



**PENGARUH FRAKSI MASSA SERAT DAN KONSENTRASI ALKALI  
TERHADAP KEKUATAN TARIK BAHAN KOMPOSIT SELULOSA  
BAKTERI DENGAN PENGUAT SERAT AMPAS TEBU**

**SKRIPSI**

oleh

**Muhammad Iqbalul Hasan Abusiri  
NIM 101810201047**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**



**PENGARUH FRAKSI MASSA SERAT DAN KONSENTRASI ALKALI  
TERHADAP KEKUATAN TARIK BAHAN KOMPOSIT SELULOSA  
BAKTERI DENGAN PENGUAT SERAT AMPAS TEBU**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Strata 1 (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

oleh

**Muhammad Iqbalul Hasan Abusiri  
NIM 101810201047**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Agama dan ilmu pengetahuan, jadikanlah keduanya petunjuk sebagai jalan kebahagiaan dunia dan akhirat;
2. orang tua tercinta, Umi Siti Nur Jannah dan alm. Aba M. Abusiri yang telah merawat dan membesarkan, yang telah mengorbankan banyak hal dan memberikan dukungan moral, material serta spiritual, yang selalu memberi kasih sayang;
3. Kakakku Hafi Maulana sekeluarga, Fuad Maulana sekeluarga, Rifki Audana Ubaidillah sekeluarga dan Adikiyah Ismiatul Maulana sekeluarga yang telah memberikan dukungan moral maupun material;
4. Bapak Drs. Sujito, Ph.D., Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si. dan Bapak Supriyadi, S.Si., M.Si. yang telah membimbing dan membina selama kuliah dan selama penyelesaian skripsi;
5. guru-guru TK Pertiwi Mayang, SDN Mayang 1, SMPN 12 Jember, SMAN 1 Pakusari, serta dosen-dosen di Jurusan Fisika FMIPA UNEJ yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
6. Almamater Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

**MOTTO**

*“Wahai golongan jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka tembuslah! Kamu tidak akan mampu menembusnya kecuali dengan kekuatan (dari Allah SWT)”*

**(Surat Ar-Rahman ayat 33)\***

*“Pura - pura pandai itu bodoh. Apabila kamu pura - pura pandai, kamu berada di puncak kebodohan”*

**(Robert T. Kiyosaki)\*\***

*“Hal pertama ialah mencari tahu apa saja yang diketahui oleh orang lain, dan kemudian mulai di tempat mereka berhenti”*

**(Thomas Alpha Edison)\*\*\***

---

\* Departemen Agama Republik Indonesia. 2012. *Robbani Al-Qur'an perkata, tajwid warna*. Jakarta Timur : PT Surya Prisma Sinergi.

\*\* Kiyosaki, Robert T., Sharon L. Lechter. 2005. *Retire Young Retire Rich*. Alih bahasa: Paulus Herlambang. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.

\*\*\* Doyles Staples, Walter. 1994. *Berpikir Sebagai Pemenang*. Alih bahasa : T. Hermaya. Jakarta : Pustaka Tangga.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Muhammad Iqbalul Hasan Abusiri

NIM : 101810201047

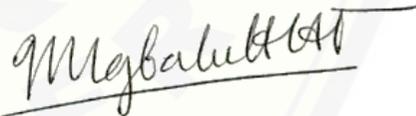
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Fraksi Massa Serat dan Konsentrasi Alkali terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Selulosa Bakteri dengan Penguat Serat Ampas Tebu” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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

Jember, November 2016

Yang menyatakan,



Muhammad Iqbalul Hasan Abusiri

101810201047

**SKRIPSI**

**PENGARUH FRAKSI MASSA SERAT DAN KONSENTRASI ALKALI  
TERHADAP KEKUATAN TARIK BAHAN KOMPOSIT SELULOSA  
BAKTERI DENGAN PENGUAT SERAT AMPAS TEBU**

oleh

Muhammad Iqbalul Hasan Abusiri  
NIM 101810201047

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Sujito, Ph.D.  
Dosen Pembimbing Anggota : Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

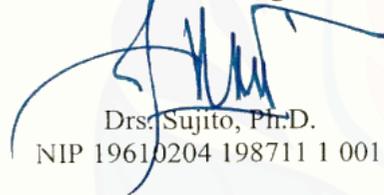
Skripsi berjudul “Pengaruh Fraksi Massa Serat dan Konsentrasi Alkali terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Selulosa Bakteri dengan Penguat Serat Ampas Tebu” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal : JUM'AT 16 DEC 2016

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

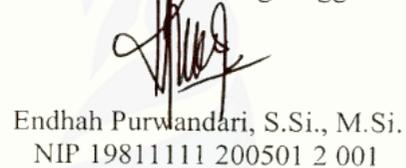
Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama



Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 19610204 198711 1 001

Dosen Pembimbing Anggota



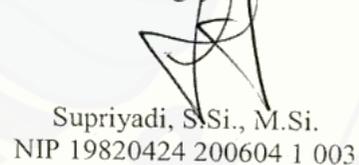
Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.  
NIP 19811111 200501 2 001

Penguji I



Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.  
NIP 19691225 199903 1 001

Penguji II



Supriyadi, S.Si., M.Si.  
NIP 19820424 200604 1 003

Mengesahkan  
Dekan FMIPA UNEJ



Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 19610204 198711 1 001

## RINGKASAN

### **Pengaruh Fraksi Massa Serat dan Konsentrasi Alkali terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Selulosa Bakteri dengan Penguat Serat Ampas Tebu;**

Muhammad Iqbalul Hasan Abusiri, 101810201047; 53 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penggunaan teknologi bahan komposit yang berasal dari bahan organik sebagai bahan baku alternatif di berbagai bidang industri mampu bersaing dengan bahan baku yang berasal dari logam dengan beberapa keunggulan tersendiri, misalnya tahan korosi, kuat dan kaku namun ringan, ramah lingkungan serta murah. Kenyataan ini mendorong untuk mensintesis bahan komposit baru berbasis serat ampas tebu dengan matriks selulosa bakteri pada berbagai variasi konsentrasi alkali dan fraksi massa serat. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh keduanya terhadap nilai kekuatan tarik dari bahan komposit. Adapun variasi konsentrasi alkali yang digunakan yaitu sebesar 5% (w/v), 10% (w/v) dan 15% (w/v). Pada masing-masing variasi tersebut dilakukan variasi perbandingan fraksi massa serat yaitu sebesar 10% (wt%), 20% (wt%) dan 30% (wt%).

Serat ampas tebu dan matriks selulosa bakteri diolah menjadi bentuk lembaran kemudian dicetak menggunakan *hot press machine* pada suhu 170 °C selama 5 menit. Bahan komposit lamina yang dihasilkan memiliki dimensi panjang 100 mm, lebar 10 mm dan tebal 5 mm. Pengujian terhadap bahan komposit dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik merk Shimadzu Autograph AG-X 5 KN.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi konsentrasi alkali tidak berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik bahan komposit. Sedangkan variasi fraksi massa serat pada konsentrasi alkali 5% (w/v) menurunkan nilai kekuatan tarik bahan komposit, namun pada konsentrasi alkali 10% (w/v) dan 15% (w/v) tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik bahan komposit. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada konsentrasi alkali 5% (w/v) dengan fraksi massa serat 10% (wt%), yaitu sebesar  $(72,64 \pm 3,62)$  MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah diperoleh pada variasi konsentrasi alkali yang sama namun dengan fraksi massa serat 30% (wt%), yaitu sebesar  $(48,29 \pm 2,22)$  MPa. Di lain pihak, variasi konsentrasi alkali maupun fraksi massa serat tidak berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas bahan.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Fraksi Massa Serat dan Konsentrasi Alkali terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Selulosa Bakteri dengan Penguat Serat Ampas Tebu”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam sekaligus Dosen Pembimbing Utama dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatiannya dalam penulisan skripsi ini, yang telah membantu secara moral maupun material;
2. Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika sekaligus Penguji I, dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Penguji II, yang telah banyak memberikan masukan, kritik, dan saran yang bersifat konstruktif dalam penulisan skripsi ini;
3. Supriyadi, A.Md. dan Basar Ismail, selaku Teknisi dan Asisten Laboratorium Beton dan Bangunan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya yang telah membantu dalam uji tarik bahan serta Ir. Efie Fadjriajah Eka Dewi, M.St., selaku Teknisi Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi FMIPA UNEJ yang telah membantu dalam uji morfologi bahan;
4. Mutmainnah, S.Si., M.Si. dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;

5. Umi, alm. Aba, kakak beserta keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini;
6. teman satu tim penelitian, Ali Imron Habibi yang telah berbagi keceriaan dan ilmu kehidupan di awal penelitian; Duwi Yuliana yang telah berbagi pengetahuan dan kerja sama selama persiapan penelitian;
7. kakak angkatan fisika material, Mahrus Ali, S.Si., Zam Zam Sri Arjiati, S.Si. dan Septian Hadinata, S.Si. yang telah memberikan banyak saran dan masukan;
8. teman seangkatan, Anik Umi Arifah, S.Si., Devi Anastiani, S.Si., Niko Demus Umbu J. H., S.Si., Ahmad Bahar, S.Si., Venny Yashinta A, S.Si., Lina Tri Astutik, S.Si., Syafrilia Ryan Fitri A, S.Si., Chumaimah, S.Si., Dessy Fudiana S. A. P., S.Si. dan Ahmad Anwar Nuris, S.Si. yang telah memberikan banyak dukungan dan informasi;
9. adik angkatan, Latifathul Musharofah, S.Si., Bagus Fath Nagara HT, S.Si., Elok Hidayah, Avkarina Agustin, Dianita Ajeng dan Esti Wulandari yang telah memberikan banyak informasi;
10. Mas Edy, Pak Ji, Mas Narto, Mas Hadi, Mas Taufik, Mas Budi, Bu Rica, Pak Budi, Pak Safiudin, Mas Nizar dan Bak Erni serta seluruh staf karyawan di FMIPA UNEJ yang telah memberikan bantuannya;
11. saudara - saudara PALAPA, dan teman – teman angkatan 2010 Fisika FMIPA yang telah mengajarkan banyak hal selama kuliah.
12. Azizah, S.Si. yang selalu mendukung selama penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Dengan harapan skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

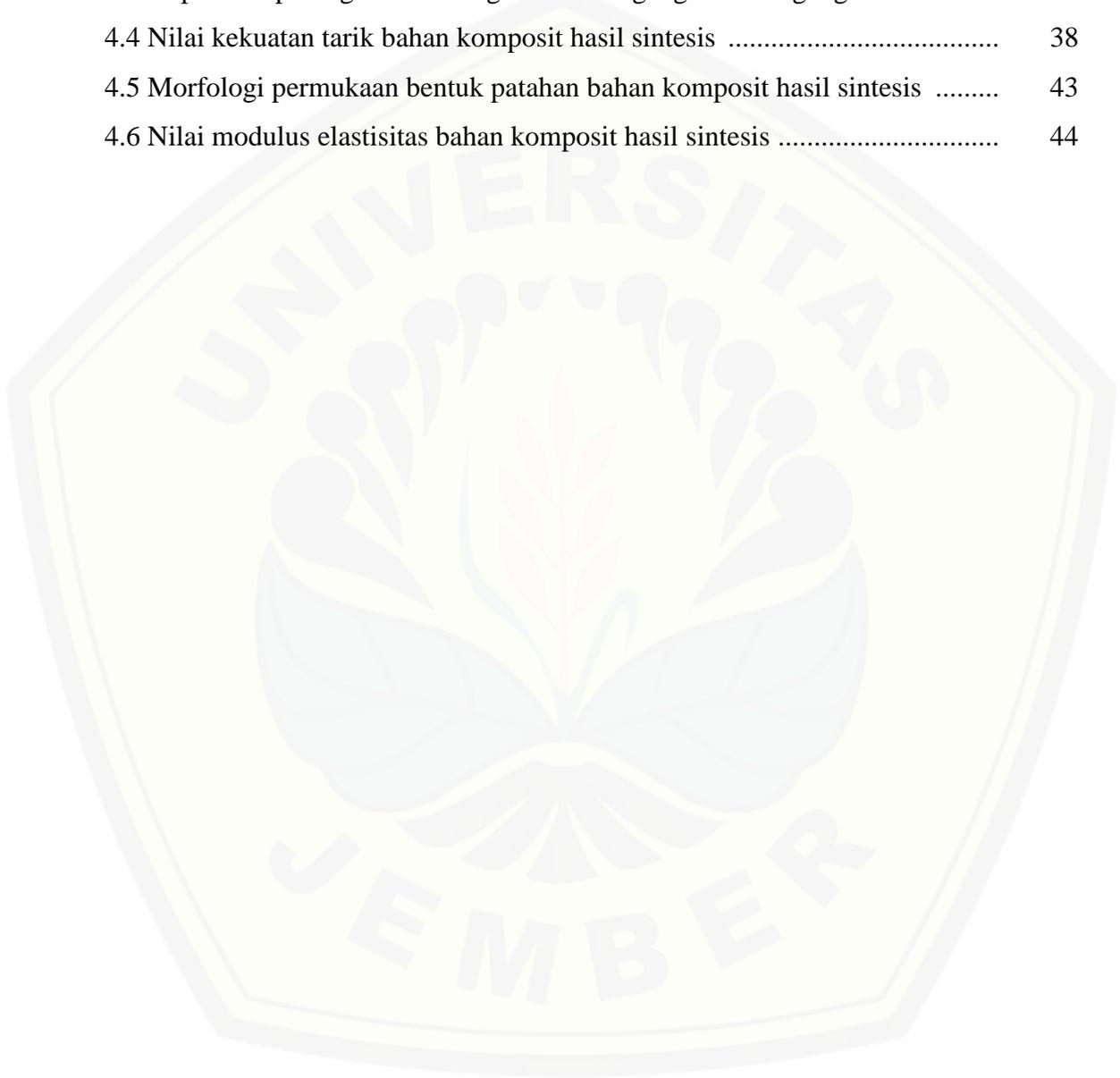
	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN .....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN .....	vii
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3. Batasan Masalah</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4. Tujuan</b> .....	<b>6</b>
<b>1.5. Manfaat</b> .....	<b>6</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Komposit</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Pembagian Komposit Berdasarkan Penguat</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 Komposit Serat</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4 Serat Ampas Tebu</b> .....	<b>14</b>
<b>2.5 Matriks</b> .....	<b>15</b>
<b>2.6 NaOH</b> .....	<b>17</b>
<b>2.7 Kekuatan Tarik Komposit</b> .....	<b>18</b>

<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Tempat Penelitian .....	23
3.1.2 Waktu Penelitian .....	23
<b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Alat .....	23
3.2.2 Bahan .....	24
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Prosedur Pembuatan Bahan Komposit .....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Pengolahan Serat Ampas Tebu .....	25
3.4.2 Pengolahan Matriks Selulosa Bakteri .....	27
3.4.3 Penentuan Komposisi Serat dan Matriks .....	28
3.4.4 Pembuatan Bahan Komposit .....	29
<b>3.5 Karakterisasi Bahan Komposit .....</b>	<b>32</b>
3.5.1 Uji Tarik .....	32
3.5.2 Uji Morfologi .....	32
<b>3.6 Analisis Data .....</b>	<b>33</b>
<b>Bab 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Bahan Hasil Sintesis dan Morfologi Permukaan .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas .....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Kekuatan Tarik Bahan Komposit Hasil Sintesis .....	36
4.2.2 Modulus Elastisitas Bahan Komposit Hasil Sintesis .....	43
<b>Bab 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>54</b>

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Pembagian komposit berdasarkan bahan penguat .....	8
2.2 Komposit partikel .....	9
2.3 Komposit serat .....	10
2.4 Komposit struktural .....	10
2.5 Komposit <i>laminata</i> .....	11
2.6 Komposit <i>sandwich</i> .....	11
2.7 Tipe serat pada komposit .....	12
2.8 Tipe serat <i>discontinuous fiber composite</i> .....	13
2.9 Struktur selulosa bakteri .....	16
2.10 Proses uji tarik .....	19
2.11 Kurva tegangan-regangan .....	20
2.12 Penentuan titik luluh dengan metode <i>offset</i> .....	21
2.13 <i>Ultimate tensile strength (UTS)</i> .....	22
3.1 Diagram alir penelitian .....	24
3.2 Cetakan serat ampas tebu dan hasil cetakan .....	26
3.3 Alat cetak ulang serat ampas tebu .....	27
3.4 Bahan komposit .....	29
3.5 Cetakan bahan komposit .....	30
3.6 Susunan bahan komposit .....	30
3.7 Spesimen uji .....	31
3.8 Mesin uji tarik merk Shimadzu Autograph AG-X 5 KN .....	32

4.1 Serat ampas tebu hasil sintesis .....	34
4.2 Bahan komposit hasil sintesis .....	36
4.3 Cuplikan tipikal grafik hubungan antara tegangan dan regangan .....	37
4.4 Nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis .....	38
4.5 Morfologi permukaan bentuk patahan bahan komposit hasil sintesis .....	43
4.6 Nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis .....	44



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>A. Dimensi Bahan Komposit</b> .....	54
<b>B. Fraksi Massa Serat Bahan Komposit</b> .....	55
<b>C. Kekuatan Tarik Bahan Komposit</b> .....	56
<b>D. Modulus Elastisitas Bahan Komposit</b> .....	62
D.1 Tabel Nilai Modulus Elastisitas Bahan Komposit .....	62
D.2 Grafik Nilai Modulus Elastisitas Bahan Komposit .....	63
<b>E. Perhitungan Data Hasil Penelitian</b> .....	69

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi bahan komposit mulai berkembang sejak pemanfaatannya sebagai bahan baku alternatif di beberapa industri, seperti industri otomotif, mebel, rumah tangga, peralatan kedokteran sampai dengan olahraga, telah dapat menggantikan material aslinya (Kutz, 2006). Di samping itu, beberapa keunggulan bahan komposit, seperti tahan korosi, ringan dan biaya produksi yang relatif lebih murah, membuat keberadaannya mampu bersaing dengan bahan berbasis logam (Hoa, 2009). Kenyataan inilah yang menginisiasi berbagai penelitian dalam rangka mensintesis bahan komposit baru, khususnya yang berasal dari bahan organik.

