



**PENGARUH TEMPERATUR SINTESIS TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN BENDING BAHAN KOMPOSIT
BINDERLESS DARI AMPAS TEBU**

SKRIPSI

diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Sarjana pada Program Studi Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Jember

Oleh

Ali Imron Habibi
NIM 101810201045

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ummi' tercinta alm Sumiati dan bapak tersayang alm. Djaelani;
2. Kakak-Kakak saya Yusviani S.Pd., Erwin Susilo, Edy Minarso A.Md., Puji Lestari S.Pd., Wahyu Primasari Hindarto S.P MM., Sujarwanto S.Pt dan Mita Anandayu SE;
3. Orang tua asuh saya Mami Rr. Titin Sumartiningsih, Ibu Ilhamiyatul Ilahiyah S.H M.Pd.I., alm Abi Salim Amar dan Ummi' Nadirah;
4. Guru-guru saya tercinta di TK Kemala Bhayangkari, SDN Mayang 2, SMPN 1 Kalisat dan SMAN Pakusari
5. Almamater FMIPA Universitas Jember

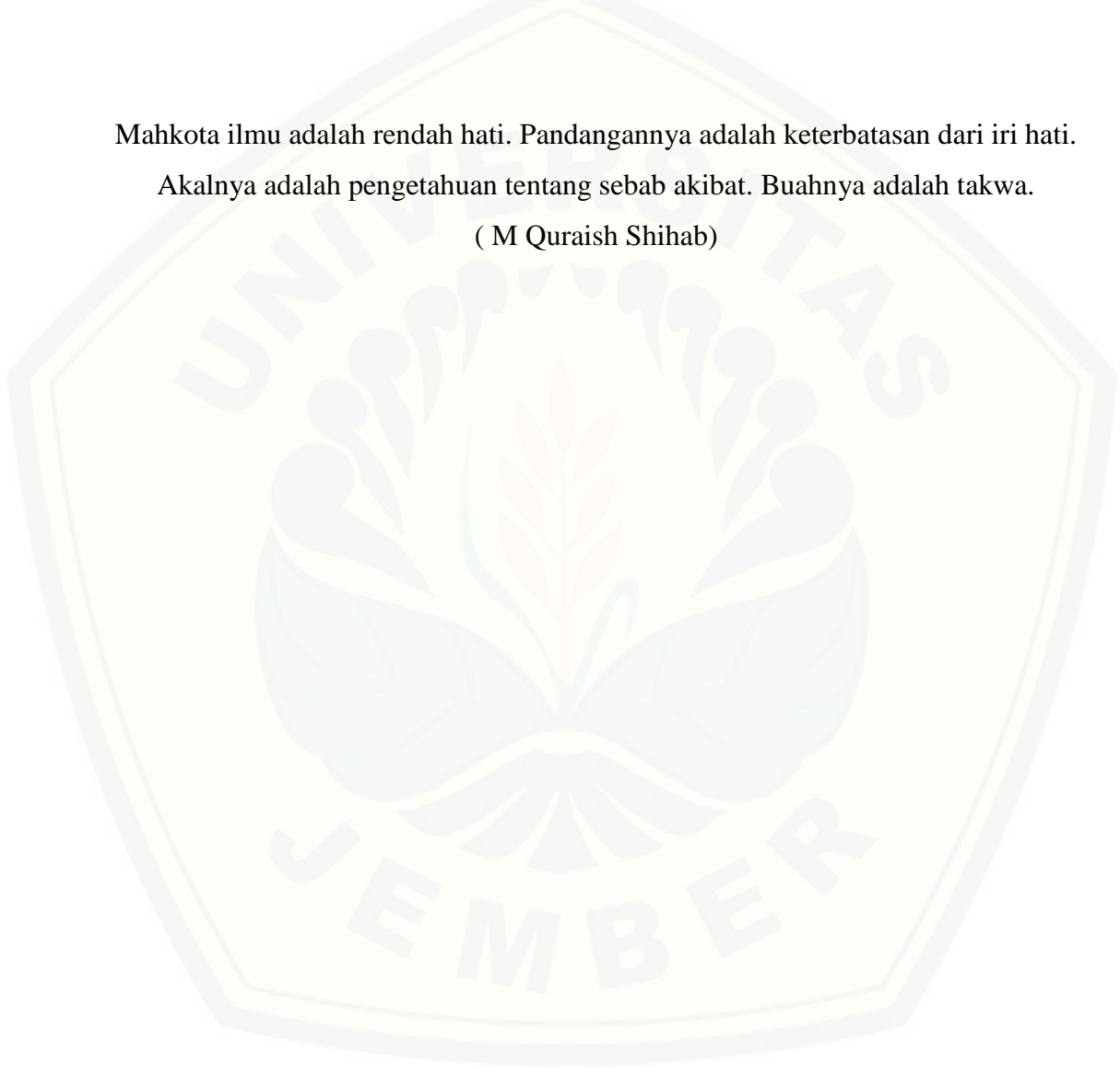
MOTTO

Everybody is a genius. But if you judge a fish by its ability to climb a tree, it will live its whole life believing that it is stupid.

(Albert Einstein)

Mahkota ilmu adalah rendah hati. Pandangannya adalah keterbatasan dari iri hati. Akalnya adalah pengetahuan tentang sebab akibat. Buahnya adalah takwa.

(M Quraish Shihab)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ali Imron Habibi

NIM : 101810201045

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **“Pengaruh Temperatur Sintesis terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Komposit *Binderless* dari Ampas Tebu ”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Juli 2017

Yang menyatakan,

Ali Imron Habibi
NIM 101810201045

SKRIPSI

**PENGARUH TEMPERATUR SINTESIS TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN BENDING BAHAN KOMPOSIT
BINDERLESS DARI AMPAS TEBU**

Oleh:

**Ali Imron Habibi
NIM 101810201045**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Drs.Sujito, Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Endhah Purwandari, S.Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Temperatur Sintesis terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Komposit *Binderless* dari Ampas Tebu” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Drs.Sujito, Ph.D

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si

NIP 19610204 1987711 1 001

NIP 19811111 200501 2 001

Anggota II,

Anggota III,

Agung T Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D.

Supriyadi S.Si., M.Si.

NIP 19681219 199402 1 001

NIP 19820424 200604 1 003

Mengesahkan

Dekan,

Drs.Sujito, Ph.D

NIP 19610204 1987711 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Temperatur Sintesis terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Komposit *Binderless* dari Ampas Tebu; Ali Imron Habibi, 101810201045; 2017; Halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang diikuti dengan perkembangan dunia industri yang semakin pesat, salah satunya industri pesawat terbang, menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan material komposit. Hal ini disebabkan oleh karena material komposit memiliki beberapa keunggulan yaitu berdensitas rendah, tahan karat, mudah dibentuk, dan ekonomis. Hal inilah yang menjadi daya tarik untuk dilakukannya penelitian tentang material komposit, guna menjawab tantangan perkembangan industri dan permintaan atau kebutuhan industri. Salah satu bagian dari bahan komposit yang sangat mempengaruhi karakteristik mekanik dari bahan adalah komponen serat. Pada jenis serat organik, kandungan lignoselulosa yang dimiliki ditengarai dapat menjadikannya sebagai komponen matriks, yang dapat mengikat serat cukup kuat. Melalui pengaruh temperatur pengepresan tertentu, yang diberikan pada saat proses sintesis bahan, dapat dihasilkan bahan komposit tanpa resin, yakni dengan memanfaatkan komponen ligniselulosa dari bahan serat sebagai pengikatnya, sehingga diperoleh bahan komposit *binderless*. Salah satu bahan serat yang menjadi fokus dari kegiatan penelitian yang diteliti adalah serat ampas tebu, yang mana keberadaannya di Jember sangat melimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal dalam industri. Oleh karena itu, tujuan dari kegiatan penelitian ini yaitu mendapatkan bahan komposit *binderless* berbahan ampas tebu dan mengetahui pengaruh temperatur sintesis terhadap kekuatan tarik dan bending serta modulus tarik dan bending material komposit *binderless* dari ampas tebu.

Pada proses sintesis bahan komposit *binderless* resin atau matriks yang berfungsi sebagai pengikat tidak perlu ditambahkan. Proses sintesis diawali dengan cara menimbang serat ampas tebu seberat 5 gram, selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan kemudian dilakukan pengepresan dengan variasi temperatur 80 °C, 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C. Dari bahan komposit yang dihasilkan pada proses sintesis, selanjutnya dilakukan pengujian mekanik untuk mengetahui kekuatan tarik dan bending bahan di dalam menerima beban dengan menggunakan *Tensile Machine Shimadzu Autograf AG-X 5kN*.

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik dan kekuatan bending pada material komposit *binderless* hasil sintesis, diperoleh bahwa kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada bahan komposit yang disintesis pada temperatur 90°C, yakni sebesar 8,01 MPa. Adapun kekuatan tarik terendah hasil sintesis yakni sebesar 2,84 MPa, diperoleh pada bahan komposit yang disintesis pada temperatur 80°C. Kenaikan temperatur sintesis hingga 90°C, yang diaplikasikan dalam pembuatan bahan komposit, telah meningkatkan gaya adhesi dalam serat ampas tebu. Namun demikian, penambahan temperatur di atas 100°C mengakibatkan

sejumlah partikel lignoselulosa menjadi berkurang, dimana komponen lignin lepas dari permukaan selulosa serat, sehingga mengakibatkan gaya adhesi semakin kecil. Hal inilah yang menyebabkan kekuatan tarik bahan komposit *binderless* menurun pada saat disintesis pada temperatur $>100^{\circ}\text{C}$. Untuk mengetahui sifat kekakuan bahan komposit *binderless*, dihitung nilai modulus elastisitas bahan, berdasarkan data tegangan-regangan hasil pengujian tarik bahan, menggunakan metode *offset*. Nilai modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh bahan sebesar 1076,75 MPa yaitu pada saat bahan komposit disintesis pada temperatur 100°C . Sementara itu, nilai kekuatan bending tertinggi, hasil pengujian kekuatan bending, terdapat pada bahan komposit *binderless* yang disintesis pada temperatur 100°C , yakni sebesar 5,09 MPa. Sintesis bahan dengan temperatur $\leq 100^{\circ}\text{C}$ menghasilkan karakteristik dimana semakin tinggi temperatur sintesis bahan, maka semakin tinggi ketangguhannya di dalam menerima beban. Adapun besarnya modulus bending bahan komposit *binderless*, dengan variasi temperatur sintesis 80°C , 90°C , 100°C , 110°C , 120°C , mengalami peningkatan dari temperatur sintesis 80°C sampai temperatur sintesis 100°C dan mengalami penurunan saat disintesis dari temperatur 100°C ke 110°C . Untuk modulus bending tertinggi ada pada temperatur sintesis 100°C , dengan nilai modulus bending sebesar 186,32 MPa.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur Sintesis terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Komposit *Binderless* dari 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, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Agung T. Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Supriyadi S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji II atas segala masukan yang telah diberikan demi kebaikan skripsi ini;
3. Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bapak dan ibu dosen serta staf FMIPA Universitas Jember yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan serta bantuan;
5. 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 dan uji bending;
6. Ummi dan Bapak tercinta yang Insyaallah semangatnya selalu bersama saya
7. Mbak Yus, Mas Erwin, Mbak Pima, Mas Anto, Mas Edy, dan Mbak Tari, kakak-kakak yang selalu memberi nasihat dan semangat;
8. Teman satu penelitian M Iqbalul Hasan Abusiri yang memberi semangat serta bantuan
9. Adik – adik angkatan selaku rekan penelitian Esti Wulandari, Elok Hidayah, Dianita Ajeng R., Avkarina Agustin, Rika Yuli R dan Mita Ummi W;

