

**PENGARUH VARIASI CAMPURAN SERBUK PVC, BAMBU,
DAN CANGKANG TELUR DENGAN RESIN EPOXY
TERHADAP UJI KEKERASAN MATERIAL**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah satu Syarat
Untuk Meperoleh Gelar Sarjana Jenjang Strata Satu (S1)
Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Ponorogo



YUDHA NUR ARYANTO

21511596

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONOROGO
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Yudha Nur Aryanto
NIM : 21511596
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Campuran Serbuk PVC, Bambu dan
Cangkang Telur Dengan Resin Epoxy Terhadap Uji
Kekerasan Material

Isi dan formatnya telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat
Untuk melengkapi persyaratan guna memperoleh Gelar Sarjana pada
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Ponorogo

Ponorogo, 22 Juli 2025

Menyetujui

Wawan Trisnadi Putra, S.T., MT., Ph.D.
NIK.19800220 202109 12

Ir. Fadelan, M.T.
NIK.19610509 199009 12



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Edy Kurmawan, S.T., M.T.
NIK.19771026 200810 12



Yoyok Winardi, S.T., M.T.
NIK.19860803 201909 13

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yudha Nur Aryanto

NIM : 21511596

Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul “Pengaruh Variasi Campuran Serbuk Pvc, Bambu, Dan Cangkang Telur Dengan Resin Epoxy Terhadap Uji Kekerasan Material” bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang saya rancang/ teliti di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiatisme, saya bersedia Ijazah saya dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Ponorogo, 22 Juli 2025

Mahasiswa,



Yudha Nur Aryanto

NIM. 21511596

HALAMAN BERITA ACARA UJIAN

Nama : Yudha Nur Aryanto
NIM : 21511596
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Campuran Serbuk Pvc, Bambu, Dan
Cangkang Telur Dengan Resin Epoxy Terhadap Uji
Kekerasan Material

Telah diuji dan dipertahankan dihadapan
Dosen penguji tugas akhir jenjang Strata Satu (S1) pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 17 Juli 2025

Dosen Penguji,

Ketua Penguji
Wawan Trisnadi Putra, S.T.,MT.,Ph.D.
NIK.19800220 202109 12

Anggota Penguji I
Dr. Sudarno, M.T.
NIK. 19680705 199904 11

Anggota Penguji II
Yoyok Winardi, S.T., M.T.
NIK. 19860803 201909 13



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Edy Kurniawan, S.T., M.T.
NIK. 19771026 200810 12

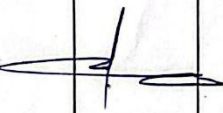
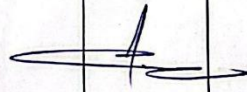
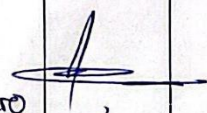
Ketua Program Studi Teknik Mesin

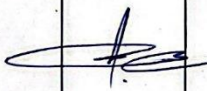
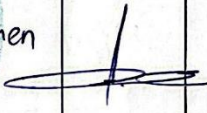
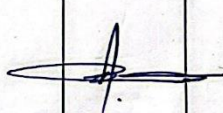
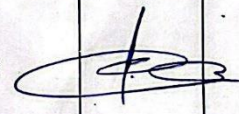
Yoyok Winardi, S.T., M.T.
NIK. 19860803 201909 13

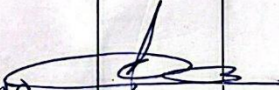
BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Yudha Nur Aryanto
 NIM : 21511596
 Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Campuran Serbuk Pvc, Bambu, Dan Cangkang Telur Dengan Resin Epoxy Terhadap Uji Kekerasan Material
 Dosen Pembimbing I : Wawan Trisnadi Putra, S.T.,MT.,Ph.D.

