

**PENGARUH CANGKANG TELUR DAN BAMBU BETUNG
PADA MATRIKS EPOKSI DAN *POLYVINYL ACETATE* (PVAc)
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PAPAN KOMPOSIT**

SKRIPSI

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



Disusun oleh:

Zaki Muhyidin

NPM. 3331190010

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

No : 066/UN.43.3.1/PK.03.08/2023

TUGAS AKHIR

Pengaruh Cangkang Telur Dan Bambu Betung Pada Matriks Epoksi Dan Polyvinyl Acetate (Pvac) Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Komposit

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Zaki Muhyidin
3331190010

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 18 Desember 2023

Pembimbing Utama

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

Dr. Mektu Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

Anggota Dewan Penguji

Prof. Dr. Eng. A. Ari Alhamidi, MT.
NIP. 197312131099031001

Idris Satrio, S.T., M.Eng.
NIP. 197705012003121001

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

Dr. Mektu Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

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

Jakarta, 08 Januari 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Dharma Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Zaki Muhyidin

NPM : 3331190010

Judul : Pengaruh Cangkang Telur dan Bambu Betung Pada Matriks
Epoksi dan *Polyvinyl Acetate* (PVAc) terhadap Sifat Fisik dan
Mekanik Papan Komposit

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Desember 2023



Zaki Muhyidin
NPM. 3331190010

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang tiada sekutu baginya, Rabb pengenggam nafas dalam setiap jiwa. Semoga shalawat beserta salam selalu tercurahkan kepada suri tauladan sejati, baginda Nabi dan Rasulullah Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan para pejuang penerus risalnya hingga akhir zaman. Alhamdulillah dengan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Cangkang Telur dan Bambu Betung Pada Matriks Epoksi dan *Polyvinyl Acetate* (PVAc) Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Komposit”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Skripsi ini mungkin tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, dukungan, serta motivasi. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Jayanudin, S.T., M.Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Dhimas Satria, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Imron Rosyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran dalam penyusunan skripsi ini serta dengan sabar memberikan arahan selama penulis menjalankan kegiatan perkuliahan.
4. Sunardi, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta saran sehingga penyusunan proposal skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
5. Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta saran sehingga penyusunan proposal skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
6. Seluruh Dosen dan staff Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kegiatan perkuliahan.

7. Mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2019 dan seluruh pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini jauh dari kesempurnaan, oleh karenanya penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun guna kesempurnaan dan pembelajaran penulis harapkan. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Serang, Desember 2023



Zaki Muhyidin

ABSTRAK

Limbah cangkang telur ayam dan bambu di Indonesia belum mendapatkan penanganan yang tepat sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk pembuatan biokomposit salah satunya papan partikel yang memiliki kinerja andal dan dampak lingkungan yang minimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui perbedaan variasi fraksi volume cangkang telur dan bambu betung terhadap sifat fisik dan mekanik pada papan komposit yang sesuai dengan standar SNI 03-2105-2006. Bahan yang digunakan terdiri dari serbuk cangkang telur ayam, bambu betung, kayu sengon, resin epoksi dan perekat *Polyvinyl Acetate* (PVAc) dengan berbagai variasi fraksi volume antara lain 0%:25%:40%:10%:25%, 20%:25%:20%:10%:25%, 40%:25%:0%:10%:25%. Proses kompaksi dilakukan dengan metode *cold press single punch* dengan tekanan sebesar 50 bar dan *holding time* selama 120 menit. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan hasil karakterisasi papan partikel yang paling baik yaitu sampel dengan komposisi 40%:25%:0%:10%:25% yang memiliki nilai kerapatan, persentase pengembangan tebal, pengembangan volumetrik, serapan air, kekerasan dan kekuatan bending masing masing sebesar 1,089 g/cm³, 4,08%, 7,92%, 10,06%, 47,17, dan 39,51 kgf/cm². Pengamatan makro struktur terbaik terdapat pada sampel dengan komposisi 40%:25%:0%:10%:25% yang menunjukkan porositas yang lebih sedikit dibandingkan dengan sampel lain dikarenakan matriks dan *filler* terdistribusi secara merata.

Kata Kunci : *Cangkang Telur, Bambu, Papan Partikel*

ABSTRACT

Chicken eggshell and bamboo waste in Indonesia has not received proper handling so that it can still be utilized for the manufacture of biocomposites, one of which is particle board, which has reliable performance and minimal environmental impact. The purpose of this study was to analyze and determine the difference in volume fraction variations of eggshells and betung bamboo on the physical and mechanical properties of composite boards in accordance with SNI 03-2105-2006 standards. The materials used consisted of chicken eggshell powder, betung bamboo, sengon wood, epoxy resin and PVAc glue with various volume fraction variations including 0%:25%:40%:10%:25%, 20%:25%:20%:10%:25%, 40%:25%:0%:10%:25%. The compaction process was carried out by the single punch cold press method with a pressure of 50 bar and a holding time of 120 minutes. Based on the tests that have been carried out, the best particle board characterization results are samples with a composition of 40%: 25%: 0%: 10%: 25% which have a density value, percentage of thickness development, volumetric development, water absorption, hardness and bending strength of 1.089 g/cm³, 4.08%, 7.92%, 10.06%, 47.17, and 39,51 kgf/cm², respectively. The best macro structural observations are found in the sample with a composition of 40%:25%:0%:10%:25% which shows less porosity compared to other samples because the matrix and filler are evenly distributed.

Keywords: *Eggshell, Bamboo, 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	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of The Art</i>	5
2.2 Komposit	7
2.3 Material Penyusun Komposit	7
2.3.1 Matriks	8
2.3.2 Pengisi (<i>Filler</i>)	10
2.4 Papan Partikel	11
2.5 Proses Kompaksi	12
2.6 Bahan Penyusun Papan Partikel.....	13
2.6.1 Kayu Sengon	13
2.6.2 Bambu Betung	14
2.6.3 Cangkang Telur	14
2.6.4 <i>Polyvinyl Acetate (PVAc)</i>	15
2.6.5 Resin Epoxy	15
2.7 Proses Pengujian	16

2.7.1 Uji Densitas	16
2.7.2 Uji Pengembangan Tebal	17
2.7.3 Uji Daya Serapan Air	17
2.7.4 Uji Koefisien Pengembangan Volumetrik	18
2.7.5 Uji Kekuatan Bending	18
2.7.6 Uji Kekerasan Shore D	18
2.7.7 Pengamatan Struktur Makro	19
2.8 Analisis Teknik Pembobotan	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan	23
3.3.1 Alat yang Digunakan	23
3.3.2 Bahan yang Digunakan	29
3.4 Pembuatan Sampel Pengujian.....	31
3.4.1 Persiapan Bahan.....	31
3.4.2 Proses Pencampuran Bahan (<i>Mixing</i>).....	35
3.4.3 Proses Kompaksi.....	37
3.4.4 Proses Curing	38
3.5 Proses Pengujian	38
3.5.1 Pengujian Densitas.....	38
3.5.2 Pengujian Pengembangan Tebal	39
3.5.3 Pengujian Daya Serap Air.....	39
3.5.4 Pengujian Koefisien Pengembangan Volumetrik	40
3.5.5 Pengujian Kekuatan Bending.....	40
3.5.6 Pengujian Kekerasan Shore D	41
3.5.7 Pengamatan Struktur Makro	42

BAB IV DATA DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian Fisik Papan Partikel.....	43
4.1.1 Pengujian Densitas.....	43
4.1.2 Pengujian Daya Serap Air.....	46
4.1.3 Pengujian Pengembangan Tebal	48

4.1.4 Pengujian Pengembangan Volumetrik.....	51
4.2 Hasil Pengujian Mekanik Papan Partikel.....	53
4.2.1 Pengujian Kekerasan Shore D	53
4.2.2 Pengujian Kekuatan Bending.....	55
4.3 Hasil Pengamatan Makro Struktur.....	58
4.4 Analisis Statistika.....	61
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Komposisi Material Komposit.....	7
Gambar 2.2 Struktur Penyusun Komposit.....	8
Gambar 2.3 Matriks Resin Epoxy.....	9
Gambar 2.4 Serbuk Kayu Sengon.....	11
Gambar 2.5 Jenis-jenis Penekanan.....	13
Gambar 2.6 Pengujian Kekerasan Shore D.....	19
Gambar 2.7 Pengamatan Struktur Makro.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Papan Komposit.....	22
Gambar 3.2 Kikir.....	23
Gambar 3.3 Wadah.....	24
Gambar 3.4 Jangka Sorong.....	24
Gambar 3.5 Gerinda Tangan.....	24
Gambar 3.6 Ayakan Mesh 35.....	25
Gambar 3.7 <i>Hydraulic Pump</i>	25
Gambar 3.8 Neraca Digital.....	25
Gambar 3.9 Papan Cetakan.....	26
Gambar 3.10 Durometer Shore D.....	26
Gambar 3.11 Frais Konvensional.....	26
Gambar 3.12 Blender.....	27
Gambar 3.13 Oven.....	27
Gambar 3.14 Gelas Ukur.....	27
Gambar 3.15 Amplas.....	28
Gambar 3.16 <i>Universal Testing Machine</i>	28
Gambar 3.17 Mikroskop Optik.....	28
Gambar 3.18 Serbuk Cangkang Telur.....	29
Gambar 3.19 Serbuk Kayu Sengon.....	29
Gambar 3.20 Serbuk Cangkang Telur.....	29
Gambar 3.21 Lem PVAc.....	30

Gambar 3.22 Resin Epoksi	30
Gambar 3.23 NaOH	30
Gambar 3.24 Aquades	31
Gambar 3.25 Serbuk Kayu Sengon	31
Gambar 3.26 Penjemuran Serbuk Kayu Sengon	31
Gambar 3.27 Proses Pengayakan Serbuk Kayu Sengon.....	32
Gambar 3.28 Proses Pengeringan Serbuk Kayu Sengon	32
Gambar 3.29 Proses Pemotongan Bambu Betung.....	32
Gambar 3.30 Proses Penjemuran Bambu Betung.....	33
Gambar 3.31 Proses Pengikiran Bambu Betung.....	33
Gambar 3.32 Proses Pengayakan Serbuk Bambu Betung	33
Gambar 3.33 Proses Alkalisasi Serbuk dan Serat Bambu Betung.....	34
Gambar 3.34 Proses Pengeringan Serbuk dan Serat Bambu Betung.....	34
Gambar 3.35 Proses Pengovenan Serbuk dan Serat Bambu Betung	34
Gambar 3.36 Proses Pencucian Cangkang Telur.....	35
Gambar 3.37 Proses Penjemuran Cangkang Telur	35
Gambar 3.38 Proses Pengayakan Serbuk Cangkang Telur	35
Gambar 3.39 Proses Pencampuran Bahan (<i>mixing</i>)	37
Gambar 3.40 Proses Kompaksi Papan Partikel	37
Gambar 3.41 Proses <i>Curing</i> Papan Partikel	38
Gambar 3.42 Pengujian Densitas.....	39
Gambar 3.43 Pengujian Pengembangan Tebal, Daya Serap Air, dan Koefisien Volumetrik	40
Gambar 3.44 Pengujian Bending.....	41
Gambar 3.45 Pengujian Kekerasan Shore D	41
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kerapatan Papan Partikel	44
Gambar 4.2 Pengaruh Cangkang Telur Terhadap Nilai Porositas.....	45
Gambar 4.3 Hubungan Antara Porositas Terhadap Densitas	45
Gambar 4.4 Grafik Nilai Daya Serap Air	47
Gambar 4.5 Hubungan Waktu Perendaman Terhadap Daya Serap Air	47
Gambar 4.6 Grafik Nilai Pengembangan Tebal	49
Gambar 4.7 Hubungan Daya Serap Air Terhadap Pengembangan Tebal	50

Gambar 4.8 Hubungan Kerapatan Terhadap Pengembangan Tebal.....	51
Gambar 4.9 Grafik Nilai Pengembangan Volumetrik	52
Gambar 4.10 Grafik Nilai Kekerasan Shore D	54
Gambar 4.11 Hubungan antara Densitas Terhadap Kekerasan	54
Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekuatan Bending	57
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Densitas Terhadap <i>Modulus Of Repture</i> (MOR)	57
Gambar 4.14 Struktur Makro Sampel Uji (a) C40B0, (b) C20B20, dan (c) C40B0	59
Gambar 4.15 Bentuk Patahan Sampel Uji (a) C20B20 dan (b) C40B0.....	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel pada SNI-03-2105-2006	12
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Kayu Sengon (<i>Albizia Falcataria (L.) Fosberg</i>).....	14
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Bambu Betung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	14
Tabel 2.4 Sifat-sifat Resin Epoksi	16
Tabel 3.1 Fraksi Volume Bahan Papan Partikel	36
Tabel 4.1 Hasil Data Pengujian Densitas	43
Tabel 4.2 Hasil Data Pengujian Daya Serap Air	46
Tabel 4.3 Hasil Data Pengujian Pengembangan Tebal.....	49
Tabel 4.4 Hasil Data Pengujian Pengembangan Volumetrik	52
Tabel 4.5 Hasil Data Pengujian Kekerasan Shore D	53
Tabel 4.6 Hasil Data Pengujian Bending	56
Tabel 4.7 Hasil Nilai Pembobotan Sampel Papan Partikel	61
Tabel 4.8 Hasil Nilai Total Pembobotan Sampel Papan Partikel	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan tanaman penghasil kayu, sehingga banyak dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan industri besar, industri kecil maupun rumah tangga. Data dari Statistik Produksi Kehutanan (2022) menunjukkan bahwa penggunaan kayu terus meningkat pada tiga bulan pertama sebesar 9,530 juta m³, tiga bulan kedua sebesar 9,595 juta m³, tiga bulan ketiga sebesar 10,121 juta m³ dan tiga bulan keempat sebesar 10,555 juta m³. Salah satunya yaitu kayu sengon yang digunakan untuk bahan baku industri pengolahan kayu. Pada proses produksi pengolahan kayu dapat menghasilkan berupa potongan kecil kayu, serbuk gergajian (*saw dust*), tatal, pasahan (*shaving*), dan lain-lain (Siregar, dkk, 2008). Sama halnya dengan kayu, bambu adalah salah satu bahan baku alternatif untuk industri pengolahan bukan kayu. Pada proses pengolahan bambu diperoleh sisa berupa potongan-potongan bambu. Limbah bambu yang dihasilkan belum mendapatkan penanganan yang tepat. Penggunaan limbah serat bambu memiliki keunggulan dibandingkan dengan serat kaca antara lain kekuatan dan kekakuan yang sebanding, kepadatan yang rendah, dampak lingkungan yang kecil, biaya yang rendah, dan sifat lentur yang lebih baik (Joshi dkk., 2004).

Selain itu, meningkatnya jumlah penduduk Indonesia yang cukup pesat, mempengaruhi kebutuhan pangan yang juga semakin meningkat. Sumber protein yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia berupa telur. Bagian telur tidak semuanya dapat dikonsumsi sehingga terdapat yang terbuang dan menjadi limbah. Limbah dari telur berupa cangkang yang tentunya sering kita jumpai di tempat sampah. Cangkang telur ayam di Indonesia cenderung meningkat dari tahun ke tahun mencapai 556.633 ton (Badan Pusat Statistik, 2022). Cangkang telur hingga saat ini belum dapat menciptakan inovasi yang optimal. Sebenarnya, telah terdapat

dipasaran beberapa produk kerajinan yang berasal dari limbah cangkang telur contohnya tempat tisu, lukisan kaligrafi, dan sebagai bahan pembuatan pupuk organik (Akbar dkk., 2021; Faizah dkk., 2022; Taha & Mukhtar, 2022). Akan tetapi, limbah-limbah tersebut akan lebih memiliki nilai ekonomis yang tinggi apabila melalui proses kombinasi teknologi kreatif sehingga dapat menghasilkan produk yang bernilai jual tinggi.

Cangkang telur ayam memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang sangat tinggi yang berpotensi digunakan diberbagai aplikasi. Pengolahan limbah cangkang telur sejauh ini umumnya diolah menjadi produk kerajinan sehingga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan biokomposit satunya papan partikel yang memiliki kinerja andal, dampak lingkungan yang minimal, dan konduktivitas termal yang baik. Hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Xu dkk., 2019) menyatakan bahwa cangkang telur ayam yang digunakan sebagai *biofiller* digabungkan dengan resin epoxy dapat meningkatkan sifat tahan api pada komposit. Dari beberapa produk papan partikel yang terdapat dipasaran masih menunjukkan kerapatan yang cukup rendah sehingga akan rentan terhadap air. Berdasarkan penelitian dari (Sosiati dkk., 2022) dengan penambahan serbuk cangkang telur didapatkan hasil yaitu kerapatan dari papan komposit menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan papan partikel komersial. Hasil penelitian lainnya tentang *green composite* pada variasi fraksi volume 80%:10%:10%, 70%:15%:15%, 60%:20%:20% dan 50%:25%:25% yang dilakukan oleh Perdana dkk., (2018). Dari penelitian ini diperoleh bahwa kerapatan dan kekuatan tarik semakin meningkat dengan penambahan unsur serbuk cangkang telur dan serbuk ampas tebu. Penelitian lainnya dari (Sevinç & Durgun, 2021) mendapatkan hasil yang menarik yaitu kerapatan, kekuatan tekan, dan kekuatan lentur komposit meningkat dengan bertambahnya jumlah serbuk cangkang telur. Selain itu, penelitian (Adediran dkk., 2021) menyatakan bahwa penambahan serbuk cangkang telur dapat meningkatkan sifat pada komposit yang cukup baik. Berdasarkan informasi lainnya dari berbagai sumber pada jurnal dalam dan luar negeri, umumnya dalam proses pembuatan komposit hanya

menggunakan bahan pengisi/penguat limbah cangkang telur ayam atau serbuk kayu saja. Namun, komposit yang menggunakan perpaduan antara serbuk cangkang telur, serbuk kayu, bambu sebagai pengisi/penguat dan resin epoksi serta PVAc sebagai pengikatnya, masih menjadi hal yang jarang ditemukan.

Dari uraian di atas penulis akan memilih bahan komposit yang terdiri dari serbuk cangkang telur ayam, kayu sengon, bambu, resin epoksi dan PVAc dengan berbagai variasi fraksi volume yaitu 0%:25%:40%:10%:25%, 20%:25%:20%:10%:25%, 40%:25%:0%:10%:25% dengan keunggulan dapat meningkatkan kerapatan, kekerasan dan kekuatan lentur. Maka diharapkan dapat menghasilkan material dengan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik serta sesuai dengan standar SNI 03-2105-2006.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka terdapat rumusan permasalahan yang akan diangkat yaitu bagaimana pengaruh perbedaan variasi fraksi volume cangkang telur dan bambu betung terhadap sifat fisik dan mekanik pada komposit papan partikel ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka penulis dapat memberitahukan tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa dan mengetahui perbedaan variasi fraksi volume cangkang telur dan bambu betung terhadap sifat fisik pada komposit papan partikel yang sesuai dengan standar SNI 03-2105-2006.
2. Untuk menganalisa dan mengetahui perbedaan variasi fraksi volume cangkang telur dan bambu betung terhadap sifat mekanik pada komposit papan partikel yang sesuai dengan standar SNI 03-2105-2006.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi pencemaran lingkungan

yang diakibatkan oleh limbah berupa kayu sengon, bambu, maupun cangkang telur.