10. Teman-teman yang banyak membantu memberi semangat dan banyak hal :
Fitriana, Devi Anastiani, Anik Umi Arifah, Riska Dwi Agustin, Syafrilia Ryan Fitri, Ahmad Rofi'i;
11. Teman-teman tim 8 Imroatus Solehah, Najibur Rohim, Zazillatul Fauziyah, Nurrahman Afif, Koko Anggoro, Muhtarom Yulianto, Duwi Yuliana yang selalu berbagi semangat;
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, 31 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ampas Tebu	6
2.2 Sifat Mekanis Ampas Tebu	6
2.3 Komposit	7
2.4 Keunggulan Material Komposit	9
2.5 Binderless	9
2.6 Kekuatan Bahan Komposit	10
2.6.1 Uji Kekuatan Tarik	10

2.6.2 Uji Kekuatan Bending atau Lentur	13
2.6.3 Pengaruh Temperatur Sintesis Terhadap Karakteristik Bahan Komposit	16
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	17
3.1.1 Tempat Penelitian	17
3.1.2 Waktu	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.2.1 Alat Penelitian.....	17
3.2.2 Bahan Penelitian	17
3.3 Rancangan Penelitian	18
3.4 Prosedur Pembuatan Bahan Komposit Ampas Tebu	19
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan	19
3.4.2 Tahap Sintesis Bahan Komposit.....	19
3.5 Karakterisasi Bahan Komposit <i>Binderless</i>	19
3.5.1 Uji Tarik.....	19
3.5.2 Uji Bending.....	19
3.6 Analisis Data.....	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Kekuatan tarik dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit <i>Binderless</i>	25
4.2 Kekuatan Bending dan Modulus Bending Bahan Komposit <i>Binderless</i>	29
BAB 5. PENUTUP.....	33
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Struktur pembentuk serat ampas tebu	6
2.2 Sifat mekanis berbagai serat alami	7
4.1 Kekuatan tarik bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis	24
4.2 Modulus elastisitas bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis	26
4.3 Kekuatan bending bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis	28
4.4 Modulus bending bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis.....	30

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Pembagian komposit 7
2.2	Komposit serat 8
2.3	Skema uji tarik bahan komposit 10
2.4	Kurva standar hubungan antara tegangan dan regangan 12
2.5	Skema uji bending sebelum diberi pembebanan/gaya tekan 13
2.6	Skema uji bending setelah diberi pembebanan/gaya tekan 14
3.1	Diagram alir penelitian..... 18
4.1	Bahan komposit binderless hasil sintesis dengan temperatur sintesis (dari kiri ke kanan) 80°C, 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C..... 22
4.2	Bahan komposit <i>binderless</i> dengan temperatur sintesis 100°C setelah di uji Tarik 23
4.3	Histogram nilai kekuatan tarik bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis pada masing-masing variasi temperatur 24
4.4	Tipikal grafik hubungan tegangan dan regangan bahan komposit <i>binderless</i> hasil uji tarik dari ampas tebu dengan temperatur sintesis 100°C..... 25
4.5	Histogram nilai modulus elastisitas bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis pada masing-masing variasi temperatur 26
4.6	Histogram nilai kekuatan bending bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis pada masing-masing variasi temperature..... 28
4.7	Histogram nilai modulus bending bahan komposit <i>binderless</i> hasil sintesis pada masing-masing variasi temperatur sintesis 29

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Dimensi Bahan Komposit <i>Binderless</i>	54
B. Hasil Uji Tarik Bahan Komposit <i>Binderless</i>	55
C. Hasil Uji Bending Bahan Komposit <i>Binderless</i>	56
D. Perhitungan Data Hasil Penelitian	65
E. Gambar Uji Bending dan Ui Tarik.....	65

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi diikuti dengan perkembangan dunia industri yang saat ini semakin pesat. Salah satunya industri pesawat terbang. Hal ini membuat peningkatan permintaan akan suatu material untuk keperluan tersebut yaitu material komposit. Beberapa keunggulan material komposit yaitu berdensitas rendah, tahan karat, mudah dibentuk, dan ekonomis. Untuk menjawab permintaan atau kebutuhan akan material komposit inilah yang menginisiasi berbagai penelitian dalam rangka mensintesis bahan komposit baru, khususnya yang berasal dari bahan alami (Yudo, 2008).

Komposit pada umumnya merupakan bahan yang terdiri atas dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda, yang membentuk satu kesatuan material baru (Vlack, 1991). Secara umum material komposit terdiri atas matrik (resin) sebagai bahan pengikat dan *filler* yang berupa serbuk atau serat yang berfungsi sebagai penguat. Ada dua jenis serat, yang digunakan pada material komposit yaitu serat buatan (sintetis) dan serat alam. Contoh dari serat buatan antara lain serat gelas, serat karbon dan grafit. Serat buatan ini memiliki kelemahan-kelemahan, diantaranya yaitu, harganya relatif mahal, beracun dan jumlahnya terbatas. Kelemahan-kelemahan tersebut menyebabkan para ilmuwan tertarik beralih melakukan penelitian pada serat alam yang relatif lebih murah dan ramah lingkungan serta dapat diperbarui (Nurudin *et al*, 2011). Salah satu sumber serat alam dengan keberadaan cukup melimpah di daerah Jember adalah tebu. Hal ini ditunjukkan dengan adanya beberapa pabrik gula di sekitar wilayah administratif Kabupaten Jember.

Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah salah satu komoditi pertanian di Indonesia yang ditanam untuk bahan dasar pembuatan gula. Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan dan hanya bisa tumbuh di daerah beriklim tropis. Sisa pengolahan tanaman tebu sebagai bahan baku gula, akan menghasilkan ampas tebu. Ampas tebu ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan material komposit. Serat ampas tebu berpotensi untuk dijadikan bahan baku alternatif

pembuatan material komposit karena mudah diperoleh di Indonesia termasuk di daerah Jember. Di samping itu, serat ampas tebu merupakan serat alam dan pengolahannya relatif lebih mudah. Data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) menginformasikan bahwa ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. Sebanyak 60% dari ampas tebu tersebut dimanfaatkan oleh pabrik gula sebagai bahan baku untuk kertas, bahan baku industri kanvas rem, industri jamur dan lain-lain. Oleh karena itu, diperkirakan sebanyak 40% dari ampas tebu belum dimanfaatkan (Rahman dan Kamiel, 2011). Pemanfaatan ampas tebu sebagai penguat bahan komposit memiliki peranan penting dalam kebersihan lingkungan, karena secara tidak langsung akan mengurangi limbah dari industri pabrik gula.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang pembuatan material komposit dari ampas tebu yang dipadukan dengan bermacam-macam resin. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Rahman dan Kamiel (2011). Mereka membuat komposit menggunakan serat ampas tebu dengan resin *polyester* SHCP 268 BQTN *stirine monomer* dan katalis MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida). Tujuan penelitian tersebut adalah menyelidiki pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik material komposit *unidirectional* serat tebu/*polyester*. Hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa bertambahnya fraksi volume mengakibatkan penurunan kekuatan tarik dan regangan tarik, namun meningkatkan modulus elastisitasnya.

Pada tahun 2002, Kartini *et al* telah melakukan penelitian tentang komposit dengan matriks polimer menggunakan bahan penguat serat alam. Mereka mengkombinasikan serat pisang dan serat ijuk menjadi empat macam komposit; epoksi-pisang, epoksi-ijuk, poliester-pisang dan poliester-ijuk. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa secara umum penambahan lapisan serat menurunkan nilai kekuatan tarik material komposit, kecuali material komposit bermatriks epoksi dengan penguat serat ijuk.

Pada umumnya, penelitian-penelitian di atas fokus pada material komposit yang terbuat dari perpaduan macam-macam resin. Penambahan resin tersebut selain akan menambah biaya produksi yang membuat harga material komposit menjadi

lebih mahal juga dapat menimbulkan kerusakan lingkungan karena resin yang digunakan terbuat dari bahan sintesis yang sulit terbiodegradasi. Sehubungan dengan hal tersebut, sejak tahun 1980 telah dilakukan penelitian dalam rangka untuk mendapatkan papan partikel tanpa resin pengikat (*binderless*), (Shen, 1986). Adapun bahan baku yang digunakan dapat berupa bahan baku dari kayu (Okamoto *et.al.* 1994; Angle *et.al.* 1999) ataupun non kayu (Okuda dan Sato 2004; Widyorini *et.al.* 2005; Xu *et.al.* 2006).

Widyorini (2009) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh metode pengempaan dan ukuran partikel terhadap sifat fisik mekanik *binderless board* dari kenaf inti, menyatakan bahwa hemiselulosa, lignin dan asam sinamik yang ada pada kenaf inti juga turut berperan dalam pembentukan *self-bonding*. Dalam penelitiannya tersebut, Widyorini menggunakan metode pengempaan injeksi uap, pengempaan panas dan kombinasi dari keduanya. Berdasarkan hasil penelitiannya diperoleh kesimpulan dapat diproduksi tanpa mengalami delaminasi dengan menggunakan metode kombinasi pengempaan dengan injeksi uap dan pengempaan panas. Di samping itu, sifat fisik dan mekanik material komposit *binderless* yang dihasilkan dengan kombinasi pengempaan injeksi uap dan pengempaan panas tidak berbeda secara signifikan dengan sifat fisik-mekanik material komposit *binderless* dengan metode pengempaan injeksi uap. Namun demikian, ukuran partikel mempengaruhi nilai kekuatan rekat material komposit *binderless* yang dihasilkan tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan material komposit *binderless* dari ampas tebu yang diperoleh dari pabrik Gula yang ada di sekitar Kabupaten Jember. Pengempaan dilakukan dengan menggunakan *hot press machine* pada kondisi temperatur dan tekanan yang berbeda. Selanjutnya akan dilakukan uji tarik dan bending pada bahan komposit *binderless*. Berdasarkan hasil tersebut akan dikaji pengaruh temperatur terhadap kekuatan tarik dan bending dari bahan komposit *binderless* yang dihasilkan. Sehingga pada penelitian ini akan dibuat bahan komposit tanpa resin (*binderless*) dari ampas tebu, yang akan membuat penghematan biaya dan waktu.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur sintesis terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas bahan komposit *binderless* hasil sintesis?
2. Bagaimana pengaruh temperatur sintesis terhadap kekuatan bending dan modulus bending bahan komposit *binderless* hasil sintesis?

1.3 Batasan Masalah

Adanya keterbatasan kemampuan waktu dan biaya, maka dalam penelitian ini permasalahan dibatasi pada beberapa hal berikut :

1. Serat yang digunakan sebagai komposit adalah ampas tebu.
2. Ukuran sampel komposit yang akan dibuat adalah 10 cm x 1 cm x 0.7 cm
3. Variasi temperatur yang digunakan adalah, 80°C , 90°C, 100°C , 110°C, dan 120°C
4. Arah serat yang diaplikasikan pada bahan komposit adalah arah serat acak.

1.4 Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh bahan komposit *binderless* dari ampas tebu;
2. Mengetahui pengaruh temperatur sintesis terhadap kekuatan tarik, modulus elastisitas, kekuatan bending dan modulus bending bahan komposit *binderless* dari ampas tebu.

1.5 Manfaat

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap kekuatan tarik dan bending bahan komposit *binderless* dari ampas tebu. Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan kontribusi pada perkembangan teknologi sintesis material khususnya material komposit.