PROSES BIMBINGAN

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
1	18/10 2024	Pengajuan Judul	Acc Wpc	
2	21/10 2024	Konsultasi Bab 1	- Revisi Tujuan Penelitian - Revisi Batasan Masalah	
3	23/10 2024	Konsultasi Revisi Bab 1	- Lanjut Bab 2	
4	30/10 2024	Konsultasi Bab 2	- Penambahan tabel sifat mekanik bahan - Perubahan uji kekerasan mikro menjadi makro	

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
5	7/11 2024	Konsultasi Revisi Bab 2	- Lanjut Bab 3	
6	20/11 2024	Konsultasi Bab 3	- Bentuk dan Ukuran Spesimen	
7	11/12 2024	Konsultasi Revisi Bab 3	- Penentuan komposisi spesimen - Penambahan Flowchart	
8	16/12 2024	Konsultasi Revisi Bab 3	- Penambahan Jadwal Perencanaan	
9	19/12 2024	Bab 1 Bab 2 Bab 3	Revisi telah diterima Aec Scipro	
10	2/1 2025	Bab 4	Hasil pembuatan spesimen	

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
11	10/6 2025	Bab 4	Perbaiki Pembahasan tabel nilai usir kekerasan	
12	13/6 2025	Bab 4	Revisi Pembahasan Grafik	
13	16/6 2025	Bab 4	Revisi tabel nilai kedalaman penetrasi	
14	18/6 2025	Bab 4	Penambahan rumus nilai kedalaman penetrasi	
15	19/6 2025	Bab 4	Susunan tabel nilai kedalaman penetrasi	
16	23/6 2025	Bab 4	Revisi susunan gambar pengamatan struktur mikro - lanjut Bab 5	

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
17	29/6 2025	Bab 5	- Revisi kesimpulan - Penambahan saran	
18	25/6 2025	Abstrak	Susunan dan Pembahasan pada abstrak	
19	27/6/2025	All Bab 1-5	Selesai Acc Buletin	

BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Yudha Nur Aryanto
 NIM : 21511596
 Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Campuran Serbuk Pvc, Bambu, Dan
 Cangkang Telur Dengan Resin Epoxy Terhadap Uji
 Kekerasan Material
 Dosen Pembimbing II : Ir. Fadelan, M.T.

PROSES BIMBINGAN

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
1	25/10 ²⁰²⁴	Pengajuan Judul	acc lanjut pengerjaan Bab 1	
2	30/10 ²⁰²⁴	Bab 1	- Perbaiki Format - Perbaiki Penulisan	
3	4/11 ²⁰²⁴	Bab 1	acc lanjut bab 2	
4	8/11 ²⁰²⁴	Bab 2	Revisi penelitian sebelumnya	

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
5	13/11 2024	Bab 2	Acc lanjut Bab 3	
6	22/11 2024	Bab 3	- Revisi Proses pengujian - Tabel Perencanaan	
7	19/12 2024	Bab 3	- Flow chart	
8	19/12 2024	Bab 1 Bab 2 Bab 3	Acc. lengkap	
9	4/6 2025	Bab 4	Revisi tabel nilai uji ketahanan	
10	11/6 2025	Bab 4	Revisi Grafik	

No	Tanggal	Materi Yang Dikonsultasikan	Saran Pembimbing / Hasil	Tanda Tangan
11	12/6 2025	Bab 4	Perbaiki pembahasan Grafik	Ak
12	17/6 2025	Bab 4	Revisi pembahasan kedalaman Penetrasi	Ak
13	20/6 2025	Bab 4	Revisi Tabel nilai kedalaman penetrasi	Ak
14	24/6 2025	Bab 4	-Perbaiki pembahasan Pengamatan struktur makro - lanjut Bab 5	Ak
15	26/6 2025	Bab 5	Revisi kesimpulan	Ak
16	28/6 2025		Ace. ending	Ak

MOTTO

“FORTUNE FAVORS THE BOLD”

“Jika Sesuatu ingin dilakukan dengan Baik, maka lakukanlah Sendiri”

- Napoleon Bonaparte

**“Tangan yang Rajin akan Memegang Kekuasaan dan Tangan yang Malas
Mengakibatkan Kerja Paksa”**



PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan kekuatan yang telah diberikan, karya sederhana ini saya persembahkan terutama untuk kedua orangtua saya.