2. Membantu tumbuh dan berkembangnya industri rumah tangga dengan memanfaatkan hasil penelitian ini untuk inovasi berbagai produk yang berkualitas, ramah lingkungan, dan ekonomis.
3. Penelitian ini dapat dijadikan referensi atau acuan serta evaluasi untuk penelitian mengenai papan komposit selanjutnya.
4. Memberikan informasi tambahan tentang sifat fisik dan mekanik yang dihasilkan dengan pengaruh variasi fraksi volume cangkang telur.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu luas tinjauannya dan tidak menyimpang dari rumusan masalah diatas, maka perlu adanya pembatasan masalah yang ditinjau. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya:

1. Pengujian ini menggunakan serbuk cangkang telur dengan ukuran 35 *mesh*.
2. *Filler* yang digunakan yaitu kayu sengon 25%.
3. Matriks polimer yang digunakan sebagai bahan pengikat yaitu resin epoksi 10% dan lem PVAc 25%.
4. Cangkang telur yang digunakan dalam keadaan mentah dan tanpa perlakuan.
5. Ukuran mesh serbuk bambu betung dan kayu sengon yang digunakan yaitu mesh 35
6. Cangkang telur diperoleh dari limbah rumah tangga.
7. Pengujian sifat fisik dari komposit yaitu pengujian densitas, pengembangan tebal, pengembangan koefisien volumetrik, daya serap air, dan struktur makro.
8. Pengujian sifat mekanik dari komposit yaitu pengujian kekerasan dan pengujian bending.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Sosiati dkk., 2022) dengan memanfaatkan limbah serbuk gergaji dan cangkang telur yang digunakan sebagai penguat komposit dengan matriks epoxy. Fraksi berat yang digunakan yaitu limbah serbuk kayu 40% dan epoxy 60%, serta limbah serbuk kayu 30% dikombinasikan dengan limbah serbuk cangkang telur ayam 10% dan epoxy resin 60%. Hasil yang didapatkan dari pengujian sifat fisik dan mekanik yaitu dengan penambahan 10% serbuk cangkang telur menunjukkan kerapatan yang lebih tinggi dan sedikit meningkatkan regangan lentur dan kekakuan papan komposit. Sevinç & Durgun (2021) melakukan studi tentang komposit berbasis epoksi dengan serbuk cangkang telur, serbuk gergaji PVC, serbuk gergaji kayu dan vermikulit. Fraksi massa masing-masing bahan berbeda yaitu serbuk gergaji kayu dan PVC 40 gram, serbuk cangkang telur 50, 100 dan 200 gram, vermikulit 25 dan 50 gram, serta epoksi 115, 120 dan 125 gram. Pengujian fisik dan mekanik yang digunakan meliputi pengujian kerapatan, kekuatan lentur dan kekuatan tekan. Kerapatan tertinggi didapatkan pada komposisi serbuk cangkang telur sebesar 200 gram dan vermikulit 50 gram. Sehingga dapat disimpulkan kerapatan pada komposit akan semakin meningkat seiring penambahan serbuk cangkang telur. Nilai kekuatan lentur dan kekuatan tekan tertinggi diperoleh pada komposisi serbuk cangkang telur 200 gram yaitu 0,54 Mpa dan 0,65 Mpa. Penambahan serbuk cangkang telur dapat meningkatkan nilai kekuatan lentur dan tekan pada komposit. Irnawan dkk., (2019) melakukan kajian ukuran serbuk komposit limbah cangkang telur dengan perbandingan 40% serbuk cangkang telur dan 60% resin BQTN 157. Pada penelitian ini didapatkan hasil ukuran *mesh* 180 memiliki ketangguhan impak tertinggi yaitu sebesar 6422,78 J/m².

Sutiawan dkk (2020) menyatakan bahwa papan partikel yang dibuat

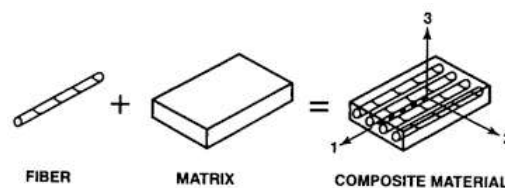
oleh 100% serbuk kayu sengon dengan perekat asam sitrat menghasilkan nilai kerapatan $0,78 \text{ g/cm}^3$, kadar air 7,4%, daya serap air 52,07%, pengembangan tebal 10%, keteguhan lentur 1749 N/mm^2 dan keteguhan patah 10 N/mm^2 . Fawaid dkk (2017) di dalam penelitiannya tentang pengaruh butiran filler kayu sengon dengan komposisi penyusunnya yaitu serat 15%, resin epoxy 15%, lem PVAc 20% dan serbuk kayu 50%. Dari hasil penelitian tersebut, nilai kekuatan lentur tertinggi terdapat pada butiran 18 mesh sebesar $1157,358 \text{ N/mm}^2$ dan terendah mesh 40 sebesar $734,358 \text{ N/mm}^2$. Nilai kekerasan tertinggi dari papan komposit dengan mesh 80 yaitu 21 N/mm^2 . Namun nilai tersebut masih kurang memenuhi nilai kekerasan papan partikel yang terdapat di pasaran yaitu 22 N/mm^2 . Syafitri dkk., (2022) melakukan penelitian papan partikel dengan komposisi antara serbuk kayu sengon dengan kulit biji kopi masing-masing 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, dan 25%:75%. Hasil uji sifat fisik yang didapatkan yaitu kerapatan $0.49\text{-}0.64 \text{ g/cm}^3$, kadar air 7.89%-9.01%, daya serap air 92.41-167.65%, dan pengembangan tebal 11.31%-59.9%.

Susanto dkk (2023) melakukan riset tentang perendaman bambu pada air laut dengan fraksi volume 30% serat bambu betung, 28% serbuk bambu betung, 2% seng, dan 40% resin epoxy. Dari riset ini diketahui bahwa nilai densitas yang didapatkan pada bambu tanpa perendaman $1,245 \text{ gr/cm}^3$. Hasil menarik lainnya kekerasan yang dihasilkan bambu tanpa perendaman memiliki nilai tertinggi yaitu 8,3 BHN. Penelitian tentang pengaruh perendaman NaOH serat bambu tali dengan fraksi volume serat 20%, 30%, dan 40%. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik dan kekuatan bending tertinggi terdapat pada fraksi volume serat bambu 40% masing masing sebesar 42 kN/mm^2 dan $15,4 \text{ kN/mm}^2$ (Kosjoko, 2014). Sunardi dkk (2022) meneliti rasio resin epoksi/PVAc dengan masing-masing variasi S1 (20/15), S2 (15/20), dan S3 (10/25). Kombinasi resin epoksi dan PVAc mencapai nilai tertinggi pada komposisi 20% resin epoksi dan 15% PVAc dengan nilai pengembangan tebal 4,1 % dan kekerasan 103,38 BHN. Maka dapat disimpulkan semakin tinggi resin epoksi maka akan semakin tinggi stabilitas dimensi dan kekerasan papan komposit.

2.2 Komposit

Komposit adalah hasil penggabungan dari dua atau lebih material yang bertujuan untuk memperoleh sifat fisik dan mekanik yang lebih unggul dari sifat masing-masing komponen penyusunnya (Mardhika & Rosa, 2016). Menurut Gibson (1994), komposit merupakan penggabungan dari material yang ditetapkan berdasarkan kombinasi sifat fisik material penyusun untuk menciptakan material baru dengan sifat yang lebih istimewa daripada material sebelumnya. Bahan komposit merupakan bahan gabungan yang terbentuk dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur utama yang secara makro berbeda dalam bentuk dan komposisi yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain (Schwartz, 1984). Menurut Sirait (2010), material komposit menunjukkan sifat-sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan logam, memiliki kekuatan yang tinggi (*tairlorability*), daya tahan kekuatan lelah yang bagus (*fatigue*), serta kekuatan jenis (*strength*) dan kekakuan jenis modulus young yang lebih tinggi daripada logam. Selain itu, material komposit juga memiliki ketahanan terhadap korosi, sifat isolator panas dan suara serta penghambat listrik yang baik, dan dapat dijadikan untuk memperbaiki kerusakan akibat pembebanan dan korosi.

Komposit merupakan material hibrida antara resin polimer yang diperkuat serat dengan menggabungkan sifat fisik dan mekaniknya (Jones, 1999). Ilustrasi komposisi material komposit dengan unsur penyusun fiber dan resin dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komposisi Material Komposit

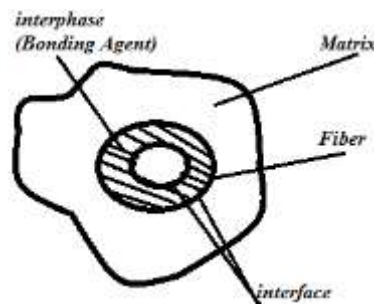
(Sumber: R. Jones, 1999)

2.3 Material Penyusun Komposit

Komposit terbentuk dari komponen penyusun yaitu matriks dan fiber. Perpaduan dua material yang berbeda dilakukan untuk menciptakan material baru yang mempunyai sifat dari material penyusunnya dimana

tidak akan diperoleh jika hanya material penyusun tersebut sendiri. Serat memiliki peran penting dalam memberikan kekuatan dan kekakuan pada komposit. Sementara itu, matriks berfungsi menjadi sumber kekuatan komposit, memberikan ketahanan terhadap suhu tinggi dan tegangan geser, serta bertindak untuk mendistribusikan beban.

Terdapat beberapa daerah akibat adanya dua atau lebih penyusun komposit, diantaranya matriks sebagai penyusun dengan dengan fraksi volume terbesar, penguat sebagai penahan beban utama, *interphase* sebagai perekat antara dua komponen penyusun, dan *interface* yaitu permukaan fase yang berbatasan langsung dengan fase lain. Ilustrasi struktur penyusun komposit dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur Penyusun Komposit

(Sumber: R. Jones, 1999)

2.3.1 Matriks

Matriks merupakan salah satu material utama penyusun komposit yang mempunyai peran besar dalam fraksi volumenya (dominan) dan berfungsi sebagai pengikat serta pelindung pengisi (*filler*) dari ancaman kerusakan luar. Menurut Purnomo (2014) fungsi utama matriks yaitu untuk mengikat serat agar tidak berpindah posisinya dan melindungi serat dari pengaruh lingkungan luar. Pada material komposit, matriks memiliki pengaruh yang cukup signifikan dalam mengikat material penyusun, memperkuat struktur, mendistribusikan beban dan melindungi dari pengaruh faktor lingkungan (Hazmi, 2016). Matriks yang biasa digunakan pada komposit yaitu polimer.

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, dan keramik Menurut (Gisbon, 1994) fungsi dari matriks antara lain:

1. Mengarahkan dan mendistribusikan tegangan ke *fiber*
2. Membentuk ikatan yang konsisten antar permukaan *fiber*
3. Melindungi *fiber* dari kerusakan akibat faktor lingkungan
4. Mengikat *fiber* menjadi satu kesatuan
5. Memberikan sifat seperti kekakuan, ketangguhan dan ketahanan listrik

Berdasarkan jenis matriks pada komposit dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu: (Hull dkk, 1996)

1. Komposit Matriks Logam / *Metal Matrix Composite* (MMC)
Metal Matrix Composite (MMC) merupakan salah satu komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Penggunaan MMC ini mulanya tumbuh dan berkembang pada industri kedirgantaraan hingga industri otomotif. Contoh komposit matriks logam: *carbon reinforced aluminium*.
2. Komposit Matriks Polimer / *Polymer Matrix Composite* (PMC)
Polymer Matrix Composite (PMC) merupakan jenis komposit yang matriksnya menggunakan polimer. Keunggulan dari penggunaan polimer yaitu memiliki sifat yang tahan terhadap korosi dan bobot lebih ringan. Matriks polimer dibedakan menjadi 2 macam yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaan kedua polimer tersebut yaitu polimer termoset tidak dapat di daur ulang. Seperti: *epoxy, polyester, phenolic*. Sedangkan termoplastik dapat didaur ulang. Misalnya: *Polyamid, nylon, polysurface, polyether*. Contoh komposit matriks polimer: *carbon fiber reinforced polymer* dan *glass fiber reinforced polymer*.
3. Komposit Matriks Keramik / *Ceramic Matrix Composite* (CMC)
Ceramic Matrix Composite (CMC) merupakan tipe komposit yang matriksnya menggunakan material keramik. Penguat yang sering digunakan yaitu nitrit, oksida, dan karbida. Salah satu tahapan

dalam pembuatan CMC yaitu proses *dimox* yang merupakan proses penyusunan komposit dimana matriks keramik tumbuh disekitar serat pengisi dengan mengoksidasi logam peleburan.

Contoh komposit matriks keramik: *boron reinforced SiC*



Gambar 2.3 Matriks Resin Epoxy

(Sumber: Parulian, 2015)

2.3.2 Pengisi (*Filler*)

Pengisi/*filler* merupakan bahan yang memiliki peranan penting dalam menentukan sifat material komposit, berfungsi sebagai penguat dari matriks. *Filler* umumnya diklasifikasikan menjadi bahan alami dan bahan buatan (Palan dkk., 2018). Serat alam merupakan serat yang didapatkan dari alam, baik dari tumbuhan maupun hewan. Contohnya serat alam meliputi kapas, wol, sutera, sabut kelapa, bambu, dan sebagainya (Schwartz, 1984). Selain itu, berbagai jenis serat alam alternatif yang telah banyak dipelajari secara luas digunakan sebagai penguat komposit polimer. Beberapa contohnya yaitu serat jerami, jerami padi, serta rerumputan. Penggunaan *filler* dapat divariasikan yang memiliki keuntungan yaitu dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan, kekuatan basah, ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan abrasi, ketahanan terhadap benturan, penyusutan panas *exothermic*, stabilitas, dan *surface appearent*.



Gambar 2.4 Serbuk Kayu Sengon

(Sumber: Leto, 2021)

2.4 Papan Partikel

Papan partikel adalah salah satu jenis hasil komposit yang terdiri dari partikel-partikel material yang memiliki kandungan lignoselulosa, diikat dengan bahan perekat kemudian diberi pengempaan panas (Maloney, 1993). Secara umum, papan partikel memiliki bentuk yang datar dengan dimensi panjang, lebar, dan tipis sehingga dikenal dengan panel (Fathanah & Sofyana, 2013). Ukuran partikel yang membentuk papan partikel yaitu 0,5 – 1 in dengan tebal 0,010 – 0,015 in (Haygreen & Bowyer, 1996).

Dalam *standar designation* 1554-64 dan ASTM 1974 mengklasifikasikan papan partikel menjadi 3 kelompok yaitu :

1. Papan partikel kerapatan rendah (*low density particle board*) yaitu papan partikel yang memiliki kerapatan dibawah 37 lb/ft^3 atau dengan berat jenis kurang dari $0,59 \text{ g/cm}^3$.
2. Papan partikel kerapatan sedang (*medium density particle board*) yaitu papan partikel yang memiliki kerapatan antara $37 - 50 \text{ lb/ft}^3$ atau dengan berat jenis antara $0,59 - 0,80 \text{ g/cm}^3$.
3. Papan partikel kerapatan tinggi (*high density particle board*) yaitu papan partikel yang memiliki kerapatan diatas 50 lb/ft^3 atau dengan berat jenis lebih dari $0,80 \text{ g/cm}^3$.

Dalam menetapkan klasifikasi mutu papan partikel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan standar SNI 03-2105-2006. Selain itu, standar tersebut juga dijadikan sebagai acuan dalam menentukan kualitas dari papan partikel. Nilai sifat fisik dan mekanik dari papan partikel berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel pada SNI-03-2105-2006

No	Sifat Fisik dan Mekanik	Persyaratan Nilai
1.	Kadar Air (%)	< 14
2.	Kerapatan (gr/cm^3)	0,40 – 0,90
3.	Pengembangan Tebal (%)	Maks 12
4.	Keteguhan Lentur (MOR) (kgf/cm^2)	Min 82
5.	Modulus Elastisitas (MOE) (10^4 kgf/cm^2)	Min 2,04
6.	Kuat Rekat Internal (Kg/cm^2)	Maks 1,5
7.	Kuat Pegang Sekrup (Kg)	Min 30

Sumber : Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2006

2.5 Proses Kompaksi

Proses kompaksi merupakan proses pemadatan serbuk sehingga serbuk tersebut akan saling melekat satu sama lain sementara rongga udara antar partikel tersebut akan terdesak ke luar. Peningkatan tekanan kompaksi akan berakibat meningkatnya densitas dan menurunnya porositas, walaupun porositas tidak akan mencapai nilai nol (Fawaid & Hamdi, 2013). Hasil dari proses kompaksi umumnya dikenal dengan sebutan *green body*. Berdasarkan prosesnya kompaksi dapat dibagi menjadi dua antara lain:

1. *Hot Compaction* (kompaksi dengan menggunakan temperatur)

Hot compaction atau penekanan panas merupakan salah satu metode kompaksi yang menggunakan pemanasan diatas temperatur ruangan atau temperatur yang relatif tinggi.

2. *Cold Compaction* (kompaksi tanpa menggunakan temperatur)

Cold compaction atau dikenal dengan penekanan dingin merupakan proses pemadatan serbuk yang menggunakan temperatur ruang dengan tekanan sekitar 100 – 900 Mpa yang bertujuan untuk menghasilkan *green body*.

Bentuk partikel serbuk, distribusi ukuran partikel, kehalusan partikel serta kemampuan alir partikel serbuk merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi papan partikel saat proses kompaksi. Proses kompaksi bisa

dilakukan dengan satu atau dua arah sumbu. Secara umum, banyak proses penekanan menggunakan penekan atas dan bawah. Kompaksi dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu *single punch*, *double punches*, dan *multiple punches*. Penekan bawah digunakan untuk mengeluarkan produk dari cetakan. Permukaan dalam cetakan perlu dijaga tetap halus agar dapat mengurangi gesekan yang terjadi.



Gambar 2.5 Jenis-jenis Penekanan

(Sumber: Kalpakjian, 2003)

2.6 Bahan Penyusun Papan Partikel

2.6.1 Kayu Sengon

Pohon sengon merupakan salah satu jenis pohon dengan tingkat pertumbuhan yang sangat cepat. Keunggulan pohon sengon juga terletak pada kemampuannya yang dapat tumbuh diberbagai tempat mulai dari pantai hingga ketinggian 1600 m dpl. Umumnya, pohon sengon memiliki ketinggian rata-rata berkisar antara 30 - 45 meter dengan diameter batang sekitar 70 - 80 cm dan bobot kayu sengon sendiri berkisar 0,33. Daun pohon sengon bersifat majemuk dan memiliki panjang yang dapat mencapai 40 cm, dimana satu tangkainya terdiri dari 15 - 25 daun berbentuk lonjong. Komposisi kimia kayu sengon dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Kayu Sengon (*Albizia Falcataria (L.) Fosberg*)

No	Sifat Kimia (%)	Posisi Ketinggian Pohon		
		Pangkal	Tengah	Ujung
1	Ekstraktif	2.342567	3.506619	3.83052
2	Lignin	23.77776	22.85714	16.69392
3	Holoseulosa	76.03634	88.33281	69.16934
4	Alpha Selulosa	61.55661	74.21378	57.11835

Sumber : Ramadhan dkk, 2018

2.6.2 Bambu Betung

Bambu betung dikenal dengan nama ilmiah *dendrocalamus asper* merupakan bambu yang biasa dimanfaatkan sebagai bahan pembangunan kontruksi rumah maupun jembatan. Bambu betung memiliki kemampuan tumbuh pada dataran rendah hingga dataran tinggi, bahkan mencapai ketinggian 2000 meter dari permukaan laut. Bambu betung memiliki warna kulit batang yang hijau kekuningan dengan panjang 14 m. Ruas setiap batang memiliki ukuran sebesar 50-70 cm dengan diameter 6-17 cm serta tebal lapisan dinding bambu sebesar 10-15 mm (Morisci, 1999). Bambu ini memiliki kekuatan yang cukup bagus karena memiliki kerapatan $0,7 \text{ g/cm}^3$, kekakuan patahan 187 kg/cm^2 , modulus elastisitas 25 kg/cm^3 dan keteguhan rekat internal 3,71 (Sulastiningsih dkk., 2006).

