

**STUDI PAPARAN AIR TERHADAP KINERJA KOMPOSIT
PAPAN PARTIKEL YANG DIPERKUAT SERAT KULIT
JAGUNG**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1
Pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Disusun oleh :

TRI YULYANTO

3331170042

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN
2024**

TUGAS AKHIR

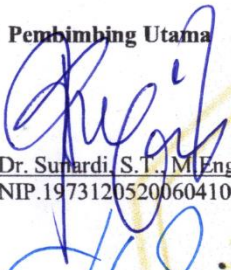
Studi Paparn Air Terhadap Kinerja Komposit Papan Partikel Yang Diperkuat Serat Kulit Jagung

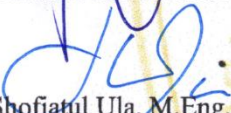
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Tri Yulyanto
3331170042

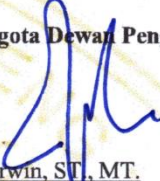
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 02 Juli 2024

Pembimbing Utama

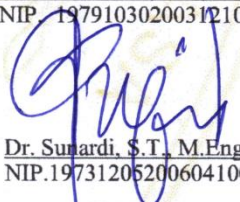

Dr. Sunardi, S.T., M.Eng
NIP.197312052006041002

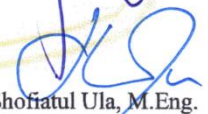

Shofiatul Ula, M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Anggota Dewan Penguji


Dr. Erwin, ST., MT.
NIP.197310062009121001


Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.
NIP. 197910302003121001


Dr. Sunardi, S.T., M.Eng
NIP.197312052006041002


Shofiatul Ula, M.Eng.
NIP. 198403132019032009

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**


Tanggal, 6 September 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA
Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Tri Yulyanto

NPM : 3331170042

Judul : “Studi Paparan Air Terhadap Kinerja Komposit Papan Partikel
yang Diperkuat Serat Kulit Jagung”

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

Bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Juli 2024



064ALX306408083

Tri Yulyanto

NPM.3331170042

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan Syukur atas Rahmat Allah SWT, dan tak lupa haturkan sholawat beserta salam ke junjungan Nabi Muhammad SAW. Penulisan dan Penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Paparan Air Terhadap Kinerja Komposit Papan Partikel yang Diperkuat Serat Kulit Jagung”.

Tugas akhir ini berisikan hasil yang telah dilakukan, didalam penyusunan Laporan Tugas Akhir (Laporan TA) ini merupakan bentuk dari aplikasi beberapa matakuliah yang telah dipelajari pada bangku kuliah. Tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk persyaratan menempuh pendidikan tingkat sarjana (stara 1), khususnya di Jurusan Teknik Mesin Untirta.

Dalam proses penelitian ini banyak bantuan, dorongan dan motivasi yang penulis dapatkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini hingga terselesaikannya laporan ini. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dhimas Satria, ST., M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FT. UNTIRTA.
2. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT, selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin FT. UNTIRTA.
3. Dr.Eng. Agung Sudradjat, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mengarahkan penulis selama menjalani kuliah.
4. Ibu Shofiatul Ula, M., Eng, selaku Dosen Pembimbing I yang dengan tulus dan Ikhlas telah memberikan bimbingan, dorongan, motivasi, petunjuk, saran, ilmu yang sangat bermanfaat pada penulis sehingga dapat melakukan penelitian dan penulisan Tugas Akhir. Bapak Sunardi, S.T., M.Eng
5. Bapak Sunardi, S.T., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan arahan, bimbingan dan inovasi berfikiri kepada penulis dalam melakukan penelitian dan penulisan Tugas Akhir.

6. Ibu Miftahul Jannah, M.T, sebagai Koordinator Tugas Akhir yang telah mengabsahkan penulis untuk melakukan Tugas Akhir.
7. Dosen Jurusan Teknik Mesin (JTM) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) yang telah menjadikan penulis memiliki ilmu yang begitu banyak dan berguna selama kuliah.

Semoga Allah Subhanahu Wata'ala senantiasa membalas segala kebaikan yang telah didapat oleh penulis. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Pemengahrapkan masukan berupa kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian dan perbaikannya sehingga akhirnya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Cilegon, Februari 2024

Tri Yulyanto

ABSTRAK

STUDI PERENDAMAN AIR TERHADAP KINERJA KOMPOSIT PAPAN PARTIKEL YANG DIPERKUAT SERAT KULIT JAGUNG

Disusun Oleh :

Tri Yulyanto

NIM.3331170042

Melimpahkannya limbah kulit jagung dan juga sifatnya yang ramah lingkungan karena merupakan bahan alami menjadikannya sebagai salah satu filler yang baik dari suatu bahan komposit. Kulit jagung menjadi opsi yang baik sebagai serat alami untuk pengisi komposit karena memiliki struktur berpori, kuat dan ringan berdasarkan penelitian yang dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik gugus fungsi pada papan partikel menggunakan pengujian FTIR dan pengaruh paparan air terhadap papan partikel yang diperkuat serat kulit jagung dan kayu sengon menggunakan pengujian kekerasan menggunakan durometer shore D. Komposisi pada papan komposit mengandung 25% perekat PV Ac, 10% resin epoxy, 32,5% serat kulit jagung, dan 32,5% serbuk kayu sengon. Pengujian yang akan dilakukan meliputi uji FTIR, uji kekerasan, dan uji keteguhan lentur menurut SNI 03-2015-2006. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada sampel K60, K80, dan K100 memiliki ikatan dan gugus fungsi yang serupa, dengan variasi intensitas dan puncak gelombang pada sampel, dan terdapat adanya ikatan O-H, C-H, C=O, C=C, dan C-O. Hasil terbaik didapatkan pada papan partikel K100 dengan tekanan kompaksi 100 bar dengan perendaman selama 24 jam yaitu nilai kekerasan sebesar 21,5 *shore-D* dan kekuatan lentur sebesar 60,63 kgf/cm².

Kata kunci : Kulit Jagung, Komposit, Papan Partikel.

ABSTRACT

STUDY OF WATER SOAKING ON THE PERFORMANCE OF CORN HUSK FIBER REINFORCED PARTICLE BOARD COMPOSITE

Arranged by:

Tri Yulyanto

NIM.3331170042

The abundance of corn husk waste and its environmentally friendly nature because it is a natural material makes it one of the good fillers of a composite material. Corn husk is a good option as a natural fiber for composite filler because it has a porous, strong and lightweight structure based on research conducted. This study aims to analyze the characteristics of functional groups in particleboard using FTIR testing and the effect of water exposure on particleboard reinforced with corn husk fiber and sengon wood using hardness testing using a shore D durometer. The composition of the composite board contains 25% PV Ac adhesive, 10% epoxy resin, 32.5% corn husk fiber, and 32.5% sengon wood powder. The tests to be carried out include FTIR tests, hardness tests, and flexural strength tests according to SNI 03-2015-2006. From the research results, it is known that the K60, K80, and K100 samples have similar bonds and functional groups, with variations in intensity and wave peaks in the samples, and there are O-H, C-H, C=O, C=C, and C-O bonds. The best results were obtained on the K100 particle board with a compaction pressure of 100 bar with immersion for 24 hours, namely a hardness value of 21.5 shore-D and a flexural strength of 60.63 kgf/cm².

Keywords: Cornhusk, Composite, Particle Board

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Komposit	4
2.1.1 Penguat (<i>Reinforcement</i> / Pengisi (<i>Filler</i>)).....	4
2.1.2 Matriks.....	5
2.2 Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Komposit Serat	5
2.3 Jagung.....	7
2.3.1 Jagung dan Limbah yang Dihasilkan	7
2.3.2 Sifat Kimia serat Kulit Jagung	8
2.4 Resin Epoksi (<i>Epoxy Resin</i>)	9
2.5 Lem Polivinil Asetat (PV Ac).....	10
2.6 Kayu Sengon	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	11
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 Alat yang Digunakan.....	13

3.2.2	Bahan yang Digunakan.....	15
3.3	Prosedur Penelitian.....	15
3.3.1	Prosedur Mengekstraksi Serat Kulit Jagung.....	15
3.3.2	Prosedur Perlakuan Permukaan Menggunakan Larutan Alkali NaOH.....	16
3.3.3	Prosedur Pembuatan Sampel	16
3.3.4	Prosedur Pengujian	17
3.3.4.1	Pengujian FTIR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>)	17
3.3.4.2	Pengujian Kekerasan	18
3.3.4.3	Pengujian Kelenturan	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Uji Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	20
4.2	Hasil Uji Kekerasan	23
4.3	Hasil Uji Kekuatan Lentur	25
4.4	Optimasi Multirespon.....	28
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	30
5.2	Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jagung	7
Gambar 2.2 Resin Epoxy	9
Gambar 2.3 <i>Polivinyll Acetate</i> (PV Ac)	10
Gambar 2.4 Kayu Sengon.....	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 3.2 Gerinda	13
Gambar 3.3 Durometer <i>Shore-D</i>	13
Gambar 3.4 FTIR <i>Spectroscopy Bruker Alpha II</i>	14
Gambar 3.5 <i>Zwwick Z020</i>	14
Gambar 3.6 Jangka Sorong.....	14
Gambar 3.7 Prinsip Kerja FTIR	17
Gambar 3.8 Sampel Uji FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	18
Gambar 3.9 Pengujian Kekerasan	18
Gambar 3.10 Sampel Uji <i>Bending</i> Setelah Pengujian	19
Gambar 4.1 Grafik hasil Karakteristik FTIR.....	20
Gambar 4.2 Grafik Hasil uji Kekerasan	23
Gambar 4.3 Grafik hasil Uji Keteguhan Lentur	27

