

SKRIPSI

**PENGARUH PANJANG SERAT TERHADAP SIFAT
MEKANIS DAN FISIS KOMPOSIT KENAF – EPOXY
DENGAN DAN TANPA PENAMBAHAN SiO₂**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



UMY

**UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
YOGYAKARTA**

Unggul & Islami

Disusun Oleh :

Afif Tri Putranto

20150130044

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2019



LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Pengaruh Panjang Serat Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Kenaf-Epoxy dengan dan Tanpa Penambahan SiO₂

Disusun Oleh:

Afif Tri Putranto

20150130044

Telah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji

Pada Tanggal 20 Juli 2019

Susunan Tim Penguji:

Dosen pembimbing I

Dosen pembimbing II

Dr. Ir. Harini Sosiati, M. Eng.

NIK. 195912 201510 123088

Cahyo Budivantero, S.T., M. Sc

NIP. 197110232 201510 123088

Penguji

Drs. Sudarisman, M.S. Mechs., Ph.D

NIP. 19590502 198702 1001

Tugas Akhir ini telah dinyatakan sah sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal 27 Juli 2019

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Berli Paripurna Kamiel, S.T., M. Eng Sc. Ph.D

NIK. 19740302 200104 123049

ii

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afif Tri Putranto
Nomor Induk Mahasiswa : 20150130044
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Penelitian : Pengaruh Panjang Serat Terhadap Sifat
Mekanis dan Fisis Komposit Kenaf – Epoxy
Dengan Dan Tanpa Penambahan SiO₂

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau yang pernah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumber dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 20 Juli 2019



Afif Tri Putranto

MOTTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari satu urusan), kerjakanlah dengan sungguh- sungguh urusan yang lain. dan hanya Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

(Q.S. Al- Insyirah :6_8)

Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar.

(Q.S Ar- Rum : 60)

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri sendiri.

(Q. S Ar. Rad : 11)

INTISARI

Serat alami Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) sebagai bahan pengisi (*filler*) sudah banyak dikembangkan sebagai bahan untuk aplikasi pada bidang otomotif, khususnya dalam pembuatan interior panel pada mobil. Keunggulan serat kenaf nilai ekonomis yang rendah, mempunyai kekuatan mekanis yang relatif lebih tinggi dibandingkan serat alami lainnya seperti sisal, kapas, abaca, rami dan serabut kelapa. Namun, komposit serat alami memiliki sifat mekanis yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit berpenguat serat sintetis. Oleh karena itu, perlu menambahkan pengisi lain untuk meningkatkan sifat mekanisnya bertambah. Salah satunya adalah penambahan partikel *microsilica*, yang dikenal sebagai *silica-fume*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi panjang serat terhadap sifat mekanik dan penyerapan air komposit kenaf / epoksi dengan dan tanpa penambahan *silica-fume*.

Serat yang digunakan adalah serat kenaf yang diolah dengan alkali dalam larutan NaOH 6% selama 36 jam pada suhu kamar. Serat kenaf kemudian dipotong dengan panjang 4 mm, 6 mm, 10 mm. Rasio pengisi (kenaf dan *silika-fume*) ke matriks adalah 30 (27 (kenaf): 3 (*silica-fume*)): 70. Komposit hibrida kenaf / *silica-fume*/ epoksi dibuat dengan serat acak satu lapis metode menggunakan mesin cetak pers panas pada bending dan *water absorption* 1700 Psi dan impak 1160 Psi., 100 ° C selama 25 menit. Tes mekanis yang dilakukan adalah uji bending dan impak, yang masing-masing mengacu pada ASTM D 790 dan ASTM D 6110-04. Uji fisis penyerapan air dan pembengkakan ketebalan dilakukan mengacu pada ASTM D 750-98 selama 216 jam waktu perendaman. Permukaan fraktur benturan dikarakterisasi menggunakan scanning electron microscopy (SEM).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *silica-fume*. Meningkatkan sifat lentur kenaf / *silica-fume*/ epoksi, tetapi tidak untuk sifat dampak. Nilai tertinggi dari sifat-sifat mekanik ditunjukkan dalam komposit dengan dan tanpa penambahan *silica-fume* pada panjang serat 4 mm. Kekuatan bending dan modulus maksimum adalah 54,820 MPa dan 3,862 GPa, masing-masing, untuk komposit dengan menambahkan *silica-fume* Kekuatan tumbukan tertinggi 8,129 Kj / m², bagaimanapun, ditunjukkan dalam komposit tanpa *silica-fume*. Penyerapan air terendah (11,5%) dan pembengkakan ketebalan (9,05%) diperoleh dari komposit dengan penambahan asap silika pada panjang serat 4 mm setelah 216 jam.

Kata kunci: Epoksi, Kenaf, Uji bending, Uji impak, Uji penyerapan air, Scanning electron microscopy (SEM), Silica fume.

ABSTRACT

Natural fiber Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) as a filler (filler) has been developed as an ingredient for applications in the automotive field, especially in the manufacture of interior panels in cars. The advantages of kenaf fibers are of low economic value and have relatively higher mechanical strength than other natural fibers such as sisal, cotton, abaca, hemp and coconut fibers. However, natural fiber composites have lower mechanical properties compared to composite reinforced synthetic fibers. Therefore, it is necessary to add other fillers to improve the mechanical properties. One of them is the addition of microsilica particles, known as silica-fume. This study aims to study the effect of variations in fiber length on the mechanical properties and absorption of kenaf / epoxy composite with and without the addition of silica-fume.

The fiber used was alkali-treated kenaf fiber in 6% NaOH solution for 36 hours at room temperature. Kenaf fibers were then chopped in 4 mm, 6 mm, 10 mm length. The ratio of fillers (kenaf and silica-fume) to the matrix is 30 (27 (kenaf) : 3 (Silica-fume)) : 70. The hybrid composites of kenaf/silica-fume/epoxy were fabricated by one layer random fiber method using a hot press molding machine at bending dan *water absorption* 1700 Psi and *impak* 1160 Psi, 100°C for 25 min. The mechanical tests performed are bending and impact tests, which refer to ASTM D 790 and ASTM D 6110-04, respectively. Physical tests of water absorption and thickness swelling were carried out refer to ASTM D 750-98 for 216 hours of immersion time. Impact fracture surfaces were characterized using scanning electron microscopy (SEM).

The results indicated that the addition of silica-fume improved the bending properties of kenaf/silica-fume/epoxy, but not for the impact properties. The highest value of those mechanical properties was shown in the composite with and without the addition of silica-fume at 4 mm fiber length. The maximum bending strength and modulus were 54.820 MPa and 3.862 GPa, respectively, for the composites with adding silica-fume. The highest impact strength 8.129 Kj/m², however, was shown in the composite without silica-fume. The lowest water absorption (11.5%) and thickness swelling (9.05%) were obtained from the composites with the addition of silica-fume at the fiber length 4 mm after 216 h.

Keywords: Bending test, Epoxy, Impact test, Kenaf, Scanning electron microscopy (SEM), Silica fume, Water absorption test.

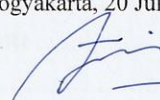
KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kita haturkan kepada penguasa alam semesta Allah SWT, yang senantiasa memberikan umur panjang, nikmat sehat dan iman kepada kita semua. Berkat izin-Nya, penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan judul " Pengaruh Panjang Serat Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Kenaf – Epoxy Dengan Dan Tanpa Penambahan SiO₂" secara lancar tanpa halangan yang berarti.

Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademis jenjang Strata Satu (S1) pada mata kuliah Tugas Akhir di Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tentunya karya ilmiah ini juga ditujukan dalam rangka menebar kebermanfaatan tanpa mencederai nilai-nilai kemanusiaan.

Penulis bukan Tuhan yang maha benar dan tak terbantahkan, penulis bukan pula Rasul yang setiap ucapan dan perbuatannya kemudian dijadikan panutan. Penulis adalah manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan dan kekhilafan. Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Untuk itu penulis membuka sangat lebar kritik dan saran yang membangun demi suatu karya ilmiah yang lebih baik lagi. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang haus akan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 20 Juli 2019



Afif Tri Putranto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO	iv
INTISARI	v
ABSTRACK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR PERSAMAAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penulisan	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Komposit	7
2.2.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Kualitas Komposit	7
2.2.3 Klasifikasi Material Komposit	8
2.2.4 Matriks	13
2.2.5 <i>Filler</i> (Pengisi/Penguat)	15

2.2.6 Pengujian Bending	16
2.2.7 Pengujian Impak	18
2.2.8 Pengujian Daya serap Air	20
2.2.9 Pengujian Makro dengan Mikroskop Optik	21
2.2.10 Pengujian Mikro dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i>	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Digram Alir Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	26
3.2.1 Alat Penelitian	26
3.2.2 Bahan Penelitian	30
3.3 Pembuatan Komposit	31
3.3.1 Perhitungan Fraksi Volume untuk Pengujian Bending	31
3.3.2 Perhitungan Fraksi Volume untuk Pengujian Impak	33
3.3.3 Perhitungan Fraksi Volume untuk Pengujian Daya Serap Air	35
3.3.4 Persiapan Bahan dan Perlakuan Alkalisasi pada Serat Kenaf	37
3.3.5 Proses Pembuatan Komposit	40
3.4 Prosedur Pengujian Bending	42
3.5 Prosedur Pengujian Impak	44
3.6 Prosedur Pengujian Daya Serap Air (<i>Water Absorption</i>)	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Pengujian Bending	48
4.2 Pengujian Impak	50
4.3 Pengujian Daya Serap Air (<i>Water Absorption</i>)	52
4.4 Analisa Foto Makro	55
4.5 Analisa Foto Mikro	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
UCAPAN TERIMAKASIH	60
DAFTAR PUSTAKA	62
DAFTAR LAMPIRAN	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyusunan Komposit (Onny, 2017)	7
Gambar 2.2 Komposit Partikel (Jones, 1999)	9
Gambar 2.3 Komposit Lamina (Jones, 1999)	10
Gambar 2.4 Komposit Serat Anyam (Gibson, 2012)	10
Gambar 2.5 Komposit Serat Panjang Kontinyu (Gibson, 2012)	11
Gambar 2.6 Komposit Serat Gabungan (Gibson, 2012)	11
Gambar 2.7 Komposit Serat Pendek Acak (Gibson, 2012)	11
Gambar 2.8 Klasifikasi Serat Alam (Akil, 2011)	14
Gambar 2.9 Pembebanan Lengkung <i>ThreePoint Bending</i>	16
Gambar 2.10 Pengaruh Pembebanan Lengkung Menyebabkan Defleksi.....	16
Gambar 2.11 Ukuran Spesimen Pengujian Bending ASTM 790-02.....	18
Gambar 2.12 Skema Pengujian Impak <i>Charpy</i>	18
Gambar 2.13 Ukuran Spesimen Pengujian Impak ASTM D6110-04.....	20
Gambar 2.14 Mikroskop Optik USB	21
Gambar 2.15 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2 <i>Hot Press</i>	26
Gambar 3.3 Cetakan Komposit	27
Gambar 3.4 Mesin Uji Bending	28
Gambar 3.12 Mesin Uji Impak	29
Gambar 3.13 <i>Scanning Electron Microscopy</i>	29
Gambar 3.7 Serat Kenaf	30
Gambar 3.8 Pemilahan Serat Kenaf	37
Gambar 3.9 Pencucian Serat Kenaf	38
Gambar 3.10 Pengeringan Serat Kenaf	38
Gambar 3.11 Proses Alkalisasi	38
Gambar 3.12 Penetralan Basa	39

Gambar 3.13 Penyisiran dan Pemotongan Serat Kenaf	39
Gambar 3.14 Pengayakan Mikrosilika	39
Gambar 3.15 Penimbangan Serat dan Matriks	40
Gambar 3.16 Penyusunan Serat Kenaf	40
Gambar 3.17 Pencampuran Matriks dan Mikrosilika	41
Gambar 3.18 Penuangan Matriks dan Mikrosilika	41
Gambar 3.19 Proses <i>press</i> dengan Mesin <i>Hot Press</i>	41
Gambar 3.20 Temperatur pada <i>control box</i>	42
Gambar 3.21 Pemotongan Spesimen	42
Gambar 3.22 Spesimen Uji Bending	43
Gambar 3.23 Proses Pemasangan pada Span	43
Gambar 3.24 Proses Pengujian Bending	44
Gambar 3.25 Spesimen Uji Impak	44
Gambar 3.26 Proses Pembutan <i>notch</i>	45
Gambar 3.27 Proses Pengujian Impak	45
Gambar 3.28 Spesimen Uji Daya Serap Air	46
Gambar 3.29 Penimbangan dan Pengukuran Spesimen	46
Gambar 3.30 Perendaman Spesimen	47
Gambar 4.1 Kekuatan <i>bending</i> dan modulus <i>bending</i>	48
Gambar 4.2 Grafik Regangan.....	50
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Bending	50
Gambar 4.4 Grafik Ketangguhan <i>Impact</i>	51
Gambar 4.5 Grafik Energi Serap	51
Gambar 4.6 Grafik <i>Thickness Swelling</i>	53
Gambar 4.8 Grafik <i>Weight Gain</i>	54
Gambar 4.10 Hasil Foto Makro menggunakan Mikroskop Optik	55
Gambar 4.1 Hasil Foto Mikro menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Polimer Termoset (Holbery, 2016)	13
Tabel 2.2 Sifat Mekanis Serat (Akil, 2011)	14
Tabel 2.3 Spesifikasi Mikroskop Optik	21
Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Spesimen Uji Bending	33
Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Spesimen Uji Impak	34
Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Spesimen Uji Daya Serap Air	37

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Kekuatan Bending	16
Persamaan 2.2 Tegangan Bending	17
Persamaan 2.3 Regangan	17
Persamaan 2.4 Modulus Elastisitas Bending.....	17
Persamaan 2.5 Energi Serap	19
Persamaan 2.6 Kekuatan Impak	19
Persamaan 2.7 Pertambahan Berat (<i>Weight Gain</i>)	20
Persamaan 2.8 Pertambahan Tebal (<i>Thickness Swelling</i>)	20

DAFTAR NOTASI

μm	= Mikron
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
C	= Celcius
dkk	= Dan kawan-kawan
GPa	= Gigapascal
J	= Joule
Kg	= Kilogram
kJ	= Kilo joule
m	= meter
mm	= milimeter
MPa	= Megapascal
N	= Newton
NaOH	= Natrium hidroksida
SHCP	= <i>Singapore Highpolymer Chemical Products</i>
SiO ₂	= Silikon dioksida
UPR	= <i>Unsaturated Polyester Resin</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan dan penggunaan komposit telah berkembang pesat dan meluas di tanah air ini. Komposit banyak dimanfaatkan dalam peralatan rumah tangga dan sektor industri baik industri kecil maupun industri besar. Hal ini disebabkan karena komposit memiliki beberapa keunggulan tersendiri seperti bahan komposit lebih kuat, tahan terhadap korosi, lebih ekonomis, dan lain-lain. Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. (Sindy dan Alimin, 2018)

Material komposit yang berpenguat serat terutama serat alam merupakan material alternatif yang sangat menguntungkan. Serat alam dapat diperoleh dari berbagai variasi tumbuhan. Serat ini telah digunakan dalam sektor industri sepertiomotif. Terkait dengan penggunaan serat alam sebagai penguat dalam komposit, mereka mempunyai keuntungan antara lain kekuatan spesifik dan modulusnya yang tinggi, densitas rendah, harga rendah, melimpah di banyak negara, emisi polusi yang lebih rendah dan dapat di daur ulang (Joshi dkk., 2004).

Komposit terdiri dari matriks yang berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung *filler* (pengisi) dari kerusakan eksternal dan *filler* berfungsi sebagai penguat. Berdasarkan jenis penguatnya, secara umum dikenal tiga kelompok komposit yaitu komposit berpenguat partikel, komposit berpenguat serat (Matthews dan Rawlings, 1994).

Polimer yang digunakan yaitu polimer termoset. Polimer termoset meliputi *polyester*, *epoxy* dan *vinylester*. Polimer termoset digunakan sebagai bahan material induk (matrik) karena memiliki viskositas rendah proses fabrikasi yang mudah (Mallick, 2007). Matriks *thermoset* epoksi terbentuk dari dua macam bahan kimia yaitu resin dan pengeras. Matrik epoksi ini memiliki modulus elastisitas yang

tinggi, densitas rendah, keuletan tinggi, dan memiliki kadar air yang cukup rendah sehingga cocok di gunakan sebagai matrik penguat serat alam (Faruk *et.al.* 2012).

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) merupakan jenis tanaman yang dapat tumbuh sepanjang musim, mempunyai nilai ekonomis yang rendah, mempunyai kekuatan mekanik tinggi, densitasnya rendah, serta mudah dibudidayakan. Komposit berpenguat serat kenaf telah diproduksi oleh industri global, salah satunya diproduksi oleh perusahaan Toyota Motor Corporation yang diantaranya menghasilkan *composite board* atau panel otomotif (Yusoff, 2015). Namun, *composit board* yang diperkuat serat kenaf mempunyai kekurangan, yaitu kekuatan mekanisnya masih cenderung lebih rendah dibandingkan dengan komposit berpenguat serat sintetis, sehingga perlu penambahan pengisi lain supaya kekuatan mekanisnya bertambah. Salah satunya dengan penambahan partikel mikrosilika atau yang dikenal dengan sebutan *silica fume*.

Pengaruh variasi panjang serat terhadap kekuatan lentur telah diteliti Kongkaew dkk, (2016) dengan variasi panjang serat 3, 5, 7, 9 dan 13 mm terhadap sifat mekanik komposit serat akar wangi / *epoxy*, metode yang dilakukan fabrikasi menggunakan *Lay-up molding*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat akar wangi/ *epoxy* mempunyai kekuatan mekanik lentur 30,05 MPa pada panjang serat 7mm.

Penelitian lain terkait komposit polimer *epoxy* dengan serat nanas dilakukan oleh Vinod dkk, (2014) dengan variasi panjang serat 3, 6, 9, 12 mm, metode yang dilakukan fabrikasi menggunakan *Lay-up molding*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat nanas/ *epoxy* kekuatan impact 3,2kJ/m² pada variasi panjang serat 6 mm.

Jaafar dkk. (2018) melakukan penelitian tentang penambahan *silica* sebagai penguat komposit kenaf / *epoxy* dengan variasi *silica* 10, 15, 20, 25, dan 30% yang dapat meningkatkan sifat mekanis komposit. Jaafar dkk. (2018) melakukan penelitian tentang komposit kenaf / *epoxy* yang diperkuat *silica* 20 % dan dilakukan perlakuan alkalisasi pada serat dengan variasi 0, 3, 6, dan 9% NaOH selama 24 jam untuk meningkatkan sifat mekanis komposit.

Kenaf sebagai bahan komposit pernah dilakukan penelitian oleh Abubakar dkk, (2010) variasi penambahan serat sebanyak 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Matrik yang digunakan resin *epoxy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus lentur dan kekuatan lentur yang didapatkan nilai modulus bending tertinggi pada komposisi 25% serat yaitu 53,5 MPa.

Pengujian daya serap air (*water absorption*) dengan variasi panjang serat sudah diteliti sebelumnya oleh (Kanishka Jha dkk, 2016) menggunakan *epoxy* sebagai matrik dan serat sisal sebagai *filler*. Variasi panjang serat sisal 5, 10, 15, 20 mm. total waktu perendaman selama 132 jam.

Penelitian tentang komposit yang menggunakan silika sebagai bahan pengisinya (*filler*) telah dilaporkan oleh Zhang dkk. (2011) yaitu melakukan penelitian tentang pengaruh kombinasi *polypropylene* dan *silica fume* terhadap sifat mekanis pada komposit beton yang mengandung abu terbang dengan menggunakan fraksi volume *silica fume* berbeda yaitu 0, 3, 6, 9, dan 12 wt%.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaporkan, belum adanya penelitian tentang pengaruh variasi panjang serat terhadap sifat mekanis komposit kenaf / *epoxy* dengan penambahan *silica fume*. Oleh karena itu pada penelitian ini telah dibuat komposit *hybrid* berpenguat serat kenaf dan *silica* dengan matriks *epoxy*, variasi panjang serat 4 mm, 6 mm, 10 mm, serta menggunakan *silica fume* 3% sebagai pembanding, difabrikasi menggunakan metode *hot press molding* dengan tekanan bending dan *water absorption* 1700 Psi dan impak 1160 Psi pada suhu 100°C selama 25-50 menit fraksi volume kenaf/ matriks yaitu 30:70 dan kenaf/*silica*/matriks sebesar 27:3:70 Pengujian mekanis yang dilakukan pada komposit tersebut adalah uji impak dan uji bending, sedangkan untuk pengujian fisis dilakukan *water absorption*. Patahan hasil pengujian impak diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang atau uraian di atas tersebut, maka permasalahan bisa dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi panjang serat terhadap kekuatan impact, bending, dan daya serap air pada komposit kenaf *epoxy* tanpa penambahan SiO_2 ?
2. Bagaimana pengaruh variasi panjang serat terhadap kekuatan impact, bending, dan daya serap air pada komposit kenaf *epoxy* dengan penambahan SiO_2 ?
3. Bagaimana kolerasi antara struktur patahan komposit kenaf *epoxy* dengan dan tanpa penambahan SiO_2 pada pengujian SEM dan kekuatan impact ?

1.3 Batasan masalah

Dalam penelitian ini perlu adanya batasan masalah penelitian supaya sistematis dalam pembahasannya sesuai judul yang terkait. Adapun batasan – batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Teknik karakterisasi dengan melakukan pengujian mekanik berupa pengujian bending (Standard ASTM D790), pengujian impact (Standard ASTM D6110), dan pengujian optik serta dilakukan pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy) pada hasil patahan dari spesimen pengujian mekanik.
2. Teknik karakterisasi dengan melakukan pengujian fisis pengujian *water absorption* (Standard ASTM D570)

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh panjang serat terhadap pengujian impact, bending dan daya serap air pada komposit bermatrik *epoxy* tanpa penambahan SiO_2 .
2. Mengetahui pengaruh panjang serat terhadap pengujian impact, bending dan daya serap air pada komposit bermatrik *epoxy* dengan penambahan SiO_2 .
3. Mengetahui kolerasi antara struktur patahan komposit kenaf *epoxy* dengan dan tanpa penambahan SiO_2 pada pengujian SEM dan kekuatan impact.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Hasil penelitian material komposit hibrid dengan berpenguat serat alam kenaf dan *silica fume* diharapkan dapat menjadi tinjauan untuk mengembangkan material komposit pada bidang otomotif .
2. Memberikan informasi mengenai variasi panjang serat optimal komposit epoxy/ kenaf/ *silica fume* .
3. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan informasi untuk penelitian komposit dengan serat kenaf selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan keseluruhan Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka serta dasar teori. Tinjauan pustaka merupakan uraian secara sistematis dari hasil dan penelitian orang lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Dasar teori digunakan untuk memecah teori permasalahan dalam bentuk uraian kualitatif atau dalam bentuk matematis.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, proses penelitian, dan proses pengujian spesimen material komposit hibrida.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil pengujian yang telah dilakukan dengan pembahasan dan hasil analisa pengamatan

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat berbagai rujukan penelitian berupa jurnal, buku, website yang dirujuk dalam naskah penulisan tugas akhir .

LAMPIRAN

Berisi dokumen tambahan seperti hasil pengujian, data sheet, dan perhitungan volume spesimen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan serat alam adalah salah satu alternatif sebagai bahan pembuatan material komposit yang di aplikasikan dalam dunia industri di bidang otomotif. Serat alam merupakan bahan penguat matrik dalam pembuatan komposit yang memiliki sifat mekanis dan fisis. Salah satu jenis serat alam adalah serat kenaf. Dalam komposit berpenguat serat kenaf sudah banyak di aplikasikan dalam dunia industri untuk pembuatan panel otomotif atau *composite board* salah satunya dari perusahaan Toyota Motor Corporation (Yusoff, 2015). Namun, untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya pada komposit perlu penambahan pengisi (*filler*) (Gowthami *et.al.* 2013).

Kongkaew dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh panjang serat 3, 5, 7, 9 dan 13 mm komposisi serat sebesar 12% berat, terhadap kekuatan mekanis komposit serat akar wangi / *epoxy*. Matriks yang digunakan *epoxy* , perbandingan matriks yang digunakan resin *epoxy* dan hardener 1:1. Perlakuan alkalisasi pada serat vetiver menggunakan NaOH 5% selama 3jam. Metode fabrikasi menggunakan *Lay-up molding*. Pengujian mekanis pengujian bending menunjukkan kekuatan *bending* tertinggi pada variasi panjang serat vetiver tertinggi sebesar 30,05 MPa pada panjang serat 7mm.

Pelitian komposit filler menggunakan serat alam juga telah dilakukan Vinod dkk,(2014) malakukn penelitian penggunaan serat nanas/ *epoxy* . Perlakuan alkalisasi pada serat nanas menggunakan NaOH 5% selama 1jam serat dinetral kan menggunakan HCl 1%.Serat nanas dipotong sepanjang 3, 6, 9, 12 mm. Metode fabrikasi menggunakan *Lay-up molding*. Pengujian mekanis impak ASTM 256 , hasil penelitian kekuatan impak variasi panjang serat 6 mm yaitu 3,2 kJ/m²

Zhang dkk. (2011) yang meneliti pengaruh kombinasi serbuk *polypropylene* dan *silica fume* terhadap sifat mekanis pada komposit beton yang mengandung abu terbang dengan menggunakan fraksi volume *silica fume* berbeda yaitu 0, 3, 6, 9, dan 12%. Menghasilkan kekuatan tarik yang meningkat dari 6,12 MPa pada fraksi

volume 3% dan menjadi 6,58 MPa pada fraksi volume 12%.

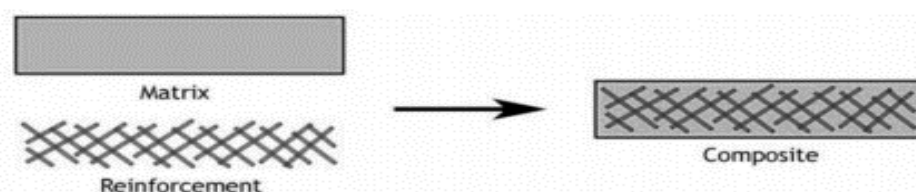
Pengujian fisis *water absorption* dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kemampuan komposit terhadap air ataupun kelembaban. Kanishka Jha dkk, (2016) melakukan penelitian *water absorption* komposit hibrid *epoxy* / serat sisal 70:30. Metode pengujian *water absorption* ASTM 570. Metode fabrikasi megunakan *hand lay-up* dan pengepresan bertekana 1 MPa. Pengujian *water absorption* selama 132 jam setiap 12 jam spesimen diangkat, hasil pengujian kenaikan berat terendah pada variasi panjang serat 5 mm sebesar 4,4%

Serat kenaf sebagai bahan komposit pernah dilakukan penelitian oleh (Abubakar dkk, 2010). Serat kenaf perlakuan alkalisai menggunakan NaOH 4% selama 24 jam. Fabrikasi menggunakan metode *hot press* dengan temperatur 100°C dan tekanan 8 MPa (± 1160 psi). variasi penambahan serat sebanyak 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Matrik yang digunakan resin *epoxy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus lentur dan kekuatan lentur yang didapatkan nilai modulus bending tertinggi pada komposisi 25% serat yaitu 53,5 Mpa

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material baru hasil rekayasa yang terdiri dari sedikitnya dua bahan dengan sifat fisik maupun kimia pada skala makroskopik yang berbeda, masing-masing sebagai pengikat (*matriks*) dan penguat (*filler*). Pembuatan komposit bertujuan untuk memperoleh sifat mekanis atau sifat spesifik tertentu, mempermudah *design* yang sulit pada manufaktur, dan menghemat biaya. Dengan adanya perbedaaan dari bahan penyusunnya, maka perlu penambahan *wetting agent* supaya antar bahan tersebut dapat berikatan kuat. (Nayiroh, 2010). Penyusunan *matriks* dan *filler* pada pembuatan komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Penyusunan Komposit (Onny, 2017)

2.2.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Kualitas Komposit

1. Faktor Serat

Serat mempunyai pengaruh sangat besar bagi komposit karena menjadi penopang kekuatan dari komposit sehingga memengaruhi kekuatan komposit. Berikut beberapa faktor yang memengaruhi kekuatan pada serat yaitu:

a. Panjang Serat

Ada dua jenis panjang serat yang digunakan dalam pembuatan dalam pembuatan komposit yaitu serat panjang dan serat pendek. Serat panjang mempunyai keuntungan seperti menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi, penyusutan serat yang rendah, dan lebih stabil dimensinya. Sedangkan serat pendek mempunyai keuntungan yaitu mudah dalam proses fabrikasinya, dan tidak memerlukan waktu yang lama.

b. Orientasi Serat

Orientasi serat dapat memengaruhi kekuatan mekanis komposit. Serat dengan orientasi satu arah akan menghasilkan kekakuan dan kekuatan yang tinggi.

c. Bentuk serat

Bentuk serat pada dasarnya adalah lingkaran. Namun serat yang berbentuk lingkaran mempunyai kekuatan lebih kecil dibandingkan dengan serat yang berbentuk persegi dan heksagonal.

d. Jenis Serat

Jenis serat merupakan faktor yang menentukan sifat mekanis komposit. Serat sintetis mempunyai kekuatan mekanis lebih daripada serat alam. Akan tetapi, secara harga serat alam lebih ekonomis.