Yang pertama untuk Almarhum Ayah saya, yang meskipun telah tiada semangat dan ajaran hidupnya terus menjadi cahaya penuntun dalam setiap langkah saya. Semoga Allah SWT menempatkan ayah di tempat terbaik di sisi-Nya dan melapangkan jalan menuju surga-Nya.

Yang kedua untuk ibu saya tercinta, terima kasih atas cinta, doa, dan pengorbanan yang tak pernah berhenti mengalir. Ibu adalah sosok paling kuat yang telah memberi segalanya tanpa pamrih.

Juga untuk pasangan saya, yang selalu hadir dengan kesabaran, dukungan, dan pengertian di tengah segala proses dan perjuangan ini terima kasih telah menjadi penyemangat ketika lelah.

Tak lupa saya sampaikan rasa terima kasih kepada keluarga besar saya, seluruh dosen teknik mesin, serta teman-teman prodi teknik mesin seperjuangan yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dan tentu saja, untuk diri saya sendiri terima kasih sudah terus berjuang dan tidak menyerah sampai di titik ini. Semoga karya ini menjadi amal jariyah yang membawa manfaat dan kebaikan di masa depan.

PENGARUH VARIASI CAMPURAN SERBUK PVC, BAMBU, DAN CANGKANG TELUR DENGAN RESIN EPOXY TERHADAP UJI KEKERASAN MATERIAL

Yudha Nur Aryanto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo

E-mail: yudhanuraryanto@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi campuran serbuk PVC, bambu, dan cangkang telur terhadap kekerasan material komposit berbasis resin epoxy. Serbuk bahan diolah menjadi ukuran 40 mesh dan dicampur dengan resin epoxy serta katalis dalam tujuh variasi komposisi. Spesimen dicetak mengikuti standar ASTM D785 dan diuji kekerasannya menggunakan metode Rockwell skala HRB dengan beban 100 kgf. Selain itu, dilakukan pengamatan struktur makro untuk menilai kepadatan dan homogenitas permukaan. Hasil menunjukkan bahwa variasi komposisi filler berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan. Komposisi terbaik diperoleh pada campuran 20% serbuk PVC, 15% serbuk bambu, dan 15% serbuk cangkang telur dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 79,33 HRB dan kedalaman penetrasi 0,1013 mm. Struktur makronya tampak paling padat dan homogen. Sebaliknya, komposisi dominan bambu (30%) menunjukkan nilai kekerasan terendah, yaitu 76,83 HRB, dengan struktur kurang padat dan berpori. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa kombinasi limbah organik dan anorganik dalam rasio tertentu mampu meningkatkan performa mekanik komposit berbasis epoxy resin. Temuan ini memperkuat potensi pemanfaatan limbah rumah tangga sebagai alternatif bahan baku material komposit yang berdaya guna tinggi serta mendukung upaya keberlanjutan lingkungan.

Kata Kunci: Komposit, PVC, Bambu, Cangkang Telur, Kekerasan Rockwell

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengaruh Variasi Campuran Serbuk PVC, Bambu, dan Cangkang Telur dengan Resin Epoxy Terhadap Uji Kekerasan Material”. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo.

Penulis menyadari bahwa tersusunnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Edi Kumiawan, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo.
2. Bapak Yoyok Winardi, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Ponorogo.
3. Bapak Wawan Trisnadi Putra, MT., P.hD dan Bapak Ir. Fadelan, M.T, selaku dosen pembimbing, yang telah dengan sabar memberikan pengarah dan bimbingannya dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh dosen Teknik Mesin atas ilmu berharga yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan dari semester satu hingga semester akhir.
5. Keluarga dan saudara saya yang telah mendoakan serta memberi dukungan dan kasih sayang kepada penulis selama ini.
6. Marshella Nur P, yang telah menyemangati dan mendampingi dalam suka maupun duka, serta selalu memberi dukungan dengan tulus.
7. Rekan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
8. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan hingga tersusunnya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan dan mungkin kesalahan yang tidak disadari karena adanya keterbatasan yang penulis miliki. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun demi peningkatan pengetahuan sangat penulis harapkan.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi tambahan referensi bagi pembaca, khususnya di bidang teknik mesin. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan ini, oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Ponorogo, 22 Juli 2025