Salah satu bahan organik, yang bersifat ramah lingkungan, tidak beracun dan umumnya memiliki densitas cukup rendah (Rana *et al.*, 1997), adalah tebu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat tanaman tebu dapat dimanfaatkan sebagai komponen penguat dari sebuah bahan komposit. Malau (2009) telah memanfaatkan serat ampas tebu sebagai bahan baku dalam pembuatan papan partikel dengan menggunakan *urea formaldehyde* sebagai matriks. Rahman dan Kamiel (2011) serta Yudo dan Jatmiko (2008), keduanya sama-sama menggunakan *polyester* sebagai matriks dan serat ampas tebu sebagai komponen penguat, namun berbeda dalam perlakuan terhadap serat ampas tebu yang digunakan. Rahman dan Kamiel (2011) menggunakan satu arah serat (*unidirectional*), sedangkan Yudo dan Jatmiko (2008) menggunakan pola variasi anyaman, yaitu searah  $0^\circ$  dan bersilang  $45^\circ$ .

Sebagai komponen penguat, tanaman tebu menjadi cukup menarik untuk dikembangkan menjadi bahan komposit. Sumber utama dari serat tebu yang digunakan pada umumnya berasal dari sisa hasil proses penggilingan tebu menjadi gula. Data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) menyebutkan

bahwa jumlah serta ampas tebu di Indonesia cukup melimpah (Yuwono *et al.*, 2012). Faktor ketersediaan yang cukup melimpah ini menjadi faktor utama diminatinya bahan baku ini. Namun demikian, untuk membuat sebuah komposit, dibutuhkan komponen matriks yang mampu mengikat komponen penguat (serat) secara kuat. Oleh karena itu, keberadaan matriks menjadi faktor kedua yang harus dipertimbangkan.

Untuk membuat bahan komposit yang bersifat ramah lingkungan, dibutuhkan komponen penyusun bahan yang idealnya juga harus berasal dari unsur alam dan bersifat organik, sehingga mudah terdegradasi secara alami dan tidak merusak lingkungan. Komponen matriks yang menarik untuk dikembangkan dalam hal ini adalah *nata de coco*, selulosa bakteri yang berasal dari hasil fermentasi air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum* (Yoshihiro *et al.*, 1996). Sebagai komponen matriks yang bersifat ramah lingkungan, selulosa bakteri dikenal memiliki kapasitas yang cukup besar dalam menyerap air (*hydrophilic*), oleh karenanya bahan ini mudah sekali terurai secara alami (Darmansyah, 2010). Namun demikian, struktur rantai selulosa bakteri, yang berbentuk juntaian pita berdiameter 20-50 nm, berikatan secara kuat membentuk jaringan yang sangat padat. Hal inilah yang membuat selulosa bakteri memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai komponen matriks dari sebuah bahan komposit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *nata de coco* sebagai komponen matriks, telah menghasilkan sebuah bahan komposit dengan karakteristik mekanik yang cukup baik. Beberapa penelitian yang telah dilakukan, antara lain oleh Prabowo (2011), Haryati (2014) serta Ozawa dan Kikuchi (2007). Dalam penelitiannya, Prabowo (2011) memasukkan penguat nanosilika ke dalam serat *nata de coco* dengan menggunakan metode *post modification* (perendaman), serta dipadukan dengan beberapa variasi resin dengan teknik *hand lay-up*. Hasil pengujian morfologi menunjukkan bahwa jumlah nanosilika yang masuk ke dalam serat sebanding dengan lama perendaman. Hasil uji tarik didapatkan bahwa lama

perendaman yang optimum adalah 3 hari karena meningkatkan kekuatan tarik komposit dari 85,6 MPa menjadi 316 MPa. Selain itu, kekuatan tarik tertinggi didapat pada saat bahan komposit divariasi dengan resin *polyamide + epoxy*, yang mencapai nilai kekuatan tarik sebesar 96,2 MPa. Sementara itu, Haryati (2014) mencoba meneliti bahan komposit yang berasal dari *nata de coco* dengan serat bambu sebagai komponen penguat. Haryati (2014) melakukan perlakuan berbeda terhadap arah serat bambu yang digunakan, yaitu arah serat longitudinal dan arah serat acak. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum orientasi arah serat bambu longitudinal lebih besar dibandingkan dengan orientasi arah serat bambu acak, yaitu sebesar  $(16,44 \pm 2,32)$  MPa untuk arah serat longitudinal dan sebesar  $(7,62 \pm 2,24)$  MPa untuk arah serat acak. Di lain pihak, sifat mekanik *nata de coco* juga diteliti oleh Ozawa dan Kikuchi (2007). Namun, peneliti yang berasal dari Jepang ini menggunakan berbagai macam jenis penguat, yaitu *powdered paper* (PP), *calcium carbonate* ( $\text{CaCO}_3$ ) dan *clay* (*montmorillonite*). Hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa kekuatan tarik bahan komposit selulosa bakteri bergantung pada jenis penguat yang digunakan. Namun demikian, dari semua jenis bahan komposit selulosa bakteri yang diteliti, nilai kekuatan tarik yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tarik bahan selulosa bakteri murni.

Berdasarkan karakteristik serat ampas tebu dan matriks *nata de coco* seperti yang telah disebutkan di atas, sintesis bahan komposit berbasis kedua bahan tersebut menarik untuk dikaji lebih lanjut. Sebagai bahan baru, karakteristik dari kekuatan mekanik yang dimiliki perlu untuk diketahui agar informasi dasar perihal kekuatan bahan dapat dijadikan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Salindeho *et al.*, 2013). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dalam rangka memperoleh karakteristik mekanik dari bahan komposit, yang disintesis dari bahan serat yang berasal dari ampas tebu dan bahan matriks yang diperoleh dari *nata de coco*.

Pada penelitian ini, karakteristik mekanik bahan akan diuji kebergantungannya terhadap beberapa parameter yang menjadi faktor utama dalam proses sintesis bahan. Faktor pertama yang berpengaruh terhadap karakteristik bahan komposit yang dihasilkan adalah fraksi massa penguat (serat). Fraksi massa serat ampas tebu pada berbagai variasi telah diketahui dapat mempengaruhi kekuatan mekanik yang dihasilkan, ketika dipadu dengan matriks polipropilen (Farid, 2014). Disini, penambahan fraksi massa serat menyebabkan banyaknya *void* atau rongga yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi kualitas kekuatan tarik yang dimiliki. Hal yang sama juga diperoleh dalam penelitian Agustin (2014) yang menyebutkan bahwa ikatan antara serat dan matriks pada bahan komposit berbasis serat ampas tebu dan matriks *polylactid acid*, semakin lemah ketika fraksi massa serat ditingkatkan. Di dalam penelitian ini, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik mekanik bahan komposit, sintesis akan dilakukan dengan menggunakan fraksi massa serat ampas tebu yang divarisi sebesar 10%, 20% dan 30% dari total massa bahan. Dari sini, diharapkan akan diperoleh informasi tentang pengaruh komposisi bahan penyusun komposit terhadap sifat mekanik yang dihasilkan.

Pada tahun 2011, Maryanti *et al.* telah meneliti adanya pengaruh alkalisasi komponen penguat dari komposit, berbasis serat kelapa dan *polyester*, terhadap kekuatan tarik bahan. Perendaman dalam larutan alkali dilakukan untuk menghilangkan lapisan lilin di permukaan serat, sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik dari bahan komposit (Maryanti *et al.*, 2011). Untuk itu, variasi konsentrasi dari bahan alkali yang digunakan, menjadi salah satu faktor yang akan dikaji kebergantungannya terhadap sifat mekanik bahan di dalam penelitian ini. Adapun variasi konsentrasi alkali yang digunakan adalah sebesar NaOH 5% (w/v), 10% (w/v) dan 15% (w/v), dengan waktu perendaman selama 1 jam, sebelum proses pencampuran dengan matriks dilakukan.

Faktor lain yang menjadi penentu dari sifat mekanik bahan komposit yang dihasilkan adalah orientasi arah serat pada saat proses sintesis bahan dilakukan. Di dalam bukunya, Gibson (1994) menyebutkan bahwa kekuatan tarik bahan komposit dengan orientasi arah serat searah relatif lebih besar dibandingkan dengan bahan komposit dengan orientasi arah serat acak. Namun demikian, dalam kegiatan produksi bahan komposit pada skala besar, orientasi arah serat acak dari sebuah bahan komposit membutuhkan biaya yang relatif lebih murah (Campbell, 2010). Oleh karena itu, di dalam penelitian ini, bahan komposit dengan matriks selulosa bakteri akan disintesis dari ampas tebu dengan orientasi arah serat acak.

Berdasarkan pertimbangan ketiga faktor di atas, maka penelitian dalam rangka mendapatkan bahan komposit baru berbasis serat ampas tebu dan matriks selulosa bakteri penting untuk dilakukan, guna memperoleh informasi perihal spesifikasi baru dari bahan komposit dengan sifat mekanik yang baik. Sifat mekanik nantinya diperoleh berdasarkan uji terhadap kekuatan tarik bahan. Dalam proses sintesis, variasi terhadap fraksi massa serat dan konsentrasi alkali dilakukan untuk mengetahui pengaruh keduanya terhadap karakteristik mekanik yang dihasilkan. Sebagai bagian untuk melengkapi informasi berhubungan dengan struktur permukaan luar dari bahan komposit yang dihasilkan, maka akan dilakukan uji terhadap morfologi bahan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan keterangan dan fakta-fakta yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh fraksi massa serat terhadap kekuatan tarik bahan komposit berpenguat serat ampas tebu dengan matriks selulosa bakteri?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi alkali terhadap kekuatan tarik bahan komposit berpenguat serat ampas tebu dengan matriks selulosa bakteri?

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini :

1. Diameter serat ampas tebu dianggap homogen.
2. Ukuran panjang bahan serat ampas tebu awal dibatasi pada interval panjang mulai dari 0,3 cm sampai dengan 5 cm. Namun, panjang serat ampas tebu pada bahan komposit tidak ditinjau kembali karena ukuran serat menjadi sangat halus setelah melalui proses *blending*.
3. Orientasi arah serat bahan komposit yang disintesis adalah orientasi arah serat acak.
4. Proses sintesis bahan komposit menggunakan *hot press machine* dengan suhu 170 °C selama 5 menit.

### 1.4 Tujuan

Sesuai dengan latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh fraksi massa serat terhadap kekuatan tarik bahan komposit berpenguat serat ampas tebu dengan matriks selulosa bakteri.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi alkali terhadap kekuatan tarik bahan komposit berpenguat serat ampas tebu dengan matriks selulosa bakteri.

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dilakukan penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang pemanfaatan serat ampas tebu sebagai alternatif bahan dasar komposit.
2. Menjadi acuan dalam penelitian yang sejenis, sehingga secara tidak langsung dapat memberikan kontribusi dalam dunia ilmu pengetahuan khususnya bidang bahan komposit.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

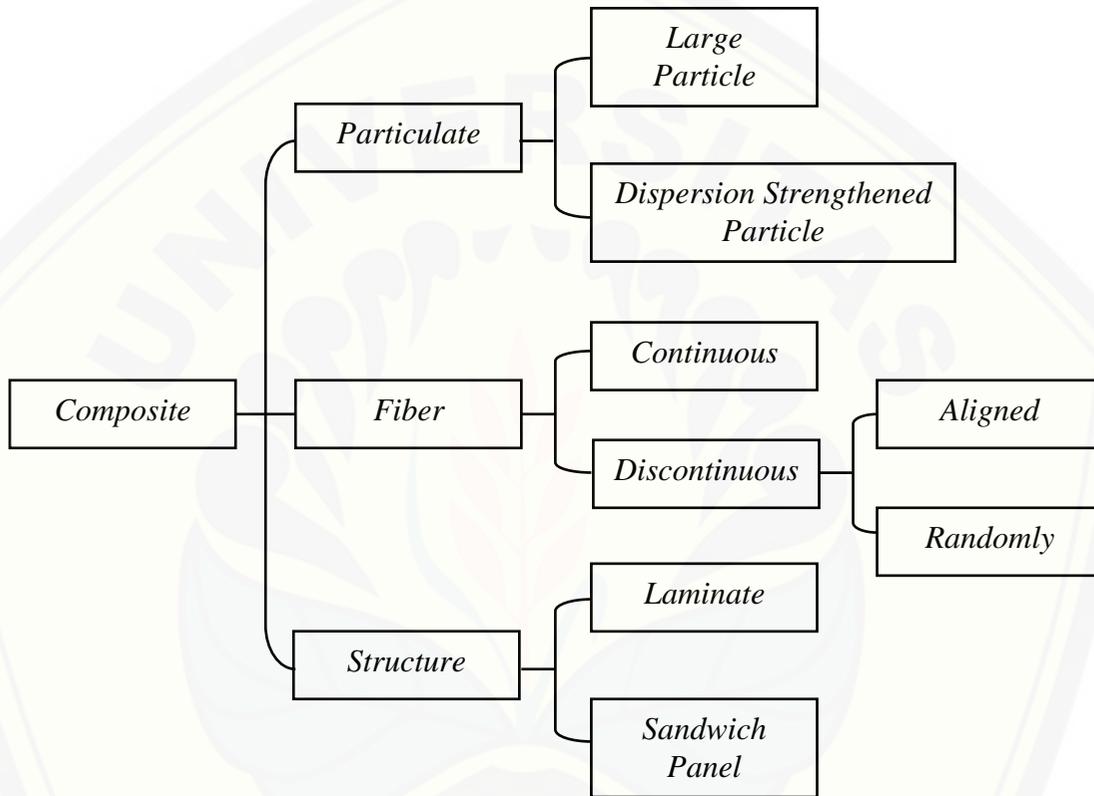
### 2.1 Komposit

Komposit adalah suatu bahan yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih bahan sehingga dihasilkan bahan baru yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari bahan pembentuknya (Schwartz, 1984). Beberapa kelebihan bahan komposit adalah memiliki daya tahan yang cukup baik terhadap lingkungan korosif, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik dan insulasi listrik yang baik, struktur yang ringan serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Namun, komposit juga memiliki kekurangan, seperti sifat kekakuan yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan logam (Darmansyah, 2010).

Komponen penyusun komposit terbagi atas dua bagian besar, yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks. Penguat (*reinforcement*) pada umumnya mempunyai sifat kurang ulet tetapi lebih kaku serta lebih kuat. Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat bergantung pada penguat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, penguat harus mempunyai kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks penyusun komposit (Porwanto, 2011). Adapun matriks merupakan komponen penyusun komposit yang memiliki fraksi volume terbesar (dominan) di dalam bahan. Matriks umumnya lebih ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah. Fungsi matriks adalah mentransfer tegangan ke penguat, melindungi penguat, memisahkan penguat, membentuk ikatan koheren antara permukaan matriks dan penguat, menjaga penguat tetap berada pada posisinya di dalam struktur (Harris, 1999).

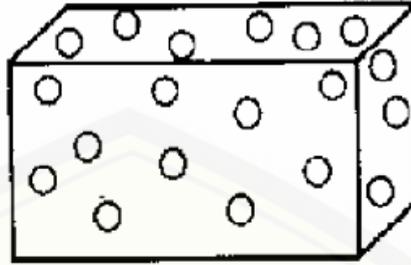
## 2.2 Pembagian Komposit Berdasarkan Penguat

Menurut Callister (2007), pembagian komposit berdasarkan bahan penguat (*reinforcement*) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pembagian komposit berdasarkan bahan penguat (Sumber : Callister, 2007)

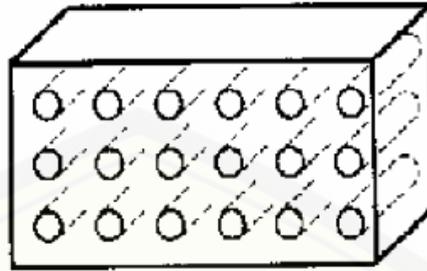
Bahan komposit partikel (*particulate composite*) terdiri atas partikel-partikel yang diikat oleh matriks (pada Gambar 2.2). Bahan komposit partikel umumnya lebih lemah dibanding dengan bahan komposit serat. Namun, memiliki keunggulan seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya ikat dengan matriks yang baik (Rambe, 2011).



Gambar 2.2 Komposit partikel (Sumber : Nayiroh, 2013)

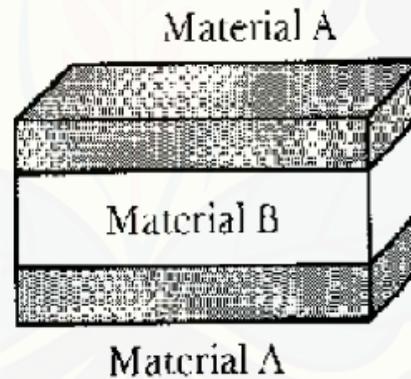
Bahan komposit partikel dibedakan menjadi *large particle* dan *dispersion-strengthened particle*. Pada *large particle*, interaksi antara partikel dan matriks tidak terjadi dalam skala atom atau molekul. Contoh komposit ini adalah beton. Beton merupakan komposit dari semen dan batu-batuan (pasir atau kerikil). Sedangkan pada *dispersion-strengthened particle*, ukuran partikel penguat umumnya jauh lebih kecil, dengan diameter antara 0,01-0,1  $\mu\text{m}$ . Interaksi antara partikel dan matriks cenderung ke dalam skala atom atau molekul. Contoh komposit jenis ini adalah ban kendaraan. Partikel karbon merupakan komponen penguat, sedangkan karet merupakan komponen matriks (Callister, 2007).

Bahan komposit serat (*fiber composite*) terdiri atas serat-serat yang diikat oleh matriks seperti pada Gambar 2.3. Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Karena itu bahan komposit serat sangat kuat dan kaku apabila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah apabila dibebani dalam arah tegak lurus serat (Hadi, 2001).