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Kimia Serat Alami	8
Tabel 4.1 Puncak Serapan, Ikatan Kimia, dan Gugus Fungsi.....	25
Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan	27
Tabel 4.3 Hasil Uji Keteguhan Lentur Papan Komposit	25
Tabel 4.4 Hasil Nilai Pembobotan Sampel Papan Partikel.....	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jagung adalah tanaman yang tersebar luas di berbagai belahan dunia (Baghestany, 2014). Setiap tahunnya, produksi jagung mencapai 640 juta ton, menghasilkan sekitar 45 juta ton limbah kulit jagung, yang menyumbang 9 juta ton serat selulosa dari kulit jagung saja (Reddy, 2005). Indonesia, dengan kekayaan hayati yang melimpah, memiliki jagung yang tumbuh hampir di seluruh wilayahnya, termasuk Jawa Timur, Jawa Barat, Kalimantan, Sulawesi, dan Nusa Tenggara Barat. Hingga tahun 2014, total produksi jagung di Indonesia mencapai 19,03 juta ton, dengan limbah kulit jagung berkontribusi sebesar 38,38% dari total produksi (Sari, 2018). Data ini menunjukkan bahwa kulit jagung memiliki potensi besar sebagai sumber serat selulosa dalam jumlah besar dengan manfaat ekonomi yang signifikan. Besarnya jumlah limbah kulit jagung dan biaya pengolahannya yang relatif murah menandakan perlunya pengembangan lebih lanjut dalam pemanfaatannya, serta potensi yang masih dapat dieksplorasi di masa depan.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Sari, 2018), ditemukan bahwa serat kulit jagung memiliki kandungan selulosa yang relatif tinggi, yakni sekitar 36,81% dari beratnya. Selulosa ini mempengaruhi kekuatan mekanik serat melalui ikatan hidrogen dan struktur rantai panjangnya (Faruk, 2014). Selain selulosa, penelitian tersebut juga mengungkapkan bahwa serat kulit jagung mengandung hemiselulosa sebanyak 27,01% dari beratnya dan lignin sebesar 15,7% dari berat total. Kandungan hemiselulosa yang signifikan mempengaruhi kapasitas serat dalam menyerap kelembaban dan stabilitas termal, sementara lignin memberikan kekakuan tambahan yang berdampak pada sifat morfologi dan struktur serat.

Pengaruh masing-masing komponen ini terhadap kinerja serat kulit jagung sangat penting untuk dipahami, terutama dalam aplikasi seperti pembuatan

komposit. Selulosa yang tinggi berkontribusi pada kekuatan mekanik, sedangkan hemiselulosa dan lignin mempengaruhi ketahanan terhadap kelembaban dan kestabilan struktur. Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi bagaimana komposisi ini mempengaruhi performa serat kulit jagung dalam pembuatan komposit, serta mencari cara untuk memaksimalkan potensi penggunaannya dalam aplikasi yang melibatkan berbagai kondisi lingkungan, termasuk paparan air.

Dewasa ini, berlimpahnya limbah kulit jagung dan juga sifatnya yang ramah lingkungan karena merupakan bahan alami telah menarik minat penulis untuk menjadikannya sebagai filler dari suatu bahan komposit. Kulit jagung menjadi opsi yang baik sebagai serat alami untuk pengisi komposit karena memiliki struktur berpori, kuat dan ringan berdasarkan penelitian yang dilakukan (Sari, 2018). Banyak keuntungan yang didapat dengan memanfaatkan serat kulit jagung sebagai bahan pengisi komposit karena akan membuka pasar baru dan meningkatkan ekonomi di sektor pertanian.

Teknologi pembuatan komposit pula lebih mudah dalam fabrikasi apabila dibanding metode lainnya sehingga biaya produksi akan lebih murah. Kelemahan dari pemanfaatan serat kulit jagung sebagai teknologi komposit yaitu performa mekaniknya yang sangat tergantung pada sifat alami seratnya yang hidrofilik (suka air). sehingga diperlukan peningkatan ikatan antara serat dan matriks dengan diberi pra-perlakuan sebelum dicampur dalam komposit dan dibutuhkan teknik khusus dalam proses pengambilan seratnya sehingga tidak merusak seratnya serta proses fabrikasinya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh paparan air terhadap kinerja papan partikel yang diperkuat serat kulit jagung.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Menganalisa karakteristik gugus fungsi pada papan partikel menggunakan pengujian FTIR.
2. Menganalisa pengaruh paparan air terhadap papan komposit yang diperkuat serat kulit jagung dan kayu sengon menggunakan pengujian kekerasan.
3. Menganalisa pengaruh paparan air terhadap papan komposit yang diperkuat serat kulit jagung dan kayu sengon menggunakan pengujian kekuatan lentur.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini agar tidak terlalu luas dikarenakan keterbatasan waktu penelitian maka :

1. Fraksi volume serat kulit jagung 32,5%, kayu sengon 32,5%, resin epoksi 10%, dan PV Ac 25%.
2. Variasi kompaksi dalam papan partikel adalah 60, 80, dan 100 bar selama 120 menit.
3. Waktu untuk alkalisasi dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) 5% selama 120 menit.
4. Waktu paparan air terhadap spesimen dengan cara merendam selama 24 jam.
5. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan durometer *shore-D* untuk mengetahui kekerasan dari spesimen komposit serat kulit jagung dan uji FTIR untuk mengetahui ikatan kimia yang ada pada komposit.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

6. Bagi peneliti adalah untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan pengalaman tentang pembuatan material komposit.
7. Untuk meminimalisir kerusakan lingkungan dengan memanfaatkan limbah kulit jagung.
8. Untuk meningkatkan nilai ekonomis dari limbah kulit jagung di sektor pertanian tanaman jagung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu bahan yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih bahan penyusunnya melalui suatu campuran yang tidak homogen, Dimana sifat mekanik masing-masing kain penyusunnya berbeda-beda. Pada dasarnya, komposit dapat dikarakterisasi sebagai campuran mikroskopis antara filamen dan matriks. Serat adalah bahan yang umumnya lebih kuat dari pada struktur dan kemampuannya untuk menghasilkan kualitas ulet. Sementara itu, jaringan mampu melindungi filamen dari dampak alam dan kerusakan akibat pengaruh (Schwartz, 1984).

Pemanfaatan bahan-bahan yang dipersiapkan untuk disambung sebagai komponen-komponen suatu struktur memerlukan peningkatan sifat mekanik yang tinggi. Insinyur terus melakukan sebagai peneliti untuk merancang material yang tidak terpakai yang memiliki sifat fisik-mekanik yang jauh lebih baik, seperti material komposit modern. Komposit yang diperkuat serat adalah jenis komposit yang paling banyak dibuat (Vlack, 1994). Alasan pembentukan komposit adalah :

- a. Memperbaiki sifat mekanik dan sifat spesifik tertentu.
- b. Mempermudah desain yang sulit pada manufaktur.
- c. Menghemat biaya.
- d. Bahan lebih ringan.

2.1.1 Penguat (*Reinforcement*) / Pengisi (*Filler*)

Penguat dalam komposit berperan sebagai komponen utama yang menanggung beban. Bahan penguat yang digunakan biasanya memiliki nilai kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan matriksnya. Fase penguat ini mampu mengubah sifat dasar suatu material, seperti kekakuan, kemuluran, kekuatan, dan keliatan. Beberapa sifat yang diperoleh melalui fase penguat di antaranya adalah (Jones, 1999):

- a. Memiliki daya serap kelembaban yang rendah.
- b. Mempunyai sifat pembasahan yang baik.
- c. Tahan terhadap bahan kimia dengan baik.
- d. Memiliki sifat kelenturan yang rendah dalam air dan pelarut.
- e. Tahan terhadap api dengan baik.

2.1.2 Matriks

Matriks pada komposit berperan sebagai perekat untuk pengisi (penguat) sehingga didapatkan hasil perekatan dan interaksi yang baik diantara kedua fasa. Matriks adalah fraksi volume terbesar dalam komposit (Yudhyadi, 2013). Bahan matriks yang digunakan harus ulet, modulus elastisitas lebih rendah dibanding serat yang dipakai dan ikatan matriks dan filler yang bagus. Terdapat beberapa peranan fasa matriks dalam komposit diantaranya yaitu (Mazumdar, 2002):

- a. Sebagai media alas beban, meneruskan beban diterima pada fasa penguat.
- b. Sebagai pelindung fasa penguat dari kerusakan oleh udara dan lingkungan lembab.
- c. Sebagai pengikat fasa penguat, menghasilkan fasa antar muka yang kuat.
- d. Sebagai pengurang resiko perambatan retak, menghindari kegagalan katastropik.

2.2 Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Komposit Serat

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja komposit serat yaitu sebagai berikut :

1. Faktor Serat

Serat sebagai bahan pengisi matriks yang berfungsi untuk memperbaiki sifat dan struktur matrik sesuai dengan sifat bawaan dari serat yang dipakai dan diharapkan mampu untuk menahan gaya yang terjadi.

2. Letak Serat

Tata letak dan arah serat dapat memengaruhi kinerja komposit tersebut. Ada tiga model tata letak dan arah serat. Yaitu :

- a. *One dimensional reinforcement*, memiliki kekuatan dan modulus maksimum pada arah sumbu horizontal serat.
- b. *Two dimensional reinforcement*, memiliki kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah sumbu serat.
- c. *Three dimensional reinforcement*, memiliki kekuatan yang meningkat karena arah tiap serat tersebar ke semua arah.

3. Panjang Serat

Serat alam memiliki panjang dan diameter yang beragam sehingga perbedaannya berpengaruh pada kekuatan dan modulus komposit (Sari dkk, 2017). Kekuatan tarik pada komposit akan semakin besar apabila *aspect ratio* semakin tinggi. *Aspect ratio* yaitu panjang per diameter serat. Terdapat kelebihan masing-masing antara penggunaan serat yang panjang dan pendek diantara yaitu:

- a. Dalam peletakannya, serat panjang lebih efisien sedangkan serat pendek lebih mudah diletakkan dalam cetakan.
- b. Dalam penanganannya, serat panjang lebih mudah dibentuk dengan proses *filament winding* sehingga menghasilkan distribusi dan orientasi yang baik.
- c. Selama fabrikasi, penggunaan serat pendek menghasilkan kekuatan yang lebih besar selama orientasi serat yang benar.

4. Faktor Matriks

Matriks berperan sebagai pengikat serat dan mentransmisikan beban eksternal antara serat dan matriks, sehingga keduanya dapat bekerja secara simetris. Pemilihan matriks harus mempertimbangkan kesesuaian kimiawi untuk menghindari reaksi yang tidak diinginkan pada permukaan kontak.