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*)

No	Komposisi Kimia	Kadar (%)
1.	Selulosa	42,4 – 53,6
2.	Lignin	19,8 – 26,6
3.	Pentosan	1,24 – 3,77
4.	Silika	0,1 – 1,78
5.	Abu	1,24 – 3,77

Sumber : Krisdianto dkk, 2000

2.6.3 Cangkang Telur

Cangkang telur adalah salah satu bagian terluar dari telur yang

berperan sebagai pelindung utama bagian isi telur dari potensi kerusakan secara fisik, kimia maupun mikrobiologis. Menurut Yuliani, dkk (2018) menyatakan bahwa kandungan kalsium yang terdapat pada cangkang telur ayam yaitu sekitar 87,8%. Cangkang telur ayam ras memiliki kadar kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 98,43% yang lebih tinggi dibandingkan dengan cangkang telur ayam kampung 71,11% dan cangkang telur bebek 75,12% (Puspita, 2017) . Kandungan CaCO_3 yang tinggi pada cangkang telur sebesar (>90%) memiliki kompatibilitas yang baik dengan resin epoksi dan dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit (Owuamanam & Cree, 2020; Puspitasari dkk., 2020).

2.6.4 Polyvinyl Acetate (PVAc)

Polyvinyl Acetate (PVAc) yaitu salah satu jenis polimer termoplastik yang terbentuk dari polimerisasi monomer *vinyl-acetate* dengan metode polimerisasi massa, polimerisasi larutan, atau polimerisasi emulsi. Menurut Pizzi (1983), perekat PVAc umumnya digunakan dalam pembuatan papan partikel dikarenakan memiliki kemampuan untuk meningkatkan keteguhan rekat secara signifikan. Penggunaan PVAc memiliki keunggulan dibandingkan dengan perekat UF karena dapat menghasilkan kekuatan ikatan yang lebih cepat pada suhu ruangan. Selain itu, perekat PVAc juga memiliki kelebihan seperti umur simpan yang lama, tahan terhadap mikroorganisme, tekanan kompaksi yang rendah, tidak meninggalkan bercak noda pada kayu. Namun, terdapat beberapa kekurangan polivinil asetat yaitu rentan terhadap air, kekuatan perekatnya akan menurun seiring dengan adanya panas dan air, serta elastisitas yang rendah (Ruhendi dkk., 2007).

2.6.5 Resin Epoxy

Resin adalah getah yang disekresikan oleh berbagai jenis tumbuhan dan merupakan produk limbah metabolisme. Resin epoxy adalah polimer termosetting yang mengandung satu atau lebih gugus epoksida dalam molekulnya. Resin epoxy yang biasa digunakan yaitu

epoksi yang berbahan dasar dari nolovac. Dalam pemilihan epoxy yang digunakan berdasarkan atas kemampuan adesif, permeabilitas, kemurnian yang tinggi dan tahan terhadap korosi serta tekanan.

Tabel 2.4 Sifat-sifat Resin Epoxy

Item	Standar Nilai
Massa Jenis (kg/m ³)	1200
Modulus Elastisitas (Mpa)	4500
Modulus Geser (Mpa)	1600
Rasio Poisson (V)	0,4
Daya Tarik (Mpa)	130
Elongasi (%)	2 (100°C)
	6 (100°C)
Koefisien Ekspansi (°C ⁻¹)	11 x 10 ⁻⁵
Koefisien Konduktivitas (W/m°C)	0,2
Kapasitas Panas (J/kg°C)	1000

Sumber : Purnomo, 2014

2.7 Proses Pengujian

2.7.1 Uji Densitas dan Porositas

Pengujian densitas merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kerapatan massa dari papan partikel dengan menimbang berat sampel kering dan membaginya dengan volume sampel. Sedangkan porositas dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak udara yang terjebak dalam papan partikel Nilai kerapatan dan porositas papan partikel dapat dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{m_k}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

ρ = Kerapatan (g/cm³)

m_k = Massa Sampel Kering (g)

V = Volume Sampel (cm³)

$$P(\%) = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

P = Porositas Sampel Uji (%)

mk = Masa Sampel Kering (g)

mb = Massa Sampel Basah (g)

2.7.2 Uji Pengembangan Tebal

Uji pengembangan tebal merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui sifat fisik yang terdapat pada papan partikel. Hal ini bertujuan untuk mencegah menyerapnya air kedalam pori-pori papan partikel. Perhitungan didasarkan pada selisih ketebalan sebelum (T_1) dan setelah perendaman dengan air selama 24 jam kemudian diukur pengembangan tebal (T_2). Perhitungan nilai pengembangan tebal dengan menggunakan rumus:

$$TS (\%) = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

TS = Pengembangan Tebal (%)

T_1 = Tebal Sebelum Perendaman (mm)

T_2 = Tebal Sesudah Perendaman (mm)

2.7.3 Uji Daya Serapan Air

Pengujian daya serap air merupakan salah satu pengujian fisik material komposit yang bertujuan untuk memahami kemampuan komposit dalam menyerap air. Kekuatan dari komposit akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah rongga udara yang terdapat pada komposit tersebut (Hermawan dkk, 2017). Untuk menentukan daya serap air dapat digunakan rumus sesuai standar SNI 03-2105-2006 berikut ini:

$$DSA = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

DSA = Daya Serap Air (%)

B_1 = Berat Sebelum Perendaman (g)

B_2 = Berat Setelah Perendaman (g)

2.7.4 Uji Koefisien Pengembangan Volumetrik

Uji koefisien pengembangan volume dilakukan untuk mengetahui pengembangan volume dari komposit sebelum perendaman dan setelah perendaman. Pengembangan volume dapat dipengaruhi oleh kadar air, kerapatan, struktur anatomi, ekstraktif, dan komposisi kimia (Troumis, 1991). Nilai dari koefisien pengembangan volumetrik dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- S = Koefisien Pengembangan Volume (%)
- V_1 = Volume Sebelum Perendaman (cm^3)
- V_2 = Volume Setelah Perendaman (cm^3)

2.7.5 Uji Kekuatan Bending

Pengujian kekuatan bending merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat mekanis dari papan partikel. Pengujian kekuatan bending ini mengacu pada standar ASTM D790. Pengujian kekuatan bending dilakukan dengan meletakkan batang spesimen pada dua tumpuan lalu diberikan beban yang berpusat ditengah tumpuan atau biasa dengan disebut metode *three point bending*. Nilai modulus patah (MOR) dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

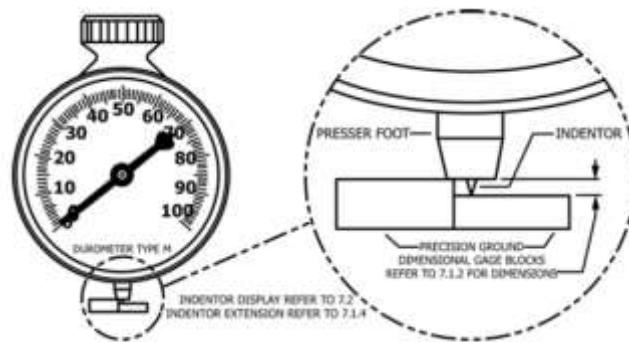
Keterangan:

- MOR = *Modulus Of Rupture* (kg/cm^2)
- P = Beban Maksimum (kg)
- L = Jarak Sangga (cm)
- b = Lebar Contoh Uji (cm)
- h = Tebal Contoh Uji (cm)

2.7.6 Uji Kekerasan Shore D

Kekerasan merupakan sifat mekanik suatu material dalam menahan beban pada permukaannya. Pengujian kekerasan ini menggunakan uji shore. Dalam pengujian polimer terbagi menjadi dua

skala pengukuran, yaitu shore D yang digunakan untuk polimer keras sedangkan shore A untuk polimer lembut. Uji kekerasan shore D dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan material dengan cara menguji ketahanannya terhadap penetrasi bahan yang lebih keras dengan bentuk dan gaya tertentu. Standar yang digunakan pada alat uji durometer shore D merujuk pada standar ASTM D2240. Berdasarkan standar tersebut spesimen uji memiliki panjang 80 mm, lebar 70 mm dan tebal 6 mm.



Gambar 2.6 Pengujian Kekerasan Shore D

(Sumber: ASTM 2240-15, 2017)

2.7.7 Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro adalah pengamatan yang bertujuan untuk mengetahui bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji komposit akibat dari pengujian bending. Selain itu, pengamatan tersebut juga bertujuan untuk mengetahui rongga (*void*) yang terdapat pada komposit. Dalam pengamatan struktur makro ini menggunakan alat berupa mikroskop optik.



Gambar 2.7 Pengamatan Struktur Mikro

2.8 Analisis Teknik Pembobotan

Dalam metode pembobotan, masalah multi respon akan diubah menjadi masalah respon tunggal. Respon terbobot digunakan untuk mencari *Multi Response Performance Index*. Level optimal untuk parameter ditentukan berdasarkan rata-rata respon diatas rata-rata maksimum. Berikut persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai bobot dan *Multi Response Performance Index* (MRPI):

1. *Larger The Better*

$$W_{TS} = \frac{TS}{\Sigma TS} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan: W_{TS} = Bobot Data

TS = Data Hasil Pengujian

ΣTS = Total Data Hasil Pengujian

2. *Smaller The Better*

$$W_{SR} = \frac{1/SR}{\Sigma 1/SR} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan: W_{SR} = Bobot Data

1/SR = Data Hasil Pengujian

$\Sigma 1/SR$ = Total Data Hasil Pengujian

3. *Multi Response Performance Index* (MRPI)

$$MRPI = W_1 Y_{11} + W_2 Y_{12} + \dots + W_i Y_j \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan: MRPI = *Multi Response Performance Index*

W_i = Bobot Data Ke-i

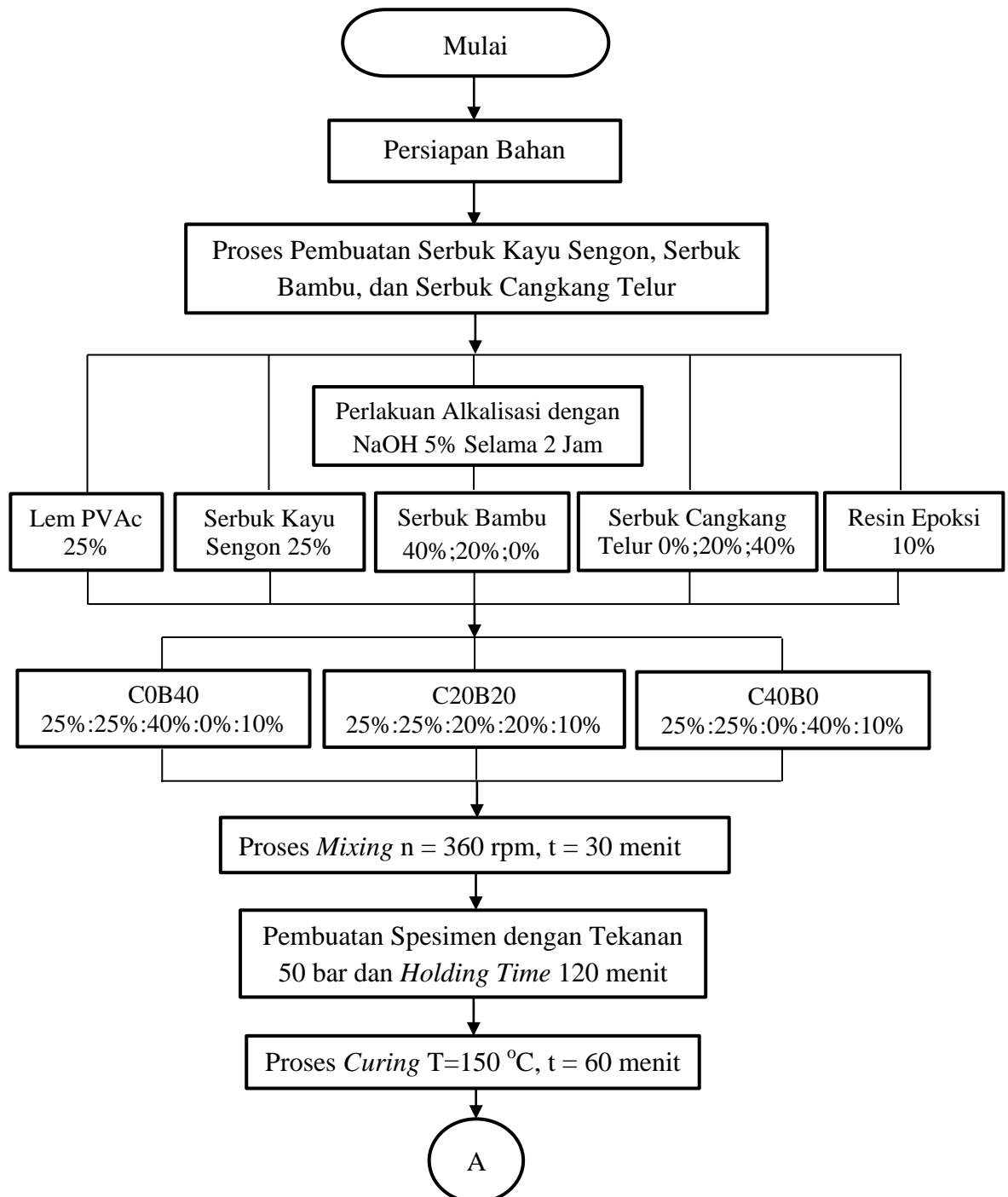
Y_j = Data Hasil Pengujian Ke-j

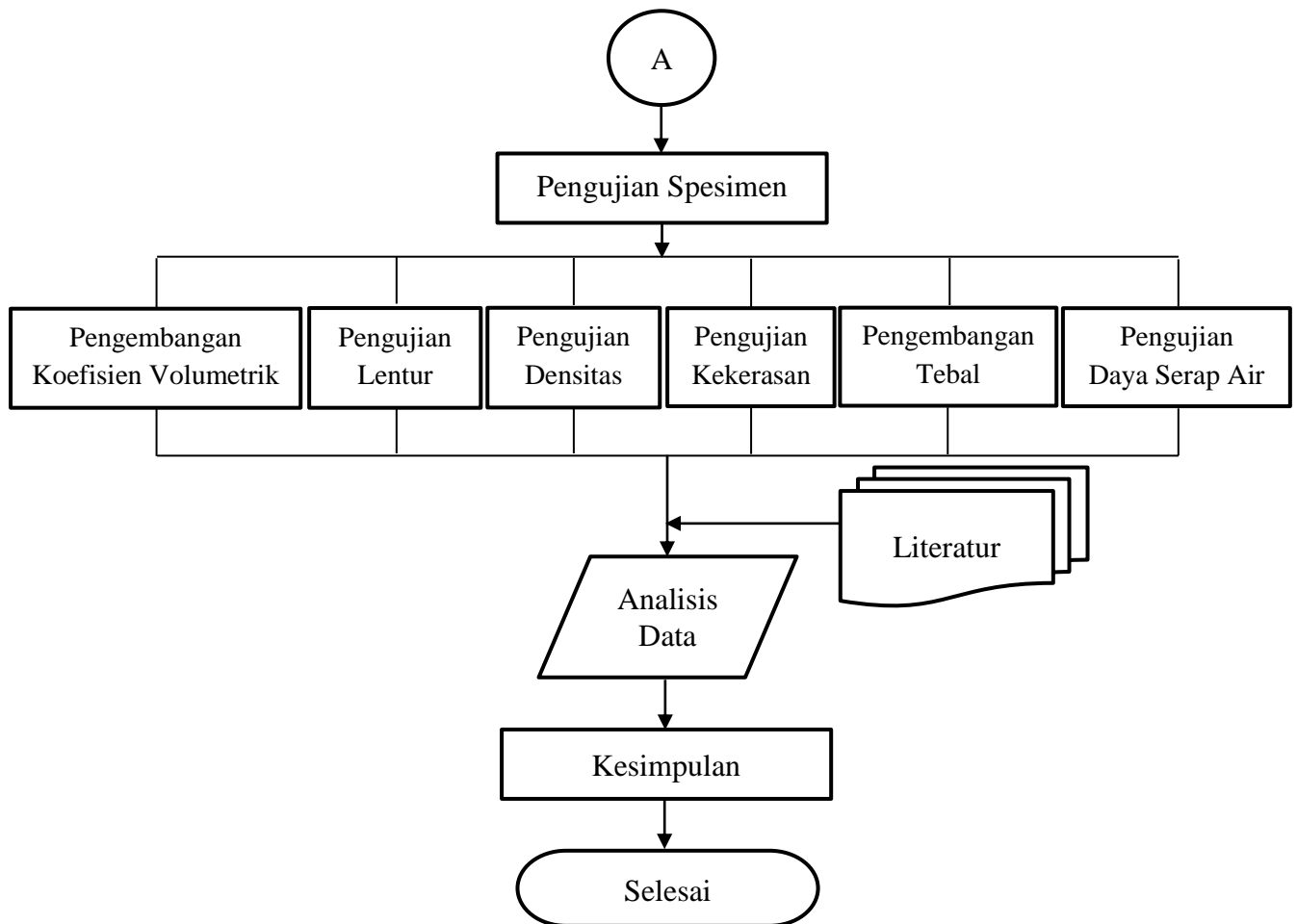
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian tugas akhir ini mengacu pada diagram alir seperti pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Papan Komposit

3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Rancangan variabel pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komposisi volume serbuk cangkang telur sebesar 0%,20%,40% dan serbuk bambu betung sebesar 40%,20%,0%.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai dari densitas, pengembangan tebal, koefisien volumetrik, kekerasan shore D dan kekuatan bending.

3. Variabel Kontrol

1. Komposisi serbuk kayu sengon sebesar 25%, resin epoksi 10%, perekat *Polyvinyl Acetate* (PVAc) 25%.
2. Ukuran partikel serbuk cangkang telur, kayu sengon dan bambu betung sebesar 35 mesh
3. Tekanan kompaksi 50 bar, *holding time* selama 2 jam, dan temperatur *curing* sebesar 150 °C selama 1 jam.

3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

Berikut ini merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian papan komposit.

3.3.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam pembuatan papan komposit ini antara lain:

1. Kikir

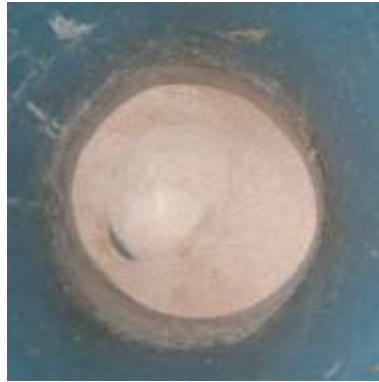
Kikir digunakan untuk mengikis bambu hingga didapatkan serbuk dan serat bambu.



Gambar 3.2 Kikir

2. Wadah

Wadah berfungsi sebagai tempat yang digunakan dalam proses alkalisasi dan pencampuran bahan-bahan menjadi satu.



Gambar 3.3 Wadah

3. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen saat pengujian fisik maupun mekanik.



Gambar 3.4 Jangka Sorong

4. Gerinda Tangan

Gerinda tangan digunakan memotong papan partikel menjadi ukuran yang sesuai dengan ketentuan.