2. Faktor Matriks

Jenis matriks sangat memengaruhi kualitas suatu komposit, karena memiliki fungsi utama mentransfer tegangan ke serat dan membentuk ikatan koheren permukaan dengan serat.

3. Faktor Ikatan

Faktor ikatan antara matriks dengan *filler* sangat menentukan kualitas suatu komposit. Adanya *void* pada komposit menyebabkan ikatan antar muka kurang baik sehingga sifat mekanis menurun.

2.2.3 Klasifikasi Material Komposit

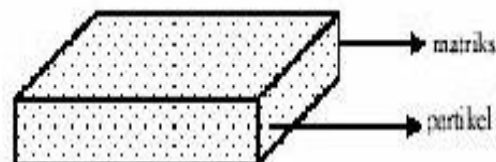
Menurut Nayiroh (2010) komposit berdasarkan bahan matriksnya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Komposit Matriks Keramik/*Ceramic Matrix Composite* (CMC)
CMC merupakan komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat keras.
2. Komposit Matriks Logam/*Metal Matrix Composite* (MMC)
MMC merupakan komposit yang menggunakan bahan logam sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat kuat.
3. Komposit Matriks Polimer/*Polymer Matrix Composite* (PMC)
PMC merupakan komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat kuat.

Menurut Gibson (2012) komposit berdasarkan material penyusunnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu komposit partikel (*particulates composites*), komposit lamina (*laminates composites*), dan komposit serat (*fibrous composites*).

1. Komposit Partikel (*Particulates Composite*)

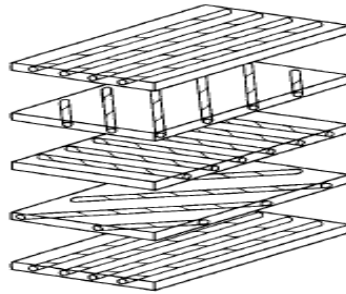
Komposit partikel tersusun dari satu atau lebih jenis partikel yang terikat dengan matriks. Partikel bisa berasal dari bahan logam atau non logam. Komposit partikel bisa dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Komposit Partikel (Jones, 1999)

2. Komposit Lamina (*Laminate Composite*)

Komposit lamina adalah komposit yang penyusunan antara matriks dengan bahan pengisinya tersusun secara berlapis-lapis. Pada komposit jenis ini matriks berbentuk lembaran laminat.. Komposit lamina dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Komposit Lamina (Jones, 1999)

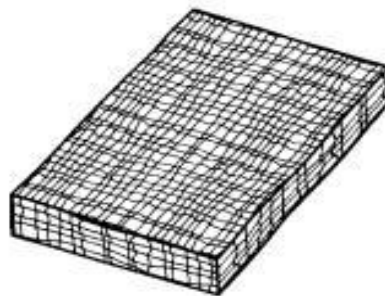
3. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)

Komposit serat adalah komposit yang tersusun dari serat sebagai penguat dan terikat dengan matriks. Penguat komposit jenis ini bisa berasal dari serat alam maupun serat sintetis.

Berdasarkan orientasi seratnya, komposit serat diklasifikasikan menjadi empat yaitu komposit serat anyam (*woven fiber composite*), komposit serat panjang kontinyu (*continuous fiber composite*), komposit serat gabungan (*hybrid composite*), dan serat pendek acak (*discontinuous fiber composite*).

a. Komposit Serat Anyam (*Woven Fiber Composite*)

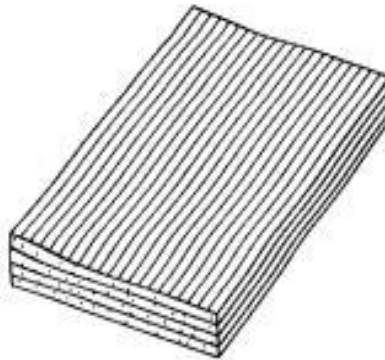
Komposit serat anyam merupakan komposit yang tersusun dari serat yang sudah dianyam. Komposit jenis ini dapat kita lihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Komposit Serat Anyam (Gibson, 2012)

b. Komposit Serat Panjang Kontinyu (*Continuous Fiber Composite*)

Komposit serat Panjang kontinyu tersusun dari serat yang berukuran panjang dan disusun secara teratur, seperti terlihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Komposit Serat Panjang Kontinyu (Gibson, 2012)

c. Komposit Serat Gabungan (*Hybrid Composite*)

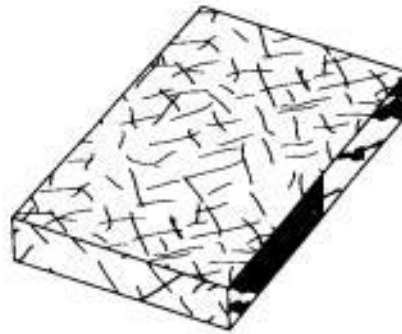
Komposit *hybrid* tersusun dari dua atau lebih jenis serat untuk meningkatkan sifat mekanis komposit dan menutupi kekurangan sifat kedua serat tersebut. Komposit jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Komposit Serat Gabungan (Gibson, 2012)

d. Komposit Serat Pendek Acak (*Discontinuous Fiber Composite*)

Komposit serat pendek acak tersusun dari serat berukuran pendek dan tersebar secara acak, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Komposit Serat Pendek Acak (Gibson, 2012)

2.2.4. Matriks

Matriks merupakan suatu material yang memiliki faksi volume terbesar (dominan) didalam komposit. Matriks mempunyai peranan yang sangat penting dalam komposit karena bertugas sebagai pengikat bahan pengisi atau *filler* yang berfungsi menanggung beban dalam material komposit. Matriks bisa dari bahan logam, polimer, atau pun kerami. Matriks yang banyak digunakan dalam material komposit untuk produk komersil, transportasi, industri adalah matriks polimer. Ada dua jenis bahan polimer yang digunakandalam material, yaitu termoset (Gibson, 2012).

1. Termoset

Berbeda dengan polimer termoplastik . polimer termoset tidak dapat didaur ulang karena mekul- mekulnya telah membentuk ikatan saling (*cross linking*). Contoh dari polimer termoset adalah *epoxy, polyester, phenolic, plenol*, dan lain – lain.

a. Epoxy

Epoxy adalah salah satu jenis matriks polimer termoset yang mempunyai sifat mekanik yang baik, kadar air yang rendah, dan mudah dalam fabrikasinya (Faruk dkk, 2012). *Epoxy* mempunyai massa jenis $1,2 \text{ gr/cm}^3$ (Holbery, 2006). Epoxy terbentuk dari dua bahan yaitu *resin* dan *hardener* dimana pencampun keduanya harus sesuai rekomendasi dari parik supaya mendapatkan hasil campran yang baik. Epoxy dapat diperkuat dengan berbagai macam serat, partikel dan keramik. Adapun sifat yang terdapat pada epoxy, yaitu :

1. Sifat Fisis

Epoxy merupakan konduktor panas dan isolator listrik yang buruk seperti kebanyakan polimer lainnya.

2. Sifat Mekanis

Epoxy mempunyai sifat yang keras dan getas. Akan tetapi dalam penggunaannya, *epoxy* sering dicampur dengan bahan lain untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik. Sifat mekanis *epoxy* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2,1 Sifat Mekanis Polimer Termoset (Holbery, 2016)

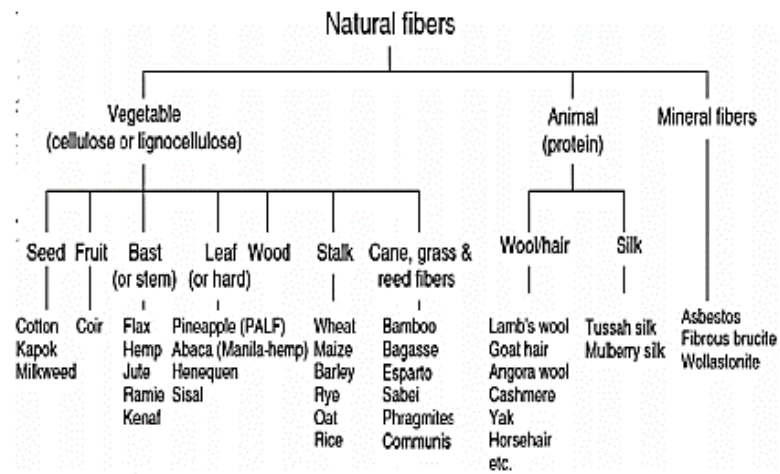
Property	Polyester Resin	Vinylester Resin	Epoxy
Density (g/cc)	1.2–1.5	1.2–1.4	1.1–1.4
Elastic Modulus (GPa)	2–4.5	3.1–3.8	3–6
Tensile Strength (MPa)	40–90	69–83	35–100
Compressive Strength (MPa)	90–250	100	100–200
Elongation (%)	2	4–7	1–6
Cure Shrinkage (%)	4–8	—	1–2
Water Absorption (24 h @ 20°C)	0.1–0.3	0.1	0.1–0.4
Izod Impact, Notched (J/cm)	0.15–3.2	2.5	0.3

2.1.1 Filler (Pengisi/Penguat)

Menurut Jones (1999) *filler* adalah bahan pengisi yang digunakan pada pembuatan komposit, *filler* bisa berupa serat atau serbuk. *Filler* berfungsi sebagai penguat, penanggung beban utama pada komposit, sehingga penggunaan *filler* yang tepat mampu meningkatkan sifat mekanis komposit. Serat yang digunakan pada pembuatan komposit adalah serat alam dan serat sintesis, sedangkan serbuk yang digunakan adalah serbuk logam dan non logam.

1. Serat Alam

Serat alam merupakan serat yang diperoleh langsung dari alam. Secara umum serat alam dibagi menjadi 3 yaitu serat hewan, tumbuhan, dan mineral. Serat tumbuhan dapat diperoleh dari berbagai tanaman seperti kenaf, pisang, sisal, dan rami. Klasifikasi serat alam dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.8 Klasifikasi Serat Alam (Akil, 2011)

Penggunaan serat alam pada material komposit sudah banyak dilakukan, karena serat alam mudah diperoleh dan memiliki sifat mekanis yang cukup baik. Serat alam juga lebih ekonomis daripada serat sintetis. Pada Tabel 2.2 disajikan sifat mekanis serat alam.

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Serat (Akil, 2011)

Serat	Densitas (g/cm ³)	Diameter (μ m)	Tensile Strenght (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elongation at break (%)
Flax	1.5	40-600	345-1500	27.6	2.7-3.2
Hemp	1.47	25-500	690	70	1.6
Jute	1.3-1.49	25-200	393-800	13-26.5	1.16-1.5
Kenaf	0.2-1.2	25-200	930	53	1.6
Rami	1.55	25-200	400-938	38	1.2-3.8
Sisal	1.45	50-200	468-700	9.4-22	3-7
Abaca	1.5	150-500	430-760	3.2	1.6
Kapas	1.5-1.6	12-38	121-220	5.5-12.6	7-8
Eglass	2.55	<17	3400	73	2.5
Kevlar	1.44		3000	60	2.5-3.7
Carbon	1.78	5-7	3400-4800	240-425	1.4-1.8

2. Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) adalah tanaman dengan sekitar 300 spesies, berpotensi sangat baik sebagai bahan baku pada produk komposit (Faruk dkk, 2012). Kenaf merupakan tanaman yang tumbuh sepanjang musim dan mudah dibudidayakan, serta mempunyai harga yang ekonomis. Tanaman kenaf berasal dari asia dan afrika, tinggi pohonnya mencapai 3-5 meter, dan mampu tumbuh diberbagai cuaca, serta mudah dalam pemisahan antara batang dengan kulit kayunya. Serat kenaf mengandung 69.2% selulosa, 27% hemiselulosa, 2.8% lignin, dan 0.8% komponen lain (Akil, 2011).

3. Mikrosilika (Silica Fume)

Menurut Khater (2013) mikrosilika atau yang dikenal sebagai *silica fume* (SF) adalah produk sampingan dari pengurangan kuarsa kemurnian tinggi batubara pada tungku listrik dalam produksi paduan *silicon* dan *ferosilicon*. *Silica fume* mempunyai kehalusan yang sangat baik dan mempunyai kandungan silika (SiO_2) yang sangat tinggi. *Silica fume* merupakan bahan pozzolan (bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina). *Silica fume* mempunyai density/massa jenis 2,65 gr/cm³ (Kosmatka, 2011) dan mempunyai diameter partikel berkisar 0,1-150 μm (hasil pengukuran menggunakan *scanning electron microscopy*)

2.2.6 Uji Mekanik Bending

Pengujian lengkung merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap spesimen dari bahan, baik yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkuan (bending) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan.

Pengujian lengkung beban ialah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yakni :

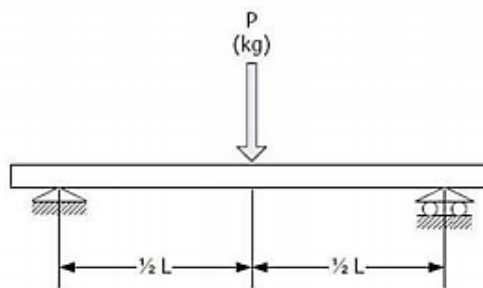
1. Kekuatan atau tegangan lengkung (σ)

2. Lentur atau defleksi (δ) sudut yang terbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi
3. Elastisitas (E) (Prayoga, 2012).

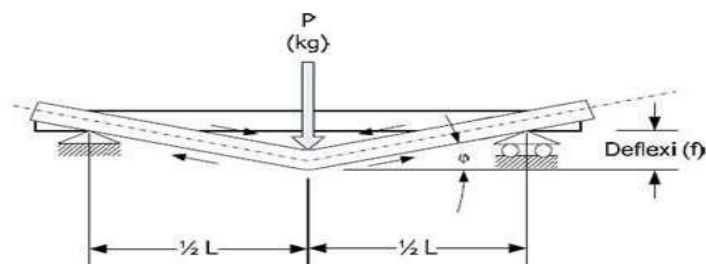
Pengujian kekuatan bending dapat dilakukan dengan Metode *Three Point Bending* atau Metode *Four Point Bending* menurut kondisi dari benda uji yang dipergunakan. Biasanya pada benda uji dengan kerataan yang kurang begitu sempurna dilakukan dengan Metode *Three Point Bending*, akan tetapi dengan hasil yang kurang maksimal apabila dipergunakan Metode *Four Point Bending*. Hal ini disebabkan terjadi konsentrasi pembebanan pada Metode *Three Point Bending*.

Metode *Three Point Bending* Pada *three point bending*, spesimen atau benda dikenai beban pada satu titik yaitu tepat pada bagian tengah batang ($\frac{1}{2} L$). Pada metode ini material harus tepat berada di ($\frac{1}{2} L$), agar mendapatkan momen maksimum karena saat mencari σ dibutuhkan momen maksimum tersebut.

Berikut ini adalah ilustrasi dari pengujian kekuatan bending dengan Metode *Three Point Bending* :



Gambar 2.9 Pembebanan Lengkung *Three Point Bending*



Gambar 2.10. Pengaruh Pembebanan Lengkung Menyebabkan Defleksi

Sebagaimana perilaku bahan terhadap pembebanan, semua bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis hingga akhirnya mengalami kerusakan (patah). Dalam proses pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ($L/2$) serta arah yang berlawanan bekerja secara bersamaan (lihat Gambar 2.10).

Setelah dilakukan pengujian bending, untuk mendapatkan angka kekuatan bending digunakan persamaan berikut:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{(2bd^2)} \dots\dots\dots [2.1]$$

Keterangan:

- σ_b = Kekuatan bending (Mpa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang span (mm)
- b = Lebar batang uji (mm)
- d = Tebal batang uji (mm)

$$\sigma_b = \frac{3PL}{(2bd^2)} \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots [2.2]$$

Keterangan :

- σ_b = tegangan bending (MPa)
- P = gaya pembebanan (N)
- L = jarak antar tumpuan/span (mm)
- b = lebar specimen (mm)
- d = tebal specimen (mm)
- D = defleksi maksimum (mm)

Persamaan 2.1 digunakan apabila perbandingan $L/d \leq 16$ dimana L adalah *support span* dan d adalah tebal specimen. Pada persamaan 2.2 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$. Untuk mendapatkan nilai regangan bending digunakan persamaan berikut :

$$\epsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots [2.3]$$

Keterangan :

- ϵ_b = regangan (mm/mm)
- D = defleksi maksimum (mm)
- L = panjang span (mm)
- d = tebal (mm)

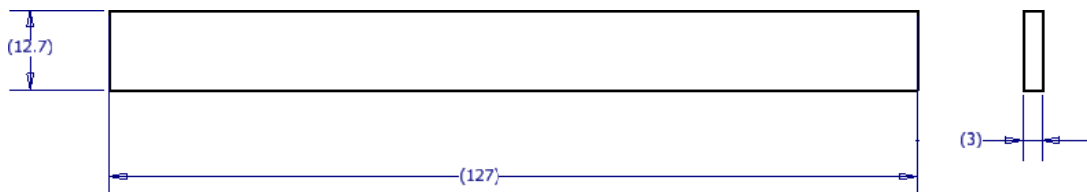
Sedangkan untuk mengetahui modulus elastisitas komposit dihitung menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut.

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots [2.4]$$

Keterangan :

- E_B = modulus elastisitas bending (MPa)
- L = Panjang span (mm)
- b = lebar specimen (mm)
- d = tebal specimen (mm)
- m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

Berikut adalah ukuran dari spesimen uji bending dengan ASTM D790-02 yang digunakan pada penelitian, ditunjukkan pada gambar 2.11.

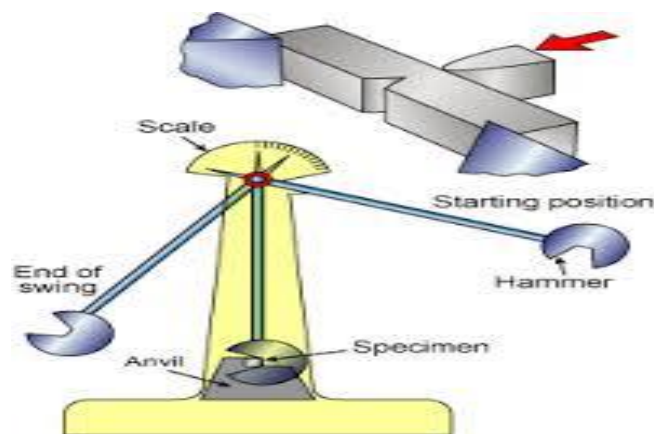


Gambar 2.11. Ukuran Spesimen ASTM 790-02

2.2.7 Uji Mekanik Impak

Uji impak merupakan pengujian material untuk mendapatkan kualitas ketahanan terhadap beban kejut, dan mempengaruhi energi yang dibutuhkan pada saat mematahkan batang spesimen dalam sekali pukul.

Metode pengujian impak ada dua metode yaitu metode charpy dan metode izod dengan takikan maupun tanda takikan pada spesimen yang disesuaikan dengan standar pengujian bahan tersebut . pada dasarnya setiap pengujian impak memiliki kelebihanannya masing – masing, pada penelitian ini menggunakan uji impak charpy untuk mengukur kekuatan dan kualitas pada spesimen polimer. Skema pengujian impak ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. skema pengujian impak *charpy*

Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya energi yang terserap oleh komposit pada pengujian impak charpy sebagai berikut.

$$\text{Energi serap} = m \cdot g \cdot R [\cos \beta - \cos a] \dots \dots \dots [2.5]$$

Keterangan :

m = Massa pendulum (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

R = Panjang lengan Pendulum (m)

B = Sudut ayun pendulum setelah menabrak spesimen ($^\circ$)

a = Sudut ayun beban pendulum ($^\circ$)

Dari hasil perhitungna energi terserap tersebut diatas, besarnya kekuatan impak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Harga Impak (HI)} = \frac{\text{Energi Serap}}{A} \dots \dots \dots [2.6]$$

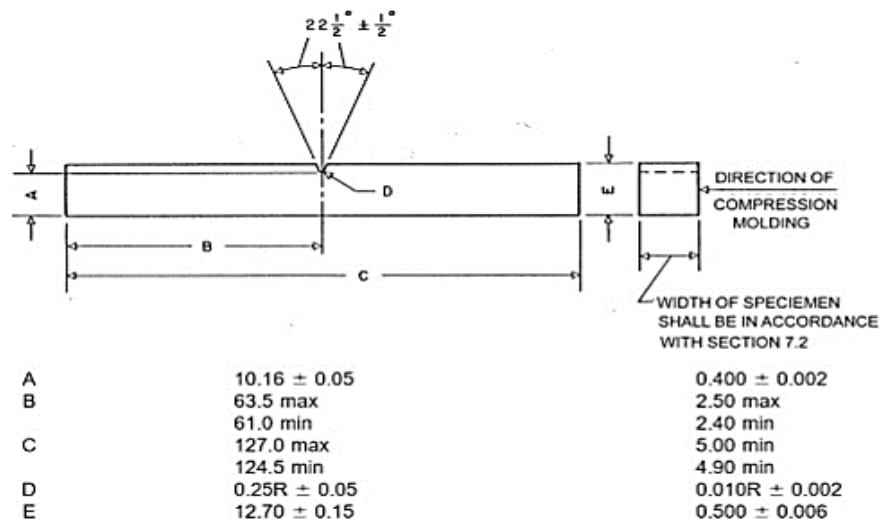
Keterangan :

HI = Kekuatan impak (kJ/ m^2)

Esrp = Energi serap spesimen (Joule)

A = Luas penampang spesimen (mm^2)

Setelah mengetahui mekanisme pengujian impact dan rumus perhitungan impact, perlu diketahui juga bahwa sebelum melakukan pengujian impact diperlukan pembuatan celah v-notch pada spesimen pengujian impact. Fungsi pada pengujian, notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah takikan sehingga material mudah patah, adanya notch akan terjadi trail stress. Trail stress adalah spesimen tidak akan terjadi deformasi plastis dan menyebabkan spesimen getas, sehingga tidak ada tanda bahwa spesimen mengalami kegagalan. Berikut ini ketentuan V-notch pada spesimen dan alat untuk membuat celah v – notch ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ukuran spesimen (ASTM D6110-04)

2.2.8 Pengujian Daya Serap

Uji daya serap air merupakan pengujian yang dimaksudkan untuk melihat kemampuan suatu material dalam menyerap air dalam kondisi yang sudah ditentukan sesuai standar. Perbandingan berat material pada kondisi sebelum dan diuji merupakan hasil dari pengujian daya serap air. ASTM D570-98 adalah standar uji daya serap air untuk polimer dan komposit. Ukuran spesimen dan kondisi telah ditentukan di dalamnya.

Berikut adalah persamaan 2.6 untuk menghitung pertambahan berat dalam uji daya serap air.

$$WB = \frac{B2-B1}{B1} \times 100 \% \dots\dots\dots [2.7]$$

Keterangan :

WB = Penambahan berat (*weight gain*) (%)

B1 = berat sebelum perendaman (gram)

B2 = berat setelah perendaman (gram)

Dan berikut persamaan 2.7 untuk menghitung *thickness swelling*.

$$TS = \frac{T2-T1}{T1} \times 100 \% \dots\dots\dots [2.8]$$

Keterangan :

Ts = Penambahan tebal (*Thickness Swelling*) (%)

T1 = berat sebelum perendaman (mm)

T2 = berat setelah perendaman (mm)

2.2.9. Microscope optic

Microscope optic yang digunakan berjenis microscope optic usb. *Microscope* berfungsi sebagai melihat pertikel kecil yang tidak bisa dilihat oleh mata manusia, menjadikan alat ini sebagai pembantu untuk melihat struktur secara kasar detail dari material. Ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 *Microsope optic* usb

Tabel 2.4 akan menjelaskan spesifikasi dari microscope optic, berikut spesifikasi alat tersebut:

Tabel 2. 3 Spesifikasi *Microscope optic*

Warna	Hittam
Resolusi Gambar/Video	640*480 pixels
Kontroler	16Bit DSP
Pembesaran	50x-1600x (manual)
Format Foto	JPEG
Format Video	AVI
Lampu LED	8
Penghubung	USB 2.0
Penerima system	WIN XP/VISTA, WIN 7 32/64-bit
Ukuran Microscope	3.2*11.4 (cm) (diameter*panjang)

2.2.10 Scanning Electron Microscopy

SEM merupakan mikroskop electron yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan objek atau mengamati ukuran partikel secara langsung. SEM memiliki kemampuan untuk melakukan perbesaran 10-3.000.000 kali, *depth of field* 4–0.4 mm, dan resolusi sebesar 1–10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik membuat SEM banyak digunakan untuk penelitian (Prasetyo, 2011). Ditunjukkan pada gambar 2.15.

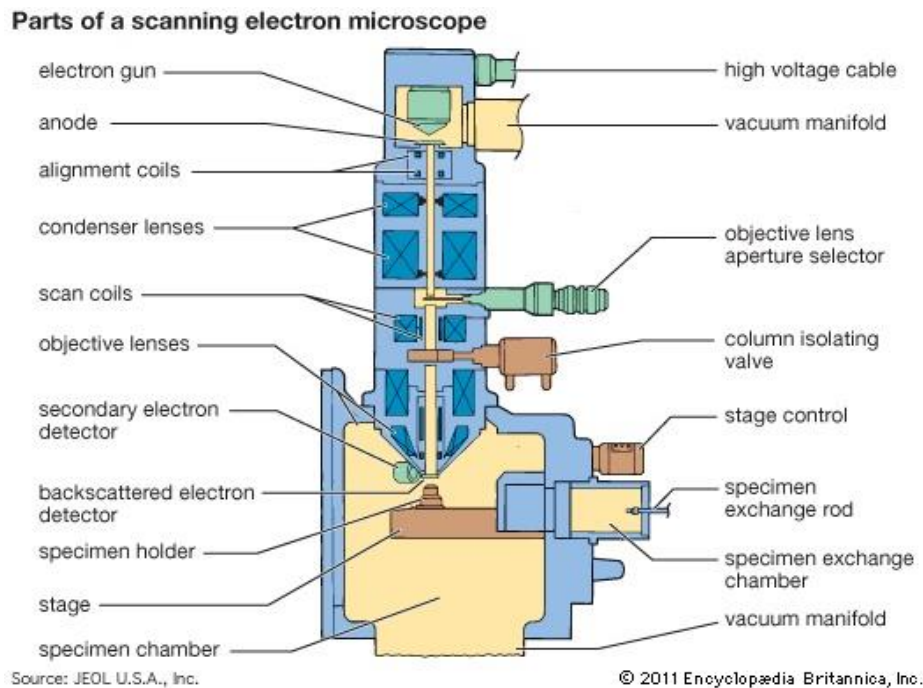
Fungsi utama dari SEM adalah untuk mengetahui berbagai informasi seperti berikut:

1. Topografi : ciri-ciri permukaan dan teksturnya.
2. Morfologi : bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek.
3. Komposisi : data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung pada objek.
4. Informasi kristalografi : informasi mengenai susunan dari butir-butir yang ada pada onjek pengamatan.