5. Faktor Matriks

Matriks berperan sebagai pengikat serat dan mentransmisikan beban eksternal antara serat dan matriks, sehingga keduanya dapat bekerja

secara simetris. Pemilihan matriks harus mempertimbangkan kesesuaian kimiawi untuk menghindari reaksi yang tidak diinginkan pada permukaan kontak.

6. Faktor ikatan serat-matriks

Komposit harus mampu menahan tegangann tinggi karena serat dan matriks berinteraksi sehingga terjadi pendistribusian tegangan. Hal ini yang dapat mempengaruhi ikatan serat-matriks yaitu *void*. *Void* adalah celah pada serat yang menyebabkan ketidakmampuannya matriks untuk mengisi ruang kosong. Apabila komposit terkena beban maka area tegangan berpindah ke area *void* lalu mengurangi kekuatan komposit.

2.3 Jagung

2.3.1 Jagung dan Limbah yang Dihasilkan

Jagung adalah tanaman *monokotil angiospermae* dan jenis biji-bijian yang terdapat di banyak belahan dunia (Baghestany, 2014). 640 juta ton jagung dihasilkan setiap tahunnya dan terdapat 45 juta ton kulit jagung yang dihasilkan sehingga menyediakan 9 juta ton serat alam selulosa dari kulit jagung saja (Reddy, 2005). Berdasarkan data tersebut, terindikasi bahwa kulit jagung mempunyai potensi menjanjikan dalam persediaan kuantitas besar-besaran pada serat alam selulosa dengan manfaat ekonomi yang signifikan pula.



Gambar 2.1 Jagung
(Sumber : xpressenglish.com)

Di Indonesia, tanaman jagung terdapat hampir di seluruh daerah Indonesia. Sampai tahun 2014 saja, terdapat 19,03 juta ton hasil produksi

jagung di Indonesia dengan limbah kulit jagung menyumbang sebesar 38,38% dari setiap produksi jagung. Potensi limbah kulit jagung yang berlimpah ini perlu perkembangan dalam pemanfaatannya (Sari, 2018). Potensi limbah kulit jagung yang besar dan murah membuat para ilmuwan tertarik menjadikan salah satu bahan komposit sebagai pengisinya.

2.3.2 Sifat Kimia Serat Kulit Jagung

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sari (2018), kandungan selulosa pada serat kulit jagung cukup tinggi yaitu senilai 46,15% berat. Berdasarkan nilai selulosanya, serat kulit jagung termasuk dalam golongan jenis serat *bast fiber/reed fiber* karena golongan jenis tersebut memiliki kisaran 32 – 48% nilai berat selulosanya (Han, 2007). Selulosa dalam serat berpengaruh terhadap sifat mekanik serat melalui ikatan hidrogen dan rantai-rantainya (Faruk dkk, 2014).

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Serat Alami

Material	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Serat Kulit jagung	36,81	27,01	15,07
Kayu Sengon	67,94	24,62	24,69
Eceng Gondok	18-31	18-43	7-26
TKKS	36-42	25-27	15-17

Selain kandungan selulosa, penelitian tersebut mendapatkan nilai kandungan hemiselulosa pada serat kulit jagung sebesar 33,79% berat. Nilai ini lebih besar dibanding serat alam lainnya seperti pisang yang sebesar 6-19% (Alavudeen, 2015), Kenaf sebesar 21% dan agave bagassei sebesar 13,95% (Robles dkk, 2015).

Selain 2 kandungan tersebut peneliti pun mengukur besar kandungan lignin pada serat kulit jagung. Kandungan ligninnya yaitu sebesar 8,92%. Lignin pada serat dapat memicu kekakuan serat sehingga berpengaruh pada sifat morfologi dan strukturnya.

2.4 Resin Epoksi (*Epoxy Resin*)

Resin epoksi (*epoxy resin*) atau secara umum dipasaran dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok termoset. Resin termoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekanisnya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan sifat optimum bahan.



Gambar 2.2 Resin Epoxy
(Sumber : desertcart.ae)

Termoset memiliki sifat isotropis dan peka terhadap suhu, mempunyai sifat tidak bisa meleleh, tidak bisa diolah kembali, atomnya berikatan dengan kuat, tidak bisa mengalami pergeseran rantai. Bentuk resin epoksi sebelum pengerasan berupa cairan seperti madu dan setelah pengerasan akan berbentuk padatan yang sangat getas (Gemert, 2004). Adapun ketangguhan resin epoksi yaitu sebagai berikut :

1. Sifat mekanik dan temal yang tinggi.
2. Tahan air.
3. Tahan *temperature* sampai 220°C
4. Usia pakai jangka Panjang.
5. Penyusutan sangat rendah.

2.5 Lem Polivinil Asetat (PV Ac)

PVAc (*Polivinyll Acetate*) adalah polimer yang biasa dipakai sebagai bahan dasar pembuatan lem, kain, kertas, dan kayu dikarenakan sifat rekatnya yang cukup kuat (Sriyanti dan Marlina, 2014). PVAc memiliki viskositas seragam, harga cenderung murah, tidak beracun, dan tidak memerugikan lingkungan selain tidak berbau dan tahan jamur (Malinda, 2014). PVAc dihasilkan melalui metode polimerisasi emulsi.



Gambar 2.3 *Polivinyll Acetate* (PV Ac)

(Sumber: dextone.com)

PVAc dapat dipakai sebagai matriks pada papan komposit sehingga kekuatan materialnya meningkat. PVAc termasuk sebagai polimer termoplastik yang reversibel, yang wujudnya mampu melunak ketika dipanaskan lalu mengeras kembali ketika didinginkan. PVAc memiliki kelebihan seperti umur penyimpanan yang tidak terbatas, tidak sulit ditangani, tahanan terhadap mikroba, kemampuan *gap-filling* setara perekat hewani, dan tekanan pengempaan yang relatif rendah. Kelemahannya yaitu sangat sensitif terhadap air sehingga apabila terkena air membuat kekuatan rekatnya menurun drastis dan mempengaruhi sifat mekanik strukturnya (Ruhendi,2007).

2.6 Kayu Sengon

Sengon merupakan salah satu jenis kayu yang cukup banyak dimanfaatkan dalam industri pengolahan kayu di negara ini, sehingga dapat diperkirakan

akan dihasilkan limbah yang cukup signifikan dari jenis kayu tersebut sehingga menjadi bahan yang cukup potensial untuk digunakan dalam pembuatan papan partikel (Ngadianto et al, 2012). Kadar air standar untuk kayu sengon adalah 8%, sedangkan nilai densitasnya adalah 0,44% g/cm^3 . Penelitian oleh (Sunardi dkk, 2017) yang berjudul “Pengaruh Butiran Filler pada Kayu Sengon terhadap Karakteristik Papan Partikel yang Diperkuat dengan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit” menyelidiki berbagai ukuran butiran serbuk kayu sengon, yang dinyatakan dengan mesh 18, 40, 60, dan 80.



Gambar 2.4 Kayu Sengon

(Sumber: perhutani.co.id)

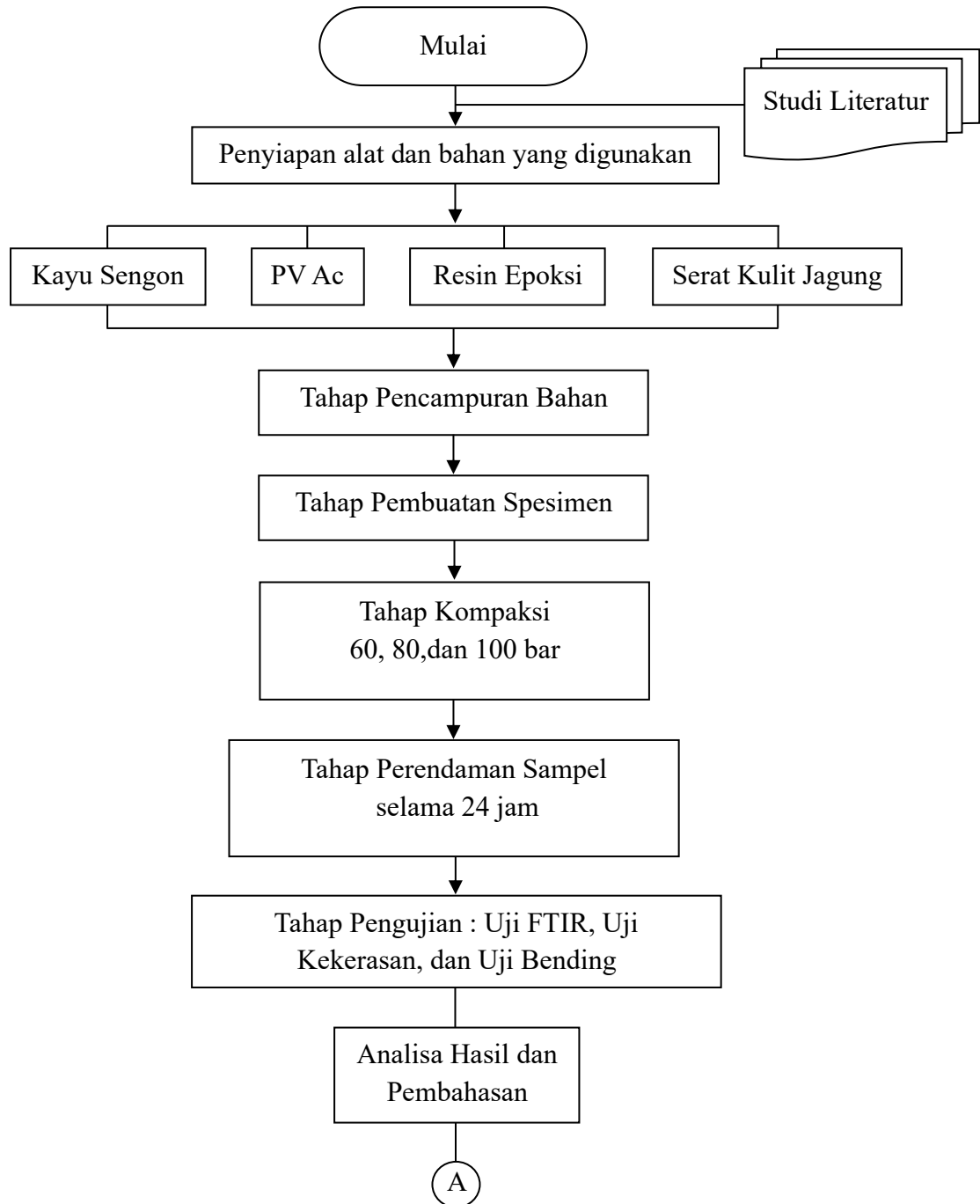
Densitas papan partikel yang didapat dipengaruhi oleh ukuran butiran kayu sengon saat digunakan sebagai filler. Semakin besar mesh fillernya yang terjadi adalah densitasnya akan meningkat. Ini karena filler didistribusikan lebih merata ke mesh yang berukuran besar. Standar SNI 03-2105-2006 dari Badan Standardisasi Nasional mengenai papan partikel menyatakan bahwa kerapatannya berkisar antara 0,40-0,90 gr/cm^3 . Lalu hasil yang didapatkan yaitu mesh 18 dengan nilai 0,85 gr/cm^3 memenuhi persyaratan papan partikel. Kemudian standar ISO 2039-1 yang digunakan untuk uji kekerasan papan partikel. Benda uji berupa balok berukuran panjang 70 mm, lebar 35 mm, dan tinggi 14 mm. Papan partikel dengan mesh 80 memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 21 N/mm^2 . Sedangkan papan partikel yang umum saat ini memiliki nilai kekerasan 22 N/mm^2 .

