

**TUGAS SARJANA**  
**KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR**  
**ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN**  
**PADA BAHAN KOMPOSIT SERAT KAYU**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun oleh :**

**NAMA : BAGUS ANDIKA**

**NPM : 1207230247**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2017**

## **ABSTRAK**

*Pengaruh perkembangan teknologi yang semakin maju dan menyebabkan kebutuhan material komposit semakin meningkat di berbagai bidang industri. Bahan-bahan serat alam merupakan kandidat sebagai bahan penguat untuk dapat menghasilkan bahan komposit yang ringan, kuat, keras, tahan aus, harga yang murah, ramah lingkungan, serta ekonomis. Salah satunya adalah bahan-bahan serat alam. Jenis-jenis serat alam misalnya : serat tebu, serat kelapa sawit, sabut kelapa, serat nanas, serbuk kayu, serat kayu, serat daun pisang, serat enceng gondok, rami, sisal, flex, hemp, jute, dan lain-lain, mulai digunakan sebagai bahan penguat untuk komposit polimer, dalam penelitian ini bahan komposit diperkuat oleh satu serat, yaitu serat kayu. Spesimen yang diuji ada tiga, yaitu Spesimen komposit dengan serat kayu berdiameter lubang, spesimen komposit tanpa serat kayu berdiameter lubang, serta spesimen komposit tanpa serat kayu dan tanpa diameter lubang, setelah dilakukan pengujian, spesimen tanpa serat kayu dan tanpa diameter lubang, memiliki beban tertinggi dengan beban tarik 10 kg, sedangkan pengujian spesimen dengan serat kayu berdiameter lubang memiliki beban tarik sebesar 8,17 kg, dan spesimen tanpa serat kayu berdiameter lubang memiliki beban tarik sebesar 2,31 kg. Dari data pengujian, didapat hasil bahwa beban tarik pada spesimen tanpa serat dan tanpa diameter lubang memiliki beban tarik paling tinggi dari ketiga percobaan, diikuti dengan spesimen komposit yang diperkuat dengan serat kayu berdiameter lubang dan spesimen komposit tanpa serat kayu berdiameter lubang.*

***Kata Kunci : Pengujian Tarik, Spesimen Serat Kayu Berdiameter Lubang, Spesimen Tanpa Serat Kayu Berdiameter Lubang, Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang***

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan atas ke Hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan lancar. Tugas Sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya.

Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang disebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus - menerus hadir dan atas kerja keras penulis, serta banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

Untuk itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Bapak Abdul Majid dan Ibunda Rismawati Tanjung, dimana cinta yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik, serta memberikan semangat dan do'a yang tulus, ikhlas, dengan penuh kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Eng Rakhmad Arief Siregar selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak Rahmatullah. S.T.,M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar. S.T., M.T, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Affandi,S.T, selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Chandra A. Siregar,S.T, selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama di bangku kuliah.
10. Rekan-rekan Laboratorium Teknik Mesin, dan teman-teman yang lain yang telah banyak membantu dan memotivasi penulis, memberikan dukungan, semangat, dan do'a yang tulus baik secara moril maupun material kepada penulis.
11. Seluruh teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu dalam penulisan tugas sarjana ini.

12. Adinda Pusvita Dewi yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun material, memberikan motivasi, memberikan semangat dan do'a yang tulus, untuk berusaha lebih baik.

Penulis menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan tugas sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin Ya Robbal Alamin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 07 September 2017

Penulis

**BAGUS ANDIKA**  
**1207230247**

# DAFTAR ISI

## Halaman

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ABSTRAK</b>  | <i>i</i>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b>   | <i>ii</i>   |
| <b>DAFTAR ISI</b>   | <i>iv</i>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>  | <i>vi</i>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b>   | <i>vii</i>  |
| <b>DAFTAR SIMBOL</b>  | <i>viii</i> |
| <br>  |             |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang  | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah   | 4           |
| 1.3 Batasan Masalah   | 4           |
| 1.4 Tujuan penelitian   | 5           |
| 1.5 Manfaat penulisan   | 6           |
| 1.6 Sistematika Penulisan   | 6           |
| <br>  |             |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>   | <b>7</b>    |
| 2.1. Pengertian Bahan Komposit  | 7           |
| 2.2. Klasifikasi Bahan Komposit   | 9           |
| 2.3. Tipe Komposit Serat  | 16          |
| 2.4. Sifat dan Karakteristik dari Komposit  | 19          |
| 2.5. Faktor yang Mempengaruhi Sifat-Sifat Mekanik Komposit                        | 20          |
| 2.5.1 Faktor Serat  | 20          |
| 2.5.2 Faktor Matriks  | 21          |
| 2.5.3 Katalis   | 21          |
| 2.6. Kelebihan dan Kekurangan Material Komposit                                   | 22          |
| 2.7. Teknik pembuatan Material Komposit   | 22          |
| 2.8. Serat  | 23          |
| 2.9. Serat Kayu   | 25          |
| 2.10. Katalis   | 26          |
| 2.11. Pengujian Kuat Tarik ( <i>Tensile Strength</i> )                            | 26          |
| 2.12. Konsentrasi tegangan  | 26          |
| <br>  |             |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>  | <b>28</b>   |
| 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian  | 28          |
| 3.1.1. Tempat   | 28          |
| 3.1.2. Waktu Penelitian   | 28          |
| 3.2. Alat dan Bahan yang digunakan  | 29          |
| 3.2.1. Alat   | 29          |
| 3.2.2. Bahan  | 33          |
| 3.3. JIG yang Digunakan pada Saat Pengujian, Ukuran Spesimen, dan Gambar Spesimen | 36          |
| 3.4. JIG yang Digunakan   | 37          |
| 3.5. Pembuatan Spesimen Bahan Komposit  | 38          |
| 3.6. Diagram Alir   | 40          |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.7. Pengujian Tarik  | 41        |
| 3.7.1. Proses Pengujian   | 42        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>   | <b>44</b> |
| 4.1 Hasil Pembuatan   | 44        |
| 4.1.1 Pembuatan Spesimen Berdasarkan Hasil Perbandingan (d/w)   | 44        |
| 4.1.2 Hasil Pembuatan Spesimen  | 46        |
| 4.2. Hasil Pengujian Tarik  | 48        |
| 4.2.1. Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pertama (Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang)       | 48        |
| 4.2.2. Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Kedua (Spesimen Serat Kayu yang Berdiameter Lubang)        | 55        |
| 4.2.3. Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Ketiga (Spesimen Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang) | 56        |
| 4.3. Evaluasi Hasil Pengujian   | 57        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>   | <b>59</b> |
| 5.1. Kesimpulan   | 59        |
| 5.2. Saran  | 59        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>   |           |
| <b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>   |           |
| <b>LAMPIRAN</b>   |           |

## DAFTAR GAMBAR

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gambar 2.1.  | Komposit Serat ( <i>Fibrous Composites Materials</i> )   | 9  |
| Gambar 2.2.  | Komposit Lapis ( <i>Laminated Composites Material</i> )  | 11 |
| Gambar 2.3.  | Komposit Partikel ( <i>Particulate Composites Materials</i> )  | 13 |
| Gambar 2.4.  | <i>Continuous Fibre Composite</i>  | 16 |
| Gambar 2.5.  | <i>Woven Fibre Composite</i>   | 16 |
| Gambar 2.6.  | Tipe <i>Discountinuous Fibre Composite</i>   | 17 |
| Gambar 2.7.  | Tipe <i>Hybrid Fibre Continuous</i>  | 18 |
| Gambar 2.8.  | Skema Klasifikasi Jenis Serat Alam   | 25 |
| Gambar 2.9.  | Serat Kayu   | 25 |
| Gambar 3.1.  | Mesin Milling  | 29 |
| Gambar 3.2.  | Mesin Uji Tarik  | 30 |
| Gambar 3.3.  | Jangka Sorong ( <i>Vernier Caliper</i> )   | 31 |
| Gambar 3.4.  | Mata Bor   | 31 |
| Gambar 3.5.  | Gergaji Mesin  | 32 |
| Gambar 3.6.  | Cetakan Spesimen   | 32 |
| Gambar 3.7.  | Serat Kayu   | 33 |
| Gambar 3.8.  | Mirror Glaze   | 33 |
| Gambar 3.9.  | Resin  | 34 |
| Gambar 3.10. | Katalis  | 34 |
| Gambar 3.11. | K-Wax  | 35 |
| Gambar 3.12. | Dimensi JIG Penguji dan Spesimen   | 36 |
| Gambar 3.13. | JIG Pengujian  | 37 |
| Gambar 3.14. | Diagram Alir   | 40 |
| Gambar 3.15. | Pengujian Tarik Spesimen dengan Serat dan Tanpa Serat yang Berlubang dengan Diameter Lubang yang Bervariasi, Serta Spesimen yang Tidak Berserat & Tidak Berdiameter lubang, Menggunakan Alat Bantu JIG | 41 |
| Gambar 4.1.  | Spesimen Sebelum Pengujian   | 46 |
| Gambar 4.2.  | Spesimen Setelah Pengujian   | 47 |
| Gambar 4.3.  | Grafik Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen Pertama (Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang)  | 48 |
| Gambar 4.4.  | Grafik Hasil Perhitungan Konsentrasi Tegangan pada Spesimen dengan Serat Kayu dan Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang   | 54 |
| Gambar 4.5.  | Grafik Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen Kedua (Spesimen dengan Serat Kayu yang Berdiameter Lubang)  | 55 |
| Gambar 4.6.  | Grafik Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen Ketiga (Spesimen Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang)  | 56 |
| Gambar 4.7.  | Grafik Evaluasi Hasil Pengujian  | 57 |
| Gambar 4.8.  | Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Regangan Pada Spesimen Serat Kayu dan Tanpa Serat Kayu   | 58 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1. Klasifikasi Serat/Serat Tekstil                          | 24 |
| Tabel 3.1. Jadwal dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian            | 28 |
| Tabel 3.2. Spesifikasi Alat Uji Tarik dengan Kapasitas 20 Kg        | 30 |
| Tabel 4.1. Perbandingan Spesimen d/w (mm)                           | 44 |
| Tabel 4.2 : $\sigma_{\max}$ dan $\sigma_0$ Lima Belas (15) Spesimen | 54 |

## DAFTAR SIMBOL

|                |  |
|----------------|--|
| $K_t$          | = Faktor Konsentrasi Tegangan (MPa)                                |
| $\sigma$       | = Tegangan Normal Rata-Rata ( $N/mm^2 = MPa$ )                     |
| $\sigma_{max}$ | = Tegangan Normal Maksimum (MPa)                                   |
| $\sigma_0$     | = Tegangan Minimum (MPa)   |
| $\sigma_{nom}$ | = Tegangan Nominal / Tegangan Rata-Rata Pada Penampang Benda (MPa) |
| $d$            | = Diameter Lubang Spesimen (mm)                                    |
| $w$            | = Berat Beban (kg)   |
| $d/w$          | = Perbandingan Diameter Spesimen dengan Berat Beban (mm)           |
| $F$            | = Beban atau Gaya Tarik yang Bekerja (N)                           |
| $A$            | = Luas Penampang ( $mm^2$ )  |
| $\epsilon$     | = Regangan   |

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring perubahan zaman dan perkembangan teknologi yang sudah sangat maju, maka akan diperlukan suatu material yang mempunyai kriteria spesifik seperti ringan, kuat, keras, tahan aus dan harga yang murah. Dalam usaha pencarian peningkatan performa material tersebut maka para ilmuwan terutama berkaitan dengan ilmu bahan, insinyur, dan peneliti selalu melakukan usaha untuk menghasilkan suatu material yang baru yang berbasis material yang sudah ada. Salah satu contoh dari pengembangan atau penelitian tersebut adalah bahan komposit (Surdia dan Saito, 1999).

Pada umumnya bahan komposit adalah kombinasi antara dua atau lebih dari tiga bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya, yang akan menghasilkan sifat material yang mempunyai sifat lebih baik dari material-material sebelumnya. Komposit merupakan gabungan atau kombinasi dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi bentuk struktur unit makroskopik yang akan menghasilkan sifat material yang mempunyai sifat lebih baik dari material-material penyusunnya. Kombinasi biasanya didapat dengan bahan polimer, logam dan keramik (Surdia dan Saito, 1999 : 280).

Penggunaan material sampai saat ini masih didominasi oleh material logam dan keramik, karena untuk material logam mempunyai kekuatan dan ketangguhannya besar dan untuk material dari keramik mempunyai kekuatan yang besar tetapi ketangguhannya kecil. Untuk mengatasi masalah keuletan yang kecil

tersebut maka dalam beberapa tahun terakhir ini, perkembangan komposit yang sangat cepat adalah dalam produksi komposit yaitu dalam berbagai macam variasi plastik (polimer) yang kemudian akan memiliki kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus yang besar serta diprediksikan bahwa permintaan komposit tersebut akan terus meningkat dan akan menjadi material yang banyak diminati daripada material logam dan keramik karena pembuatan yang mudah dan harganya lebih murah khususnya material komposit dalam penelitian ini dibandingkan dengan material yang terbuat dari logam dan keramik.

Keunggulan komposit adalah beratnya yang ringan dan dapat divariasikan dengan bahan lain untuk mendapatkan kekuatan yang diinginkan. Komposit banyak dikembangkan karena mempunyai sifat sesuai keinginan yang tidak didapat dari material lain apabila berdiri sendiri. Komposit umumnya tersusun dari material pengikat (*matriks*) dan material penguat (*reinforcement*). Logam, keramik, dan polymer, dapat digunakan sebagai material matriks pada pembuatan komposit, tergantung dari sifat yang diinginkan, namun polymer merupakan material yang paling luas digunakan sebagai matriks dalam komposit modern yang lebih dikenal dengan *reinforced plastic*.

Komposit banyak dikembangkan karena mempunyai sifat sesuai keinginan yang tidak didapat dari material lain apabila berdiri sendiri. Salah satu faktor yang membuat plastik menarik untuk aplikasi permesinan adalah memungkinkannya peningkatan kekuatan plastik dengan penguat serat maupun dengan serbuk sesuai dengan tujuan yang diinginkan, disamping itu pula plastik juga memiliki sifat ketahanan kimia (*chemical resistant*) yang baik (Hartomo, 1996 : 119).

Komposit dari bahan serat, terus diteliti dan dikembangkan guna menjadi bahan alternatif pengganti bahan logam, hal ini disebabkan sifat dari komposit serat yang kuat dan mempunyai berat lebih ringan dibandingkan dengan logam. Komposit merupakan perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi suatu material baru yang memiliki propertis lebih baik dari keduanya. Penggunaan serat merupakan salah satu alternatif dalam pembuatan komposit secara ilmiah. Serat (fiber) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat sintetis (serat buatan manusia). Serat sintetis dapat diproduksi secara murah dalam jumlah yang besar. Namun demikian, serat alami memiliki berbagai kelebihan khususnya dalam hal kenyamanan. Serat alam mudah ditemukan di sekitar kita, contohnya serat tebu, kelapa sawit, sabut kelapa, nanas, serbuk kayu, serat kayu, serat daun pisang, enceng gondok, dan lain-lain (Fahmi .H dan Hermansyah .H, 2011).

Dalam penelitian ini menggunakan serat alam, serat yang digunakan adalah *serat kayu*. Dengan latar belakang ini maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul : *ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA BAHAN KOMPOSIT SERAT KAYU*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang di atas, maka di dalam penelitian ini penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat bahan komposit dari serat kayu?
2. Bagaimana faktor konsentrasi tegangan pada bahan komposit partikel serat kayu?
3. Bagaimana pengujian tarik bahan komposit serat kayu?

## **1.3 Batasan Masalah**

Karena luasnya jangkauan permasalahan dalam pengujian material komposit menggunakan serat kayu, dengan pengujian tarik maka perlu pembatasan masalah antara lain :

1. Kekuatan tarik pada spesimen komposit dengan menggunakan serat kayu dengan diameter lubang, spesimen tanpa menggunakan serat kayu tetapi berdiameter lubang, serta spesimen tanpa menggunakan serat kayu dan tanpa berdiameter lubang.
2. Perbandingan terhadap kekuatan spesimen komposit yang diperkuat dengan serat kayu dengan diameter lubang, spesimen tanpa menggunakan serat kayu tetapi berdiameter lubang, serta spesimen tanpa menggunakan serat kayu dan tanpa berdiameter lubang.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan umum dari penelitian ini adalah :

### **1.4.1 Tujuan Umum**

1. Untuk mengetahui perbandingan kekuatan tarik spesimen serat kayu dengan diameter lubang, spesimen tanpa menggunakan serat kayu tetapi berdiameter lubang, serta spesimen tanpa menggunakan serat kayu dan tanpa berdiameter lubang.