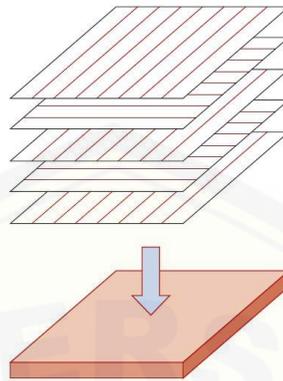
Gambar 2.3 Komposit serat (Sumber : Nayiroh, 2013)

Bahan komposit struktural (*structure composites*) dibentuk oleh penguat yang memiliki bentuk lembaran-lembaran seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Berdasarkan struktur, komposit ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu struktur *laminata* dan struktur *sandwich*.



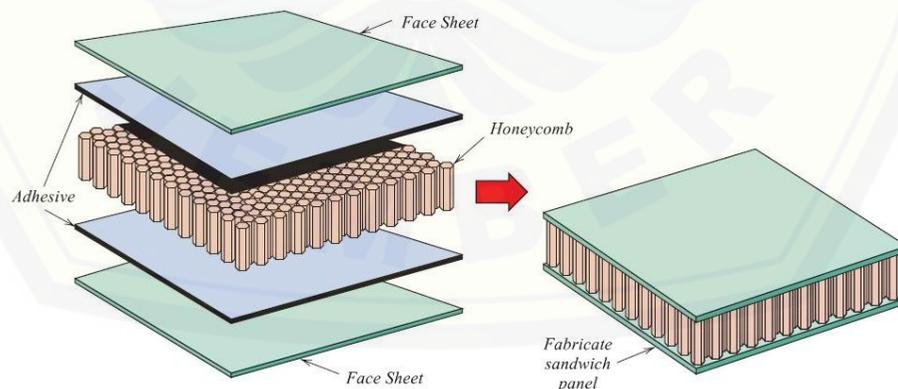
Gambar 2.4 Komposit struktural (Sumber : Nayiroh, 2013)

*Laminata* adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur pada komposit. Sebagai elemen sebuah struktur, *laminata* yang terdiri atas berbagai macam variasi arah lamina lebih sering digunakan karena memiliki sifat yang lebih menguntungkan (lihat Gambar 2.5) (Rambe, 2011).



Gambar 2.5 Komposit *laminat* (Sumber : Callister, 2007)

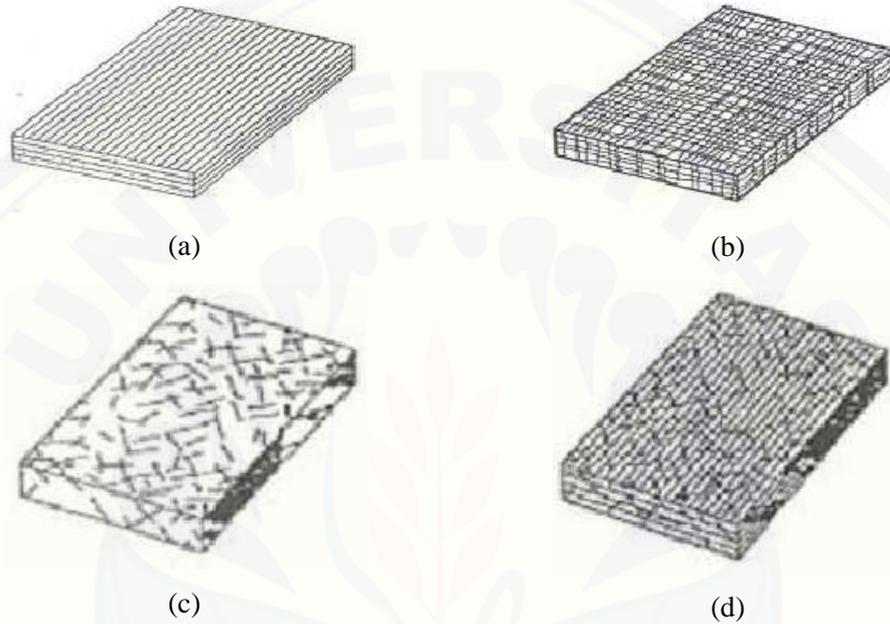
Sedangkan struktur *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri atas *flat composite* (*metal sheet*) sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (pada Gambar 2.6). Inti yang biasa digunakan adalah seperti *polyuretan* (PU), *polyvinyl chloride* (PVC) dan *honeycomb*. Komposit *sandwich* disintesis dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Nayiroh, 2013).



Gambar 2.6 Komposit *sandwich* (Sumber : Callister, 2007)

### 2.3 Komposit Serat

Ada beberapa tipe komposit serat berdasarkan susunan dan panjang serat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



(a) *Continuous fiber composite*; (b) *Woven fiber composite*; (c) *Chopped fiber composite*; (d) *Hybrid fiber composite*

Gambar 2.7 Tipe serat pada komposit (Sumber : Gibson, 1994)

#### a. *Continuous Fiber Composite (uni-directional)*

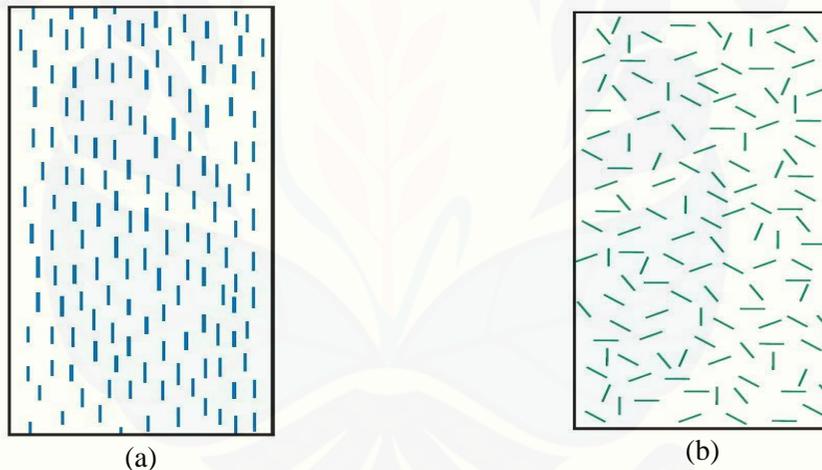
Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina di antara matriksnya. Jenis komposit ini paling sering digunakan, misalnya seperti yang dilakukan oleh Holila (2012) yang menggunakan serat manila dan Agustin (2014) yang menggunakan serat ampas tebu. Komposit tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya (Rambe, 2011).

b. *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah (Agustin, 2014).

c. *Discontinuous Fiber Composite*

*Discontinuous fiber composite* atau *chopped fiber composite* adalah tipe komposit dengan serat pendek. Menurut Callister (2007), *discontinuous fiber composite* dibedakan menjadi *aligned discontinuous fiber* (Gambar 2.8a) dan *randomly oriented fiber composite* (Gambar 2.8b).



Gambar 2.8 Tipe serat *discontinuous fiber composite*. (a) *Aligned discontinuous fiber*; (b) *Randomly oriented fiber composite* (Sumber : Callister, 2007)

d. *Hybrid Fiber Composite*

*Hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya (Holila, 2012).

## 2.4 Serat Ampas Tebu

Tebu (*Saccharum officinarum*) merupakan salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam di daerah yang memiliki iklim tropis. Tebu memiliki batang lurus dan beruas-ruas yang dibatasi dengan buku-buku. Pada setiap buku terdapat mata tunas. Batang tanaman tebu berasal dari mata tunas yang berada di bawah tanah yang tumbuh keluar dan berkembang membentuk rumpun. Diameter batang antara 3-5 cm dengan tinggi batang antara 2-5 m dan tidak bercabang (Indrawanto *et al.*, 2010).

Pada tahun 2013, perkebunan tebu di Indonesia menempati luas area 469 ribu hektar dengan produktifitas mencapai 2,5 juta ton per tahun (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2013). Tebu dari perkebunan ini selanjutnya dikirim ke pabrik-pabrik gula untuk proses penggilingan. Menurut Siregar (2010), setiap satu pabrik menghasilkan ampas tebu (*bagasse*) sekitar 32% dari berat tebu yang digiling. Sebanyak 60% dari ampas tebu tersebut dimanfaatkan sebagai bahan bakar penggilingan tebu oleh pabrik gula, bahan baku kertas, bahan baku kanvas rem, industri jamur dan lain-lain. Sedangkan 40% ampas tebu lainnya belum dimanfaatkan secara maksimal. Oleh karena itu, keberadaan ampas tebu di Indonesia cukup melimpah (Rahman dan Kamiel, 2011).

Serat ampas tebu tidak dapat larut dalam air dan sebagian besar mengandung senyawa lignoselulosa. Senyawa lignoselulosa terdiri atas tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Hermiati *et al.*, 2010). Menurut Samsuri *et al.* (2007) kandungan selulosa pada serat ampas tebu sebesar 52,7%, hemiselulosa 20,0% dan lignin sebesar 24,2%. Komponen penyusun serat ampas tebu yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah selulosa. Sedangkan hemiselulosa dan lignin diupayakan hilang dengan cara merendam serat ampas tebu ke dalam larutan basa alkali (alkalisasi).

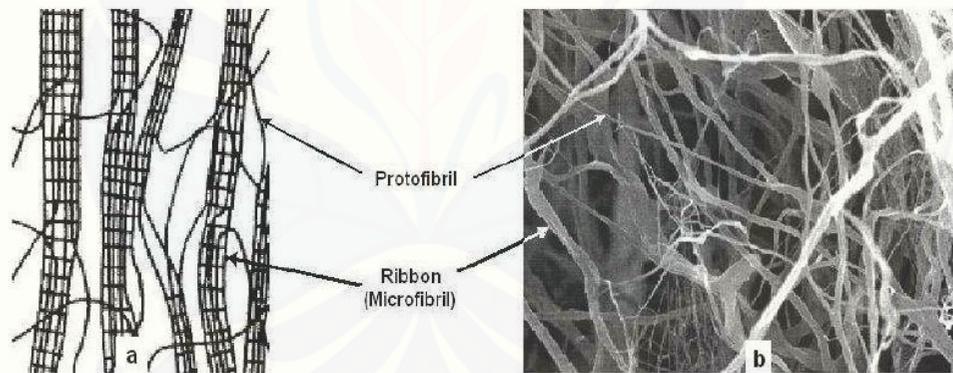
## 2.5 Matriks

Matriks diartikan sebagai bahan pengikat antara serat dan partikel namun tidak terjadi reaksi kimia dengan penguat (Smallman dan Bishop, 2000). Matriks sebagai pengisi ruang komposit memiliki peran dalam mentransfer tegangan ke penguat, melindungi penguat dari lingkungan, dan menjaga permukaan penguat dari pengikisan (Kaw, 2006). Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah *nata de coco* atau selulosa bakteri.

Kata 'nata' berasal dari bahasa Spanyol yang berarti krim. *Nata* diterjemahkan ke dalam bahasa Latin sebagai 'natare' yang berarti terapung-apung. *Nata* dapat dibuat dari berbagai jenis bahan yang mengandung gula, protein dan mineral, seperti air kelapa, santan kelapa, tetes tebu, limbah cair tebu (*molasses*), sari kedelai bahkan sari buah (nanas, melon, pisang, jeruk, jambu biji, stroberi dan lain-lain) (Darmansyah, 2010). Oleh sebab itu, nama *nata* dapat bermacam-macam sesuai dengan bahan yang digunakan, seperti *nata de soya* (dari sari kedelai), *nata de mango* (dari sari buah mangga), *nata de pinna* (dari sari buah nanas), *nata de coco* (dari air kelapa) (Ratna, 2003).

Bibit *nata* adalah bakteri *Acetobacter xylinum* yang dapat membentuk serat *nata* jika ditumbuhkan dalam air kelapa yang sudah diperkaya dengan karbon dan nitrogen melalui proses yang terkontrol. Dalam kondisi demikian, bakteri tersebut akan menghasilkan enzim yang dapat menyusun zat gula menjadi ribuan rantai serat atau selulosa. Dari jutaan renik yang tumbuh pada air kelapa tersebut, akan dihasilkan jutaan lembar benang-benang selulosa yang akhirnya nampak padat berwarna putih hingga transparan, yang disebut sebagai *nata* atau selulosa bakteri (Suryanegara, 2008).

Gugus fungsional dari rantai selulosa bakteri atau serat *nata de coco* adalah gugus *hydroxyl*. Gugus  $-OH$  ini dapat berinteraksi satu sama lain dengan gugus  $-O$ ,  $-N$ , dan  $-S$ , membentuk ikatan hidrogen. Ikatan gugus  $-H$  juga terjadi antara gugus  $-OH$  selulosa dan air. Gugus  $-OH$  menyebabkan permukaan selulosa menjadi bersifat *hydrophilic* (dapat larut dalam air). Struktur rantai selulosa distabilkan oleh ikatan hidrogen yang kuat di sepanjang rantai. *Protofibril* selulosa bakteri saling mengikat seperti pita membentuk *microfibril* yang memiliki diameter 20-50 nm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Pita tersebut memiliki ketebalan 3-4 nm, lebar  $\sim 80$  nm dan panjang 1-9  $\mu m$ . Pita yang sangat baik dari selulosa bakteri membentuk struktur jaringan yang padat. Struktur dari *protofibril* inilah yang membuat sifat dari serat *nata de coco* memiliki kekuatan tarik yang tinggi (Darmansyah, 2010).



Gambar 2.9 Struktur selulosa bakteri. (a) Model skematik dari *mikrofibril* selulosa dan *ribbon*; (b) Struktur jaringan dari selulosa bakteri dalam larutan air (Sumber : Darmansyah, 2010)

## 2.6 NaOH

Natrium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida, merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air (*hydrophilic*) dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori Arrhenius, basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  dan ion positif (Takeuchi, 2006). Sifat - sifat larutan basa antara lain memiliki pH lebih dari 7, merubah warna lakmus merah menjadi biru, rasanya pahit, dapat menghantarkan listrik dan menetralkan asam (Bishop, 2011). Selain itu, larutan basa juga memiliki tekstur yang licin apabila terkena kulit. Hal ini disebabkan oleh korosif lemak pada permukaan kulit. Sifat licin terhadap kulit ini disebut sifat kaustik basa (Poulsen, 2010).

Alkalisasi pada serat dilakukan dengan cara merendam serat ke dalam basa alkali. Alkalisasi pada serat alam adalah metode yang telah digunakan untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi. Hal ini karena alkalisasi menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka yaitu hemiselulosa, lignin dan pektin. Dengan berkurangnya hemiselulosa, lignin dan pektin, maka ikatan antara serat dan matriks akan semakin baik, sehingga kekuatan antar muka pun akan meningkat. Selain itu, pengurangan hemiselulosa, lignin dan pektin, akan meningkatkan kekasaran permukaan serat yang menghasilkan *mechanical interlocking* (sifat mekanis ikatan) yang lebih baik dengan matriks (Maryanti *et al.*, 2011). Permukaan bahan komposit yang kasar disebabkan oleh adanya gaya adhesi yaitu gaya tarik-menarik antar molekul di antara serat dan matriks (Narulita, 2011). Semakin kuat gaya adhesi antara serat dan matriks akan membuat beban tarik yang diterima bahan komposit didistribusikan secara merata kepada serat dan matriks. Sehingga mengakibatkan kemampuan bahan komposit untuk menahan gaya tarik semakin besar (Holila, 2012).

## 2.7 Kekuatan Tarik Komposit

Kekuatan tarik adalah kemampuan bahan untuk menahan beban tarikan yang diberikan pada bahan tersebut tanpa mengalami patahan lokal (Callister, 2007). Metode yang digunakan untuk menguji kekuatan bahan, dengan cara memberikan beban tarikan yang berlawanan arah, disebut uji tarik. Hasil uji tarik dapat digunakan untuk melengkapi informasi dasar kekuatan bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Salindeho *et al.*, 2013).

Pengujian tarik bersifat merusak karena gaya tarikan yang diberikan kepada spesimen (bahan uji) dilakukan secara terus menerus sampai spesimen putus (lihat Gambar 2.10). Pada saat spesimen diberi beban tarik sebesar  $P$  (N) maka spesimen akan mengalami pertambahan panjang  $\Delta l$  (m) dan bagian tengah spesimen merupakan bagian yang menerima tegangan  $\sigma$  (N/m<sup>2</sup>). Hubungan ini dapat ditunjukkan oleh persamaan berikut (Young dan Freedman, 2002) :

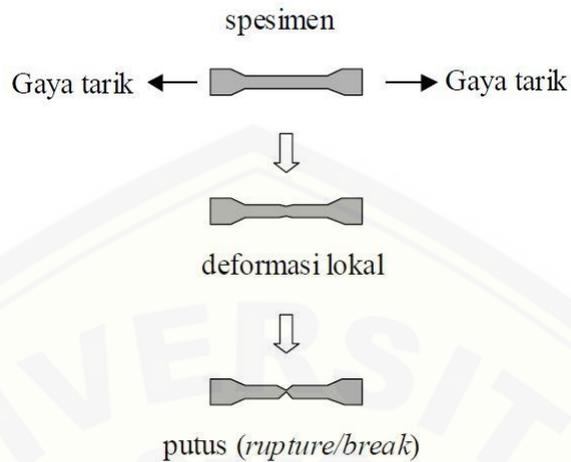
$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

dimana,

$\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)

$P$  = Beban tarik (N)

$A_0$  = Luas Penampang awal (m<sup>2</sup>)



Gambar 2.10 Proses uji tarik (Sumber : Sastranegara, 2009)

Regangan adalah perbandingan pertambahan panjang (*gauge length*) spesimen terhadap panjang awal spesimen. Menentukan regangan spesimen dapat ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

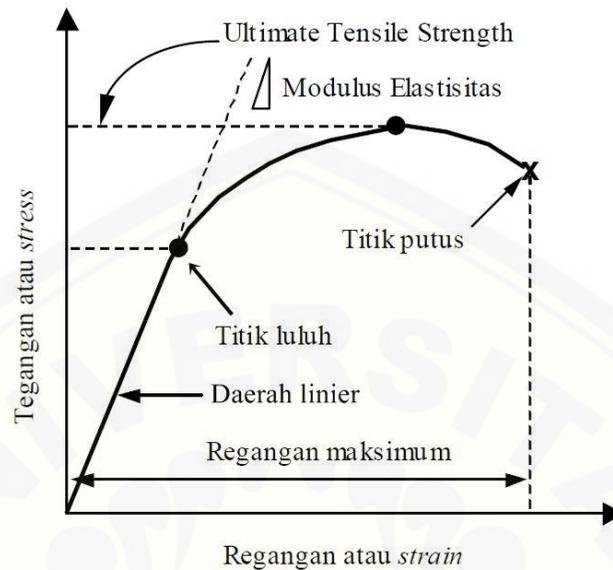
dimana,

$\varepsilon$  = Regangan (%)

$l$  = Panjang setelah dibebani (m)

$l_0$  = Panjang awal (m)

Hubungan antara tegangan dan regangan spesimen ditunjukkan pada Gambar 2.11. Kurva di bawah (Gambar 2.11) menunjukkan beberapa sifat bahan hasil uji tarik, antara lain tegangan, regangan, daerah linier, titik luluh, modulus elastisitas ( $E$ ), serta *ultimate tensile strength* ( $UTS$ ).