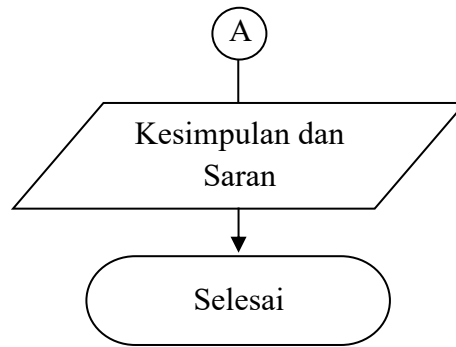
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir yang digunakan dalam penulisan laporan skripsi ini, diantara lain sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Gerinda



Gambar 3.2 Gerinda

Pada Gambar 3.2 menunjukkan gerinda yang digunakan untuk memotong papan komposit menjadi ukuran yang diinginkan.

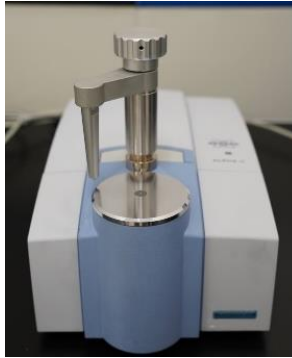
2. Durometer



Gambar 3.3 Durometer Shore-D

Pada Gambar 3.3 ini merupakan alat yang digunakan untuk menguji kekuatan *hardness* material.

10. Alat uji FTIR



Gambar 3.4 FTIR *Spectroscopy Bruker Alpha II*

Mesin FTIR yang digunakan milik Laboratorium Terpadu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, yang dapat dilihat pada Gambar 3.4

13. Alat uji kelenturan



Gambar 3.5 Zwick Z020

Mesin yang digunakan adalah mesin uji bending milik politeknik ATMI Surakarta.

14. Jangka sorong



Gambar 3.6 Jangka Sorong

Pada Gambar 3.6 menunjukkan jangka sorong yang digunakan untuk mengukur sampel uji.

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Serat Kulit Jagung

Serat kulit jagung merupakan limbah dari tanaman yang akan dimanfaatkan sebagai filler pada penelitian ini.

2. Resin epoksi

3. PV Ac

4. Kayu sengon

Kayu yang digunakan sebagai bahan pembuatan papan partikel ini adalah kayu sengon. Kayu sengon saat digunakan sebagai filler.

5. NaOH (Natrium hidroksida)

Naoh digunakan dalam penelitian ini untuk proses penghilangan lignin dalam serat kulit jagung.

6. Aquades

Aquades digunakan untuk campuran larutan alkalisasi dalam proses delignifikasi serat kulit jagung dan digunakan dalam pengujian penyerapan air.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Prosedur Mengekstraksi Serat Kulit Jagung

Adapun tahapan mengekstraksi serat kulit jagung yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan limbah kulit jagung dengan ukuran panjang 25 cm dan lebar 12 cm.
2. Merendam kulit jagung dalam air biasa selama 7×24 jam (Sari, 2018).
3. Membilas kulit jagung dan disisir menggunakan sikat kawat untuk mendapatkan serat kulit jagung.
4. Membilas ulang serat kulit jagung sekaligus mengeringkannya.
5. Memotong serat kulit jagung sampai ukuran yang sudah ditentukan, yaitu 15 mm.

3.3.2 Prosedur Perlakuan Permukaan Menggunakan larutan alkali NaOH

Adapun prosedur perlakuan permukaan menggunakan larutan NaOH yaitu, sebagai berikut :

1. Merendam serat kulit jagung ke dalam larutan alkali NaOH kadar 5% selama 2 jam pada suhu ruang.
2. Membilas serat dengan air yang mengalir.
3. Mengeringkan serat secara alami dengan sinar matahari.

3.3.3 Prosedur Pembuatan Sampel

Adapun dalam prosedur pembuatan sampel yaitu, sebagai berikut :

1. Proses *Mixing* Bahan-bahan
 - a. Mencampurkan serbuk serat kulit jagung, kayu sengon dengan resin epoksi, dan perekat PV Ac.

Dengan komposisi bahan :

Serat kulit jagung = 144 g

Serbuk kayu sengon = 107 g

Perekat PV Ac = 204 g

Resin epoksi = 84 g

- b. Mengaduk bahan-bahan hingga tercampur merata.
- c. Mendinginkan semua bahan-bahan selama 15 menit.

2. Proses Kompaksi

Proses kompaksi dilakukan di laboratorium proses manufaktur Untirta menggunakan mesin press dengan variasi tekanan kompaksi sebesar 60 bar, 80 bar, dan 100 bar. Pada penelitian ini proses kompaksi menggunakan metode *cold press single punch*. Pencetakan pada suhu ruang dengan *holding time* selama 2 jam. Dan setelah itu, proses kompaksi ditekan kembali untuk mengeluarkan sampel *specimen* dari cetakan.

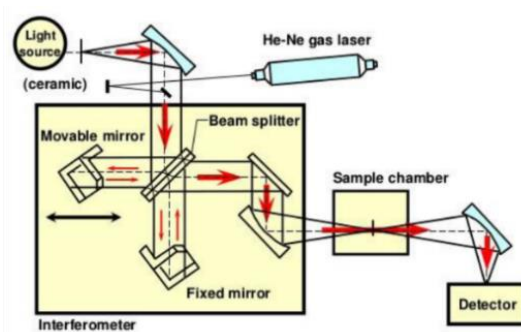
3. Proses Pemanasan

Setelah tahap mixing bahan dan kompaksi, dilakukan proses pemanasan agar partikel semakin baik pada suhu 150 °C. Pada proses ini dilakukan *oven* selama durasi waktu 30 menit.

3.3.4 Proses Pengujian

3.3.4.1 Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada komposit. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan polimer serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. Berikut ini adalah skema dari mesin uji FTIR pada Gambar 3.11



Gambar 3.7 Prinsip Kerja FTIR

(Sumber: analitika.co.id)

Adapun cara kerja FTIR seperti berikut ini: Mula-mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati chopper. Setelah melalui perisma atau grating, berkas akan jatuh pada *detector* dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah. Standar yang digunakan adalah ASTM E1252.



Gambar 3.8 Sampel Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

3.3.4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari sampel komposit serat kulit jagung. Dimensi sapesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 – Durometer *Hardness*. Dimana ketebalan sampel minimal yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indentor seperti jarum pegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D

Adapun tahapan pengujian kekerasan dilakukan sesuai dengan Langkah berikut:

- a. Menyiapkan sampel uji.
- b. Memilih indentor dan pembebanan sesuai dengan skala yang diinginkan.
- c. Indentor dikontakan dengan benda uji dalam arah tegak lurus terhadap permukaan dan melakukan penekanan.
- d. Penekanan ditahan selama 30 sekon, kemudian dihilangkan.
- e. Pemngukur diameter lekukan.



Gambar 3.9 Pengujian Kekerasan

3.3.4.3 Pengujian Kelenturan

Kekuatan lentur digunakan untuk menunjukkan kekakuan dari suatu material Ketika dibengkokkan. Pengujian kelenturan dengan metode *three point bend*, Dimana spesimen diletakkan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan ditengah spesimen. Mesin yang digunakan adalah mesin uji bending milik politeknik ATMI Surakarta. Pembuatan spesimen uji lentur sesuai dengan standat ASTM D790, dengan ukuran dimensi spesimen pengujian 100 x 14 x 5 mm. Jumlah benda uji lentur minimal 3 (tiga) buah. Hal ini bertujuan agar memperoleh data yang valid menurut SNI 03-2015-2006.

Adapun tahapan pengujian lentur dilakukan sesuai dengan langkah berikut:

- a. Mengukur dimensi spesimen meliputi: panjang , lebar dan tebal.
- b. Pemberian label berupa nomer urut dan variasi setiap spesimen yang telah diukur untuk menghindari kesalahan pencatatan.
- c. Menghidupkan mesin ZWICK/ROELL untuk uji lentur.
- d. Pemasangan spesimen uji padaa tumpuan dengan tepat dan pastikan indenter tepat di Tengah-tengah kedua tumpuan.
- e. Pembebanan pada pusat spesimen dengan kecepatan konstan.
- f. Pencatatan besarnya defleksi yang terjadi pada spesimen, setiap penambahan beban sampai terjadi kegagalan.
- g. Setelah mendapatkan data hasil pengujian dilanjutkan dengan perhitungan karakteristik kekuatan lentur.



