Maulana Yusuf lahir di Cianjur pada tanggal 28 Juni 1994. Penullis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara dari pasangan Rachmat Hidayat dan Elin Herlina. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Ibu Dewi 1 Cianjur, SMPN 2 Cianjur, dan SMAT Al-Ma'shum Mardiyah Cianjur. Serta melanjutkan studi S1 di Departemen Fisika ITS sejak tahun 2013.

Selama menempuh studi S1, penulis aktif berperan dan diamanahkan di dalam organisasi. Di antaranya pernah diamanahkan sebagai pengurus Badan Pelaksana Mentoring JMMI (Jama'ah Masjid Manarul Ilmi) ITS masa kepengurusan 2014-2015, pengurus Tabligul Islam Syiar Fosif (Forum Studi Islam Fisika ITS) pada masa kepengurusan 2014-2015 dan Ketua Syiar Fosif pada masa kepengurusan 2015-2016.