2. Menambah informasi mengenai pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan komposit.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya di bidang bidang material komposit.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah bahan sisa berserat dari batang tebu yang mengalami ekstraksi niranya. Ampas tebu kebanyakan digunakan untuk bahan bakar pembuatan gula. Selain sebagai bahan bakar pabrik pembuatan gula, ampas tebu juga bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku komposit. Partikel untuk papan serta media jamur atau sebagai pupuk (Slamet dalam Malau 2009). Dari satu pabrik gula dapat dihasilkan 35-40% ampas dari berat tebu yang digiling. Apabila tebu dipotong akan terlihat serat jaringan pembuluh (*Vascular bundle*), sel parenkim dan cairan mengandung gula (Penebar Swadaya dalam Malau, 2009).

Ampas tebu terdiri atas tiga penyusun utama yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin dan sisanya adalah unsur penyusun lainnya. Ampas tebu mayoritas mengandung lignoselulosa. Panjang seratnya antara 1,7-2 mm dengan diameter sekitar 20 μm , membuat ampas tebu dapat digunakan untuk papan-papan buatan (Shabiri *et al*, 2014). Adapun prosentase dari berat kering struktur pembentuk serat ampas tebu ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Struktur pembentuk serat ampas tebu

Komponen	Berat Kering (%)
Selulosa	26-43
Hemiselulosa	17-23
Pentosan	20-33
Lignin	13-22

Sumber: (Shabiri *et al*, 2014)

2.2 Sifat Mekanis Ampas Tebu

Sifat mekanis suatu bahan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan kepada bahan tersebut. Beban tersebut dapat berupa

beban tarik, tekan, bengkok, puntir, atau beban kombinasi. Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanis serat tebu dan beberapa serat penting lainnya, yang meliputi kekuatan tarik, faktor pemanjangan dan kekerasan yang dimiliki.

Tabel 2.2 Sifat mekanis berbagai serat alami

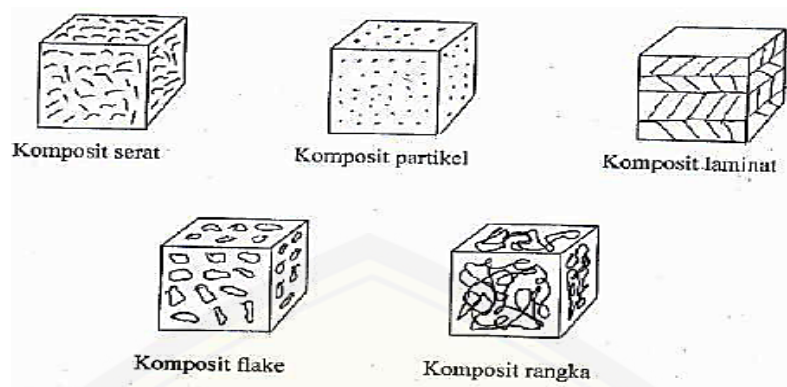
Serat	Kekuatan tarik (MPa)	Pemanjangan (%)	Kekerasan (MPa)
Tandan sawit	248	14	2000
Mesocrap sawit	80	17	500
Serat tebu	140	25	3200
Pisang	540	3	816
Sasal	580	4.3	1200
Daun nanas	640	2.4	970

Sumber: (Kliwon dalam Malau 2009)

2.3 Komposit

Schwartz dalam Yuniarto (2012) mendefinisikan komposit sebagai sistem material yang terdiri atas gabungan dua atau lebih unsur pokok yang berbeda, komposit dibagi berdasarkan konstituennya yaitu:

1. Komposit serat yang terdiri dari serat dengan atau tanpa matriks.
2. Komposit flake yang terdiri dari flake dengan atau tanpa matriks.
3. Komposit partikel yang terdiri dari partikel dengan atau tanpa matriks.
4. Komposit rangka yang terdiri dari matriks rangka selanjat yang terisi dengan bahan kedua.
5. Komposit laminat terdiri dari konstituen lapisan atau laminat.



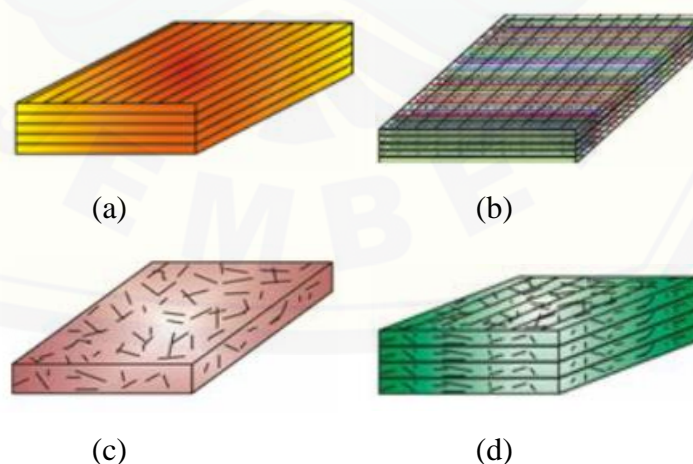
Gambar 2.1 Pembagian Komposit (Sumber: Schwartz dalam Yuniarto, 2012).

Komposit serat merupakan komposit yang banyak digunakan. Komposit serat merupakan komposit yang penguatnya berupa serat. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan.

Jenis komposit serat terbagi menjadi 4 macam yaitu:

1. *Continous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinue),
2. *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyaman),
3. *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek atau acak),
4. *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak)

(Jones dalam Purwanto, 1975)



Gambar 2.2 Komposit serat: (a) *continous fiber composite* (b) *woven fiber composite*; (c) *chopped fiber composite*; (d) *hybrid composit* (sumber: Jones dalam Purwanto, 1975)

2.4 Keunggulan Material Komposit

Menurut Nayiroh (2013) bahan komposit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan konvensional seperti logam. Keunggulan material komposit dapat ditinjau dari sifat fisiknya, yaitu:

1. Bahan komposit memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional, hal ini memberikan peranan yang penting dalam konteks penggunaan bahan karena komposit akan memiliki kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional.
2. Bahan komposit memiliki koefisien muai rendah, berbeda dengan logam yang mudah memuai saat diberi temperatur tertentu.
3. Bahan logam sangat rentan terhadap korosi, namun hal ini tidak berlaku dengan bahan komposit. Bahan komposit tahan terhadap korosi.
4. Faktor biaya juga menjadi keunggulan dari bahan komposit dan juga membentuk perkembangan industri komposit. Biaya berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk.

2.5 *Binderless*

Teknologi perekatan dengan tidak memakai perekat lebih dikenal dengan istilah teknologi *binderless*. Teknologi *binderless* adalah teknologi prospektif karena menggunakan bahan baku lignoselulosa dan dapat mengurangi emisi *formaldehida*. Teknologi *binderless* dapat diaplikasikan dalam pembuatan komposit yang disebut dengan komposit *binderless*.

Penelitian mengenai teknologi *binderless* dimulai sejak pertengahan tahun 1980an oleh Shen, bahan baku yang digunakan berupa kayu dan non kayu. Pada proses pembuatan komposit *binderless* hemiselulosa memegang peranan penting (Shen 1986). Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Widyorini *et al* pada tahun 2005 yaitu pembuatan komposit *binderless* dari *kenaf core*, yang menyatakan bahwa lignin dan asam sinamik berperan penting dalam pembentukan *self bonding*. Komposit *binderless* dari *kenaf core* yang dihasilkan mempunyai kekuatan rekat

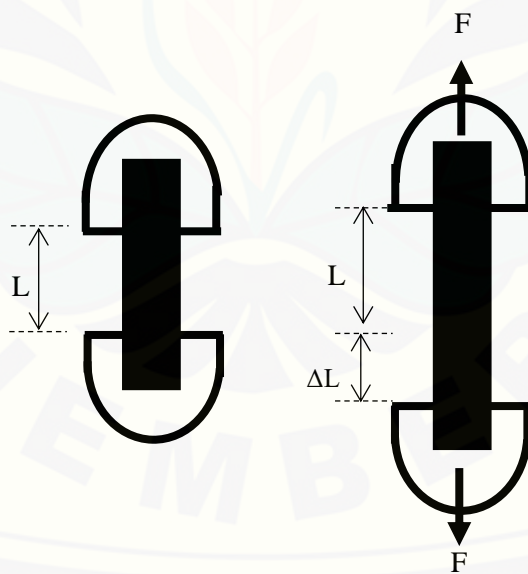
tidak jauh berbeda dengan bahan komposit yang menggunakan perekat buatan (Widyorini, 2009).

2.6 Kekuatan Bahan Komposit

Karakterisasi bahan komposit dapat ditentukan dengan melakukan beberapa uji diantaranya adalah uji kekuatan tarik dan uji kekuatan bending.

2.6.1 Uji kekuatan tarik

Menurut Young dan Freedman (2002) uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dengan uji tarik kita dapat mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material bertambah panjang. Pengujian kekuatan tarik suatu bahan, dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada ujung-ujung bahan uji, sehingga bahan uji mengalami pertambahan panjang (Gambar 2.3). Jika gaya diberikan secara terus-menerus, maka bahan uji akan putus.



Gambar 2.3 Skema Uji Tarik bahan komposit

Tegangan yang dialami suatu bahan karena bahan menerima gaya tarik (F) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Bifel *et al*, 2015):

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

Keterangan:

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

F = gaya(N)

A₀ = luas penampang patahan(mm²)

Jika gaya tarik diberikan terus menerus pada bahan, maka bahan akan mengalami keadaan dimana gaya tarik tertentu akan menyebabkan bahan mengalami deformasi (patah). Perbandingan antara gaya tarik maksimum yang mampu diterima oleh bahan tiap satuan luas bahan disebut sebagai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) atau kekuatan tarik bahan. Kekuatan tarik tersebut merupakan tegangan tarik maksimum (σ_{maks}) yang dimiliki oleh bahan pada saat menerima gaya tarik maksimum, sehingga bahan menjadi patah. Dengan demikian, berdasarkan persamaan (2.1), kekuatan tarik atau UTS suatu bahan, dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\text{UTS} = \sigma_{\text{maks}} = \frac{F_{\text{maks}}}{A_0} \quad (2.2)$$

Keterangan,

UTS = kekuatan tarik maksimum (N/m²)

F_{maks} = gaya (N)

A₀ = luas penampang (m²)

Regangan adalah perbandingan pertambahan panjang spesimen terhadap panjang awal spesimen, untuk menentukan regangan spesimen dapat ditunjukkan oleh persamaan 2.2 (Bifel *et al*, 2015)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

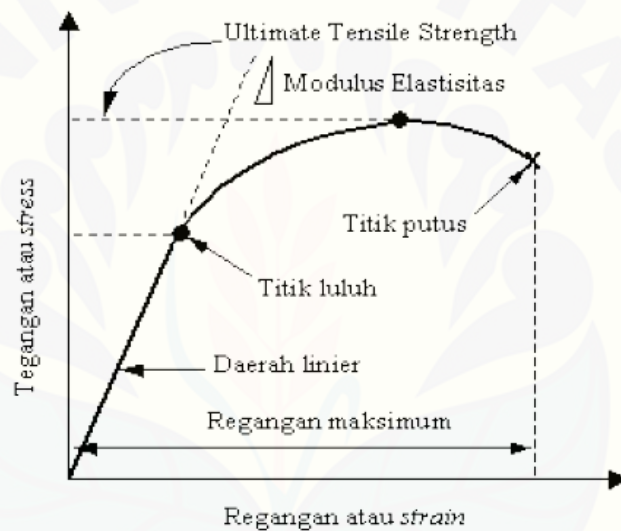
Keterangan:

ε = Regangan (%)

l = Panjang setelah dibebani (m)

l_0 = Panjang awal (m)

Hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang, dapat menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Seperti yang ditunjukkan gambar 2.4 yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah gradien kurva dalam daerah linear, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*”.



Gambar 2.4 Kurva standar hubungan antara tegangan dan regangan (Sumber: Sastranegara,2009).