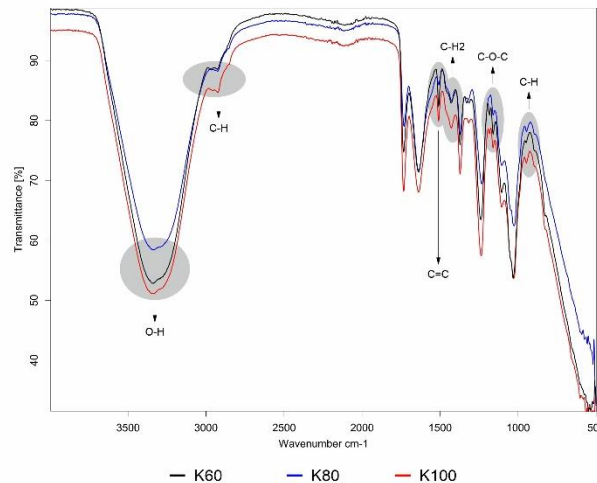
Gambar 3.10 Sampel Uji *Bending* Setelah Pengujian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada metrial komposit papan partikel yang diperkuat serat kulit jagung. Uji FTIR dilakukan pada sampel komposit tingkat tekanan 60, 80, dan 100 bar.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Karakteristik FTIR

Pengujian FTIR pada serat kulit jagung yang telah dialkalisasi bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa yang ada pada serat setelah melalui proses alkalisasi. Proses alkalisasi ini merupakan metode untuk menghilangkan komponen pengisi serat yang mengganggu, dalam ikatan serta kekuatan antar muka yaitu lignin. Lignin ditunjukkan oleh adanya daerah serapan 1600 cm^{-1} dengan gugus aromatic C=C. Dengan adanya lignin maka matriks dan serat tidak memiliki *interface* yang baik. Oleh karena itu proses alkalisasi diperlukan untuk memperbaiki permukaan serat bambu dan menghilangkan lignin sehingga hanya terdapat selulosa didalam serat tersebut.

Tabel 4.1 Puncak Serapan, Ikatan Kimia, dan Gugus Fungsi

Daerah Serapan (cm^{-1})			Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
K60	K80	K100	
3338,70	3332,53	3338,34	O-H <i>stretching</i>
2928,90	2925,16	2924,38	C-H <i>stretching</i> alifatic
1637,56	1636,71	1637,79	C=O <i>stretching</i>
1509,45	1509,26	1509,48	C=C <i>Stretching</i> aromatic
1428,79	1425,60	1427,88	-CH ₂ deformasi
1188,70	1159,97	1136,62	C-O-C <i>stretching</i>
896,81	946,42	947,10	C-H deformasi

Tabel 4.1 menunjukkan spektrum hasil FTIR yang diperoleh. Pada spektrum, puncak yang sangat jelas terlihat di daerah 3300-3500 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (O-H). Puncak ini diindikasikan oleh pita penyerapan yang lebar, yang merupakan karakteristik dari gugus hidroksil. Kehadiran puncak ini menunjukkan adanya air atau kelompok alkohol dalam komposit tersebut. Resin epoksi biasanya memiliki gugus O-H, sedangkan PV AC juga memiliki gugus ini karena proses hidrolisis. Puncak rwntang 2850-3000 cm^{-1} menunjukkan getaran regangan C-H alifatik. Puncak ini umumnya dikaitkan dengan metilena (-CH₂) atau metil (-CH₃) yang ada dalam struktur resin epoksi dan PV Ac. Getaran C-H ini biasanya berasal dari rantai polimer yang ada di kedua bahan matriks tersebut. Puncak disekitar 1500-1600 cm^{-1} menunjukkan adanya getaran regangan C=C yang biasanya terdapat dalam senyawa aromatic. Dalam konteks resin epoksi, puncak ini dapt dikaitkan dengan cicin aromatic yang biasanya ada dalam struktur epoksi. Puncak pada daerah 1000-1300 cm^{-1} menunjukkan getaran regangan asimetris dari gugus eter (C-O-C). Puncak ini sangat khas untukj resin epoksi karena adanya ikatan eter dalam strukturnya. Puncak ini juga bisa berasal dari PV Ac karena memiliki ikatan ester yang memiliki karakteristik getaran serupa. Puncak pada daerah ini menandakan adanya getaran regangan dari gugus C-H pada molekul metil

atau metilena. Hal ini bisa dikaitkan dengan struktur alifatik yang ada baik dalam resin epoksi maupun PV Ac.

Pada hasil alkalisasi menunjukkan bahwa kandungan lignin serat kulit jagung telah berkurang. Perlakuan alkalisasi mengurangi ikatan hydrogen karena gugus hidroksil bereaksi dengan NaOH. Lignin ($C_9H_{10}O_2(OCH_3)_n$) bereaksi dengan larutan NaOH (sodium hidroksida) yang terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan OH^- . Ion OH^- dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin sedangkan ion Na^+ akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Garam fenolat ini bersifat mudah larut. Lignin yang terlarut ditandai dengan warna hitam pada larutan yang disebut lindi hitam (*black liquor*).

Perbandingan spektrum adanya tiga kurva berbeda : K60, K80, dan K100 yang mungkin mengacu pada variasi konsentrasi atau komposisi material dalam komposit. Semua sampel menunjukkan adanya gugus O-H, C-H, C=O, C=C dan C-O-C, yang mengindikasikan bahwa komposisi dasar dari ketiga jenis sampel tersebut memiliki kesamaan. Perbedaan dalam intensitas puncak gelombang yang sedikit lebih rendah di beberapa area, mungkin menunjukkan interaksi matriks dan serat yang lebih kuat atau pengikatan komponen yang lebih baik. Perbedaan intensitas pada spektrum FTIR mencerminkan variasi dalam konsentrasi serat kulit jagung atau rasio antara resin epoksi dan PVAc dalam komposit. Komposisi K100, yang memiliki nilai kekerasan tertinggi dalam pengujian sebelumnya, menunjukkan adanya interaksi kimia yang lebih baik, seperti terbentuknya ikatan hidrogen yang lebih kuat antara serat kulit jagung dan matriks resin, yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit. Selain itu, variasi kecil dalam intensitas pita FTIR dapat menunjukkan adanya perbedaan dalam komposisi kimia antara K60, K80, dan K100, yang kemungkinan diakibatkan oleh perbedaan dalam proses pembuatan, seperti variasi suhu, waktu curing, atau konsentrasi bahan yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan dalam komposisi dan kondisi pemrosesan dapat berdampak signifikan pada struktur kimia dan sifat material akhir.

Secara keseluruhan, hasil FTIR ini menunjukkan bahwa papan komposit yang terbuat dari matriks resin epoksi dan PVAc diperkuat dengan serat kulit jagung memiliki struktur kimia yang sesuai dengan material penyusunnya. Puncak yang teridentifikasi mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi utama seperti O-H, C-H, C=O, C=C dan C-O-C yang berperan penting dalam sifat mekanik dan kimia komposit tersebut.

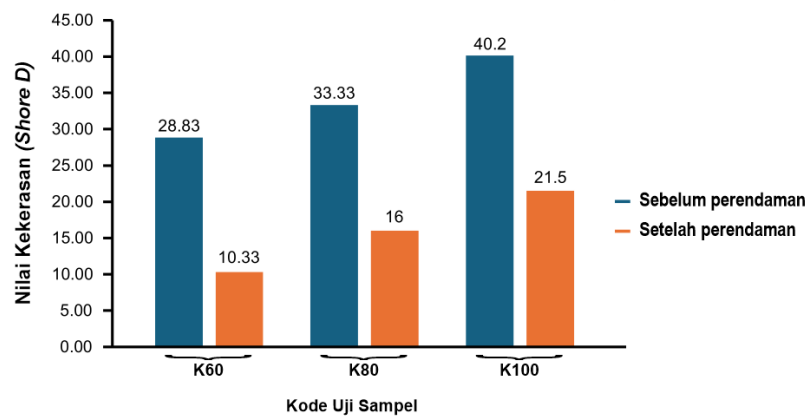
4.2 Hasil Uji Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan komposit papan partikel dilakukan dengan menggunakan alat durometer dengan skala shore D. Pengujian kekerasan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada permukaan dari papan komposit yang terbuat dari matriks resin epoksi dan PV Ac diperkuat serat kulit jagung diperoleh hasil pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan

Sampel	Kode Sampel	Nilai Kekerasan (Shore D) Sebelum Perendaman	Nilai Kekerasan (Shore D) Setelah Perendaman
K60	K60A	28	10
	K60B	30	11,5
	K60C	28,5	9,5
Nilai Kekerasan Rata-rata (Shore D)		28,83	10,33
K80	K80A	34	14
	K80B	31	16,5
	K80C	35	17,5
Nilai Kekerasan Rata-rata (Shore D)		33,33	16
K100	K100A	39	21,5
	K100B	37,5	20
	K100C	44	23
Nilai Kekerasan Rata-rata (Shore D)		40,2	21,5

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan nilai rata-rata pada nilai kekerasan pada sampel sebelum dilakukan perendaman yaitu sampel K60 memiliki nilai kekerasan sebesar 28,83 *shore D*, pada sampel K80 memiliki nilai rata-rata sebesar 33,33 *shore D*, dan untuk sampel K100 memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 40,2 *shore D*. Terjadi penurunan tingkat kekerasan pada spesimen yang telah diberikan perendaman air dengan metode perendaman selama 24 jam yaitu sampel K60 memiliki nilai kekerasan sebesar 10,33 *shore D*. Papanm partikel dengan kode sampel K80 memiliki nilai kekerasan lebih besar dari sampel K60 sebesar 16 *shore D*. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada kode sampel K100 yaitu sebesar 21,5 *shore D*. Pengaruh perendaman terhadap nilai kekerasan papan komposit ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 menunjukan setelah diberikan perendaman terhadap papan komposit menggunakan metode perendaman selama 24 jam. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa adanya penurunan yang signifikan pada nilai kekerasan shore D. Penurunan kekerasan lebih terasa pada sampel K60, Dimana nilai kekerasan Shore D menurun sekitar 64% yang mula-mula nilai kekerasan shore D sebelum perendaman sebesar 28,83 shore D menjadi 10,33 shore D. Pada sampel K80 dan K100 menunjukkan penurunan nilai shore D yang signifikan,

dikarenakan paparan air, dengan sampel K80 menurun sekitar 52% dan sampel K100 sekitar 46%.