### **1.4.2 Tujuan Khusus**

1. Untuk mengetahui faktor konsentrasi tegangan pada spesimen komposit yang diperkuat dengan serat kayu dengan diameter lubang, spesimen tanpa menggunakan serat kayu tetapi berdiameter lubang, serta spesimen tanpa menggunakan serat kayu dan tanpa berdiameter lubang.
2. Untuk mengetahui pengaruh kekuatan tarik terhadap kekuatan spesimen komposit yang diperkuat dengan serat kayu dengan diameter lubang, spesimen tanpa menggunakan serat kayu tetapi berdiameter lubang, serta spesimen tanpa menggunakan serat kayu dan tanpa berdiameter lubang.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mampu menguji kekuatan tarik spesimen komposit.
2. Mampu menganalisa hasil uji terhadap variasi perkuatan.
3. Mampu mengevaluasi pengaruh perkuatan serat kayu terhadap kekuatan tarik material komposit.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan ini dibagi menjadi lima bab. Bab 1 menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2 menjelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berisi mengenai teori singkat dari penelitian. Bab 3 menjelaskan mengenai metode penelitian. Bab 4 menjelaskan mengenai data dan analisa pada penelitian. Bab 5 menjelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian dan saran.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Bahan Komposit**

Komposit adalah kombinasi antara dua atau lebih dari tiga bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Surdia dan Saito, 1999 : 280). Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Di dalam komposit unsur utamanya adalah serat, sedangkan bahan pengikatnya menggunakan bahan polimer yang mudah dibentuk dan mempunyai daya pengikat yang tinggi.

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Secara umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu matrik dan *reinforcement* (Maryanti B, Sonief A, Wahyudi S, 2011).

Pada definisi yang lebih mendalam khususnya dalam istilah *engineering* komposit didefinisikan berdasarkan tingkat dari definisinya. Pada elemental atau tingkat dasar, dimana molekul dan sel kristal masih tunggal, semua material tercampur dari dua atau lebih atom yang berbeda dapat dianggap sebagai komposit. Pada definisi ini komposit terdiri dari campuran, baik itu logam campuran, polimer ataupun campuran keduanya.

Pada tingkat struktur mikro, komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dari gabungan dua atau lebih kristal, dengan struktur molekul atau fase yang berbeda. Sebagai contoh semua material logam yang hanya mempunyai fase tunggal seperti perunggu dan kuningan akan diklasifikasikan sebagai monolithic, sedangkan baja mempunyai multiphaselogam, yaitu dari carbondan besi yang juga dapat didefinisikan sebagai bahan komposit Pada tingkat struktur makro hanya berhubungan dengan bentuk atau unsur pokok dari struktur yang besar, seperti matriks dan partikel/serbuk sehingga pemikiran mengenai komposit adalah sebagai sistem material yang berasal dari campuran unsur pokok makro yang berbeda. Bahan komposit biasanya dibangun dari dua fase, yaitu fase matriks dan fase dispersi (penambah)/*reinforcement* (Schwartz, 1984: 1.2).

Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk diarahkan sehingga kekuatannya dapat diatur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki, hal ini dinamakan "*tailoring properties*" dan ini adalah salah satu sifat istimewa komposit yaitu ringan, kuat, tidak terpengaruh korosi, dan mampu bersaing dengan logam, dengan tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanisnya. Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dan berat jenis yang ringan. Dengan memilih kombinasi material penguat dan matriks yang tepat, kita dapat membuat suatu material komposit dengan sifat yang tepat sama dengan kebutuhan sifat untuk suatu struktur tertentu dan tujuan tertentu pula (Feldman dan Hartomo, 1995).

## 2.2 Klasifikasi Bahan Komposit

Sesuai dengan definisinya, maka bahan material komposit terdiri dari unsur-unsur penyusun. Komponen ini dapat berupa unsur organik, anorganik ataupun metalik dalam bentuk serat, serpihan, partikel dan lapisan.

Jika ditinjau dari unsur pokok penyusun atau jenis penguat suatu bahan komposit, maka komposit dapat dibedakan atas beberapa bagian antara lain :

### a. Komposit Serat (*Fibrous Composites Materials*)

Komposit serat, yaitu komposit yang terdiri dari serat dan matriks (bahan dasar) yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat ditambahkan resin sebagai bahan perekat.



Gambar 2.1. Komposit Serat (Gibson, 1994)  
(Sumber : <http://bp1.blogger.com/Fibrous+Composites.bmp>)

Komposit serat Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau lapisan yang menggunakan penguat berupa serat (*fiber*). *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fiber*, *carbon fibers*, *armid fibers* (*poly Aramide*), dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak (*chopped strand mat*) maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Bila peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi, agar beban ditransfer melewati titik dimana mungkin terjadi perpatahan.

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

Komposit jenis ini hanya terdiri dari satu lapisan. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintesis (asbes, kaca, boron) atau serat organik (selulosa, polipropilena, polietilena bermodulus tinggi, serbuk kayu, sabut kelapa, ijuk, tandan kosong sawit, dan lain-lain). Berdasarkan ukuran seratnya, komposit serat dapat dibedakan menjadi komposit berserat panjang dan diameternya sebesar <100 mm, serat pendek ini dapat diorientasikan atau didistribusikan secara acak. Komposit serat panjang lebih mudah diorientasikan dibanding serat pendek, akan tetapi komposit serat pendek lebih memiliki rancang desain lebih banyak.

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu :

a. Komposit serat pendek (*short fiber composite*)

Berdasarkan arah orientasi material komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu serat acak (*inplane random orientasi*) dan serat satu arah. Tipe serat acak sering digunakan pada produksi

dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

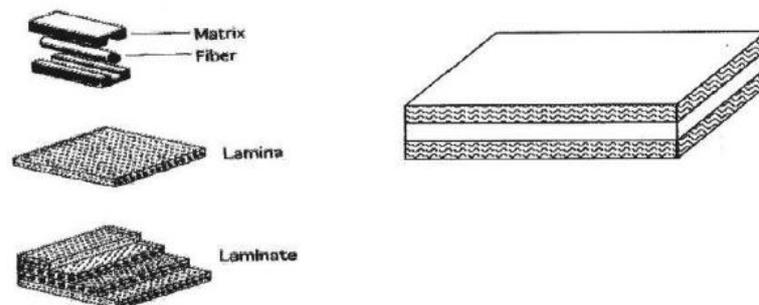
b. Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

Keistimewaan komposit serat panjang adalah lebih mudah diorientasikan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Secara teoritis serat panjang dapat menyalurkan pembebanan atau tegangan dari suatu titik pemakaiannya.

Perbedaan serat panjang dan serat pendek yaitu serat pendek dibebani secara tidak langsung atau kelemahan matriks akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan besaran yang terdapat pada serat panjang.

b. **Komposit Lapis (*Laminated Composite Materials*)**

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik sifat sendiri. Contohnya : *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.



Gambar 2.2. *Laminated Composites* (Gibson, 1994)  
(Sumber : [https://s.kaskus.id/images/2013/12/11/5705231\\_20131211084803.png](https://s.kaskus.id/images/2013/12/11/5705231_20131211084803.png))

Komposit yang terdiri dari lapisan serat dan matriks, yaitu lapisan yang diperkuat oleh resin sebagai contoh polywood, *laminated glass* yang sering digunakan untuk bahan bangunan dan kelengkapannya.

Pada umumnya manipulasi makroskopis yang dilakukan terhadap ketahanan korosi, kuat dan tahan terhadap temperatur. Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matriks. Bentuk nyata dari komposit lamina adalah :

1) Bimetal

Adalah lapis dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi termal yang berbeda. Bimetal akan melengkung dengan seiring berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok dengan alat ukur suhu.

2) Pelapisan Logam

Adalah pelapisan yang dilakukan antara logam yang satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

3) Kaca Yang Dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam, kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca.

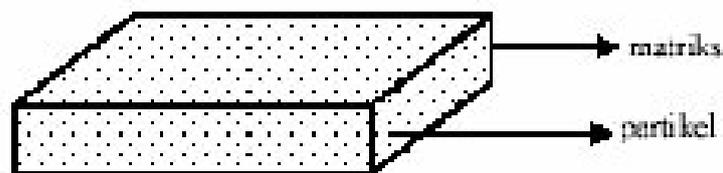
4) Komposit Lapis Serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa dipakai pada panel sayap pesawat dan badan pesawat.

c. **Komposit Partikel (*Particulate Composites Materials*)**

Merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton.

Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serat bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama yang disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang dibenamkan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda. Partikelnya bisa logam atau non logam seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat.



Gambar 2.3. Komposit Partikel (Gibson, 1994)  
(Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/komposit+partikel.jpg>)

Berdasarkan matriksnya, komposit dibagi dalam tiga kelompok adalah :

(a) Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix composite – PMC*) bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan yang biasa disebut dengan Polimer Berpenguat Serat (FRP – *Fiber Reinforced Polymers or Plastis*),

bahan ini menggunakan suatu polimer berdasar resin sebagai matriknya, seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) yang digunakan sebagai penguatnya. Komposit ini bersifat :

- 1) Biaya pembuatan lebih rendah
- 2) Dapat dibuat dengan produksi massal
- 3) Ketangguhan baik
- 4) Tahan simpan
- 5) Siklus pabrikan dapat dipersingkat
- 6) Kemampuan mengikuti bentuk
- 7) Lebih ringan

(b) Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite* – MMC) ditemukan berkembang pada industri otomotif, bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida.

(c) Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composite* – CMC) digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*Whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida.

Klasifikasi bahan komposit dapat dibentuk dari sifat dan strukturnya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis. Secara umum klasifikasi komposit yang sering digunakan antara lain seperti :

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama, seperti *metal-organic* atau *metal-anorganic*.
2. Klasifikasi menurut karakteristik *built-from*, seperti sistem matrik atau laminate.

3. Klasifikasi menurut intribusi unsur pokok, seperti *continuous* dan *discontinuous*.
4. Klasifikasi menurut fungsinya, seperti elektrik atau struktural (Schwartz,1984).

Sedangkan klasifikasi menurut komposit serat (*fiber-matrix composites*) dibedakan menjadi beberapa macam antara lain :

1. *Fiber composite* (komposit serat) adalah gabungan serat dengan matrik.
2. *Filled composite* adalah gabungan matrik *continuous skeletal* dengan matrik yang kedua.
3. *Flake composite* adalah gabungan serpih rata dengan matrik.
4. *Particulate composite* adalah gabungan partikel dengan matrik.
5. *Laminate composite* adalah gabungan lapisan atau unsur pokok lamina (Schwartz, 1984 : 16).

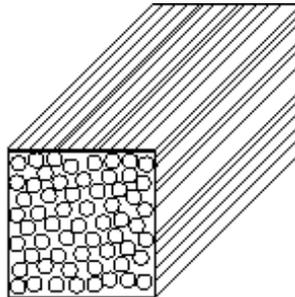
Secara umum bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel–partikel yang diikat oleh matrik. Bentuk partikel ini dapat bermacam–macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak. Sedangkan bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matrik. Bentuknya ada dua macam yaitu serat panjang dan serat pendek.

### 2.3 Tipe Komposit Serat

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa jenis serat pada komposit, yaitu :

#### a. *Continuous Fibre Composite*

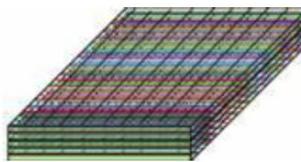
Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan.



Gambar 2.4. *Continuous Fiber Composite* (Gibson, 1994)  
(Sumber : <http://www.efunda.com/composites/ContinuousFiber.gif>)

#### b. *Woven Fibre Composite (Bi-Rectional)*

Komposit jenis ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan seratnya memanjang yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah.



Gambar 2.5. *Woven Fibre Composite (Bi-Rectional)* (Gibson, 1994)  
(Sumber : <http://www.efunda.com/composites/ContinuousFiber.gif>)

### c. *Discontinuous Fibre Composite*

*Discontinuous fibre composite* adalah tipe serat pendek. Komposit yang diperkuat oleh serat pendek pada umumnya menggunakan resin sebagai matriksnya. Dalam pembuatan komposit serat pendek ini dipotong-potong pendek 20-100 mm panjangnya. Tipe ini dibagi menjadi tiga macam yaitu :

#### 1. *Aligned Discontinuous Fibre,*

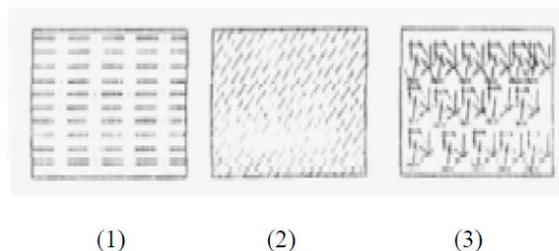
Yaitu untuk mendapatkan komposit jenis ini digunakan teknik yang berbeda dengan terorientasi acak, yaitu *lay up*. Metode ini khusus digunakan cetak suntik (*injection moulding*) dan proses ekstruksi.

#### 2. *Off-Axis Aligned Continuous Fibre,*

Yaitu untuk mendapatkan komposit jenis ini digunakan teknik yang berbeda dengan terorientasi acak, yaitu *lay up*. Metode ini khusus digunakan cetak suntik (*injection moulding*) dan proses ekstruksi. Perbedaannya dengan *aligned discontinuous fibre* adalah hanya penempatan posisi serat dalam cetakan.

#### 3. *Randomly Oriented Continuous Fibre,*

Yaitu pembuatan komposit jenis ini dilakukan dengan teknik *hand lay up*. Ukuran serat dapat dipilih untuk mendapatkan perbedaan jumlah penyebaran serat selama pencetakan.



Gambar 2.6. Tipe *Discontinuous Fibre Composite* (Gibson, 1994)  
(Sumber : <https://www.researchgate.net/figure/1-Different-types-of-discontinuous-fiber-reinforcement.png>)

#### 4. *Hybrid Fibre Continuous*

*Hybrid fibre continuous* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dan serat acak. Tipe ini digunakan untuk supaya dapat mengganti dari kekurangan sifat kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.



Gambar 2.7. Tipe *Hybrid Fibre Continuous* (Gibson, 1994)  
(Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/.JPG>)

## 2.4 Sifat dan karakteristik dari komposit

Komposit dikenal sebagai bahan teknologi karena diperoleh dari hasil teknologi pemrosesan bahan. Kemajuan teknologi pemrosesan bahan, dewasa ini telah menghasilkan bahan teknik yang dikenal sebagai bahan komposit.

Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun dan dapat ditentukan secara teoritis dengan pendekatan metode *rule of mixture (ROM)*, sehingga akan berbanding secara proporsional. Bentuk (dimensi) dan struktur (ikatan) penyusun komposit juga akan mempengaruhi karakteristik komposit, begitu pula bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit.

Sifat bahan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi unsur penyusun, serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lain yang mungkin mempengaruhi sifat bahan komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi dari penguat (filler) dan berbagai ciri-ciri dari matriks. Sifat mekanik merupakan salah satu sifat bahan komposit yang sangat penting untuk dipelajari. Untuk aplikasi struktur, sifat mekanik ditentukan oleh pemilihan bahan. Sifat mekanik bahan komposit bergantung pada sifat bahan penyusunnya.

Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu :

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.

3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya. Maka, sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda.

## **2.5 Faktor yang Mempengaruhi Sifat-Sifat Mekanik Komposit**

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi performa komposit, baik dari faktor serat penyusunnya, maupun faktor matriksnya, yaitu :

### **1. Faktor Serat**

Serat adalah bahan yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

#### **a. Letak Serat**

Dalam pembuatan komposit, tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut.

Menurut tata letak dan arah, serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu :

- a) *One Dimensional Reinforcement*, mempunyai kekuatan pada arah axis serat.
- b) *Two Dimensional Reinforcement (planar)*, mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.
- c) *Three Dimensional Reinforcement*, mempunyai sifat *isotropic*, kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya.

Pada pencampuran dan arah serat mempunyai beberapa keunggulan, jika orientasi serat semakin acak (*random*) maka sifat mekanik pada satu arahnya akan

melemah, bila arah tiap serat menyebar ke segala arah maka kekuatan akan meningkat.

#### b. Panjang Serat

Serat panjang lebih kuat dibandingkan dengan serat pendek. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Serat panjang (*continous fibre*) lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek.

#### c. Bentuk Serat

Bentuk serat tidak mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Semakin kecil diameter serat, maka akan menghasilkan kekuatan komposit yang tinggi.

### **2. Faktor Matriks**

Matriks sangat berpengaruh dalam mempengaruhi performa komposit. Tergantung dari matriks jenis apa yang dipakainya, dan untuk tujuan apa dalam pemakaian matriks tersebut.