Pada saat perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap, bahan dikatakan masih dalam keadaan elastis, namun saat perbandingan tegangan dan regangan berubah (tidak linier), bahan ada pada keadaan plastis. Apabila dari uji tarik suatu bahan diperoleh kurva dimana batas antara perubahan daerah elastis ke daerah plastis tidak jelas titik luluhnya, maka untuk mengetahui nilai titik luluh bahan dilakukan dengan menggunakan metode *offset*. Metode ini dilakukan dengan cara menarik garis lurus, yang sejajar dengan garis miring pada daerah elastis dari titik 0.2 % pada sumbu x (regangan) hingga memotong kurva tegangan-regangan.

Titik yang diperoleh dari perpotongan tersebut merupakan nilai yang nantinya digunakan untuk menentukan nilai modulus elastisitas (Porwanto,2010).

Besarnya modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Young dan Freedman, 2002):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

Keterangan,

E = Modulus Elastisitas (N/mm²)

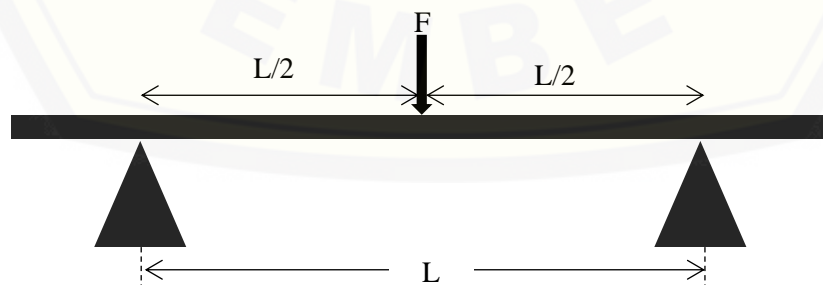
σ = Tegangan (N/mm²)

ε = Regangan (%)

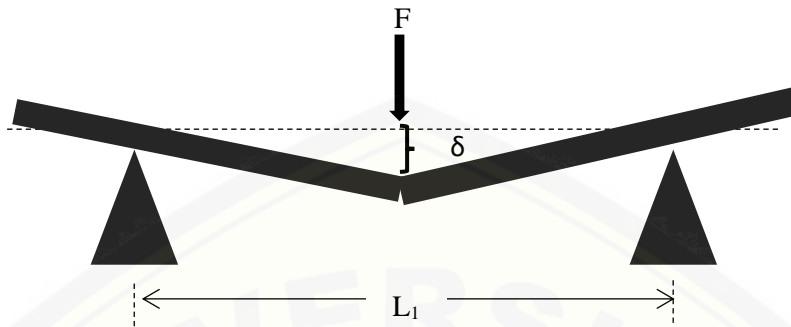
2.6.2 Uji kekuatan bending atau lentur

Menurut Oroh *et al.* (2013), pengujian kekuatan lentur/bending dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan komposit terhadap pembebanan pada titik lentur bahan. Di samping itu pengujian ini juga dapat dimaksudkan untuk mengetahui modulus bending/lentur suatu bahan. Pada pengujian ini terhadap bahan uji diberikan gaya luar atau pembebanan dengan arah tegak lurus terhadap arah bahan.

Ada 2 (dua) metode untuk melakukan uji kekuatan bending, yaitu metode 4 (empat) titik dan metode (3) tiga titik. Dalam penelitian ini, uji kekuatan bending bahan dilakukan dengan menggunakan metode 3 (tiga) titik seperti ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema uji bending sebelum diberi pembebanan/gaya tekan



Gambar 2.6 Skema uji bending setelah diberi pembebanan/gaya tekan

Cara untuk mengetahui kuat lentur ini dengan memberikan pembebanan tegak lurus terhadap sampel, seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.5). L merupakan jarak dua buah tumpuan yang diletakkan di bawah spesimen batang uji, sedangkan $L/2$ merupakan jarak titik tengah tumpuan. Jika di titik tengah bahan uji tersebut bekerja gaya luar (F) dengan laju pertambahan konstan maka bahan uji akan mengalami defleksi δ (Gambar 2.6). Dalam hal ini dikarenakan bagian atas bahan uji yang menerima gaya akan mendapatkan tekanan dan bagian tengah bahan uji akan mengalami gaya tarik sehingga bahan uji pada akhirnya mengalami deformasi yaitu patah (Rahman *et al.*, 2008).

Kekuatan bending/lentur bahan uji dapat ditentukan dengan pengujian tegangan lentur maksimum atau *modulus of repture* (MOR). Berdasarkan data hasil uji bending/lentur dapat ditentukan nilai kekuatan bending/lentur bahan dengan menggunakan persamaan matematis yang diturunkan dengan cara berikut.

Momen yang terjadi pada komposit dapat dihitung dengan persamaan:

$$M = \frac{FL}{2} \quad (2.5)$$

Menentukan tegangan bending menggunakan persamaan,

$$\sigma_b = \frac{MY}{I} \quad (2.6)$$

$$\sigma_b = \frac{\frac{FL}{2} \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} bd^3} \quad (2.7)$$

$$\sigma_b = \frac{\frac{1}{8} FLd}{\frac{1}{12} bd^3} \quad (2.8)$$

$$\sigma_b = \frac{\frac{1}{8} FL}{\frac{1}{12} bd} \quad (2.9)$$

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.10)$$

Keterangan:

σ = Kekuatan Bending (MPa)

F = Gaya (N)

L = Jarak antar tumpuan (m)

b = Lebar sampel (m)

d = Tebal sampel (m)

Modulus bending digunakan untuk mengetahui kemampuan bahan didalam menahan beban, ditentukan nilai modulus bendingnya E_b . Nilai modulus bending E_b bahan komposit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10 (Bucciarelli, 2009)

$$E_b = \frac{FL^3}{4bd^3\delta} \quad (2.11)$$

Keterangan,

E_b = Modulus bending (MPa)

F = Gaya (N)

b = Lebar batang uji (mm)

d = Tebal batang uji (mm)

L = Jarak antar penumpu (mm)

δ = defleksi (mm)

2.7 Pengaruh Temperatur Sintesis Terhadap Karakteristik Bahan Komposit

Nugroho (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur pengepresan terhadap kekuatan tarik pada bahan komposit polipropilen kenaf. Polipropilen membutuhkan temperatur cukup tinggi untuk dapat mencair. Pada saat wujud cair, polipropilen dapat dicetak dengan penguat sehingga terbentuk bahan komposit. Pada penelitian tersebut, variasi temperatur pengepresan yang digunakan adalah sebesar 165°C, 170°C, 180°C, 190°C, dan 200°C. Nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan sampai pada temperatur 180°C dan mengalami penurunan setelah temperatur tersebut. Kekuatan tarik dan bending maksimal diperoleh pada temperatur pengepressan 180°C yaitu sebesar 33,43 MPa dan 23,99 MPa.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan meliputi dua tahapan kegiatan yaitu tahap pembuatan bahan komposit *binderless* dan tahap pelaksanaan uji mekanik yang meliputi uji tarik dan bending bahan komposit *binderless*. Berikut adalah tempat dilaksanakannya penelitian:

1. Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember untuk pembuatan bahan komposit *binderless* dengan bahan dasar ampas tebu.
2. Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya untuk uji tarik dan bending bahan komposit *binderless*

3.1.2 Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret –Mei 2017.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Neraca Ohaus, digunakan untuk menimbang massa ampas tebu yang akan dibuat sampel
2. Ayakan, digunakan untuk memisahkan ampas tebu yang sangat kasar dengan ampas tebu yg halus (berukuran kecil).
3. Termometer digunakan untuk mengukur temperatur pada sintesis.
4. *Hot Press Machine* digunakan untuk pengepresan bahan komposit *binderless*.
5. Mesin Uji Shimadzu AG-X 5 KN, digunakan untuk melakukan uji tarik dan bending pada bahan komposit *binderless* hasil sintesis.

3.2.3 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah ampas tebu. Komposit yang dibuat adalah komposit *binderless* maka, bahan yang digunakan adalah ampas tebu saja.

3.3 Rancangan Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yang meliputi persiapan alat dan bahan, tahap pembuatan bahan komposit, tahap pengujian bahan komposit, tahap pengolahan dan analisis data, dan bagian yang terakhir adalah membuat kesimpulan terhadap hasil dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan. Selain itu juga perlu dilakukan studi literatur/pustaka untuk mengetahui kemungkinan masalah yang akan dihadapi dan menyusun rencana kerja penelitian. Rancangan kegiatan penelitian ini bisa digambarkan dengan diagram alir penelitian pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Prosedur Pembuatan Bahan Komposit Ampas Tebu

3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

Ampas Tebu yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari PT Perkebunan Nusantara XI (Persero) PG Djatiroto. Ampas Tebu yang telah didapat kemudian dijemur hingga kering. Ampas tebu yang sudah kering kemudian diayak untuk memisahkan ampas tebu yang sangat kasar dengan ampas tebu yang halus (berukuran kecil). Hal ini bertujuan agar didapatkan ampas tebu ukurannya sama.

3.4.2 Sintesis Bahan Komposit *Binderless*

Sintesis bahan komposit *binderless* dilakukan dengan memvariasi temperatur saat sintesis dilakukan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam sintesis bahan komposit *binderless* diuraikan sebagai berikut:

1. Menimbang serat ampas tebu sebanyak 5 gram;
2. Memasukkan ampas tebu ke dalam cetakan yang telah disediakan;
3. Menempatkan cetakan pada alat *Hot Press Machine*;
4. Menghidupkan alat pemanas pada *Hot Press Machine*;
5. Melakukan pengepresan, setelah mencapai temperatur 80°C dan membiarkannya selama 10 menit;
6. Mengeluarkan cetakan dari alat *Hot Press Machine* dan menurunkan temperatur sampai mencapai temperatur ruang;
7. Mengeluarkan bahan komposit *binderless* dari cetakan dan diperoleh bahan komposit *binderless* tersebut;
8. Mengulangi langkah 1-7 untuk temperatur pengepresan 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C. Untuk keperluan uji tarik dan bending, setiap perlakuan sintesis dibuat sebanyak 3 buah komposit *binderless*.

3.5 Karakterisasi Bahan Komposit *Binderless*

3.5.1 Uji Tarik

Karakterisasi bahan komposit *binderless* dilakukan dengan melakukan uji tarik. Pengambilan data dilakukan dengan pengujian tarik menggunakan mesin uji

Shimadzu AG-X 5 KN. Langkah – langkah dalam melakukan uji tarik adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji;
2. Mengukur lebar (b) dan tebal (d) spesimen uji;
3. Meletakkan spesimen uji pada kedua penjepit (jarak antara kedua penjepit 3cm) dan menguncinya;
4. Menarik spesimen uji sampe patah;
5. Melepaskan spesimen uji dari penjepit;
6. Mencatat data hasil pengujian;
7. Mengulangi langkah 1-6 untuk masing-masing spesimen uji.

3.5.2 Uji Bending

Karakterisasi uji bending dilakukan dengan menggunakan mesin uji Shimadzu AG-X 5 KN. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian bending adalah sebagai berikut:

1. Bahan uji disiapkan.
2. Lebar (b) dan tebal (d) bahan uji diukur dengan menggunakan jangka sorong.
3. Titik tumpu dan titik tengah bahan uji ditentukan dengan memberi tanda garis, jarak antara titik tumpu yang digunakan 5 cm.
4. Spesimen bahan uji diletakkan di atas dua buah tumpuan yang berada pada mesin uji bending, tepat di tengah tumpuan diberi gaya sampai terjadi defleksi atau kegagalan pada bahan uji.
5. Bahan uji dilepas dari tumpuan.
6. Mencatat data hasil pengujian spesimen
7. Langkah 1-6 diulangi untuk semua bahan uji.