Dari hasil ini, bisa disimpulkan bahwa papan komposit dengan kode sampel K100 memiliki resistensi terhadap air yang lebih baik dibandingkan dengan K60 dan K80, yang terlihat dari penurunan nilai kekerasan yang lebih kecil setelah perendaman. Kenaikan nilai kekerasan sebelum perendaman berkaitan dengan peningkatan tekanan kompaksi, yang kemungkinan menunjukkan peningkatan kualitas atau densitas papan komposit (Ekawati, 2028). Penurunan nilai kekerasan setelah perendaman menunjukkan bahwa semua jenis komposit ini sensitif terhadap air, namun dengan kode sampel K100 memiliki resistensi terbaik diantara ketiganya. Sampel K100 dianggap sebagai komposit papan partikel yang paling tahan lama di lingkungan yang lembab, karena penurunan kekerasannya paling kecil dibandingkan sampel lainnya. Hasil ini memberikan Gambaran penting mengenai ketahanan material komposit papan partikel berbasis serat kulit jagung terhadap air, dan menunjukkan potensi aplikasinya tergantung pada konsidi lingkungan yang dihadapi.

4.3 Hasil Kekuatan Lentur

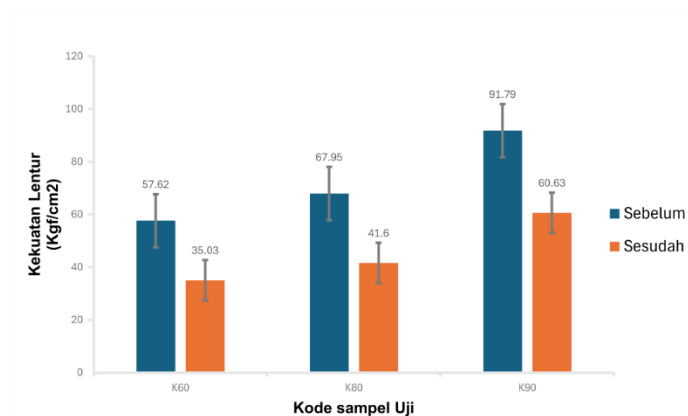
Pengujian keteguhan lentur pada papan komposit dengan serat kulit jagung dan kayu sengon sebagai penguat serta resin epoksi dan PV Ac sebagai matriks setiap spesimennya diperoleh hasil pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Keteguhan Lentur Papan Komposit

Sampel	Kode Sampel	Nilai Bending (kgf/cm ²)	Nilai Bending Rata-rata (kgf/cm ²)	SNI 03 2105-2006 (kgf/cm ²)
K60	K60A	37,72	35,03	≥82
	K60B	27,83		
	K60C	39,565		
K80	K80A	39,46	41,6	
	K80B	39,87		
	K80C	45,47		

K100	K100A	67,91	60,63	
	K100B	66,79		
	K100C	47,21		

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, papan komposit K60 menunjukkan nilai rata-rata ketangguhan lentur sebesar 35,03 kgf/cm². Hal ini menunjukkan bahwa setelah perendaman selama 24 jam, nilai ketangguhan lentur papan K60 tidak memenuhi standar SNI 03 2105-2006 yang mensyaratkan nilai minimum sebesar 82 kgf/cm². Papan K60 cenderung menunjukkan nilai yang lebih rendah, kemungkinan disebabkan oleh kelembaban yang mengurangi kekuatan serat dan matriks komposit. Papan komposit K80 memiliki nilai rata-rata ketangguhan lentur sebesar 41,6 kgf/cm² setelah perendaman. Ini juga tidak memenuhi standar SNI yang mengharuskan nilai minimum 82 kgf/cm². Papan K80 menunjukkan peningkatan ketangguhan lentur dibandingkan dengan papan K60 tetapi masih berada di bawah standar yang diharapkan. Pada komposit K100 memiliki nilai rata-rata ketangguhan lentur sebesar 60,63 kgf/cm², yang memenuhi dan melebihi standar SNI 03 2105-2006. Ini menunjukkan bahwa papan K100 memiliki ketahanan yang baik terhadap perendaman selama 24 jam dan masih mampu mempertahankan kekuatannya. Variasi nilai yang tinggi antara sampel menunjukkan bahwa beberapa bagian mungkin lebih rentan terhadap kelembaban dari pada yang lain, tetapi secara keseluruhan, papan K100 menunjukkan kinerja yang paling konsisten dan andal. Pengaruh besarnya tekanan kompaksi terhadap nilai keteguhan lentur papan komposit setelah perendaman air selama 24 jam ditunjukkan pada grafik Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Uji Kekuatan Lentur

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.3** menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi membantu mendapatkan ikatan yang lebih baik antara serat dan matriks serta mengurangi porositas dalam material komposit. Pada papan K100, yang diproduksi dengan tekanan kompaksi tertinggi, nilai ketangguhan lentur rata-rata mencapai 60,63 kgf/cm². Ini menunjukkan bahwa tekanan kompaksi yang tinggi dapat meningkatkan kekuatan ikatan antara serat dan matriks serta menghasilkan distribusi material yang lebih merata, sehingga meningkatkan ketangguhan lentur secara signifikan. Perendaman air selama 24 jam memberikan dampak negatif pada nilai ketangguhan lentur papan komposit. Semua jenis papan komposit, termasuk K60, K80, dan K100, menunjukkan penurunan nilai ketangguhan lentur setelah perendaman air. Air yang diserap oleh serat menyebabkan pembengkakan dan penurunan ikatan antara serat dan matriks, yang mengakibatkan penurunan integritas struktural papan komposit. Papan K60 menunjukkan penurunan ketangguhan lentur yang signifikan setelah perendaman, dengan nilai rata-rata hanya 35,03 kgf/cm². Papan K80 mengalami peningkatan nilai ketangguhan lentur setelah perendaman, dengan rata-rata 41,6 kgf/cm². Kedua jenis papan ini tidak memenuhi standar SNI ≥ 82 kgf/cm² setelah perendaman, menunjukkan bahwa tekanan kompaksi yang digunakan tidak cukup untuk menghasilkan material yang tahan terhadap perendaman air. Namun, papan K100 menunjukkan ketahanan terbaik terhadap perendaman air selama 24 jam. Meskipun nilai ketangguhan lentur menurun setelah perendaman, papan K100 masih memiliki nilai rata-rata

yang memenuhi standar SNI, yaitu 60,63 kgf/cm². Ini menunjukkan bahwa tekanan kompaksi yang lebih tinggi membantu mengurangi dampak negatif perendaman air, dengan menghasilkan material dengan ikatan serat-matriks yang lebih kuat dan distribusi material yang lebih baik.

Perbandingan papan komposit sebelum dan sesudah perendaman secara keseluruhan, perendaman air berdampak negatif pada kekuatan lentur semua papan komposit, dengan efek yang lebih besar pada papan dengan tekanan kompaksi lebih rendah.

4.4 Optimasi Multirespon

Dalam menentukan hasil sampel yang paling optimal dari seluruh pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pembobotan. Metode pembobotan akan mengubah banyaknya nilai hasil pengujian menjadi nilai yang tunggal. Hasil analisis teknik pembobotan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Nilai Pembobotan Sampel Papan Partikel

Jenis Pengujian		K60	K80	K100	Total
Kekerasan	K	10,333	16	21,5	47,83
	WK	0,22	0,33	0,45	1
Kekuatan Lentur	KL	35,04	41,6	60,64	137,28
	WKL	0,26	0,3	0,44	1
MRPI		11,38	17,76	36,36	65,5

Untuk menentukan nilai optimal dari setiap sampel pada papan partikel yaitu dengan menjumlahkan nilai MRPI (Multi Response Performance Index). Nilai Optimal dapat diketahui Ketika nilai MRPI mendapatkan hasil terbesar. Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai MRPI terbesar terdapat pada papan partikel dengan kode sampel K100 yang mewakili masing-masing variasi kompaksi dengan menambahkan perlakuan terhadap papan partikel dengan perendaman selama 24 jam sebesar 65,5. Oleh sebab itu , variasi kompaksi papan komposit dengan karakteristik sifat mekanis terbaik dihasilkan oleh papan komposit K100 dengan kompaksi 100 bar dan

perendaman selama 24 jam. Dimana hasil nilai kekerasan 21,15 shore-D, dan kekuatan lentur sebesar 60,63 kgf/cm².

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Pada hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa pada Secara keseluruhan, hasil FTIR ini menunjukkan bahwa papan komposit yang terbuat dari matriks resin epoksi dan PVAc diperkuat dengan serat kulit jagung memiliki struktur kimia yang sesuai dengan material penyusunnya. Puncak yang teridentifikasi mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi utama seperti O-H, C-H, C=O, C=C dan C-O-C yang berperan penting dalam sifat mekanik dan kimia komposit tersebut.
2. Perendaman air terhadap papan komposit menggunakan metode perendaman selama 24 jam mengakibatkan adanya penurunan yang signifikan pada nilai kekerasan *shore-D*. Penurunan kekerasan lebih terasa pada sampel K60, Dimana nilai kekerasan *shore-D* menurun sekitar 64% yang mula-mula nilai kekerasan *shore-D* sebelum perendaman sebesar 28,83 shore D menjadi 10,33 shore D. Pada sampel K80 dan K100 menunjukkan penurunan nilai shore D yang signifikan, dikarenakan paparan air, dengan sampel K80 menurun sekitar 52% dan sampel K100 sekitar 46%.
3. Perendaman air selama 24 jam mengakibatkan perubahan sifat mekanik papan komposit. Sifat mekanik yang paling optimal dihasilkan oleh sampel K100 menghasilkan nilai rata-rata kekuatan lentur sebesar 60,63 kgf/cm². Hasil pengujian lentur ini belum memenuhi standar SNI 03-2105-2006.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik antara lain :