### **3. Katalis**

Katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit. Penggunaan katalis yang berlebihan akan semakin mempercepat proses laju pengeringan, tetapi akan menyebabkan bahan komposit yang dihasilkan semakin getas.

## **2.6 Kelebihan dan Kekurangan Material Komposit**

Material komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanik, fisik dan biaya. Seperti yang diuraikan dibawah ini :

### **a. Sifat Mekanik dan Fisik**

Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional, seperti besi baja.

### **b. Biaya**

Faktor biaya juga memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, proses pembuatan, upah tenaga kerja, dan sebagainya.

Selain kelebihan yang dimiliki, komposit juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain :

1. Tidak tahan terhadap beban *shock* (kejut) dan *crash* (tabrak) jika dibandingkan dengan metal.
2. Kurang elastis.
3. Lebih sulit dibentuk secara plastis.

## **2.7 Teknik Pembuatan Material Komposit**

Pembuatan material komposit pada umumnya tidak melibatkan penggunaan suhu dan tekanan yang tinggi.

Penggabungan material matriks dan penguat dilakukan dengan proses pengadukan. Proses pengadukan ini dilakukan dengan selang waktu tertentu sebelum terjadi pengerasan material komposit.

Ada beberapa metode pembuatan material komposit diantaranya adalah :

1. Metode penuangan secara langsung

Pada metode penuangan secara langsung dilakukan dengan cara melekatkan atau menyentuhkan material-material penyusun pada cetakan terbuka dan dengan perlahan-lahan diratakan dengan menggunakan roda perata atau dengan pemberian tekanan dari luar. Metode ini cocok untuk jenis serat kontiniu.

2. Metode pemampatan atau tekanan

Pada metode pemampatan atau dengan menggunakan tekanan ini menggunakan prinsip ekstrusi dengan pemberian tekanan pada material bakunya yang dialirkan kedalam cetakan tertutup. Metode ini umumnya berupa injeksi, mampatan atau semprotan. Material yang cocok untuk jenis ini adalah penguat partikel.

3. Metode pemberian tekanan dan panas

Metode selanjutnya adalah metode pemberian panas dan tekanan, dimana metode ini menggunakan tekanan dengan pemberian panas awal yang bertujuan untuk memudahkan material komposit mengisi pada bagian-bagian yang sulit terjangkau atau ukuran yang sangat kecil.

## **2.8 Serat**

Serat merupakan bahan yang kuat, kaku, getas. Karena serat yang terutama menahan gaya luar, ada dua hal yang membuat serat menahan gaya yaitu :

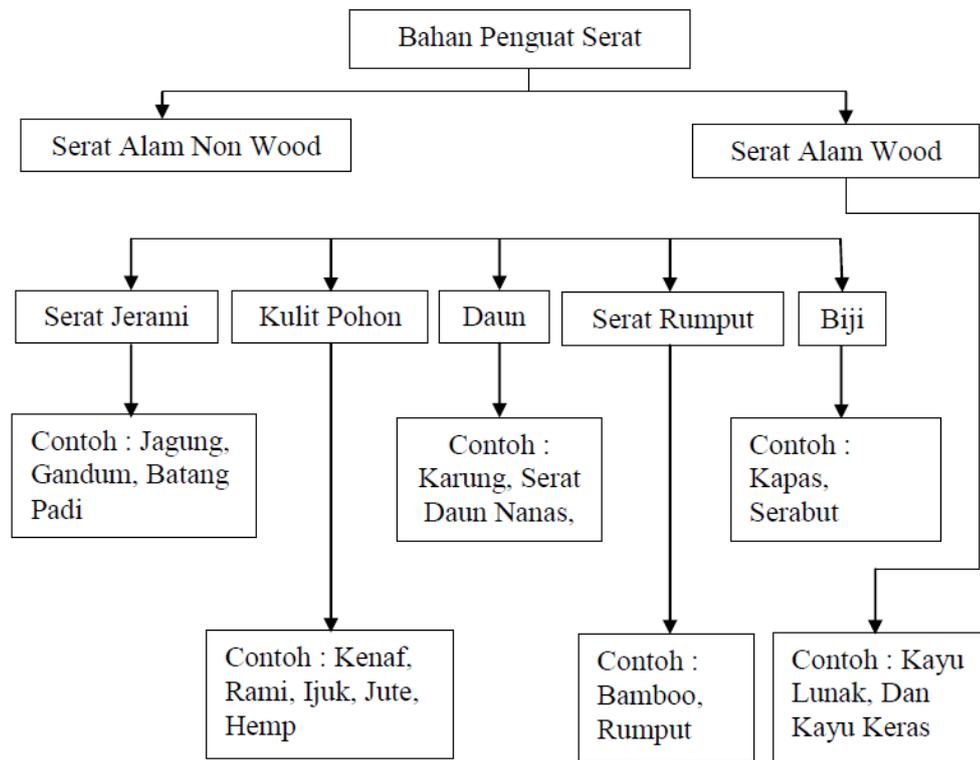
1. Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*intervarsial bonding*) sangat baik dan kuat, sehingga tidak mudah lepas dari matriks (*debonding*).
2. Kelangsingan (*aspec ratio*) yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

Serat alam dan sintesis banyak jenis klasifikasinya. Serat alam yang sering digunakan adalah serat pisang, kapas, wol, serat nanas, serat rami, dan serat sabut kelapa, sedangkan serat sintesis diantaranya nilon, akril, dan rayon. Serat alam adalah serat yang banyak diperoleh di alam sekitar, yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti serat pelepah pisang, bambu, rosella, nanas, kelapa, ijuk, dan lain-lain.

**Tabel 2.1. Klasifikasi Serat/Serat Tekstil (Surdia, dkk. 1999)**

| NO | Serat                         | Jenis                   |
|----|-------------------------------|-------------------------|
| 1. | Serat kimia atau serat buatan | Serat regenerasi        |
|    |                               | Serat sintesis          |
|    |                               | Serat anorganik         |
| 2. | Serat alam                    | Serat tumbuhan          |
|    |                               | Serat binatang          |
|    |                               | Serat galian atau asbes |

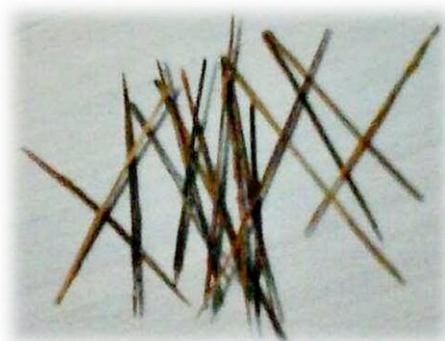
Saat ini, serat alam mulai mendapatkan perhatian serius dari para ahli material komposit karena, (a) Serat alam memiliki kekuatan spesifik yang tinggi karena serat alam memiliki masa jenis yang rendah. (b) Serat alam mudah diperoleh dan merupakan sumber daya alam yang dapat diolah kembali, harganya relatif murah, dan tidak beracun. Serat alam seperti ijuk, sabut kelapa, sisal, jerami, nanas dan lain-lain merupakan hasil alam yang banyak tumbuh di Indonesia. Berikut ini adalah skema klasifikasi jenis serat alam.



Gambar 2.8. Skema Klasifikasi Jenis Serat Alam

## 2.9 Serat Kayu

Serat kayu adalah suatu bahan baku kayu yang diolah dan dipotong dengan menggunakan alat menjadi bentuk serat.



Gambar 2.9. Serat Kayu

## **2.10 Katalis**

Katalis merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada matrik resin polyester yang bertujuan untuk proses pembentukan matrik. Katalis adalah bahan kimia yang dapat meningkatkan laju suatu reaksi berakhir, bahan tersebut akan kembali ke bentuk awal tanpa perubahan kimia.

## **2.11 Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strength*)**

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap uji tarik. Dengan melakukan uji tarik kita mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material bertambah panjang. Bila kita terus menarik suatu bahan sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang yang menjadi perhatian dalam gambar tersebut adalah kemampuan maksimum bahan dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut "*Ultimate Tensile Strength*" disingkat dengan UTS. Untuk semua bahan, pada tahap awal uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut.

## **2.12 Konsentrasi Tegangan**

Menentukan faktor konsentrasi tegangan pada suatu material bertakik ada beberapa cara, antara lain eksperimental dan metode elemen hingga. Secara eksperimental yaitu melakukan pengujian tarik setelah sensor regangan *strain gage* dipasang didekat takikan material. Cara metode elemen hingga yaitu melakukan pendekatan suatu fungsi kontinu dari besaran-besaran fisik suatu elemen untuk memperoleh tegangan material.

Suatu diskontinuitas dalam benda misalnya lubang atau takik, akan mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata disekitar diskontinuitas tersebut. Pada beberapa daerah didekat diskontinuitas, tegangan akan lebih tinggi daripada tegangan rata-rata yang jauh letaknya dari diskontinuitas. Jadi telah terjadi konsentrasi tegangan pada diskontinuitas. Konsentrasi tegangan dinyatakan dengan faktor tegangan  $K$ . Pada umumnya  $K$  adalah sebagai perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan nominal terhadap dasar penampang sesungguhnya.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1. Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Kekuatan Material Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

##### 3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan setelah mendapat persetujuan dari pembimbing.

Tabel 3.1: Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

| No. | Kegiatan                   | April | Mei | Juni | Juli | Agustus | September |
|-----|----------------------------|-------|-----|------|------|---------|-----------|
| 1.  | Study literatur            |       |     |      |      |         |           |
| 2.  | Desain jig penelitian      |       |     |      |      |         |           |
| 3.  | Pembuatan cetakan spesimen |       |     |      |      |         |           |
| 4.  | Penyiapan alat dan bahan   |       |     |      |      |         |           |
| 5.  | Pembuatan spesimen         |       |     |      |      |         |           |
| 6.  | Pengujian spesimen         |       |     |      |      |         |           |
| 7.  | Evaluasi data penelitian   |       |     |      |      |         |           |

## 3.2. Alat dan Bahan yang digunakan

### 3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam pengujian ini yaitu besi sebagai cetakan dalam spesimen. Adapun alat yang digunakan dalam proses pembuatan spesimen adalah sebagai berikut :

#### a. Mesin Frais (*milling machine*)

Mesin frais (*milling machine*) adalah mesin perkakas yang dalam proses kerja pemotongannya dengan menyayat atau memakan benda kerja menggunakan alat potong bermata banyak yang berputar (*multipoint cutter*). Pisau frais dipasang pada sumbu atau arbor mesin yang didukung dengan alat pendukung arbor. Pisau tersebut akan terus berputar apabila arbor mesin diputar oleh motor listrik, agar sesuai dengan kebutuhan, gerakan dan banyaknya putaran arbor dapat diatur oleh operator mesin frais, mesin milling digunakan untuk membuat jig spesimen.



Gambar 3.1: Mesin Milling

Spesifikasi :

|                     |  |
|---------------------|--|
| Type                | : Emco F3  |
| Produksi            | : Maier & co-Austria                             |
| Motor Power         | : 1,1/1,4 Kw                                     |
| Speed               | : 1400/2800 rpm                                  |
| Spindle speed (rpm) | : 80 – 160 – 245 – 360 – 490 – 720 – 1100 – 2200 |

## b. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik berfungsi untuk mengetahui kekuatan bahan yang akan di uji. Dengan spesifikasi terlihat seperti dibawah ini :



Gambar 3.2: Mesin Uji Tarik

Tabel 3.2: Spesifikasi alat uji tarik dengan kapasitas 20 kg

| No | Komponen        | Keterangan   |
|----|-----------------|--|
| 1. | Motor penggerak | Menggunakan dynamo motor mesin bor tangan dengan kapasitas 0- 3000 rpm |
| 2. | Loadcell        | Menggunakan presica load cell kapasitas 250 kg                         |
| 3. | Controller      | Menggunakan software arduino   |
| 4. | Ulir            | Menggunakan bahan carbon steel   |

- c. **Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)** berfungsi untuk mengukur ketebalan, diameter luar, diameter dalam dan kedalaman.



Gambar 3.3: Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

**d. Mata Bor**

Berfungsi sebagai alat untuk melindungi bahan, dalam percobaan ini mata bor yang digunakan bertipe twist bits dengan ukuran 3,6,9,12,15,18,21 mm.



Gambar 3.4: Mata Bor

**e. Gergaji Mesin**

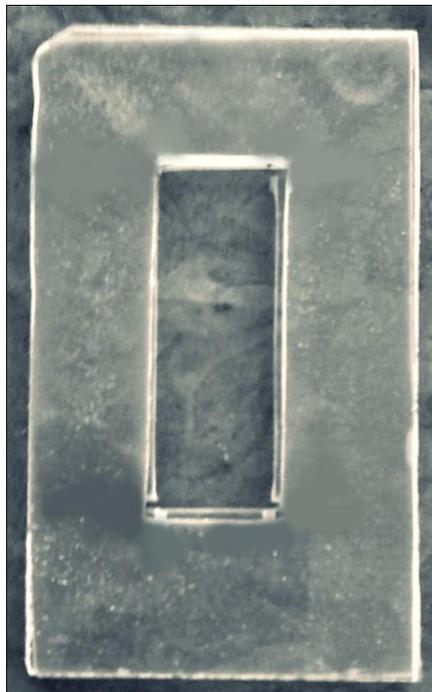
Gergaji mesin berfungsi untuk memotong bahan dalam pembuatan spesimen.



Gambar 3.5: Gergaji Mesin

**f. Cetakan Spesimen**

Cetakan berfungsi sebagai wadah cairan campuran yang sudah dicampur/diolah, agar terjadi bahan komposit sesuai dengan bentuk yang diinginkan.



Gambar 3.6: Cetakan Spesimen

### 3.2.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam proses percobaan adalah sebagai berikut :

#### a. Serat Kayu

Serat kayu yang dipakai dalam pengujian ini sebagai penguat dan juga serat kayu mudah ditemukan di sekitar kita.



Gambar 3.7: Serat Kayu

#### b. Mirror Glaze

Mirror glaze berfungsi untuk melapisi benda yang akan dicetak supaya saat resin sudah mengeras tidak menempel pada benda/cetakan. Dengan cara mengoleskan mirror glaze dengan menggunakan kuas, lalu olesi dengan rata.



Gambar 3.8: Mirror Glaze

### c. Resin

Resin adalah suatu bahan kimia yang berfungsi sebagai campuran bahan untuk membuat spesimen.



Gambar 3.9: Resin

### d. Katalis

Katalis adalah suatu bahan kimia yang dapat meningkatkan laju suatu reaksi tanpa bahan tersebut menjadi ikut terpakai dan setelah reaksi berakhir, bahan tersebut akan kembali ke bentuk awal tanpa terjadi perubahan kimia.



Gambar 3.10: Katalis

**e. K-Wax**

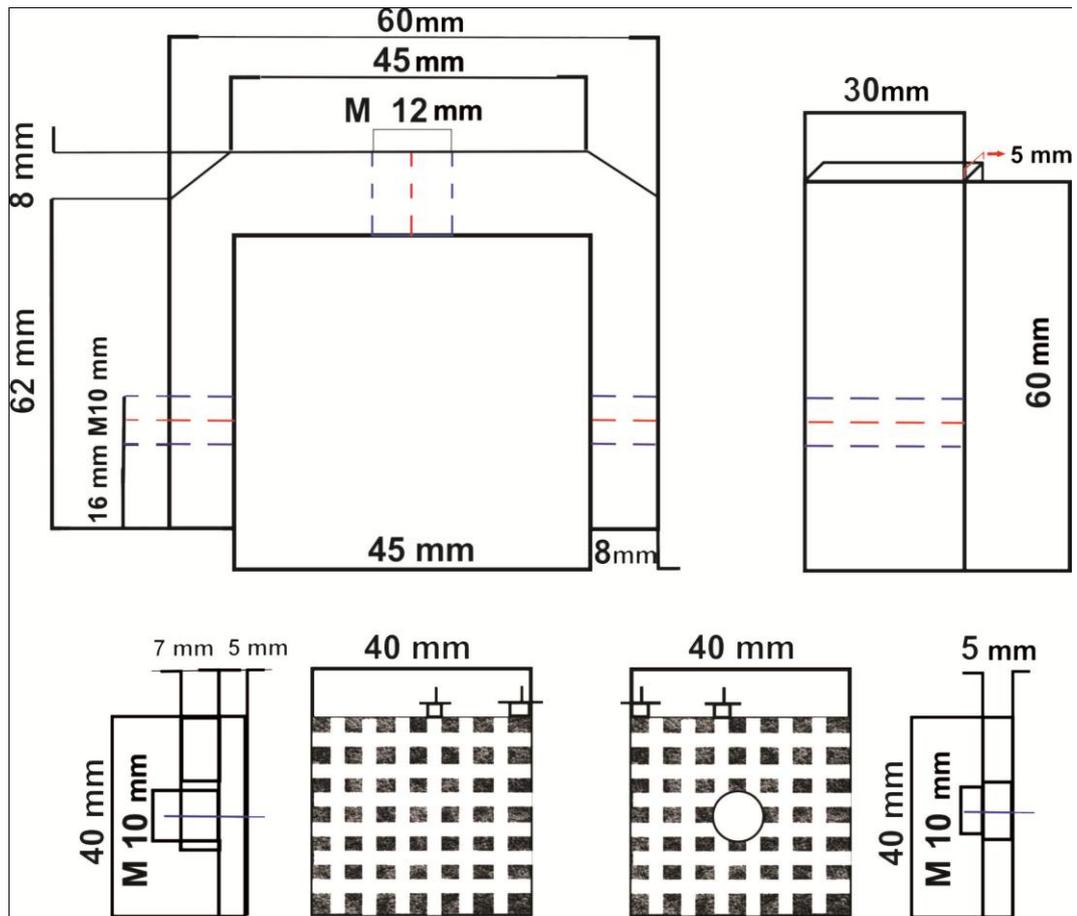
Berfungsi untuk membantu dalam proses pengeluaran spesimen dari cetakan.