Gambar 3.5 Gerinda Tangan

5. Ayakan Mesh 35

Ayakan ukuran mesh 35 digunakan untuk menyaring serbuk cangkang telur, serbuk bambu dan serbuk kayu sengon.



Gambar 3.6 Ayakan Mesh 35

6. *Hydraulic Pump*

Hydraulic Pump digunakan untuk memadatkan bahan-bahan saat proses pembuatan papan partikel.



Gambar 3.7 *Hydraulic Pump*

7. Neraca Digital

Neraca digital berfungsi untuk menimbang berat dari bahan-bahan dan sampel dalam pengujian fisik.



Gambar 3.8 Neraca Digital

8. Papan Cetakan

Papan cetakan berukuran 212 mm x 212 mm x 17 mm terbuat dari besi yang digunakan untuk membentuk bahan-bahan menjadi papan partikel.



Gambar 3.9 Papan Cetakan

9. Durometer Shore D

Durometer shore D digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan pada papan partikel.



Gambar 3.10 Durometer Shore D

10. Mesin Frais Konvensional

Mesin frais konvensional digunakan untuk mengaduk seluruh bahan-bahan berupa serbuk serta matriks agar merata satu dengan yang lainnya dengan kecepatan putaran 360 rpm selama 30 menit.



Gambar 3.11 Frais Konvensional

11. Blender

Blender digunakan untuk menghaluskan cangkang telur menjadi serbuk.



Gambar 3.12 Blender

12. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan serbuk agar mengurangi kadar air yang terdapat pada serbuk serta untuk proses *curing*.



Gambar 3.13 Oven

13. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume aquades untuk proses alkalisasi.



Gambar 3.14 Gelas Ukur

14. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan sampel uji

hingga menjadi ukuran yang sesuai dengan yang sudah ditentukan.



Gambar 3.15 Amplas

15. *Universal Testing Machine (UTM)*

UTM merupakan alat yang digunakan untuk pengujian kekuatan bending pada papan komposit.



Gambar 3.16 *Universal Testing Machine*

16. Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk mengamati morfologi permukaan serta bentuk patahan papan komposit.



Gambar 3.17 Mikroskop Optik

3.3.2 Bahan yang Digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan papan komposit ini yaitu:

1. Serbuk Bambu Betung

Serbuk bambu betung digunakan sebagai *filler* pada komposit papan partikel.



Gambar 3.18 Serbuk Cangkang Telur

2. Serbuk Kayu Sengon

Serbuk kayu sengon digunakan sebagai pengisi pada komposit papan partikel.



Gambar 3.19 Serbuk Kayu Sengon

3. Serbuk Cangkang Telur

Serbuk cangkang telur digunakan sebagai pengisi pada komposit papan partikel.



Gambar 3.20 Serbuk Cangkang Telur

4. Lem PVAc

Lem PVAc digunakan sebagai salah satu matriks pada papan komposit yang didapatkan dari aplikasi *online shop*.



Gambar 3.21 Lem PVAc

5. Resin Epoksi

Resin epoksi yang digunakan sebagai matriks pada papan partikel yang terdiri dari resin dan hardener. Resin epoksi diperoleh dari salah satu aplikasi *online shop*.



Gambar 3.22 Resin Epoksi

6. NaOH

NaOH digunakan untuk perlakuan alkalisasi bambu betung dengan konsentrasi 5%.



Gambar 3.23 NaOH

7. Aquades

Aquades digunakan untuk perlakuan alkalisasi dan daya serap air,

pengembangan tebal serta pengembangan koefisien volumetrik.



Gambar 3.24 Aquades

3.4 Pembuatan Sampel Pengujian

3.4.1 Persiapan Bahan

1. Pembuatan Serbuk Kayu Sengon

- a) Serbuk kayu sengon digunakan sebagai *filler* papan partikel ini yaitu limbah hasil penggergajian kayu. Serbuk kayu sengon didapatkan dari pabrik pengolahan kayu yang terletak di daerah Bagesari, Banjar, Pandeglang.



Gambar 3.25 Serbuk Kayu Sengon

- b) Serbuk kayu sengon dijemur dibawah sinar matahari selama 24 jam. Pengeringan serbuk kayu sengon bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada serbuk.



Gambar 3.26 Proses Penjemuran Serbuk Kayu Sengon

- c) Kemudian serbuk kayu dilakukan pengayakan dengan

menggunakan ayakan berukuran mesh 35. Proses pengayakan dapat dilakukan secara bertahap dari ukuran mesh terbesar hingga menjadi ukuran serbuk yang siap digunakan sebagai bahan penyusun papan partikel.



Gambar 3.27 Proses Pengayakan Serbuk Kayu Sengon

- d) Kemudian serbuk kayu dilakukan pengovenan dengan temperatur 100°C selama 1 jam. Pengovenan bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat pada serbuk.



Gambar 3.28 Proses Pengeringan Serbuk Kayu Sengon

2. Pembuatan Serbuk Bambu Betung

- a) Bambu betung diperoleh dari salah satu pengusaha bambu yang terletak di Kota Serang. Bambu betung akan diambil ruasnya dan dipotong sepanjang ± 30 cm dan dipotong kembali menjadi beberapa bagian.



Gambar 3.29 Proses Pemotongan Bambu Betung

- b) Kemudian bambu betung dibersihkan dari kotoran-kotoran yang masih menempel pada bambu tersebut dan dilakukan penjemuran dibawah sinar matahari selama 24 jam.



Gambar 3.30 Proses Penjemuran Bambu Betung

- c) Setelah kering, bambu dikikir sehingga menghasilkan serbuk dan serat bambu.



Gambar 3.31 Proses Pengikiran Bambu Betung

- d) Selanjutnya dilakukan pengayakan untuk mendapatkan ukuran serbuk 35 mesh dan serat bambu.



Gambar 3.32 Proses Pengayakan Serbuk Bambu Betung

- e) Perlakuan alkalisasi dengan merendam serbuk yang telah dilakukan pengayakan dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam.



Gambar 3.33 Proses Alkalisasi Serbuk dan Serat Bambu Betung
f) Selanjutnya serbuk yang sudah di alkalisasi dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kering.



Gambar 3.34 Proses Pengeringan Serbuk dan Serat Bambu Betung
g) Serbuk dan serat bambu yang sudah kering kemudian dioven selama 1 jam pada temperatur 100° yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada bambu tersebut.



Gambar 3.35 Proses Pengeringan Serbuk dan Serat Bambu Betung

3. Pembuatan Serbuk Cangkang Telur

- a) Cangkang telur yang digunakan berasal dari telur ayam petelur. Cangkang telur ayam yang digunakan didapatkan dari limbah Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UKM) yang terletak di Kota Serang.
- b) Cangkang telur ayam dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel.



Gambar 3.36 Proses Pencucian Cangkang Telur

- c) Kemudian cangkang telur direndam dengan air panas yang bertujuan untuk menghilangkan bakteri patogen. kemudian dibasuh dan dikeringkan dengan cara dijemur selama satu hari.



Gambar 3.37 Proses Penjemuran Cangkang Telur

- d) Selanjutnya, cangkang telur dihaluskan dengan menggunakan blender. Setelah didapatkan serbuk hasil blender, dilakukan pengayakan dengan ayakan 35 mesh.



Gambar 3.38 Proses Pengayakan Serbuk Cangkang Telur

3.4.2 Proses Pencampuran Bahan (*Mixing*)

Bahan yang sebelumnya telah selesai dibuat tahap selanjutnya yaitu penimbangan bahan yang digunakan dan dilakukan perhitungan *rule of mixture* berdasarkan fraksi volumenya masing-masing. Fraksi volume dari bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Setelah perhitungan *rule of mixture*, papan partikel diberikan pengkodean berdasarkan fraksi volumenya masing-masing sebagai berikut.

1. C40B0 : Kandungan 40% cangkang telur dan 0% bambu betung
2. C20B20 : Kandungan 20% cangkang telur dan 20% bambu betung
3. C0B40 : Kandungan 0% cangkang telur dan 40% bambu betung

Tabel 3.1 Fraksi Volume Bahan Papan Partikel

Komposisi Bahan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Serbuk Kayu Sengon	25	25	25
Serbuk Bambu Betung	40	20	0
Serbuk Cangkang Telur	0	20	40
Lem PVAc	25	25	25
Resin Epoxy	10	10	10

Pengkomposisian bahan dimaksudkan untuk mendapatkan nilai massa dari masing-masing bahan yang digunakan. Persentase bahan yang digunakan adalah hasil referensi dari berbagai jurnal sebelumnya. Proses pencampuran bahan dilakukan dengan menggunakan mesin frais konvensional sebagai alat bantu pengadukan dengan kecepatan putaran 360 rpm selama 30 menit. Tahapan pencampuran dari berbagai bahan yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan dan menimbang semua bahan yang digunakan sesuai persentase dengan timbangan digital.
2. Mencampurkan serbuk kayu sengon, bambu betung, dan cangkang telur kedalam wadah hingga tercampur secara merata.
3. Memasukkan lem PVAc dan mengaduknya hingga merata.
4. Setelah tercampur merata, selanjutnya masukkan resin epoxy dengan hardener dengan perbandingan 1:1.

5. Mengaduk bahan menggunakan mesin frais konvensional hingga bahan-bahan tercampur secara merata. Setelah semua bahan tercampur, campuran bahan didiamkan selama 5 menit kemudian dimasukkan kedalam cetakan.



Gambar 3.39 Proses Pencampuran Bahan (*mixing*)

3.4.3 Proses Kompaksi

Proses kompaksi dilakukan dengan menggunakan mesin *press* hidrolik dengan tekanan sebesar 50 bar. Tekanan yang digunakan dalam penelitian ini didasari pada penelitian sebelumnya. Menurut Rizki Kurnia P. (2015) menyatakan bahwa komposit dengan tekanan kompaksi 50 bar menghasilkan nilai paling baik dari setiap pengujiannya. Proses kompaksi dilakukan di Laboratorium Proses Manufaktur Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pada penelitian ini proses penekanan menggunakan metode *cold press single punch*. Bahan yang telah dilakukan *mixing* selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan dengan ukuran 212 mm x 212 mm x 17 mm. Selanjutnya, perlakuan *holding time* selama 2 jam, lalu sampel dikeluarkan dari cetakan.



Gambar 3.40 Proses Kompaksi Papan Partikel

3.4.4 Proses Curing

Proses *curing* adalah proses yang bertujuan untuk membantu meningkatkan sifat mekanik papan partikel. Dengan cara memanaskan papan partikel dengan menggunakan oven pada suhu 150 °C selama 60 menit (Susanto dkk., 2023). Proses *curing* dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Gambar 3.41 Proses *Curing* Papan Partikel

3.5 Proses Pengujian

3.5.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas papan komposit dilakukan dengan mengukur panjang, lebar dan tebal sampel uji dan dibagi dengan hasil penimbangan massa sampel. Berikut ini langkah-langkah dalam pengujian densitas:

1. Mempersiapkan sampel uji yang akan dilakukan pengujian densitas.
2. Mengukur panjang, lebar, dan tebal sampel uji dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.02 mm untuk menentukan volumenya.
3. Menimbang massa sampel menggunakan timbangan digital.
4. Melakukan perhitungan nilai kerapatan sampel uji.



Gambar 3.42 Pengujian Densitas

3.5.2 Pengujian Pengembangan Tebal

Pengujian pengembangan tebal dilakukan untuk mengetahui kemampuan papan partikel dalam merespon masuknya air. Merujuk pada standar SNI 03-2105-2006 besarnya nilai pengembangan tebal yaitu maksimal 12%. Untuk pengujian ini menggunakan sampel uji berukuran 40 x 40 x 17 mm. Prosedur pengujian pengembangan tebal sebagai berikut:

1. Mengukur ketebalan awal (T_1) dibagian tengah menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm.
2. Merendam sampel uji dengan menggunakan aquades pada suhu ruang dengan kedalaman 3 cm dibawah permukaan air secara mendatar selama 24 jam.
3. Mengangkat sampel dan mengukur ketebalan setelah perendaman (T_2) kemudian menghitung persentase pengembangan tebalnya.

3.5.3 Pengujian Daya Serap Air

Uji daya serap air merupakan pengujian fisik papan komposit yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan papan partikel dalam menyerap air dalam jangka waktu tertentu. Langkah-langkah pengujian daya serap air sebagai berikut:

1. Mengukur berat awal (B_1) spesimen uji dengan menggunakan timbangan digital.
2. Merendam sampel uji pada suhu ruang dengan kedalaman 3 cm dibawah permukaan air secara mendatar selama 24 jam.
3. Mengangkat sampel uji dan mengukur berat setelah perendaman (B_2) kemudian menghitung persentase daya serap airnya.

3.5.4 Pengujian Koefisien Pengembangan Volumetrik

Pengujian koefisien pengembangan volumetrik dilakukan bersamaan dengan pengujian pengembangan tebal dan daya serap air. Prosedur pengujiannya yaitu sebagai berikut:

1. Mengukur volume awal (V_1) spesimen uji dengan menggunakan jangka sorong.
2. Merendam sampel uji pada suhu ruang dengan kedalaman 3 cm dibawah permukaan air secara mendatar selama 24 jam.
3. Mengangkat sampel uji dan mengukur volume akhir setelah perendaman (V_2) kemudian menghitung persentase pengembangan volumenya.



Gambar 3.43 Pengujian Pengembangan Tebal, Daya Serap Air, dan Koefisien Volumetrik

3.5.5 Pengujian Kekuatan Bending

Pengujian kekuatan bending (*Modulus Of Rupture*) dari papan komposit dilakukan dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM). Ukuran sampel uji papan partikel mengacu pada standar ASTM D790 yaitu memiliki dimensi 80 mm x 12,7 mm x 5 mm. Adapun prosedur pengujian bending ini antara lain:

1. Menyiapkan sampel uji
2. Mengukur panjang, lebar dan tebalnya dengan menggunakan jangka sorong.
3. Memberikan penomoran pada sampel dan menghidupkan mesin.
4. Meletakkan sampel uji mendatar pada alat penyangga UTM dengan lebar bentang yang telah disesuaikan.
5. Meletakkan beban pada pusat sampel uji dengan kecepatan

konstan.

6. Mencatat pembebanan maksimum dan kemudian menghitung nilai kekuatan bending.



Gambar 3.44 Pengujian Bending

3.5.6 Pengujian Kekerasan Shore D

Pengujian kekerasan shore D dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari papan partikel. Pengujian ini merujuk pada standar ASTM D2240 dengan ukuran spesimen uji memiliki panjang 80 mm, lebar 70 mm dan tebal 6 mm. Tahapan-tahapan dalam pengujian kekerasan shore D sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel uji dengan ukuran sesuai standar dan mengendalikan kondisi lingkungan.
2. Meletakkan sampel pada permukaan meja yang datar.
3. Memegang durometer secara vertikal dan meletakkan jarum pengukur pada permukaan sampel uji.
4. Menekan durometer dan memastikan jarum pengukur dan sampel uji memiliki kontak yang kuat sehingga didapatkan nilai maksimumnya.



Gambar 3.45 Pengujian Kekerasan Shore D

3.5.7 Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengetahui morfologi dan distribusi masing-masing bahan penyusun dari papan partikel. Langkah-langkah pengamatan struktur makro sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel uji yang sebelumnya sudah dilakukan pengujian bending.
2. Meletakkan patahan sampel uji pada meja objek.
3. Mengarahkan bidikan lensa ke arah sampel.
4. Memfokuskan gambar patahan sampel hingga mendapatkan hasil yang terbaik.
5. Melakukan pemotretan.

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

4.1. Hasil Pengujian Fisik Papan Partikel

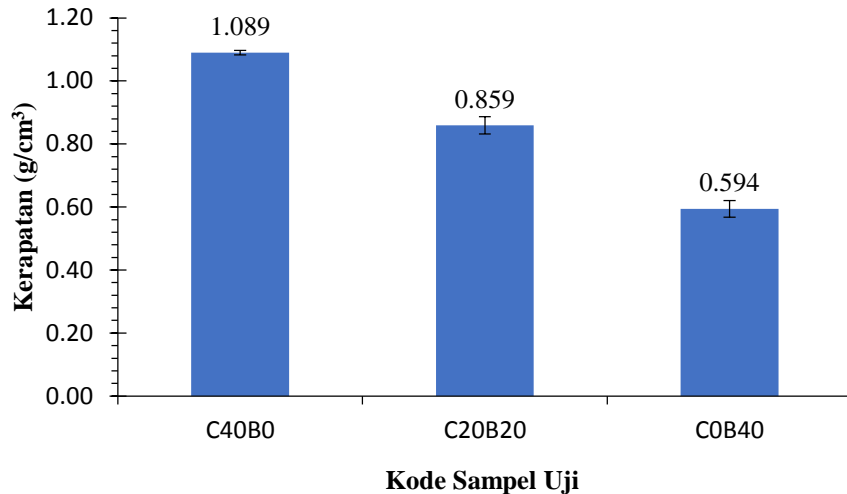
4.1.1. Pengujian Densitas dan Porositas

Densitas atau kerapatan merupakan perbandingan massa per satuan volume. Hasil penelitian dalam pembuatan papan komposit dengan serbuk cangkang telur, bambu dan kayu sengon dengan perekat resin epoksi dan PVAc diperoleh densitas pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Data Pengujian Densitas

Sampel	Kode Sampel	Densitas (g/cm^3)	Densitas Rata-rata (g/cm^3)	SNI 03-2105-2006 (g/cm^3)
C40B0	C40B0 ₁	1,096	1,089	0,4 – 0,9
	C40B0 ₂	1,093		
	C40B0 ₃	1,079		
C20B20	C20B20 ₁	0,874	0,859	
	C20B20 ₂	0,883		
	C20B20 ₃	0,820		
C0B40	C0B40 ₁	0,584	0,594	
	C0B40 ₂	0,569		
	C0B40 ₃	0,630		

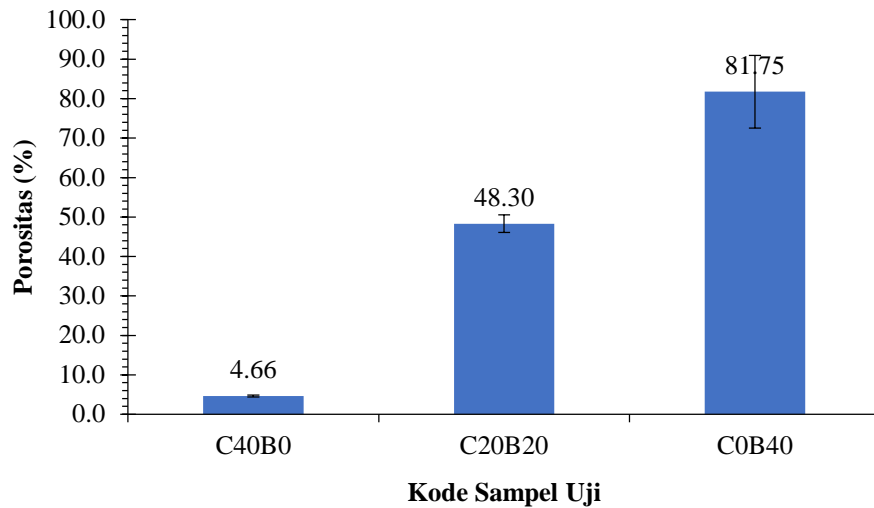
Dari Tabel 4.1 di atas dapat dilihat bahwa nilai densitas tertinggi papan partikel terdapat pada sampel C40B0 yang mengandung 40% serbuk cangkang telur dengan nilai sebesar $1,089 g/cm^3$. Sedangkan pada sampel C20B20 dan C0B40 masing-masing memiliki nilai sebesar $0,859 g/cm^3$ dan $0,594 g/cm^3$. Terdapat peningkatan kerapatan secara bertahap dari $0,594 g/cm^3$ hingga $1,089 g/cm^3$. Pada penelitian ini, terdapat dua nilai kerapatan papan partikel yang telah memenuhi standar SNI 03-2105-2006 karena nilainya berada diantara $0,40 - 0,90 g/cm^3$. Pengaruh serbuk cangkang telur dan bambu terhadap nilai densitas komposit papan partikel dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Kerapatan Papan Partikel

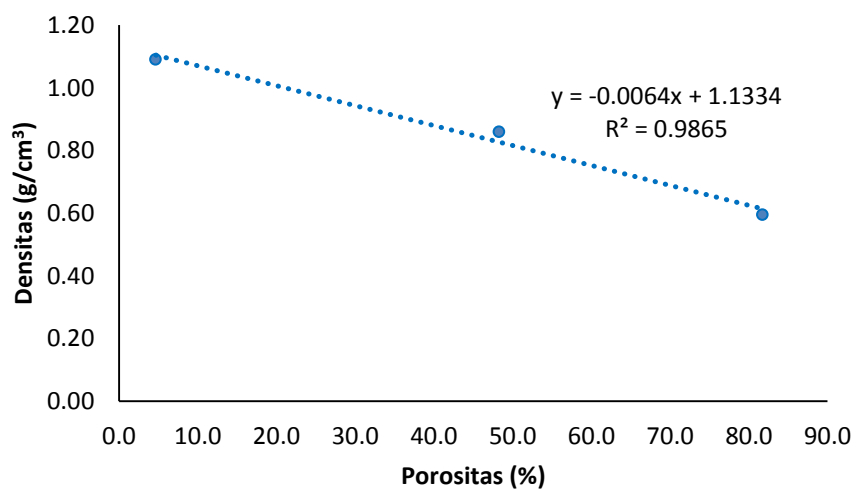
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 diatas, nilai densitas yang dihasilkan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya persentase dari serbuk cangkang telur. Di sisi lain, sampel C0B40 yang hanya menggunakan serbuk bambu betung memiliki nilai yang lebih rendah disebabkan karena bambu betung memiliki massa jenis $0,71 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan, cangkang telur $2,147 \text{ gr/cm}^3$ (Harms, 1991; Manik, 2017). Sehingga penambahan fraksi volume serbuk cangkang telur menghasilkan kerapatan yang cenderung lebih tinggi, yang dapat diartikan bahwa bertambahnya serbuk cangkang telur berpengaruh positif dan signifikan terhadap nilai densitas. Hal ini terjadi karena cangkang telur terdiri dari senyawa utama berupa kalsium karbonat (CaCO_3) yang memiliki densitas yang tinggi. Hal ini selaras dengan penelitian dari (Adediran dkk., 2021) yang menyatakan bahwa penambahan serbuk cangkang telur berkontribusi terhadap peningkatan densitas papan partikel.