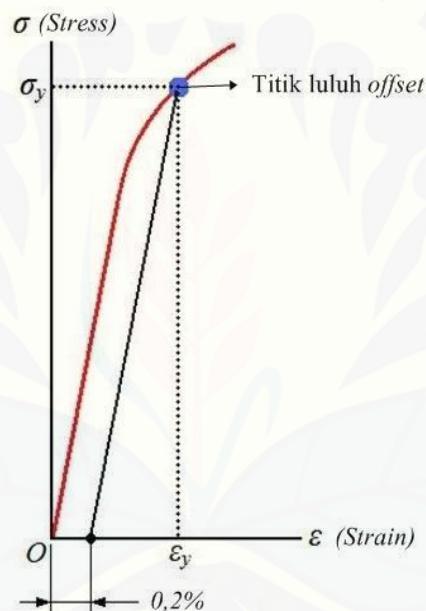


Gambar 2.11 Kurva tegangan-regangan (Sumber : Sastranegara, 2009)

Daerah linier adalah daerah hubungan antara gaya tarikan yang diberikan terhadap bahan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang dengan gaya tarikan mengikuti aturan Hooke yaitu rasio tegangan  $\sigma$  dan regangan  $\varepsilon$  adalah konstan.

Titik luluh adalah sebuah titik yang menunjukkan batas perilaku elastis bahan sebelum terjadi perubahan permanen (plastis) pada bahan. Apabila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik ini, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula). Akan tetapi, apabila bahan ditarik sampai melewati titik ini, hukum Hooke tidak lagi berlaku karena terdapat perubahan permanen pada bahan (Sastranegara, 2009).

Apabila dari uji tarik suatu bahan tidak memiliki batas yang jelas antara perubahan daerah elastis ke daerah plastis maka dapat dilakukan dengan menggunakan metode *offset*. Metode ini dilakukan dengan cara menarik garis lurus yang sejajar dengan garis miring pada daerah linier (elastis) dengan jarak 0,2% dari regangan (*strain*). Titik perpotongan garis tersebut dengan grafik *stress-strain* ini yang disebut titik luluh *offset*. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 (Porwanto, 2011).



Gambar 2.12 Penentuan titik luluh dengan metode *offset*  
(Sumber : Callister, 2007)

Modulus elastisitas ( $E$ ) merupakan gradien kurva dalam daerah linier pada Gambar 2.11. Sehingga modulus elastisitas dapat dinyatakan sebagai tegangan per satuan regangan. Nilai modulus elastisitas menunjukkan sifat kekakuan suatu bahan. Semakin besar nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin besar pula nilai tegangan yang diperlukan untuk memperoleh nilai regangan tertentu. Satuan modulus elastisitas ( $E$ ) sama dengan tegangan ( $\sigma$ ) karena nilai regangan ( $\epsilon$ ) hanya

berupa nilai nisbi yang dapat dinyatakan dalam persen dan tidak memiliki satuan (Zemansky, 1994). Modulus elastisitas disebut juga modulus Young.

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \quad (2.3)$$

Kekuatan tarik (*UTS*) adalah tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh bahan dan menandakan akhir dari pertambahan panjang serta awal dari patahan lokal (Sever *et al.*, 2011). Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.13. Nilai kekuatan tarik maksimum ditentukan oleh beban maksimum dibagi luas penampang :

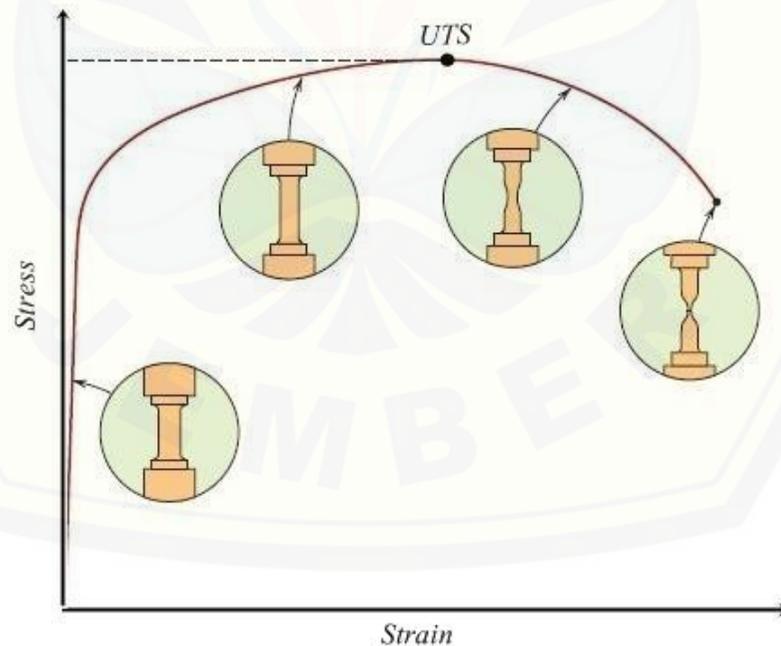
$$UTS = \sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad (2.4)$$

dimana,

$UTS$  = Kekuatan tarik ( $N/m^2$ )

$P_{maks}$  = Beban maksimum (N)

$A_0$  = Luas penampang awal ( $m^2$ )



Gambar 2.13 *Ultimate tensile strength (UTS)* (Sumber : Callister, 2007)

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa tempat berbeda, yaitu :

1. Pembuatan bahan komposit dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
2. Pengujian kekuatan tarik bahan komposit dilakukan di Laboratorium Beton dan Bangunan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
3. Pengujian morfologi bahan komposit dilakukan di Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2014 sampai dengan Agustus 2016.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

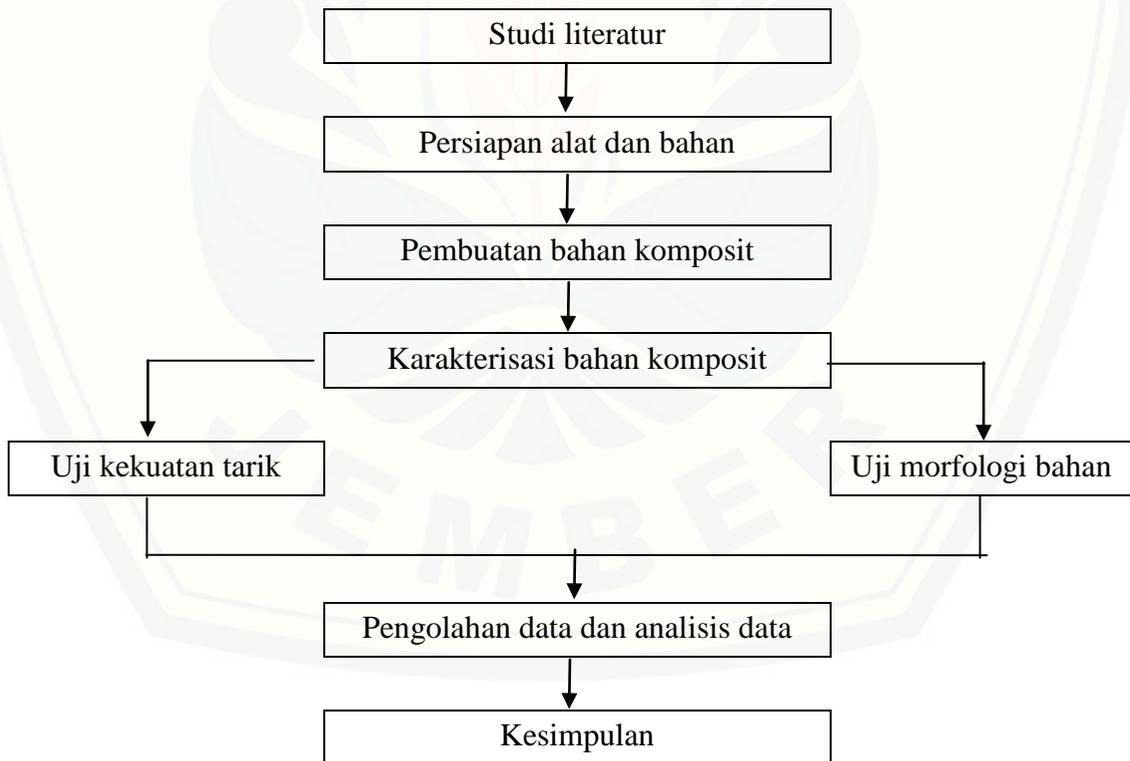
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat cetak bahan komposit, alat cetak serat ampas tebu ukuran  $(10 \times 10) \text{ cm}^2$  dan ukuran  $(10 \times 1) \text{ cm}^2$ , neraca digital, penggaris, gelas ukur, *cutter*, gunting kertas, *blender*, *mixer*, jangka sorong, *hanger*, termometer *infrared*, *stopwatch*, *hot press machine*, *pH tester*, saringan, gunting seng, paku, palu, mesin uji tarik merk Shimadzu Autograph AG-X 5 KN, dan mikroskop optik Carton dengan pembesaran 4 kali dan 40 kali.

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Serat ampas tebu
- b) Selulosa bakteri (*nata de coco*)
- c) NaOH
- d) Kertas teflon
- e) Air bersih (ph 6,9-7,1)
- f) Lem besi merk Dextone Hitam-Putih
- g) Seng galvalum

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.4 Prosedur Pembuatan Bahan Komposit

#### 3.4.1 Pengolahan Serat Ampas Tebu

Pengolahan serat ampas tebu dilakukan menurut tahapan berikut :

1. Serat ampas tebu disaring sebanyak 3 kali. Saringan pertama untuk memisahkan serat ampas tebu dengan debu ampas. Saringan kedua untuk memisahkan serat ampas tebu yang relatif panjang dengan pendek ( $\leq 5$  cm). Saringan terakhir dilakukan untuk memisahkan serat ampas tebu pendek dengan serbuk ampas. Sehingga diperoleh panjang serat ampas tebu bervariasi mulai dari 0,3 cm sampai dengan 5 cm.
2. Serat ampas tebu direndam di dalam larutan alkali selama 1 jam dengan variasi konsentrasi NaOH sebesar 5% (w/v), 10% (w/v) dan 15% (w/v). Setiap 12 menit, rendaman ampas tebu diaduk selama  $\pm 3$  menit.  
Tiga variasi konsentrasi alkali ini dipilih karena mempertimbangkan data yang diperoleh dari studi literatur dan penelitian lain yang telah dilakukan sebelumnya. Sehingga, tiga variasi ini diduga merupakan variasi yang potensial untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik maksimal dari serat ampas tebu. Disisi lain, pengadukan dilakukan setiap 12 menit bertujuan meratakan rendaman larutan alkali ke semua bagian serat ampas tebu.
3. Serat ampas tebu dicuci dan disaring menggunakan air bersih (pH 6,9-7,1).
4. Serat ampas tebu kemudian ditambah air bersih secukupnya lalu di-*blender* selama  $\pm 15$  menit. Setiap 5 menit, air yang digunakan untuk *blender* diganti dengan air bersih yang baru.

Proses *blending* bertujuan menghilangkan sisa-sisa larutan alkali yang menempel pada serat ampas tebu. Namun, akibat lain yang ditimbulkan adalah serat ampas tebu menjadi semakin halus. Sehingga panjang serat ampas dalam penelitian ini tidak ditinjau kembali. Disisi lain, penggantian air bersih ini bertujuan menggantikan air yang telah tercampur dengan sisa-sisa larutan alkali.

5. Setelah diperoleh serat ampas tebu yang relatif halus, kemudian tiriskan serat ampas tebu ke dalam cetakan dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 10 cm dan tinggi 0,4 cm (Gambar 3.2a).
6. Serat ampas tebu yang sudah dicetak dikeringkan melalui proses penjemuran di terik matahari selama  $\pm 4$  jam (Gambar 3.2b).



Gambar 3.2 Cetakan serat ampas tebu dan hasil cetakan. (a) Alat cetak; (b) Serat ampas tebu setelah dicetak

7. Serat ampas tebu dipotong dengan ukuran  $(10 \times 1) \text{ cm}^2$ .
8. Serat ampas tebu ditimbang sesuai massa yang diinginkan.  
Apabila massa yang diperoleh tidak sesuai, maka dilakukan proses cetak ulang menurut tahapan berikut :
  1. Serat ampas tebu yang telah dipotong ditambah potongan serat ampas tebu lain kemudian ditimbang sampai mencapai massa yang diinginkan lalu ditambah sedikit potongan serat ampas tebu (massa =  $\pm 0,1$  gram) sebagai massa yang akan hilang selama proses cetak ulang.
  2. Potongan serat ampas tebu direndam dalam air bersih 100 ml selama  $\pm 12$  jam untuk melonggarkan ikatan antar serat.

3. Rendaman serat ampas tebu di-*mixer* selama  $\pm 5$  menit. Mata *mixer* yang digunakan berbentuk tabung supaya tidak memotong panjang serat ampas tebu sebelumnya.
4. Tiriskan serat ampas tebu ke dalam cetakan dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 1 cm dan tinggi 0,5 cm (Gambar 3.3).
5. Serat ampas tebu yang telah dicetak dikeringkan melalui proses penjemuran di terik matahari selama  $\pm 4$  jam.



Gambar 3.3 Alat cetak ulang serat ampas tebu

#### 3.4.2 Pengolahan Matriks Selulosa Bakteri

Pengolahan matriks selulosa bakteri dilakukan menurut tahapan berikut :

1. Lembaran matriks selulosa bakteri dicuci menggunakan air bersih yang mengalir kemudian digantung menggunakan *hanger* selama semalam ( $\pm 12$  jam) untuk menghilangkan kandungan air.
2. Lembaran matriks selulosa bakteri dijemur di terik matahari dari pagi sampai sore hari. Penjemuran ini bertujuan mempercepat penguapan kandungan air.
3. Pagi hari selanjutnya, sebelum dijemur, lembaran matriks selulosa bakteri dicuci kembali menggunakan air bersih yang mengalir untuk menghilangkan kerak (jamur) yang timbul dipermukaan lembaran matriks selulosa bakteri dan juga untuk menghilangkan kotoran (telur serangga) supaya tidak timbul

belatung. Tahapan ini dilakukan berulang sampai diperoleh lembaran matriks selulosa bakteri yang hampir kering.

4. Lembaran matriks selulosa bakteri yang hampir kering direndam di dalam air bersih kemudian digosok-gosok selama  $\pm 5$  menit untuk menghilangkan sisa-sisa kandungan amonia yang masih tertinggal di dalam lembaran matriks selulosa bakteri. Kemudian dijemur sampai benar-benar kering.

Kandungan amonia yang terjebak dalam lembaran matriks selulosa bakteri diupayakan hilang karena mencegah diperolehnya lembaran matriks selulosa bakteri yang benar-benar kering.

5. Lembaran matriks selulosa bakteri kering dilembabkan menggunakan semprotan air bersih kemudian dibentangkan supaya diperoleh panjang dan lebar maksimal lalu dipotong dengan ukuran  $(10 \times 1) \text{ cm}^2$ .
6. Potongan matriks selulosa bakteri dijemur kembali di terik matahari supaya diperoleh massa murni kandungan selulosa bakteri.
7. Matriks selulosa bakteri ditimbang sesuai massa yang diinginkan. Tahapan menimbang matriks selulosa bakteri dilakukan sesaat setelah proses penjemuran untuk menghindari terjadinya penyerapan uap air oleh matriks selulosa bakteri.

#### 3.4.3 Penentuan Komposisi Serat dan Matriks

Serat ampas tebu yang direndam NaOH dengan konsentrasi sebesar 5% (w/v) disebut sampel A. Kemudian serat ampas tebu yang direndam NaOH dengan konsentrasi sebesar 10% (w/v) disebut sampel B. Selanjutnya serat ampas tebu yang direndam NaOH dengan konsentrasi sebesar 15% (w/v) disebut sampel C.

Penentuan komposisi dilakukan berdasarkan perbandingan/ fraksi massa antara serat dan matriks. Komposisi serat dan matriks dalam penelitian ini adalah sampel A1 (10% : 90%), sampel A2 (20% : 80%), sampel A3 (30% : 70%). Komposisi yang sama juga dilakukan pada sampel B, dan sampel C.

### 3.4.4 Pembuatan Bahan Komposit

1. Menyiapkan serat ampas tebu (Gambar 3.4a) dan matriks selulosa bakteri (Gambar 3.4b).



(a)



(b)

Gambar 3.4 Bahan komposit. (a) Serat ampas tebu; (b) Matriks selulosa bakteri

2. Merendam matriks selulosa bakteri ke dalam air bersih selama 2 jam supaya matriks selulosa bakteri dapat saling mengikat, baik dengan matriks selulosa bakteri maupun dengan serat ampas tebu.

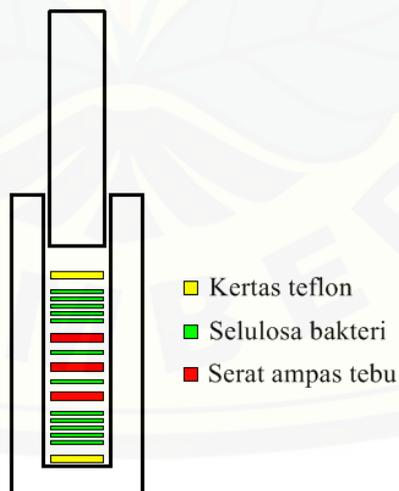
Waktu 2 jam dipilih karena selama percobaan awal didapatkan bahwa apabila kurang dari waktu tersebut, maka matriks selulosa bakteri masih dalam bentuk lembaran kering atau dapat saling mengikat namun selang beberapa saat matriks selulosa bakteri akan terlepas.