Gambar 3.11: K-Wax

### 3.3. JIG yang Digunakan pada Saat Pengujian, Ukuran Spesimen, dan Gambar Spesimen

JIG pengujian berfungsi sebagai alat bantu pengikat pada pengujian tarik dan JIG pengujian terbuat dari baja karbon rendah dengan diameter 120 mm, ketebalan 5 mm.



Gambar 3.12: Dimensi JIG Penguji dan Spesimen

### 3.4. JIG yang Digunakan

Setelah dilakukan proses permesinan, hasil dari pembuatan JIG pengujian dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 3.13 : Jig Pengujian

Pada gambar di atas, hasil proses pembuatan JIG yang digunakan pada saat pengujian spesimen.

### **3.5. Pembuatan Spesimen Bahan Komposit**

Adapun langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan dalam pembuatan spesimen antara lain :

#### **a. Persiapan Pembuatan Serat Kayu**

1. Mengambil serat kayu dari batang kayu.
2. Memisahkan serat kayu dari kayu.
3. Mengeringkan serat kayu untuk mempermudah pemisahan serat jerat selama 2 hari.
4. Membersihkan serat kayu dari sekam kayu.

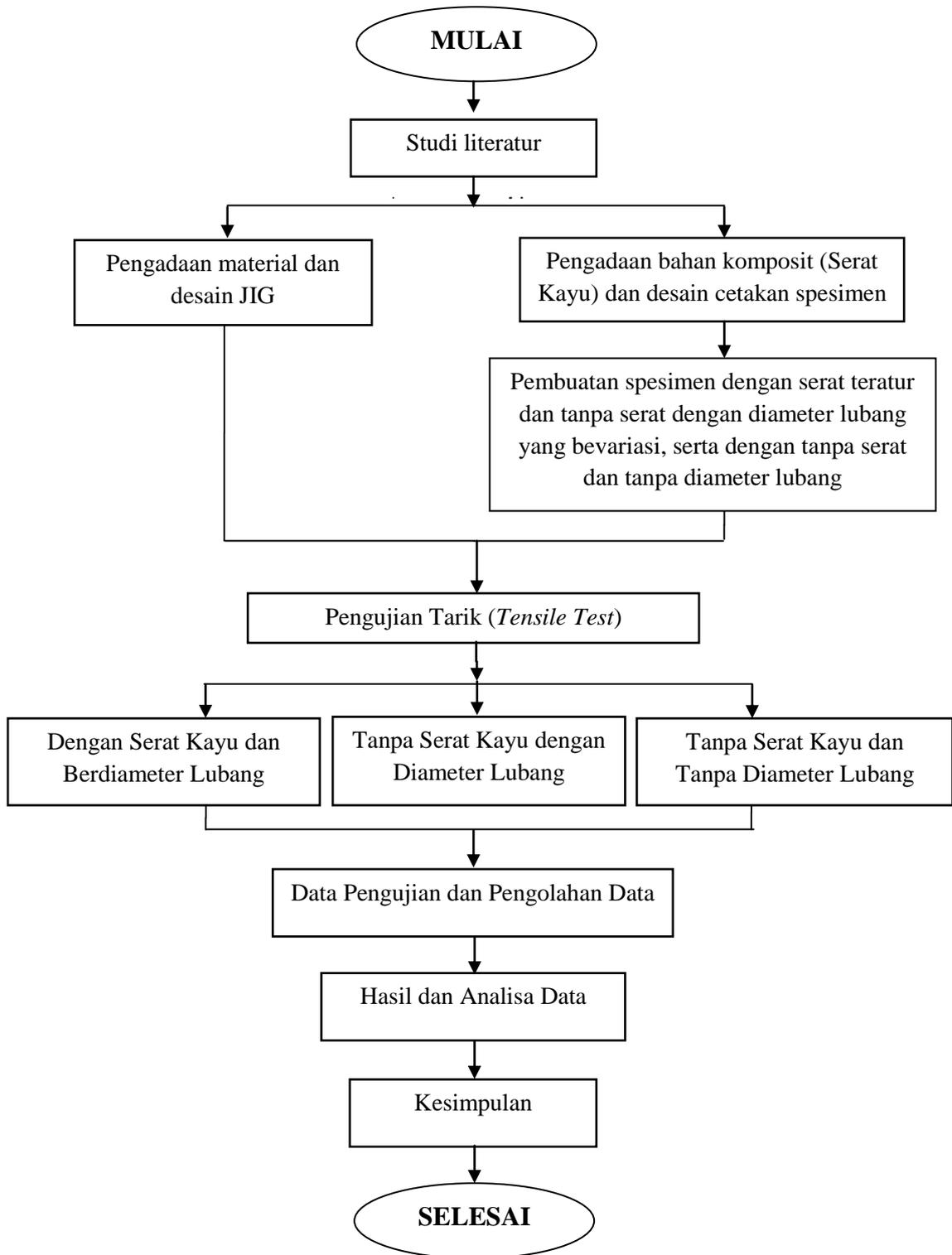
#### **b. Langkah – Langkah Pembuatan Komposit**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan spesimen adalah sebagai berikut :

- Menyediakan alat dan bahan yang akan digunakan seperti resin, mirror glaze, kuas, cetakan dan lain-lain.
- Membersihkan cetakan dari kotoran dengan sekrap.
- Mengoleskan Mirror glaze dengan kuas pada cetakan.
- Pelapisan alat cetakan dengan *silicon* agar komposit yang dihasilkan mudah dilepas dari cetakan.
- Mencampur cairan resin dengan beberapa tetes katalis lalu diaduk hingga merata agar resin tercampur dengan baik.
- Oleskan resin yang telah tercampur dengan katalis, dengan menggunakan kuas pada cetakan, lalu serat yang telah direndam NaOH diletakkan di atasnya.

- Atur jarak peletakan serat yang pertama dengan yang kedua atau seterusnya sesuai ukuran, dan menyusun serat pada cetakan dengan rapi dan jarak 3 mm per serat sehingga tersusun 6 serat yang telah disesuaikan, serta melapisi serat yang diperkuat dengan resin.
- Menuangkan resin yang telah dicampur dengan katalis kedalam cetakan spesimen, dan hati-hati pada saat penuangan, usahakan agar serat tidak berantakan.
- Setelah kelihatan permukaan cetakan sudah penuh, lalu tutup cetakan.
- Biarkan mengering total. Setelah beberapa jam kemudian, setelah hasil cetakan sudah mengering lalu buka cetakan spesimen, dan angkat hasil cetakan.
- Meratakan permukaan apabila terdapat kerak yang menempel pada spesimen.
- Ulangi langkah diatas hingga mendapatkan spesimen yang diinginkan.

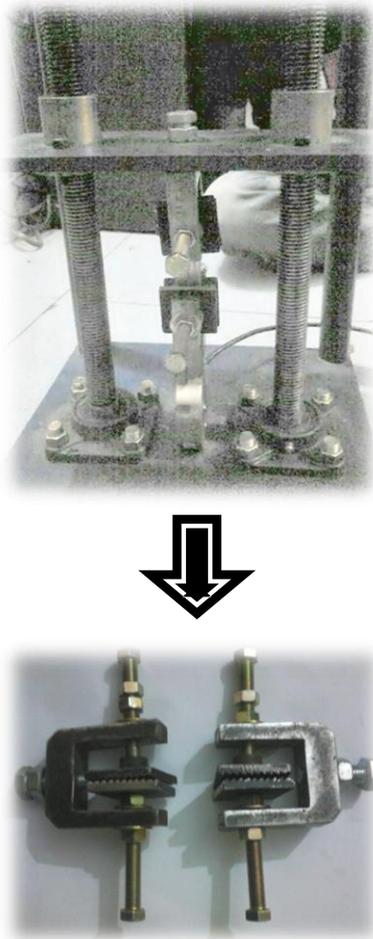
### 3.6. Diagram Alir



Gambar 3.14: Diagram Alir

### 3.7. Pengujian Tarik

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik, dan dengan cara memasang spesimen yang berlubang dengan diameter lubang yang bervariasi, serta spesimen yang tidak berlubang, menggunakan alat bantu JIG pengujian tarik yang dilakukan di Laboratorim proses produksi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.15: Pengujian Tarik Spesimen dengan Serat dan Tanpa Serat yang Berlubang dengan Diameter Lubang yang Bervariasi, Serta Spesimen yang Tidak Berserat dan Tidak Berdiameter lubang, Menggunakan Alat Bantu JIG

### 3.7.1. Proses Pengujian

- a) Menyediakan peralatan dan bahan yang akan digunakan untuk melakukan pengujian.
- b) Menghubungkan komputer dengan *Loadcell*.
- c) Memasang cekam pada mesin uji tarik.
- d) Mengukur panjang awal spesimen sebelum diuji.
- e) Memasang spesimen pada cekam atas dan mengunci baut cekamnya agar spesimen tidak lepas lagi.
- f) Menghidupkan mesin uji tarik.
- g) Menurunkan hidroulik agar spesimen bisa dipasang pada pencekam dibawah.
- h) Mengunci baut pencekam bawah.
- i) Setelah terpasang, mengatur tombol *switch* mesin uji tarik dengan alur naik.
- j) Memutar dimmer dengan ketentuan yang ada.
- k) Mengkoneksikan pembacaan *loadcell* lalu lakukan pengujian pada spesimen.
- l) Menekan tuas penggerak hidroulik ke bawah.
- m) Melihat data pengujian pada pc, yaitu tegangan maksimum pada saat spesimen putus.
- n) Setelah spesimen putus, tuas penggerak dilepaskan.
- o) Mesin uji tarik dimatikan, tekan tombol *off* dan putuskan pembacaan pada software.
- p) Melepaskan spesimen dari pencekam atas dan bawah.

- q) Menyimpan file data pengujian pada pc.
- r) Mengukur dimensi spesimen setelah diuji.
- s) Setelah selesai melaksanakan pengujian, kembalikan peralatan ke tempat semula.

Pada pengujian ini, spesimen yang dibuat sebanyak 15 buah, yaitu 7 buah spesimen menggunakan serat kayu dan berdiameter lubang, 7 buah spesimen tanpa menggunakan serat kayu tetapi berdiameter lubang, serta 1 buah spesimen lagi tanpa menggunakan serat kayu dan tanpa diameter lubang.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Pembuatan

##### 4.1.1. Pembuatan Spesimen Berdasarkan Hasil Perbandingan (d/w)

Tabel 4.1: Perbandingan Spesimen d/w (mm)

| No. | d/w (mm) | d (mm) | w (mm) |
|-----|----------|--------|--------|
| 1.  | 0,1      | 3      | 30     |
| 2.  | 0,2      | 6      | 30     |
| 3.  | 0,3      | 9      | 30     |
| 4.  | 0,4      | 12     | 30     |
| 5.  | 0,5      | 15     | 30     |
| 6.  | 0,6      | 18     | 30     |
| 7.  | 0,7      | 21     | 30     |

- Hasil perbandingan d/w pada spesimen 1 :

$$d/w = 0,1$$

$$d/30 = 0,1$$

$$d = 0,1 \times 30$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

- Hasil perbandingan d/w pada spesimen 2 :

$$d/w = 0,2$$

$$d/30 = 0,2$$

$$d = 0,2 \times 30$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

- **Hasil perbandingan d/w pada spesimen 3 :**

$$d/w = 0,3$$

$$d/30 = 0,3$$

$$d = 0,3 \times 30$$

$$d = 9 \text{ mm}$$

- **Hasil perbandingan d/w pada spesimen 4 :**

$$d/w = 0,4$$

$$d/30 = 0,4$$

$$d = 0,4 \times 30$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

- **Hasil perbandingan d/w pada spesimen 5 :**

$$d/w = 0,5$$

$$d/30 = 0,5$$

$$d = 0,5 \times 30$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

- **Hasil perbandingan d/w pada spesimen 6 :**

$$d/w = 0,6$$

$$d/30 = 0,6$$

$$d = 0,6 \times 30$$

$$d = 18 \text{ mm}$$

- **Hasil perbandingan d/w pada spesimen 7 :**

$$d/w = 0,7$$

$$d/30 = 0,7$$

$$d = 0,7 \times 30$$

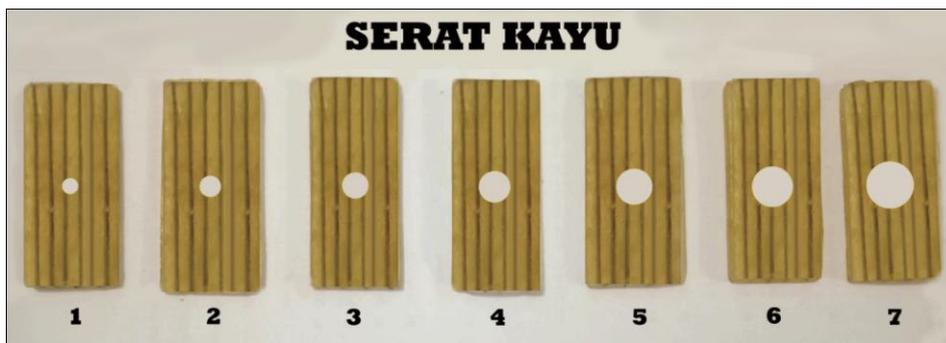
$$d = 21 \text{ mm}$$

#### 4.1.2. Hasil Pembuatan Spesimen

Setelah dilakukan proses pembuatan bahan komposit spesimen, maka hasilnya dapat dilihat di bawah ini :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1: Spesimen Sebelum Pengujian : (a) Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang, (b) Spesimen dengan Serat Kayu dan Berdiameter Lubang, (c) Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Berdiameter Lubang

Setelah dilakukan proses pengujian, maka spesimen menjadi patah, seperti terlihat di bawah ini :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 : Spesimen Setelah Pengujian : (a) Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang, (b) Spesimen dengan Serat Kayu dan Berdiameter Lubang, (c) Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Berdiameter Lubang

## 4.2. Hasil Pengujian Tarik

### 4.2.1. Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pertama (Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang)

Setelah dilakukan pengujian, maka didapat grafik beban tarik yang dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pertama ( Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang)

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan dari lima belas spesimen dengan 3 jenis spesimen menyatakan bahwa spesimen tanpa serat kayu dan tanpa diameter lubang memiliki nilai beban tertinggi sebesar 10 kg.