1. Diperlukan penelitian lanjutan untuk variasi paparan terhadap spesimen.
2. Dalam aspek pengujian, diperlukan beberapa modifikasi terhadap spesimen terkhusus pada area yang akan diberikan perlakuan morfologi dan ukuran benda uji harus sesuai dengan dimensi yang sudah ditentukan pada standar pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- A Alavueen.(2015). SIFAT MEKANIS KOMPOSIT POLIESTER HIBRIDA YANG DIPERKUATSSSEAT PISANG/KENAF PENGARUH KAIN TENUN DAN ORIENTASI ACAK. 66 (2015). 246–257
- Baghestany, A.K. Yazdani. M. Ahmadian. (2014). STRUKTUR PASAR PERDAGANGAN DUNIA UNTUK JAGUNG. *International Journal of Life Sciences*. 8(2).
- Faruk, O.,Bledzki, A. K. Fink, H.P., & Sain, M. (2012). KEMAJUAN DALAMI ILMU POLIMER BIOKOMPOSIT YANG DIPERKUAT DENGAN SERAT ALAMI. 37(11)
- Dionys, van Gemert, D., & Czarnecki, L. (2005). *CEMENT CONCRETE AND CONCRETE-POLYMER COMPOSITES: Two merging worlds. A report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004*. Berlin, Germany: Elsevier
- Jones, R.M. (1999). KEMAJUAN MATERIAL STRUKTURAL. New York: McGraw Hill Book Company.
- Mazumdar, S.K. (2002). BAHAN PEMBUATAN KOMPOSIT, PRODUK, DAN PROSES REKAYASA. Press LLC.
- Reddy, N. Yang, Y. (2005). SIFAT DAN POTENSI PENERAPAN SERAT SELULOSA ALAMI DARI KULIT JAGUNG. *Jurnal sjme KINEMATIKA*. 7(4). 190-195.
- Ruhendi, S., D.N Koroh, F.A. Syamani, Nurhaida, Hikmayati, S.Saad, And T. Sucipto. (2007). ANALISIS PEREKATAN KAYU. Fakultas Kuhutanan IPB. Bogor.
- Sari, N. H. (2018). TEKNOLOGI PAPAN KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT KULIT JAGUNG.
- Schwartz,M.M. (1984). "Composite Materials Handbook". New York: McGraw
- Slamet, (2013). KARAKTERISASI KOMPOSIT DARI SERBUK GERGAJI KAYU (Sawdust) DENGAN PROSES HOTPRESS SEBAGAI BAHAN BAKU PAPAN PARTIKEL PROSIDING. SNST ke-4, ISBN 978-602-99334-2-0, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang.

Sunardi, Moh. Fawaid dan M. Chumaidi, Pemanfaatan Serat Tandan Kosong
PEMANFAATAN SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
SEBAGAI PENGUAT PAPAN PARTIKEL DENGAN VARIASI FRAKSI
VOLUME SERAT, Jurnal Machine (2016), hal 36-39.

Van Vlack, LH. 1994. "ILMU DAN TEKNOLOGI BAHAN". Edisi Kelima.
Terjemahan Japrie, S. Jakarta: Erlangga.

Yudhyadi. (2013). KARAKTERISTIK KEKUATAN BENDING KAYU
KOMPOSIT POLYESTER DIPERKUAT SERAT PANDAN WANGI
DENGAN FILLER SERBUK GERGAJI KAYU.

Zainnuddin. (1996). "KOMPOSIT INJUK SERAT PANJANG DENGAN RESIN
POLYESTER. Medan: FMIPA,USU.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN DAN DATA PERCOBAAN

A.1 Perhitungan Volume Cetakan

Diketahui: Panjang (P) = 21,2 cm

Lebar (L) = 21,2 cm

Tinggi (T) = 1,7 cm

Ditanya: $V_{cetakan}$?

Jawab: $V_{cetakan} = P \times L \times T = 21,2 \times 21,2 \times 1,7 = 764 \text{ cm}^2$

A.2 Perhitungan Tekanan Kompaksi

Diketahui : Luas penekan (A_H) = 4,91 cm²

Luas penampang komposit (A_K) = $P \times L = 21,2 \times 21,2$
 $= 449,44 \text{ mm}^2$

Tekanan hidrolik (P_H) = 60 bar = 600 N/cm²
 $= 80 \text{ bar} = 800 \text{ N/cm}^2$
 $= 100 \text{ bar} = 1000 \text{ N/cm}^2$

Gaya penekan (F_{H60}) = $A_H \times P_H = 4,91 \times 600 = 2946$

Gaya penekan (F_{H80}) = $A_H \times P_H = 4,91 \times 800 = 3928$

Gaya penekan (F_{H100}) = $A_H \times P_H = 4,91 \times 1000 = 4910$

Jawab: $P_{kompaksi60} = \frac{F_H}{A_K} = \frac{2946}{449,44} = 6,55 = 65500 \text{ Pascal}$

$P_{kompaksi80} = \frac{F_H}{A_K} = \frac{3928}{449,44} = 8,7 = 97400 \text{ Pascal}$

$P_{kompaksi100} = \frac{F_H}{A_K} = \frac{4910}{449,44} = 10,92 = 109200 \text{ Pascal}$

A.3 Perhitungan Komposisi Bahan

Serat kulit jagung = 32,5% × 764 × 0,58 = 144 g

Serbuk kayu sangon = 32,5% × 764 × 0,43 = 107 g

Lem PV Ac = 25% × 764 × 1,07 = 204 g

Resin Epoksi = 10% × 764 × 1,1 = 84 g

A.4 Perhitungan Kekuatan Lentur

Contoh perhitungan bending pada sampel K60A

Diketahui: Panjang sampel uji (L) = 6 cm

Lebar sampel uji (b) = 1,369 cm

Tebal sampel uji (h) = 0,536

Beban maksimum (P) = 0,0259 kN $\approx$ 2,641 kgf

Ditanya: MOR ?

Jawab:
$$MOR = \frac{3 \cdot 2,641 \cdot 6}{2 \cdot 1,369 \cdot 0,536^2} = 60,43 \text{ kg/cm}^2$$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

B.1 Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Adapun data hasil pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel B.1 Data Hasil Pengujian FTIR

No.	Daerah Serapan (cm ⁻¹)			Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
	K60	K80	K100	
1.	3338,70	3332,53	3338,34	O-H <i>stretching</i>
2.	2928,90	2925,16	2924,38	C-H <i>stretching</i> alifatic
3.	1637,56	1636,71	1637,79	C=O <i>stretching</i>
4.	1509,45	1509,26	1509,48	C=C <i>Stretching</i> aromatic
5.	1428,79	1425,60	1427,88	-CH ₂ deformasi
6.	1188,70	1159,97	1136,62	C-O-C <i>stretching</i>
7.	896,81	946,42	947,10	C-H deformasi

B.2 Pengujian Kekerasan *shore-D*

Adapun data hasil pengujian kekerasan *shore-D* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel B.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan

No.	Kode Sampel	Sampel	Nilai Kekerasan (<i>Shore-D</i>) Setelah Perendaman	Rata-rata Nilai Kekerasan (<i>Shore-D</i>)
1.	K60	1	10	10,33
		2	11,5	
		3	9,5	
2.	K80	1	14	16
		2	16,5	
		3	17,5	
3.	K100	1	21,5	21,5
		2	20	
		3	23	

B.3 Pengujian Kekuatan Lentur

Adapun data hasil pengujian kekuatan lentur dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No.	Kode Sampel	Lebar Sampel (cm)	Tebal Sampel (cm)	<i>Modulus Of Rupture</i> (kgf/cm ²)
1.	K60	1,34	0,515	60,43 kg/cm ²
		1,374	0,55	
		1,392	0,544	
2.	K80	1,43	0,65	42,15 kg/cm ²
		1,48	0,45	
		1,43	0,143	
3.	K100	1,284	0,6	36,76 kg/cm ²
		1,36	0,475	
		1,31	0,42	

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar 1. Proses Pemotongan Sampel



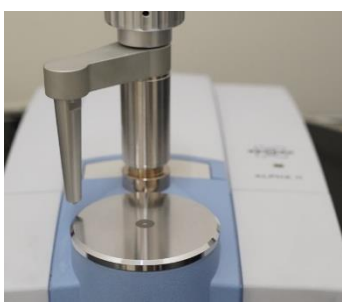
Gambar 2. Proses Uji Bending



Gambar 3. Proses Uji Kekerasan



Gambar 4. Proses Perendaman



Gambar 5. Proses Uji FTIR



Gambar 6. Sampel Uji



POLITEKNIK ATMI SURAKARTA

Kampus I : Jl. Mojo No. 1 Surakarta 57145. Phone : +62 271 714466 • Fax : +62 271 714390

Kampus II : Jl. Adi Sucipto Km 9,5 Karanganyar 57174. Phone : +62 271 7686220

Kotak Pos 215 Surakarta 57102, Jawa Tengah, Indonesia.