3. Menyiapkan alat cetak berukuran  $(10 \times 1 \times 8) \text{ cm}^3$  yang telah disisipi kertas teflon untuk memudahkan pengambilan bahan komposit hasil sintesis (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Cetakan bahan komposit

4. Menempatkan matriks selulosa bakteri pada bagian bawah kemudian serat ampas tebu pada bagian tengah dan matriks selulosa bakteri pada bagian atas dengan perbandingan massa yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap serat ampas tebu disisipi dengan matriks selulosa bakteri seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6. Jenis bahan komposit yang disintesis dalam penelitian ini termasuk jenis bahan komposit tipe lamina. Oleh karena bahan penyusun yang digunakan adalah berbentuk lembaran.



Gambar 3.6 Susunan bahan komposit

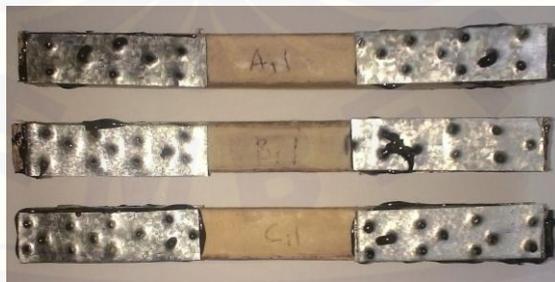
5. Bahan komposit dicetak menggunakan *hot press machine* pada suhu 170 °C selama 5 menit.

Suhu 170 °C ini digunakan karena selain merupakan derajat suhu yang dapat mencairkan matriks selulosa bakteri sehingga dapat berikatan dengan serat ampas tebu, juga sebagai suhu yang cukup tinggi untuk menguapkan kandungan air yang ada pada matriks selulosa bakteri.

6. Cetakan dikeluarkan dari alat *hot press machine* kemudian didinginkan.
7. Bahan komposit dikeluarkan dari cetakan kemudian dikeringkan dari sisa-sisa kandungan air yang terjebak di dalam bahan komposit dengan cara diangin-anginkan sampai tidak lagi terjadi penurunan massa bahan komposit.

Selama proses pengeringan ini, bahan komposit hasil sintesis diberi beban secukupnya untuk menghindari terjadinya pembengkokan bahan. Namun, beban yang digunakan tidak sampai merubah dimensi bahan.

8. Mengulangi langkah 1-7 seperti di atas untuk mendapatkan bahan komposit (spesimen uji) dengan perbandingan konsentrasi massa lainnya.
9. Spesimen uji diberi penguat seng galvalum dengan lem besi merk Dextone Hitam-Putih pada bagian samping untuk menghindari terjadinya patah dini di bagian yang dijepit pada saat diuji tarik (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Spesimen uji

### 3.5 Karakterisasi Bahan Komposit

#### 3.5.1 Uji Tarik

Pengambilan data dilakukan dengan pengujian tarik menggunakan mesin uji merk Shimadzu Autograph AG-X 5 KN (Gambar 3.8). Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen uji.
2. Mengukur dimensi spesimen uji (panjang, lebar dan tebal).
3. Memasukkan data dimensi spesimen uji pada program uji tarik di komputer (Trapezium X).
4. Meletakkan spesimen uji pada kedua penjepit dan menguncinya.
5. Mengeset skala pembebanan & skala pertambahan panjang.
6. Menarik spesimen uji tersebut sampai patah.
7. Melepaskan spesimen uji dari penjepit.
8. Mengulangi langkah 4-7 untuk masing-masing spesimen uji baik sampel A, B, maupun C.



Gambar 3.8 Mesin uji tarik merk Shimadzu Autograph AG-X 5 KN

### 3.5.2 Uji Morfologi

Pengujian morfologi bahan komposit dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur permukaan luar bahan komposit. Struktur permukaan spesimen uji akan diamati setelah dilakukan uji tarik. Hasil pengamatan akan menunjukkan bentuk deformasi yang terjadi dari setiap spesimen yang diuji. Uji morfologi ini menggunakan mikroskop optik Carton dengan pembesaran 4 kali dan 40 kali. Pembesaran 4 kali digunakan untuk morfologi permukaan bentuk patahan spesimen setelah dilakukan uji tarik sedangkan pembesaran 40 kali digunakan untuk morfologi permukaan serat ampas tebu dan bahan komposit hasil sintesis.

### 3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik yang berupa pembebanan ( $P$ ) dan pertambahan panjang ( $\Delta l$ ) digunakan untuk menentukan tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Nilai tegangan dan regangan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2). Berdasarkan nilai tegangan dan regangan yang diperoleh, dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan untuk setiap sampel uji. Selanjutnya, dari setiap grafik akan ditentukan nilai modulus elastisitasnya dengan menggunakan metode *offset*. Kekuatan tarik maksimum sampel uji dihitung menggunakan persamaan (2.4) berdasarkan nilai tegangan maksimum dari grafik. Adapun uji morfologi dari sampel uji dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil uji ini akan menunjukkan struktur permukaan spesimen uji setelah dilakukan uji tarik.

## **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Telah berhasil dilakukan sintesis bahan komposit selulosa bakteri dengan penguat serat ampas tebu dengan memvariasi fraksi massa serat dan konsentrasi alkali.
2. Variasi konsentrasi alkali tidak berpengaruh banyak terhadap kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis, baik pada konsentrasi alkali 5% (sampel A), 10% (sampel B) maupun 15% (sampel C).
3. Variasi fraksi massa serat pada sampel A menurunkan nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis. Sedangkan pada sampel B dan C tidak tampak adanya pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis.
4. Variasi fraksi massa serat dan konsentrasi alkali tidak berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis.

### **5.2 Saran**

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memanfaatkan bahan komposit selulosa bakteri dengan penguat serat ampas tebu berlandaskan pada fraksi volume, temperatur, orientasi arah serat dan lama waktu perlakuan alkali. Selain itu, uji biodegradasi juga perlu dilakukan untuk melihat seberapa cepat bahan komposit berbasis bahan organik ini terdegradasi secara alami.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Ali, M. 2014. *Sifat Mekanik Bahan Komposit Selulosa Bakteri dengan Penguat Serbuk Kayu Sengon*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNEJ.
- Agustin, R. D. 2014. *Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Matrik Asam Polilaktat*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNEJ.
- Bishop, M. 2011. *An Introduction To Chemistry*. Chiral Publishing Company.
- Callister, W. D. 2007. *Materials Science and Engineering : an Introduction 7th Edition*. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Campbell, F. C. 2010. *Structural Composite Materials*. ASM International.
- Cao, Y., Sakamoto, S., dan Goda, K. 2007. Effects of Heat and Alkali Treatments on Mechanical Properties of Kenaf Fibers. *The 16th International Congress on Composite Materials*.
- Chiciudean, T. G. 2011. *Production Methods and Characteristics of Bacterial Cellulose Composites*. Romania : University of Bucharest.
- Darmansyah. 2010. *Evaluasi Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material Komposit Serat/Resin Berbahan Dasar Serat Nata De Coco dengan Penambahan Nanofiller*. Depok : Fakultas Teknik UI.
- Diharjo, K. 2006. Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. **8** (1) : 8-13.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2013. *Laporan Kinerja Tahunan*. Kementerian Pertanian.

- Elenga, Djemia, Tingaud, Chauveau, Maniongui, dan Dirras. 2013. Effects of Alkali Treatment on the Microstructure, Composition and Properties of the Raffia Textilis Fiber. *BioResources* **8** (2) : 2934-2949.
- Farid. 2014. *Pengaruh Persentase Massa Serat terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polipropilen dengan Penguat Serat Ampas Tebu pada Proses Injection Moulding*. Jember : Fakultas Teknik UNEJ.
- Gibson, F. R. 1994. *Principles of Composite Material Mechanic, International Edition*. New York : McGraw Hill Inc.
- Hadi, B. K. 2001. *Mekanika Struktur Komposit*. Bandung : Departemen Pendidikan Nasional.
- Harris, B. 1999. *Engineering Composite Materials*. London : The Institute of Materials.
- Haryati, M. 2014. *Sintesis dan Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Komposit Ramah Lingkungan dari Selulosa Bakteri dan Serat Bambu*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNEJ.
- Hermiati, Mangunwidjaja, Sunarti, Suparno, dan Prasetya. 2010. Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol. *J. Litbang Pertanian*, **29** (4).
- Hoa, S. V. 2009. *Principles of the Manufacturing of Composite Materials*. Pennsylvania : DEStech Publication Inc.
- Holila, H. 2012. *Pengaruh Perlakuan Permukaan Serat Manila terhadap Sifat Mekanik Bahan Komposit dengan Matriks Resin Polyester*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNEJ.
- Indrawanto, Purwono, Siswanto, Syakir, dan Rumini. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen Tebu*. Jakarta : ESKA Media.
- Kabir, Wang, Aravinthan, Cardona, dan Lau. 2011. *Effects of Natural Fiber Surface on Composite Properties*. Toowoomba : University of Southern Queensland.

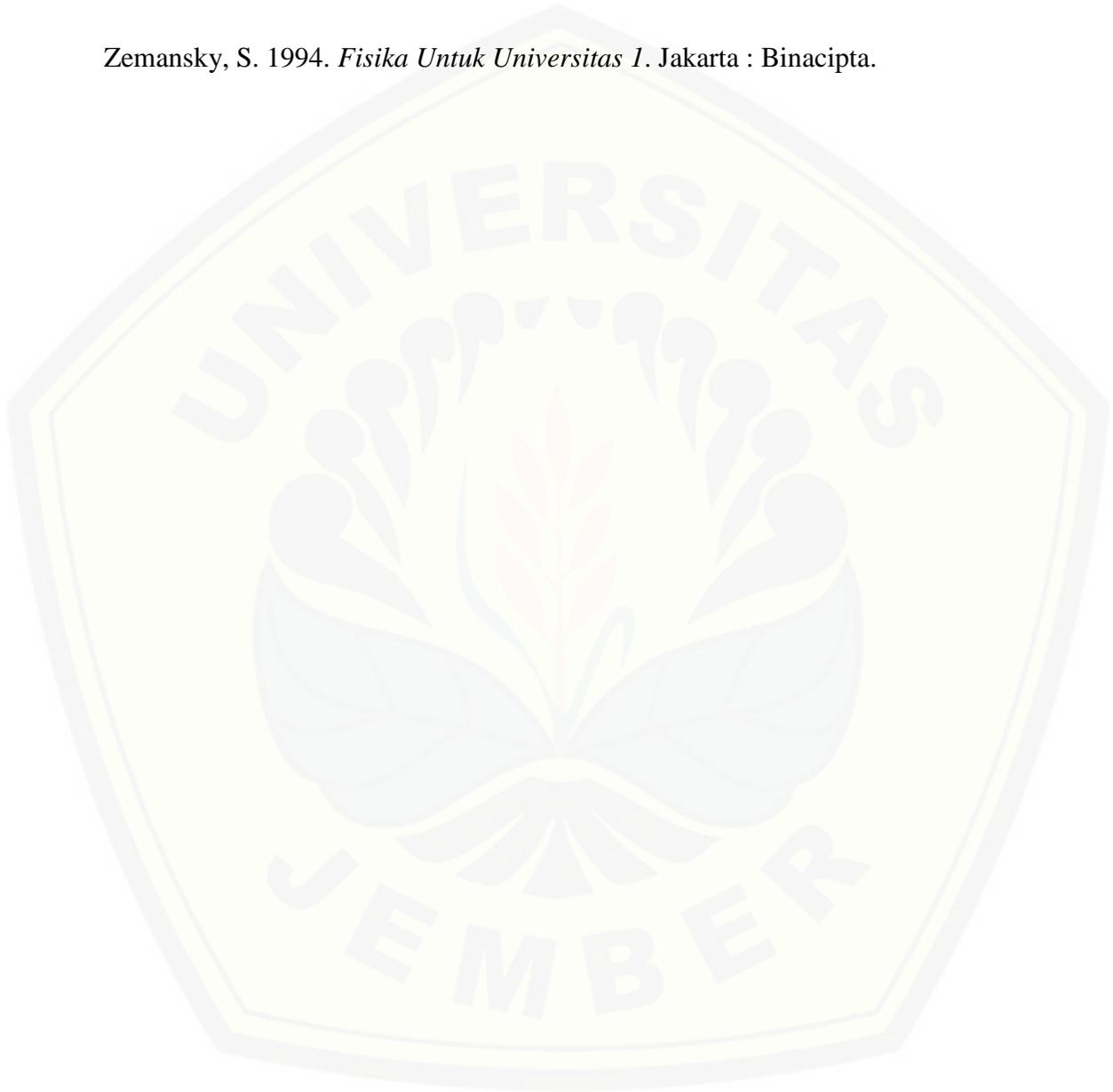
- Kaw, A. K. 2006. *Mechanics of Composite Materials*. New York : Taylor & Francis Group.
- Kutz, M. 2006. *Mechanical Engineers Handbook : Materials and Mechanical Design, Volume 1, Third Edition*. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Liu, Mohanty, Askeland, Drzal dan Misra. 2004. Influence of Fiber Surface Treatment on Properties of Indian Grass Fiber Reinforced Soy Protein Based Biocomposites. *Polymer*, **45** (22) : 7589-7596.
- Malau, K. M. 2009. *Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Bahan Baku dalam Pembuatan Papan Partikel*. Medan : Fakultas Pertanian USU.
- Maryanti, B., Sonief, A. A., dan Wahyudi, S. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. **2** (2): 123-129.
- Narulita, N. 2011. *Sifat Mekanik dan Biodegradabilitas Bahan Komposit dengan Matriks Modifikasi Serbuk Kedelai dan Penguat Serat Ampas Tahu*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNEJ.
- Nayiroh, N. 2013. *Teknologi Material Komposit*. <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2013/3/Material-Komposit.pdf>. [27 Februari 2015].
- Oladele, I. O. 2014. Effect of Bagasse Fiber Reinforcement on the Mechanical Properties of Polyester Composite. *The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago*, **42** (1) : 12-15.
- Ozawa, Y. dan Kikuchi, T. 2007. Mechanical Characteristic of Bacterial Cellulose Composite Materials. *Proceedings of The 16th International Congress on Composite Materials*. 416-417.
- Prabowo, A. B. 2011. *Evaluasi Sifat Material Komposit Serat Nata De Coco/ Resin dengan Pemasukan Filler Nanosilika Menggunakan Metode Post Modification*. Depok : Fakultas Teknik UI.

- Porwanto, D. A. 2011. *Karakteristik Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas sebagai Alternatif Bahan Baku Industri*. Surabaya: Jurusan Teknik Fisika FTI ITS.
- Poulsen, T. 2010. *Introduction to Chemistry*. CK-12 Foundation.
- Rahman, M. B. N. dan Kamiel, B. P. 2011. Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Sifat-Sifat Tarik Komposit Diperkuat *Unidirectional* Serat Tebu dengan Matriks Poliester. *J. Ilmiah Semesta Teknik*, **14** (2) : 133-138.
- Rambe, M. S. A. 2011. *Pembuatan dan Karakterisasi Papan Partikel dari Campuran Resin Polyester dan Serat Ampas Tebu*. Medan : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam USU.
- Rana, K. G., Sukumaran, P. S., Mukherjee, C., dan Pavithran. 1997, Natural Fiber-Polymer Composites. *J. Cement and Concrete Composites*, **12** (2) :117-136.
- Ratna, S. 2003. Kajian Pembuatan Nata De Cashew dengan Variasi Konsentrasi Substrat dan Inokulum. *Journal of Biological Diversity*, **3** (2).
- Salindeho, R. D., Soukota, J., dan Poeng, R. 2013. Pemodelan Pengujian Tarik untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, Vol. **2** (2).
- Samsuri, Gozan, Mardias, Baiquni, Hermansyah, Wijanarko, Prasetya dan Nasikin. 2007. Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Etanol melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim *Xylanase*. *Makara Teknologi*, **11** (1) : 17-24.
- Sastranegara, A. 2009. *Mengenal Uji Tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam*. <http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam/>. [27 Februari 2015].
- Schwartz, M. 1984. *Composite Materials Handbook*. New York : McGraw-Hill Inc.

- Sever, N. K., Choi, C., Yang, X., dan Altan, T. 2011. Determining the Flow Stress Curve with Yield and Ultimate Tensile Strengths, part 1. *STAMPING Journal* : 12-13.
- Siregar, N. 2010. *Pemanfaatan Abu Pembakaran Ampas Tebu dan Tanah Liat pada Pembuatan Batu Bata*. Medan : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam USU.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R.J. 2000. *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material Edisi Keenam*. Jakarta : PT Gelora Aksara.
- Suryanegara, L. 2008. *Layar Monitor Fleksibel Berbahan Dasar Nata de Coco*. <http://www.beritaiptek.com>. [27 Februari 2015].
- Takeuchi, Y. 2006. *Buku Teks Pengantar Kimia*. Tokyo : Iwanami Publishing Co.
- Widihastuti. 2005. Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Proses Pemasakan Serat Daun Nanas Non Buah (*Agave*) terhadap Sifat-Sifat Fisis Serat. *Prosiding Seminar Nasional Prodi PTBB FT UNY*.
- Witono, K., Irawan, Y. S., Soenoko, R., dan Suryanto, H. 2013. Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Serat Mendong. *Jurnal Rekayasa Mesin*, **4** (3) : 227-234.
- Yoshihiro, Matsuoka, Nogami, Araki, Yamanaka, Watanabe, Takahashi, dan Honna. 1996. Electrical Property of Pyrolyzed Bacterial Cellulose and Its Intercation Effect. *J. Synthetic Mater*, **42** (1-2) : 1593-1599.
- Young, H. D. dan Freedman, T. R. 2002. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Julid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Yudo, H. dan Jatmiko, S. 2008. Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (*Bagasse*) Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Impak. *KAPAL*, **5** (2).

Yuwono, T., Rolanda, E., Widjaja, A., dan Soeprijanto. 2012. Fermentasi Hidrolisat Enzimatik Bagasse Tebu Menjadi Hidrogen. *Jurnal Teknik Pomits*, **1** (1): 1-5.