3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik berupa gaya (F) dan pertambahan panjang (Δl) digunakan untuk menentukan kekuatan tarik dengan persamaan (2.2) dan modulus elastisitas dengan persamaan (2.4). Sementara itu pada uji bending

diperoleh data berupa gaya (F) dan defleksi (δ). Data tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kekuatan bending dengan persamaan (2.10) dan modulus bending dengan persamaan (2.11). Berdasarkan nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, kekuatan bending dan modulus bending kemudian dibuat histogram hubungan antara kekuatan tarik, modulus elastisitas, kekuatan bending dan modulus bending dengan temperatur sintesis.

Pada penelitian ini dilakukan tiga kali pengulangan untuk setiap variasi temperatur sintesis. Berdasarkan hasil pengulangan tersebut diperoleh tiga nilai kekuatan tarik dan tiga kesalahan pengukuran. Hasil gabungan antara nilai kekuatan tarik dan kesalahan pengukuran dari tiga spesimen pada setiap variasi temperatur sintesis diperoleh dengan menggunakan metode *least error*. Metode *least error* adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai gabungan lebih dari satu percobaan yang memiliki parameter ukur yang sama, tetapi nilai kesalahan pengukurannya berbeda (Barford, 1967). Berikut adalah persamaan dengan menggunakan metode least error

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\Delta\sigma_i^{-2})} \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_i}{\Delta\sigma_i^2} \right) \right) \quad (3.1)$$

$$\Delta\sigma = \sqrt{\frac{\Delta\sigma_1^2 \cdot \Delta\sigma_2^2 \cdot \Delta\sigma_3^2}{\Delta\sigma_1^2 \cdot \Delta\sigma_2^2 + \Delta\sigma_1^2 \cdot \Delta\sigma_3^2 + \Delta\sigma_2^2 \cdot \Delta\sigma_3^2}} \quad (3.2)$$

Keterangan : $\bar{\sigma}$: Kekuatan tarik bahan komposit binderless pada setiap variasi temperatur sintesis

σ_i : Nilai kekuatan tarik ke $-i$ (MPa), dengan $i=1,2,3$

$\Delta\sigma_i$: Kesalahan pengukuran kekuatan tarik ke $-i$ (MPa)

$\Delta\sigma$: Kesalahan pengukuran kekuatan tarik (MPa)

Selain itu juga ditentukan nilai modulus elastisitas untuk setiap variasi temperatur sintesis. Modulus elastisitas dapat diperoleh dengan menggunakan metode *offset*. Metode *offset* dilakukan untuk menentukan titik luluh berupa data tegangan dan regangan luluh, berdasarkan grafik hubungan tegangan regangan.

Metode *offset* diawali dengan membuat garis linier yang berada di daerah elastis dari bahan komposit. Garis linier yang diperoleh selanjutnya digeser hingga berada pada posisi 0.2% nilai regangan (sumbu x) perpanjangan garis ini akan memotong kurva tegangan regangan di titik luluh. Nilai titik luluh inilah yang akan digunakan untuk menentukan modulus elastisitas bahan komposit dengan menggunakan persamaan (2.4). Oleh karena terdapat 3 data modulus elastisitas yang mewakili data pengukura dari 3 spesimen untuk setiap variasi, maka hasil pengukuran terbaik diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\bar{E} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i^{-2})} \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{\Delta E_i^2} \right) \right) \quad (3.3)$$

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\Delta E_1^2 \cdot \Delta E_2^2 \cdot \Delta E_3^2}{\Delta E_1^2 \cdot \Delta E_2^2 + \Delta E_1^2 \cdot \Delta E_3^2 + \Delta E_2^2 \cdot \Delta E_3^2}} \quad (3.4)$$

Keterangan : \bar{E} : Modulus elastisitas bahan komposit binderless pada setiap variasi temperatur sintesis.

E_i : Nilai modulus elastisitas ke -i

ΔE_i : Kesalahan pengukuran modulus elastisitas ke -i (MPa)

ΔE : Kesalahan pengukuran modulus elastisitas (MPa)

Selain penghitungan kekuatan tarik, dilakukan juga penghitungan nilai kekuatan bending pada bahan komposit *binderless* untuk setiap variasi temperatur sintesis. Pada penelitian uji bending tersebut dilakukan tiga kali pengulangan, sehingga nilai kekuatan bending dan kesalahan pengukuran yang didapatkan juga memiliki nilai yang berbeda untuk setiap pengulangannya. Untuk mengetahui nilai kekuatan bending dari hasil pengulangan tersebut digunakan metode *least error* seperti berikut.

$$\bar{\sigma}_b = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\Delta \sigma_{b_i}^{-2})} \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_{b_i}}{\Delta \sigma_{b_i}^2} \right) \right) \quad (3.5)$$

$$\Delta \bar{\sigma}_b = \sqrt{\frac{\Delta \sigma_{b_1}^2 \cdot \Delta \sigma_{b_2}^2 \cdot \Delta \sigma_{b_3}^2}{\Delta \sigma_{b_1}^2 \cdot \Delta \sigma_{b_2}^2 + \Delta \sigma_{b_1}^2 \cdot \Delta \sigma_{b_3}^2 + \Delta \sigma_{b_2}^2 \cdot \Delta \sigma_{b_3}^2}} \quad (3.6)$$

Keterangan : $\bar{\sigma}_b$: Kekuatan bending bahan komposit binderless pada setiap variasi temperatur sintesis (MPa)

σ_{bi} : Nilai kekuatan bending ke -i (MPa), dengan $i=1,2,3$

$\Delta\sigma_{bi}$: Kesalahan pengukuran kekuatan bending ke -i (MPa)

$\Delta\bar{\sigma}_b$: Kesalahan pengukuran kekuatan bending (MPa)

Kemudian untuk menentukan nilai modulus bending dan kesalahan pengukuran pada setiap variasi temperatur sintesis diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\bar{E}_b = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\Delta E_{bi}^{-2})} \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_{bi}}{\Delta E_{bi}^2} \right) \right) \quad (3.7)$$

$$\Delta \bar{E}_b = \sqrt{\frac{\Delta E_{b1}^2 \cdot \Delta E_{b2}^2 \cdot \Delta E_{b3}^2}{\Delta E_{b1}^2 \cdot \Delta E_{b2}^2 + \Delta E_{b1}^2 \cdot \Delta E_{b3}^2 + \Delta E_{b2}^2 \cdot \Delta E_{b3}^2}} \quad (3.8)$$

Keterangan : \bar{E}_b : Modulus bending bahan komposit binderless pada setiap variasi temperatur sintesis

E_b : Nilai modulus bending ke -i

ΔE_{bi} : Kesalahan pengukuran modulus bending ke -i (MPa)

ΔE_b : Kesalahan pengukuran modulus bending (MPa)

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh temperatur sintesis terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas bahan komposit *binderless* berbahan ampas tebu. Nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan mulai dari temperatur sintesis 80°C - 90°C. Di atas 100°C, nilai kekuatan tarik mengalami penurunan secara signifikan. Hal yang sama juga terjadi pada nilai modulus elastisitas. Nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada bahan komposit yang masing-masing disintesis pada temperatur 90°C dan 100°C, yaitu sebesar 8,01 MPa dan 1076,75 MPa. Adapun nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas terendah terdapat pada bahan komposit dengan temperatur sintesis 80°C, yaitu sebesar 2,84 MPa dan 281,74 MPa.
2. Temperatur sintesis berpengaruh terhadap kekuatan bending dan modulus bending dari bahan komposit *binderless* berbahan ampas tebu. Nilai kekuatan bending mengalami peningkatan mulai dari temperatur sintesis 80°C - 100°C. Adapun bahan komposit yang disintesis > 100°C, mengalami penurunan kekuatan bending. Hal yang sama juga terjadi pada nilai modulus bending. Nilai kekuatan bending dan modulus bending tertinggi terdapat pada bahan yang disintesis pada temperatur 100°C, masing-masing sebesar 5,09 MPa dan 186,32 MPa. Sedangkan nilai kekuatan bending dan modulus bending terendah dimiliki oleh bahan komposit *binderless* yang masing-masing disintesis pada temperatur 120°C dan 90°C, yaitu sebesar 3,82 MPa dan 132,57 MPa.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kekuatan bending, kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan modulus bending dari bahan komposit *binderless* berbahan dasar ampas tebu, pada saat disintesis di berbagai variasi tekanan pengepresan. Hal ini dapat dipahami mengingat keadaan sintesis bahan dapat memberikan hasil fabrikasi bahan komposit dengan karakteristik mekanik yang berbeda, seperti yang diperoleh dari hasil penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Angles, M.N., Reguant, J., Montane, D., Ferrando, F., Farriol, X., dan Salvado, J., 1999, Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood, *J. Applied of Polymer Science* 73:2485-2491 Catalunya: Universitas Rovira i Virgili
- Bifel Rafael D.N., Maliwemu E.U.K., dan Adoe D.G.H. 2015. Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester. *Jurnal Teknik Mesin Undana*.
- Bucciarelli, C L 2009. *Engineering Mechanics For Structure*. New York Library of Congress Cataloging.
- Kartini, R., Dharmasetiawan, H., Karo. A K., dan Sudirman. 2002. Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam. *Jurnal Sains Materi Indonesia. Vol 3, No 3, Juni 2002*.
- Magrissa Rifani 2015. *Karakteristik Mekanik*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang : Padang
- Malau, K M. 2009. *Pemanfaatan Ampas tebu sebagai Bahan Baku dalam Pembuatan Papan Partikel*. USU : Departemen Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian USU.
- Nayiroh, N. 2013. *Teknologi Material Komposit*. nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/.../Material-Komposit.pdf [Diakses pada 28 Februari 2017].
- Nugroho Panca S.A. 2013 *Pengaruh Variasi Suhu Pengepresan Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polipropilen Kenaf (Kenaf PP)*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Nurudin, A., Sonief. A A., dan Atmodjo, W Y. 2011. Karakterisasi Kekuatan Mekanik Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*)

Kontinyu Laminat dengan Perlakuan Alkali Bermatriks Poliester. *Jurnal Rekayasa Mesin. Vol 2 No 3.*

Okamoto, H., Sano, S., Kawai, S., Okamoto, T. dan Sasaki, H. 1994. Production of Dimensionally Stable Medium Density Fiberboard by Use of High-pressure Steam Pressing. (*J Jpn Wood Res Soc*) 40: 380-389

Okuda, N. dan Sato M. 2004. Manufacture and Mechanical Properties of Binderless Boards from Kenaf Core. *J Wood Sci* 50:53-61

Oroh, J., Sappu, F P., Lumintang, R. 2013. *Analisis Sifat Mekanik Material Komposit dari Serat Sabut Kelapa*. Manado : Fakultas Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi.

Porwanto D.A, M. dan Lizda Johar. 2010. *Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

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 Teknika, 14 (2) : 133-138.

Sastranegara, A. 2009. *Mengenal Uji Tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam*. <http://www.infomatrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam> [27 Februari 2017].

Schwartz, M. 1984. *Composite Materials Handbook*. Mc.Graw-Hill Inc New York.

Shabiri, A N., Ritonga, R S., dan Ginting, M H S. 2014. *Pengaruh Epoksi / Ampas Tebu dan Perlakuan Alkali Ampas Tebu terhadap Kekuatan Bentur Komposit Partikel Epoksi Berpengisi Serat Ampas Tebu*. *Jurnal Teknik Kimia USU Vol 3 No 3.*

Shen, K C. 1986. *Process for Manufacturing Composite Products from Lignocellulosic Material*. United States Patent :4627951.