Peralatan utama yang terdapat pada SEM adalah sebagai berikut:

1. Piston elektron : berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron, seperti tungsten.

2. Lensa untuk elektron : berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan medan magnet.
3. Sistem vakum : sistem vakum digunakan untuk menghindari adanya molekul udara yang dapat mengakibatkan terpecahnya elektron.



Gambar 2.15. Bagian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Prinsip kerja dari SEM pada Gambar 2.15 ditunjukkan dalam langkah – langkah berikut.

1. Electron gun dapat menghasilkan electron beam dari filamen. Lilitan yang menerima tegangan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron.
2. Lensa kondensor atau lensa magnetik akan memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus akan memindai keseluruhan sampel oleh koil pemindai.

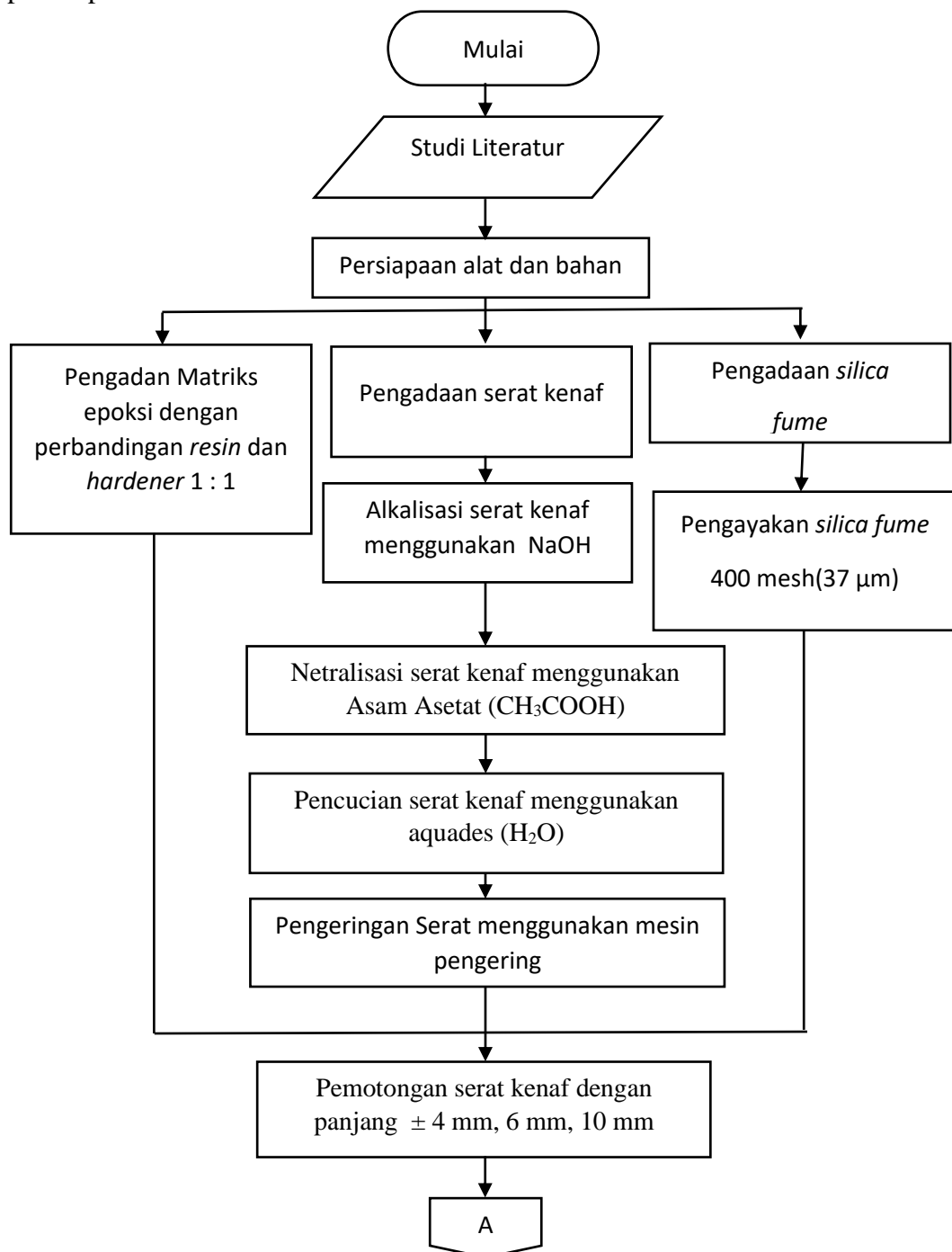
Ketika elektron mengenai sampel, terjadilah hamburan elektron, baik *secondary electron* (SE) atau *back scattered electron* (BSE) dari permukaan sampel yang dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor *cathode-ray tube* CRT (Khairurrijal dkk, 2008)

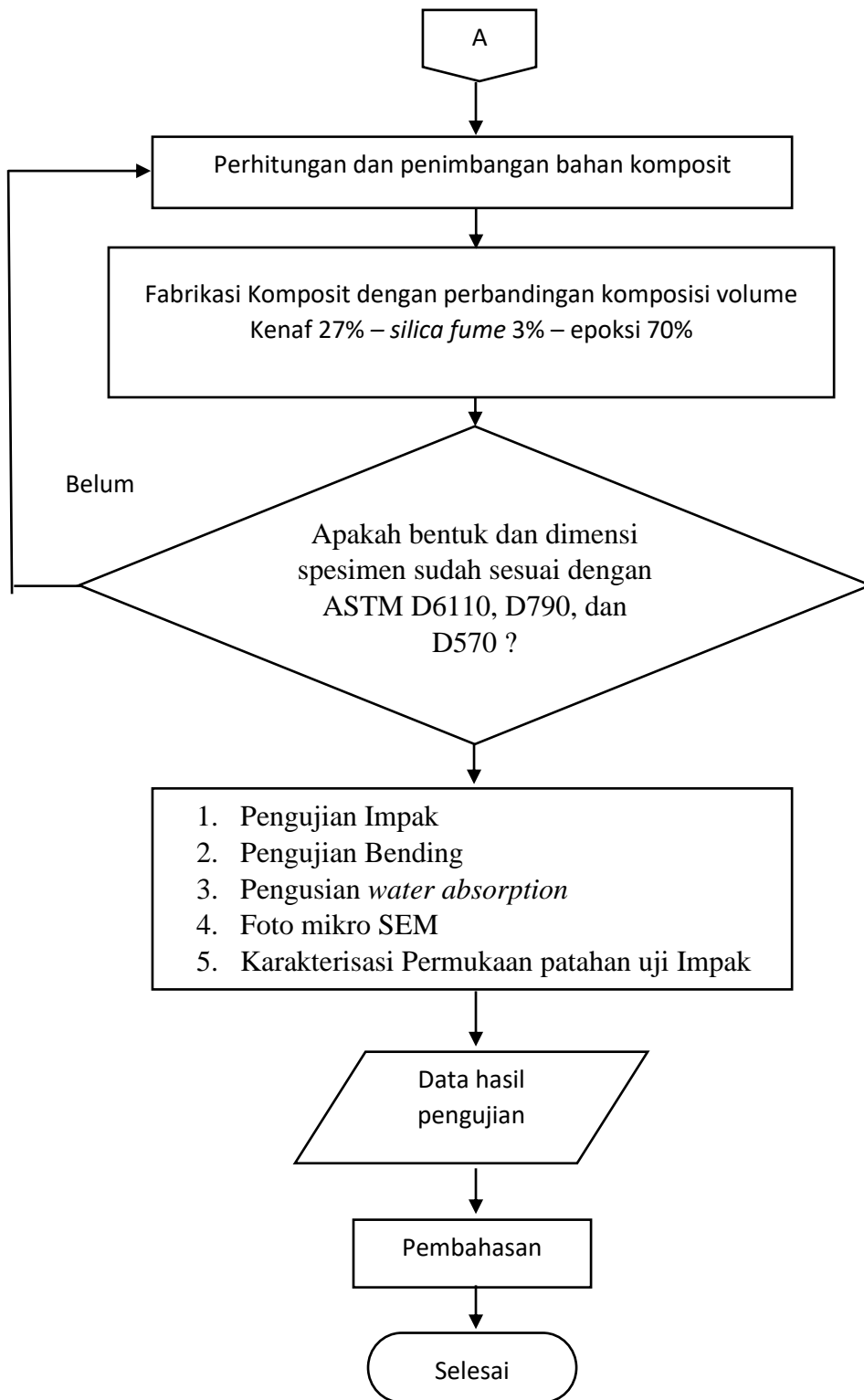
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dibuat untuk membantu tahapan-tahapan pada proses penelitian.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

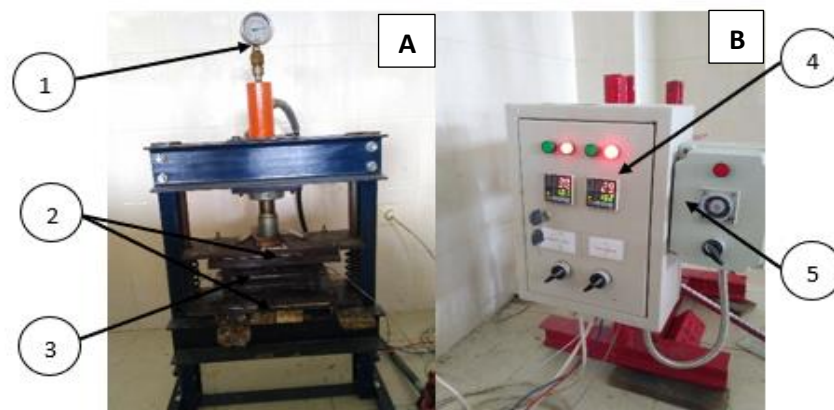
Sebelum fabrikasi spesimen uji komposit dilakukan beberapa persiapan Alat dan Bahan. Adapun dalam penelitian ini digunakan bahan dan alat sebagai berikut.

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk pembuatan komposit pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. *Hot press*

Hot press adalah alat utamayang di gunkan dalaam penelitian ini yang berfungsi untuk mengepress / menekan komposisi susunan serat dan matriks yang terdapat didalam cetakan sehingga dapat terbentuk spesimen sesuai dengan ukuuran ketebaan yang diinginkan. Mesin *hot press* ini juga berfungsi untuk mencegah terjadinya void / udara terjebak didalam spesimen.



Gambar 3.2 (A). Mesin *Hot press Molding* (B). *Control box*

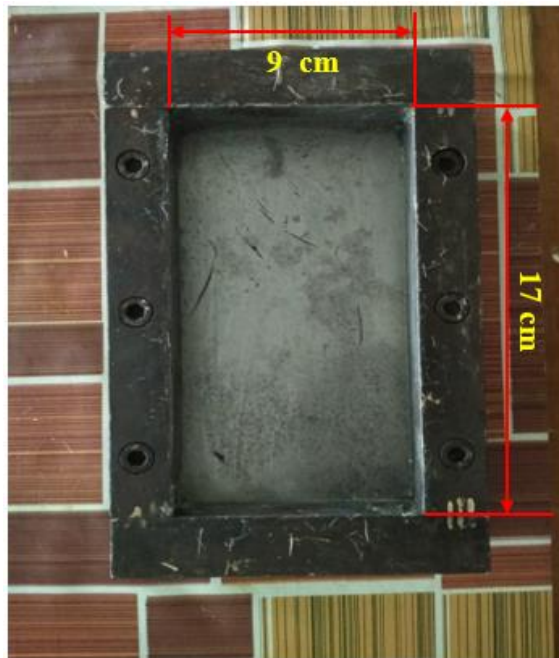
Keterangan:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1. <i>Pressure gauge</i> | 4. <i>Box termokopel</i> |
| 2. <i>Heater</i> atas dan bawah | 5. <i>Box holding time</i> |
| 3. Cetakan komposit | |

2. *Molding* (Cetakan spesimen)

Molding pada cetakan merupakan salah satu komponen penting dalam proses pencetakan karna cetakan ini berfungsi sebagai alat untuk mencetak

spesimen komposit sesuai standar pengujian yang telah ditentukan. Molding ini terbuat dari bahan logam yang memiliki 2 bagian yaitu bagian atas cetakan dan bagian bawah cetakan yang masing – masing memiliki tempat haeter sebanyak 8 buah. Bentuk cetakan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Cetakan Komposit

3. Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengayak mikrosilika dengan ukuran 400 mesh .

4. Mesin Pengering Serat

Mesin pengering serat digunakan untuk mengeringkan serat kenaf setelah proses pencucian yang menggunakan air tawar dan *aquades* (H_2O) supaya sisa kandungan air yang terdapat didalam serat kenaf hilang.

5. Lemari Asam

Lemari asam digunakan untuk menyimpan bahan yang sedang dalam proses alkalisasi agar terhindar dari pengaruh lingkungan dan tidak mempengaruhi lingkungan.

6. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan sebuk silica (SiO_2) agar tidak ada kandungan air dalam silica yang telah di lakukan proses pengayakan.

8. Magnetic Stirrer

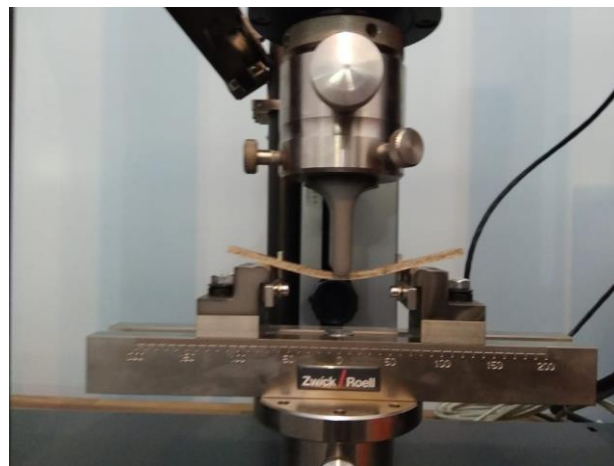
Magnetic stirrer digunakan dalam proses alkalisasi untuk melarutkan larutan *sodium hydroxide* (NaOH) dan larutan *asetat acid* (CH_3COOH) agar homogen.

9. Alat Pemotong Spesimen

Alat pemotong spesimen digunakan untuk memotong spesimen.

10. Mesin Uji Bending

Mesin uji bending digunakan untuk menguji kekuatan dari spesimen komposit. Pengujian banding komposit dilakukan di PT. *ATMI* Surakarta. Mesin uji bending yang digunakan bermerek *Zwick/Roell* buatan jerman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin Uji Bending

11. Mesin Uji Impak

Mesin uji imapak digunakan untuk menguji kekuatan dari spesimen komposit. Pengujian imapak komposit dilakukan di PT. *ATMI* Surakarta. Mesin uji bending yang digunakan bermerek *Zwick/Roell* buatan jerman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mesin Uji Impak

12. Alat Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning electron microscopy digunakan untuk mengamati permukaan serat dan struktur patahan impak pada komposit. Pengujian SEM dilakukan Alat uji SEM ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

13. Alat bantu lain

Ada beberapa alat bantu yang digunakan guna menunjang penelitian ini, diantaranya:
Gunting, blower, sarung tangan karet, wadah (mangkuk), sisir dan sikat kawat, amplas, kunci 10, penggaris

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian komposit ini adalah sebagai berikut :

1. Serat Kenaf

Serat kenaf digunakan sebagai pengisi (*filler*) primer komposit dan berfungsi sebagai penguat. Serat *kenaf* didapatkan dari Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (*BALITTAS*), Malang, Jawa Timur. Serat kenaf mempunyai massa jenis $1,45 \text{ g/cm}^3$ (Sosiati, 2014). Serat kenaf ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Serat Kenaf

2. Epoksi

Epoksi digunakan sebagai pengikat atau matriks pada komposit. Epoksi yang digunakan pada penelitian ini adalah epoksi bermerek *eposchon* yang diproduksi oleh PT. Justus Kimiaraya dengan perbandingan ratio resin dan hardener 1:1 atau 2:1 sesuai rekomendasi pabrik. Massa jenis epoksi adalah $1,2 \text{ g/cm}^3$ mengacu pada penelitian (Bozkurt dkk, 2017).

3. Mikrosilika (*Silica Fume*)

Mikrosilika digunakan sebagai pengisi sekunder komposit dan berfungsi sebagai penguat tambahan. *Silica fume* didapatkan dari PT. Chemix Pratama, Bantul, DIY. Mikrosilika atau *silica fume* mempunyai massa jenis $2,65 \text{ g/cm}^3$ (Kosmatka, 2011) dengan diameter partikel berkisar $0,1-150 \mu\text{m}$

yang dihasilkan dari foto menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM).

4. Wax Mold Release

Wax mold release digunakan untuk memudahkan spesimen dikeluarkan dari cetakan. *Wax mold release* didapatkan dari toko online.

5. Aquades (H₂O)

Aquades (H₂O) digunakan untuk mencuci serat kenaf supaya bersih dari kotoran. *Aquades* (H₂O) didapatkan dari Toko Progo Mulyo.

6. *Natrium Hydroxide* (NaOH)

NaOH digunakan untuk proses Akalisasi serat Kenaf .Bentuk dari NaOH seperti butiran dan berfungsi untuk menghilangkan kandungan lingin yang ada pada serat kenaf.

7. *Acetic acid* (CH₃COOH)

Acetic acid (CH₃COOH) Merupakan Larutan asam yang digunakan untuk Menetralkan serat yang mengandung basa hail dari alkalisasi.

3.3 Pembuatan Komposit

3.3.1 Perhitungan Fraksi Volume Komposit Hibrid untuk Uji Bending

Sebelum melakukan proses pencetakan spesimen komposit dilakukan Perhitungan fraksi volume sesuai dengan ukuran cetakan dan menghitung Massa dari serat kenaf / silica/ epoxy. Perhitungan fraksi volume matrik dengan *filler* yaitu 70% : 30, dengan perbandingan volume serat kenaf dan silica yaitu 27% : 3%. Dalam pengujian ini menggunakan varias panjang serat kenaf 4mm, 6mm, 10mm.

Berikut perhitungan perbandingan volume serat kenaf :

Perhitungan volume cetakan untuk spesimen uji bending ASTM D790

Diketahui :

Massa jenis serat kenaf = 1,45 gr/cm³

Massa jenis epoxy = 1,2 gr/cm³

$$\begin{aligned} \text{Massa jenis silica} &= 2,65 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Dimensi cetakan} &= \text{Panjang}(p) = 17 \text{ cm} \\ &\quad \text{Lebar } (l) = 9 \text{ cm} \\ &\quad \text{Tebal } (t) = 0.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perbandingan fraks volume matrik dengan *filler* 70% : 30%, dengan perbandingan volume serat kenaf dengan silica panjang serat 4 mm, 6mm 10mm, kenaf 27% + silica 3% + epoxy 70%.

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan, } v_c &= 17\text{cm} \times 9\text{cm} \times 0.3 \text{ cm} \\ &= 45,9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume epoxy, } v_e &= \frac{70\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 32,13 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa epoxy, } m_e &= v_{epoksi} \times \rho_{epoksi} \\ &= 32,13 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 38,556 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume serat kenaf, } v_k &= \frac{27\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 12,393 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa serat kenaf, } m_k &= v_{kenaf} \times \rho_{kenaf} \\ &= 12,393 \text{ cm}^3 \times 1,45 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 17,769 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume silica fume, } v_s &= \frac{3\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 1,377 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa silica fume, } m_s &= v_{silica \text{ fume}} \times \rho_{silica \text{ fume}} \\ &= 1,377 \text{ cm}^3 \times 2,65 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 3,649 \text{ gr} \end{aligned}$$

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Massa Filler dan Massa Matrik Spesimen Uji Bending

Fraksi volume Matrik dan <i>filler</i> 70% : 30%	Massa epoxy (gr)	Massa Serat Kenaf (gr)	Massa Silica Fume (gr)
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	38,556 gr	17,769 gr	3,649 gr
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	38,556 gr	17,769 gr	3,649 gr
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	38,556 gr	17,769 gr	3,649 gr

3.3.2 Perhitungan Fraksi Volume Komposit Hibrid untuk Uji Impak

Pada pengujian uji impak volume cetak sama dengan pengujian bending yang berbeda pada ketebalan spesimen nya yaitu dari 0,32 cm ke 0,4 cm.

Berikut perhitungan perbandingan volume serat kenaf :

Perhitungan volume cetakan untuk spesimen uji impak ASTM D6110

Diketahui :

$$\text{Massa jenis serat kenaf} = 1,45 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Massa jenis epoxy} = 1,2 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Massa jenis silica} = 2,65 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Dimensi cetakan} = \text{Panjang}(p) = 17 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar } (l) = 9 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal } (t) = 0.4 \text{ cm}$$

Perbandingan fraks volume matrik dengan *filler* 70% : 30%, dengan perbandingan volume serat kenaf dengan silica panjang serat 4 mm, 6mm 10mm, kenaf 27% + silica 3% + epoxy 70%.

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan, } v_c &= 17\text{cm} \times 9\text{cm} \times 0.4 \text{ cm} \\ &= 61,2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume epoxy, } v_e = \frac{70\%}{100\%} \times 61,2 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 &= 42,84 \text{ cm}^3 \\
 \text{Massa epoxy, } m_e &= V_{epoksi} \times \rho_{epoksi} \\
 &= 42,84 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 51,408 \text{ gr} \\
 \text{Volume serat kenaf, } v_k &= \frac{27\%}{100\%} \times 61,2 \text{ cm}^3 \\
 &= 16,52 \text{ cm}^3 \\
 \text{Massa serat kenaf, } m_k &= v_{kenaf} \times \rho_{kenaf} \\
 &= 16,52 \text{ cm}^3 \times 1,45 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 23,95 \text{ gr} \\
 \text{Volume silica fume, } v_s &= \frac{3\%}{100\%} \times 61,2 \text{ cm}^3 \\
 &= 1,836 \text{ cm}^3 \\
 \text{Massa silica fume, } m_s &= v_{silica \text{ fume}} \times \rho_{silica \text{ fume}} \\
 &= 1,836 \text{ cm}^3 \times 2,65 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 4,865 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Massa Filler dan Massa Matrik Spesimen Uji Impak

Fraksi volume Matrik dan <i>filler</i> 70% : 30%	Massa epoxy (gr)	Massa Serat Kenaf (gr)	Massa Silica Fume (gr)
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	51,408 gr	23,95 gr	4,865 gr
Epoxy / silica / Serat Kenaf 6mm	51,408 gr	23,95 gr	4,865 gr
Epoxy / silica / Serat Kenaf 10mm	51,408 gr	23,95 gr	4,865 gr

3.3.3 Perhitungan volume cetakan untuk spesimen uji day serap air ASTM

D570

Massa jenis serat kenaf	= 1,45 gr/cm ³
Massa jenis epoxy	= 1,2 gr/cm ³
Massa jenis silica	= 2,65 gr/cm ³
Dimensi cetakan	= Panjang(p) = 17 cm
	Lebar (l) = 9 cm
	Tebal (t) = 0.3 cm

Perbandingan fraks volume matrik dengan *filler* 70% : 30%, dengan perbandingan volume serat kenaf dengan silica panjang serat 4 mm, 6mm 10mm, kenaf 27% + silica 3% + epoxy 70%.

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan, } v_c &= 17\text{cm} \times 9\text{cm} \times 0.3 \text{ cm} \\ &= 45,9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume epoxy, } v_e &= \frac{70\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 32,13 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa epoxy, } m_e &= v_{epoksi} \times \rho_{epoksi} \\ &= 32,13 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 38,556 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume serat kenaf, } v_k &= \frac{27\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 12,393 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa serat kenaf, } m_k &= v_{kenaf} \times \rho_{kenaf} \\ &= 12,393 \text{ cm}^3 \times 1,45 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 17,769 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume silica fume, } v_s &= \frac{3\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 1,377 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa silica fume, } m_s &= v_{silica \text{ fume}} \times \rho_{silica \text{ fume}} \\ &= 1,377 \text{ cm}^3 \times 2,65 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis serat kenaf} = 1,45 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Massa jenis epoxy} = 1,2 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Massa jenis silica} = 2,65 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Dimensi cetakan} &= \text{Panjang}(p) = 17 \text{ cm} \\ &\text{Lebar } (l) = 9 \text{ cm} \\ &\text{Tebal } (t) = 0.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perbandingan fraks volume matrik dengan *filler* 70% : 30%, dengan perbandingan volume serat kenaf dengan silica panjang serat 4 mm, 6mm 10mm, kenaf 27% + silica 3% + epoxy 70%.

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan, } v_c &= 17 \text{ cm} \times 9 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} \\ &= 45,9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume epoxy, } v_e &= \frac{70\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 32,13 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa epoxy, } m_e &= v_{epoksi} \times \rho_{epoksi} \\ &= 32,13 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 38,556 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume serat kenaf, } v_k &= \frac{27\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 12,393 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa serat kenaf, } m_k &= v_{kenaf} \times \rho_{kenaf} \\ &= 12,393 \text{ cm}^3 \times 1,45 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 17,769 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume } \textit{silica fume}, v_s &= \frac{3\%}{100\%} \times 45,9 \text{ cm}^3 \\ &= 1,377 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \textit{silica fume}, m_s &= v_{\textit{silica fume}} \times \rho_{\textit{silica fume}} \\ &= 1,377 \text{ cm}^3 \times 2,65 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 3,649 \text{ gr} \end{aligned}$$

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Massa Filler dan Massa Matrik Spesimen Uji
 Daya Serap Air

Fraksi volume Matrik dan <i>filler</i> 70% : 30%	Massa epoxy (gr)	Massa Serat Kenaf (gr)	Massa Silica Fume (gr)
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	38,556 gr	17,769 gr	3,649 gr
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	38,556 gr	17,769 gr	3,649 gr
Epoxy / silica / Serat Kenaf 4mm	38,556 gr	17,769 gr	3,649 gr

3.3.4 Persiapan Bahan dan Perlakuan Alkalisasi Serat Kenaf

Sebelum digunakan sebagai bahan filler atau penguat material komposit, serat kenaf terlebih dahulu dilakukan perlakuan permukaan dan dibersihkan dari kotoran yang menempel pada serat. Berikut merupakan tahapan perlakuan yang dilakukan pada serat :

1. Serat kenaf dipilih dari gulungan serat kenaf yang tidak terdapat kulitpohonnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8



Gambar. 3.8 Pemilihan serat Kenaf

2. Kemudian serat kenaf direndam dan dibersihkan atau dicuci dengan air mengalir untuk membersihkan serat dari kotoran-kotoran kulit pohon yang tersisa atau menempel. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Pencucian Serat senaf menggunakan Air Tawar

3. Kemudian dikeringkan menggunakan mesin pengering serat selama 30 menit dengan suhu 55° Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pengeringan Serat dengan Mesin Pengering Serat

4. Setelah serat kering, dilakukan proses alkalisasi. Serat direndam dalam larutan *Natrium Hydroxide* (NaOH) 6% dan *aquades* (H_2O) 94% selama 36 jam. Proses ini bertujuan menjadikan permukaan serat kasar sehingga dapat menghasilkan ikatan yang baik dengan matriks.