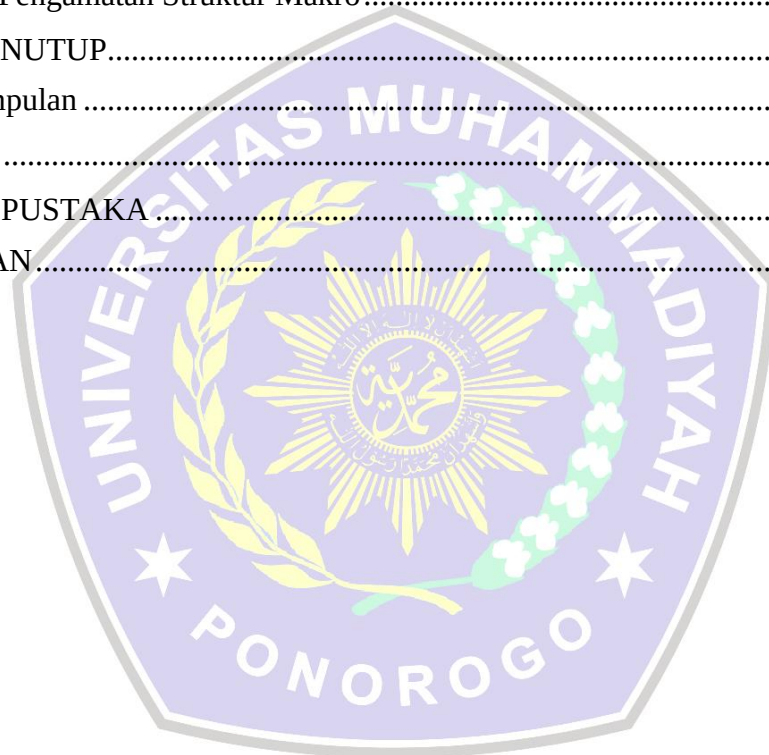


Yudha Nur Aryanto
21511596

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	iii
HALAMAN BERITA ACARA UJIAN	iv
BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI	v
BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI	ix
MOTTO	xii
PERSEMBAHAN	xiii
ABSTRAK	xiv
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	3
1. 3 Tujuan Penelitian	3
1. 4 Batasan Masalah	3
1. 5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Polyvinyl Chlorida (PVC).....	6
2.3 Bambu	7
2.4 Cangkang Telur.....	7
2.5 Resin Epoxy dan Hardener.....	8
2.6 Jenis Pengujian yang digunakan	9
2.6.1 Uji Kekerasan	9
2.6.2 Uji Kekerasan Rockwell	10
2.6.3 Kekerasan Rockwell B SNI 8388:2017	10
2.6.4 Mesin Uji Kekerasan Rockwell	11
2.6.5 Uji Struktur Makro.....	11
2.6.6 Alat Uji Struktur Makro.....	12
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	13

3.2 Alat dan Bahan.....	13
3.3 Spesimen.....	14
3.4 Penentuan Komposisi Spesimen	14
3.5 Proses Pembuatan Spesimen.....	15
3.6 Prosedur Pengujian Spesimen.....	16
3.7 Flowchart	17
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell.....	18
4.2 Hasil Kedalaman Penetrasi	22
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Makro.....	26
BAB 5 PENUTUP.....	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN.....	25