Peningkatan nilai densitas dapat berpengaruh terhadap nilai porositas pada komposit papan partikel. Secara teoritis densitas berbanding terbalik dengan porositas sehingga semakin tinggi nilai densitas maka nilai porositasnya akan semakin rendah. Grafik nilai porositas papan partikel yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Porositas Papan Partikel

Berdasarkan grafik di atas diperoleh nilai porositas terendah terdapat pada sampel yang diperkuat serbuk cangkang telur dengan proporsi volume tertinggi. Cangkang telur saat melalui proses penghancuran dan pengayakan akan menghasilkan partikel yang lebih konsisten dan tidak berpori sehingga serbuk dapat menjadi pengisi pori yang baik (Adediran dkk., 2021). Sedangkan, bambu memiliki sel *parenchyma* yang mengandung butiran pati yang tinggi sehingga dapat menciptakan penyumbatan untuk penetrasi perekat (Nkeuwa dkk., 2022). Dapat disimpulkan bahwa adanya serbuk cangkang telur dapat menyebabkan penurunan nilai porositas yang cukup signifikan. Grafik korelasi antara porositas dengan densitas papan partikel dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Hubungan Antara Porositas Terhadap Densitas

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai porositas dengan nilai densitas memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai porositas maka nilai densitas akan semakin rendah. Demikian pula sebaliknya, semakin rendah nilai porositas maka akan semakin tinggi nilai densitas nya. Hal ini disebabkan karena densitas merupakan nilai kerapatan dari papan partikel sedangkan porositas yaitu rongga atau celah yang terdapat pada papan partikel.

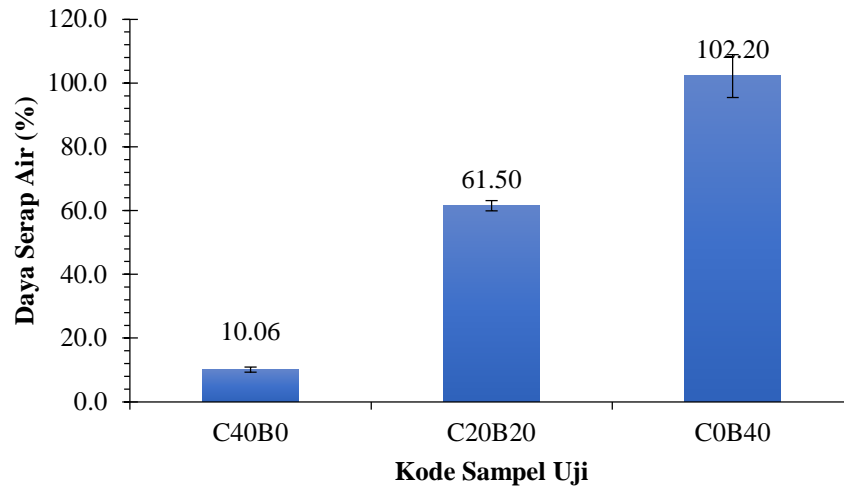
4.1.2. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan papan partikel dalam menyerap air. Dalam penelitian ini dilakukan perendaman selama 24 jam untuk daya serap air. Dari hasil penelitian pembuatan papan partikel ini diperoleh persentase daya serap air dapat dilihat pada Tabel 4.2.

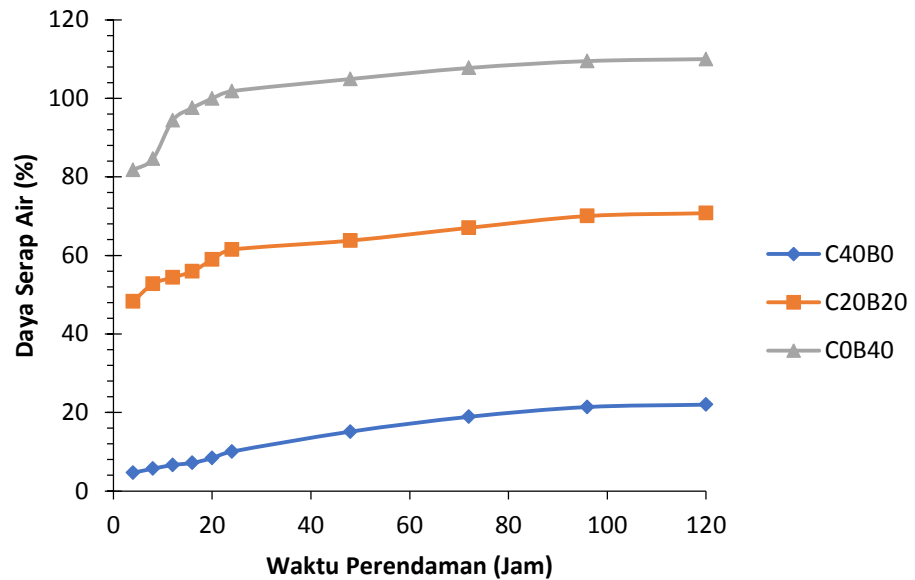
Tabel 4.2 Hasil Data Pengujian Daya Serap Air

Sampel	Kode Sampel	Daya Serap Air (%)	Daya Serap Air Rata-rata (%)
C40B0	C40B0 ₁	9,26	10,06
	C40B0 ₂	11,14	
	C40B0 ₃	9,76	
C20B20	C20SB ₁	59,79	61,50
	C20SB ₂	61,07	
	C20SB ₃	63,64	
C0B40	C0B40 ₁	101,64	102,20
	C0B40 ₂	94,25	
	C0B40 ₃	110,71	

Dari Tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa nilai daya serap air papan partikel memiliki nilai yang bervariasi antara 10,06% - 102,2% selama 24 jam. Nilai daya serap air terendah terdapat pada sampel C40B0 sebesar 10,06% dan nilai daya serap air tertinggi terdapat pada sampel C0B40 yang merupakan perpenduan serbuk kayu sengon dan bambu betung tanpa serbuk cangkang telur dengan nilai rata-rata 102,2%. Grafik hasil pengujian daya serap air dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Nilai Pengujian Daya Serap Air



Gambar 4.5 Hubungan Waktu Perendaman Terhadap Daya Serap Air

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk cangkang telur mempengaruhi penurunan nilai daya serap air secara signifikan. Penambahan serbuk cangkang telur menurunkan daya serap air dari 61,5% (sampel C20B20) menjadi 10,06% (sampel C40B0). Jika dibandingkan dengan sampel C0B40 yang tidak mengandung serbuk cangkang telur terjadi penurunan sebesar 91,6% dihitung dari nilai penyerapan air sampel C40B0. Nilai daya serap yang diperoleh pada sampel C40B0 cukup rendah dibandingkan dengan papan komposit *filler*

serat bambu yang memiliki nilai daya serapan air selama 2 jam sebesar 8,811% - 45,808% (Rofaida dkk., 2021). Pada Gambar 4.5 diatas menunjukkan hubungan lama waktu perendaman terhadap daya serap air. Persentase penyerapan air untuk semua sampel uji terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada 24 jam pertama. Sampel C0B40 memiliki nilai persentase penyerapan air yang paling tinggi dibandingkan dengan yang mengandung serbuk cangkang telur. Hal ini dikarenakan serbuk bambu memiliki komposisi selulosa yang bersifat hidrofilik (Cao dkk., 2022). Sehingga ketika sebagian serbuk dan serat bambu tidak tertutupi sempurna oleh matrik resin epoxy dan PVAc maka akan mempengaruhi daya serap airnya. Sedangkan penambahan serbuk cangkang telur dapat menurunkan daya serap air dikarenakan mengandung senyawa-senyawa hidrofobik seperti asam amino yang terdapat di kutikula (Fernandes & Litz, 2017). Hal ini juga selaras dengan penelitian (Sevinç & Durgun, 2021) yang menyatakan penambahan serbuk cangkang telur dapat menurunkan daya serap air. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa nilai daya serap air dapat diturunkan ke nilai yang jauh lebih baik dengan menggunakan serbuk cangkang telur.

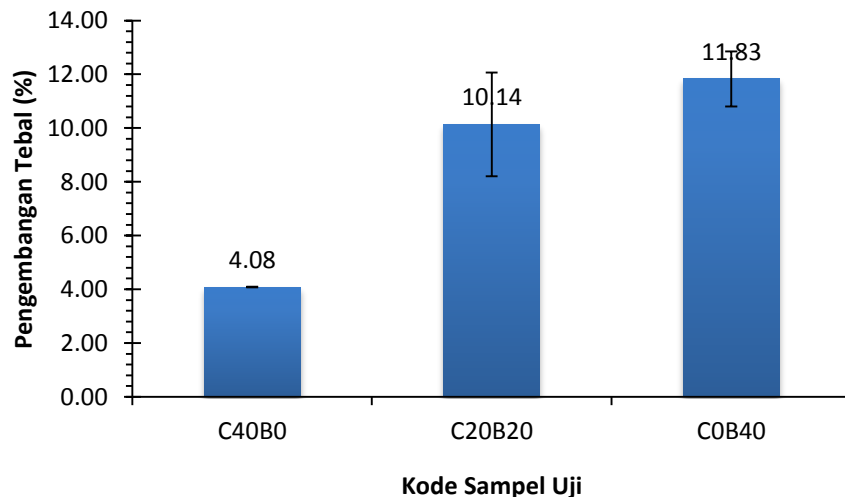
4.1.3. Pengujian Pengembangan Tebal

Pengujian pengembangan tebal dilakukan untuk mengetahui respon masuknya air pada papan partikel. Standar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu SNI 03-2105-2006 dengan nilai pengembangan tebal maksimal 12%. Dari hasil penelitian pembuatan papan partikel ini diperoleh persentase pengembangan tebal yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Data Pengujian Pengembangan Tebal

Sampel	Kode Sampel	Pengembangan Tebal (%)	Pengembangan Tebal Rata-rata (%)	SNI 03-2105-2006 (%)
C40B0	C40B0 ₁	4,09	4,08	≤12
	C40B0 ₂	4,06		
	C40B0 ₃	4,09		
C20B20	C20B20 ₁	12,17	10,14	
	C20B20 ₂	7,55		
	C20B20 ₃	10,70		
C0B40	C0B40 ₁	10,39	11,83	
	C0B40 ₂	12,65		
	C0B40 ₃	12,46		

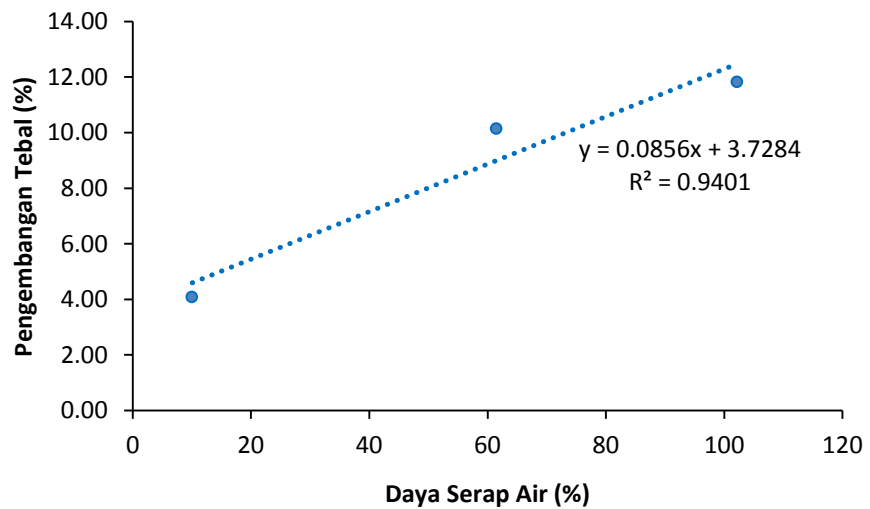
Dari Tabel 4.3 di atas, nilai pengembangan tebal terendah terdapat pada sampel C40B0 diperoleh sebesar 4,19%. Namun, terjadi penambahan nilai pengembangan tebal pada sampel C20B20 dan C0B20 masing-masing memiliki nilai sebesar 10,07% dan 11,83%. Dari ketiga sampel papan partikel tersebut memiliki nilai pengembangan tebal yang masih memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Grafik yang menampilkan nilai pengujian pengembangan tebal sebagai berikut.



Gambar 4.6 Grafik Nilai Pengembangan Tebal

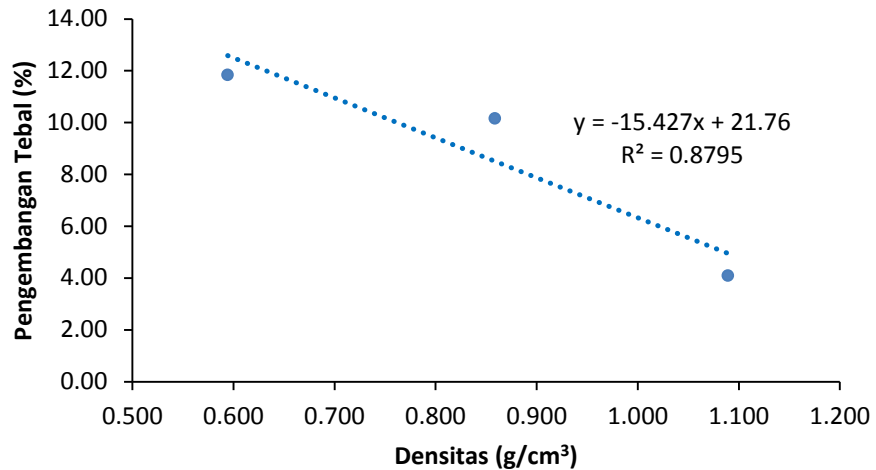
Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa adanya hubungan yang positif antara penambahan serbuk cangkang telur dengan pengembangan tebal papan partikel. Nilai pengembangan tebal

pada papan partikel tersebut semakin berkurang seiring dengan bertambahnya serbuk cangkang telur tetapi tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini terjadi dikarenakan serbuk cangkang telur tidak mengembang saat terkena air, tidak seperti halnya serbuk bambu (Adediran dkk., 2021). Grafik hubungan antara pengembangan tebal terhadap daya serap air dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hubungan Daya Serap Air Terhadap Pengembangan Tebal

Pada Gambar 4.7 grafik di atas, absorpsi air memiliki korelasi yang cukup kuat dengan pengembangan tebal, dikarenakan semakin banyak laju difusi air yang memasuki struktur partikel maka semakin banyak pula perubahan dimensi yang dihasilkan. Sehingga secara teoritis nilai daya serap air berbanding lurus dengan nilai pengembangan tebal. Semakin rendah nilai daya serap air maka akan semakin rendah pula nilai pengembangan tebal demikian sebaliknya, semakin tinggi nilai daya serap air maka nilai pengembangan tebal yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Pengembangan tebal dapat juga dipengaruhi oleh kerapatan seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hubungan Kerapatan Terhadap Pengembangan Tebal

Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa kerapatan memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan pengembangan tebal papan partikel. Semakin kecil nilai densitas maka akan semakin besar nilai pengembangan tebalnya demikian pula sebaliknya. Papan partikel berkerapatan tinggi cenderung memiliki nilai pengembangan tebal yang kecil dikarenakan ikatan antar partikelnya cukup baik. Sedangkan, papan partikel dengan kerapatan rendah akan lebih mudah dimasuki oleh air karena banyaknya *void* yang terbentuk.

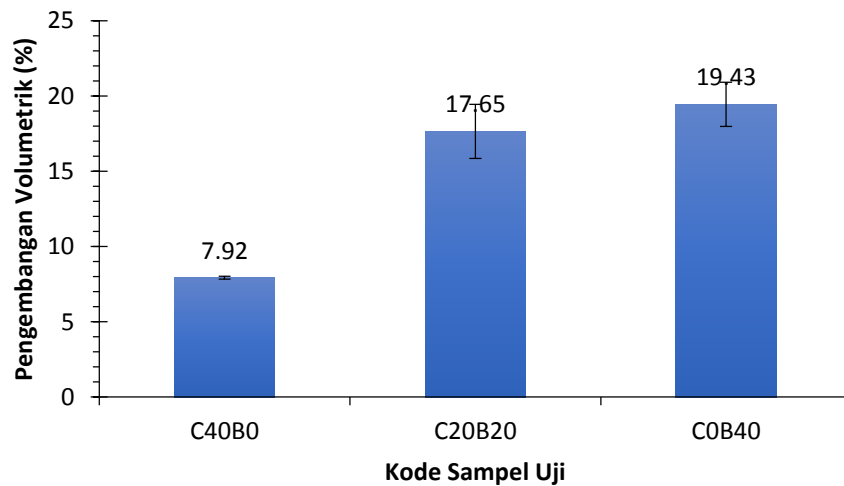
4.1.4. Pengujian Pengembangan Koefisien Volumetrik

Pengujian pengembangan koefisien volumetrik dilakukan untuk mengetahui pengembangan volume pada papan komposit setelah perendaman dengan air. Hasil penelitian pembuatan papan partikel ini diperoleh persentase daya serap air dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Data Pengujian Pengembangan Volumetrik

Sampel	Kode Sampel	Pengembangan Volumetrik (%)	Pengembangan Volumetrik Rata-rata (%)
C40B0	C40B0 ₁	7,96	7,92
	C40B0 ₂	7,79	
	C40B0 ₃	8,00	
C20B20	C20B20 ₁	18,88	17,65
	C20B20 ₂	15,10	
	C20B20 ₃	18,97	
C0B40	C0B40 ₁	17,38	19,43
	C0B40 ₂	20,62	
	C0B40 ₃	20,34	

Dari Tabel 4.4 di atas menunjukkan bahwa nilai pengembangan volumetrik komposit tertinggi dimiliki oleh sampel C0B40 dengan komposisi 25% serbuk kayu sengon, 40% serbuk bambu betung, 25% PVAc dan 10% resin epoksi dengan nilai sebesar 19,44%. Sedangkan pengembangan volumetrik terendah dimiliki oleh sampel C40B0 dengan komposisi 40% serbuk cangkang telur, 25% serbuk kayu sengon, 25% PVAc dan 10% resin epoksi dengan nilai 7,92%. Berikut grafik nilai pengujian pengembangan volumetrik.