- Siregar M.R., Hendrawan Y., dan Nugroho W.A. 2014. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Lama Waktu Pemanasan *Microwave* Dalam Proses *Pretreatment* Terhadap Kadar Lignoselulosa *Chlorella vulgaris*. *Jurnal Teknologi Pertanian Vol.15 No.2*. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya : Malang
- Vlack, V. L. H. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*, terjemahan ; Dr. Ir. Sriati Djaprie, Edisi Kelima. Jakarta : Erlangga.
- Widyorini, R. 2009. Pengaruh Metode Pengempaan dan Ukuran Partikel terhadap Sifat Fisik Mekanik Binderlessboard dari Kenaf Inti. *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII*.
- Widyorini, R., Higashihara, T., Xu, J., Watanabe, T. dan Kawai, S., 2005, "Self-bonding Characteristics of Binderless Kenaf Core Composites, *Wood Sci Technol* 39(8): 651-662
- Xu Jianying, Widyorini R., Yamauchi H., dan Kawai Shuichi. 2006. Development of Binderless Fiberboard From Kenaf Core. *J Wood Sci* 52(3) 236-243.
- Young, H D dan Freedman, T R. 2002. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Yudo, H dan Jatmiko, S. 2008. *Analisis Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau dari Kekuatan tarik dan Impak*. KAPAL, 5 (2).
- Yuniarto, P F. 2012. *Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Karakteristik Mekanik Komposit HDPE-Sampah Organik*. Surakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS.

LAMPIRAN**A. DIMENSI BAHAN KOMPOSIT *BINDERLESS*****A1. Dimensi bahan uji tarik**

Temperatur (°C)	Spesimen	Dimensi Bahan Uji		
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal(mm)
80	1	30,00	10,10	5,00
	2	30,00	10,00	6,40
	3	30,00	10,30	6,20
90	1	30,00	10,75	6,35
	2	30,00	10,09	4,00
	3	30,00	10,09	5,00
100	1	30,00	10,00	5,30
	2	30,00	10,00	6,25
	3	30,00	10,90	5,15
110	1	30,00	10,00	4,90
	2	30,00	10,60	5,15
	3	30,00	10,90	5,10
120	1	30,00	10,75	5,65
	2	30,00	10,75	5,75
	3	30,00	10,90	5,05

A2. Dimensi bahan uji bending

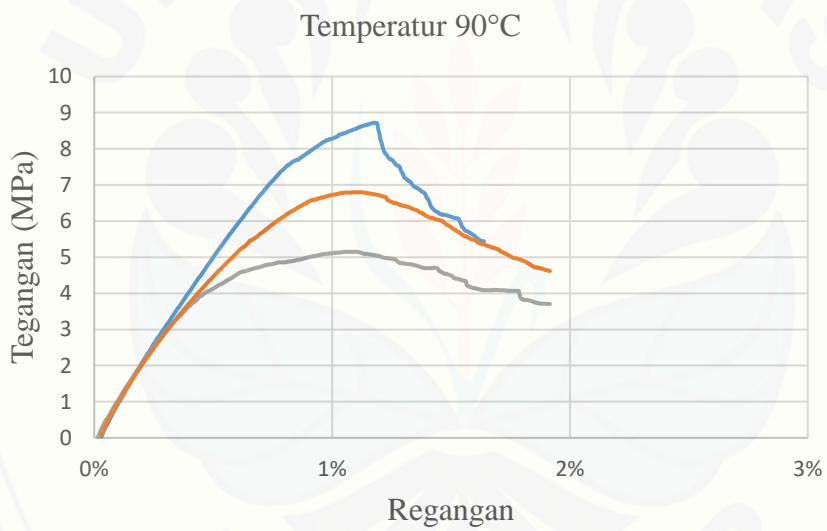
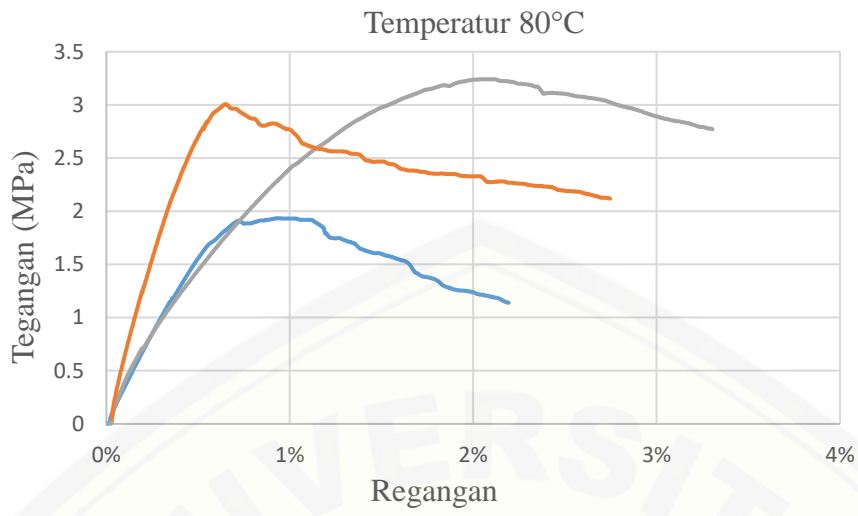
Temperatur (°C)	Spesimen	Dimensi Bahan Uji		
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal(mm)
80	1	50,00	10,70	7,10
	2	50,00	10,70	6,90
	3	50,00	10,70	6,90
90	1	50,00	10,80	7,00
	2	50,00	10,70	7,00
	3	50,00	10,60	6,90
100	1	50,00	10,90	6,90
	2	50,00	10,80	6,80
	3	50,00	10,60	7,00
110	1	50,00	10,90	6,90
	2	50,00	10,80	7,00
	3	50,00	10,60	6,90
120	1	50,00	10,70	6,70
	2	50,00	10,70	7,00
	3	50,00	10,80	7,00

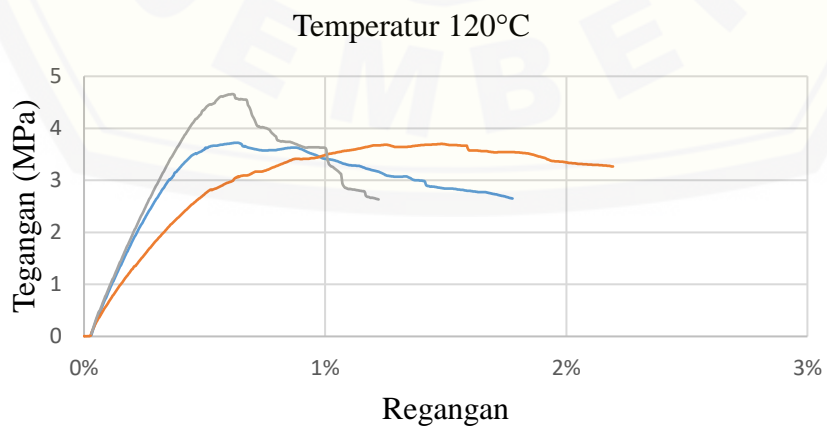
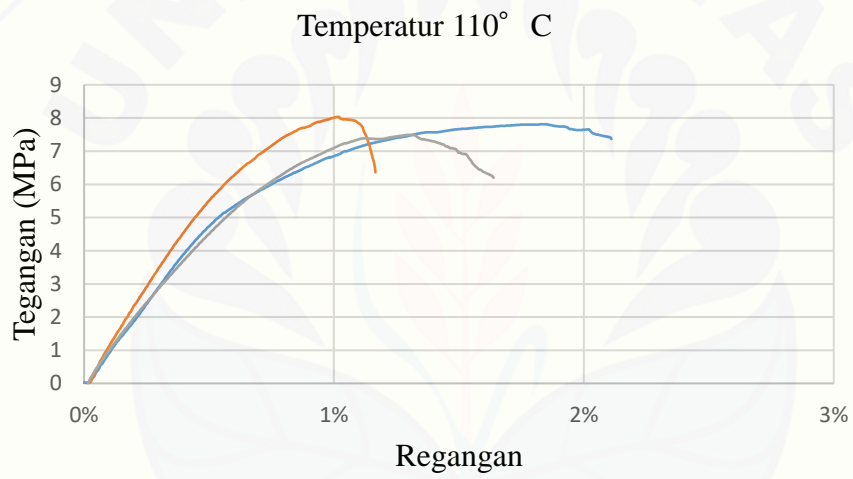
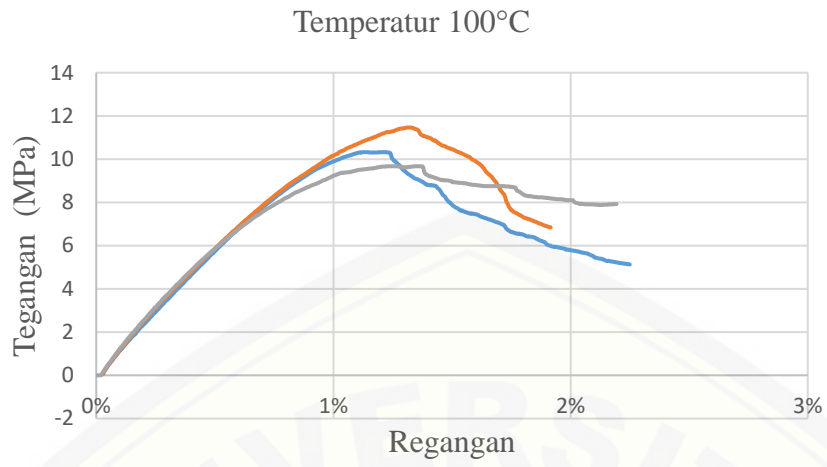
B. HASIL UJI TARIK BAHAN KOMPOSIT *BINDERLESS***B1. Kekuatan tarik bahan komposit *binderless* hasil sintesis**

Temperatur (°C)	Spesimen	F(N)	fk	σ' (MPa)	σ (MPa)	$\bar{\sigma}$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	$\Delta\bar{\sigma}$ (MPa)
80	1	96,68	1,01	1,91	1,93		0,39	
	2	162,09	1,28	2,53	3,24		0,31	
	3	150,37	1,28	2,35	3,01	2,84	0,31	0,19
90	1	435,92	1,37	6,39	8,72		0,29	
	2	257,57	1,24	6,38	7,91		0,50	
	3	339,75	1,01	6,73	6,79	8,01	0,40	0,22
100	1	516,14	1,06	9,74	9,19		0,38	
	2	573,24	1,25	9,17	7,34		0,32	
	3	483,83	1,12	8,62	7,68	7,97	0,36	0,21
110	1	390,63	1,02	7,97	7,81		0,41	
	2	401,63	1,09	7,36	6,74		0,37	
	3	374,53	1,11	6,74	6,06	6,79	0,36	0,22
120	1	186,17	1,21	3,07	2,52		0,33	
	2	185,09	1,24	2,99	2,42		0,32	
	3	232,90	1,10	4,23	3,84	2,87	0,36	0,20

B2. Modulus Elastisitas Bahan Komposit *Binderless* Hasil Sintesis

Temperatur (°C)	Spesimen	σ_l (MPa)	σ_1 (MPa)	E (MPa)	\bar{E} (MPa)	ΔE (MPa)
80	1	1,702	0,0056	299,647	281,74	24,40
	2	1,635	0,0058	278,044		
	3	2,781	0,0053	519,644		
90	1	7,441	0,0794	93,421	510,56	9,37
	2	4,359	0,0055	779,931		
	3	5,493	0,0066	832,386		
100	1	7,945	0,0072	1101,038	1076,75	10,87
	2	9,460	0,0089	1051,817		
	3	7,548	0,0069	1087,406		
110	1	4,716	0,0685	69,355	327,83	46,86
	2	6,603	0,0064	1017,565		
	3	5,763	0,0068	837,703		
120	1	3,473	0,0044	789,4318	571,92	129,89
	2	2,608	0,0046	559,656		
	3	3,897	0,0042	923,990		