E-mail: politeknik@atmi.ac.id • Website <http://www.atmi.ac.id>

Zwick / Roell

Flexural Test report

Customer : TRI YULYANTO

Test standard : ASTM D 790

Material : Komposit Serat Kulit Jagung Matriks Epoksi dan PV AC

Notes : K60

Machine data : Zwick Z020

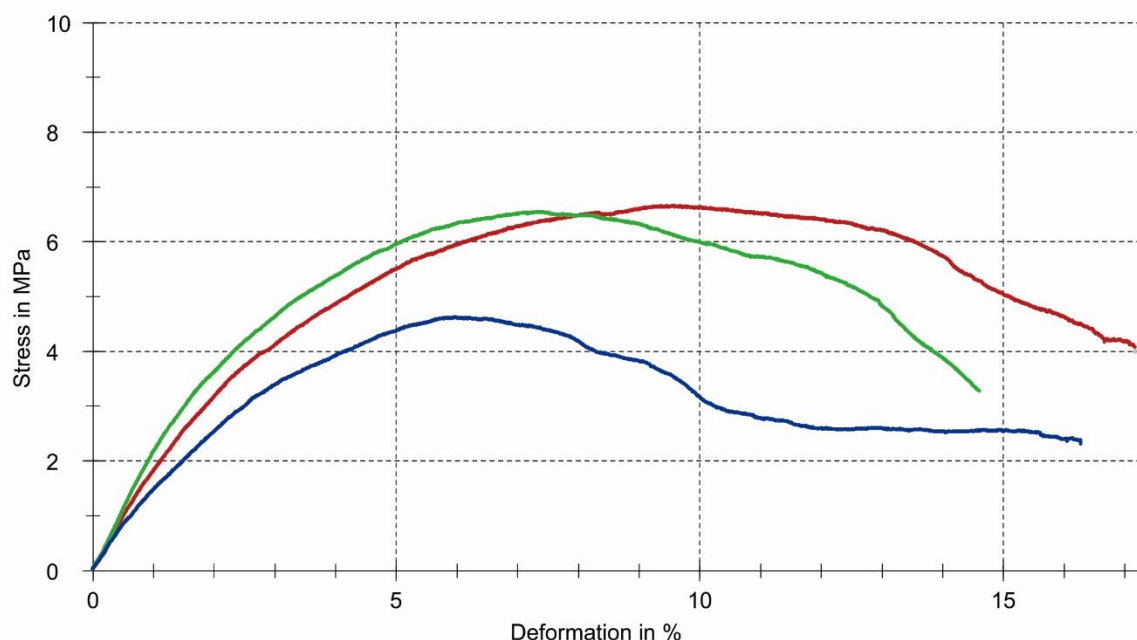
Pre-load : 0,2 N

Test speed : 2 mm/min

Test results:

Legend	No.	Force N	E_H MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_B mm	σ_{fB} MPa	ϵ_f mm	L mm	d mm	b mm
	1	26,30	143	6,66	-	-	20	60	5,15	13,4
	2	30,24	157	6,55	16	3,27	16	60	5,5	13,74
	3	21,17	110	4,63	18	2,31	18	60	5,44	13,92

Series graph:



Statistics:

Series	Force N	E_H MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_B mm	σ_{fB} MPa	ϵ_f mm	L mm	d mm	b mm
n = 3									
$\bar{x}$	25,90	137	5,94	17	2,79	18	60	5,363	13,69
s	4,55	24,1	1,14	1,4	0,682	2,0	0,000	0,1872	0,2641
v [%]	17,56	17,55	19,24	8,41	24,42	11,32	0,00	3,49	1,93



POLITEKNIK ATMI SURAKARTA

Kampus I : Jl. Mojo No. 1 Surakarta 57145. Phone : +62 271 714466 • Fax : +62 271 714390

Kampus II : Jl. Adi Sucipto Km 9,5 Karanganyar 57174. Phone : +62 271 7686220

Kotak Pos 215 Surakarta 57102, Jawa Tengah, Indonesia.

E-mail: politeknik@atmi.ac.id • Website <http://www.atmi.ac.id>

Zwick / Roell

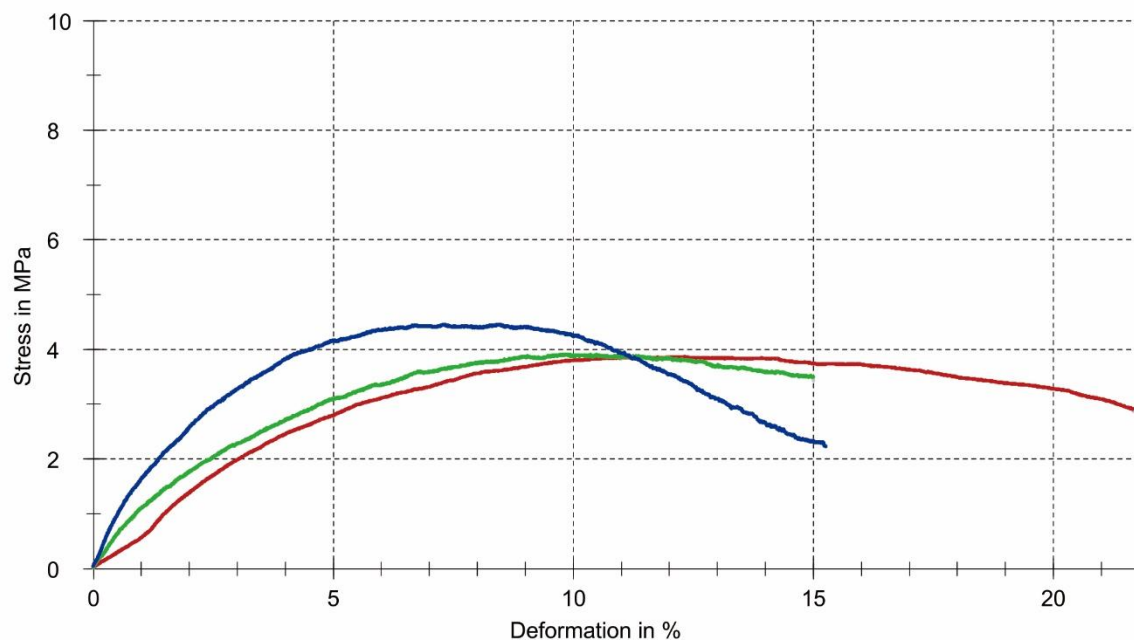
Flexural Test report

Customer : TRI YULYANTO
Test standard : ASTM D 790
Material : Komposit Serat Kulit Jagung Matriks Epoksi dan PV AC
Notes : K80
Machine data : Zwick Z020
Pre-load : 0,2 N
Test speed : 2 mm/min

Test results:

Legend	No.	Force N	E_H MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_B mm	σ_{fB} MPa	ϵ_f mm	L mm	d mm	b mm
	1	25,95	74,7	3,87	-	-	20	60	6,5	14,3
	2	13,02	78,1	3,91	-	-	20	60	4,5	14,8
	3	15,97	105	4,46	19	2,23	19	60	4,75	14,3

Series graph:



Statistics:

Series	Force N	E_H MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_B mm	σ_{fB} MPa	ϵ_f mm	L mm	d mm	b mm
n = 3									
$\bar{x}$	18,32	85,9	4,08	19	2,23	20	60	5,25	14,47
s	6,78	16,5	0,328	-	-	0,42	0,000	1,09	0,2887
v [%]	36,99	19,21	8,05	-	-	2,14	0,00	20,76	2,00



POLITEKNIK ATMI SURAKARTA

Kampus I : Jl. Mojo No. 1 Surakarta 57145. Phone : +62 271 714466 • Fax : +62 271 714390

Kampus II : Jl. Adi Sucipto Km 9,5 Karanganyar 57174. Phone: +62 271 7686220

Kotak Pos 215 Surakarta 57102, Jawa Tengah, Indonesia.

E-mail: politeknik@atmi.ac.id • Website <http://www.atmi.ac.id>

Zwick / Roell

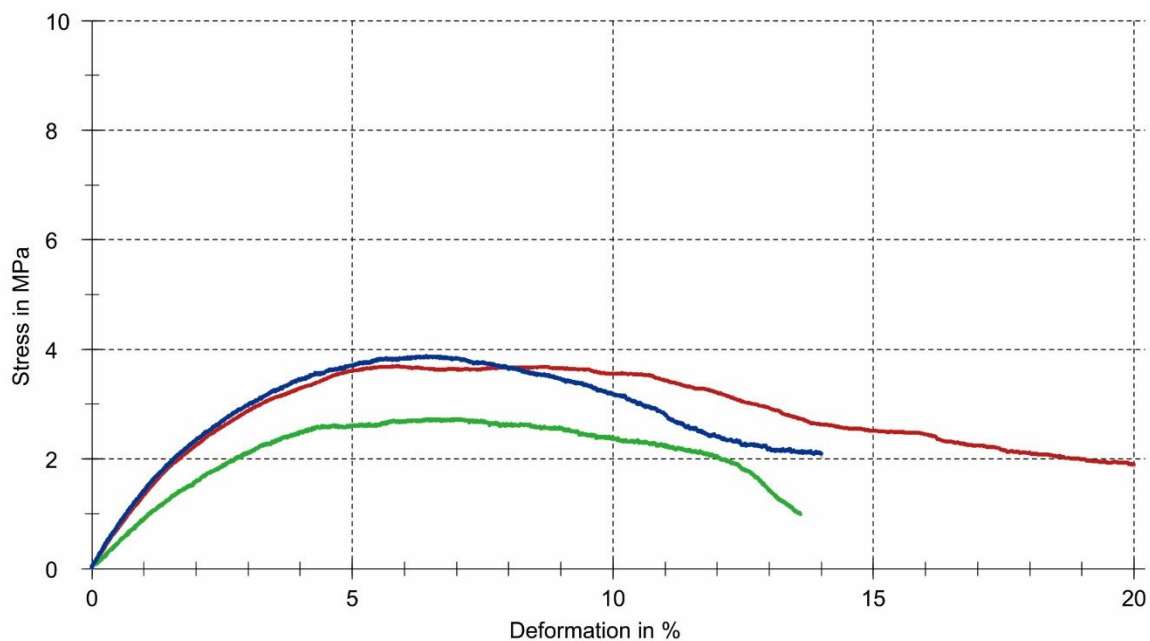
Flexural Test report

Customer : TRI YULYANTO
 Test standard : ASTM D 790
 Material : Komposit Serat Kulit Jagung Matriks Epoksi dan PV AC
 Notes : K100
 Machine data : Zwick Z020
 Pre-load : 0,2 N
 Test speed : 2 mm/min

Test results:

Legend	No.	Force N	E _H MPa	σ _{FM} MPa	ε _B mm	σ _{FB} MPa	ε _f mm	L mm	d mm	b mm
■	1	18,99	92,2	3,70	-	-	20	60	6	12,84
■	2	6,95	80,8	2,73	20	0,984	20	60	4,1	13,6
■	3	9,97	113	3,88	-	-	20	60	4,2	13,1

Series graph:



Statistics:

Series	Force N	E _H MPa	σ _{FM} MPa	ε _B mm	σ _{FB} MPa	ε _f mm	L mm	d mm	b mm
n = 3									
$\bar{x}$	11,97	95,2	3,44	20	0,984	20	60	4,767	13,18
s	6,27	16,1	0,616	-	-	0,056	0,000	1,069	0,3863
v [%]	52,37	16,87	17,93	-	-	0,28	0,00	22,43	2,93