Gambar 4.9 Grafik Nilai Pengembangan Volumetrik

Berdasarkan Gambar 4.9 diatas sampel C40B0 menunjukkan persentase nilai pengembangan volumetrik yang rendah dibandingkan yang lain. Sama halnya dengan pengembangan tebal,

bertambahnya serbuk cangkang telur pada pengembangan volumetrik ini juga tidak signifikan. Hal ini terjadi karena serbuk cangkang telur tidak dapat mengembang ketika terkena air. Sedangkan, serbuk dan serat bambu akan mengembang ketika terkena air sehingga terjadi keretakan mikro pada resin epoksi yang rapuh (Gupta, 2016). Hal ini dapat menyebabkan nilai pengembangan volumetrik pada papan partikel juga akan semakin tinggi. Nilai pengembangan volumetrik yang tinggi menunjukkan bahwa papan partikel yang dihasilkan memiliki stabilitas dimensi yang kurang baik, demikian sebaliknya nilai pengembangan volumetrik yang rendah memiliki stabilitas dimensi yang baik.

4.2. Hasil Pengujian Mekanik Papan Partikel

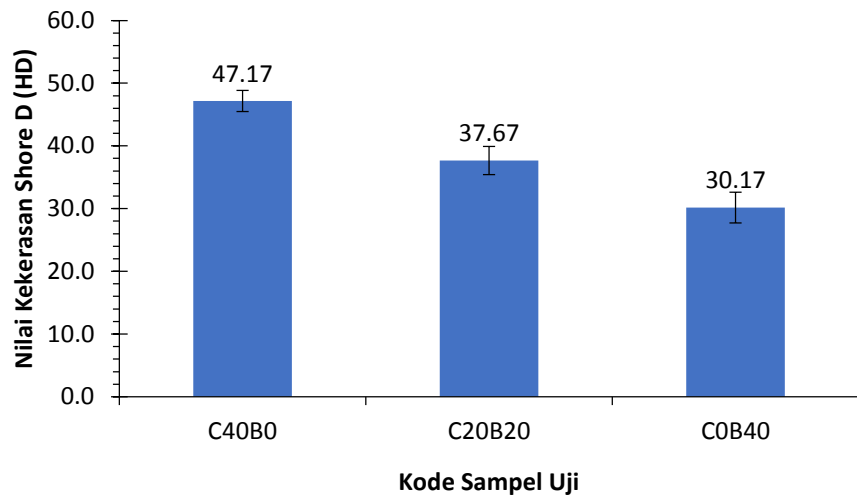
4.2.1. Pengujian Kekerasan Shore D

Pengujian kekerasan komposit papan partikel dilakukan dengan menggunakan alat durometer dengan skala D. Pengukuran kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Hasil pengujian kekerasan shore D dapat dilihat pada Tabel 4.5.

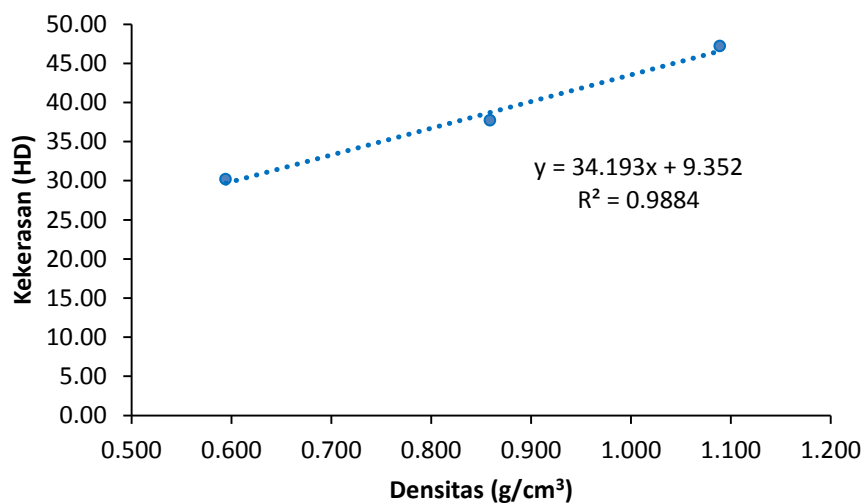
Tabel 4.5 Hasil Data Pengujian Kekerasan Shore D

No.	Kode Sampel	Nilai Kekerasan Durometer Shore D (HD)	Nilai Rata-Rata Kekerasan Durometer Shore D (HD)
1	C40B0	49,5	47,17
		46,5	
		45,5	
2	C20B20	40,5	37,67
		35	
		37,5	
3	C0B40	33	30,17
		27	
		30,5	

Dari Tabel 4.5 yang terbaca di atas, papan partikel dengan kode sampel C40B0 yang memiliki komposisi 40% serbuk cangkang telur, 25% serbuk kayu sengon, 10% resin epoksi, 25% PVAc memiliki nilai kekerasan shore D tertinggi sebesar 47,17 HD. Sedangkan nilai kekerasan terendah dimiliki oleh kode sampel C0B40 dengan komposisi 40% serbuk bambu betung, 25% serbuk kayu sengon, 10% resin epoksi, 25% PVAc yaitu sebesar 30,17 HD. Grafik batang yang menampilkan hasil pengujian kekerasan terhadap fraksi volume cangkang telur dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Nilai Kekerasan Shore D



Gambar 4.11 Hubungan antara Densitas Terhadap Kekerasan

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.10 diatas, nilai kekerasan shore D berubah secara fluktuatif seiring dengan bertambahnya fraksi volume dari serbuk cangkang telur dan bambu. Dalam pengujian kekerasan shore D beban yang diberikan oleh jarum pengukur dikenakan pada permukaan uji, ketika *filler* pada matriks bersifat lunak seperti bambu maka jarum pengukur dengan mudah menembus matriks polimer. Hal ini selaras dengan penelitian (Banga dkk., 2015) yang menyatakan kekerasan komposit menurun seiring dengan bertambahnya serbuk dan serat bambu disebabkan oleh kelembutan atau rendahnya kekerasan pada serbuk dan serat bambu tersebut. Dengan penambahan fraksi volume serbuk cangkang telur pada matriks memungkinkan serbuk cangkang telur mengisi hingga ke bagian dekat permukaan sampel uji, sehingga jarum pengukur tidak hanya mengenai matriks dan *filler* lainnya tetapi juga serbuk cangkang telur. Kekerasan serbuk cangkang telur diperoleh dari CaCO_3 yang menyusun partikel tersebut (Hassan & Aigbodion, 2015). Menurut penelitian (Hussein dkk., 2011) cangkang telur mengandung 95% kalsium karbonat (CaCO_3) dan 5% berat bahan organik seperti (Al_2O_3 , SiO_2 , S, Cl, P, dan Cr_2O_3). Sehingga penambahan serbuk cangkang telur berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan shore D. Pada Gambar 4.11 diatas menunjukkan korelasi yang positif antara nilai densitas dengan nilai kekerasan Shore D. Semakin rendah nilai densitas maka akan semakin rendah nilai kekerasan dari papan partikel, demikian pula sebaliknya. Sehingga hubungan antara hasil pengujian densitas dengan kekerasan shore D yaitu berbanding lurus.

4.2.2. Pengujian Kekuatan Bending

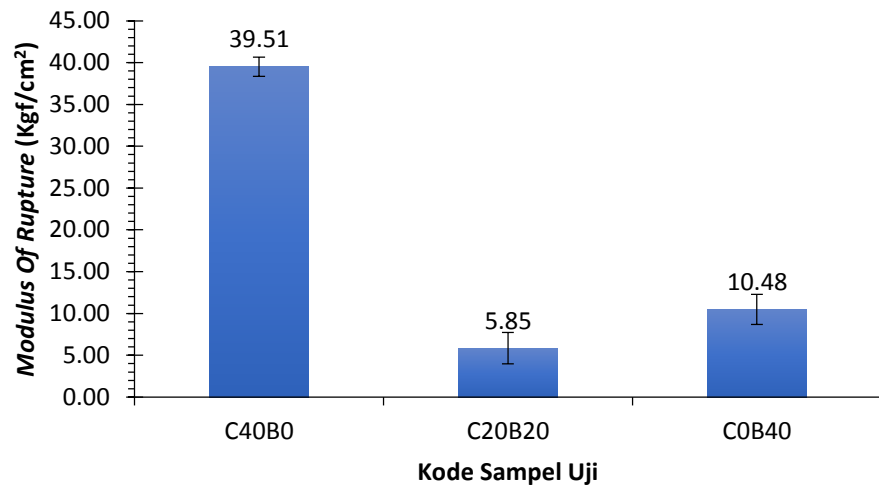
Pengujian kekuatan bending dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari papan komposit dalam menahan beban lentur. Pengujian bending ini menggunakan metode *three point bending* dengan berdasarkan pada standar ASTM D790. Sampel uji

memiliki dimensi panjang 80 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 5 mm. Kecepatan pengujian bending yang terkontrol sebesar 30 mm/min. Hasil pengujian kekuatan bending dapat dilihat pada Tabel 4.6.

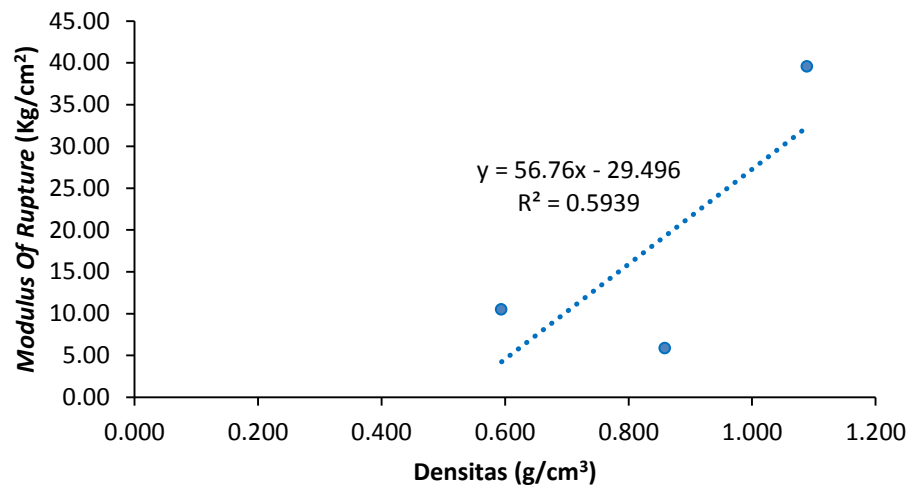
Tabel 4.6 Hasil Data Pengujian Bending

No.	Kode Sampel	Nilai <i>Modulus of Rupture</i> (MOR) (Kgf/cm ²)	Nilai Rata-rata <i>Modulus of Rupture</i> (Kgf/cm ²)	SNI 03-2105-2006 (Kgf/cm ²)
1	C40B0	39,388	39,51	≥ 82
		41,793		
		37,363		
2	C20B20	7	5,85	
		7,326		
		3,22		
3	C0B40	11,762	10,48	
		8,992		
		10,69		

Dari Tabel 4.6 yang terlihat di atas menunjukkan hasil nilai *modulus of rupture* untuk ketiga sampel uji berkisar antara 5,85 – 39,51 Kgf/cm². Nilai *modulus of rupture* tertinggi terdapat pada sampel C40B0 dengan komposisi penyusun 40% serbuk cangkang telur, 25% serbuk kayu sengon, serta perekat resin epoxy 10% dan PVAc 25% yaitu sebesar 39,51 Kgf/cm². Sedangkan pada sampel C20B20 dan C0B40 masing-masing memiliki nilai sebesar 5,85 Kgf/cm² dan 39,51 Kgf/cm². Hasil nilai kekuatan bending pada ketiga sampel belum memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Akan tetapi jika dibandingkan dengan nilai kekuatan bending papan partikel yang terdapat di pasaran, sampel dengan kode C40B0 sudah memenuhi. Grafik batang hasil pengujian kekuatan bending pada papan partikel dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekuatan Bending



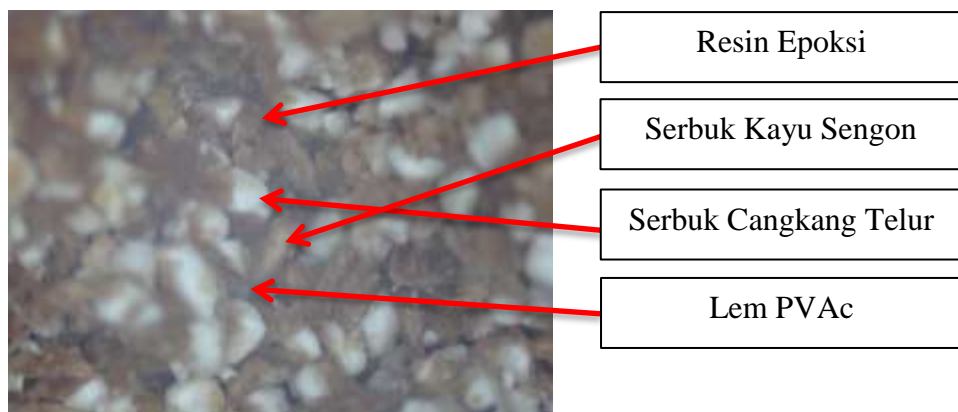
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Densitas Terhadap *Modulus of Rupture* (MOR)

Berdasarkan grafik batang pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai *modulus of rupture* terjadi penurunan pada sampel C20B20 dengan komposisi serbuk cangkang telur 20%, bambu 20%, kayu sengon 25% dengan perekat resin epoksi 10% dan PVAc 25% dari 10,48 kgf/cm² menjadi 5,85 kgf/cm². Bertambahnya fraksi volume serbuk cangkang telur tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan bending. Hal ini dapat disebabkan oleh serat yang membentuk gumpalan sehingga memungkinkan terjadinya penyumbatan pada matriks dan terbentuk *void* pada papan partikel. Proses pencampuran yang tidak merata antara *filler* dan matriks dapat mengakibatkan terbentuknya

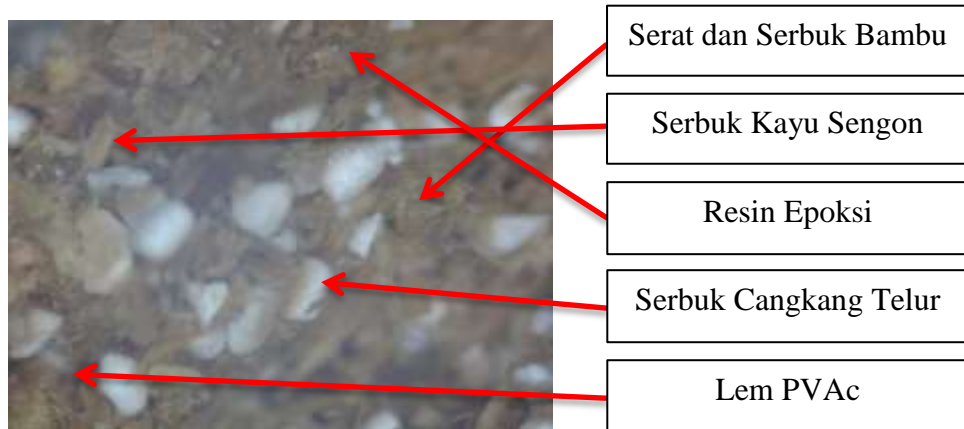
rongga yang menyebabkan matriks tidak dapat mengisi ruang kosong (Handani, 2012). Hasil ini sejalan dengan penelitian (Adediran dkk., 2021) yang menyatakan bahwa terjadi penurunan nilai *modulus of rupture* dari 18,4 MPa menjadi 9,1 MPa pada sampel dengan 5% berat serat disebabkan karena adanya serbuk cangkang telur yang tidak fleksibel yang akan menghambat peregangan serat sehingga mengakibatkan pembentukan gesekan dalam matriks. Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa hubungan antara densitas dengan *modulus of rupture* tidak berkorelasi linear. Hal ini sesuai dengan pernyataan (De Boever dkk., 2007) yang menyatakan kepadatan dari komposit tidak dapat menjelaskan variasi dalam *modulus of rupture* dikarenakan adanya faktor lain yang mempengaruhinya. Salah satunya serat yang tidak berpengaruh signifikan pada densitas tetapi akan mempengaruhi nilai *modulus of rupture*.

4.3. Hasil Pengamatan Struktur Makro

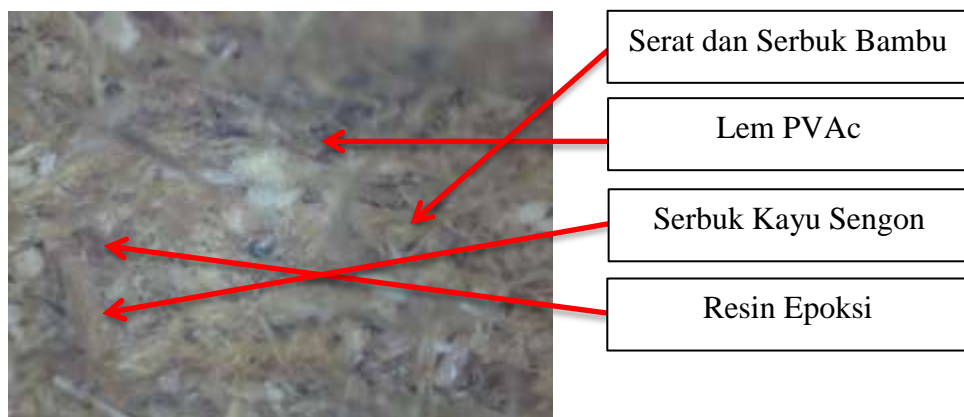
Pengamatan struktur makro bertujuan untuk mengetahui bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji akibat dari pengujian bending serta mengamati hasil ikatan antara komponen penyusunnya. Pengamatan struktur makro ini dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 15x. Sampel uji terdiri dari beberapa komponen penyusun antara lain serbuk cangkang telur, serbuk kayu sengon, serbuk bambu, resin epoksi dan PVAc. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.14.