**Konsentrasi Tegangan Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang Berdasarkan Tegangan spesimen dengan Serat Kayu dan Berdiameter Lubang Serta Spesimen Tanpa Serat Kayu dan Berdiameter Lubang**

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0}$$

**Ket :**  $K_t$  = Faktor Konsentrasi Tegangan

$\sigma_{\max}$  = Tegangan Normal Maksimum (MPa)

$\sigma_0$  = Tegangan Nominal / Tegangan Rata-Rata Pada Penampang Benda (MPa)

- **Hasil Perhitungan Konsentrasi Tegangan pada Spesimen Serat Kayu yang Berdiameter Lubang**

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} \quad \longrightarrow \quad A = p \times l = 30 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 150 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_0 = \frac{10 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = \mathbf{0,65 \text{ MPa}}$$

**a. Spesimen 1 :  $\sigma_{\max} = 8,17 \text{ kg}$**

$$\sigma_{\max} = \frac{8,17 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,53 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,53}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,81 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

b. **Spesimen 2** :  $\sigma_{\max} = 7,16 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{7,16 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,46 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,46}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,70 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

c. **Spesimen 3** :  $\sigma_{\max} = 6,14 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{6,14 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,40 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,40}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,61 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

d. **Spesimen 4** :  $\sigma_{\max} = 5,13 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{5,13 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,33 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,33}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,50 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

e. **Spesimen 5** :  $\sigma_{\max} = 4,10 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{4,10 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,26 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,26}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,40 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

f. **Spesimen 6** :  $\sigma_{\max} = 3,08 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{3,08 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,20 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,20}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,30 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

g. **Spesimen 7** :  $\sigma_{\max} = 2,57 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{2,57 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,16 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,16}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,24 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- Hasil Perhitungan Konsentrasi Tegangan pada Spesimen Tanpa Serat

**Kayu yang Berdiameter Lubang :**

- a. Spesimen 1 :  $\sigma_{\max} = 2,31$  kg**

$$\sigma_{\max} = \frac{2,31 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,15}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,23 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- b. Spesimen 2 :  $\sigma_{\max} = 2,20$  kg**

$$\sigma_{\max} = \frac{2,20 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,14 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,14}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,21 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- c. Spesimen 3 :  $\sigma_{\max} = 2,0$  kg**

$$\sigma_{\max} = \frac{2,0 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,13 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,13}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,20 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

d. **Spesimen 4** :  $\sigma_{\max} = 1,97 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{1,97 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,12 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,12}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,18 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

e. **Spesimen 5** :  $\sigma_{\max} = 1,52 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{1,52 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,09 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,09}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,13 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

f. **Spesimen 6** :  $\sigma_{\max} = 1,32 \text{ kg}$

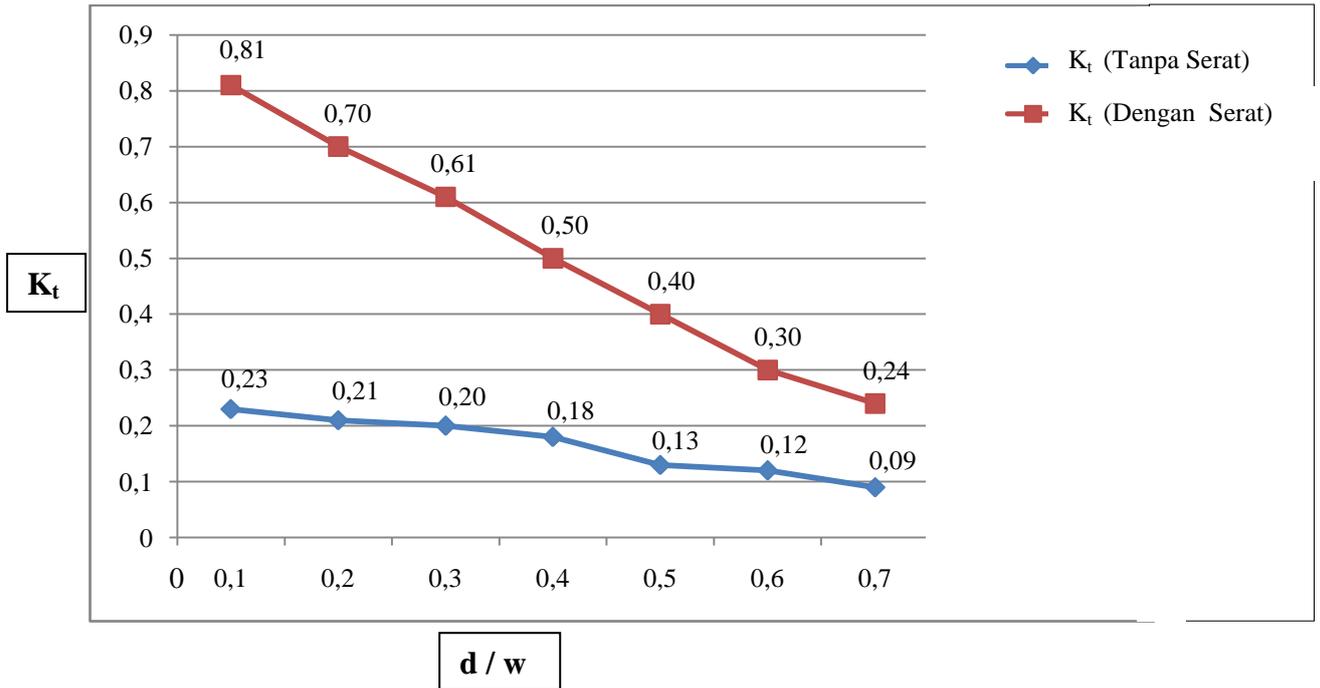
$$\sigma_{\max} = \frac{1,32 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,08 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \\ &= \frac{0,08}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,12 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

g. **Spesimen 7** :  $\sigma_{\max} = 1,0 \text{ kg}$

$$\sigma_{\max} = \frac{1,0 \times 9,8 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} = \frac{0,06}{0,65} \text{ MPa} \\ &= \mathbf{0,09 \text{ MPa}} \end{aligned}$$



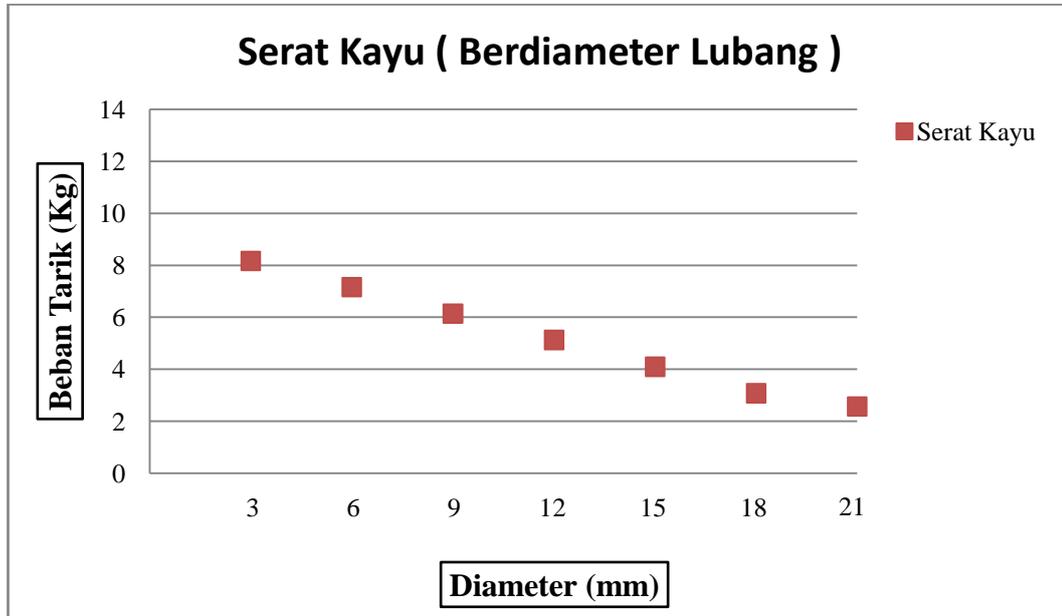
Gambar 4.4. Grafik Hasil Perhitungan Konsentrasi Tegangan pada Spesimen dengan Serat Kayu dan Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang

Tabel 4.2 :  $\sigma_{max}$  dan  $\sigma_0$  Lima Belas (15) Spesimen

| NO. | SPEKIMEN  | $\sigma_{max}$                   | $\sigma_0$ | $K_t$    |
|-----|---|----------------------------------|------------|----------|
| 1.  | Spesimen 1 → Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang | -                                | 0,65 MPa   | -        |
| 2.  | Spesimen 2-8 } Dengan Serat Kayu                        | 0,53 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,81 MPa |
| 3.  |   | 0,46 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,70 MPa |
| 4.  |   | 0,40 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,61 MPa |
| 5.  |   | 0,33 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,50 MPa |
| 6.  |   | 0,26 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,40 MPa |
| 7.  |   | 0,20 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,30 MPa |
| 8.  |   | 0,16 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,24 MPa |
| 9.  |   | Spesimen 9-15 } Tanpa Serat Kayu | 0,15 MPa   | 0,65 MPa |
| 10. | 0,14 MPa  |                                  | 0,65 MPa   | 0,21 MPa |
| 11. | 0,13 MPa  |                                  | 0,65 MPa   | 0,20 MPa |
| 12. | 0,12 MPa  |                                  | 0,65 MPa   | 0,18 MPa |
| 13. | 0,09 MPa  |                                  | 0,65 MPa   | 0,13 MPa |
| 14. | 0,08 MPa  |                                  | 0,65 MPa   | 0,12 MPa |
| 15. | Spesimen 15   | 0,06 MPa                         | 0,65 MPa   | 0,09 MPa |

#### 4.2.2. Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Kedua ( Spesimen dengan Serat Kayu yang Berdiameter Lubang )

Setelah dilakukan pengujian, didapat grafik beban tarik yang dapat dilihat di bawah ini :

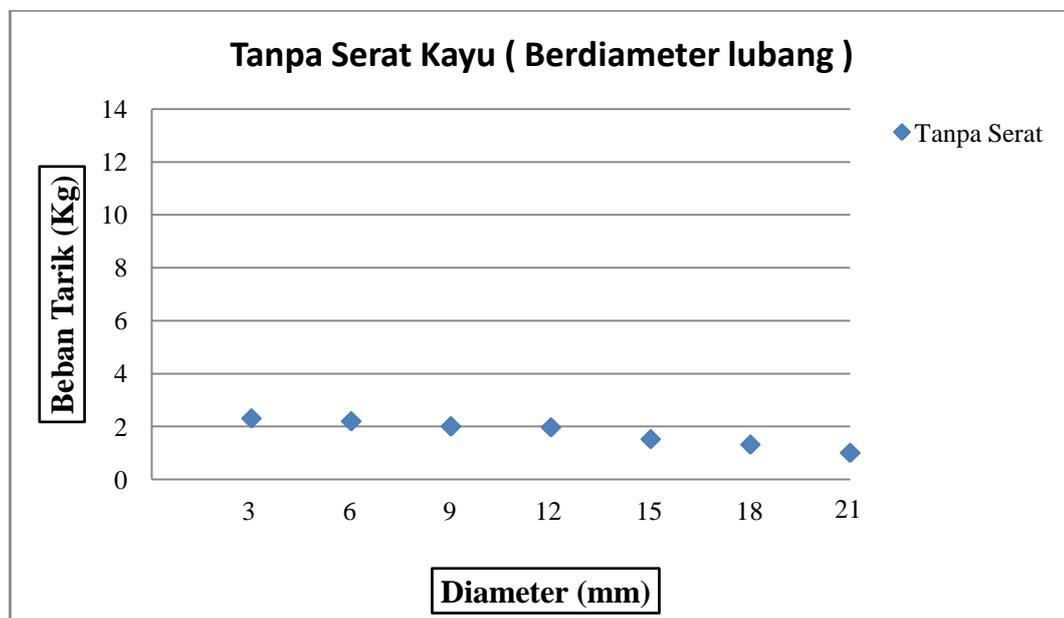


Gambar 4.5. Grafik Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Kedua ( Spesimen dengan Serat Kayu yang Berdiameter Lubang )

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan dari lima belas spesimen dengan 3 jenis spesimen dan 7 diameter lubang yang berbeda dengan hasil pengujian menyatakan bahwa spesimen serat kayu yang berdiameter Lubang memiliki nilai beban sebagai berikut : Pada diameter 3 mm (8,17 kg ), diameter 6 mm (7,16 kg), diameter 9 mm (6,14 kg), diameter 12 mm (5,13 kg), diameter 15 mm (4,10 kg), diameter 18 mm (3,08 kg) dan pada diameter 21 mm (2,57 kg). Pengujian dengan hasil yang menurun diakibatkan karena spesimen memiliki ketidaksempurnaan seperti gelembung-gelembung udara, sehingga saat pengujian mendapatkan hasil yang menurun.

#### 4.2.3. Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Ketiga ( Spesimen Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang)

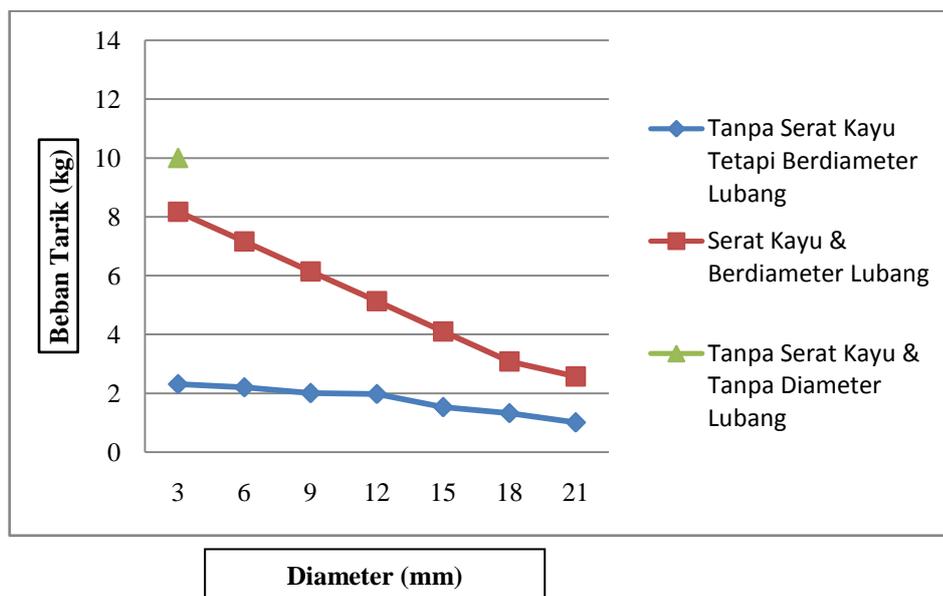
Dari hasil pengujian dapat disimpulkan dari lima belas spesimen dengan 3 jenis spesimen dan 7 diameter lubang yang berbeda dengan hasil pengujian menyatakan bahwa spesimen tanpa serat kayu yang berdiameter lubang memiliki nilai beban terendah. Pada diameter 3 mm (2,31 kg), diameter 6 mm (2,20 kg), diameter 9 mm (2,0 kg), diameter 12 mm (1,97 kg), diameter 15 mm (1,52 kg), diameter 18 mm (1,32 kg) dan pada diameter 21 mm (1,0 kg). Pengujian dengan hasil yang menurun diakibatkan karena spesimen memiliki ketidaksempurnaan seperti adanya gelembung-gelembung udara, sehingga saat pengujian mendapatkan hasil yang menurun.



Gambar 4.6: Grafik Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Ketiga ( Spesimen Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang )

### 4.3. Evaluasi Hasil Pengujian

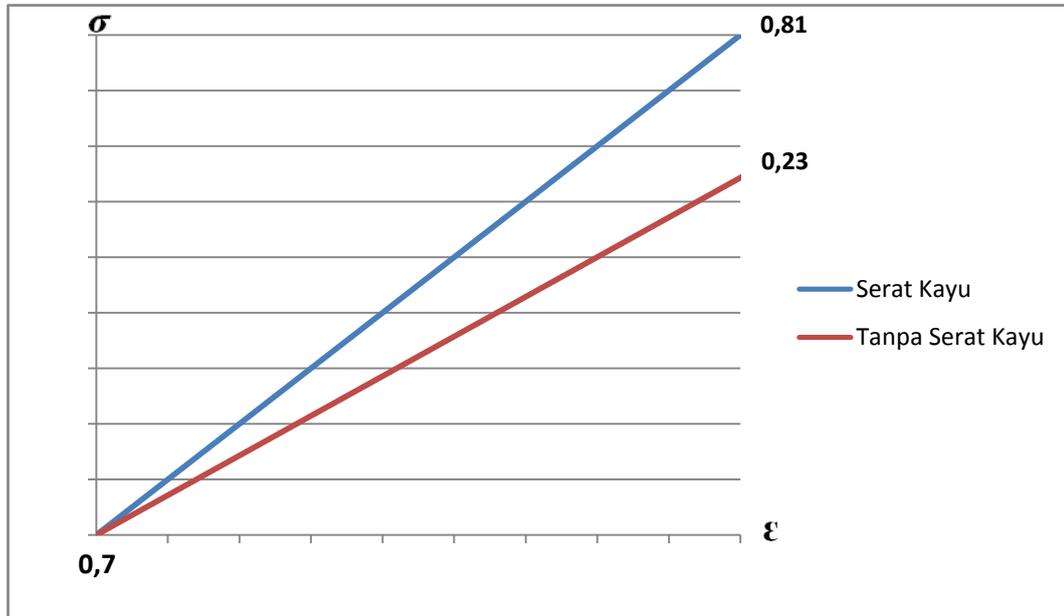
Setelah dilakukan pengujian dari beberapa spesimen, dapat disimpulkan bahwa spesimen tanpa serat kayu dan tanpa diameter lubang memiliki beban tarik tertinggi daripada spesimen dengan serat kayu berdiameter lubang dan spesimen tanpa serat kayu berdiameter lubang. Dari evaluasi pada pengujian tarik ini bahwa pengujian yang dilakukan terhadap setiap spesimen memiliki nilai beban yang tidak sama walaupun dengan diameter yang sama. Pada pengujian dengan nilai yang semakin menurun diakibatkan karena spesimen memiliki ketidaksempurnaan seperti adanya gelembung-gelembung udara, sehingga saat pengujian mendapatkan hasil yang menurun. Hasil dari seluruh pengujian dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 4.7: Grafik Evaluasi Hasil Pengujian

Pada gambar di atas, komposit resin tanpa serat kayu dan tanpa diameter lubang memiliki beban tarik tertinggi sebesar 10 kg dari ketiga spesimen pengujian dan diikuti dengan serat kayu memiliki beban tarik sebesar 8,17 kg serta komposit resin tanpa serat kayu yang memiliki beban tarik sebesar 2,31 kg.

**Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Regangan pada Spesimen  
Komposit Serat Kayu Berdiameter Lubang Serta Spesimen Komposit Tanpa  
Serat Kayu yang Berdiameter Lubang**



Gambar 4.8: Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Regangan pada Spesimen Komposit Serat Kayu dan Berdiameter Lubang Serta Spesimen Komposit Tanpa Serat Kayu yang Berdiameter Lubang

Dari grafik di atas, untuk tegangan yang sama dan pada diameter yang sama, regangan pada serat kayu lebih tinggi daripada tanpa serat kayu. Perbandingan tegangan terhadap regangan dapat dilihat pada persentase di bawah ini :

$$\frac{0,81}{0,23} \times 100 \% = 3,52 \%$$

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan pengujian pada setiap spesimen dapat disimpulkan :

Spesimen tanpa serat kayu dan tanpa diameter lubang memiliki kekuatan tarik atau beban tarik tertinggi daripada spesimen dengan serat kayu yang berdiameter lubang dan spesimen tanpa serat kayu yang berdiameter lubang, dan hasil pengujian dengan nilai beban tarik yang didapat semakin menurun diakibatkan karena spesimen memiliki ketidaksempurnaan seperti tampaknya gelembung-gelembung udara yang terperangkap, serta semakin besar diameter lubang yang digunakan pada proses pengujian tarik, maka semakin rendah beban yang dihasilkan.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk peneliti selanjutnya agar dapat mengubah desain motor penggerak diganti dengan motor servo agar kecepatannya lebih konstan.
2. Untuk peneliti selanjutnya agar dapat menambah pembacaan data pada software yang sudah ada sehingga dapat mengetahui regangan yang terjadi.
3. Untuk penelitian selanjutnya, serat penguat pada bahan komposit diubah, agar data lebih bervariasi.
4. Untuk penelitian selanjutnya, metode pada penempatan serat komposit lebih divariasikan agar nilai pada setiap metode dapat diketahui.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 2013. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- B. Maryanti, A. A. Sonief dan S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Polyester terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang* : Vol.2 (2) 123-129, ISSN 0216-468X : Malang.
- FAO. 1958. *Fibre Board and Other Particle Board*. FAO. UN. Rome. **Dalam** : Sulastiningsih. I. M., Paribotro. S., Rozak, M. 1987. *Pedoman Pengujian Papan Partikel. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan. C. V. Bina Karya : Jakarta.
- F, D. J. 1991. *Experimental Stress Analysis*. Tokyo.: McGraw-Hill
- Feldman, Dorel. 1995. *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Gibson, R.F. 1994. *Principles of Composites Material Mechanics*. New York: Mc. Graw Hill Inc.
- Hadi, Y. S., H. Gunawan dan S. Danu. 1992. *Pengaruh konsentrasi epoksi akrilat dan jenis radiasi terhadap sifat permukaan papan partikel*. Buletin Jurusan Teknologi Hasil Hutan. 5 : 10-15.
- Haygreen, J. G., dan J. L. Bowyer . 1989. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu. Suatu Pengantar*. Gajah Mada University Press : Yogyakarta.
- Iskandar, M. I. 2006. *Proses Pembuatan Papan Partikel, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan* : Bogor.
- Massijaya, M . Y, Y.S. Hadi, B. Tambunan, E.S. Bakar, W . A .Subari . 2000. *Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Komponen Bahan Baku Papan Partikel*. Jurnal Teknologi Hasil Hutan.XIII (2):18-24.
- Schwartz, M.M. 1984. *Composite Material Handbook*. New York: Mc. Graw Hill.
- Standart Nasional Indonesia 2006. SNI Mutu Papan Partikel SNI 03-2105-2006. Dewan Standardisasi Nasional-DSN.
- Sugiyono, 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung : Alfabeta.
- Surdia, Tata dan Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik (Cetakan Ke Empat)*. Jakarta : Pradnya Paramita.

## **SUMBER INTERNET :**

<http://bp1.blogger.com/Fibrous+Composites.bmp>  
(Diakses : Sabtu, 9 September 2017, Pukul : 04:00)

[https://s.kaskus.id/images/2013/12/11/5705231\\_20131211084803.png](https://s.kaskus.id/images/2013/12/11/5705231_20131211084803.png)  
(Diakses : Sabtu, 9 September 2017, Pukul : 04:05)

<http://4.bp.blogspot.com/komposit+partikel.jpg>  
(Diakses : Sabtu, 9 September 2017, Pukul : 04:10)

<http://www.efunda.com/composites/ContinuousFiber.gif>  
(Diakses : Minggu, 10 September 2017, Pukul : 05:00)

<http://www.efunda.com/composites/ContinuousFiber.gif>  
(Diakses : Minggu, 10 September 2017, Pukul : 05:05)

<https://www.researchgate.net/Figure-1-Different-types-of-discontinuous-fiber-reinforcement.png>  
(Diakses : Minggu, 10 September 2017, Pukul : 05:10)

<http://4.bp.blogspot.com/.JPG>  
(Diakses : Minggu, 10 September 2017, Pukul : 05:13)

# LAMPIRAN

**Hasil Data Percobaan pada Saat Pengujian Mesin Uji Tarik**  
**Tanpa Serat Kayu dan Tanpa Diameter Lubang**

| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
|----------|-------------|------------|----------|
| 11:45:12 | 59952.99    | 0.018367   | 0.18     |
| 11:45:13 | 59953.06    | 0.018367   | 0.18     |
| 11:45:13 | 59953.14    | 0.018367   | 0.18     |
| 11:45:13 | 59953.23    | 0.018367   | 0.18     |
| 11:45:13 | 59953.32    | 0.018367   | 0.18     |
| 11:45:13 | 59953.39    | 0.018367   | 0.18     |
| 11:45:13 | 59953.48    | 0.828571   | 8.12     |
| 11:45:13 | 59953.57    | 1.581633   | 15.5     |
| 11:45:13 | 59953.66    | 4.102041   | 40.2     |
| 11:45:13 | 59953.73    | 2.112245   | 20.7     |
| 11:45:13 | 59953.77    | 10         | 98       |
| 11:45:13 | 59953.91    | 0.928571   | 9.1      |
| 11:45:13 | 59953.98    | 0.765306   | 7.5      |
| 11:45:14 | 59954.07    | 0.306122   | 3        |
| 11:45:14 | 59954.16    | 0.908163   | 8.9      |
| 11:45:14 | 59954.23    | 0.918367   | 9        |
| 11:45:14 | 59954.32    | 0.734694   | 7.2      |
| 11:45:14 | 59954.45    | 0.826531   | 8.1      |
| 11:45:14 | 59954.49    | 0.510204   | 5        |
| 11:45:14 | 59954.57    | 0.510204   | 5        |
| 11:45:14 | 59954.66    | 0.510204   | 5        |
| 11:45:14 | 59954.74    | 0.510204   | 5        |
| 11:45:14 | 59954.83    | 0.510204   | 5        |
| 11:45:14 | 59954.91    | 0.510204   | 5        |
| 11:45:14 | 59954.99    | 0.510204   | 5        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 11:45:15 | 59955.08 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.16 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.25 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.33 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.41 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.50 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.58 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.67 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.75 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.83 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.92 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:15 | 59955.99 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.08 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.17 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.25 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.34 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.42 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.50 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.59 | 0.459184 | 4.5 |
| 11:45:16 | 59956.67 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.76 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.84 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:16 | 59956.94 | 0.459184 | 4.5 |
| 11:45:16 | 59956.99 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:17 | 59957.09 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:17 | 59957.19 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:17 | 59957.26 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:17 | 59957.36 | 0.510204 | 5   |
| 11:45:17 | 59957.44 | 0.510204 | 5   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 11:45:17 | 59957.51 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:17 | 59957.61 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:17 | 59957.69 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:17 | 59957.76 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:17 | 59957.86 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:17 | 59957.94 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:17 | 59958.03 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.10 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.18 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.28 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.35 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.45 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.53 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.60 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.70 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.78 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.87 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59958.95 | 0.510204 | 5 |
| 11:45:18 | 59959.03 | 0.510204 | 5 |

**Hasil Data Percobaan pada Saat Pengujian Mesin Uji Tarik  
dengan Serat Kayu dan Berdiameter Lubang**

|          | Diameter       | 3 mm          |             |
|----------|----------------|---------------|-------------|
| Time     | Timer<br>(sec) | Beban<br>(KG) | Gaya<br>(N) |
| 14:40:11 | 58952.99       | 0.012245      | 0.12        |
| 14:40:12 | 58953.05       | 0.012245      | 0.12        |
| 14:40:12 | 58953.13       | 0.012245      | 0.12        |
| 14:40:12 | 58953.22       | 0.012245      | 0.12        |
| 14:40:12 | 58953.31       | 0.012245      | 0.12        |
| 14:40:12 | 58953.38       | 0.012245      | 0.12        |
| 14:40:12 | 58953.47       | 0.726531      | 7.12        |
| 14:40:12 | 58953.56       | 1.377551      | 13.5        |
| 14:40:12 | 58953.65       | 1.867347      | 18.3        |
| 14:40:12 | 58953.72       | 1.918367      | 18.8        |
| 14:40:12 | 58953.81       | 0.734694      | 7.2         |
| 14:40:12 | 58953.90       | 0.438776      | 4.3         |
| 14:40:12 | 58953.97       | 0.795918      | 7.8         |
| 14:40:13 | 58954.06       | 0.714286      | 7           |
| 14:40:13 | 58954.15       | 0.387755      | 3.8         |
| 14:40:13 | 58954.22       | 0.520408      | 5.1         |
| 14:40:13 | 58954.31       | 0.489796      | 4.8         |
| 14:40:13 | 58954.40       | 0.336735      | 3.3         |
| 14:40:13 | 58954.48       | 8.173469      | 80.1        |
| 14:40:13 | 58954.56       | 0.255102      | 2.5         |
| 14:40:13 | 58954.65       | 0.255102      | 2.5         |
| 14:40:13 | 58954.73       | 0.255102      | 2.5         |
| 14:40:13 | 58954.82       | 0.408163      | 4           |
| 14:40:13 | 58954.90       | 0.408163      | 4           |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 14:40:13 | 58954.98 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.07 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.15 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.24 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.32 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.40 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.49 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.57 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.66 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.74 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.82 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.91 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:14 | 58955.99 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.07 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.16 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.24 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.33 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.41 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.49 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.58 | 0.255102 | 2.5 |
| 14:40:15 | 58956.66 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.75 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.83 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:15 | 58956.93 | 0.255102 | 2.5 |
| 14:40:15 | 58956.99 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:16 | 58957.08 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:16 | 58957.18 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:16 | 58957.25 | 0.408163 | 4   |
| 14:40:16 | 58957.35 | 0.408163 | 4   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 14:40:16 | 58957.43 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58957.50 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58957.60 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58957.68 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58957.75 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58957.85 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58957.93 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:16 | 58958.02 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.09 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.17 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.27 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.34 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.44 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.52 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.59 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.69 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.77 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.86 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58958.94 | 0.408163 | 4 |
| 14:40:17 | 58959.02 | 0.408163 | 4 |

|          | Diameter    | 6 mm       |          |
|----------|-------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 15:30:10 | 57952.98    | 0.081633   | 0.8      |
| 15:30:11 | 57952.04    | 0.081633   | 0.8      |
| 15:30:11 | 57952.12    | 0.081633   | 0.8      |
| 15:30:11 | 57952.21    | 0.081633   | 0.8      |
| 15:30:11 | 57952.30    | 0.081633   | 0.8      |
| 15:30:11 | 57952.37    | 0.081633   | 0.8      |
| 15:30:11 | 57952.46    | 0.469388   | 4.6      |
| 15:30:11 | 57952.55    | 1.071429   | 10.5     |
| 15:30:11 | 57952.64    | 1.765306   | 17.3     |
| 15:30:11 | 57952.71    | 1.612245   | 15.8     |
| 15:30:11 | 57953.80    | 0.632653   | 6.2      |
| 15:30:11 | 57953.89    | 0.428571   | 4.2      |
| 15:30:11 | 57953.96    | 0.581633   | 5.7      |
| 15:30:12 | 57954.05    | 0.510204   | 5        |
| 15:30:12 | 57954.14    | 0.367347   | 3.6      |
| 15:30:12 | 57954.21    | 7.163265   | 70.2     |
| 15:30:12 | 57954.30    | 0.469388   | 4.6      |
| 15:30:12 | 57954.39    | 0.326531   | 3.2      |
| 15:30:12 | 57954.47    | 0.326531   | 3.2      |
| 15:30:12 | 57954.55    | 0.234694   | 2.3      |
| 15:30:12 | 57954.64    | 0.234694   | 2.3      |
| 15:30:12 | 57954.72    | 0.234694   | 2.3      |
| 15:30:12 | 57954.81    | 0.306122   | 3        |
| 15:30:12 | 57954.89    | 0.306122   | 3        |
| 15:30:12 | 57954.97    | 0.306122   | 3        |
| 15:30:13 | 57955.06    | 0.306122   | 3        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 15:30:13 | 57955.14 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.23 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.31 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.39 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.48 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.56 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.65 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.73 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.81 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.90 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:13 | 57955.98 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.06 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.15 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.23 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.32 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.40 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.48 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.57 | 0.234694 | 2.3 |
| 15:30:14 | 57956.65 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.74 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.82 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:14 | 57956.92 | 0.234694 | 2.3 |
| 15:30:14 | 57956.99 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:15 | 57957.07 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:15 | 57957.17 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:15 | 57957.24 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:15 | 57957.34 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:15 | 57957.42 | 0.306122 | 3   |
| 15:30:15 | 57957.49 | 0.306122 | 3   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 15:30:15 | 57957.59 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:15 | 57957.67 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:15 | 57957.74 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:15 | 57957.84 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:15 | 57957.92 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:15 | 57958.01 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.08 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.16 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.26 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.33 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.43 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.51 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.58 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.68 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.76 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.85 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57958.93 | 0.306122 | 3 |
| 15:30:16 | 57959.01 | 0.306122 | 3 |

|          | Diameter    | 9 mm       |          |
|----------|-------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 15:49:12 | 56952.97    | 0.040816   | 0.4      |
| 15:49:13 | 56953.03    | 0.040816   | 0.4      |
| 15:49:13 | 56953.11    | 0.040816   | 0.4      |
| 15:49:13 | 56953.20    | 0.040816   | 0.4      |
| 15:49:13 | 56953.29    | 0.040816   | 0.4      |
| 15:49:13 | 56953.36    | 0.040816   | 0.4      |
| 15:49:13 | 56953.45    | 0.122449   | 1.2      |
| 15:49:13 | 56953.54    | 0.765306   | 7.5      |
| 15:49:13 | 56953.63    | 6.142857   | 60.2     |
| 15:49:13 | 56953.70    | 1.306122   | 12.8     |
| 15:49:13 | 56953.79    | 0.530612   | 5.2      |
| 15:49:13 | 56953.88    | 0.418367   | 4.1      |
| 15:49:13 | 56953.95    | 0.367347   | 3.6      |
| 15:49:14 | 56954.04    | 0.306122   | 3        |
| 15:49:14 | 56954.13    | 0.346939   | 3.4      |
| 15:49:14 | 56954.20    | 0.418367   | 4.1      |
| 15:49:14 | 56954.29    | 0.44898    | 4.4      |
| 15:49:14 | 56954.38    | 0.316327   | 3.1      |
| 15:49:14 | 56954.46    | 0.22449    | 2.2      |
| 15:49:14 | 56954.54    | 0.214286   | 2.1      |
| 15:49:14 | 56954.63    | 0.214286   | 2.1      |
| 15:49:14 | 56954.71    | 0.214286   | 2.1      |
| 15:49:14 | 56954.80    | 0.204082   | 2        |
| 15:49:14 | 56954.88    | 0.204082   | 2        |
| 15:49:14 | 56954.96    | 0.204082   | 2        |
| 15:49:15 | 56955.05    | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 15:49:15 | 56955.13 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.22 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.30 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.38 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.47 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.55 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.64 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.72 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.80 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.89 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:15 | 56955.97 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.05 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.14 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.22 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.31 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.39 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.47 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.56 | 0.214286 | 2.1 |
| 15:49:16 | 56956.64 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.73 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.81 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:16 | 56956.91 | 0.214286 | 2.1 |
| 15:49:16 | 56956.98 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:17 | 56957.06 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:17 | 56957.16 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:17 | 56957.23 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:17 | 56957.33 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:17 | 56957.41 | 0.204082 | 2   |
| 15:49:17 | 56957.48 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 15:49:17 | 56957.58 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:17 | 56957.66 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:17 | 56957.73 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:17 | 56957.83 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:17 | 56957.91 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:17 | 56958.00 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.07 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.15 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.25 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.32 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.42 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.50 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.57 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.67 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.75 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.84 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56958.92 | 0.204082 | 2 |
| 15:49:18 | 56959.00 | 0.204082 | 2 |