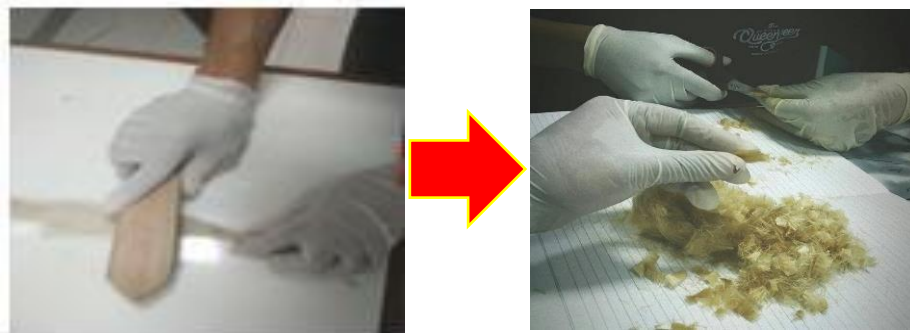
Gambar 3.11 Proses Alkalisasi

5. Setelah proses alkalisasi selama 36 jam, dilakukan penetralan basa. Serat kenaf direndam dalam larutan *acetid acid* (CH_3COOH) 2% dan *aquades* (H_2O) 98% selama 1 jam, kemudian direndam dalam *aquades* (H_2O) selama 24 jam.



Gambar 3.12 Penetralan Basa

6. Selanjutnya serat kenaf disisir dan dipotong 4 mm, 6 mm, 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Penyisiran serat dan Pemotongan serat kenaf.

7. Mengayak *silica fume* dengan ayakan 400 mesh ($37 \mu\text{m}$) setelah itu silica di oven dengan suhu 50° selama 30 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Pengayakan Mikrosilika

3.3.5 Prosedur Pembuatan Komposit

Proses pembuatan material komposit melalui beberapa tahapan. Berikut tahapan-tahapan pembuatan komposit:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk proses pembuatan komposit.
2. Menimbang bahan yang telah disiapkan sesuai perhitungan fraksi volume masing-masing variasi.



Gambar 3.15 Penimbangan Serat dan Matriks

3. Mengoleskan *wax mold release* pada permukaan cetakan bagian dalam, supaya proses pengambilan komposit dari cetakan dapat dilakukan dengan mudah.
4. Menyusun serat kenaf yang telah dipotong ke dalam cetakan.



Gambar 3. 16 Penyusunan Serat Kenaf

5. Mencampur dan mengaduk matriks dengan mikrosilika hingga merata.



Gambar 3.17 Pencampuran Matriks dan Mikrosilika

6. Menuangkan matriks dan mikrosilika yang telah tercampur ke dalam cetakan secara merata hingga terserap oleh serat kenaf.



Gambar 3.18 Penuangan Matriks dan Mikrosilika

7. Memasang tutup (cetakan bagian atas).
8. Meletakkan cetakan pada *hot press*.
9. Memasang *heater* pada lubang yang terdapat disetiap sisi cetakan.
10. Mengatur tekanan pompa hidrolik sebesar bending dan *water absorption* 1700 Psi dan impak 1160 Psi



Gambar 3.19 Proses *press* dengan Mesin *Hot Press*

11. Nyalakan dan atur suhu pada *control box* dengan temperatur 100°C dan tahan selama 25-50 menit.



Gambar 3.20 Temperatur pada *control box*

12. Setelah proses pencetakan selesai, ambil komposit dari cetakan dan potong sesuai ASTM pengujian masing-masing menggunakan mesin pemotong spesimen.

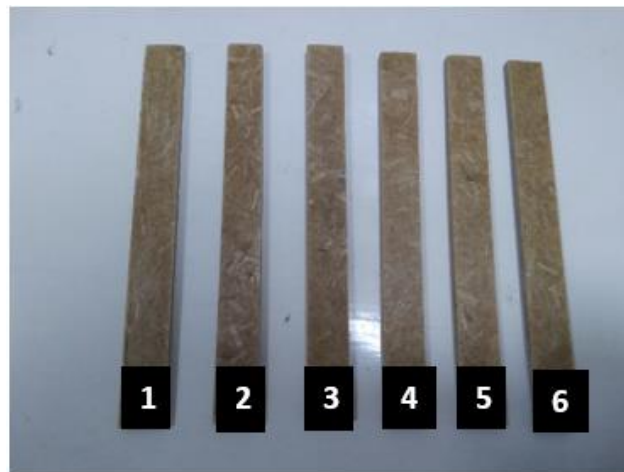


Gambar 3.21 Pemotongan Spesimen

3.4 Prosedur pengujian Bending

Berikut adalah langkah – langkah Proses penujian uji bending dengan ASTM D790 selanjutnya akan dilakukan pengujian bending. Prosedur spesimen yang akan diuji bending adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM D790 dengan dengan masing – masing 5 spesimen setiap variasi. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.22



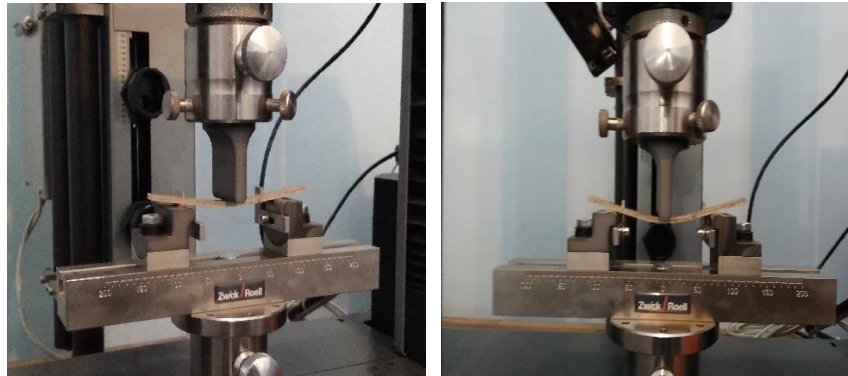
Gambar 3.22 Spesimen Uji Bending

2. Menandai setiap spesimen agar tidak ada kekeliruan saat pengujian.
3. Memberikan tanda panjang span pada setiap spesimen.
4. Memasang spesimen pada span, dan kunci panjang span 80 mm.



Gambar 3.23 Proses pemasangan pada span

5. Mengatur kecepatan pengujian mesin yaitu 2 mm / menit.
6. Spesimen langsung dilakukan pengujian bending sesuai dengan ASTM D 790. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24



Gambar 3.24 Proses pengujian Bending

3.6 Prosedur Pengujian Impak

Pada uji impak yang digunakan penelitian ini yaitu uji impak charpy sesuai dengan spesimen ASTM D 6110, Dilakukan pengujian Impak.

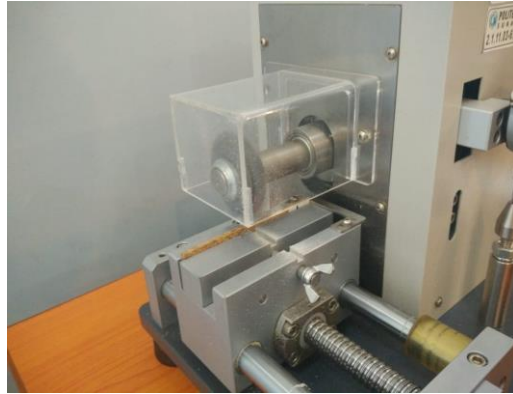
Prosedur spesimen yang akan di uji impak adalah sebagai berikut :

1. menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM D 6110 dengan masing – masing 5 sampel setiap variasi. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.25



Gambar 3.25 Spesimen Uji Impak

2. Pembuatan takikan atau *notch* pada setiap sampel benda uji dengan ASTM 6110. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Proses Pembuatan *notch*

3. Menentukan pendulum sesuai dengan jenis komposit yang akan di uji. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Proses pengujian Impak

4. Kemudian putar tuas hingga indikator sudut sesuai pada garis yang sudah di beri tanda. Hal ini agar pandulum sudah sesuai dengan jarak benturan.
5. Kemudian lepaskan (*release*) pandulum tanda pembebanan untuk mendapatkan sudut *alpha* pada spesimen.
6. Kembali ke langkah no. 2 setelah sesuai dengan ASTM D6110 pada anvil. Release pandulum dan akan didapat nilai hasil impak pada monitor mesin impak.

3.7 Prosedur Pengujian Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Pengujian daya serap air ini dilakukan untuk mengetahui nilai kemampuan menyerap air pada setiap spesimen uji. Ukuran spesimen uji disesuaikan standar ASTM D570. Pengujian ini dilakukan dengan merendam spesiemen uji ke dalam wadah yang berisi air dengan ph 7 selama per 12 jam selama penyerapan berhenti.

1. Memotong spesimen sesuai ASTM D570 yaitu (76,2 mm x 25,4 mm x 3,2 mm)dengan toleransi ukuran spesimen $\pm 0,20$ mm serta mengamplas ujung spesimen setelah dipotong supaya halus dan mudah diukur. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.28



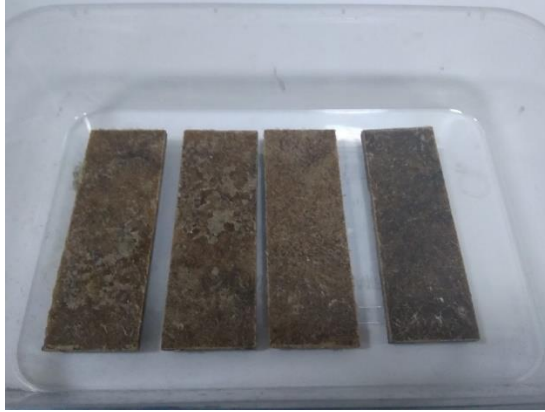
Gambar 3.28. Spesimen uji daya serap air

2. Menimbang berat dan mengukur tebal spesimen pada 5 titik lokasi pengukuran sebelum perendaman. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.29



Gambar 3.29 Penimbangan dan Pengukuran Spesimen

2. Perendaman spesimen kedalam air dengan pH 7. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.30.



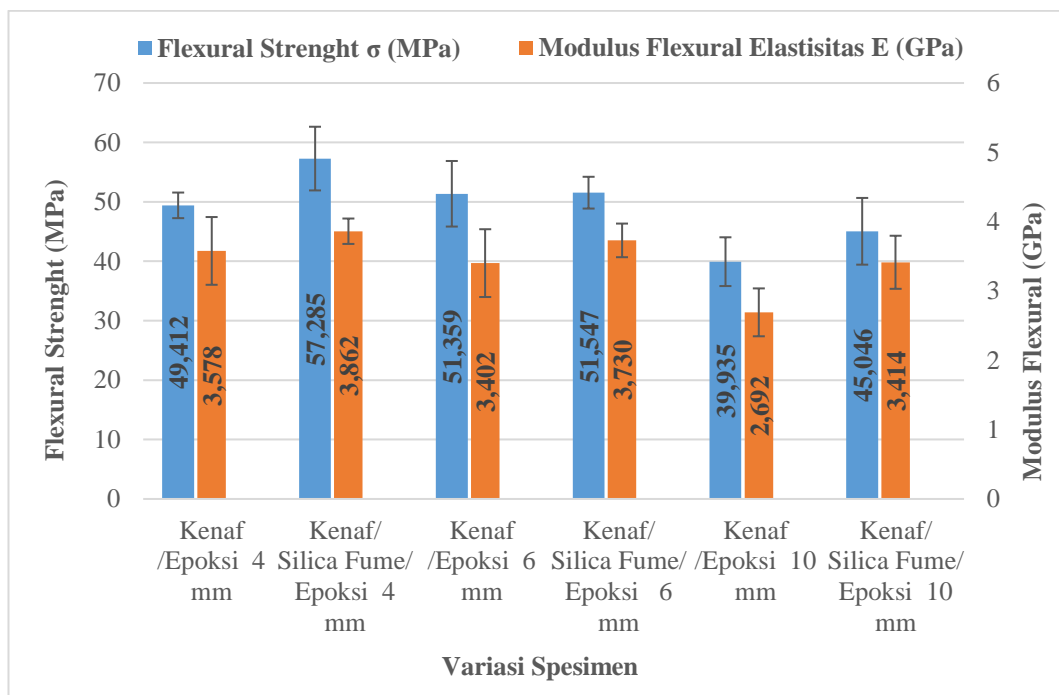
Gambar 3.30 Perendaman Spesimen Uji Daya Serap Air

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bending

4.1.1 Kekuatan dan Modulus Bending

Dari hasil pengujian bending perbandingan antara kenaf / epoxy kenaf /silica fume / epoxy diperoleh dengan berbentuk grafik yang kemudian diolah mencari kekuatan bending, modulus elastisitas bending, dan regangan bending. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :



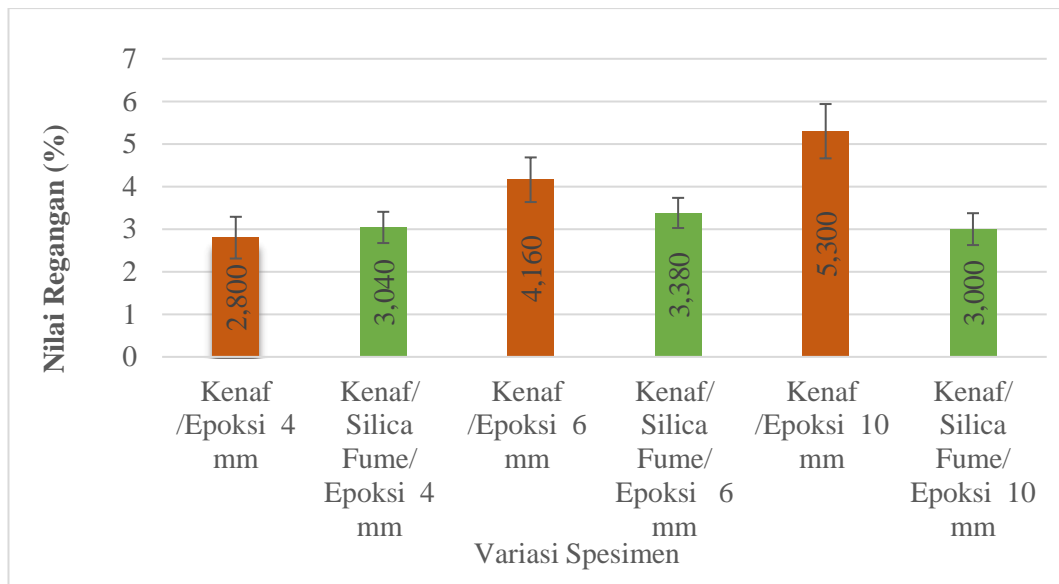
Gambar 4.1 Kekuatan *bending* dan modulus *bending*

Hasil pengujian *bending* menunjukkan peningkatan nilai kekuatan *bending* dengan menggunakan partikel *silica fume*. Hal ini menyebabkan *silica fume* meningkatkan kekuatan mekanis (Yusoff, 2015). Kekuatan bending komposit cenderung meningkat seiring semakin pendek serat. Hal ini disebabkan karena panjang serat 4 mm lebih mampu mendistribusi tegangan *bending* pada *filler* dan matriks yang lebih merekat dan merata, dibandingkan variasi panjang serat 6 mm dan variasi panjang serat 10 mm. variasi panjang serat 4 mm kekuatan bending

mengalami peningkatan sebesar 14.7% dari variasi panjang serat 4 mm tanpa *silica fume*. Pada variasi panjang serat 6 mm mengalami peningkatan sebesar 3.8% dari variasi panjang serat 6 mm tanpa *silica fume* serta variasi panjang serat 10 mm mengalami peningkatan sebesar 17.1% dari variasi panjang serat 10 mm tanpa *silica fume*. Pada variasi panjang serat kekuatan *bending* terendah sebesar 39,935 MPa pada variasi panjang serat 10 mm tanpa *silica fume* dan kekuatan *bending* tertinggi sebesar 57,285 MPa pada variasi panjang serat 4 mm menggunakan *silica fume*.

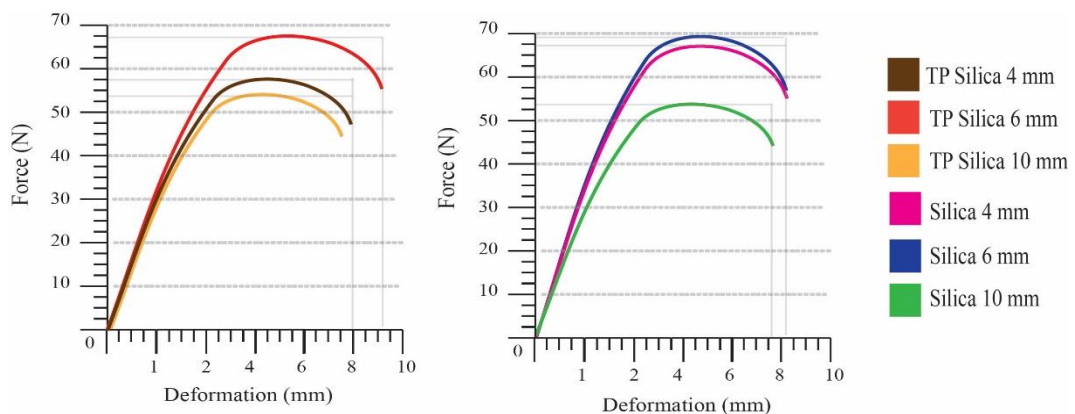
Penambahan panjang serat tidak selalu menaikkan kekuatan mekanis komposit. (Kongkaew dkk,2016) meneliti kekuatan bending komposit serat akar wangi perlakuan dengan matriks epoksi dan menggunakan variasi panjang serat 3, 5, 7, 9 dan 13 mm dengan menggunakan metode hand *Lay-up* menghasilkan kekuatan bending komposit optimum pada variasi panjang serat 7 mm sebesar 30,05 MPa, sedangkan pada variasi 3 mm mengalami penurunan kekuatan bending sebesar 16,01 MPa. Hasil penelitian komposit kenaf /epoksi kenaf lebih tinggi dikarenakan pada penelitian (Kongkaew dkk,2016) perbandingan matriks yang digunakan epoksi dan hardener tidak seimbang sehingga pada saat pencampuran epoksi dan hardener tidak maksimal dan membutuhkan pengepresan lebih lama, selain itu menggunakan *filler* serat vetiver juga memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan serat kenaf.

4.1.2. Regangan



Gambar 4.2 Grafik Regangan Hasil Uji bending komposit.

Dari data pada Gambar 4.2 di atas nilai regangan tertinggi pada komposit kenaf / epoxy yaitu pada variasi panjang serat 10 mm sebesar 5,300% dan komposit kenaf / epoxy terdefleksi pada variasi panjang serat 6 mm yang memiliki kekuatan kekuatan dan modulus elastisitas tertinggi hasil memberikan dengan hasil regangan sebesar 3,380 %. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan panjang serat sebanding dengan meningkatnya regangan komposit yang lebih tinggi dan semakin besar panjang serat maka kekuatan modulus *elastisitas bending* nya pun meningkat, bentuk patahan spesimen uji didominasi oleh patah getas-

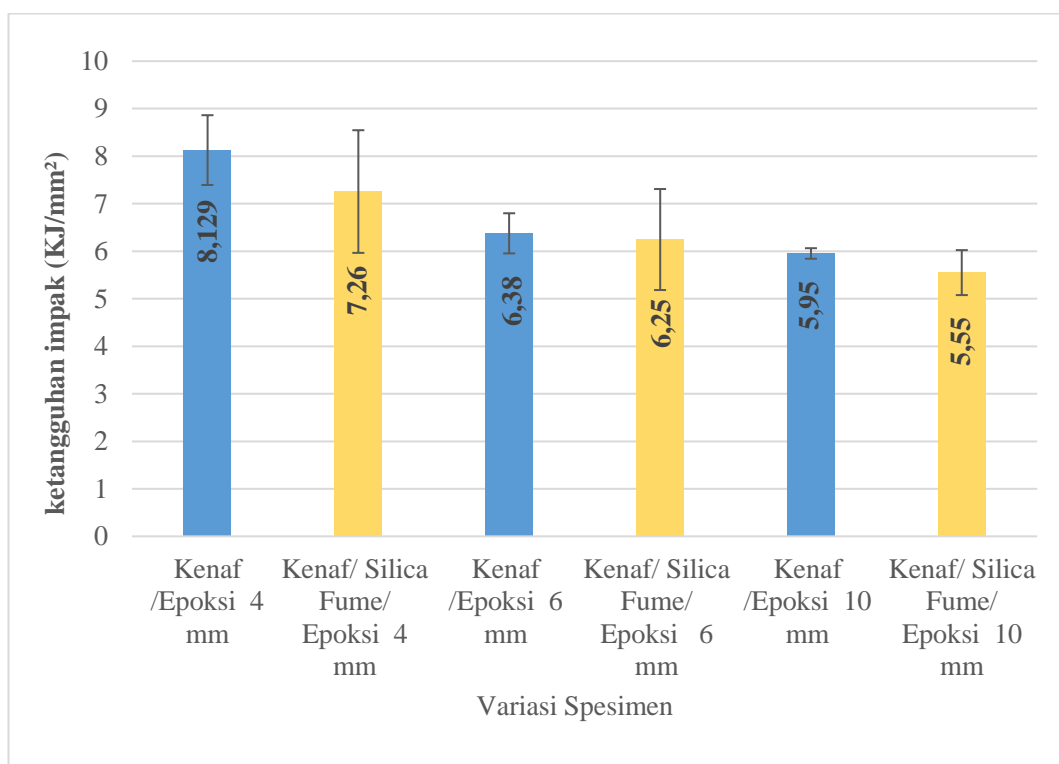


Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Bending

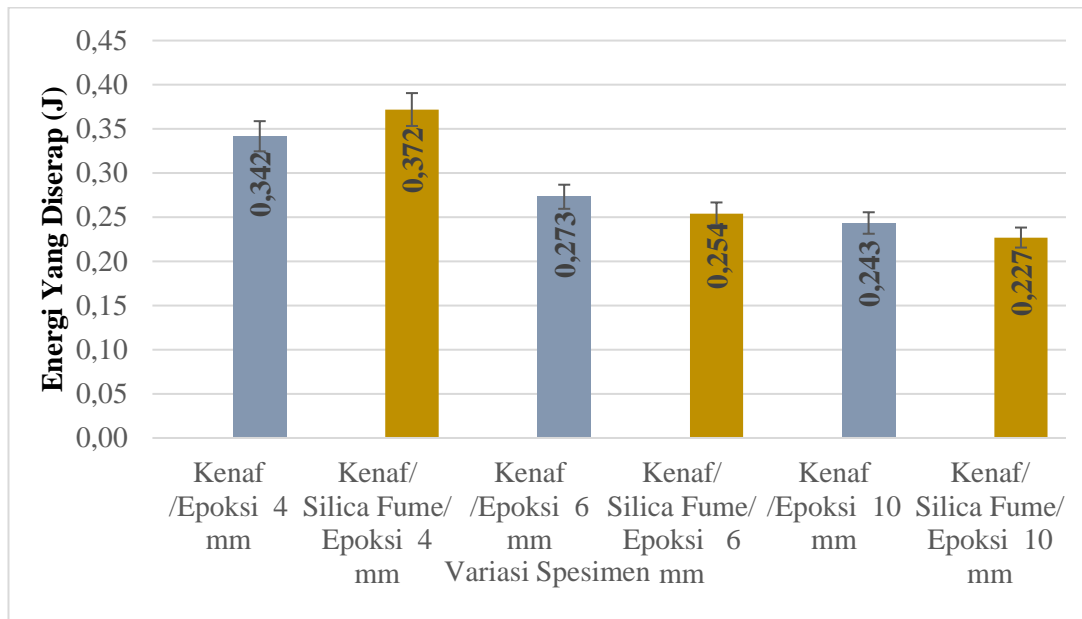
4.2 Hasil Pengujian Impak

4.2.1 *Impact Stenght* dan *impact energy* komposit

Pada pengujian impak menghasilkan nilai ketangguhan impak dan energi yang diserap. Di bawah ini adalah grafik hasil pengujian impak komposit perbandingan antara kenaf /epoksi dan kenaf /*silica fume* / *epoxy*. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik Ketangguhan *Impact* komposit



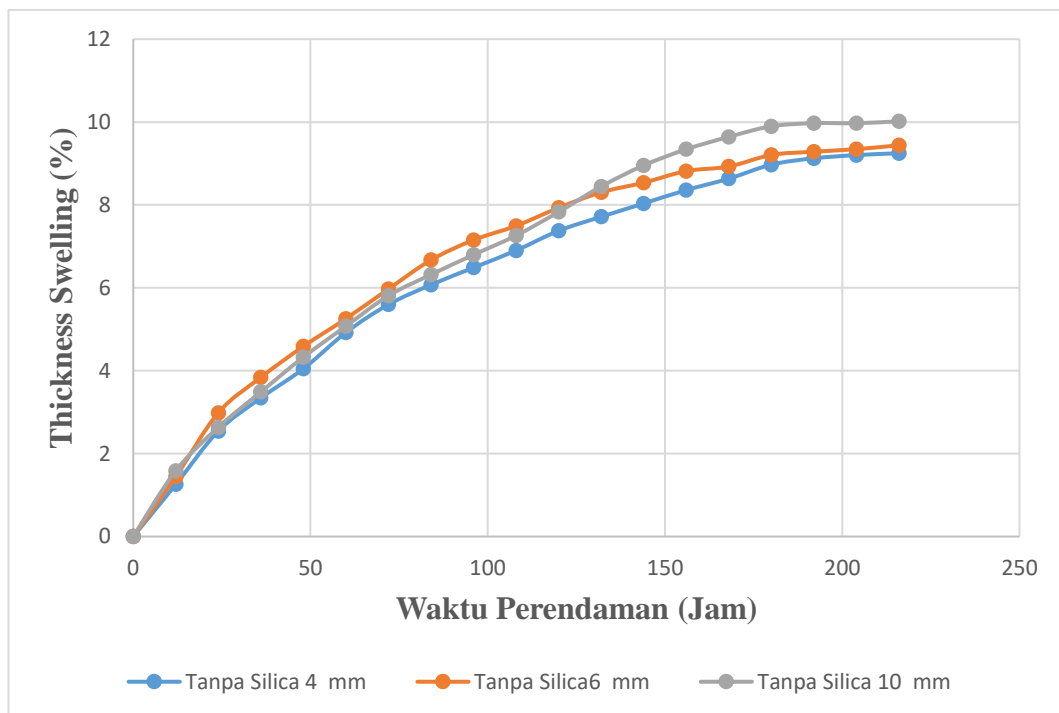
Gambar 4.5 Energi Serap.

Grafik ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan hasil pembuatan komposit kenaf /epoksi memiliki ketangguhan impact yang tinggi pada variasi komposit kenaf /*silica fume* / *epoxy* Ketangguhan impact variasi panjang serat 4 mm komposit kenaf / *epoxy* hasil tertinggi yaitu sebesar 8,129 kJ/m² dan ketangguhan impact variasi panjang serat 10 mm komposit kenaf /*silica fume* /*epoxy* hasil terendah yaitu sebesar 5,55 kJ/m². Bila dibandingkan penelitian (Vinod dkk,2014) meneliti kekuatan impact komposit serat nanas dengan matriks epoksi dan pengaruh variasi panjang serat 3, 6, 9, 12 mm disusun metode *Lay-up* menghasilkan kekuatan impact komposit optimal 6 mm sebesar 3,2kJ/m². Hal ini di sebabkan persentase serat matriks perendaman serat memberikan pengaruh yang sangat besar. ini karena lamanya perendaman akan memengaruhi serat sehingga mudah putus dan rapuh. Hal ini disebabkan komposit dengan variasi panjang serat 4,6,10 mm komposit kenaf / *epoxy* menunjukkan sebaran serat yang merata dan tidak ada serat yang tercabut akibat pengujian dilihat dari hasil pada SEM terlihat sedikitnya adanya debonding dan fiber pull out sehingga serat kerikat kuat pada matrik. Komposit kenaf /*silica fume* / *epoxy* hasil terendah disebabkan karena matriks dan *filler* tidak merata selain itu susunan serat yang tidak baraturan juga berpengaruh kekuatan impact pada spesimen dimana ada kemungkinan terjadinya *void* pada komposit.