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Polyvinyl Chlorida	6
Gambar 2.2 Bambu	7
Gambar 2.3 Cangkang Telur	8
Gambar 2.4 Resin Epoxy dan Hardener	9
Gambar 2.5 Mesin Uji Kekerasan Rockwell.....	11
Gambar 3.1 Bentuk Spesimen.....	14
Gambar 3.2 Flowchart.....	17
Gambar 4.1 Hasil Pembuatan Spesimen	18
Gambar 4.2 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan.....	22
Gambar 4.3 Grafik Nilai Kedalaman Penetrasi.....	24
Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Makro (a) Spesimen 1 (b) Spesimen 2 (c) Spesimen 3 (d) Spesimen 4 (e) Spesimen 5 (f) Spesimen 6 (g) Spesimen 7	26



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanik PVC	6
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Bambu	7
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Cangkang Telur	8
Tabel 3.1 Komposisi Spesimen.....	15
Tabel 4.1 Nilai Uji Kekerasan Rockwell	19
Tabel 4.2 Nilai Kedalaman Penetrasi.....	23



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam upaya mengurangi dampak pencemaran lingkungan, pemanfaatan limbah menjadi bahan baku alternatif terus dikembangkan, salah satunya dalam bentuk material komposit. Limbah seperti PVC bekas, serbuk bambu, dan cangkang telur memiliki potensi besar sebagai bahan pengisi (filler) karena karakteristik fisik dan kimia yang mendukung peningkatan sifat mekanik, seperti kekerasan.

Di antara berbagai jenis polimer termoplastik, Polyvinyl Chlorida (PVC) menempati posisi ketiga dalam hal penggunaan global, setelah polietilena dan polipropilena. Dibandingkan dengan polimer lainnya, PVC memiliki keunggulan karena hanya membutuhkan sedikit bahan baku yang berasal dari minyak bumi. PVC merupakan material yang bersifat kaku dan keras serta memiliki keunggulan berupa harga yang relatif murah, tahan lama, dan mudah dalam proses perakitan. Namun, limbah PVC termasuk dalam kategori limbah yang sulit terurai dan berpotensi membahayakan lingkungan. Proses daur ulang PVC juga kurang ekonomis karena biaya pemrosesan ulangnya lebih tinggi dibandingkan dengan produksi PVC baru. Akibatnya, limbah PVC seringkali tidak dimanfaatkan dan cenderung menumpuk, sehingga meningkatkan risiko pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan [1].

Selain itu, bambu merupakan salah satu bahan baku alternatif yang potensial untuk menggantikan kayu dalam industri pengolahan non-kayu. Dalam proses pengolahan bambu, sering kali dihasilkan limbah berupa potongan atau serpihan yang belum dimanfaatkan secara optimal dan masih kurang mendapat penanganan yang sesuai. Limbah serat bambu memiliki potensi besar sebagai bahan pengisi (filler) dalam komposit, karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis seperti serat kaca. Keunggulan tersebut meliputi kekuatan dan kekakuan yang sebanding, densitas yang lebih rendah, dampak lingkungan yang lebih kecil, biaya produksi yang lebih ekonomis, serta sifat kelenturan material yang lebih baik. Dengan karakteristik tersebut, serat bambu menjadi pilihan yang menjanjikan dalam pengembangan material komposit ramah lingkungan [2].

Dalam sektor industri makanan, cangkang telur muncul sebagai produk limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal dalam proses daur ulang. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi dalam cangkang telur menjadikannya bahan potensial untuk meningkatkan performa mekanik pada material komposit [3].

Pemanfaatan limbah cangkang telur selama ini lebih banyak difokuskan pada produk kerajinan, padahal limbah tersebut memiliki potensi besar sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan biokomposit. Salah satu aplikasinya adalah pada pembuatan papan partikel yang memiliki karakteristik kinerja mekanik yang baik, ramah lingkungan, serta konduktivitas termal yang stabil. Cangkang telur ayam, yang kaya akan kalsium karbonat, dapat digunakan sebagai biofiller dan dikombinasikan dengan resin epoxy untuk meningkatkan sifat tahan api dari material komposit. Beberapa papan partikel komersial yang beredar di pasaran diketahui masih memiliki nilai kerapatan yang relatif rendah, sehingga kurang tahan terhadap pengaruh kelembaban atau air. Dengan penambahan serbuk cangkang telur, nilai kerapatan papan komposit menunjukkan peningkatan signifikan, menjadikannya lebih unggul dibandingkan produk sejenis di pasaran [4]