Zemansky, S. 1994. *Fisika Untuk Universitas 1*. Jakarta : Binacipta.



**LAMPIRAN A. DIMENSI BAHAN KOMPOSIT**

Tabel Dimensi bahan komposit hasil sintesis

Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	Dimensi Spesimen Uji		
			Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	100	10	5
		A1 ke 2	100	10	4,7
		A1 ke 3	100	10	5
	20 % : 80 %	A2 ke 1	100	10	5
		A2 ke 2	100	10	5
		A2 ke 3	100	10	5
	30 % : 70 %	A3 ke 1	100	10	5
		A3 ke 2	100	10	5
		A3 ke 3	100	10	5
10%	10 % : 90 %	B1 ke 1	100	10	4,7
		B1 ke 2	100	10	4,7
		B1 ke 3	100	10	4,7
	20 % : 80 %	B2 ke 1	100	10	4,7
		B2 ke 2	100	10	5
		B2 ke 3	100	10	5
	30 % : 70 %	B3 ke 1	100	10	4,7
		B3 ke 2	100	10	5
		B3 ke 3	100	10	4,7
15%	10 % : 90 %	C1 ke 1	100	10	5,4
		C1 ke 2	100	10	4,7
		C1 ke 3	100	10	4,7
	20 % : 80 %	C2 ke 1	100	10	4,7
		C2 ke 2	100	10	5
		C2 ke 3	100	10	4,7
	30 % : 70 %	C3 ke 1	100	10	4,7
		C3 ke 2	100	10	5
		C3 ke 3	100	10	4,7

**LAMPIRAN B. FRAKSI MASSA SERAT BAHAN KOMPOSIT**

Tabel Perbandingan fraksi massa serat bahan komposit hasil sintesis

Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	Massa Serat (gram)	Massa B.C. (gram)	Massa Total Awal (gram)	Rata-rata Awal *	Massa Total Akhir (gram)	Rata-rata Akhir **
5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	0,59	5,44	6,03	6,01	5,14	5,28
		A1 ke 2	0,60	5,40	6,00		5,64	
		A1 ke 3	0,66	5,34	6,00		5,07	
	20 % : 80 %	A2 ke 1	1,25	4,83	6,08	6,04	5,59	5,62
		A2 ke 2	1,24	4,79	6,03		5,77	
		A2 ke 3	1,20	4,82	6,02		5,51	
	30 % : 70 %	A3 ke 1	1,79	4,23	6,02	6,01	5,46	5,44
		A3 ke 2	1,82	4,20	6,02		5,38	
		A3 ke 3	1,79	4,19	5,98		5,49	
10%	10 % : 90 %	B1 ke 1	0,66	5,40	6,06	6,05	5,01	5,28
		B1 ke 2	0,62	5,40	6,02		5,72	
		B1 ke 3	0,64	5,44	6,08		5,10	
	20 % : 80 %	B2 ke 1	1,21	4,80	6,01	6,01	5,66	5,57
		B2 ke 2	1,20	4,79	5,99		5,61	
		B2 ke 3	1,20	4,84	6,04		5,43	
	30 % : 70 %	B3 ke 1	1,87	4,20	6,07	6,08	5,51	5,48
		B3 ke 2	1,87	4,19	6,06		5,47	
		B3 ke 3	1,86	4,24	6,10		5,46	
15%	10 % : 90 %	C1 ke 1	0,58	5,42	6,00	5,97	5,46	5,45
		C1 ke 2	0,56	5,39	5,95		5,39	
		C1 ke 3	0,56	5,39	5,95		5,51	
	20 % : 80 %	C2 ke 1	1,18	4,81	5,99	6,02	5,75	5,51
		C2 ke 2	1,20	4,79	5,99		5,65	
		C2 ke 3	1,25	4,84	6,09		5,13	
	30 % : 70 %	C3 ke 1	1,81	4,25	6,06	6,07	5,36	5,45
		C3 ke 2	1,83	4,25	6,08		5,50	
		C3 ke 3	1,84	4,22	6,06		5,48	

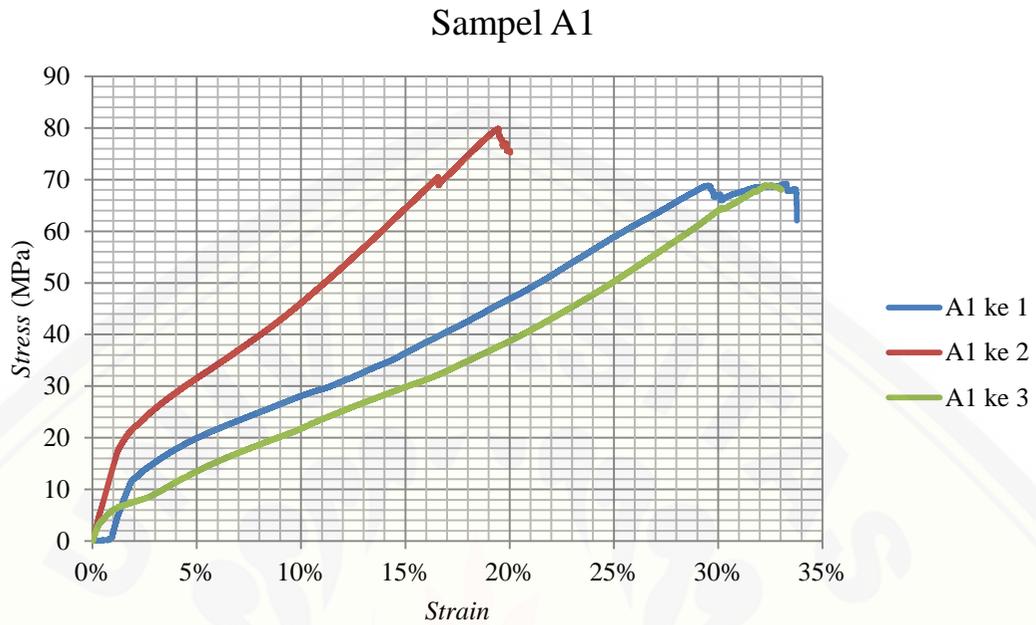
\* = Sebelum dicetak

\*\* = Setelah dicetak

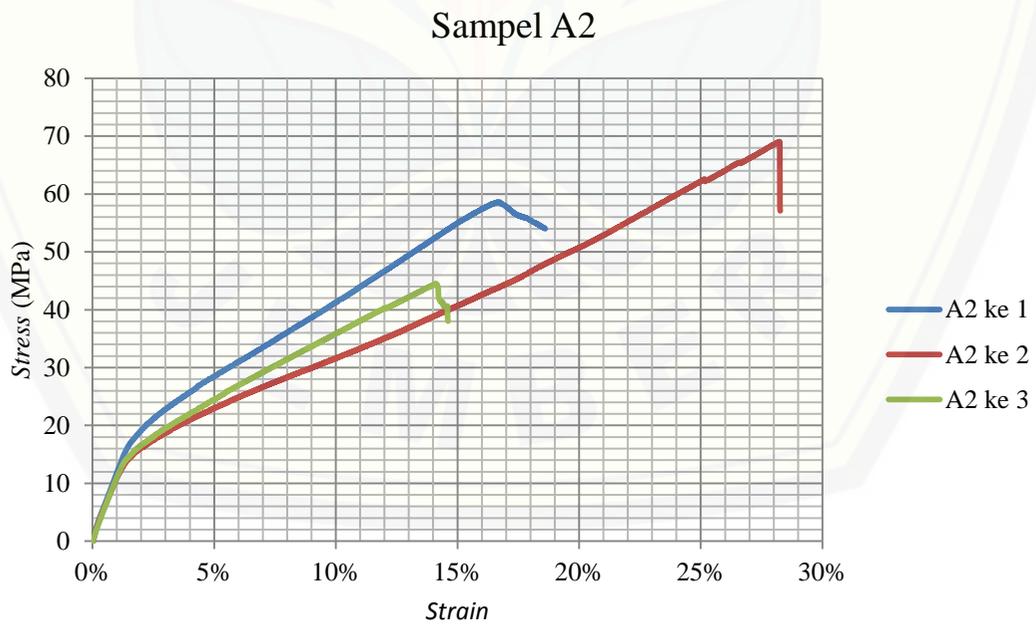
**LAMPIRAN C. KEKUATAN TARIK BAHAN KOMPOSIT**

Tabel Nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis

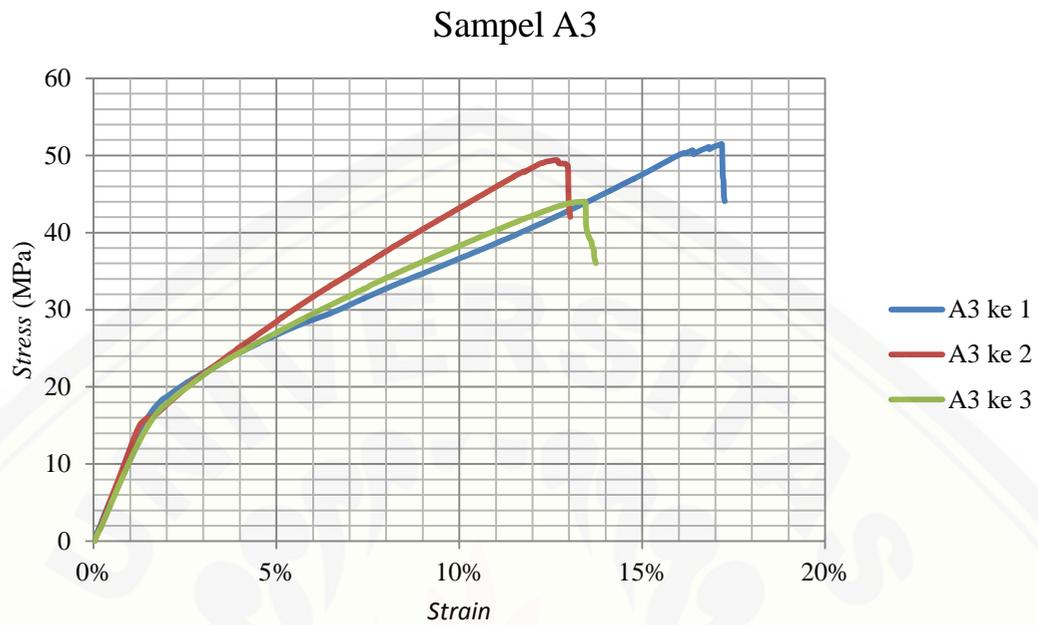
Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	UTS (MPa)	UTS rata-rata (MPa)	Standar Error
5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	69,20	72,64	3,62
		A1 ke 2	79,88		
		A1 ke 3	68,84		
	20 % : 80 %	A2 ke 1	58,60	57,38	7,11
		A2 ke 2	69,05		
		A2 ke 3	44,50		
	30 % : 70 %	A3 ke 1	51,47	48,29	2,22
		A3 ke 2	49,40		
		A3 ke 3	44,01		
10%	10 % : 90 %	B1 ke 1	70,72	63,92	7,11
		B1 ke 2	49,70		
		B1 ke 3	71,35		
	20 % : 80 %	B2 ke 1	52,54	64,43	6,39
		B2 ke 2	74,44		
		B2 ke 3	66,31		
	30 % : 70 %	B3 ke 1	60,84	59,65	4,87
		B3 ke 2	50,68		
		B3 ke 3	67,42		
15%	10 % : 90 %	C1 ke 1	57,51	68,19	6,15
		C1 ke 2	68,23		
		C1 ke 3	78,83		
	20 % : 80 %	C2 ke 1	66,92	60,68	3,30
		C2 ke 2	59,38		
		C2 ke 3	55,73		
	30 % : 70 %	C3 ke 1	57,64	60,26	3,77
		C3 ke 2	55,44		
		C3 ke 3	67,69		



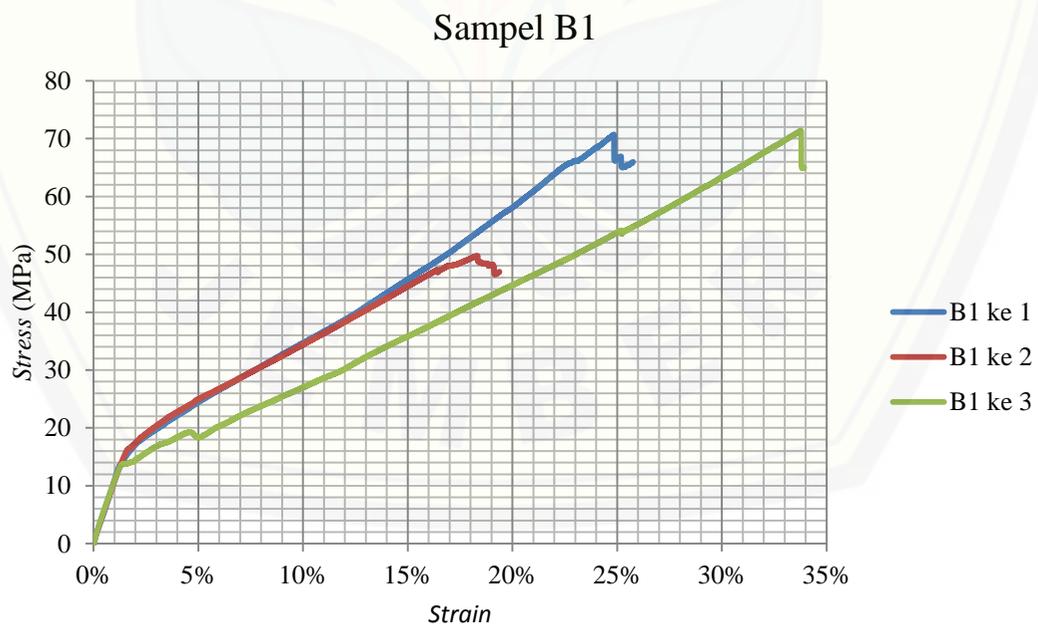
Gambar 1. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel A1



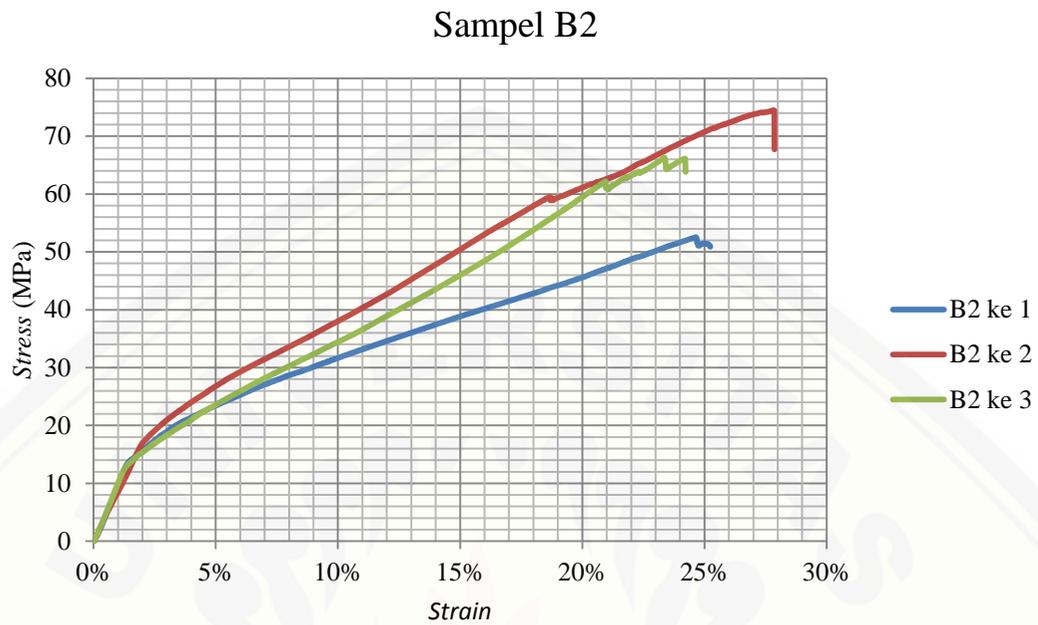
Gambar 2. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel A2



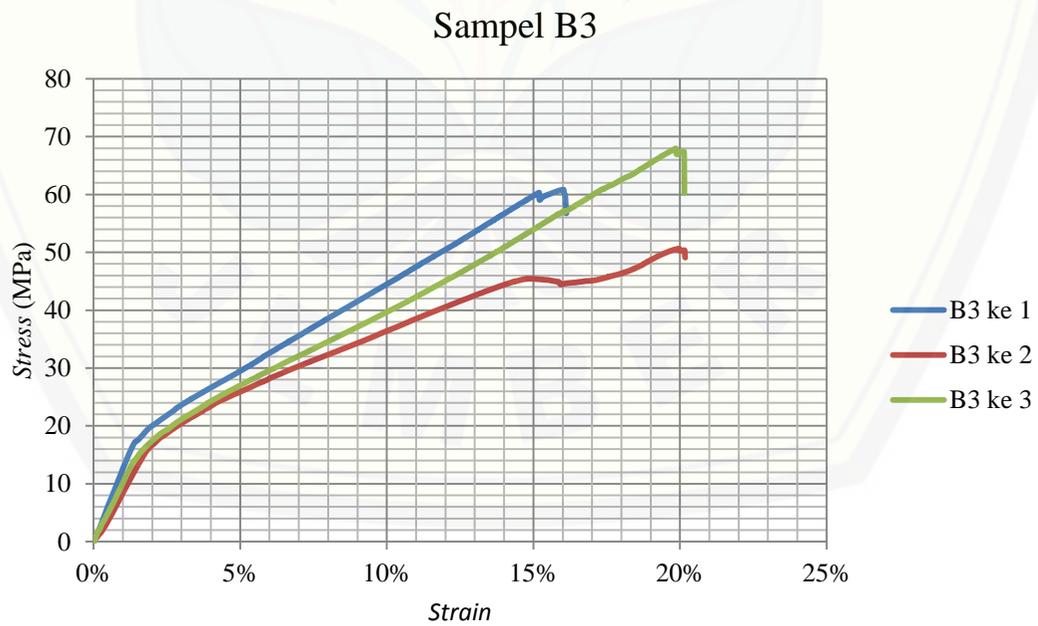
Gambar 3. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel A3