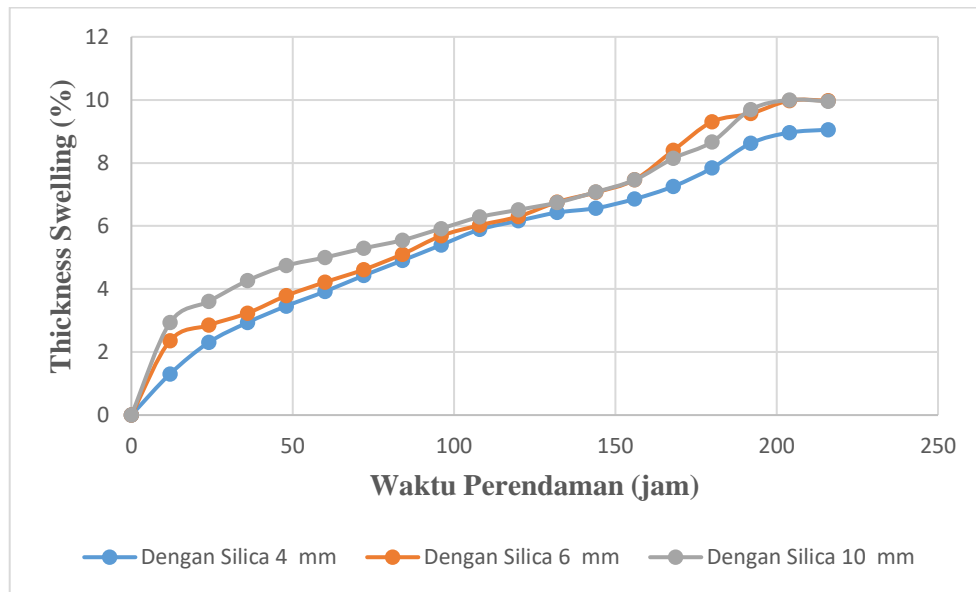
4.3 Hasil Pengujian Daya serap air

Pengujian ini menghasilkan data mengenai perubahan tebal (*thickness swelling*) dan penambahan berat (*weight gain*) dengan pengukuran spesimen setiap 12 jam sekali. Dibawah ini grafik penambahan tebal dan berat pada spesimen komposit uji daya serap air :

4.3.1 Grafik *Thickness Swelling*



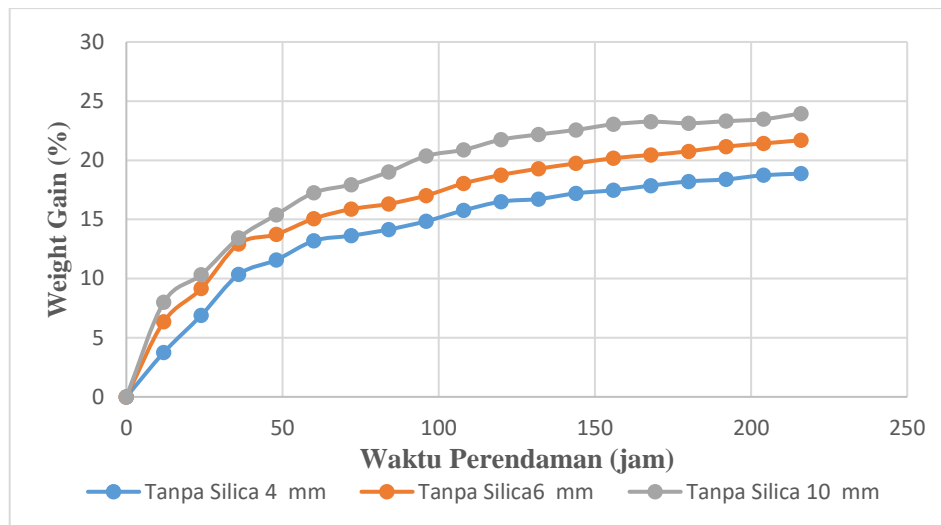
Gambar 4.6 *Thickness Swelling* Akibat Penyerapan Air



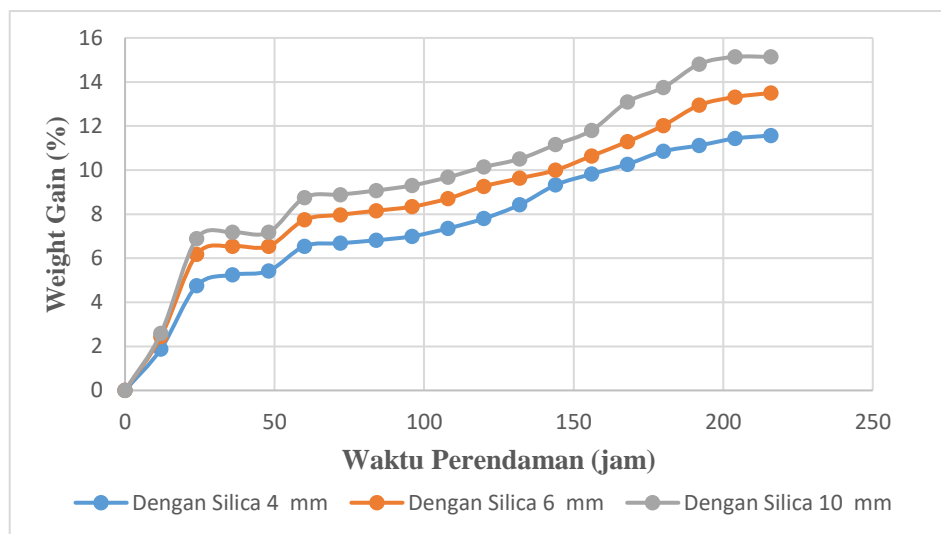
Gambar 4.7 *Thickness Swelling* Akibat Penyerapan Air

Berdasarkan data pada Gambar 4.6 dan 4.7 grafik pertambahan tebal (*thickness swelling*) pada pengujian daya serap air diatas dapat dilihat kenaikannya konstan di rentang 168 jam sampai 216 jam. Komposit dengan variasi panjang serat 4 mm mempunyai tingkat kenaikan paling rendah dibandingkan dengan variasi panjang serat 6 mm dan 10 mm. kenaikan tertinggi dengan variasi panjang serat 10 mm tanpa silika di bandingkan menggunakan *silica fume* dikarenakan sifat serat alam (kenaf) yang *hidofilik* (menyerap air) tanpa terhalang oleh partikel *silica fume* akan lebih mudah dalam meyerap air (Shakerin,2010).

4.3.2 Grafik *Weight Gain*



Gambar 4.8 *Weight Gain* Akibat Penyerapan Air

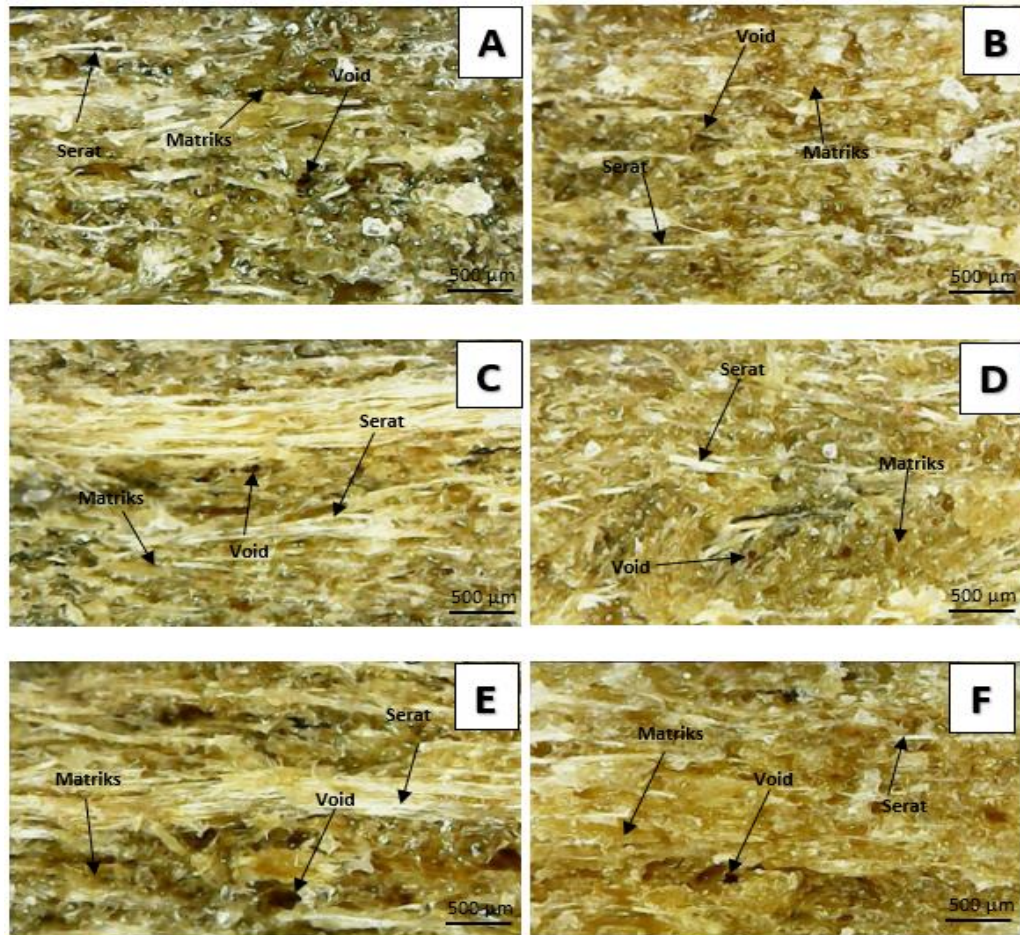


Gambar 4.9 *Weight Gain* Akibat Penyerapan Air

Berdasarkan data pada Gambar 4.8 dan 4.9 grafik pertambahan berat (*weight gain*) diatas menunjukkan antara lama perendaman pada spesimen. Semakin lama perendaman yang dilakukan sebanding dengan meningkatnya pada berat spesimen. Variasi panjang serat 10 mm tanpa *silica fume* pertambahan berat yang paling tinggi dibandingkan dengan menggunakan *silica fume*. Penyerapan air akan semakin meningkat karena adanya ikatan matriks dan *filler* yang buruk

mengakibatkan terjadinya *void* akan memungkinkan penyerapan air yang lebih (Shakeri, 2010). Dengan adanya partikel *silica fume* akan lebih merata menghalangi serat alam (kenaf) dalam penyerapan air dan membantu menutupi *void*. Daya serap air akan mengakibatkan spesimen komposit bertambah tebal dan berat.

4.4 Analisa Foto Makro Patahan Hasil Pengujian Impak



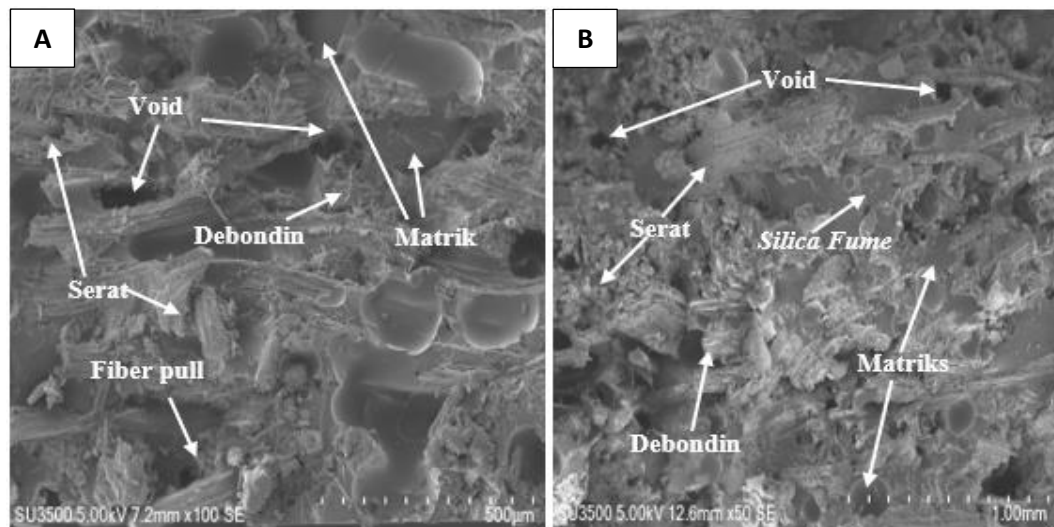
Gambar 4.10 Hasil Foto Makro menggunakan Mikroskop Optik

(A) tanpa *Silica fume* (B) *Silica fume* panjang serat 4 mm, (C) tanpa *Silica fume* (D) *Silica fume* panjang serat 6 mm, (E) tanpa *Silica fume* (F) *Silica fume* panjang serat 10 mm.

Gambar 4.10 Hasil uji foto makro patahan komposit kenaf/ *epoxy* dan kenaf /*silica fume/ epoxy* menggunakan mikroskop optik mengamati pada pesebaran serat kenaf da matrik *epoxy* . Hasil pada patahan komposit menunjukkan pesebaran serat

kurang merata, dan masih banyak susunan serat kenaf yang tidak searah dengan bentuk cetakan atau melintang. Susunan serat kenaf karena posisinya yang tidak searah dengan bentuk cetakan akan terpotong. Hal ini terjadi karena metode pencampuran serat yang dilakukan masih manual secara acak (*hand lay up*). Komposit yang persebaran serat merata dan searah pada variasi panjang serat 4 mm dibandingkan dengan variasi panjang serat 6 mm, 10 mm. Dimana terjadinya aglomerasi (bergelombang). Hal ini juga didukung oleh pengujian bending variasi panjang serat kenaf 4 mm yang memiliki nilai yang paling tinggi diantara variasi yang lain. Untuk persebaran *silica fume* tidak terlihat pada pengujian karakterisasi mikroskopi optik, oleh karena itu persebaran partikel *silica* akan diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM).

4.5 Analisa Foto Mikro Patahan Hasil Pengujian Impak Komposit menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM)

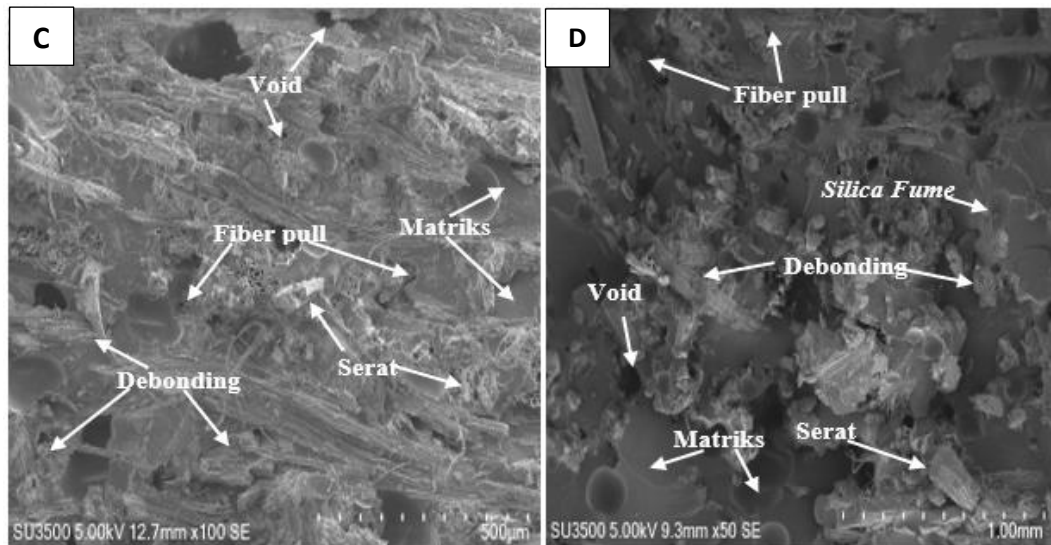


Gambar 4.11 SEM

(A). Kenaf/ epoxy (B).Kenaf /*silica fume*/ epoxy panjang serat 4mm

Pada gambar 4. 11 memperlihatkan bahwa pada komposit dengan variasi SEM kenaf/ epoxy dan kenaf /*silica fume*/ epoxy variasi panjang serat 4 mm menunjukkan persebaran serat kenaf masih mengumpul pada titik tertentu, tetapi pada titik lain partikel *silica fume* tersusun dengan homogen dan mampu terikat

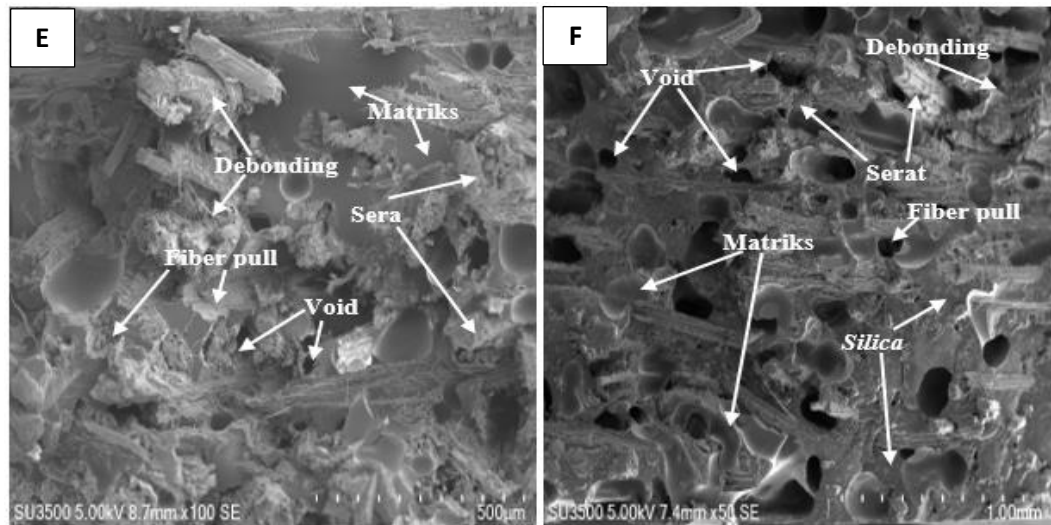
baik dengan matriks, hal itu dapat dilihat dengan jelas adanya debonding pada serat kenaf, meskipun debonding terlihat jelas, namun sedikitnya *fiber pull out* pada serat kenaf yang dapat mempengaruhi penurunan kekuatan mekanis pada variasi tersebut. Pada panjang serat kenaf 4 mm sedikitnya void pada beberapa bagian akibat adanya udara yang masuk pada saat proses fabrikasi berlangsung.



Gambar 4.12 SEM

(A). Kenaf/ epoxy (B).Kenaf /silica fume/ epoxy panjang serat 6 mm

Hasil karakterisasi komposit dengan variasi SEM kenaf/ epoxy dan kenaf /silica fume/ epoxy variasi panjang serat 6 mm yang di tunjukan pada gambar 4.12 memperlihatkan ikatan serat kenaf dan matriks yang mampu terikat dengan baik karena sedikit adanya debonding dan adanya *fiber pull out* pada setiap sisinya sehingga mampu menutunkan kekuatan mekaniskomposit tersebut. Persebaran serat sudah homogen walaupun masih ada dalam beberapa titik serat kenaf masih mengumpul. Void yang terlihat menunjukkan bahwa pada proses fabrikasi udara masukdan terjebak didalam komposit, yang menyebabkan menurunnya mekanis dan air lebih banyak masuk saat pengujian daya serap air.



Gambar 4.13 SEM

(A). Kenaf/ *epoxy* (B).Kenaf /*silica fume/ epoxy* panjang serat 10 mm

Gambar 4.13 merupakan hasil karakterisasi dari komposit kenaf/ *epoxy* dan kenaf /*silica fume/ epoxy* variasi panjang serat 10 mm yang menunjukkan persebaran serat dan matriks kurang merata. Adanya *debonding* dan *fiber pull out* yang terlihat pada komposit kenaf/ *epoxy* dan kenaf /*silica fume/ epoxy* variasi panjang serat 10 mm menyebabkan ikatan serat dengan matriks menjadi lebih mudah terlepas sehingga kekuatan mekanis mengalami penurunan. Apabila dilihat dari hasilpengujian impak, adanya *debonding* dan *fiber pull out* merupakan salah satu penyebab hasil yang kurang baik selain karena komposisi serat kenaf tidak dominan. *Void* yang terlihat banyak disebabkan masuknya udara saat proses fabrikasi dan udara tersebut terjebak di dalam komosit sehingga membentuk rongga – rongga menyebabkan menurunnya kekuatan mekanis dan menjadi penyebab air masuk kedalam komposit dan juga melalui sifat pada *hydrophilic* serat kenaf.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pada komposit kenaf/*epoxy* tanpa penambahan *silica fume*, kekuatan bending optimal diperoleh pada panjang serat 6 mm sebesar 51,359 MPa, sedangkan kekuatan impact optimal diperoleh pada panjang serat 4 mm sebesar 8,129 kJ/m². Daya serap air terendah diperoleh pada panjang serat 4 mm dengan pertambahan tebal 9,24% dan pertambahan berat sebesar 18,8%
2. Pada komposit kenaf/*epoxy* dengan penambahan *silica fume*, kekuatan bending tertinggi diperoleh pada panjang serat 4 mm sebesar 57,285 MPa, sedangkan kekuatan impact tertinggi diperoleh pada panjang serat 4 mm sebesar 7,26 kJ/m². Daya serap air terendah diperoleh pada panjang serat 4 mm dengan pertambahan tebal 9,05% dan pertambahan berat sebesar 11,5%
3. Penambahan *silica fume* mampu menahan beban tekan secara perlahan dengan baik, namun tidak mampu menahan beban kejut dengan baik
4. Analisa SEM menunjukkan bahwa penambahan *silica fume* dan semakin panjang ukuran serat mengakibatkan lebih banyak void yang berdampak turunnyanya ketangguhan impact.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan untuk penelitian lebih lanjut adalah:

1. Dalam proses fabrikasi komposit, sebaiknya pada saat melakukan pencampuran matrik dan partikel di usahakan tidak ada gelembung yang muncul karena dapat terjadinya keadaan void pada komposit hal ini mempengaruhi dalam sifat mekanis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Peneliti banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Berli Paripurna Kamiel S.T., M.Eng., Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Harini Sosiati selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingan tugas akhir.
3. Bapak Cahyo Budiyanoro, S.T., M. Sc selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan tugas akhir.
4. Ayah Sukarman yang selalu memberikan dorongan moril dan materil hingga saat ini.
5. Ibu Sapti Sri Rahayu yang selalu memberikan dukungan dan doa, dan terimakasih selama ini sudah membesarkan penulis dengan kasih sayang, dengan pengorbanannya sehingga, penulis bisa sampai ke jenjang Perguruan Tinggi ini.
6. Kos wisma yang memberikan dukungan materil selama dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Keluarga besar “Do’a Ibu kelas A” Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 2015, yang telah menjadi keluarga di perantauan semenjak awal masuk perkuliahan.
8. Keluarga KKN 175 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 2018, Haekal, Arif, Galih, Elfath, Hanum, Rista, Mega, dan Puput, yang telah kebersamai dalam pengabdian dan belajar bermasyarakat di Miritpetikusan, Kebumen.
9. *Harini Squad*, Febri, Haqqy, Fahmi, dan Galih, yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan penelitian tentang sifat mekanis dan fisis komposit hybrid berpenguat kenaf/*silica*.

10. Kawan-kawan komposit, Deni, Dwiki, Ridwan, Hakim, Faris, Dimas, Faisal, Beni, dan Marizal. Serta kawan-kawan nano material, Nabil, Hendrawan, Prama Aji, Agung, dan Dirga, yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir
11. Febriana Nur Atsauri sebagai kekasih saya yang saya cintai, yang selalu sabar dan memberikan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini, maaf sering membuat marah karena sering begadang dan lembur karena riset akhir-akhir ini.
12. Staff pengajar, Laboran dan Tata Usaha Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu penyusun dalam menyelesaikan tugas akhir, yang tak dapat penyusun sebutkan semua satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar, M.A.A., Ahmad, S., Kuntjoro, W. (2010). *The Mechanical Properties of Treated and Untreated Kenaf Fibre Reinforced Epoxy Composite*. Journal of Biobased Materials and Bioenergy Vol. 4: 1-5.
- Akil, H.M., Omar, M.F., Mazuki, A.A.M., Safiee, S., Ishak, Z.A.M., Bakar, A.A. (2011). *Kenaf Fiber Reinforced Composites: A Rivew*. Journal of Materials and Design. Vol. 32 : 4107-4121.
- ASTM D6110-04. *Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*
- Annual Book ASTM Standart D638-01. (2001). USA.
- Annual Book ASTM Standart D570-98. (1998). USA.
- Bozkurt, O.Y., Al-Azzawi, W.K., Ozkan, O. (2017) *The Effect of Nanosilica on Tensile and Flexural Behavior of Glass Fiber Reinforced Composite Laminates*. Mechanical Engineering Department, Gaziantep University, Turkey. Proceedings of Academics World International Conference, Lisbon, Portugal,5(3) : 8-11
- Bakar, N. H., Hyie, K. M., Mohamed, A. F., Salleh, Z. & Kalam, A. (2014). *Kenaf fibre composites using thermoset epoxy and polyester polymer resins: energy absorbed versus tensile properties*. Materials Research Innovations. 18(6) : 505-509
- Elmarakbi, A. (2014). *Advanced composite materials for automotive applications (First Edition)*. John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P., Sain, M. (2012). *Biocomposites Reinforced with Natural Fibers: 2000-2010*. Progres in Polymer Science Vol. 37, :1552-1596.
- Gowthami, A., Ramanaiah, K., Prasad, A.V.R., Reddy, K.H.C., Rao, K.M., Babu, G.S. (2013). *Effect of Silica on Thermal and Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Polyester Composites*. JMES 4 (2) : 199-204.
- Ghassemieh, E. (2011). *Material in Automotive Appllication, State of the Art and Prospect*. New Trends and Developments in Automotive Industry. InTech Europe. Croatia.
- Holbery, J., D. Houston. (2006). *Natural Fiber Reinforced Polymer Composite in Automotive Applications*: JOM. 58(11) :80-86.
- Jaafar, C.N.A., Zainol, I., Aremu, O.O. (2018). *Effect of Silica Fillers on Mechanical Properties of Epoxy/Kenaf Composites*. Journal of Physics: Conf. Series 1082 :1-6.
- Jones, M.R. (1999). *Mechanics of Composite Materials*. Scripta Book Company. Washington DC, USA.
- Joshi, S.V., Drzal, L.T., Mohanty, A.K., dan Arora, S. (2004). *Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber reinforced Composites*. Part A, 35 : 371-376.