C. HASIL UJI BENDING BAHAN KOMPOSIT *BINDERLESS*

Temperatur (°C)	Spesimen	F (N)	δ (mm)	σ_b (Mpa)	$\bar{\sigma}_b$ (Mpa)	$\Delta\bar{\sigma}_b$	E_b (Mpa)	\bar{E}_b (Mpa)	ΔE_b
80	1	26,216	1,631	4,012			146,431		
	2	25,485	1,535	3,608	3,911	0,06	143,975	152,567	7,504
	3	28,982	1,102	4,104			228,094		
90	1	32,624	2,202	4,281			115,713		
	2	30,141	1,538	4,029	4,178	0,06	155,857	132,573	8,498
	3	29,511	1,418	4,258			183,843		
100	1	23,159	1,718	3,161			112,637		
	2	39,876	1,232	6,103	5,089	0,31	300,775	186,324	18,221
	3	44,661	1,385	6,083			261,347		
110	1	31,041	1,482	4,235			175,061		
	2	32,731	1,768	4,296	4,257	0,06	144,571	137,621	6,291
	3	29,315	2,088	4,231			124,052		
120	1	33,491	2,105	5,334			164,614		
	2	26,435	1,455	3,469	3,822	0,19	141,858	144,001	10,133
	3	22,347	1,495	2,932			116,711		

D. PERHITUNGAN DATA HASIL PENELITIAN

D1. Menentukan faktor koreksi

Faktor koreksi pada penelitian ini digunakan untuk menyelaraskan luas penampang spesimen uji, karena dalam pembuatan spesimen ditemui kesulitan untuk mendapatkan lebar dan tebal spesimen uji yang selaras. Penggunaan faktor koreksi dipakai dalam perhitungan nilai kekuatan tarik, bending dan modulus bending.

a. Nilai Kekuatan tarik

Rumus:

$$\sigma' = \frac{F}{A'} = \frac{F}{b'd'} = \frac{F}{x}$$

Keterangan :

$x = A' = (b'd')$ acuan ; $b' = 10$ mm dan $d' = 5$ mm

$y = A = bd$

a = faktor koreksi

σ' = kekuatan tarik tanpa faktor koreksi

σ = kekuatan tarik dengan faktor koreksi

Ada dua kemungkinan : jika $x > y$ maka nilai faktor koreksi $a = x/y$

jika $y > x$ maka nilai faktor koreksi $a = y/x$

Contoh :

Temperatur (°C)	Spesimen	F (N)	Dimensi spesimen uji			A (mm ²)	σ'
			L (mm)	b (mm)	d (mm)		
80	1	96,68	30	10,10	5,00	50,50	1,91
	2	162,09	30	10,00	6,40	64,00	2,53
	3	150,37	30	10,30	6,20	63,86	2,35

Terlihat dimensi bahan berbeda, diambil contoh pada spesimen 1 maka diperlukan faktor koreksi untuk menyelaraskan. Faktor koreksi adalah sebagai berikut

$$a = \frac{y}{x} = \frac{50,50}{50} = 1,01$$

Untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dengan faktor koreksi

$$\sigma = \sigma' a = (1,91 \text{ MPa})(1,01) = 1,93 \text{ MPa}$$

a. Nilai Kekuatan bending

$$\sigma'_b = \frac{3FL}{2b'd'^2} = \frac{3FL}{2x}$$

Keterangan:

$x = A' = (b'd'^2)$ acuan; $b' = 10 \text{ mm}$ dan $d' = 5 \text{ mm}$

$$y = A = bd^2$$

a = faktor koreksi

σ'_b = kekuatan bending tanpa faktor koreksi

σ_b = kekuatan bending dengan faktor koreksi

Ada dua kemungkinan : jika $x > y$ maka nilai faktor koreksi $a = x/y$

jika $y > x$ maka nilai faktor koreksi $a = y/x$

Contoh :

Temperatur (°C)	Spesimen	F (N)	Dimensi spesimen uji			bd^2 (mm ³)	σ_b (MPa)
			L (mm)	b (mm)	d (mm)		
80	1	26,21	50	10,7	7,1	539,38	4,01
	2	25,48	50	10,7	6,9	509,42	3,60
	3	28,98	50	10,7	6,9	509,42	4,10

b. Nilai Modulus Bending (E_b)

$$E'_b = \frac{FL^3}{4b'd'^3\delta} = \frac{FL^3}{4\delta x}$$

Keterangan:

$x = A' = (b'd'^3)$ acuan; $b' = 10 \text{ mm}$ dan $d' = 5 \text{ mm}$

$$y = A = bd^3$$

a = faktor koreksi

σ'_b = kekuatan bending tanpa faktor koreksi

σ = kekuatan bending dengan faktor koreksi

Ada dua kemungkinan : jika $x > y$ maka nilai faktor koreksi $a = x/y$

jika $y < x$ maka nilai faktor koreksi $a = y/x$

Contoh :

Temperatur (°C)	Spesimen	F (N)	Dimensi spesimen uji			bd^3 (mm ⁴)	E_b (MPa)
			L (mm)	b (mm)	d (mm)		
80	1	26,21	50	10,7	7,1	3829,64	146,43
	2	25,48	50	10,7	6,9	3515,04	143,97
	3	28,98	50	10,7	6,9	3515,04	228,09

D2. Menentukan Kesalahan Hasil Pengukuran

a. Ralat asal gabungan kekuatan tarik

$$\Delta\sigma_i = \sqrt{\left(\frac{\partial\sigma_i}{\partial F}\right)^2 (\Delta F)^2 + \left(\frac{\partial\sigma_i}{\partial b}\right)^2 (0,68 \Delta b)^2 + \left(\frac{\partial\sigma_i}{\partial d}\right)^2 (0,68 \Delta d)^2}$$

Dimana:

$$\Delta F = \sqrt{\frac{\sum(F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}}; \quad \Delta b = \Delta d = \frac{1}{2} nst = 0,05$$

$$\frac{\partial\sigma_i}{\partial F} = \frac{1}{bd}; \quad \frac{\partial\sigma_i}{\partial b} = -\frac{F}{b^2d}; \quad \frac{\partial\sigma_i}{\partial d} = -\frac{F}{bd^2}$$

Contoh formula pada spreadsheet:

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
1	F rata2	(F _i -F) ²	Σ(F _i -F) ² ΔF ²	(∂σ/∂F) ²	(∂σ/∂b) ²	(0,68 Δb)	(∂σ/∂d) ²	(0,68 Δd)	Δσ	Δf (%)		
2		136.38	1575.77	2432.33	405.3888	0.00039212	0.03593075	0.001156	0.146611834	0.001156	0.398963	20.63273
3			660.90			0.00024414	0.064140311		0.156592556		0.315003	9.717164
4			195.66			0.00024521	0.052259712		0.144230825		0.315648	10.49598

b. Ralat asal gabungan modulus elastisitas

$$\Delta E_i = \sqrt{\left(\frac{\partial E_i}{\partial F}\right)^2 (\Delta F)^2 + \left(\frac{\partial E_i}{\partial b}\right)^2 (0,68 \Delta b)^2 + \left(\frac{\partial E_i}{\partial d}\right)^2 (0,68 \Delta d)^2 + \left(\frac{\partial E_i}{\partial l}\right)^2 (0,68 \Delta l)^2 + \left(\frac{\partial E_i}{\partial(L-l)}\right)^2 (0,68 \Delta(L-l))^2}$$

Dimana

$$\Delta F = \sqrt{\frac{\sum(F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta(L-l) = \sqrt{\frac{\sum((L-l) - \overline{(L-l)})^2}{n(n-1)}}; \quad \Delta b = \Delta d = \frac{1}{2} nst = 0,05$$

$$\frac{\partial E_i}{\partial F} = \frac{1}{bd(L-l)}; \quad \frac{\partial E_i}{\partial b} = -\frac{F}{b^2d(L-l)}; \quad \frac{\partial E_i}{\partial d} = -\frac{F}{bd^2(L-l)}$$

$$\frac{\partial E_i}{\partial l} = \frac{F}{bd(L-l)}; \quad \frac{\partial E_i}{\partial(L-l)} = -\frac{Fl}{bd(L-l)^2}$$

Contoh formula pada spreadsheet:

	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1	ΔL rata	(Δli-l rat)^2	Σ(Δli-l rat)^2	Δ(Δl)	ΔE	ΔE ^ -2	ΔE^2	E rata	ΔE rata	ΔE rata (%)	
2	0.37	0.00795218	0.108365611	0.018061	97,43465	0.000105	9493.51	281.7385	24.40247	8.661392	8.66%
3		0.06978843			25.33699	0.001558	641.9633				
4		0.030625			248.0007	1.63E-05	61504.37				
5											

c. Ralat asal gabungan kekuatan bending

$$\Delta \sigma_{b_i} = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial F}\right)^2 (\Delta F)^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial L}\right)^2 (0,68 \Delta L)^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial b}\right)^2 (0,68 \Delta b)^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial d}\right)^2 (0,68 \Delta d)^2}$$

Dimana

$$\Delta F = \sqrt{\frac{\sum(F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}}; \quad \Delta L = \Delta b = \Delta d = \frac{1}{2} nst = 0,05$$

$$\frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial F} = \frac{3L}{2bd^2}; \quad \frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial L} = \frac{3F}{2bd^2}; \quad \frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial b} = -\frac{3FL}{2b^2d^2}; \quad \frac{\partial \sigma_{b_i}}{\partial d} = -\frac{6FL}{2bd^3}$$

Contoh formula pada spreadsheet:

G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Tebal (mm)	Δd	F (N)	ΔF	δ	Δδ	x (bd ²) acuan	y (bd ²)	FK	kekuatan bending	FK kekuatan bending	Δσ
7.1		26.21636		1.63115		490	539.387	1.10079	3.645299201	4.012708163	0.111004
6.9	0.05	25.48538	0.753005	1.535625	0.115058	490	509.427	0.961865	3.752065556	3.608980526	0.117439
6.9		28.98225		1.1023		490	509.427	0.961865	4.266883564	4.104171719	0.119376
		26.89466	3%	1.423025	8%					3.910703674	0.066851

d. Ralat asal gabungan modulus bending

$$\Delta E_{b_i} = \sqrt{\left(\frac{\partial E_{b_i}}{\partial F}\right)^2 (\Delta F)^2 + \left(\frac{\partial E_{b_i}}{\partial L}\right)^2 (0,68 \Delta L)^2 + \left(\frac{\partial E_{b_i}}{\partial b}\right)^2 (0,68 \Delta b)^2 + \left(\frac{\partial E_{b_i}}{\partial d}\right)^2 (0,68 \Delta d)^2 + \left(\frac{\partial E_{b_i}}{\partial \delta}\right)^2 (\Delta \delta)^2}$$

Dimana:

$$\Delta F = \sqrt{\frac{\sum(F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta \delta = \sqrt{\frac{\sum(\delta_i - \bar{\delta})^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta L = \Delta b = \Delta d = \frac{1}{2} nst = 0,05$$

$$\frac{\partial E_{b_i}}{\partial F} = \frac{L^3}{4bd^3\delta}; \quad \frac{\partial E_{b_i}}{\partial L} = \frac{3FL^2}{4bd^3\delta}; \quad \frac{\partial E_{b_i}}{\partial b} = -\frac{FL^3}{4b^2d^3\delta};$$

$$\frac{\partial E_{b_i}}{\partial d} = -\frac{3FL^3}{4bd^4\delta}; \quad \frac{\partial E_{b_i}}{\partial \delta} = -\frac{FL^3}{4bd^3\delta^2}$$

Contoh formula pada spreadsheet:

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	FK kekuatan bending	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma$	x acuan (bd ³)	y (bd ³)	FK	Modulus bending	FK modulus bending	ΔEb	ΔEb
2	4,012708163	0,111004	2%	3430	3829,6477	1,116515	131,1504211	146,4314602	10,26419	5%
3	3,608980526	0,117499		3430	3515,0463	0,975805	147,5451409	143,9752965	12,13236	
4	4,104171719	0,119376		3430	3515,0463	0,975805	233,7498079	228,0942476	25,51247	
5	3,910703674	0,066851						152,5675006	7,504894	

D3. Perhitungan *Least Error*

a. Nilai kekuatan tarik (σ)

Untuk memperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik dari ketiga sampel

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 (\Delta\sigma_i^{-2})} \left(\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\sigma_i}{\Delta\sigma_i^2} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{\Delta\sigma_1^{-2} + \Delta\sigma_2^{-2} + \Delta\sigma_3^{-2}} \left(\frac{\sigma_1}{\Delta\sigma_1^2} + \frac{\sigma_2}{\Delta\sigma_2^2} + \frac{\sigma_3}{\Delta\sigma_3^2} \right)$$

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	($\partial\sigma_i/\partial b$) ²	(0,68 Δb)	($\partial\sigma_i/\partial d$) ²	(0,68 Δd)	$\Delta\sigma$	Δf (%)	$\Delta\sigma_i^{-2}$	$\Delta\sigma_i^2$	σ rata
2	0,03593075	0,001156	0,146611834	0,001156	0,398963	20,63273	6,282534	0,159171	2,841274
3	0,064140311		0,156592556		0,315003	9,717164	10,0779	0,099227	
4	0,052259712		0,144230825		0,315648	10,49598	10,03679	0,099633	
5									

Untuk memperoleh nilai gabungan dari kesalahan pengukuran

$$\Delta\sigma = \sqrt{\frac{\Delta\sigma_1^2 \cdot \Delta\sigma_2^2 \cdot \Delta\sigma_3^2}{\Delta\sigma_1^2 \cdot \Delta\sigma_2^2 + \Delta\sigma_1^2 \cdot \Delta\sigma_3^2 + \Delta\sigma_2^2 \cdot \Delta\sigma_3^2}}$$

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	($\partial\sigma_i/\partial d$) ²	(0,68 Δd)	$\Delta\sigma$	Δf (%)	$\Delta\sigma_i^{-2}$	$\Delta\sigma_i^2$	σ rata	$\Delta\sigma$ rata
2	0,146611834	0,001156	0,398963	20,63273	6,282534	0,159171	2,841274	0,194635
3	0,156592556		0,315003	9,717164	10,0779	0,099227		
4	0,144230825		0,315648	10,49598	10,03679	0,099633		

b. Modulus Elastisitas

Untuk memperoleh nilai akhir dari modulus elastisitas

$$\bar{E} = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 (\Delta E_i^{-2})} \left(\sum_{i=1}^3 \left(\frac{E_i}{\Delta E_i^2} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{\Delta E_1^{-2} + \Delta E_2^{-2} + \Delta E_3^{-2}} \left(\frac{E_1}{\Delta E_1^2} + \frac{E_2}{\Delta E_2^2} + \frac{E_3}{\Delta E_3^2} \right)$$

AS2

$= (1 / (AQ2 + AQ3 + AQ4)) * ((AF2 / AR2) + (AF3 / AR3) + (AF4 / AR4))$

	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
1	$(\eta E_i / \eta d)^2$	$(\eta E_i / \eta l)^2$	$(\eta E_i / \eta (L-l))^2$	ΔL rata	$(\Delta l - l \text{ rat})^2$	$\Sigma (\Delta l - \Delta l \text{ rat})^2$	$\Delta (\Delta l)$	ΔE	ΔE^{-2}	ΔE^2	E rata
2	1.850501196	46.2625299	525523.6105	0.37	0.00795218	0.108365611	0.018061	97.43465	0.000105	9493.51	281.7385
3	0.388564456	15.91560012	35543.27859		0.06978843			25.33699	0.001558	641.9633	
4	3.767891444	144.8377471	3405372.04		0.030625			248.0007	1.63E-05	61504.37	
5											

Untuk memperoleh nilai gabungan dari kesalahan pengukuran

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\Delta E_1^2 \cdot \Delta E_2^2 \cdot \Delta E_3^2}{\Delta E_1^2 \cdot \Delta E_2^2 + \Delta E_1^2 \cdot \Delta E_3^2 + \Delta E_2^2 \cdot \Delta E_3^2}}$$

AT2

$= \text{SQRT}((AR2 * AR3 * AR4) / (AR2 * AR3 + AR2 * AR4 + AR3 * AR4))$

	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT
1	$(\eta E_i / \eta d)^2$	$(\eta E_i / \eta l)^2$	$(\eta E_i / \eta (L-l))^2$	ΔL rata	$(\Delta l - l \text{ rat})^2$	$\Sigma (\Delta l - \Delta l \text{ rat})^2$	$\Delta (\Delta l)$	ΔE	ΔE^{-2}	ΔE^2	E rata	ΔE rata
2	1.850501196	46.2625299	525523.6105	0.37	0.00795218	0.108365611	0.018061	97.43465	0.000105	9493.51	281.7385	24.40247
3	0.388564456	15.91560012	35543.27859		0.06978843			25.33699	0.001558	641.9633		
4	3.767891444	144.8377471	3405372.04		0.030625			248.0007	1.63E-05	61504.37		
5												

c. Kekuatan bending

Untuk memperoleh nilai rata-rata kekuatan bending dari ketiga sampel

$$\bar{\sigma}_b = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\Delta \sigma_{b_i}^{-2})} \left(\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\sigma_{b_i}}{\Delta \sigma_{b_i}^2} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{\Delta \sigma_{b_1}^{-2} + \Delta \sigma_{b_2}^{-2} + \Delta \sigma_{b_3}^{-2}} \left(\frac{\sigma_{b_1}}{\Delta \sigma_{b_1}^2} + \frac{\sigma_{b_2}}{\Delta \sigma_{b_2}^2} + \frac{\sigma_{b_3}}{\Delta \sigma_{b_3}^2} \right)$$

$f_x = (1/(R2^2+R3^2+R4^2))*((Q2/R2^2)+(Q3/R3^2)+(Q4/R4^2))$

M	N	O	P	Q
x (bd ²) acuan	y (bd ²)	FK	kekuatan bending	FK kekuatan bending
490	539,387	1,10079	3,645299201	4,012708163
490	509,427	0,961865	3,752065556	3,608980526
490	509,427	0,961865	4,266889564	4,104171719
				3,910703674

Untuk memperoleh nilai gabungan dari kesalahan pengukuran:

$$\Delta\bar{\sigma}_b = \sqrt{\frac{\Delta\sigma_{b1}^2 \cdot \Delta\sigma_{b2}^2 \cdot \Delta\sigma_{b3}^2}{\Delta\sigma_{b1}^2 \cdot \Delta\sigma_{b2}^2 + \Delta\sigma_{b1}^2 \cdot \Delta\sigma_{b3}^2 + \Delta\sigma_{b2}^2 \cdot \Delta\sigma_{b3}^2}}$$

$f_x = \text{SQRT}((R2^2 \cdot R3^2 \cdot R4^2)/((R2^2 \cdot R3^2)+(R2^2 \cdot R4^2)+(R3^2 \cdot R4^2)))$

M	N	O	P	Q	R
x (bd ²) acuan	y (bd ²)	FK	kekuatan bending	FK kekuatan bending	$\Delta\sigma$
490	539,387	1,10079	3,645299201	4,012708163	0,111004
490	509,427	0,961865	3,752065556	3,608980526	0,117499
490	509,427	0,961865	4,266889564	4,104171719	0,119376
				3,910703674	0,066851

d. Modulus Bending

Untuk memperoleh nilai rata-rata modulus bending dari tiga sampel

$$\begin{aligned} \bar{E}_b &= \frac{1}{\sum_{i=1}^3 (\Delta E_{bi}^{-2})} \left(\sum_{i=1}^3 \left(\frac{E_{bi}}{\Delta E_{bi}^2} \right) \right) \\ &= \frac{1}{\Delta E_{b1}^{-2} + \Delta E_{b2}^{-2} + \Delta E_{b3}^{-2}} \left(\frac{E_{b1}}{\Delta E_{b1}^2} + \frac{E_{b2}}{\Delta E_{b2}^2} + \frac{E_{b3}}{\Delta E_{b3}^2} \right) \end{aligned}$$

$f_x = (1/(R2^2+R3^2+R4^2))*((Q2/R2^2)+(Q3/R3^2)+(Q4/R4^2))$

S	T	U	V	W	X	
$\Delta\sigma$	x acuan (bd ³)	y (bd ³)	FK	Modulus bending	FK modulus bending	
4	2%	3430	3829,6477	1,116515	131,1504211	146,4314602
9		3430	3515,0463	0,975805	147,5451409	143,9752965
6		3430	3515,0463	0,975805	233,7498079	228,0942476
1						152,5675006

Untuk memperoleh nilai gabungan dari kesalahan pengukuran:

$$\Delta \bar{E}_b = \sqrt{\frac{\Delta E_{b1}^2 \cdot \Delta E_{b2}^2 \cdot \Delta E_{b3}^2}{\Delta E_{b1}^2 \cdot \Delta E_{b2}^2 + \Delta E_{b1}^2 \cdot \Delta E_{b3}^2 + \Delta E_{b2}^2 \cdot \Delta E_{b3}^2}}$$

$f_x = \text{=SQRT}((Y2^2*Y3^2*Y4^2)/((Y2^2*Y3^2)+(Y2^2*Y4^2)+(Y3^2*Y4^2)))$

	S	T	U	V	W	X	Y
	$\Delta\sigma$	x acuan (bd ³)	y (bd ³)	FK	Modulus bending	FK modulus bending	ΔE_b
4	2%	3430	3829,6477	1,116515	131,1504211	146,4314602	10,26419
9		3430	3515,0463	0,975805	147,5451409	143,9752965	12,19296
6		3430	3515,0463	0,975805	233,7498079	228,0942476	25,51247
1						152,5675006	7,504894



E. GAMBAR UJI BENDING DAN UJI TARIK

Gambar E.1. Gambar sebelum dan sesudah uji bending



Gambar sebelum uji bending pada temperatur sintesis 80°C



Gambar sesudah uji bending pada temperatur sintesis 80°C



Gambar sebelum uji bending pada temperatur sintesis 90°C



Gambar sesudah uji bending pada temperatur sintesis 90°C



Gambar sebelum uji bending pada temperatur sintesis 100°C



Gambar sesudah uji bending pada temperatur sintesis 100°C



Gambar sebelum uji bending pada temperatur sintesis 110°C



Gambar sesudah uji bending pada temperatur sintesis 110°C



Gambar sebelum uji bending pada temperatur sintesis 120°C



Gambar sesudah uji bending pada temperatur sintesis 120°C

Gambar E.2. Gambar sebelum dan sesudah uji tarik



Gambar sebelum uji tarik pada temperatur sintesis 80°C



Gambar sesudah uji tarik pada temperatur sintesis 80°C



Gambar sebelum uji tarik pada temperatur sintesis 90°C



Gambar sesudah uji tarik pada temperatur sintesis 90°C



Gambar sebelum uji tarik pada temperatur sintesis 100°C



Gambar sesudah uji tarik pada temperatur sintesis 100°C



Gambar sebelum uji tarik pada temperatur sintesis 110°C



Gambar sesudah uji tarik pada temperatur sintesis 110°C



Gambar sebelum uji tarik pada temperatur sintesis 120°C



Gambar sesudah uji tarik pada temperatur sintesis 120°C