|          | Diameter 12 mm |            |          |
|----------|----------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec)    | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 16:49:12 | 55952.96       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:49:13 | 55953.02       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:49:13 | 55953.10       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:49:13 | 55953.19       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:49:13 | 55953.28       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:49:13 | 55953.35       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:49:13 | 55953.44       | 0.112245   | 1.1      |
| 16:49:13 | 55953.53       | 0.765306   | 7.5      |
| 16:49:13 | 55953.62       | 1.204082   | 11.8     |
| 16:49:13 | 55953.69       | 5.132653   | 50.3     |
| 16:49:13 | 55953.78       | 0.520408   | 5.1      |
| 16:49:13 | 55953.87       | 0.316327   | 3.1      |
| 16:49:13 | 55953.94       | 0.367347   | 3.6      |
| 16:49:14 | 55954.03       | 0.336735   | 3.3      |
| 16:49:14 | 55954.12       | 0.336735   | 3.3      |
| 16:49:14 | 55954.19       | 0.397959   | 3.9      |
| 16:49:14 | 55954.28       | 0.438776   | 4.3      |
| 16:49:14 | 55954.37       | 0.295918   | 2.9      |
| 16:49:14 | 55954.45       | 0.214286   | 2.1      |
| 16:49:14 | 55954.53       | 0.214286   | 2.1      |
| 16:49:14 | 55954.62       | 0.214286   | 2.1      |
| 16:49:14 | 55954.70       | 0.214286   | 2.1      |
| 16:49:14 | 55954.79       | 0.204082   | 2        |
| 16:49:14 | 55954.87       | 0.204082   | 2        |
| 16:49:14 | 55954.95       | 0.204082   | 2        |
| 16:49:15 | 55955.04       | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 16:49:15 | 55955.12 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.21 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.29 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.37 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.46 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.54 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.63 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.71 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.79 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.88 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:15 | 55955.96 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.04 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.13 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.21 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.30 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.38 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.46 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.55 | 0.214286 | 2.1 |
| 16:49:16 | 55956.63 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.72 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.80 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:16 | 55956.90 | 0.214286 | 2.1 |
| 16:49:16 | 55956.97 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:17 | 55957.05 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:17 | 55957.15 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:17 | 55957.22 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:17 | 55957.32 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:17 | 55957.40 | 0.204082 | 2   |
| 16:49:17 | 55957.47 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 16:49:17 | 55957.57 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:17 | 55957.65 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:17 | 55957.72 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:17 | 55957.82 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:17 | 55957.90 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:17 | 55958.00 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.05 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.14 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.24 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.31 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.41 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.49 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.48 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.47 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.74 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.83 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55958.91 | 0.204082 | 2 |
| 16:49:18 | 55959.00 | 0.204082 | 2 |

|          | Diameter 15 mm |            |          |
|----------|----------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec)    | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 17:49:12 | 54952.95       | 0.030612   | 0.3      |
| 17:49:13 | 54953.01       | 0.030612   | 0.3      |
| 17:49:13 | 54953.09       | 0.030612   | 0.3      |
| 17:49:13 | 54953.18       | 0.040816   | 0.4      |
| 17:49:13 | 54953.27       | 0.040816   | 0.4      |
| 17:49:13 | 54953.34       | 0.040816   | 0.4      |
| 17:49:13 | 54953.43       | 0.112245   | 1.1      |
| 17:49:13 | 54953.52       | 0.755102   | 7.4      |
| 17:49:13 | 54953.61       | 4.102041   | 40.2     |
| 17:49:13 | 54953.68       | 1.091837   | 10.7     |
| 17:49:13 | 54953.77       | 0.418367   | 4.1      |
| 17:49:13 | 54953.86       | 0.214286   | 2.1      |
| 17:49:13 | 54953.93       | 0.357143   | 3.5      |
| 17:49:14 | 54954.02       | 0.306122   | 3        |
| 17:49:14 | 54954.11       | 0.326531   | 3.2      |
| 17:49:14 | 54954.18       | 0.387755   | 3.8      |
| 17:49:14 | 54954.27       | 0.428571   | 4.2      |
| 17:49:14 | 54954.36       | 0.285714   | 2.8      |
| 17:49:14 | 54954.44       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:14 | 54954.52       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:14 | 54954.61       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:14 | 54954.69       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:14 | 54954.78       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:14 | 54954.86       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:14 | 54954.94       | 0.204082   | 2        |
| 17:49:15 | 54955.03       | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 17:49:15 | 54955.11 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.20 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.28 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.36 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.45 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.53 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.62 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.70 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.78 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.87 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:15 | 54955.95 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.03 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.12 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.20 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.29 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.37 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.45 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.54 | 0.214286 | 2.1 |
| 17:49:16 | 54956.62 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.71 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.79 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:16 | 54956.89 | 0.214286 | 2.1 |
| 17:49:16 | 54956.96 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:17 | 54957.04 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:17 | 54957.14 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:17 | 54957.21 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:17 | 54957.31 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:17 | 54957.40 | 0.204082 | 2   |
| 17:49:17 | 54957.46 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 17:49:17 | 54957.56 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:17 | 54957.64 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:17 | 54957.71 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:17 | 54957.81 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:17 | 54957.89 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:17 | 54958.00 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.04 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.13 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.23 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.30 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.40 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.48 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.47 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.46 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.73 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.82 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54958.90 | 0.204082 | 2 |
| 17:49:18 | 54959.00 | 0.204082 | 2 |

| Diameter 18 mm |             |            |          |
|----------------|-------------|------------|----------|
| Time           | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 18:49:12       | 53952.94    | 0.020408   | 0.2      |
| 18:49:13       | 53953.01    | 0.020408   | 0.2      |
| 18:49:13       | 53953.08    | 0.020408   | 0.2      |
| 18:49:13       | 53953.17    | 0.020408   | 0.2      |
| 18:49:13       | 53953.26    | 0.020408   | 0.2      |
| 18:49:13       | 53953.33    | 0.020408   | 0.2      |
| 18:49:13       | 53953.42    | 0.102041   | 1        |
| 18:49:13       | 53953.51    | 0.744898   | 7.3      |
| 18:49:13       | 53953.60    | 0.530612   | 5.2      |
| 18:49:13       | 53953.67    | 1.306122   | 12.8     |
| 18:49:13       | 53953.76    | 0.408163   | 4        |
| 18:49:13       | 53953.85    | 0.204082   | 2        |
| 18:49:13       | 53953.92    | 3.081633   | 30.2     |
| 18:49:14       | 53954.01    | 0.295918   | 2.9      |
| 18:49:14       | 53954.10    | 0.316327   | 3.1      |
| 18:49:14       | 53954.17    | 0.377551   | 3.7      |
| 18:49:14       | 53954.28    | 0.418367   | 4.1      |
| 18:49:14       | 53954.35    | 0.295918   | 2.9      |
| 18:49:14       | 53954.43    | 0.22449    | 2.2      |
| 18:49:14       | 53954.51    | 0.22449    | 2.2      |
| 18:49:14       | 53954.60    | 0.22449    | 2.2      |
| 18:49:14       | 53954.68    | 0.22449    | 2.2      |
| 18:49:14       | 53954.77    | 0.204082   | 2        |
| 18:49:14       | 53954.85    | 0.204082   | 2        |
| 18:49:14       | 53954.93    | 0.204082   | 2        |
| 18:49:15       | 53955.02    | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 18:49:15 | 53955.12 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.19 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.27 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.35 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.44 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.52 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.61 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.69 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.77 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.86 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:15 | 53955.94 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.02 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.11 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.19 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.28 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.36 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.44 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.53 | 0.22449  | 2.2 |
| 18:49:16 | 53956.61 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.70 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.78 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:16 | 53956.88 | 0.22449  | 2.2 |
| 18:49:16 | 53956.95 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:17 | 53957.03 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:17 | 53957.13 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:17 | 53957.20 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:17 | 53957.30 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:17 | 53957.39 | 0.204082 | 2   |
| 18:49:17 | 53957.45 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 18:49:17 | 53957.55 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:17 | 53957.63 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:17 | 53957.70 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:17 | 53957.80 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:17 | 53957.88 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:17 | 53958.00 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.03 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.12 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.22 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.29 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.39 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.47 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.46 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.45 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.72 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.81 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53958.89 | 0.204082 | 2 |
| 18:49:18 | 53959.00 | 0.204082 | 2 |

|          | Diameter 21 mm |            |          |
|----------|----------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec)    | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 19:49:12 | 52952.93       | 0.010204   | 0.1      |
| 19:49:13 | 52953.00       | 0.010204   | 0.1      |
| 19:49:13 | 52953.07       | 0.010204   | 0.1      |
| 19:49:13 | 52953.16       | 0.010204   | 0.1      |
| 19:49:13 | 52953.25       | 0.010204   | 0.1      |
| 19:49:13 | 52953.32       | 0.010204   | 0.1      |
| 19:49:13 | 52953.41       | 0.102041   | 1        |
| 19:49:13 | 52953.50       | 0.734694   | 7.2      |
| 19:49:13 | 52953.59       | 2.571429   | 25.2     |
| 19:49:13 | 52953.66       | 1.204082   | 11.8     |
| 19:49:13 | 52953.75       | 0.397959   | 3.9      |
| 19:49:13 | 52953.84       | 0.204082   | 2        |
| 19:49:13 | 52953.91       | 0.346939   | 3.4      |
| 19:49:14 | 52954.00       | 0.285714   | 2.8      |
| 19:49:14 | 52954.09       | 0.306122   | 3        |
| 19:49:14 | 52954.16       | 0.367347   | 3.6      |
| 19:49:14 | 52954.27       | 0.408163   | 4        |
| 19:49:14 | 52954.34       | 0.285714   | 2.8      |
| 19:49:14 | 52954.42       | 0.214286   | 2.1      |
| 19:49:14 | 52954.50       | 0.214286   | 2.1      |
| 19:49:14 | 52954.59       | 0.214286   | 2.1      |
| 19:49:14 | 52954.67       | 0.214286   | 2.1      |
| 19:49:14 | 52954.76       | 0.204082   | 2        |
| 19:49:14 | 52954.84       | 0.204082   | 2        |
| 19:49:14 | 52954.92       | 0.204082   | 2        |
| 19:49:15 | 52955.01       | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 19:49:15 | 52955.11 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.18 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.26 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.34 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.43 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.51 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.60 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.68 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.76 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.85 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:15 | 52955.93 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.01 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.10 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.18 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.27 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.35 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.43 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.52 | 0.22449  | 2.2 |
| 19:49:16 | 52956.60 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.69 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.77 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:16 | 52956.87 | 0.22449  | 2.2 |
| 19:49:16 | 52956.94 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:17 | 52957.02 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:17 | 52957.12 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:17 | 52957.19 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:17 | 52957.29 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:17 | 52957.38 | 0.204082 | 2   |
| 19:49:17 | 52957.44 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 19:49:17 | 52957.54 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:17 | 52957.62 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:17 | 52957.69 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:17 | 52957.79 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:17 | 52957.87 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:17 | 52958.00 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.02 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.11 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.21 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.28 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.38 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.46 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.45 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.44 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.71 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.80 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52958.88 | 0.204082 | 2 |
| 19:49:18 | 52959.00 | 0.204082 | 2 |

**Hasil Data Percobaan pada Saat Pengujian Mesin Uji Tarik**  
**Tanpa Serat Kayu Tetapi Berdiameter Lubang**

|          | Diameter    | 3 mm       |          |
|----------|-------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 12:30:10 | 55851.88    | 0.011224   | 0.11     |
| 12:30:11 | 55852.05    | 0.011224   | 0.11     |
| 12:30:11 | 55852.12    | 0.011224   | 0.11     |
| 12:30:11 | 55852.21    | 0.011224   | 0.11     |
| 12:30:11 | 55852.20    | 0.011224   | 0.11     |
| 12:30:11 | 55852.37    | 0.011224   | 0.11     |
| 12:30:11 | 55852.36    | 0.72551    | 7.11     |
| 12:30:11 | 55852.45    | 1.367347   | 13.4     |
| 12:30:11 | 55852.54    | 1.857143   | 18.2     |
| 12:30:11 | 55852.60    | 1.908163   | 18.7     |
| 12:30:11 | 55852.70    | 0.72449    | 7.1      |
| 12:30:11 | 55852.81    | 0.428571   | 4.2      |
| 12:30:11 | 55852.86    | 0.785714   | 7.7      |
| 12:30:12 | 55853.04    | 0.612245   | 6        |
| 12:30:12 | 55853.12    | 0.377551   | 3.7      |
| 12:30:12 | 55853.19    | 0.520408   | 5.1      |
| 12:30:12 | 55853.29    | 2.316327   | 22.7     |
| 12:30:12 | 55853.37    | 0.326531   | 3.2      |
| 12:30:12 | 55853.44    | 0.346939   | 3.4      |
| 12:30:12 | 55853.50    | 0.244898   | 2.4      |
| 12:30:12 | 55853.54    | 0.244898   | 2.4      |
| 12:30:12 | 55853.63    | 0.244898   | 2.4      |
| 12:30:12 | 55853.79    | 0.306122   | 3        |
| 12:30:12 | 55853.85    | 0.306122   | 3        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 12:30:12 | 55853.88 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.04 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.11 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.20 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.30 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.35 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.45 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.54 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.63 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.71 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.79 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.89 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:13 | 55854.96 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.04 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.13 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.21 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.30 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.38 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.46 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.55 | 0.244898 | 2.4 |
| 12:30:14 | 55855.63 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.73 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.81 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:14 | 55855.90 | 0.244898 | 2.4 |
| 12:30:14 | 55855.97 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:15 | 55856.05 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:15 | 55856.15 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:15 | 55856.22 | 0.306122 | 3   |
| 12:30:15 | 55856.33 | 0.306122 | 3   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 12:30:15 | 55856.41 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55856.45 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55856.56 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55856.65 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55856.72 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55856.83 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55856.90 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:15 | 55857.01 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.05 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.15 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.24 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.32 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.42 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.50 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.56 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.67 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.75 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.84 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55857.92 | 0.306122 | 3 |
| 12:30:16 | 55858.01 | 0.306122 | 3 |