- Kanishka Jha., Hari Om Maurya., Himanshu Bisaria., & Tyagi., Y.K. (2016). *Behavior of Water Absorption Characteristics of Non-Biodegradable and Biodegradable Polymeric NFRC's*. Journal of Basic and Applied Engineering Research 3(2) : 132-136.
- Khairurrijal, Abdullah, M., Rosi, M., Noor, F. A. (2008). *Structural Characteristics of Carbon Nanotubes Fabricated using Simple Spray Pyrolysis Method*. Indonesian Journal of Physics 19 (3) : 91-95.
- Kongkaew P., D. Kiannok D., Saetang P., & Teekhayupak L. (2016). *The Effect of Fiber Length on Mechanical Properties of Epoxy Composites Reinforced by the Fibers of Vetiver*. Journal of Science & Technology : 49-56.
- Hossain, M. D., Hanafi, M. M., Jol dan A. H. Hazandy, Growth, yield and fiber morphology of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L. Jurnal Biotropika | Volume 2 No. 1 | 2014) grown on sandy bris soil as influenced by different levels of carbon. African Journal of Biotech.10 (50) : 10087 – 10094.
- Mallick, P. K. 2007. *Fiber Reinforced Composites, Materials, Manufacturing and Design*. Taylor & Francis. Boca Raton, USA.
- Nahyudin, A. (2016). Pengaruh *Maleated Polypropylene* (MAPP) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Sisal *Polypropylene* (PP). Skripsi. UGM. Yogyakarta, Indonesia.
- Santoso, B., Jamil, A. H., Machfud, M. (2015). *Manfaat Kenaf (Hibiscus cannabinus L.) dalam Penyerapan Karbondioksida (CO₂)*. Perspektif, 14(2) : 125-133.
- Shakeri, A. & Ghasemian, A., (2010). *Water Absorption and Thickness Swelling Behavior of Polypropylene Reinforced with Hybrid Recycled Newspaper and Glass Fiber*. Application Composite Material (2010) 17:183–193.
- Sindy, D,P, D. & Alimin. M.,(2018). *Pengaruh Panjang Serat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Uji Biodegradasi Material Komposit Matriks Epoksi dengan Penambahan Pati Talas*. Jurnal Fisika Unand 7(3) : 233-239
- Vinod B & Dr Sudev L J (2014). *Effect Of Fiber Length on The Mechanical Properties Of Palf Reinforced Bisphenol Composites*. Internasional Journal Of Mechanical Engineering And Technology. 5(9) : 232-238.
- Yusoff, M.Z. (2015). *Review of Research Activities on Kenaf Reinforced Composite*: Journal of Petrochemical Engineering Department,2289 : 8395.
- Yuliyanto, Masdani (2018). *Analisa Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Impak dan Model Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Gaharu*. Jurusan Teknik Mesin. 4(2) : 15- 20
- Zhang, P., Li, Q., Zhang, H. (2011). *Combined Effect of Polypropylene Fiber and Silica Fume on Mechanical Properties of Concrete Composite Containing Fly Ash*. Journal of Reinforced Plastics & Composites. Research Gate. 30(16) : 1349-1358.

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengaruh Panjang Serat Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Kenaf – Epoxy dengan dan Tanpa Penambahan SiO₂

Judul Naskah Publikasi: Pengaruh Panjang Serat Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Kenaf – Epoxy dengan dan Tanpa Penambahan SiO₂

Nama Mahasiswa: Afif Tri Putranto

NIM: 20150130044

Pembimbing 1: Dr. Ir. Harini Sosiati, S.T., M.Eng.

Pembimbing 2: Cahyo Budiyanoro, S.T., M. Sc

Hal yang dimintakan persetujuan *:

<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*beri tanda di kotak yang sesuai

Tanda Tangan
Afif Tri Putranto

Tanggal 25 Juli 2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan
Dr. Ir. Harini Sosiati, S.T., M.Eng.

Tanggal 27 Juli 2019

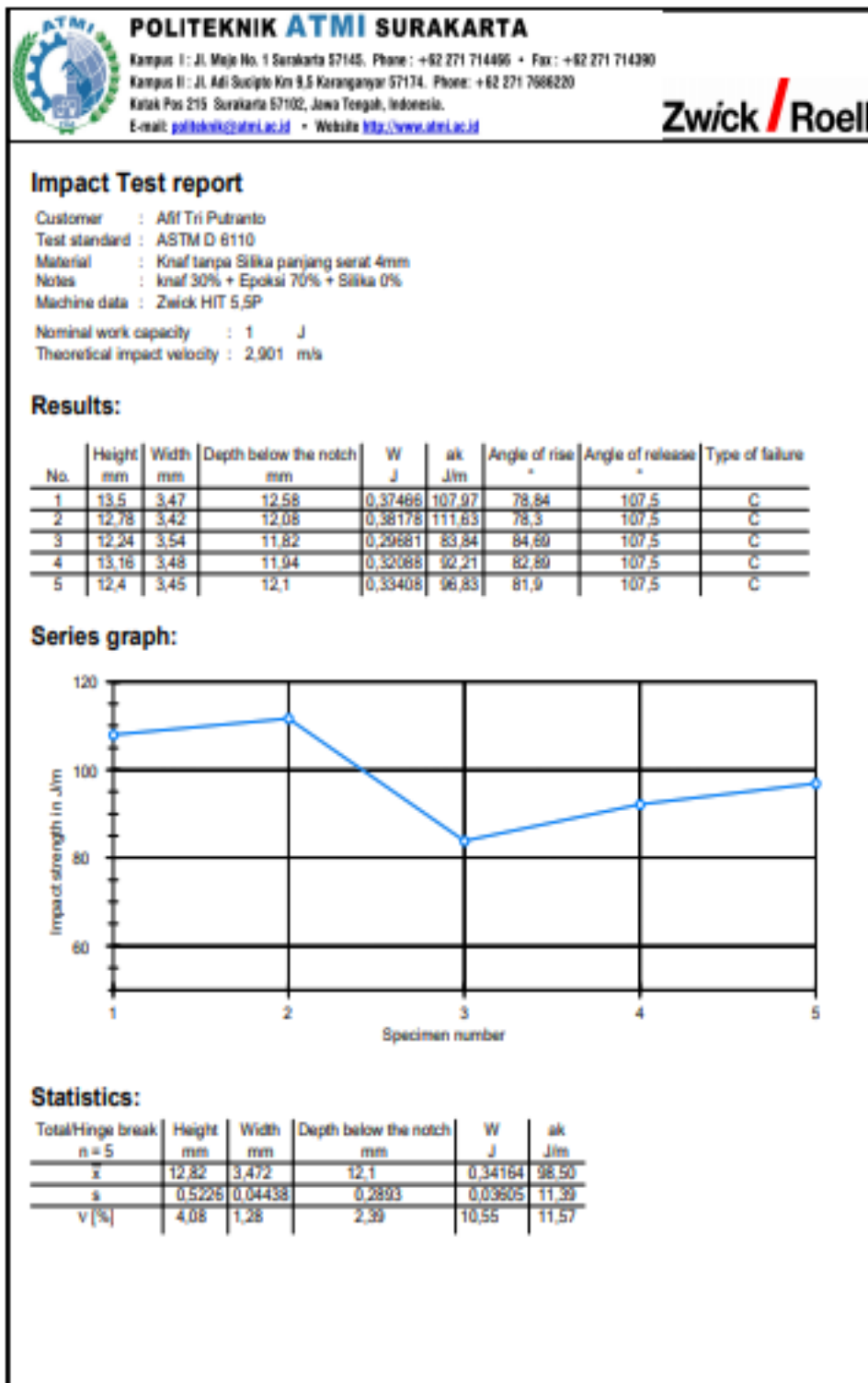
Tanda Tangan
Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

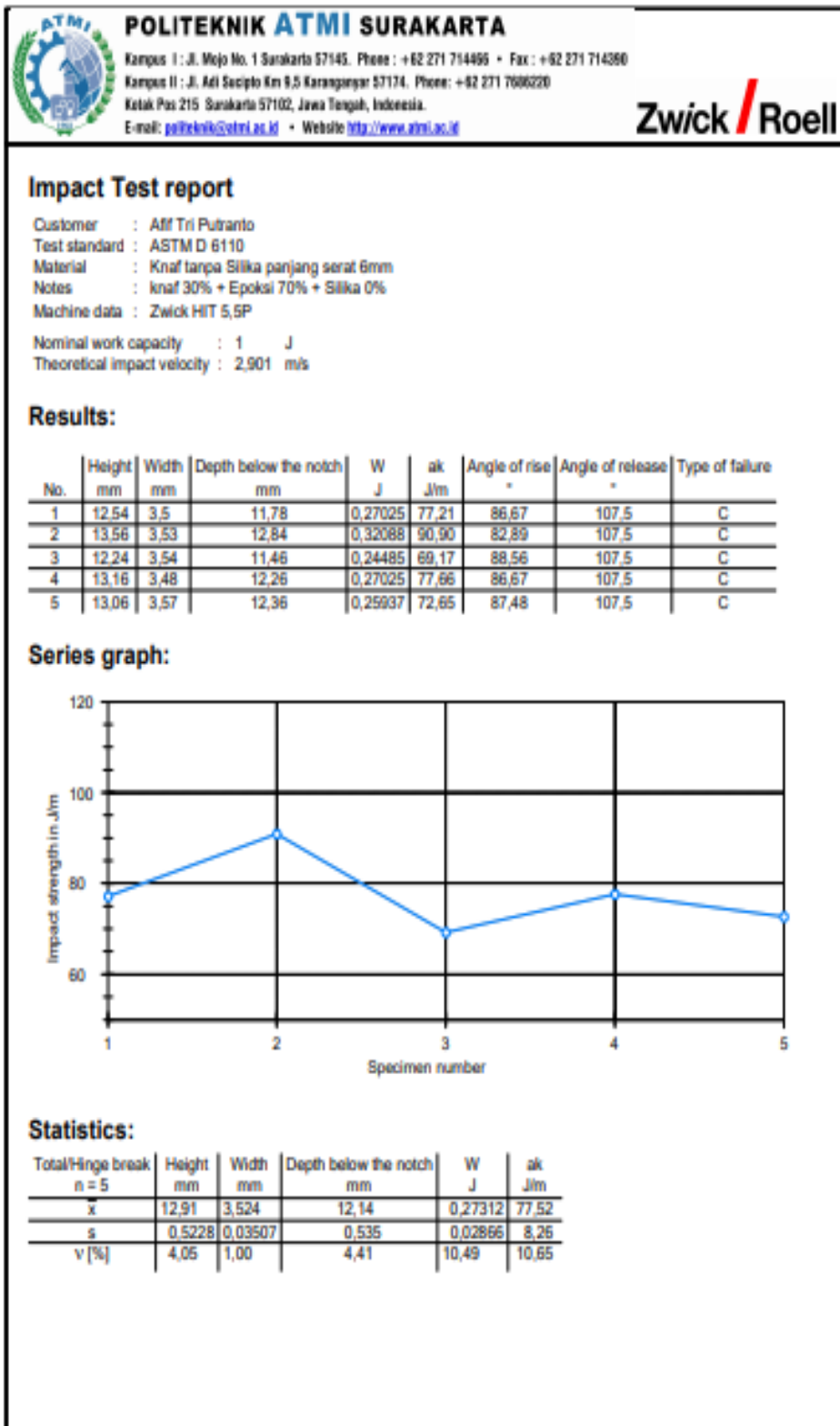
Tanggal 27 Juli 2019

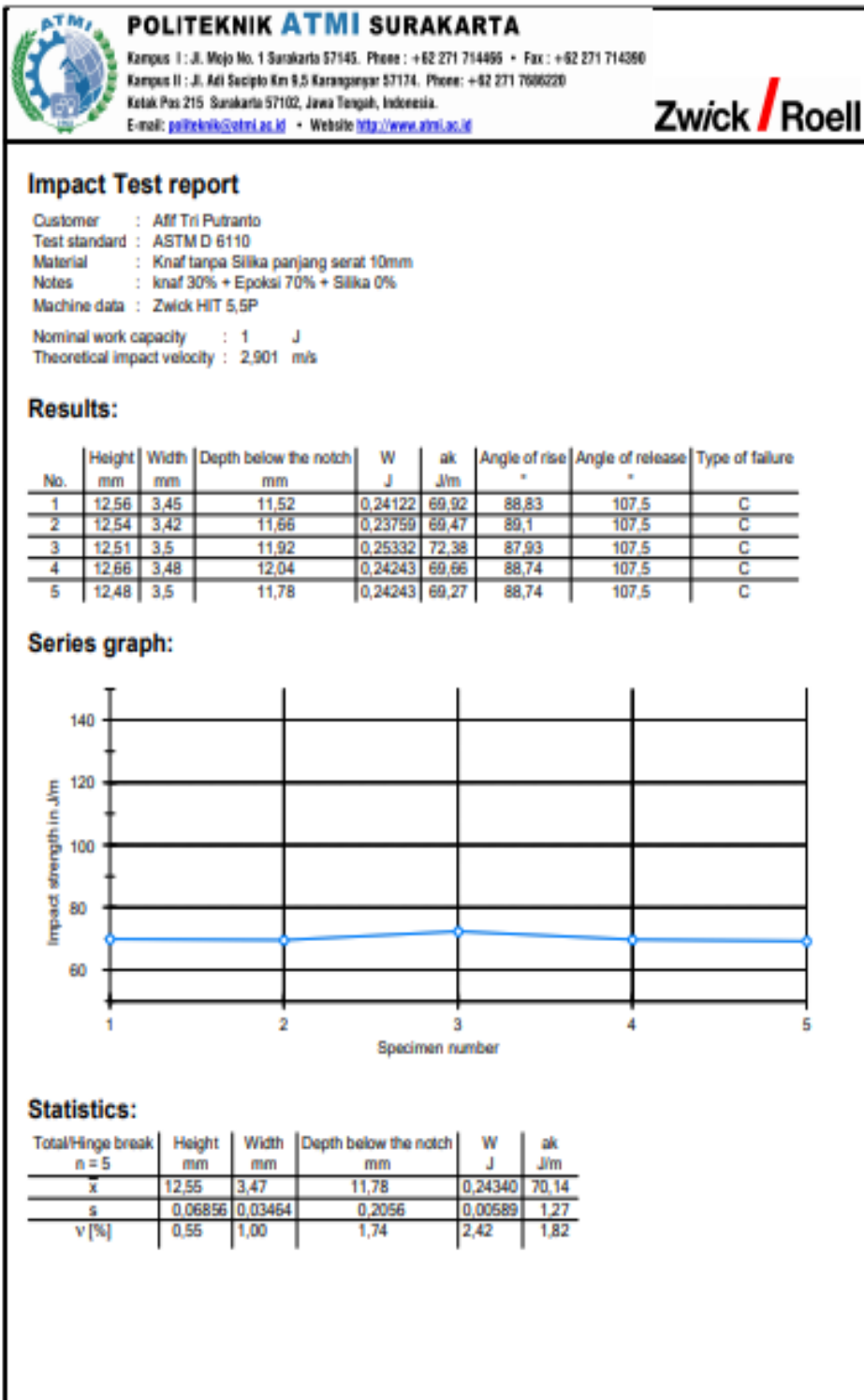
Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

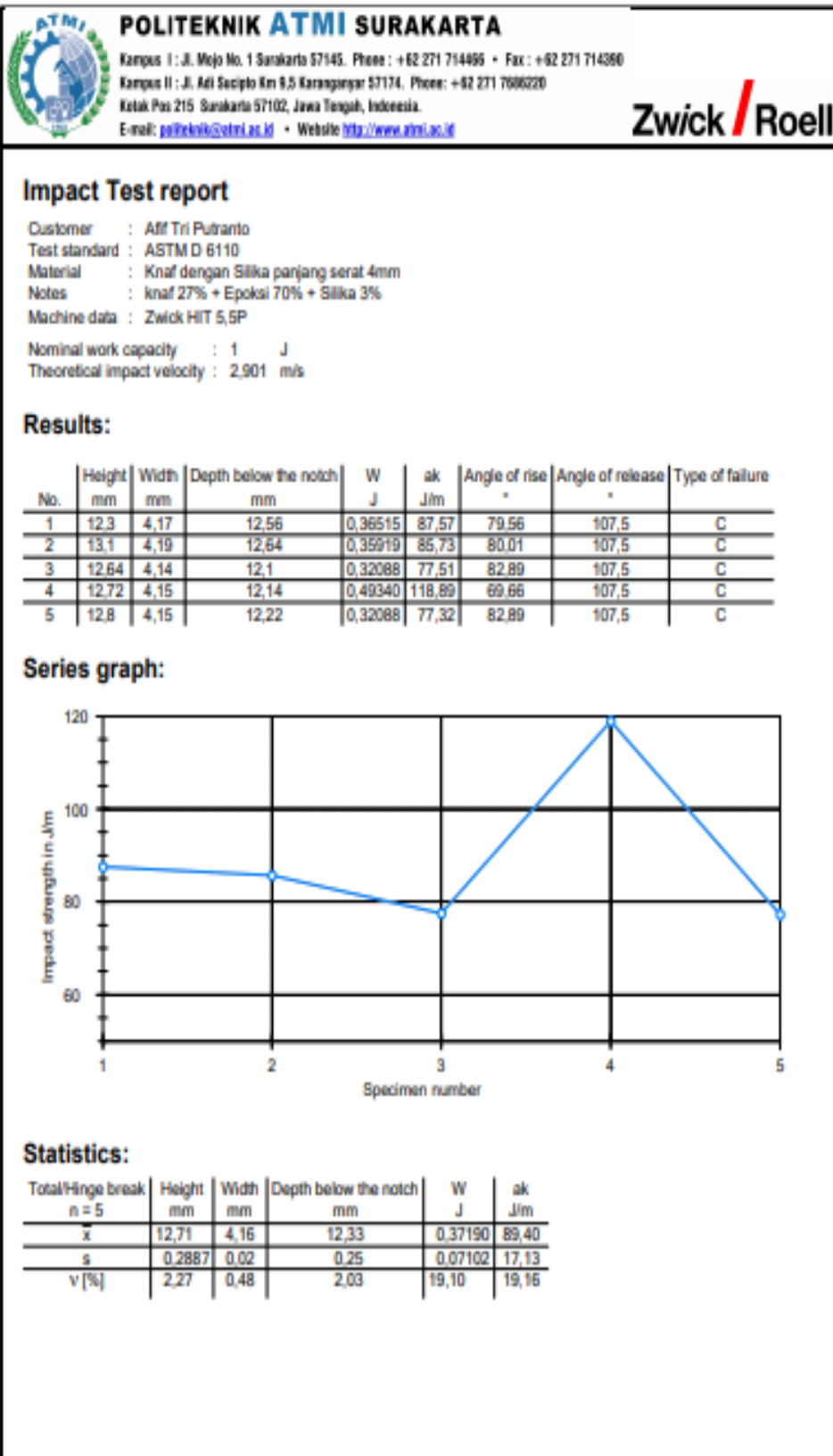
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Impak










POLITEKNIK ATMI SURAKARTA

Kampus I : Jl. Mojo No. 1 Surakarta 57145. Phone : +62 271 714466 • Fax : +62 271 714380

Kampus II : Jl. Adi Sucipto Km 9,5 Karanganyar 57174. Phone: +62 271 7606220

Kotak Pos 215 Surakarta 57102, Jawa Tengah, Indonesia.

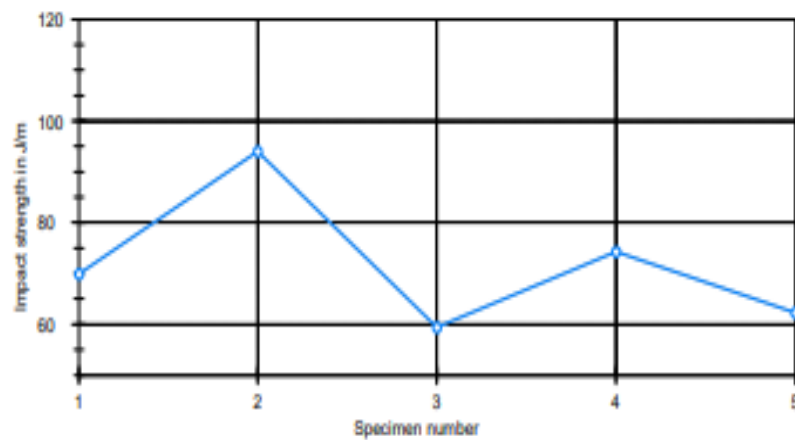
 E-mail: politeknik@atmi.ac.id • Website: <http://www.atmi.ac.id>
Zwick / Roell
Impact Test report

Customer : Afif Tri Putranto
 Test standard : ASTM D 6110
 Material : Knaf dengan Silika panjang serat 6mm
 Notes : knaf 27% + Epoksi 70% + Silika 3%
 Machine data : Zwick HIT 5,5P

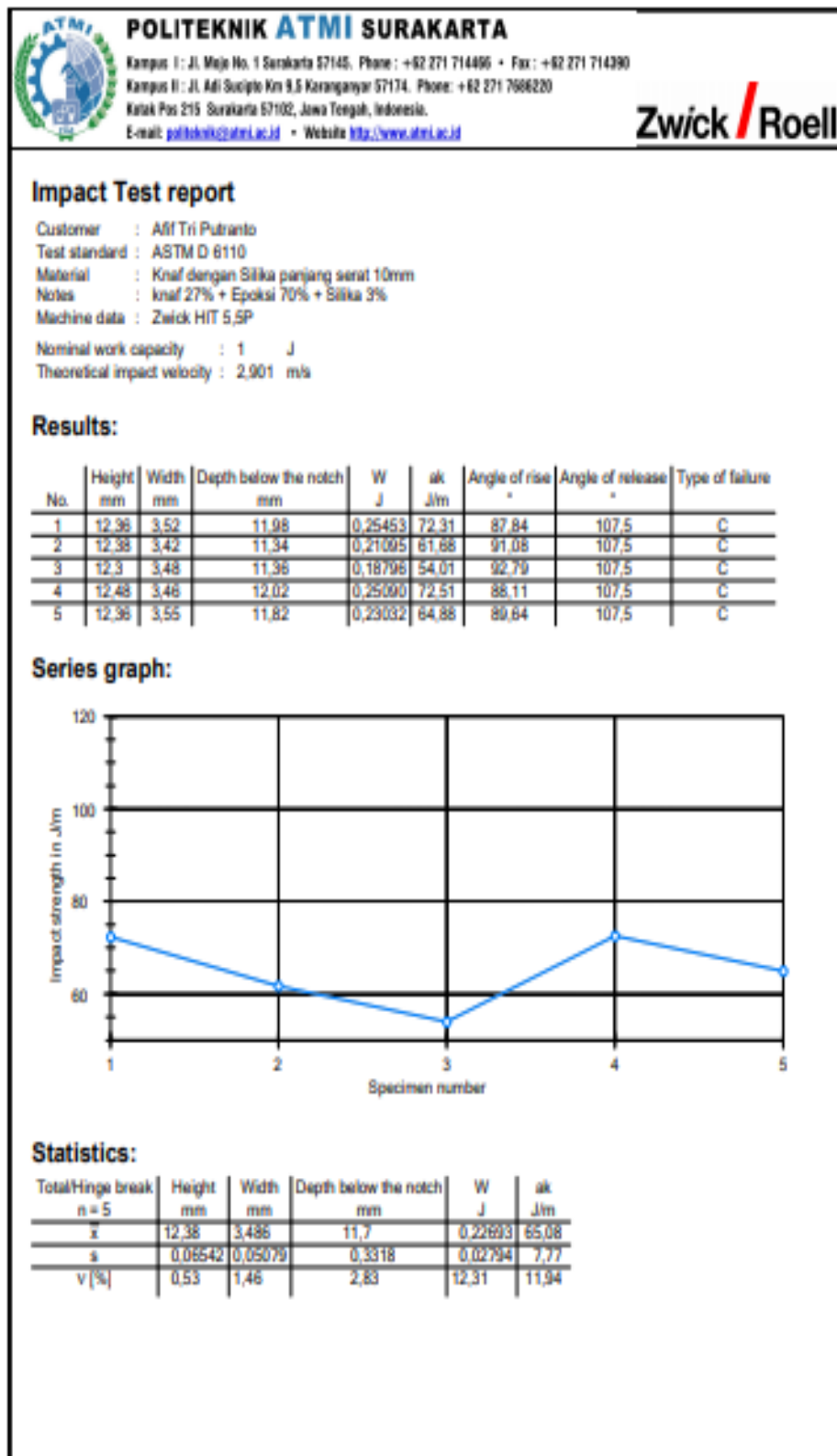
Nominal work capacity : 1 J
 Theoretical impact velocity : 2,901 m/s

Results:

No.	Height mm	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Angle of rise °	Angle of release °	Type of failure
1	12,42	3,52	11,6	0,24606	69,90	88,47	107,5	C
2	12,16	3,53	11,46	0,33168	93,96	82,08	107,5	C
3	12,12	3,55	11,4	0,21095	59,42	91,08	107,5	C
4	12,38	3,49	11,64	0,25937	74,32	87,48	107,5	C
5	12,36	3,56	11,52	0,22185	62,32	90,27	107,5	C

Series graph:

Statistics:

Total/Hinge break n = 5	Height mm	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m
\bar{x}	12,29	3,53	11,52	0,25398	71,98
s	0,1375	0,02739	0,09839	0,04747	13,64
v [%]	1,12	0,78	0,85	18,69	18,95



1. Tabel Perhitungan Impak

Kenaf Tanpa SILIKA PANJANG SERAT 4 mm					
no. Sepesimen	Varasi	b (m)	d (m)	W	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	4 mm	0,01258	0,00347	0.37466	8582,76
2		0,01208	0,00342	0.38178	9241,02
3		0,01182	0,00354	0.29681	7093,45
4		0,01194	0,00348	0.32088	7722,52
5		0,0121	0,00345	0.33408	8002,87
Min				0.29681	7093,45
Max				0.3818	9241,02
Rata-rata				0.341642	8128,53
Standar Deviasi				0.032247171	734,30

Kenaf Tanpa SILIKA PANJANG SERAT 6 mm					
no. Sepesimen	Varasi	b (m)	d (m)	W	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	6 mm	0,01178	0,0035	0.27025	6554,69
2		0,01284	0,00353	0.32088	7079,51
3		0,01146	0,00354	0.24485	6035,49
4		0,01226	0,00348	0.27025	6334,26
5		0,01236	0,00357	0.25937	5878,05
Min				0.24485	5878,05
Max				0.3209	7079,51
Rata-rata				0.27312	6376,40
Standar Deviasi				0.025634925	422,49

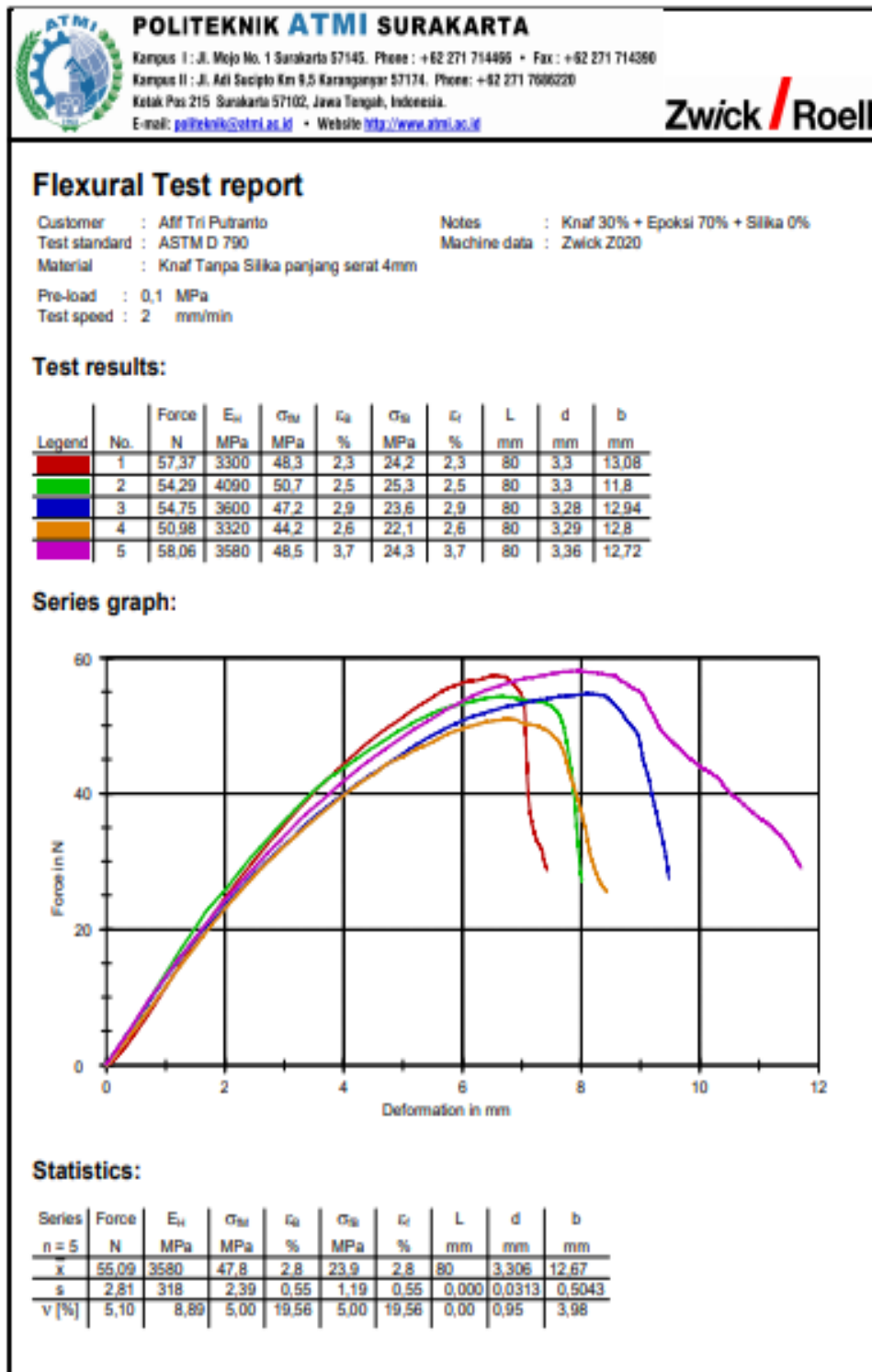
Kenaf Tanpa SILIKA PANJANG SERAT 10 mm					
no. Sepesimen	Varasi	b (m)	d (m)	W	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	10 mm	0,01152	0,00345	0.24122	6069,34
2		0,01166	0,00342	0.23759	5958,04
3		0,01192	0,0035	0.25332	6071,91
4		0,01204	0,00348	0.24243	5786,03
5		0,01178	0,0035	0.24243	5879,94
Min				0.23759	5786,03
Max				0.2533	6071,91
Rata-rata				0.243398	5953,05
Standar Deviasi				0.005268713	110,38