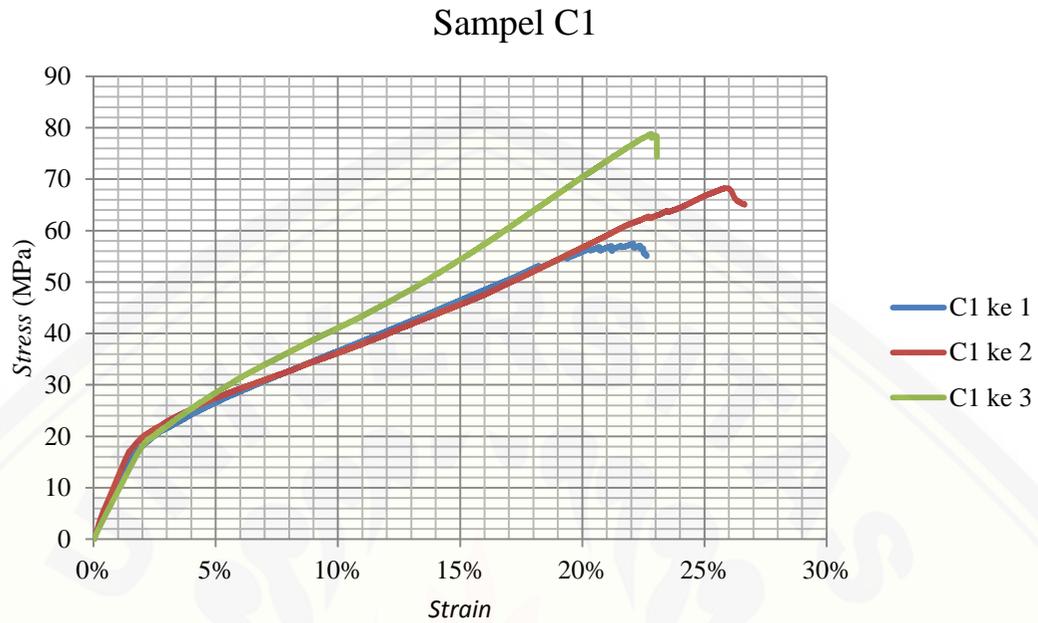
Gambar 4. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel B1



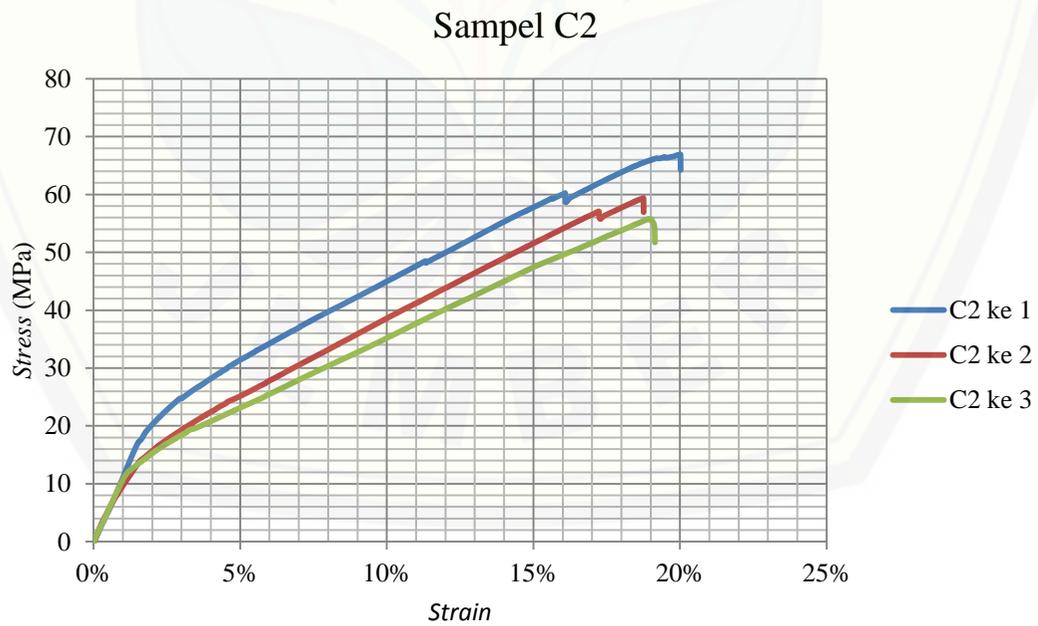
Gambar 5. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel B2



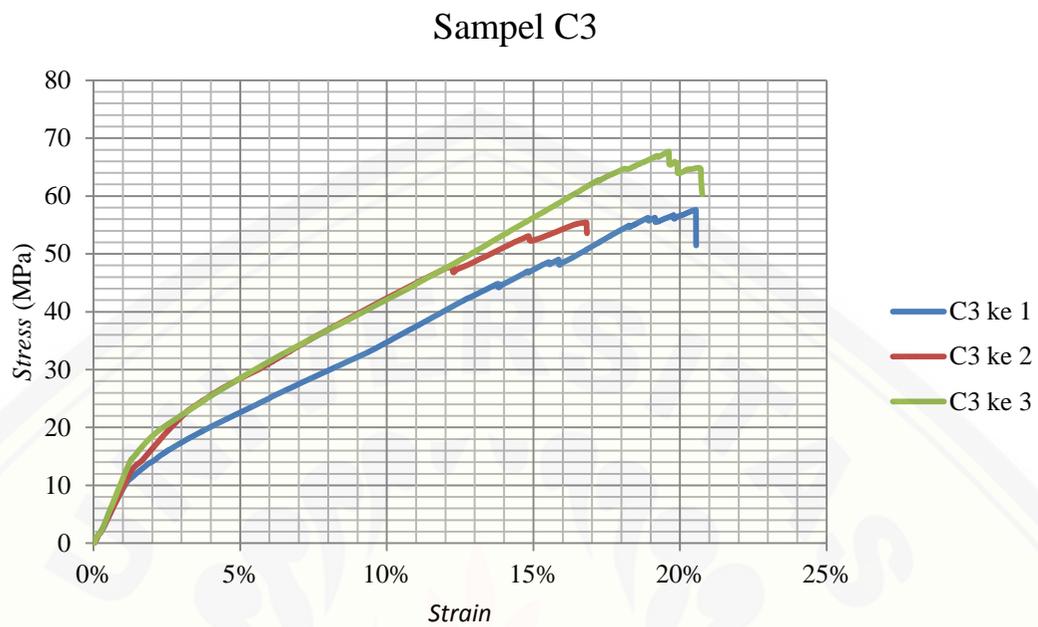
Gambar 6. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel B3



Gambar 7. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel C1



Gambar 8. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel C2



Gambar 9. Grafik nilai kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sampel C3

## LAMPIRAN D. MODULUS ELASTISITAS BAHAN KOMPOSIT

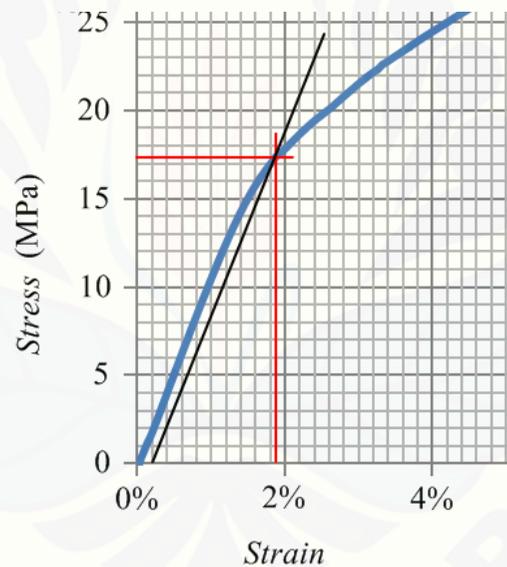
## D.1 Tabel Nilai Modulus Elastisitas Bahan Komposit Hasil Sintesis

Tabel Nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis

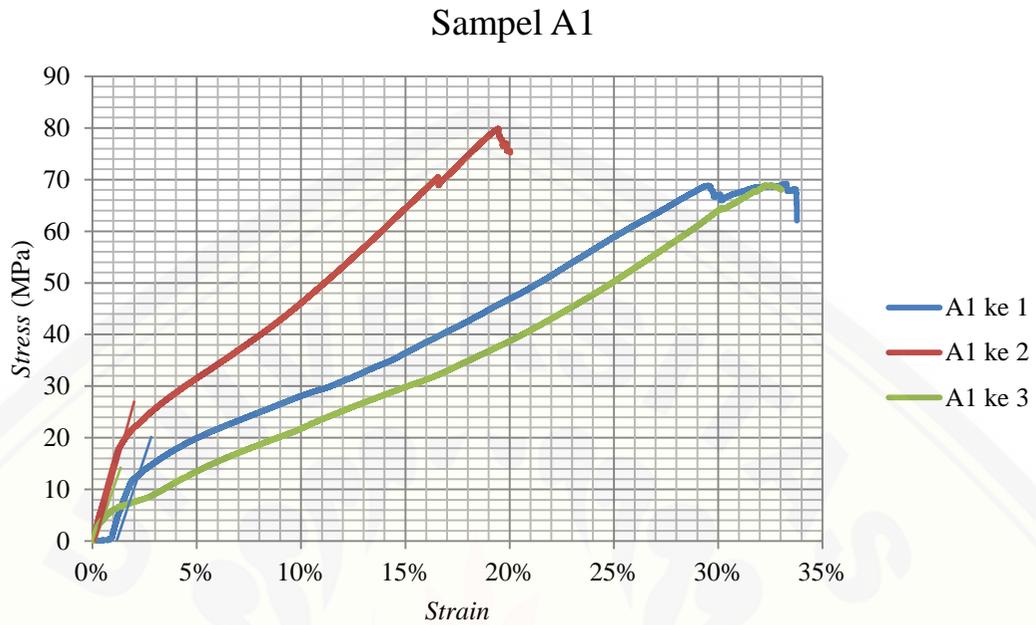
Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	E (MPa)	E rata-rata (Mpa)	Standar Error
5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	13,00	2,3%	571,97	923,40	221,32
		A1 ke 2	19,01	1,4%	1332,18		
		A1 ke 3	4,00	0,5%	866,04		
	20 % : 80 %	A2 ke 1	17,01	1,6%	1088,42	974,92	84,65
		A2 ke 2	16,00	2,0%	809,39		
		A2 ke 3	14,00	1,4%	1026,95		
	30 % : 70 %	A3 ke 1	18,01	1,8%	998,35	999,68	34,77
		A3 ke 2	16,01	1,5%	1060,54		
		A3 ke 3	17,01	1,8%	940,13		
10%	10 % : 90 %	B1 ke 1	16,01	1,7%	923,76	881,01	33,04
		B1 ke 2	17,01	1,9%	903,28		
		B1 ke 3	14,00	1,7%	815,98		
	20 % : 80 %	B2 ke 1	14,00	1,5%	924,39	896,28	45,84
		B2 ke 2	18,00	2,2%	806,65		
		B2 ke 3	13,02	1,4%	957,79		
	30 % : 70 %	B3 ke 1	18,01	1,6%	1127,06	961,08	89,63
		B3 ke 2	17,01	2,1%	819,44		
		B3 ke 3	16,01	1,7%	936,74		
15%	10 % : 90 %	C1 ke 1	18,01	2,0%	908,48	970,88	64,90
		C1 ke 2	18,00	1,6%	1100,65		
		C1 ke 3	18,01	2,0%	903,50		
	20 % : 80 %	C2 ke 1	20,02	2,0%	1021,48	941,19	42,06
		C2 ke 2	14,00	1,6%	879,29		
		C2 ke 3	13,01	1,4%	922,78		
	30 % : 70 %	C3 ke 1	12,02	1,5%	826,71	915,51	63,08
		C3 ke 2	14,00	1,6%	882,31		
		C3 ke 3	16,01	1,5%	1037,52		

## D.2 Grafik Nilai Modulus Elastisitas Bahan Komposit Hasil Sintesis

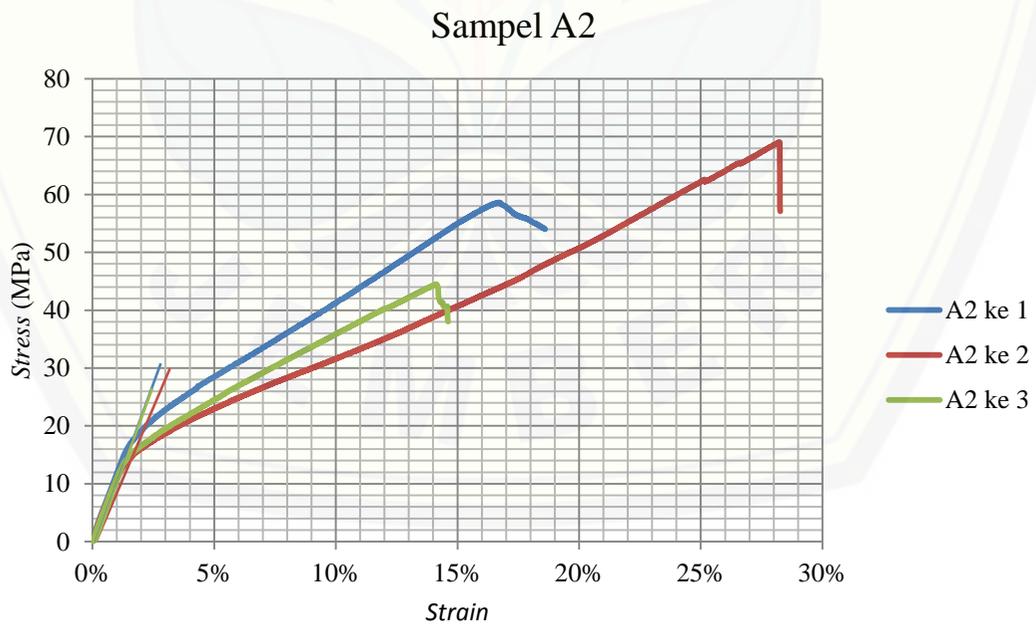
Nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis ditentukan dengan menggunakan metode *offset*, yaitu dengan cara menarik garis lurus yang sejajar dengan garis linier pada daerah elastis. Kemudian menggeser garis tersebut sejauh 0,2% pada sumbu regangan. Nilai pada titik perpotongan inilah yang selanjutnya diolah sebagai nilai modulus elastisitas bahan komposit tersebut dengan menggunakan persamaan 2.3. Berikut adalah cuplikan grafik tipikal dari nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel A3 dengan menggunakan bantuan program Spreadsheet :



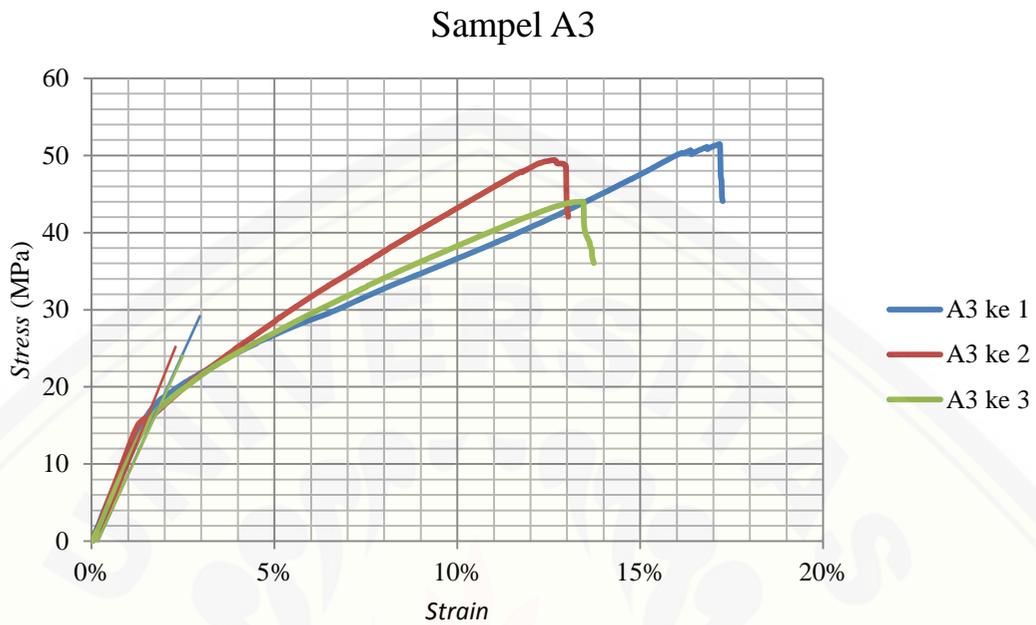
Gambar 1. Cuplikan grafik tipikal nilai modulus elastisitas menggunakan metode *offset* sampel A3



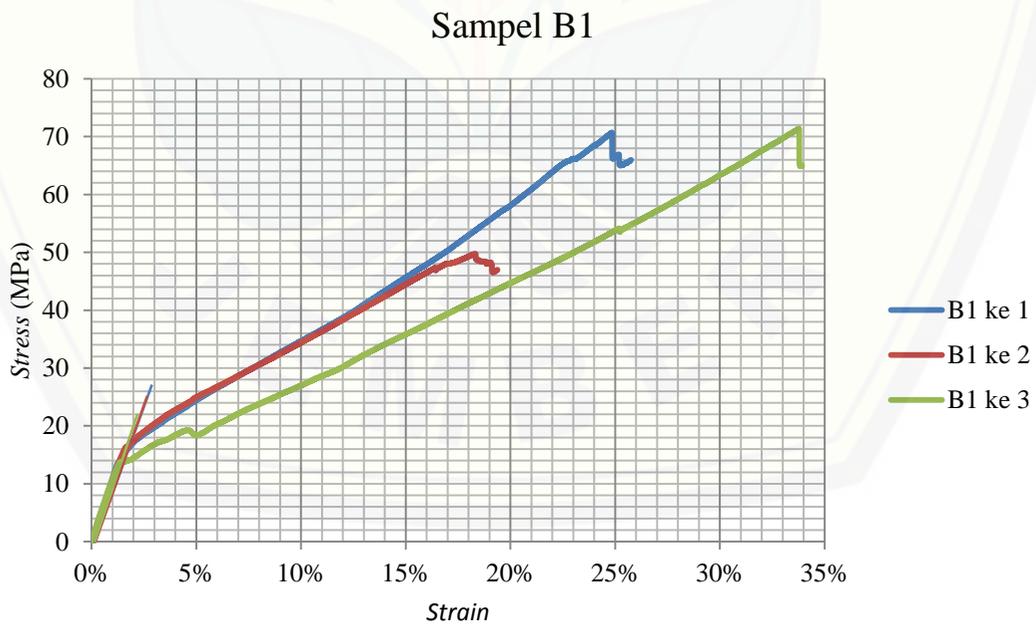
Gambar 2. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel A1