|          | Diameter    | 6 mm       |          |
|----------|-------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 13:15:10 | 54851.87    | 0.071429   | 0.7      |
| 13:15:11 | 54852.04    | 0.071429   | 0.7      |
| 13:15:11 | 54852.11    | 0.071429   | 0.7      |
| 13:15:11 | 54852.20    | 0.071429   | 0.7      |
| 13:15:11 | 54852.19    | 0.071429   | 0.7      |
| 13:15:11 | 54852.36    | 0.071429   | 0.7      |
| 13:15:11 | 54852.35    | 0.571429   | 5.6      |
| 13:15:11 | 54852.44    | 1.173469   | 11.5     |
| 13:15:11 | 54852.53    | 1.755102   | 17.2     |
| 13:15:11 | 54852.59    | 1.602041   | 15.7     |
| 13:15:11 | 54852.69    | 0.622449   | 6.1      |
| 13:15:11 | 54852.80    | 0.418367   | 4.1      |
| 13:15:11 | 54852.85    | 0.571429   | 5.6      |
| 13:15:12 | 54853.03    | 0.408163   | 4        |
| 13:15:12 | 54853.11    | 0.357143   | 3.5      |
| 13:15:12 | 54853.18    | 0.418367   | 4.1      |
| 13:15:12 | 54853.28    | 0.459184   | 4.5      |
| 13:15:12 | 54853.36    | 2.20       | 21.56    |
| 13:15:12 | 54853.43    | 0.316327   | 3.1      |
| 13:15:12 | 54853.49    | 0.22449    | 2.2      |
| 13:15:12 | 54853.53    | 0.22449    | 2.2      |
| 13:15:12 | 54853.62    | 0.22449    | 2.2      |
| 13:15:12 | 54853.78    | 0.306122   | 3        |
| 13:15:12 | 54853.84    | 0.306122   | 3        |
| 13:15:12 | 54853.87    | 0.306122   | 3        |
| 13:15:13 | 54854.03    | 0.306122   | 3        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 13:15:13 | 54854.10 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.19 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.29 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.34 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.44 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.53 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.62 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.70 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.78 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.88 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:13 | 54854.95 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.03 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.12 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.20 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.31 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.37 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.45 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.54 | 0.22449  | 2.2 |
| 13:15:14 | 54855.62 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.72 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.80 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:14 | 54855.89 | 0.22449  | 2.2 |
| 13:15:14 | 54855.96 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:15 | 54856.04 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:15 | 54856.14 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:15 | 54856.21 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:15 | 54856.32 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:15 | 54856.40 | 0.306122 | 3   |
| 13:15:15 | 54856.44 | 0.306122 | 3   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 13:15:15 | 54856.55 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:15 | 54856.64 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:15 | 54856.71 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:15 | 54856.82 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:15 | 54856.89 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:15 | 54857.01 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.04 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.14 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.23 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.31 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.41 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.49 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.55 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.66 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.74 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.83 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54857.91 | 0.306122 | 3 |
| 13:15:16 | 54858.01 | 0.306122 | 3 |

|          | Diameter    | 9 mm       |          |
|----------|-------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 14:45:10 | 53851.86    | 0.030612   | 0.3      |
| 14:45:11 | 53852.03    | 0.030612   | 0.3      |
| 14:45:11 | 53852.11    | 0.030612   | 0.3      |
| 14:45:11 | 53852.19    | 0.030612   | 0.3      |
| 14:45:11 | 53852.18    | 0.030612   | 0.3      |
| 14:45:11 | 53852.35    | 0.030612   | 0.3      |
| 14:45:11 | 53852.34    | 0.112245   | 1.1      |
| 14:45:11 | 53852.43    | 0.755102   | 7.4      |
| 14:45:11 | 53852.52    | 1.173469   | 11.5     |
| 14:45:11 | 53852.58    | 1.295918   | 12.7     |
| 14:45:11 | 53852.68    | 0.520408   | 5.1      |
| 14:45:11 | 53852.79    | 0.316327   | 3.1      |
| 14:45:11 | 53852.84    | 0.357143   | 3.5      |
| 14:45:12 | 53853.02    | 0.295918   | 2.9      |
| 14:45:12 | 53853.11    | 0.336735   | 3.3      |
| 14:45:12 | 53853.17    | 0.326531   | 3.2      |
| 14:45:12 | 53853.27    | 0.438776   | 4.3      |
| 14:45:12 | 53853.35    | 0.214286   | 2.1      |
| 14:45:12 | 53853.42    | 2.0        | 19.6     |
| 14:45:12 | 53853.48    | 0.214286   | 2.1      |
| 14:45:12 | 53853.52    | 0.214286   | 2.1      |
| 14:45:12 | 53853.61    | 0.214286   | 2.1      |
| 14:45:12 | 53853.77    | 0.204082   | 2        |
| 14:45:12 | 53853.83    | 0.204082   | 2        |
| 14:45:12 | 53853.86    | 0.204082   | 2        |
| 14:45:13 | 53854.02    | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 14:45:13 | 53854.09 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.18 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.28 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.33 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.43 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.52 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.61 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.69 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.77 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.87 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:13 | 53854.94 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.02 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.11 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.19 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.30 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.36 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.44 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.53 | 0.214286 | 2.1 |
| 14:45:14 | 53855.61 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.71 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.79 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:14 | 53855.88 | 0.214286 | 2.1 |
| 14:45:14 | 53855.95 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:15 | 53856.03 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:15 | 53856.13 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:15 | 53856.21 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:15 | 53856.31 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:15 | 53856.39 | 0.204082 | 2   |
| 14:45:15 | 53856.43 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 14:45:15 | 53856.54 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:15 | 53856.63 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:15 | 53856.71 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:15 | 53856.81 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:15 | 53856.88 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:15 | 53857.00 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.03 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.13 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.22 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.31 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.41 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.48 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.54 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.65 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.73 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.82 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53857.91 | 0.204082 | 2 |
| 14:45:16 | 53858.00 | 0.204082 | 2 |

|          | Diameter    | 12 mm      |          |
|----------|-------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 15:15:10 | 52851.85    | 0.020408   | 0.2      |
| 15:15:11 | 52852.02    | 0.020408   | 0.2      |
| 15:15:11 | 52852.11    | 0.020408   | 0.2      |
| 15:15:11 | 52852.18    | 0.020408   | 0.2      |
| 15:15:11 | 52852.17    | 0.020408   | 0.2      |
| 15:15:11 | 52852.34    | 0.020408   | 0.2      |
| 15:15:11 | 52852.33    | 0.112245   | 1.1      |
| 15:15:11 | 52852.42    | 0.755102   | 7.4      |
| 15:15:11 | 52852.51    | 1.193878   | 11.7     |
| 15:15:11 | 52852.57    | 0.520408   | 5.1      |
| 15:15:11 | 52852.67    | 0.520408   | 5.1      |
| 15:15:11 | 52852.78    | 0.316327   | 3.1      |
| 15:15:11 | 52852.83    | 0.357143   | 3.5      |
| 15:15:12 | 52853.01    | 0.326531   | 3.2      |
| 15:15:12 | 52853.11    | 0.326531   | 3.2      |
| 15:15:12 | 52853.16    | 0.387755   | 3.8      |
| 15:15:12 | 52853.26    | 0.428571   | 4.2      |
| 15:15:12 | 52853.34    | 0.285714   | 2.8      |
| 15:15:12 | 52853.41    | 0.214286   | 2.1      |
| 15:15:12 | 52853.47    | 0.214286   | 2.1      |
| 15:15:12 | 52853.51    | 1.979592   | 19.4     |
| 15:15:12 | 52853.61    | 0.214286   | 2.1      |
| 15:15:12 | 52853.76    | 0.204082   | 2        |
| 15:15:12 | 52853.82    | 0.204082   | 2        |
| 15:15:12 | 52853.85    | 0.204082   | 2        |
| 15:15:13 | 52854.01    | 0.204082   | 2        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 15:15:13 | 52854.08 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.17 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.27 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.32 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.42 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.51 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.61 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.68 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.76 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.86 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:13 | 52854.95 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.01 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.11 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.18 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.29 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.35 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.43 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.52 | 0.214286 | 2.1 |
| 15:15:14 | 52855.61 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.71 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.78 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:14 | 52855.87 | 0.214286 | 2.1 |
| 15:15:14 | 52855.94 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:15 | 52856.02 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:15 | 52856.12 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:15 | 52856.21 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:15 | 52856.31 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:15 | 52856.38 | 0.204082 | 2   |
| 15:15:15 | 52856.42 | 0.204082 | 2   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 15:15:15 | 52856.53 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:15 | 52856.62 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:15 | 52856.71 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:15 | 52856.81 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:15 | 52856.87 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:15 | 52857.00 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.02 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.12 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.21 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.31 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.41 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.47 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.53 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.64 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.72 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.81 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52857.91 | 0.204082 | 2 |
| 15:15:16 | 52858.00 | 0.204082 | 2 |

|          | Diameter 15 mm |            |          |
|----------|----------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec)    | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 16:45:10 | 51851.84       | 0.020408   | 0.2      |
| 16:45:11 | 51852.01       | 0.020408   | 0.2      |
| 16:45:11 | 51852.11       | 0.020408   | 0.2      |
| 16:45:11 | 51852.17       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:45:11 | 51852.16       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:45:11 | 51852.33       | 0.030612   | 0.3      |
| 16:45:11 | 51852.32       | 0.112245   | 1.1      |
| 16:45:11 | 51852.41       | 0.744898   | 7.3      |
| 16:45:11 | 51852.51       | 0.938776   | 9.2      |
| 16:45:11 | 51852.56       | 1.081633   | 10.6     |
| 16:45:11 | 51852.66       | 0.418367   | 4.1      |
| 16:45:11 | 51852.77       | 0.214286   | 2.1      |
| 16:45:11 | 51852.82       | 0.346939   | 3.4      |
| 16:45:12 | 51853.01       | 0.204082   | 2        |
| 16:45:12 | 51853.11       | 0.316327   | 3.1      |
| 16:45:12 | 51853.15       | 0.377551   | 3.7      |
| 16:45:12 | 51853.25       | 0.418367   | 4.1      |
| 16:45:12 | 51853.33       | 0.27551    | 2.7      |
| 16:45:12 | 51853.39       | 0.102041   | 1        |
| 16:45:12 | 51853.46       | 0.102041   | 1        |
| 16:45:12 | 51853.49       | 0.102041   | 1        |
| 16:45:12 | 51853.59       | 0.102041   | 1        |
| 16:45:12 | 51853.75       | 1.520408   | 14.9     |
| 16:45:12 | 51853.81       | 0.102041   | 1        |
| 16:45:12 | 51853.84       | 0.102041   | 1        |
| 16:45:13 | 51854.01       | 0.102041   | 1        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 16:45:13 | 51854.07 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.16 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.26 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.31 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.41 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.49 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.59 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.67 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.75 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.85 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:13 | 51854.94 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.01 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.11 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.17 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.28 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.34 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.42 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.51 | 0.214286 | 2.1 |
| 16:45:14 | 51855.59 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.69 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.77 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:14 | 51855.86 | 0.214286 | 2.1 |
| 16:45:14 | 51855.93 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:15 | 51856.01 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:15 | 51856.11 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:15 | 51856.19 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:15 | 51856.29 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:15 | 51856.37 | 0.102041 | 1   |
| 16:45:15 | 51856.41 | 0.102041 | 1   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 16:45:15 | 51856.52 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:15 | 51856.61 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:15 | 51856.69 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:15 | 51856.79 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:15 | 51856.86 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:15 | 51857.00 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.01 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.11 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.19 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.29 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.39 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.46 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.52 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.63 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.71 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.79 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51857.89 | 0.102041 | 1 |
| 16:45:16 | 51858.00 | 0.102041 | 1 |

| Diameter 18 mm |             |            |          |
|----------------|-------------|------------|----------|
| Time           | Timer (sec) | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 17:15:10       | 50851.83    | 0.010204   | 0.1      |
| 17:15:11       | 50852.01    | 0.010204   | 0.1      |
| 17:15:11       | 50852.09    | 0.010204   | 0.1      |
| 17:15:11       | 50852.16    | 0.010204   | 0.1      |
| 17:15:11       | 50852.15    | 0.010204   | 0.1      |
| 17:15:11       | 50852.32    | 0.010204   | 0.1      |
| 17:15:11       | 50852.31    | 0.102041   | 1        |
| 17:15:11       | 50852.39    | 0.734694   | 7.2      |
| 17:15:11       | 50852.49    | 0.520408   | 5.1      |
| 17:15:11       | 50852.55    | 0.989796   | 9.7      |
| 17:15:11       | 50852.65    | 0.306122   | 3        |
| 17:15:11       | 50852.76    | 0.102041   | 1        |
| 17:15:11       | 50852.81    | 0.102041   | 1        |
| 17:15:12       | 50853.01    | 0.285714   | 2.8      |
| 17:15:12       | 50853.09    | 0.295918   | 2.9      |
| 17:15:12       | 50853.14    | 0.367347   | 3.6      |
| 17:15:12       | 50853.24    | 0.397959   | 3.9      |
| 17:15:12       | 50853.32    | 0.285714   | 2.8      |
| 17:15:12       | 50853.38    | 0.214286   | 2.1      |
| 17:15:12       | 50853.45    | 0.214286   | 2.1      |
| 17:15:12       | 50853.48    | 0.214286   | 2.1      |
| 17:15:12       | 50853.58    | 0.214286   | 2.1      |
| 17:15:12       | 50853.74    | 0.102041   | 1        |
| 17:15:12       | 50853.79    | 0.102041   | 1        |
| 17:15:12       | 50853.83    | 1.326531   | 13       |
| 17:15:13       | 50854.01    | 0.102041   | 1        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 17:15:13 | 50854.06 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.15 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.25 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.29 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.39 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.48 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.58 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.66 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.74 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.84 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:13 | 50854.93 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.01 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.09 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.16 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.27 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.33 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.41 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.49 | 0.214286 | 2.1 |
| 17:15:14 | 50855.58 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.68 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.76 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:14 | 50855.85 | 0.214286 | 2.1 |
| 17:15:14 | 50855.92 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:15 | 50856.01 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:15 | 50856.09 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:15 | 50856.18 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:15 | 50856.28 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:15 | 50856.36 | 0.102041 | 1   |
| 17:15:15 | 50856.39 | 0.102041 | 1   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 17:15:15 | 50856.51 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:15 | 50856.59 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:15 | 50856.68 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:15 | 50856.78 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:15 | 50856.87 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:15 | 50857.00 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.01 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.09 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.18 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.28 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.38 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.45 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.51 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.62 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.69 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.78 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50857.88 | 0.102041 | 1 |
| 17:15:16 | 50858.00 | 0.102041 | 1 |

|          | Diameter 21 mm |            |          |
|----------|----------------|------------|----------|
| Time     | Timer (sec)    | Beban (KG) | Gaya (N) |
| 18:45:10 | 49751.82       | 0.010204   | 0.1      |
| 18:45:11 | 49752.01       | 0.010204   | 0.1      |
| 18:45:11 | 49752.08       | 0.010204   | 0.1      |
| 18:45:11 | 49752.15       | 0.010204   | 0.1      |
| 18:45:11 | 49752.14       | 0.010204   | 0.1      |
| 18:45:11 | 49752.31       | 0.010204   | 0.1      |
| 18:45:11 | 49752.29       | 0.102041   | 1        |
| 18:45:11 | 49752.38       | 0.72449    | 7.1      |
| 18:45:11 | 49752.48       | 0.734694   | 7.2      |
| 18:45:11 | 49752.54       | 0.683673   | 6.7      |
| 18:45:11 | 49752.64       | 0.387755   | 3.8      |
| 18:45:11 | 49752.75       | 0.102041   | 1        |
| 18:45:11 | 49752.80       | 0.336735   | 3.3      |
| 18:45:12 | 49753.01       | 0.27551    | 2.7      |
| 18:45:12 | 49753.08       | 0.204082   | 2        |
| 18:45:12 | 49753.13       | 0.357143   | 3.5      |
| 18:45:12 | 49753.23       | 0.306122   | 3        |
| 18:45:12 | 49753.31       | 0.27551    | 2.7      |
| 18:45:12 | 49753.37       | 0.193878   | 1.9      |
| 18:45:12 | 49753.44       | 0.193878   | 1.9      |
| 18:45:12 | 49753.47       | 0.193878   | 1.9      |
| 18:45:12 | 49753.57       | 0.193878   | 1.9      |
| 18:45:12 | 49753.73       | 0.102041   | 1        |
| 18:45:12 | 49753.78       | 0.102041   | 1        |
| 18:45:12 | 49753.82       | 0.102041   | 1        |
| 18:45:13 | 49754.01       | 0.102041   | 1        |

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 18:45:13 | 49754.05 | 1.0      | 9.8 |
| 18:45:13 | 49754.14 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.24 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.28 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.38 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.47 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.57 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.65 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.73 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.83 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:13 | 49754.92 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.01 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.08 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.15 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.26 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.32 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.40 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.57 | 0.214286 | 2.1 |
| 18:45:14 | 49755.57 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.67 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.75 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:14 | 49755.84 | 0.214286 | 2.1 |
| 18:45:14 | 49755.91 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:15 | 49756.01 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:15 | 49756.08 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:15 | 49756.17 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:15 | 49756.27 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:15 | 49756.35 | 0.102041 | 1   |
| 18:45:15 | 49756.38 | 0.102041 | 1   |

|          |          |          |   |
|----------|----------|----------|---|
| 18:45:15 | 49756.50 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:15 | 49756.58 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:15 | 49756.67 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:15 | 49756.77 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:15 | 49756.86 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:15 | 49757.00 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.01 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.08 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.17 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.27 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.37 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.44 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.50 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.61 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.68 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.77 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.87 | 0.102041 | 1 |
| 18:45:16 | 49757.00 | 0.102041 | 1 |