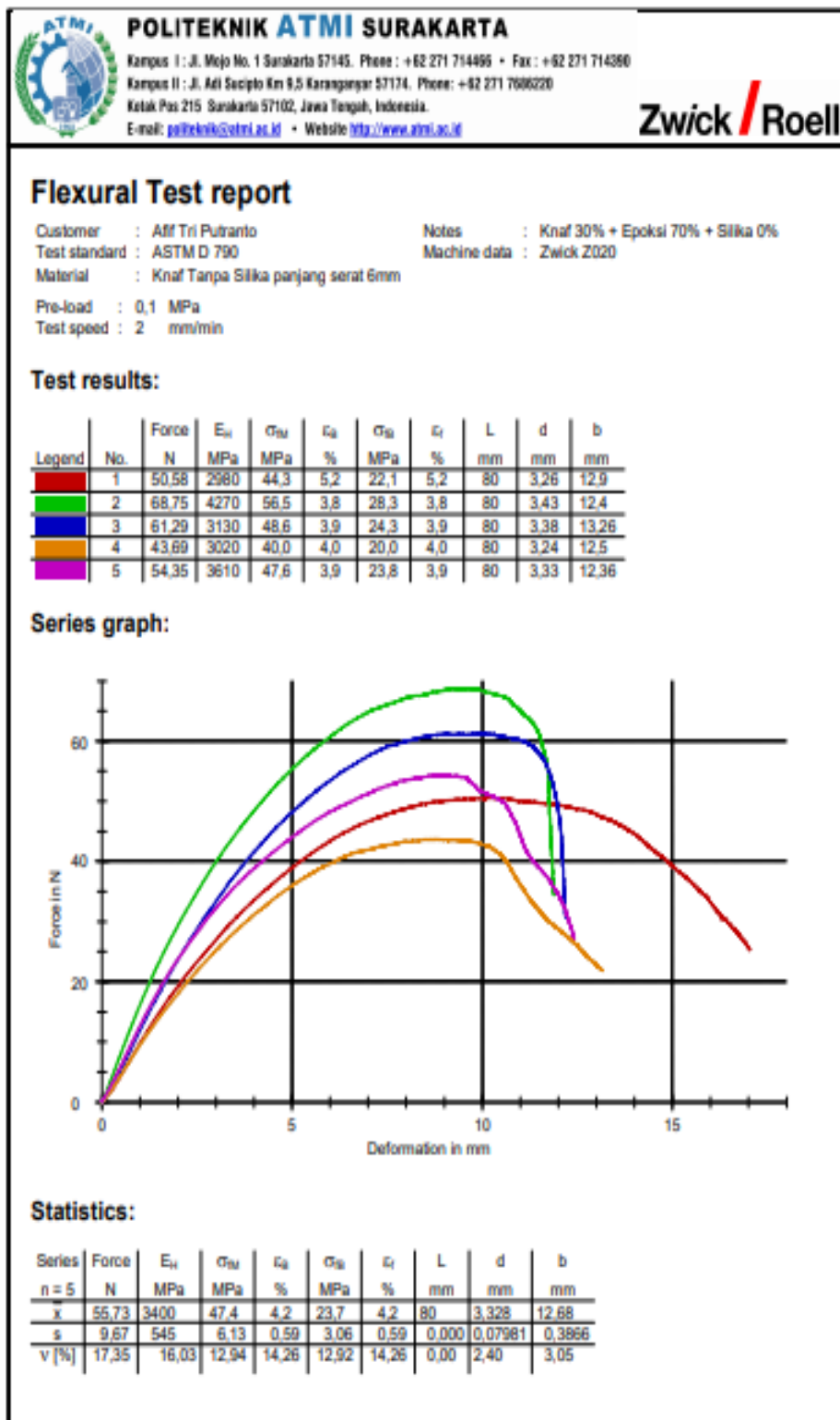
Kenaf dengan SILIKA PANJANG SERAT 4 mm					
no. Spesimen	Varasi	b (m)	d (m)	W	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	4 mm	0,01256	0,00417	0,36515	6971,81
2		0,01264	0,00419	0,35919	6782,08
3		0,0121	0,00414	0,32088	6405,56
4		0,01214	0,00415	0,4934	9793,37
5		0,01222	0,00415	0,32088	6327,37
Min				0,32088	6327,37
Max				0,4934	9793,37
Rata-rata				0,3719	7256,04
Standar Deviasi				0,0635223	1290,68

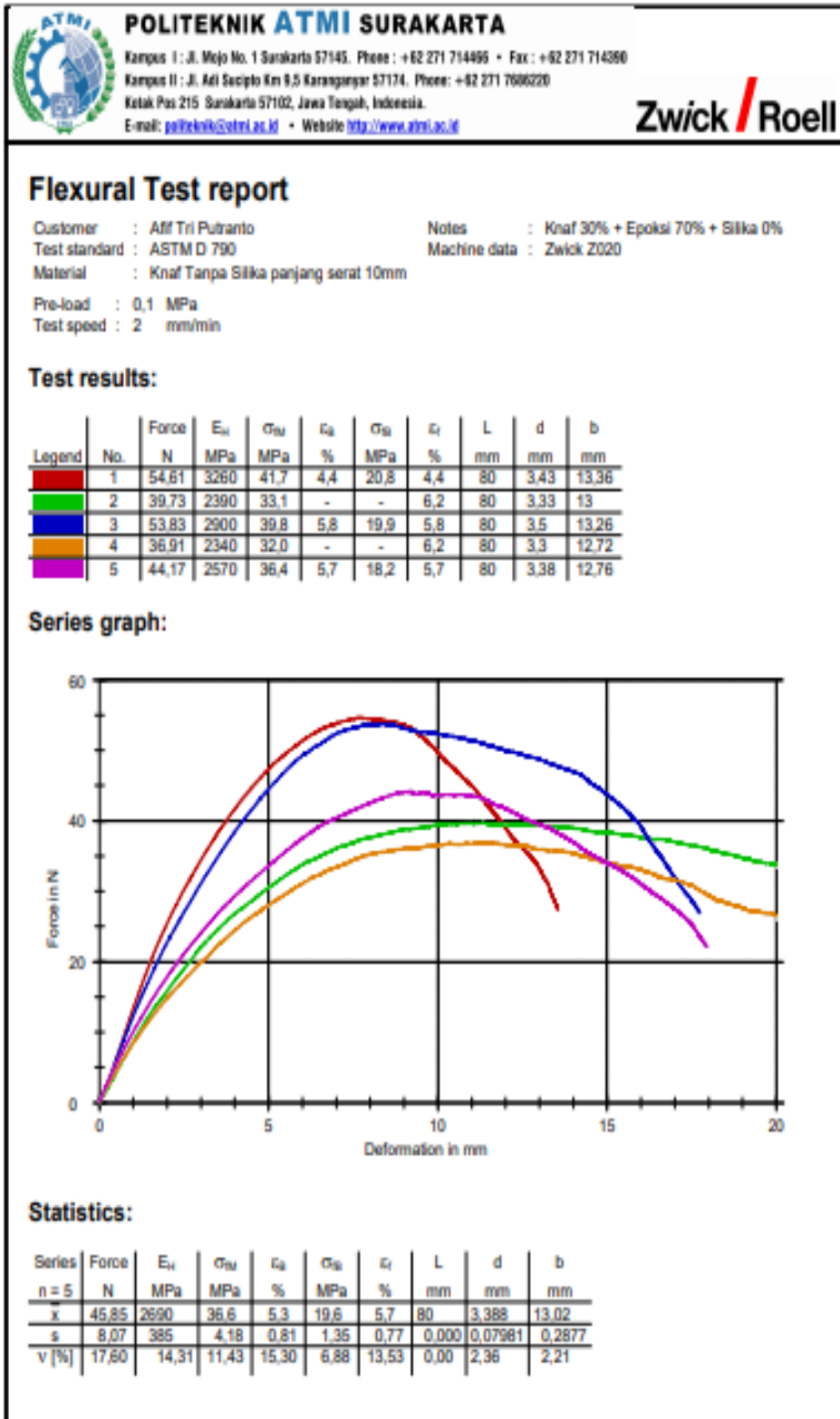
Kenaf dengan SILIKA PANJANG SERAT 6 mm					
no. Spesimen	Varasi	b (m)	d (m)	W	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	6 mm	0,0116	0,00352	0,24606	6026,16
2		0,01146	0,00353	0,33168	8198,98
3		0,0114	0,00355	0,21095	5212,50
4		0,01164	0,00349	0,25937	6384,71
5		0,01152	0,00356	0,22185	5409,50
Min				0,21095	5212,50
Max				0,3317	8198,98
Rata-rata				0,253982	6246,37
Standar Deviasi				0,042457	1062,97

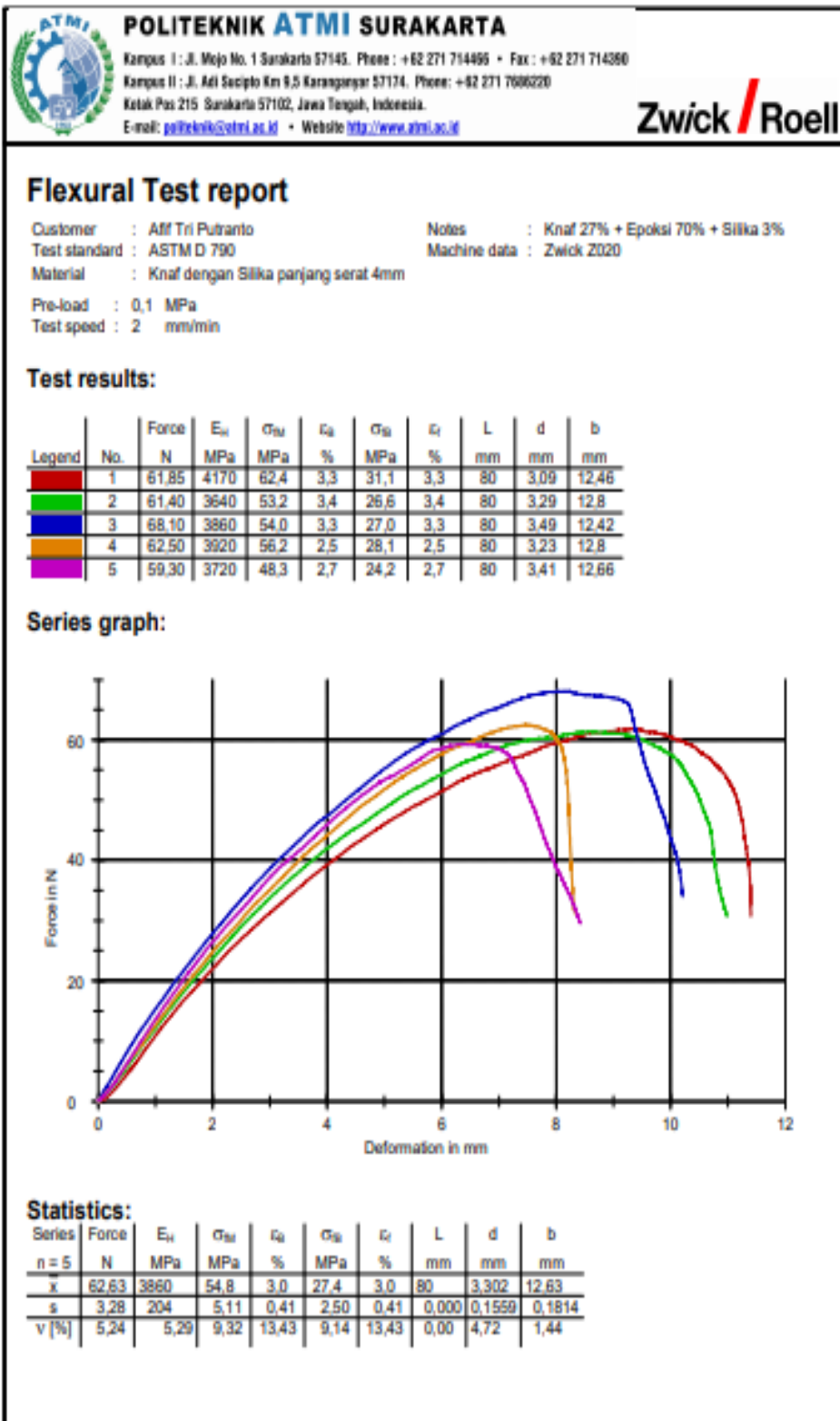
Kenaf dengan SILIKA PANJANG SERAT 10 mm					
no. Spesimen	Varasi	b (m)	d (m)	W	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	10 mm	0,01198	0,00352	0,25453	6035,86
2		0,01134	0,00342	0,21095	5439,27
3		0,01136	0,00348	0,18796	4754,53
4		0,01202	0,00346	0,2509	6032,82
5		0,01182	0,00355	0,23032	5488,91
Min				0,18796	4754,53
Max				0,2545	6035,86
Rata-rata				0,226932	5550,28
Standar Deviasi				0,0249873	472,85

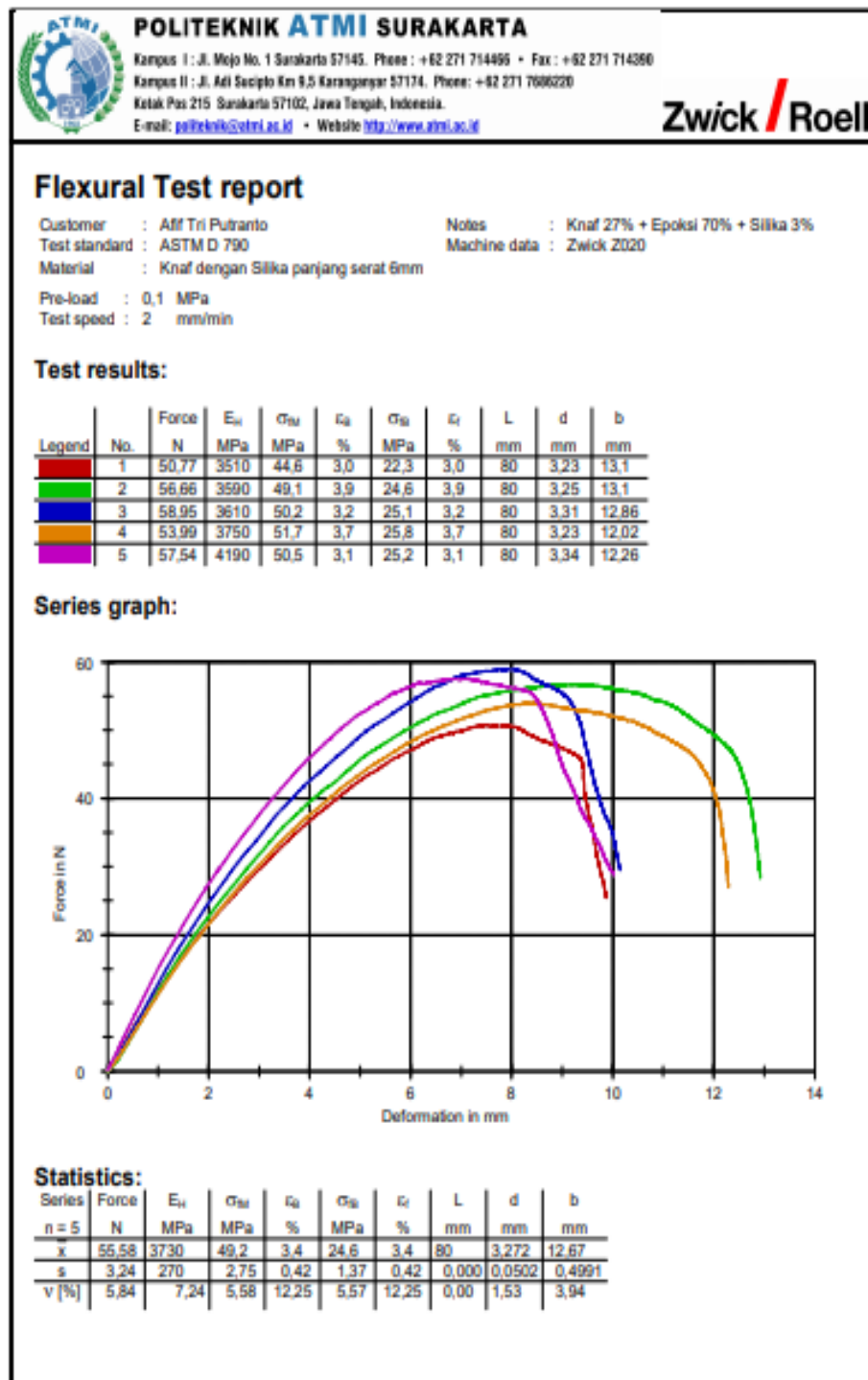
Lampiran 2. Hasil Pengujian Bending

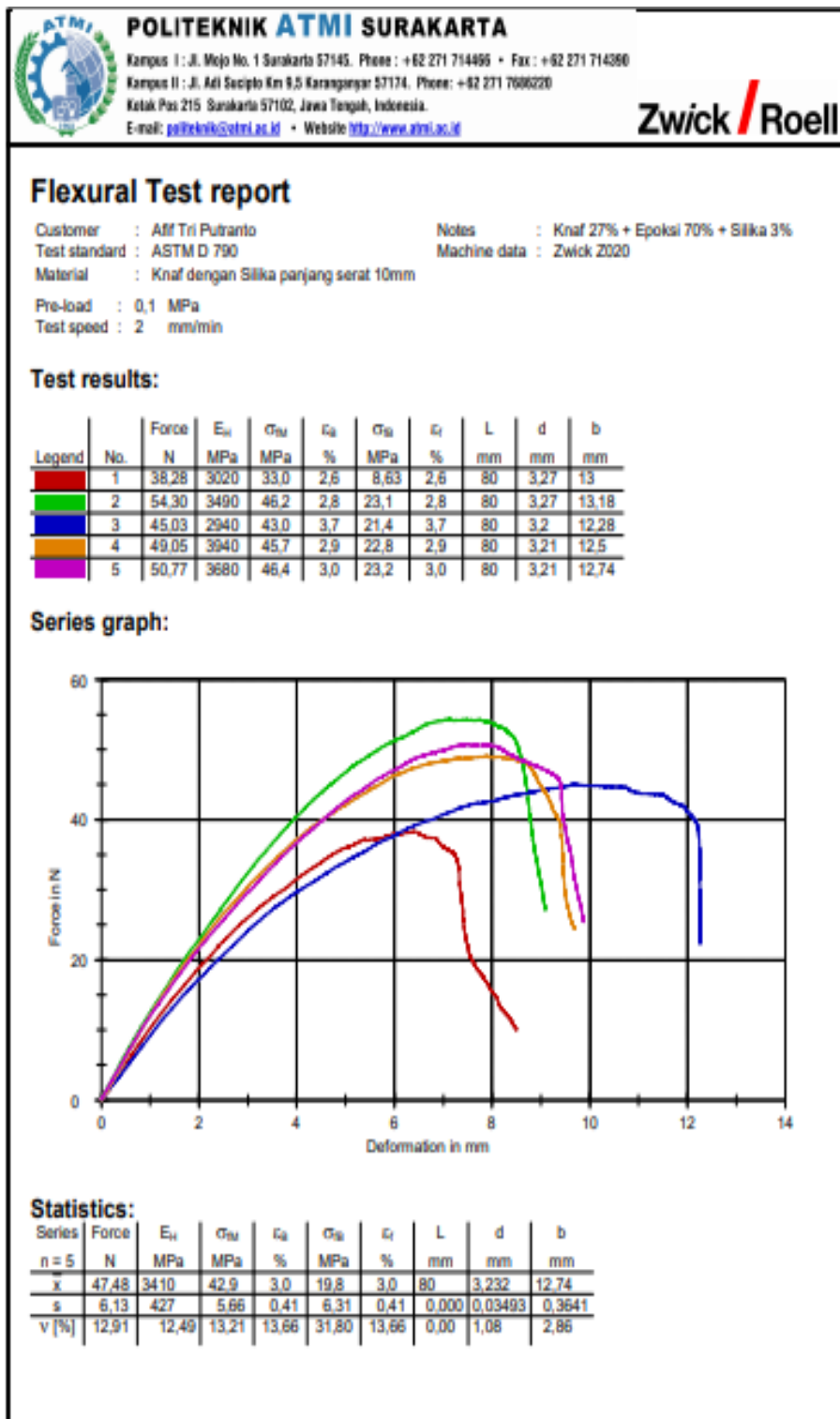












2. Tabel Perhitungan Bending

Tanpa silica BENDING 4 mm							
No Spesimen	L (mm)	d (mm)	b (mm)	D (mm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (GPa)
Spesimen 1	80	3,3	13,08	6,5	49,60	2,3	3,3
Spesimen 2	80	3,3	11,8	6,4	51,98	2,5	4,09
Spesimen 3	80	3,28	12,94	8,3	49,44	2,9	3,6
Spesimen 4	80	3,29	12,8	6,9	45,50	2,6	3,32
Spesimen 5	80	3,36	12,72	7,9	50,55	3,7	3,58
MIN					45,50	2,3	3,3
MAX					51,98	3,7	4,09
AVERAGE					49,41	2,8	3,578
STDEV					2,15	0,49	0,29

Tanpa silica BENDING 6 mm							
No Spesimen	L (mm)	d (mm)	b (mm)	D (mm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (GPa)
Spesimen 1	80	3,26	13	11,1	48,39	5,2	2,98
Spesimen 2	80	3,43	13,18	9,4	60,10	3,8	4,27
Spesimen 3	80	3,38	12,28	11,6	53,49	3,9	3,13
Spesimen 4	80	3,24	12,5	10,8	43,45	4	3,02
Spesimen 5	80	3,33	12,74	10,4	51,38	3,9	3,61
MIN					43,45	3,8	2,98
MAX					60,10	5,2	4,27
AVERAGE					51,36	4,16	3,402
STDEV					5,52	0,52	0,49

Tanpa silica BENDING 10 mm							
No Spesimen	L (mm)	d (mm)	b (mm)	D (mm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (GPa)
Spesimen 1	80	3,43	13	7,6	44,47	4,40	3,26
Spesimen 2	80	3,33	13,18	11,2	35,70	-	2,39
Spesimen 3	80	3,5	12,28	8,6	45,11	5,80	2,9
Spesimen 4	80	3,3	12,5	11,5	35,80	-	2,34
Spesimen 5	80	3,38	12,74	9,2	38,60	5,70	2,57
MIN					35,70	4,4	2,34
MAX					45,11	5,8	3,26
AVERAGE					39,94	5,3	2,692
STDEV					4,10	0,64	0,35

silica BENDING 4 mm							
No Spesimen	L (mm)	d (mm)	b (mm)	D (mm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (GPa)
Spesimen 1	80	3,09	12,46	9,2	66,23	3,30	4,17
Spesimen 2	80	3,29	12,8	8,6	55,93	3,40	3,64
Spesimen 3	80	3,49	12,42	8,2	56,46	3,30	3,86
Spesimen 4	80	3,23	12,8	7,5	58,27	2,50	3,92
Spesimen 5	80	3,41	12,66	6,4	49,54	2,70	3,72
MIN					49,54	2,5	3,64
MAX					66,23	3,4	4,17
AVERAGE					57,28	3,04	3,862
STDEV					5,36	0,37	0,18

silica BENDING 6 mm							
No Spesimen	L (mm)	d (mm)	b (mm)	D (mm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (GPa)
Spesimen 1	80	3,23	13,1	7,9	46,47	3,00	3,51
Spesimen 2	80	3,25	13,1	9,6	52,43	3,90	3,59
Spesimen 3	80	3,31	12,86	8,1	52,45	3,20	3,61
Spesimen 4	80	3,23	12,02	8,7	54,42	3,70	3,75
Spesimen 5	80	3,34	12,26	6,8	51,96	3,10	4,19
MIN					46,47	3	3,51
MAX					54,42	3,9	4,19
AVERAGE					51,55	3,38	3,73
STDEV					2,67	0,35	0,24

silica BENDING 10 mm							
No Spesimen	L (mm)	d (mm)	b (mm)	D (mm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (GPa)
Spesimen 1	80	3,27	13	6,4	33,88	2,60	3,02
Spesimen 2	80	3,27	13,18	7,7	48,08	2,80	3,49
Spesimen 3	80	3,2	12,28	10,8	46,74	3,70	2,94
Spesimen 4	80	3,21	12,5	8,6	48,08	2,90	3,94
Spesimen 5	80	3,21	12,74	8	48,45	3,00	3,68
MIN					33,88	2,6	3,414
MAX					48,45	3,7	3,94
AVERAGE					45,05	3	3,414
STDEV					5,61	0,37	0,38

Lampiran 3. Tabel Water Absorption

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 0 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,23	3,23	3,24	3,23	3,25	5,7
2	3,25	3,25	3,27	3,26	3,24	5,9
3	3,27	3,28	3,29	3,31	3,29	5,6
4	3,28	3,24	3,27	3,24	3,28	5,7

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 0 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,2	3,2	3,2	3,17	3,18	5,5
2	3,24	3,16	3,17	3,24	3,26	5,6
3	3,23	3,22	3,26	3,25	3,26	5,6
4	3,2	3,21	3,21	3,22	3,22	5,8

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 0 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,31	3,34	3,33	3,27	3,29	5,4
2	3,49	3,48	3,46	3,45	3,48	6,7
3	3,33	3,31	3,32	3,29	3,28	5,53
4	3,3	3,28	3,28	3,21	3,28	5,5

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 12 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,34	3,28	3,29	3,33	3,29	5,88
2	3,3	3,29	3,27	3,27	3,29	6,03
3	3,35	3,31	3,35	3,37	3,3	5,88
4	3,29	3,29	3,26	3,28	3,27	5,97

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 12 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,27	3,26	3,26	3,27	3,28	5,97
2	3,27	3,29	3,29	3,24	3,26	5,97
3	3,26	3,26	3,29	3,25	3,26	5,99
4	3,25	3,27	3,26	3,22	3,22	6

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 12 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,4	3,38	3,36	3,36	3,38	5,77
2	3,5	3,49	3,49	3,55	3,5	6,87
3	3,38	3,38	3,37	3,31	3,34	5,79
4	3,35	3,3	3,35	3,35	3,3	6,55