(a)



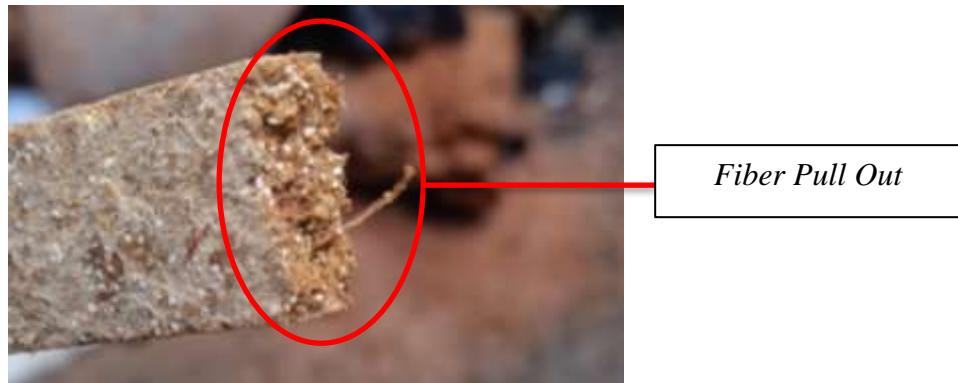
(b)



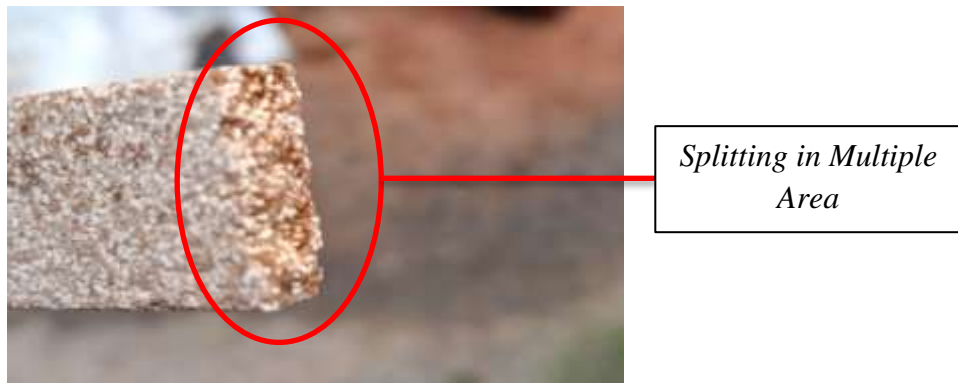
(c)

Gambar 4.14 Struktur Makro Sampel Uji (a) C40B0, (b) C20B20, dan (c) C40B0

Pada Gambar 4.14 diatas, hasil foto struktur makro menunjukkan material penyusun papan partikel diantaranya serat dan serbuk bambu yang terlihat berwarna kuning, lem PVAc berwarna coklat kehitaman, serbuk kayu sengon terlihat coklat, resin epoksi berwarna coklat kehitaman, serta serbuk cangkang telur berwarna putih. Selain itu, hasil dari pengamatan struktur makro pada ketiga sampel uji terlihat memiliki porositas. Faktor yang mempengaruhi adanya porositas yaitu proses pencetakan komposit yang kurang sempurna sehingga terdapat udara yang terjebak di dalam komposit tersebut. Sampel uji dengan komposisi serbuk cangkang telur 40% menunjukkan porositas yang lebih sedikit dibandingkan dengan sampel uji lainnya. Hal ini disebabkan oleh matriks dan *filler* terdistribusi secara merata. Bentuk patahan pada sampel uji setelah pengujian bending dapat dilihat pada Gambar 4.15.



(a)



(b)

Gambar 4.15 Bentuk Patahan Sampel Uji (a) C20B20 dan (b) C40B0

Berdasarkan hasil pengamatan bentuk patahan yang terjadi pada sampel uji didapatkan bentuk patahan ulet dan getas. Patahan ulet terjadi pada sampel uji yang memiliki komposisi serbuk dan serat bambu yang ditandai dengan permukaan patahan yang tidak rata dan berserat. Manalo dkk., (2015) menyebutkan bahwa serat bambu dapat memberikan hambatan terhadap perambatan retak sehingga mengubah kegagalan dari getas menjadi ulet. Sedangkan dengan meningkatnya fraksi volume serbuk cangkang telur menjadikan patahan bersifat getas. Hal ini sesuai dengan penelitian (Rangga dkk., 2023) yang menyatakan bahwa penambahan serbuk cangkang telur menjadikan spesimen mengalami perpatahan getas atau glanural dengan ciri permukaan patahan yang hampir rata dan memantulkan cahaya. Pada Gambar 4.15 terjadi *fiber pull out* yang diakibatkan tekanan yang digunakan saat proses kompaksi tidak besar sehingga dapat menyebabkan ikatan antara serat dan matriks tidak sempurna. Sehingga saat papan partikel dikenakan beban maka serat dan

matrik akan mudah terlepas. Berdasarkan pengamatan struktur makro terjadinya patahan banyak (*splitting in multiple area*) yang menunjukkan bahwa papan komposit memiliki kekuatan yang tinggi (Diharjo, 2006).

4.4. Analisis Statistika

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 4.7 Hasil Nilai Pembobotan Sampel Papan Partikel

No	Pengujian Sampel	Kode Sampel	Nilai Pembobotan (W)	Nilai Akhir Pembobotan (MRPI)
1	Pengujian Densitas	C40B0	0,428	0,467
		C20B20	0,338	0,290
		C0B40	0,234	0,139
2	Pengujian Pengembangan Tebal	C40B0	0,572	2,335
		C20B20	0,230	2,336
		C0B40	0,197	2,336
3	Pengujian Kekerasan	C40B0	0,410	19,345
		C20B20	0,328	12,337
		C0B40	0,262	7,913
4	Pengujian Bending	C40B0	0,708	27,957
		C20B20	0,105	0,613
		C0B40	0,188	1,967

Tabel 4.8 Hasil Nilai Total Pembobotan Sampel Papan Partikel

No	Kode Sampel	Nilai Total Pembobotan Sampel (MRPI)
1	C40B0	50,104
2	C20B20	15,576
3	C0B40	12,355

Untuk menentukan nilai yang paling 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 4.8 dapat dilihat bahwa

nilai MRPI terbesar terdapat pada papan partikel dengan kode sampel C40B0 yang memiliki komposisi 40% serbuk cangkang telur, 0% serbuk bambu betung, 25% serbuk kayu sengon, 10% resin epoksi, dan 25% lem PVAc sebesar 50,104. Sehingga menurut metode pembobotan, nilai yang paling optimal dihasilkan oleh sampel C40B0 yang menghasilkan nilai kerapatan, pengembangan tebal, kekerasan shore D dan kekuatan bending masing-masing $1,089 \text{ g/cm}^3$, 4,08%, 47,17 HD, dan $39,51 \text{ kgf/cm}^2$.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan tentang sifat fisik dan mekanik papan komposit, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Penambahan persentase volume serbuk cangkang telur mengakibatkan perubahan pada sifat fisik papan komposit menjadi lebih optimal. Sedangkan penambahan bambu betung menurunkan sifat fisik pada papan partikel. Sifat fisik yang paling optimal dihasilkan oleh sampel uji C40B0 dengan komposisi penyusun 40%:25%:0%:10%:25% menghasilkan nilai kerapatan, serapan air, persentase pengembangan tebal, dan persentase volumetrik masing-masing 1,089 g/cm³, 10,06%, 4,08%, dan 7,92%. Hasil pengujian pengembangan tebal telah memenuhi standar SNI 03-2105-2006.
2. Penambahan persentase volume serbuk cangkang telur dan bambu betung mengakibatkan perubahan pada sifat mekanik papan komposit. Sifat mekanik yang paling optimal dihasilkan oleh sampel C40B0 dengan komposisi 40%:25%:0%:10%:25% menghasilkan nilai kekerasan serta kekuatan bending masing-masing sebesar 47,17 HD dan 39,51 kgf/cm². Hasil pengujian lentur ini belum memenuhi standar SNI 03-2105-2006.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan pencapaian hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, adapun saran yang dapat diberikan penulis antara lain:

1. Saat proses pencampuran bahan alangkah baiknya untuk ditambahkan melebihi takaran yang sudah diperhitungkan. Hal ini dikarenakan terdapat bahan yang terbuang saat proses *mixing* dan akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan partikel.
2. Perlu adanya penelitian penggunaan ukuran serbuk partikel yang lebih kecil untuk memperkecil terbentuknya *void* pada papan partikel yang

dihasilkan.

3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai variasi tekanan kompaksi untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik Produksi Kehutanan 2021. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik Produksi Telur Ayam Petelur 2022. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Adediran, A. A., Akinwande, A. A., Balogun, O. A., Adesina, O. S., Aliyu, S. J., Erinle, T. J., Nyika, J., & Olayanju, A. (2021). Selected properties of waste wig, eggshell and waste paper hybrid composites as potential material for wall partitioning. *Materials Today: Proceedings*, *44*, 2828–2836. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1164>
- Akbar, T., Ferawati, F., & Ariastuti, I. (2021). Pelatihan Keterampilan Pemanfaatan Cangkang Telur untuk Produk Seni Kerajinan bagi Kelompok Ibu Rumah Tangga Kota Padang Panjang. *Jurnal Abdidas*, *2*(2), 186–192. <https://doi.org/10.31004/abdidas.v2i2.251>
- Banga, H., Singh, V. K., & Choudhary, S. K. (2015). *Fabrication and Study of Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Bio-Composites*.
- Bhatia, S., Angra, S., & Khan, S. (2019). Mechanical and wear properties of epoxy matrix composite reinforced with varying ratios of solid glass microspheres. *Journal of Physics: Conference Series*, *1240*(1), 012080. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012080>
- Cao, X., Li, F., Zheng, T., Li, G., Wang, W., Li, Y., Chen, S., Li, X., & Lu, Y. (2022). Cellulose-based functional hydrogels derived from bamboo for product design. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 958066. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.958066>
- De Boever, L., Vansteenkiste, D., Van Acker, J., & Stevens, M. (2007). End-use related physical and mechanical properties of selected fast-growing poplar hybrids (*Populus trichocarpa* × *P. deltoides*). *Annals of Forest Science*, *64*(6), 621–630. <https://doi.org/10.1051/forest:2007040>
- Diharjo, K. (2006). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. *Jurnal Teknik Mesin*, *8*(1), 8–13.

- Faizah, M., Himmah, F., Fitriyah, L., & Solikhah, N. A. (2022). Limbah Cangkang Telur sebagai Lukisan Kaligrafi. *Jumat Ekonomi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 82–85. https://doi.org/10.32764/abdimas_ekon.v3i2.2416
- Fathanah, U., & Sofyana, S. (2013). Pembuatan Papan Partikel (Particle Board) dari Tandan Kosong Sawit dengan Perekat Kulit Akasia dan Gambir. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(3), 138–143. <https://doi.org/10.23955/rkl.v9i3.783>
- Fawaid, M., & Hamdi, S. (2013). *Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Bahan Alternatif Kampas Rem Berpenguat Serat Bambu*.
- Fawaid, M., Lusiani, R., & Parulian, R. (2017). *PENGARUH BUTIRAN FILLER KAYU SENGON TERHADAP KARAKTERISTIK PAPAN PARTIKEL YANG BERPENGUAT SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT*. 11(1).
- Fernandes, E. de A., & Litz, F. H. (2017). *The Eggshell and Its Commercial and Production Importance*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00025-1>
- Gupta, A. (2016). Synthesis, chemical resistance, and water absorption of bamboo fiber reinforced epoxy composites. *Polymer Composites*, 37(1), 141–145. <https://doi.org/10.1002/pc.23164>
- Handani, S. (2012). SIFAT MEKANIK PAPAN PARTIKEL SEKAM PADI DENGAN RESIN POLYESTER TAK JENUH (YUKALLAC 157). *JURNAL ILMU FISIKA / UNIVERSITAS ANDALAS*, 4(1), 26–30. <https://doi.org/10.25077/jif.4.1.26-30.2012>
- Harms, R. H. (1991). Specific Gravity of Eggs and Eggshell Weight from Commercial Layers and Broiler Breeders in Relation to Time of Oviposition. *Poultry Science*, 70(5), 1099–1104. <https://doi.org/10.3382/ps.0701099>
- Hassan, S. B., & Aigbodion, V. S. (2015). Effects of eggshell on the microstructures and properties of Al–Cu–Mg/eggshell particulate

- composites. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 27(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2013.03.001>
- Hussein, A. A., Salim, R. D., & Sultan, A. A. (2011). Water absorption and mechanical properties of high – density polyethylene/ egg shell composite. *Journal of Basrah Researches*, 37.
- Irnawan, D., Karomah, B., & Km, P. (2019). KAJIAN UKURAN SERBUK KOMPOSIT LIMBAH CANGKANG TELUR TERHADAP KETANGGUHAN IMPAK. *Journal of Architecture and Built Environment*, 1.
- Joshi, S. V., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Arora, S. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>
- Kosjoko. (2014). PENGARUH PERENDAMAN (NaOH) TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN BENDING BAHAN KOMPOSIT SERAT BAMBUN TALI (GIGANTOCHLOA APUS) BERMATRIKS POLYESTER. *INFO TEKNIK*, 15, 139–148.
- Leto, K. T. (2021). Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Jati dan Sengon sebagai Bahan Dasar Penghasil Gula Reduksi. *Variabel*, 4(1), 21. <https://doi.org/10.26737/var.v4i1.2424>
- Manalo, A. C., Wani, E., Zukarnain, N. A., Karunasena, W., & Lau, K. (2015). Effects of alkali treatment and elevated temperature on the mechanical properties of bamboo fibre–polyester composites. *Composites Part B: Engineering*, 80, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.05.033>
- Manik, P. (2017). *Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Bambu Laminasi Apus Dan Petung Sebagai Material Alternatif Pembuatan Komponen Kapal Kayu*. 5(2).
- Mardhika, S., & Rosa, F. (2016). ANALISA KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA (COCOS NUCIFERA) UNTUK PEMBUATAN PANEL PANJAT TEBING SESUAI STANDAR BSAPI. 2(1).

- Nkeuwa, W. N., Zhang, J., Semple, K. E., Chen, M., Xia, Y., & Dai, C. (2022). Bamboo-based composites: A review on fundamentals and processes of bamboo bonding. *Composites Part B: Engineering*, 235, 109776. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.109776>
- Owuamanam, S., & Cree, D. (2020). Progress of Bio-Calcium Carbonate Waste Eggshell and Seashell Fillers in Polymer Composites: A Review. *Journal of Composites Science*, 4(2), 70. <https://doi.org/10.3390/jcs4020070>
- Palan, A., Pappang, R., Salam, L., & Salu, S. (2018). *ANALISIS KEKUATAN TARIK KOMPOSIT. 1.*
- Perdana, M., Hadi, S., & Rahman, E. G. (2018). ANALISA SIFAT FISIK DAN MEKANIK DARI GREEN COMPOSITE MATERIAL DARI LIMBAH STYROFOAM, AMPAS TEBU DAN CANGKANG TELUR SEBAGAI RANGKA DRONE. *Jurnal Momentum*, 20.
- Puspita, F. W. (2017). *SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HYDROXYAPATITE FROM SHELL EGGS RACE CHICKEN (GALLUS GALLUS) USING WET DEPOSITION METHOD.* 6(1).
- Puspitasari, P., Utomo, D. M., Zhorifah, H. F. N., Permanasari, A. A., & Gayatri, R. W. (2020). Physicochemical Determination of Calcium Carbonate (CaCO₃) from Chicken Eggshell. *Key Engineering Materials*, 840, 478–483. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.840.478>
- Rangga, D. P., Hartono, P., & Basjir, M. (2023). Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Telur Dan Serat Tebu Sebagai Komposit Terhadap Sifat Mekanis. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(5), 56–63.
- Rofaida, A., Pratama, R. M., Sugiarta, I. W., & Widianty, D. (2021). SIFAT FISIK DAN MEKANIK PAPAN PARTIKEL AKIBAT PENAMBAHAN FILLER SERAT BAMBU: Physical and Mechanical Properties of Particle Board Due to Addition of Filler Bamboo Fibre. *Spektrum Sipil*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i1.187>
- Ruhendi, S., Koroh, D. N., Syamani, F. A., & Yanti, H. (2007). Analisis Perekat Kayu. *Fakultas Kehutanan*.
- Sevinç, A. H., & Durgun, M. Y. (2021). A novel epoxy-based composite with eggshell, PVC sawdust, wood sawdust and vermiculite: An investigation

- on radiation absorption and various engineering properties. *Construction and Building Materials*, 300, 123985. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123985>
- Sosiati, H., Wahyono, T., Firmansyah, W. A., Irawansyah, M., Utama, D. S., & Farahsani, Y. (2022). Meja Hibrid Berbasis Limbah Serbuk Gergaji dan Cangkang Telur untuk Pasien Rumah Sakit. *Wikrama Parahita : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(1), 55–61. <https://doi.org/10.30656/jpmwp.v6i1.3866>
- Sulastiningsih, I. M., Novitasari, N., & Turoso, A. (2006). PENGARUH KADAR PEREKAT TERHADAP SIFAT PAPAN PARTIKEL BAMBU. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(1), 1–8. <https://doi.org/10.20886/jphh.2006.24.1.1-8>
- Sunardi, S., Putra, R., Lusiani, R., & Sudrajad, A. (2022). *PVAc/Epoxy Resin Ratio as Hybrid Matrix toward Hardness and Thickness Swelling of Particleboards Reinforced of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB)*.
- Susanto, H., Lusiani, R., Saefuloh, I., Akbar, H., & Fawaid, M. (2023). *Pengaruh perendaman bambu dengan air laut terhadap kekerasan dan laju keausan komposit kanvas rem*. 12(1).
- Sutiawan, J., Mardhatillah, S., Hermawan, D., Aulya Syamani, F., Subyakto, S., & Surya Kusumah, S. (2020). KARAKTERISTIK PAPAN PARTIKEL CAMPURAN LIMBAH SENGON DAN BAGAS SORGUM MENGGUNAKAN PEREKAT ASAM SITRAT. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 139–150. <https://doi.org/10.20886/jphh.2020.38.3.139-150>
- Taha, S. R., & Mukhtar, M. (2022). *PEMANFAATAN CANGKANG TELUR SEBAGAI PUPUK ORGANIK DIDESA OMBULODATA, GORONTALO UTARA*. 1(2).
- Xu, Z., Chu, Z., Yan, L., Chen, H., Jia, H., & Tang, W. (2019). Effect of chicken eggshell on the flame-retardant and smoke suppression properties of an epoxy-based traditional APP-PER-MEL system. *Polymer Composites*, 40(7), 2712–2723. <https://doi.org/10.1002/pc.25077>

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN DAN DATA PERCOBAAN

A.1 Perhitungan Volume Cetakan

Diketahui : Panjang = 21,2 cm

Lebar = 21,2 cm

Tinggi = 1,7 cm

Ditanya : Volume cetakan?

$$\begin{aligned}\text{Jawab : } V &= P \times L \times T \\ &= 21,2 \times 21,2 \times 1,7 \\ &= 764 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

A.2 Perhitungan Tekanan Pompa Hidrolik

Diketahui : Luas penekan (A_H) = 490,625 mm²

Luas penampang komposit (A_K) = 44944 mm²

Tekanan hidrolik (P_H) = 5 N/mm²

Gaya Penekan (F_H) = $A_H \times P_H$ = 2453,125 N

Ditanya : Tekanan Kompaksi (P_K)?

$$P_K = \frac{F_H}{A_K} = \frac{2453,125}{44944} = 0,055 \text{ N/mm}^2 \approx 0,055 \text{ Mpa}$$