Sebagai matriks dalam komposit, resin epoxy dipilih karena memiliki berbagai keunggulan, antara lain ketahanan kimia yang tinggi, stabilitas dimensi yang baik, sifat listrik yang unggul, serta daya rekat dan kekuatan mekanik yang baik. Selain itu, epoxy memiliki ketahanan aus dan kejut yang lebih baik dibandingkan dengan jenis resin lainnya, serta menunjukkan modulus elastisitas yang tinggi dan ketahanan terhadap suhu serta bahan kimia. Meskipun demikian, resin epoxy cenderung bersifat getas (rapuh) apabila tidak diperkuat dengan bahan tambahan. Oleh karena itu, penambahan filler dari limbah seperti serbuk PVC, serbuk bambu, dan serbuk cangkang telur diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dari resin epoxy dan menghasilkan material komposit yang lebih kuat, ringan, dan ramah lingkungan [5].

Berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari informasi beberapa sumber pada jurnal, komposit yang menggunakan perpaduan tiga jenis material seperti serbuk pvc, bambu dan cangkang telur sebagai pengisi/penguat dan resin epoxy sebagai pengikat, masih menjadi hal yang jarang ditemukan. Sehingga penelitian

ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh komposisi material tersebut terhadap nilai kekerasan komposit.

Gabungan dari material organik dan anorganik menjadi penelitian yang menarik dan dapat menjadi referensi pada pengembangan material komposit selanjutnya, sehingga hasilnya dapat membuka peluang baru dalam pengembangan bahan alternatif yang dapat diaplikasikan pada beberapa produk.

1. 2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka terdapat rumusan permasalahan yang akan diangkat, yaitu:

- a. Bagaimana nilai uji kekerasan dari variasi campuran serbuk PVC, bambu dan cangkang telur dengan resin epoxy?
- b. Bagaimana hasil pengamatan struktur makro pada variasi campuran komposit tersebut?

1. 3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui seberapa besar nilai kekerasan dari variasi campuran serbuk PVC, bambu dan cangkang telur dengan resin epoxy.
- b. Untuk memahami bagaimana bentuk dan struktur makro dari variasi campuran komposit.

1. 4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diperlukan suatu batasan masalah agar dapat menghasilkan penelitian maksimal, serta dapat dipahami secara jelas dan rinci.

Batasan masalah dari penelitian antara lain:

- a. Jenis plastik yang akan digunakan dalam pengujian, yaitu: Polyvinyl Chlorida (PVC) berbentuk serbuk dengan ukuran 40 mesh.
- b. Serbuk bambu yang akan digunakan sebagai material adalah serbuk bambu petung berukuran 40 mesh.
- c. Menggunakan bahan penguat berupa cangkang telur berbentuk serbuk dengan ukuran 40 mesh.
- d. Matriks yang akan digunakan, yaitu resin epoxy ditambah katalis dengan perbandingan 2:1.
- e. Pengujian kekerasan menggunakan metode Hardness Rockwell B.

- f. Pengamatan struktur makro.
- g. Spesimen yang akan digunakan yaitu standar ASTM D785.
- h. Memakai komposisi campuran dari serbuk plastik PVC, bambu, dan cangkang telur dengan perbandingan persentase sebagai berikut:
 - 1. Serbuk PVC : serbuk bambu : resin epoxy : katalis = 20% : 30% : 33,3% : 16,7%
 - 2. Serbuk PVC : cangkang telur : resin epoxy : katalis = 20% : 30% : 33,3% : 16,7%
 - 3. Serbuk PVC : bambu : cangkang telur : resin epoxy : katalis = 20% : 25% : 5% : 33,3% : 16,7%
 - 4. Serbuk PVC : bambu : cangkang telur : resin epoxy : katalis = 20% : 20% : 10% : 33,3% : 16,7%
 - 5. Serbuk PVC : bambu : cangkang telur : resin epoxy : katalis = 20% : 15% : 15% : 33,3% : 16,7%
 - 6. Serbuk PVC : bambu : cangkang telur : resin epoxy : katalis = 20% : 10% : 20% : 33,3% : 16,7%
 - 7. Serbuk PVC : bambu : cangkang telur : resin epoxy : katalis = 20% : 5% : 25% : 33,3% : 16,7%