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 24 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,37	3,29	3,34	3,37	3,32	5,91
2	3,36	3,32	3,34	3,31	3,37	6,32
3	3,33	3,38	3,39	3,42	3,36	5,9
4	3,34	3,32	3,31	3,32	3,3	6,35

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 24 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,32	3,29	3,32	3,29	3,32	6,05
2	3,32	3,31	3,32	3,32	3,32	6,15
3	3,29	3,32	3,29	3,33	3,29	6,15
4	3,32	3,3	3,32	3,34	3,29	6,21

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 24 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,43	3,41	3,42	3,38	5,87
2	3,52	3,53	3,51	3,57	3,54	6,95
3	3,41	3,43	3,41	3,36	3,39	5,95
4	3,39	3,33	3,38	3,37	3,3	6,75

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 36 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,41	3,32	3,36	3,4	3,35	6,05
2	3,39	3,36	3,38	3,34	3,4	6,43
3	3,37	3,41	3,42	3,36	3,39	6,35
4	3,37	3,34	3,33	3,35	3,33	6,44

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 36 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,34	3,34	3,33	3,34	3,33	6,28
2	3,34	3,33	3,34	3,34	3,33	6,3
3	3,34	3,33	3,33	3,33	3,33	6,45
4	3,36	3,35	3,33	3,35	3,36	6,38

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 36 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,49	3,46	3,45	3,44	3,41	6,15
2	3,56	3,57	3,53	3,59	3,56	6,99
3	3,44	3,45	3,43	3,39	3,41	6,25
4	3,41	3,37	3,42	3,4	3,33	6,85

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 48 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,36	3,34	3,38	3,42	3,37	6,25
2	3,39	3,38	3,41	3,37	3,42	6,48
3	3,39	3,43	3,43	3,42	3,43	6,35
4	3,39	3,37	3,38	3,39	3,37	6,47

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 48 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,36	3,35	3,36	3,35	3,37	6,38
2	3,37	3,37	3,37	3,35	3,36	6,33
3	3,37	3,36	3,37	3,37	3,36	6,49
4	3,36	3,35	3,37	3,36	3,37	6,39

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 48 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,52	3,5	3,48	3,47	3,43	6,35
2	3,58	3,59	3,57	3,62	3,58	6,99
3	3,47	3,48	3,46	3,41	3,44	6,45
4	3,43	3,41	3,45	3,42	3,36	6,9

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 60 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,43	3,36	3,39	3,44	3,4	6,43
2	3,44	3,41	3,43	3,39	3,45	6,55
3	3,43	3,45	3,44	3,42	3,45	6,45
4	3,43	3,39	3,42	3,43	3,41	6,49

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 60 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	6,4
2	3,38	3,38	3,37	3,37	3,38	6,45
3	3,4	3,4	3,38	3,38	3,4	6,55
4	3,4	3,38	3,4	3,38	3,38	6,49

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 60 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,55	3,53	3,51	3,49	3,46	6,45
2	3,6	3,62	3,59	3,64	3,62	7,07
3	3,5	3,52	3,5	3,45	3,46	6,55
4	3,44	3,42	3,46	3,43	3,38	7,05

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 72 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,47	3,37	3,4	3,47	3,4	6,45
2	3,46	3,42	3,44	3,45	3,46	6,58
3	3,45	3,48	3,47	3,45	3,48	6,49
4	3,44	3,45	3,43	3,44	3,42	6,5

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 72 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,4	3,4	3,42	3,42	3,41	6,53
2	3,39	3,4	3,39	3,41	3,41	6,53
3	3,39	3,41	3,42	3,42	3,39	6,53
4	3,42	3,42	3,39	3,42	3,41	6,53

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 72 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,57	3,55	3,53	3,52	3,52	6,55
2	3,62	3,63	3,61	3,63	3,62	7,1
3	3,53	3,54	3,52	3,52	3,52	6,56
4	3,46	3,47	3,46	3,46	3,38	7,07

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 84 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,48	3,38	3,46	3,48	3,5	6,53
2	3,47	3,43	3,45	3,44	3,47	6,64
3	3,46	3,49	3,48	3,46	3,49	6,56
4	3,45	3,43	3,45	3,45	3,44	6,57

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 84 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,43	3,42	3,43	3,43	3,43	6,53
2	3,42	3,43	3,43	3,43	3,42	6,55
3	3,44	3,42	3,44	3,43	3,42	6,65
4	3,44	3,44	3,43	3,44	3,42	6,6

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 84 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,57	3,56	3,55	3,52	3,49	6,65
2	3,65	3,66	3,64	3,66	3,64	7,25
3	3,53	3,54	3,52	3,52	3,52	6,69
4	3,47	3,49	3,52	3,47	3,48	7,25

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 96 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,51	3,39	3,47	3,49	3,52	6,56
2	3,48	3,45	3,47	3,46	3,48	6,68
3	3,47	3,5	3,49	3,47	3,5	6,62
4	3,46	3,44	3,46	3,48	3,46	6,65

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 96 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,44	3,46	3,45	3,45	6,56
2	3,44	3,45	3,43	3,44	3,43	6,64
3	3,46	3,42	3,45	3,45	3,46	6,71
4	3,43	3,44	3,45	3,44	3,45	6,65

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 96 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,58	3,59	3,59	3,58	3,58	6,73
2	3,64	3,66	3,64	3,67	3,66	7,27
3	3,55	3,56	3,57	3,5	3,54	6,7
4	3,48	3,47	3,5	3,47	3,49	7,26

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 108 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,51	3,45	3,47	3,5	3,52	6,56
2	3,49	3,48	3,47	3,47	3,48	6,68
3	3,48	3,52	3,49	3,49	3,5	6,62
4	3,47	3,47	3,48	3,48	3,48	6,65

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 108 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,45	3,44	3,45	3,46	3,47	6,56
2	3,45	3,45	3,46	3,47	3,46	6,64
3	3,45	3,45	3,46	3,46	3,47	6,71
4	3,45	3,45	3,46	3,45	3,46	6,65

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 108 Jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,6	3,6	3,6	3,57	3,56	6,73
2	3,66	3,67	3,66	3,67	3,67	7,27
3	3,56	3,57	3,59	3,55	3,56	6,7
4	3,52	3,5	3,53	3,5	3,49	7,26

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 120 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,45	3,5	3,52	3,52	6,59
2	3,5	3,46	3,47	3,47	3,48	6,73
3	3,51	3,52	3,52	3,5	3,52	6,66
4	3,52	3,49	3,53	3,5	3,49	6,7

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 120 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,46	3,47	3,48	3,47	6,59
2	3,47	3,47	3,48	3,47	3,46	6,68
3	3,47	3,48	3,47	3,46	3,47	6,76
4	3,47	3,46	3,48	3,47	3,48	6,69

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 120 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,63	3,63	3,62	3,58	3,57	6,77
2	3,67	3,68	3,67	3,68	3,68	7,29
3	3,58	3,59	3,6	3,57	3,57	6,77
4	3,55	3,55	3,54	3,55	3,5	7,33

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 132 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,48	3,52	3,52	3,52	6,62
2	3,5	3,52	3,5	3,51	3,51	6,75
3	3,48	3,52	3,49	3,53	3,53	6,66
4	3,51	3,49	3,52	3,54	3,5	6,7

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 132 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,48	3,52	3,52	3,52	6,62
2	3,5	3,52	3,5	3,51	3,51	6,72
3	3,48	3,52	3,49	3,53	3,53	6,79
4	3,51	3,49	3,52	3,54	3,5	6,71

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 132 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,66	3,66	3,66	3,59	3,58	6,79
2	3,68	3,69	3,68	3,68	3,7	7,33
3	3,59	3,6	3,63	3,6	3,6	6,79
4	3,56	3,56	3,57	3,56	3,57	7,35

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 144 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,49	3,53	3,52	3,52	6,64
2	3,53	3,51	3,54	3,52	3,53	6,79
3	3,54	3,52	3,52	3,53	3,53	6,68
4	3,52	3,51	3,51	3,51	3,52	6,73

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 144 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,5	3,48	3,47	3,5	3,48	6,65
2	3,5	3,5	3,48	3,48	3,5	6,75
3	3,53	3,47	3,5	3,47	3,47	6,8
4	3,48	3,53	3,47	3,5	3,48	6,74

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 144 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,68	3,64	3,64	3,65	3,6	6,81
2	3,67	3,69	3,68	3,68	3,69	7,36
3	3,66	3,67	3,64	3,65	3,58	6,81
4	3,6	3,6	3,58	3,59	3,57	7,37

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 156 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,52	3,53	3,52	3,52	6,66
2	3,56	3,53	3,56	3,52	3,54	6,8
3	3,51	3,52	3,52	3,53	3,54	6,69
4	3,53	3,53	3,53	3,53	3,55	6,75

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 156 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,52	3,48	3,5	3,55	3,5	6,67
2	3,53	3,52	3,5	3,5	3,5	6,77
3	3,5	3,47	3,51	3,47	3,5	6,84
4	3,49	3,48	3,47	3,48	3,5	6,76

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 156 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,65	3,65	3,65	3,63	3,62	6,83
2	3,69	3,7	3,7	3,71	3,7	7,38
3	3,63	3,64	3,65	3,63	3,64	6,86
4	3,62	3,64	3,62	3,62	3,63	7,39

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 168 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,56	3,53	3,56	3,56	6,68
2	3,56	3,53	3,54	3,54	3,54	6,84
3	3,54	3,55	3,54	3,53	3,53	6,7
4	3,52	3,54	3,53	3,54	3,53	6,77

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 168 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,55	3,5	3,51	3,5	3,5	6,68
2	3,52	3,52	3,49	3,5	3,5	6,79
3	3,5	3,52	3,48	3,5	3,47	6,86
4	3,5	3,51	3,47	3,5	3,5	6,77

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 168 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,69	3,66	3,65	3,65	3,68	6,83
2	3,7	3,7	3,69	3,7	3,7	7,38
3	3,65	3,66	3,65	3,64	3,6	6,86
4	3,64	3,63	3,63	3,65	3,65	6,76

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 180 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,56	3,56	3,55	3,54	6,69
2	3,56	3,56	3,55	3,55	3,54	6,86
3	3,56	3,55	3,54	3,56	3,53	6,73
4	3,56	3,56	3,54	3,56	3,56	6,79

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 180 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,48	3,51	3,49	3,52	6,7
2	3,54	3,52	3,52	3,52	3,51	6,8
3	3,54	3,5	3,5	3,49	3,49	6,88
4	3,53	3,48	3,52	3,5	3,5	6,79

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 180 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,7	3,68	3,68	3,67	3,68	6,89
2	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	7,44
3	3,65	3,65	3,65	3,64	3,6	6,7
4	3,62	3,67	3,67	3,68	3,65	7,45

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 192 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,57	3,54	3,55	3,57	6,7
2	3,56	3,55	3,54	3,54	3,56	6,87
3	3,57	3,55	3,56	3,57	3,56	6,74
4	3,55	3,57	3,57	3,55	3,56	6,8

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 192 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,57	3,49	3,51	3,49	3,52	6,72
2	3,57	3,52	3,52	3,52	3,51	6,83
3	3,51	3,52	3,51	3,49	3,49	6,89
4	3,5	3,49	3,51	3,52	3,51	6,82

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 192 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,7	3,68	3,67	3,67	3,68	6,89
2	3,71	3,7	3,7	3,71	3,7	7,45
3	3,64	3,63	3,64	3,64	3,63	6,71
4	3,66	3,67	3,67	3,69	3,65	7,47

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 204 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,56	3,57	3,56	3,55	6,75
2	3,56	3,57	3,56	3,57	3,57	6,89
3	3,56	3,56	3,54	3,55	3,54	6,75
4	3,56	3,57	3,56	3,57	3,56	6,83

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 204 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,51	3,52	3,51	3,52	3,52	6,75
2	3,53	3,51	3,5	3,51	3,52	6,85
3	3,53	3,51	3,52	3,52	3,5	6,93
4	3,51	3,53	3,51	3,52	3,51	6,85

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 204 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,7	3,68	3,67	3,67	3,68	6,92
2	3,7	3,7	3,7	3,71	3,7	7,49
3	3,64	3,63	3,64	3,64	3,63	6,76
4	3,66	3,67	3,68	3,69	3,65	7,5

Tanpa Silica 4 mm						
Lama Perendaman 216 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,56	3,57	3,56	3,55	6,75
2	3,56	3,57	3,56	3,57	3,57	6,89
3	3,56	3,56	3,54	3,55	3,54	6,75
4	3,56	3,57	3,56	3,57	3,56	6,83

Tanpa Silica 6 mm						
Lama Perendaman 216 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,57	3,49	3,51	3,49	3,52	6,75
2	3,57	3,52	3,52	3,52	3,51	6,85
3	3,51	3,52	3,51	3,49	3,49	6,93
4	3,5	3,49	3,51	3,52	3,51	6,85

Tanpa Silica 10 mm						
Lama Perendaman 216 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,7	3,68	3,67	3,67	3,68	6,92
2	3,7	3,7	3,7	3,71	3,7	7,49
3	3,64	3,63	3,64	3,64	3,63	6,76
4	3,5	3,49	3,51	3,52	3,51	7,5

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 0 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,23	3,24	3,25	3,26	3,24	5,60
2	3,26	3,25	3,27	3,28	3,3	5,60
3	3,29	3,28	3,29	3,29	3,26	5,40
4	3,2	3,21	3,19	3,22	3,23	5,70

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 0 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,27	3,24	3,29	3,3	3,32	5,4
2	3,24	3,23	3,25	3,26	3,29	5,4
3	3,31	3,33	3,29	3,28	3,29	5,6
4	3,24	3,21	3,22	3,21	3,16	5,3

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 0 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,27	3,29	3,3	3,31	3,32	5,4
2	3,24	3,23	3,31	3,26	3,3	5,3
3	3,31	3,33	3,3	3,28	3,3	5,4
4	3,24	3,21	3,23	3,18	3,19	5,5

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 12 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,28	3,28	3,26	3,28	3,3	5,67
2	3,3	3,27	3,28	3,3	3,34	5,72
3	3,31	3,3	3,31	3,35	3,34	5,51
4	3,31	3,26	3,28	3,25	3,29	5,82

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 12 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,31	3,3	3,31	3,36	3,38	5,44
2	3,28	3,3	3,3	3,32	3,33	5,55
3	3,36	3,34	3,36	3,38	3,35	5,67
4	3,38	3,35	3,33	3,37	3,36	5,57

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 12 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,33	3,31	3,35	3,39	3,39	5,58
2	3,37	3,39	3,37	3,37	3,37	5,46
3	3,37	3,38	3,39	3,39	3,41	5,56
4	3,3	3,36	3,34	3,36	3,38	5,56

Dengan Silika 4 mm						
Perendaman 24 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,3	3,31	3,3	3,31	3,33	5,8
2	3,33	3,3	3,31	3,33	3,36	5,7
3	3,34	3,33	3,31	3,35	3,34	5,89
4	3,34	3,36	3,32	3,37	3,3	5,97

Dengan Silika 6 mm						
Perendaman 24 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,33	3,33	3,33	3,37	3,37	5,69
2	3,3	3,33	3,33	3,34	3,36	5,78
3	3,38	3,36	3,38	3,4	3,38	5,79
4	3,31	3,36	3,37	3,38	3,38	5,78

Dengan Silika 10 mm						
Perendaman 24 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,36	3,36	3,38	3,4	3,4	5,71
2	3,39	3,4	3,38	3,39	3,4	5,77
3	3,4	3,4	3,4	3,42	3,41	5,82
4	3,33	3,38	3,37	3,39	3,4	5,79

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 36 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,32	3,33	3,3	3,33	3,34	5,84
2	3,35	3,34	3,33	3,35	3,37	5,75
3	3,36	3,35	3,34	3,36	3,36	5,9
4	3,36	3,38	3,34	3,38	3,36	5,98

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 36 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,35	3,34	3,34	3,38	3,37	5,72
2	3,36	3,33	3,35	3,36	3,38	5,8
3	3,36	3,34	3,38	3,42	3,39	5,8
4	3,36	3,37	3,38	3,4	3,38	5,8

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 36 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,37	3,38	3,4	3,42	3,42	5,85
2	3,4	3,43	3,4	3,43	3,41	5,85
3	3,42	3,43	3,42	3,44	3,43	5,85
4	3,37	3,4	3,39	3,41	3,42	5,85

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 48 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,35	3,36	3,35	3,35	3,36	5,88
2	3,37	3,35	3,35	3,37	3,38	5,75
3	3,37	3,36	3,36	3,37	3,37	5,9
4	3,38	3,38	3,35	3,39	3,37	5,98

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 48 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,37	3,38	3,38	3,39	3,38	5,72
2	3,37	3,36	3,37	3,37	3,39	5,8
3	3,38	3,36	3,39	3,43	3,41	5,8
4	3,37	3,38	3,4	3,42	3,4	5,8

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 48 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,42	3,4	3,42	3,43	3,43	5,73
2	3,42	3,44	3,42	3,44	3,42	5,85
3	3,42	3,45	3,43	3,45	3,44	5,72
4	3,39	3,42	3,4	3,43	3,43	5,85

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 60 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,37	3,37	3,37	3,36	3,38	5,86
2	3,38	3,37	3,38	3,38	3,39	5,77
3	3,38	3,37	3,37	3,38	3,39	6,13
4	3,39	3,4	3,36	3,4	3,4	6

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 60 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,4	3,4	3,4	3,42	3,41	5,76
2	3,39	3,38	3,39	3,39	3,4	5,86
3	3,4	3,38	3,4	3,4	3,42	5,89
4	3,38	3,4	3,41	3,4	3,41	5,87

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 60 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,4	3,42	3,43	3,44	3,44	5,81
2	3,41	3,41	3,44	3,45	3,43	5,8
3	3,43	3,46	3,43	3,46	3,45	5,86
4	3,42	3,43	3,42	3,45	3,45	6,02

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 72 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,38	3,38	3,39	3,39	3,4	5,86
2	3,39	3,38	3,4	3,39	3,41	5,78
3	3,4	3,39	3,39	3,4	3,41	6,14
4	3,4	3,41	3,38	3,41	3,42	6,01

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 72 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,42	3,43	3,42	3,43	3,43	5,78
2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,41	5,87
3	3,42	3,4	3,41	3,42	3,43	5,9
4	3,39	3,41	3,4	3,41	3,41	5,88

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 72 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,44	3,44	3,42	3,45	3,43	5,82
2	3,43	3,42	3,44	3,43	3,45	5,81
3	3,45	3,47	3,45	3,47	3,45	5,82
4	3,43	3,44	3,44	3,46	3,45	6,07

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 84 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,4	3,4	3,4	3,41	3,42	5,87
2	3,4	3,4	3,41	3,41	3,43	5,79
3	3,42	3,41	3,4	3,41	3,43	6,15
4	3,41	3,4	3,4	3,43	3,44	6,01

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 84 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,43	3,44	3,43	3,44	3,45	5,79
2	3,43	3,42	3,42	3,41	3,43	5,88
3	3,43	3,42	3,43	3,43	3,44	5,91
4	3,42	3,42	3,42	3,42	3,43	5,89

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 84 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,43	3,45	3,44	3,46	3,45	5,83
2	3,45	3,44	3,45	3,46	3,46	5,82
3	3,46	3,48	3,43	3,47	3,46	5,83
4	3,44	3,45	3,42	3,46	3,47	6,08

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 96 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,41	3,42	3,42	3,43	3,43	5,88
2	3,42	3,43	3,43	3,42	3,44	5,8
3	3,43	3,43	3,43	3,42	3,43	6,16
4	3,43	3,42	3,43	3,43	3,45	6,02

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 96 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,45	3,44	3,46	3,47	3,45	5,8
2	3,44	3,45	3,43	3,44	3,43	5,89
3	3,46	3,42	3,46	3,45	3,46	5,92
4	3,43	3,45	3,46	3,44	3,45	5,9

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 96 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,45	3,46	3,45	3,47	3,46	5,84
2	3,45	3,45	3,47	3,46	3,47	5,84
3	3,47	3,48	3,48	3,47	3,48	5,84
4	3,45	3,46	3,44	3,47	3,48	6,09

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 108 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,43	3,43	3,44	3,45	3,44	5,89
2	3,43	3,45	3,44	3,44	3,45	6
3	3,44	3,44	3,45	3,44	3,45	6,17
4	3,45	3,44	3,45	3,45	3,46	6,05

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 108 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,45	3,47	3,47	3,46	5,83
2	3,45	3,46	3,45	3,45	3,43	5,9
3	3,48	3,44	3,47	3,46	3,47	5,94
4	3,45	3,46	3,47	3,45	3,46	5,92

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 108 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,47	3,47	3,49	3,48	5,86
2	3,46	3,47	3,48	3,48	3,48	5,86
3	3,47	3,48	3,48	3,48	3,49	5,86
4	3,47	3,47	3,47	3,47	3,49	6,11

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 120 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,44	3,46	3,46	3,45	3,45	5,9
2	3,45	3,45	3,45	3,44	3,46	5,87
3	3,45	3,45	3,46	3,46	3,45	6,2
4	3,46	3,46	3,46	3,45	3,44	6,07

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 120 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,46	3,47	3,47	3,47	5,85
2	3,47	3,45	3,46	3,46	3,46	5,93
3	3,5	3,45	3,47	3,47	3,47	5,96
4	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	5,97

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 120 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,48	3,48	3,48	3,5	3,48	5,88
2	3,48	3,48	3,47	3,48	3,47	5,87
3	3,49	3,48	3,5	3,48	3,5	5,88
4	3,48	3,47	3,49	3,48	3,49	6,16

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 132 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,46	3,46	3,46	3,47	5,94
2	3,46	3,45	3,46	3,47	3,46	5,89
3	3,47	3,46	3,46	3,46	3,45	6,25
4	3,46	3,47	3,46	3,46	3,46	6,1

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 132 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,48	3,48	3,47	3,48	3,48	5,87
2	3,48	3,48	3,47	3,46	3,48	5,95
3	3,52	3,49	3,48	3,49	3,49	5,98
4	3,48	3,48	3,47	3,49	3,49	5,99

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 132 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,5	3,49	3,49	3,5	3,5	5,9
2	3,48	3,49	3,49	3,5	3,49	5,89
3	3,48	3,48	3,49	3,5	3,49	5,89
4	3,48	3,49	3,48	3,5	3,49	6,19

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 144 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,46	3,46	3,47	3,47	3,47	5,96
2	3,47	3,46	3,46	3,47	3,47	6,00
3	3,46	3,47	3,47	3,46	3,45	6,28
4	3,46	3,47	3,47	3,47	3,47	6,14

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 144 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,49	3,5	3,49	3,5	3,5	5,89
2	3,49	3,48	3,47	3,48	3,49	5,98
3	3,49	3,49	3,5	3,49	3,5	6
4	3,49	3,5	3,5	3,49	3,5	6

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 144 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,5	3,5	3,51	3,51	3,52	5,94
2	3,5	3,5	3,52	3,51	3,52	5,93
3	3,5	3,52	3,53	3,53	3,53	5,93
4	3,5	3,51	3,51	3,51	3,3	6,21

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 156 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,47	3,47	3,48	3,47	3,48	5,98
2	3,48	3,47	3,48	3,48	3,48	6,04
3	3,47	3,47	3,48	3,48	3,47	6,3
4	3,47	3,48	3,47	3,47	3,48	6,17

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 156 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,5	3,52	3,51	3,52	3,5	5,91
2	3,5	3,51	3,52	3,5	3,52	5,99
3	3,5	3,51	3,51	3,51	3,5	6,06
4	3,51	3,51	3,5	3,5	3,51	6,05

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 156 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,52	3,53	3,53	3,52	3,53	5,97
2	3,52	3,53	3,52	3,52	3,52	5,95
3	3,53	3,52	3,52	3,52	3,53	5,97
4	3,53	3,52	3,52	3,32	3,53	6,26

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 168 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,49	3,48	3,49	3,49	3,5	6
2	3,49	3,49	3,49	3,47	3,48	6,07
3	3,5	3,49	3,48	3,49	3,49	6,33
4	3,48	3,49	3,48	3,5	3,49	6,19

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 168 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,52	3,52	3,53	3,53	3,52	5,96
2	3,52	3,53	3,53	3,52	3,53	6
3	3,51	3,53	3,52	3,52	3,51	6,09
4	3,52	3,52	3,51	3,52	3,52	6,10

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 168 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,54	3,55	3,55	3,54	5,99
2	3,54	3,53	3,5	3,54	3,53	5,99
3	3,53	3,53	3,53	3,54	3,54	6,15
4	3,54	3,53	3,54	3,55	3,54	6,3

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 180 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,52	3,5	3,51	3,52	3,51	6,05
2	3,49	3,51	3,51	3,49	3,51	6,07
3	3,51	3,5	3,51	3,5	3,49	6,36
4	3,51	3,5	3,52	3,52	3,51	6,24

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 180 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,53	3,54	3,54	3,54	3,54	5,97
2	3,52	3,54	3,53	3,53	3,54	6,05
3	3,53	3,53	3,52	3,55	3,53	6,14
4	3,52	3,53	3,53	3,53	3,53	6,15

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 180 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,55	3,54	3,55	3,56	3,55	6
2	3,55	3,55	3,55	3,56	3,56	6,01
3	3,55	3,55	3,55	3,56	3,56	6,2
4	3,55	3,55	3,56	3,56	3,56	6,36

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 192 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,53	3,52	3,53	3,54	3,54	6,06
2	3,51	3,53	3,52	3,54	3,54	6,08
3	3,53	3,53	3,54	3,54	3,54	6,38
4	3,53	3,53	3,53	3,54	3,54	6,26

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 192 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,54	3,55	3,55	3,55	5,99
2	3,55	3,55	3,54	3,55	3,56	6,13
3	3,55	3,54	3,54	3,56	3,54	6,16
4	3,55	3,54	3,55	3,56	3,55	6,23

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 192 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,58	3,57	3,57	3,57	6,06
2	3,56	3,57	3,58	3,58	3,57	6,08
3	3,57	3,56	3,56	3,57	3,58	6,27
4	3,57	3,56	3,57	3,57	3,58	6,39

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 204 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,55	3,55	3,54	3,54	6,06
2	3,55	3,54	3,54	3,54	3,55	6,09
3	3,55	3,55	3,54	3,54	3,54	6,4
4	3,55	3,55	3,53	3,54	3,54	6,3

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 204 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,55	3,54	3,55	3,57	3,56	6
2	3,55	3,55	3,56	3,55	3,57	6,15
3	3,54	3,56	3,56	3,56	3,56	6,18
4	3,55	3,55	3,56	3,56	3,57	6,26

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 204 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,57	3,6	3,59	3,58	3,57	6,08
2	3,57	3,57	3,6	3,58	3,56	6,1
3	3,56	3,58	3,6	3,59	3,6	6,27
4	3,58	3,57	3,55	3,56	3,61	6,42

Dengan Silica 4 mm						
Perendaman 216 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,54	3,55	3,55	3,54	3,54	6,06
2	3,55	3,54	3,54	3,54	3,55	6,10
3	3,56	3,55	3,55	3,56	3,56	6,41
4	3,55	3,55	3,53	3,54	3,54	6,31

Dengan Silica 6 mm						
Perendaman 216 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,56	3,57	3,56	3,56	3,57	6,02
2	3,57	3,57	3,56	3,56	3,56	6,15
3	3,56	3,56	3,57	3,57	3,56	6,18
4	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	6,28

Dengan Silica 10 mm						
Perendaman 216 jam						
No. Spesimen	Tebal 1 (mm)	Tebal 2 (mm)	Tebal 3 (mm)	Tebal 4 (mm)	Tebal 5 (mm)	Berat (gram)
1	3,6	3,58	3,6	3,59	3,6	6,08
2	3,6	3,6	3,59	3,58	3,57	6,1
3	3,6	3,59	3,6	3,59	3,58	6,27
4	3,6	3,6	3,59	3,6	3,6	6,42