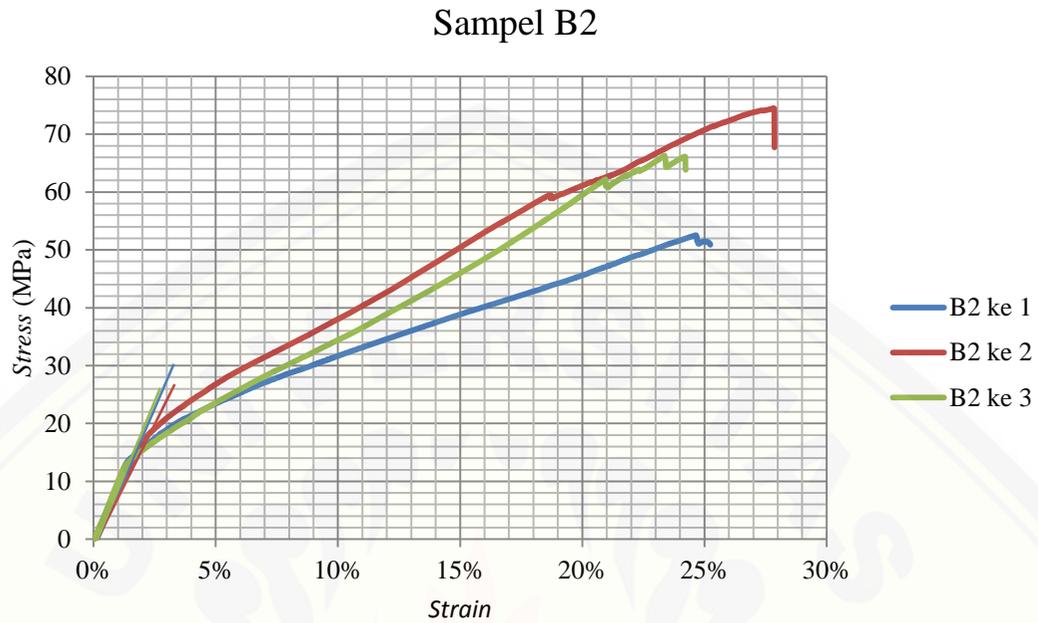
Gambar 3. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel A2



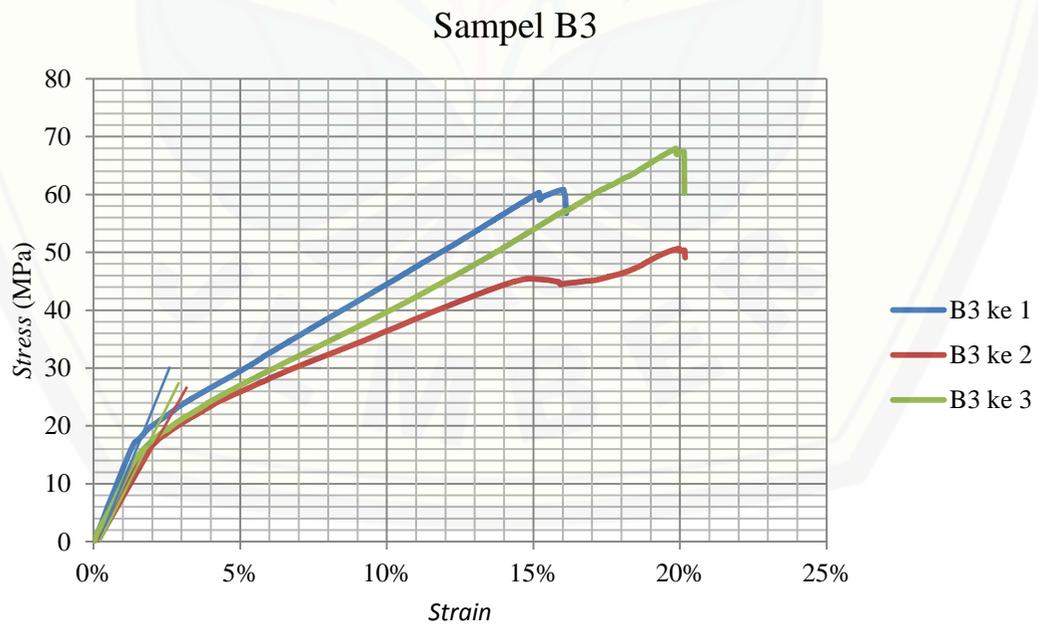
Gambar 4. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel A3



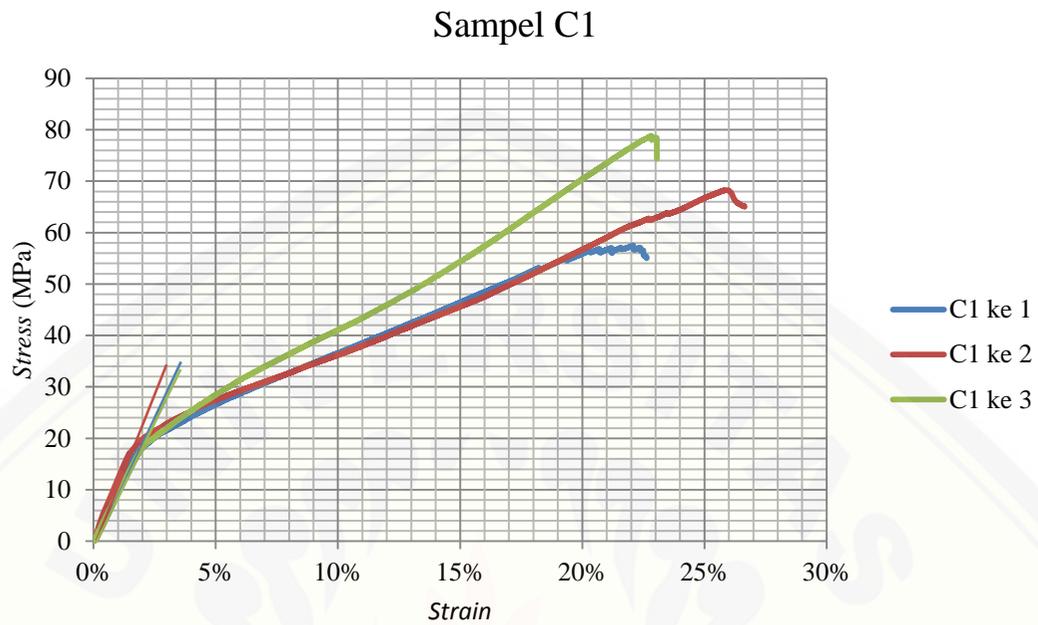
Gambar 5. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel B1



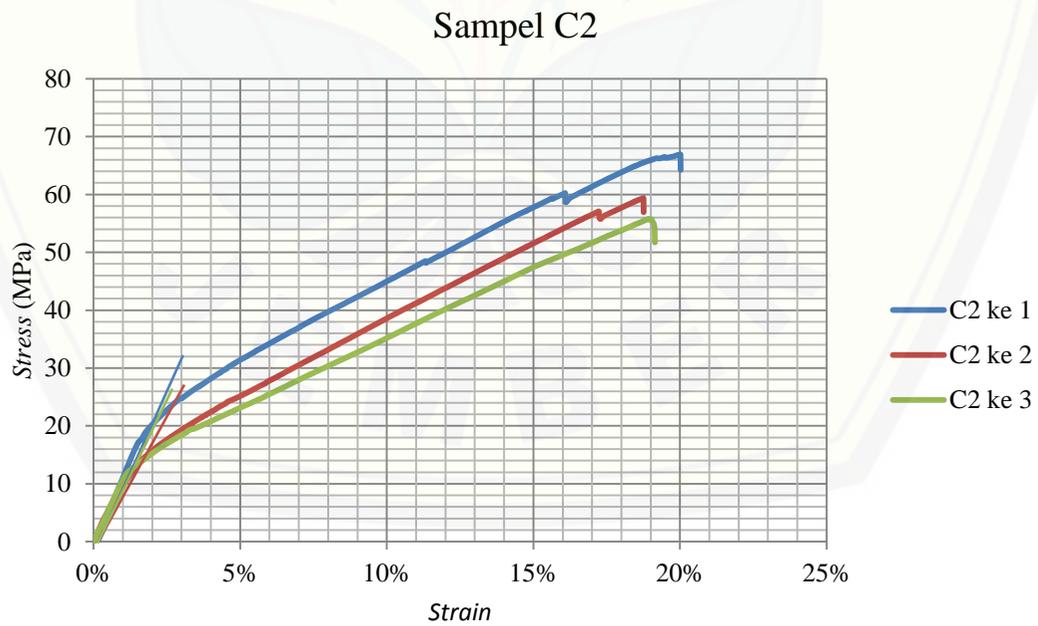
Gambar 6. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel B2



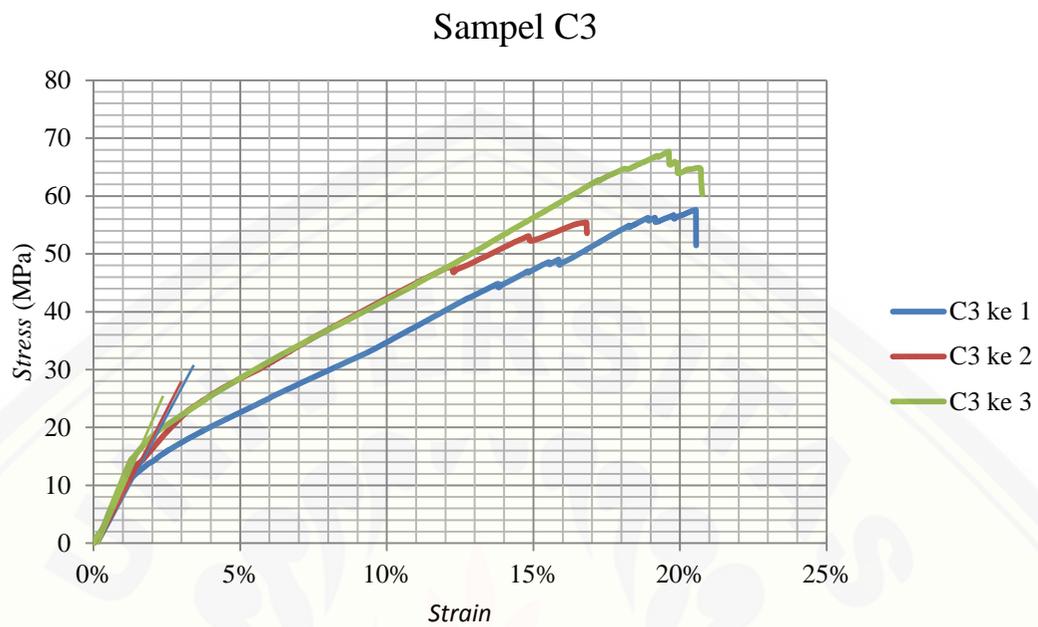
Gambar 7. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel B3



Gambar 8. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel C1



Gambar 9. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel C2



Gambar 10. Grafik nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis sampel C3

## LAMPIRAN E. PERHITUNGAN DATA HASIL PENELITIAN

### 1. Menentukan Faktor Koreksi

Penggunaan faktor koreksi pada penelitian ini bertujuan untuk menyamakan luas penampang awal spesimen uji, di mana dalam melakukan pencetakan bahan ditemui sedikit kesulitan untuk mendapatkan ketebalan spesimen uji yang sama. Metode yang digunakan adalah dengan mengalikan komponen tersebut dengan suatu angka (faktor koreksi) sehingga diperoleh luas penampang awal yang sama.

Contoh :

Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	Dimensi Spesimen Uji		
			Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	100	10	5
		A1 ke 2	100	10	4,7
		A1 ke 3	100	10	5

Maka, untuk menjadikan luas penampang awal  $A_0$  spesimen uji (A1 ke 2) dari  $47 \text{ mm}^2$  menjadi  $50 \text{ mm}^2$  perlu dikalikan dengan angka  $\frac{50}{47} \times 47 \text{ mm}^2 = 50 \text{ mm}^2$ .

Sehingga, angka  $\frac{50}{47}$  adalah faktor koreksi untuk spesimen uji A1 ke 2.

## 2. Penggunaan Formula pada Program Spreadsheet

Dalam penelitian ini, pengolahan data hasil penelitian menggunakan program Spreadsheet. Oleh karena itu, untuk mempermudah pengolahan, digunakanlah formula yang terdapat pada program ini. Formula tersebut antara lain :

Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	E (MPa)	E rata-rata (Mpa)	Standar Error
5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	(a)	(c)	(d)	(e)	(f)
		A1 ke 2	(b)				
		A1 ke 3					

### (a) Tegangan $\sigma$ tanpa faktor koreksi

Rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Formula Spreadsheet :

	A	B	C	D	E	F
1	A1 ke 1					A1
2	P	Δl	ε	σ	P	Δl
3	0,341733	0,00285	0,000091	0,006835	0,011921	0,004975
4	0,348886	0,003	0,0001		0,564257	0,005325
5	0,356038	0,003175	0,000106		3,088315	0,00565
6	0,361602	0,003325	0,000111		4,371802	0,006
7	0,35286	0,0035	0,000117		5,656878	0,006325

### (b) Tegangan $\sigma$ dengan faktor koreksi

Rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \times \frac{(\text{faktor koreksi})}{(\text{faktor koreksi})}$$

Formula Spreadsheet :

H3									
fx									
=(E3*(50/47))/(47*(50/47))									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	A1 ke 1				A1 ke 2				
2	P	Δl	ε	σ	P	Δl	ε	σ	P
3	0,341733	0,00285	0,000095	0,006835	0,011921	0,004975	0,00016	0,000254	1,1603
4	0,348886	0,003	0,0001	0,006978	0,564257	0,005325	0,000178		1,1642
5	0,356038	0,003175	0,000106	0,007121	3,088315	0,00565	0,000188		1,1674
6	0,361602	0,003325	0,000111	0,007232	4,371802	0,006	0,0002		1,1634
7	0,35286	0,0035	0,000117	0,007057	5,656878	0,006325	0,000211		1,1944

(c) Regangan ε

Rumus :

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\%$$

Formula Spreadsheet :

C3						
fx						
=B3/30						
	A	B	C	D	E	F
1	A1 ke 1					
2	P	Δl	ε	σ	P	
3	0,341733	0,00285	0,000095	0,006835	0,011921	0,00
4	0,348886	0,003		0,006978	0,564257	0,00
5	0,356038	0,003175		0,007121	3,088315	0,0
6	0,361602	0,003325		0,007232	4,371802	0,
7	0,35286	0,0035		0,007057	5,656878	0,00

Kemudian dikonversi menjadi persentase.

Clipboard Font Alignment Number

C3  $f_x$  =B3/30

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	A1 ke 1				A1 ke 2				
2	P	Δl	ε	σ	P	Δl	ε	σ	P
3	0,341733	0,00285	0%	0,006835	0,011921	0,004975	0,000166	0,000254	1,1603
4	0,348886	0,003	0%	0,006978	0,564257	0,005325	0,000178	0,012005	1,1642
5	0,356038	0,003175	0%	0,007121	3,088315	0,00565	0,000188	0,065709	1,1674
6	0,361602	0,003325	0%	0,007232	4,371802	0,006	0,0002	0,093017	1,1634
7	0,35286	0,0035	0%	0,007057	5,656878	0,006325	0,000211	0,120359	1,1944

(d) Modulus elastisitas bahan komposit E

Rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Formula Spreadsheet :

F2  $f_x$  =D2/E2

	A	B	C	D	E	F	G
1	Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	σ (N/mm <sup>2</sup> )	ε	E (MPa)	E rata-
2	5%	10 % : 90 %	A1 ke 1	13,00	2,3%	571,97	
3			A1 ke 2	19,01	1,4%		
4			A1 ke 3	4,00	0,5%		
5		20 % : 80 %	A2 ke 1	17,01	1,6%		
6			A2 ke 2	16,00	2,0%		
7			A2 ke 3	14,00	1,4%		

(e) Modulus elastisitas bahan komposit rata-rata  $E_{rata-rata}$

Rumus :

$$E_{rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

Formula Spreadsheet :

G2		fx		=AVERAGE(F2:F4)			
A	B	C	D	E	F	G	
Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	E (MPa)	E rata-rata (Mpa)	Stand
5%	10% : 90 %	A1 ke 1	13,00	2,3%	571,97	923,40	22
		A1 ke 2	19,01	1,4%	1332,18		
		A1 ke 3	4,00	0,5%	866,04		
	20% : 80 %	A2 ke 1	17,01	1,6%	1088,42	974,92	84
		A2 ke 2	16,00	2,0%	809,39		
		A2 ke 3	14,00	1,4%	1026,95		

(f) Standar error

Rumus :

$$Varian = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$Standar\ deviasi = \sqrt{Varian}$$

$$Standar\ error = \frac{Standar\ deviasi}{\sqrt{n}}$$

Formula Spreadsheet :

H2		fx		=STDEV(F2:F4)/SQRT(3)			
A	B	C	D	E	F	G	H
Konsentrasi Alkali	Fraksi Massa	Pengulangan	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	E (MPa)	E rata-rata (Mpa)	Standar Error
5%	10% : 90 %	A1 ke 1	13,00	2,3%	571,97	923,40	221,32
		A1 ke 2	19,01	1,4%	1332,18		
		A1 ke 3	4,00	0,5%	866,04		
	20% : 80 %	A2 ke 1	17,01	1,6%	1088,42	974,92	
		A2 ke 2	16,00	2,0%	809,39		
		A2 ke 3	14,00	1,4%	1026,95		