A.3 Perhitungan Komposisi Bahan yang Digunakan

Adapun Nilai densitas dari berbagai bahan antara lain kayu sengon sebesar 0,43 g/cm³ (Ginoga, 1995), bambu betung 0,71 g/cm³ (Manik, 2017), cangkang telur 2,147 g/cm³ (Harms, 1991), resin epoksi 1,1 g/cm³ (Bhatia dkk., 2019), dan lem PVAc 1,07 g/cm³ (Lawal dkk., 2019). Perhitungan perkiraan kebutuhan dari beberapa bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Komposisi Bahan Sampel 1

1. Serbuk bambu betung = 0% x 764 x 0,71 = 0 gram
2. Serbuk kayu sengon = 25% x 764 x 0,43 = 82 gram
3. Serbuk cangkang telur = 40% x 764 x 2,147 = 656 gram
4. Lem PVAc = 25% x 764 x 1,07 = 204 gram
5. Resin epoksi = 10% x 764 x 1,1 = 84 gram

2. Komposisi Bahan Sampel 2

1. Serbuk bambu betung = 20% x 764 x 0,71 = 109 gram

2. Serbuk kayu sengon = $25\% \times 764 \times 0,43 = 82$ gram
 3. Serbuk cangkang telur = $20\% \times 764 \times 2,147 = 332$ gram
 4. Lem PVAc = $25\% \times 764 \times 1,07 = 205$ gram
 5. Resin epoksi = $10\% \times 764 \times 1,1 = 84$ gram
3. Komposisi Bahan Sampel 3
1. Serbuk bambu betung = $40\% \times 764 \times 0,71 = 217$ gram
 2. Serbuk kayu sengon = $25\% \times 764 \times 0,43 = 82$ gram
 3. Serbuk cangkang telur = $0\% \times 764 \times 2,71 = 0$ gram
 4. Lem PVAc = $25\% \times 764 \times 1,07 = 205$ gram
 5. Resin epoksi = $10\% \times 764 \times 1,1 = 84$ gram

A.4 Perhitungan Densitas

Contoh perhitungan kerapatan komposit kode sampel C0B40

Diketahui : Massa = 78,58 gram

$$\text{Volume} = 132,17 \text{ cm}^3$$

Ditanya : Densitas?

$$\text{Jawab : } \rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} = \frac{78,58}{132,17} = 0,594 \text{ g/cm}^3$$

A.5 Perhitungan Pengembangan Tebal

Contoh perhitungan pengembangan tebal komposit kode sampel C0B40

Diketahui : Tebal awal (T_1) = 19,53 mm

$$\text{Tebal akhir } (T_2) = 21,84 \text{ mm}$$

Ditanya : Pengembangan Tebal(%)?

$$\begin{aligned} \text{Jawab : TS} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{21,84 - 19,53}{19,53} \times 100\% = 11,827\% \end{aligned}$$

A.6 Perhitungan Porositas

Contoh perhitungan porositas komposit kode sampel C0B40

Diketahui : Massa sampel kering (mk) = 19,483 gram

$$\text{Massa sampel basah (mb)} = 35,41 \text{ gram}$$

Ditanya : Porositas(%)?

$$\begin{aligned} \text{Jawab : Porositas} &= \frac{mb - mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{35,41 - 19,483}{19,483} \times 100\% = 81,75\% \end{aligned}$$

A.7 Perhitungan Daya Serap Air

Contoh perhitungan daya serap air komposit kode sampel C0B40

Diketahui : Massa sampel awal (B_1) = 19,483 gram

Massa sampel akhir (B_2) = 39,32 gram

Ditanya : Daya Serap Air(%)?

$$\begin{aligned} \text{Jawab : DSA} &= \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\% \\ &= \frac{39,32 - 19,446}{19,446} \times 100\% = 102,20\% \end{aligned}$$

A.8 Perhitungan Pengembangan Volumetrik

Contoh perhitungan pengembangan volumetrik komposit kode sampel C0B40

Diketahui : Volume awal (V_1) = 33,885 cm³

Volume akhir (V_2) = 40,47 cm³

Ditanya : Pengembangan Volumetrik(%)?

$$\begin{aligned} \text{Jawab : s} &= \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\% \\ &= \frac{40,47 - 33,885}{33,885} \times 100\% = 19,43\% \end{aligned}$$

A.9 Perhitungan Kekuatan Bending

Contoh perhitungan pengujian bending komposit kode sampel C0B40

Diketahui : Jarak Sanggah (L) = 6 cm

Lebar sampel uji (b) = 1,28 cm

Tebal sampel uji (h) = 0,6243 cm

Beban maksimum (P) = 0,0057 kN \approx 0,581 kgf

Ditanya : *Modulus of rupture* ?

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bh^2} = \frac{3 \times 0,581 \times 6}{2 \times 1,28 \times 0,6243^2} = 10,481 \text{ kgf/cm}^2$$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

B.1 Pengujian Densitas

Adapun data hasil pengujian kerapatan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel B.1 Data Hasil Pengujian Densitas

No	Kode Sampel	Massa Sampel Uji (g)	Volume Sampel Uji (cm ³)	Densitas (g/cm ³)
1	C40B0	124,88	113,991	1,089
		118,89	108,751	
		119,79	110,979	
2	C20B20	108,57	124,204	0,859
		117,1	132,658	
		107,19	130,670	
3	C0B40	76,79	131,496	0,594
		74,8	131,505	
		84,16	133,531	

B.2 Pengujian Daya Serap Air

Adapun data hasil pengujian daya serap air dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No	Kode Sampel	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Daya Serap Air (%)
1	C40B0	34,87	38,10	10,06
		32,93	36,60	
		33,71	37,00	
2	C20B20	29,20	46,66	61,50
		26,51	42,70	
		26,76	43,79	
3	C0B40	19,46	39,24	102,20
		20,87	40,54	
		18,12	38,18	

B.3 Pengujian Pengembangan Tebal

Adapun data hasil pengujian pengembangan tebal dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No	Kode Sampel	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Pengembangan Tebal (%)
1	C40B0	17,1	17,8	4,08
		16,24	16,9	
		16,64	17,32	
2	C20B20	19,22	21,56	10,14
		19,34	20,8	
		19,26	21,32	
3	C0B40	19,64	21,68	11,83
		19,53	22	
		18,42	21,84	

B.4 Pengujian Pengembangan Volumetrik

Adapun data hasil pengujian pengembangan volumetrik dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No	Kode Sampel	Volume Awal (cm ³)	Volume Akhir (cm ³)	Pengembangan Volumetrik (%)
1	C40B0	29,933	32,316	7,92
		29,762	32,081	
		29,185	31,520	
2	C20B20	35,224	41,835	17,65
		33,243	38,262	
		34,883	41,995	
3	C0B40	34,223	40,170	19,44
		33,921	40,916	
		33,510	40,325	

B.5 Pengujian Kekerasan Shore D

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

No	Kode Sampel	Titik Uji	Kekerasan Durometer Shore D (HD)	Rata-rata Kekerasan Durometer Shore D (HD)
1	C40B0	1	49,5	47,17
		2	45,5	
		3	46,5	
2	C20B20	1	40,5	37,67
		2	35	
		3	37,5	
3	C0B40	1	33	30,17
		2	27	
		3	30,5	

B.6 Pengujian Bending

Adapun data hasil pengujian bending dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No	Kode Sampel	Lebar Sampel (cm)	Tebal Sampel (cm)	Modulus of Rupture (Kg/cm ³)
1	C40B0	1,27	0,56	39,51
		1,3	0,5	
		1,27	0,57	
2	C20B20	1,28	0,59	5,85
		1,3	0,58	
		1,27	0,54	
3	C0B40	1,3	0,59	10,69
		1,26	0,63	
		1,28	0,65	

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar C.1 Proses Pembuatan Serbuk Cangkang Telur



Gambar C.2 Proses Pembuatan Serbuk dan Serat Bambu



Gambar C.3 Proses Pembuatan Serbuk Kayu Sengon



Gambar C.4 Proses Penimbangan Bahan



Gambar C.5 Proses Pembuatan Sampel Uji



Gambar C.6 Proses Penjemuran dan *Curing* Papan Partikel





Gambar C.7 Proses Pengujian Densitas



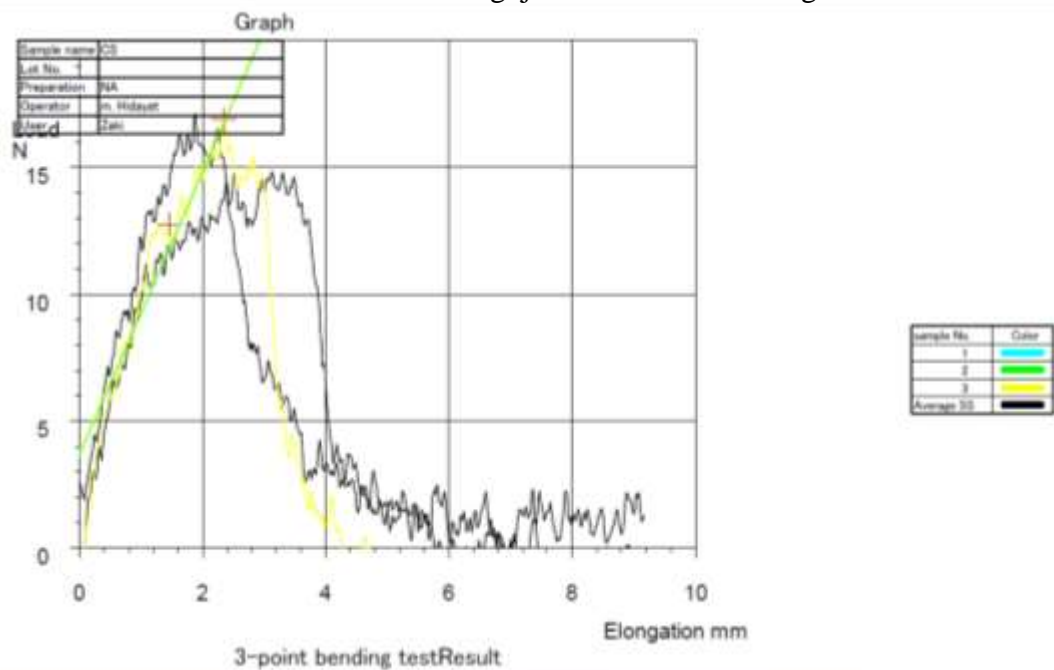
Gambar C.8 Proses Pengujian Daya Serap Air, Pengembangan Tebal, dan Pengembangan Volumetrik



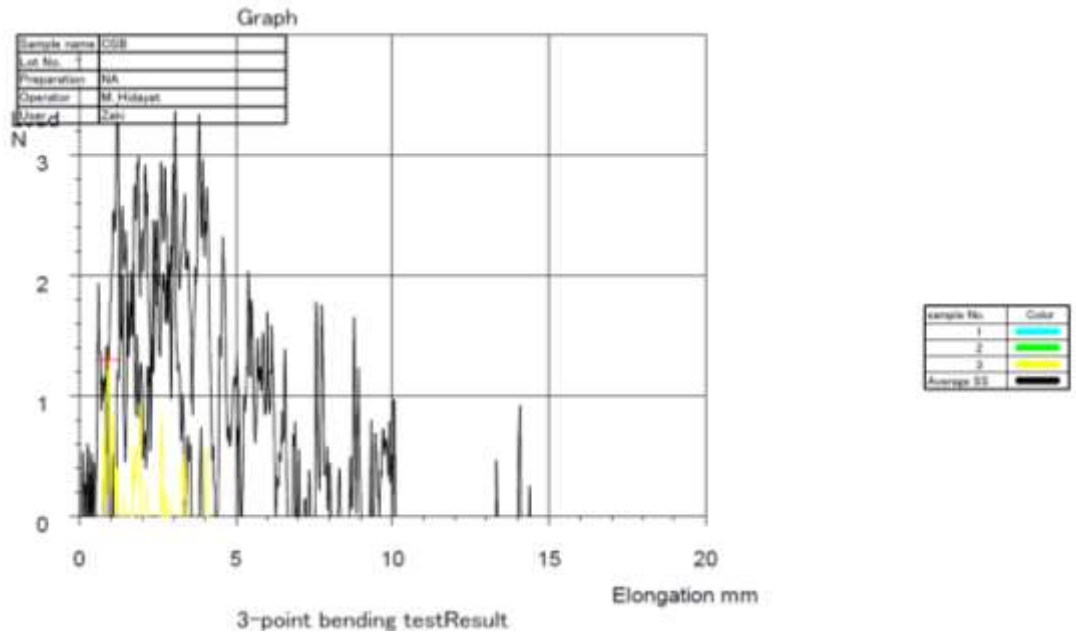
Gambar C.9 Proses Pengujian Kekerasan Shore D



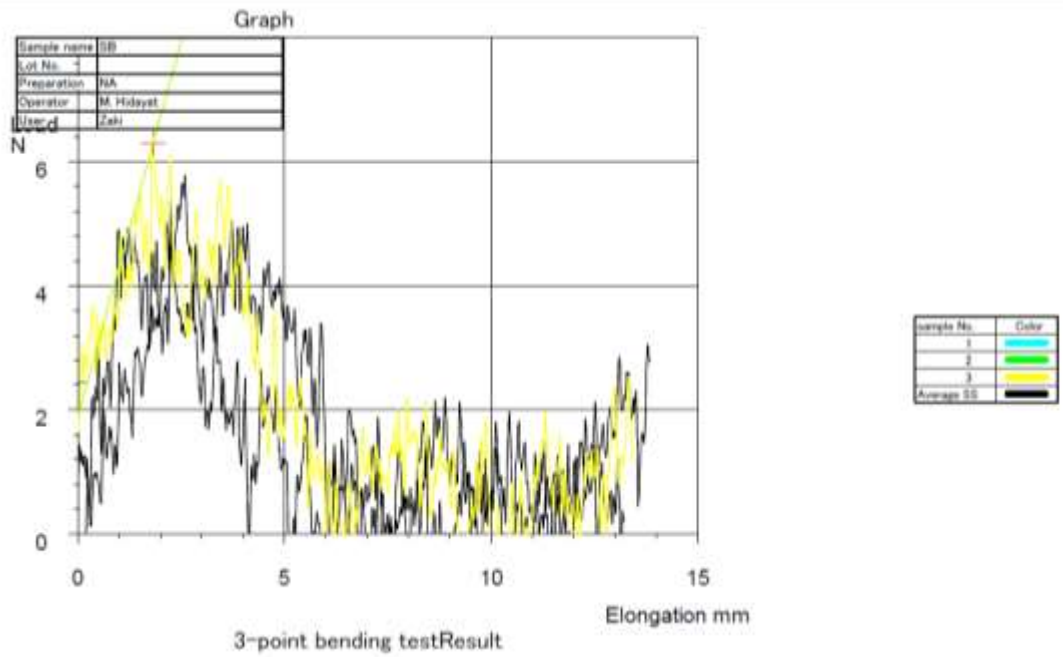
Gambar C.10 Proses Pengujian Kekuatan Bending



Gambar C.11 Grafik Hasil Pengujian Bending Kode Sampel C40B0



Gambar C.12 Grafik Hasil Pengujian Bending Kode Sampel C20B20



Gambar C.13 Grafik Hasil Pengujian Bending Kode Sampel C40B0

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.122513	0.122513	600.06	0.026
Cangkang Telur	1	0.122513	0.122513	600.06	0.026
Error	1	0.000204	0.000204		
Total	2	0.122717			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0142887	99.83%	99.67%	97.75%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.5998	0.0130	45.99	0.014	
Cangkang Telur	0.012375	0.000505	24.50	0.026	1.00

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.122513	0.122513	600.06	0.026
Serbuk Bambu	1	0.122513	0.122513	600.06	0.026
Error	1	0.000204	0.000204		
Total	2	0.122717			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0142887	99.83%	99.67%	97.75%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.0948	0.0130	83.94	0.008	
Serbuk Bambu	-0.012375	0.000505	-24.50	0.026	1.00

Gambar C.14 Hasil Analisis Regresi Cangkang Telur dan Bambu terhadap Densitas

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	4244.89	4244.89	220.81	0.043
Cangkang Telur	1	4244.89	4244.89	220.81	0.043
Error	1	19.22	19.22		
Total	2	4264.11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.38459	99.55%	99.10%	93.91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	103.99	4.00	25.98	0.024	
Cangkang Telur	-2.303	0.155	-14.86	0.043	1.00

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	4244.89	4244.89	220.81	0.043
Serbuk Bambu	1	4244.89	4244.89	220.81	0.043
Error	1	19.22	19.22		
Total	2	4264.11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.38459	99.55%	99.10%	93.91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	11.85	4.00	2.96	0.207	
Serbuk Bambu	2.303	0.155	14.86	0.043	1.00

Gambar C.15 Hasil Analisis Regresi Cangkang Telur dan Bambu terhadap Daya Serap Air

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	30.031	30.031	9.44	0.200
Cangkang Telur	1	30.031	30.031	9.44	0.200
Error	1	3.183	3.183		
Total	2	33.214			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.78405	90.42%	80.83%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	12.56	1.63	7.71	0.082	
Cangkang Telur	-0.1937	0.0631	-3.07	0.200	1.00

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	30.031	30.031	9.44	0.200
Bambu	1	30.031	30.031	9.44	0.200
Error	1	3.183	3.183		
Total	2	33.214			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.78405	90.42%	80.83%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4.81	1.63	2.95	0.208	
Bambu	0.1937	0.0631	3.07	0.200	1.00

Gambar C.16 Hasil Analisis Regresi Cangkang Telur dan Bambu terhadap Pengembangan Tebal

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	66.36	66.36	6.32	0.241
Cangkang Telur	1	66.36	66.36	6.32	0.241
Error	1	10.51	10.51		
Total	2	76.86			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.24149	86.33%	72.66%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	20.76	2.96	7.02	0.090	
Cangkang Telur	-0.288	0.115	-2.51	0.241	1.00

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	66.36	66.36	6.32	0.241
Bambu	1	66.36	66.36	6.32	0.241
Error	1	10.51	10.51		
Total	2	76.86			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.24149	86.33%	72.66%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	9.24	2.96	3.12	0.197	
Bambu	0.288	0.115	2.51	0.241	1.00

Gambar C.16 Hasil Analisis Regresi Cangkang Telur dan Bambu terhadap Pengembangan Volumetrik

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	144.500	144.500	216.75	0.043
Cangkang Telur	1	144.500	144.500	216.75	0.043
Error	1	0.667	0.667		
Total	2	145.167			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.816497	99.54%	99.08%	93.80%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	29.837	0.745	40.03	0.016	
Cangkang Telur	0.4250	0.0289	14.72	0.043	1.00

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	144.500	144.500	216.75	0.043
Bambu	1	144.500	144.500	216.75	0.043
Error	1	0.667	0.667		
Total	2	145.167			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.816497	99.54%	99.08%	93.80%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	46.837	0.745	62.84	0.010	
Bambu	-0.4250	0.0289	-14.72	0.043	1.00

Gambar C.17 Hasil Analisis Regresi Cangkang Telur dan Bambu terhadap Kekerasan

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	737.3	737.3	1.69	0.418
Cangkang Telur	1	737.3	737.3	1.69	0.418
Error	1	437.2	437.2		
Total	2	1174.5			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
20.9105	62.77%	25.54%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.9	19.1	0.31	0.810	
Cangkang Telur	0.960	0.739	1.30	0.418	1.00

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	737.3	737.3	1.69	0.418
Bambu	1	737.3	737.3	1.69	0.418
Error	1	437.2	437.2		
Total	2	1174.5			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
20.9105	62.77%	25.54%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	44.3	19.1	2.32	0.259	
Bambu	-0.960	0.739	-1.30	0.418	1.00

Gambar C.18 Hasil Analisis Regresi Cangkang Telur dan Bambu terhadap Kekuatan Lentur