1. 5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Mampu menerapkan ilmu yang didapatkan selama diperkuliahan.
- b. Mampu mengalisa hasil dari uji kekerasan dan struktur makro dari material campuran komposit.
- c. Penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai referensi serta evaluasi untuk penelitian mengenai campuran komposit selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebagai alternatif, komposit menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan logam. Komposit terdiri dari dua atau lebih material dengan karakteristik berbeda, yang dipadukan untuk membentuk material baru tanpa mengubah bentuk asli masing-masing bahan penyusun.

Ada pun beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan sehingga dapat menjadi rujukan dalam penelitian ini. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Supraptiningsih [6] komposit yang dihasilkan dari kombinasi PVC-CaCO₃ dengan serbuk serat batang pisang memiliki karakteristik sebagai berikut: berat per satuan luas berkisar antara 4,55–5,90 kg/m², bobot isi 1,50–1,99 g/cm³, kekuatan tarik 67,56–79,03 kg/cm², kekerasan 55,00–66,66 Shore D, penyerapan air 0,96–3,32%, dan kekuatan lentur 118,99–165,09 kg/cm². Titik nyala berada pada kisaran 0,03–0,07 inci/detik. Selain itu, komposit ini menunjukkan kerapatan air yang baik (tidak mengalami rembesan atau tetesan) serta tetap memiliki kemampuan pengerjaan yang baik, seperti proses pemakuan dan pemotongan tanpa menyebabkan retak atau cacat pada permukaan material.

Penelitian dari Ahmad Firdaus [7] yang meneliti mengenai pemanfaatan serbuk bambu sebagai filler dalam pembuatan material komposit berpenguat bambu. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan mencampurkan matriks berupa resin epoxy dan hardener dengan perbandingan 80:20. Filler yang digunakan berasal dari batang bambu dengan dua variasi bentuk, yaitu serbuk dan batang memanjang. Uji kekerasan dilakukan menggunakan alat durometer dengan metode Hardness Shore D. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit dengan filler serbuk memiliki nilai kekerasan maksimum rata-rata sebesar 72,00 ± 2,65 Shore D, sedangkan komposit dengan filler memanjang menunjukkan nilai kekerasan maksimum rata-rata sebesar 77,60 ± 3,78 Shore D.

Selanjutnya penelitian mengenai serbuk cangkang telur dari Zaki Muhyidin [4] menyatakan komposisi terbaik pada papan partikel komposit diperoleh pada sampel dengan perbandingan 40%:25%:0%:10%:25%, yang menunjukkan

performa paling optimal secara fisik dan mekanik. Sampel ini memiliki nilai kerapatan sebesar $1,089 \text{ g/cm}^3$, pengembangan tebal sebesar 4,08%, pengembangan volumetrik 7,92%, serapan air 10,06%, kekerasan sebesar 47,17, dan kekuatan bending mencapai $39,51 \text{ kgf/cm}^2$. Selain itu, hasil pengamatan terhadap struktur makro menunjukkan bahwa sampel ini memiliki porositas paling rendah dibandingkan dengan sampel lainnya.

2.2 Polyvinyl Chlorida (PVC)

Polyvinyl Chlorida (PVC) merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang paling banyak digunakan secara global. Hal ini disebabkan oleh karakteristik unggul yang dimilikinya, seperti ketahanan kimia yang tinggi, kemampuan sebagai bahan penghalang, biaya produksi yang relatif rendah, serta luasnya aplikasi di berbagai bidang. Namun demikian, PVC memiliki keterbatasan dalam hal stabilitas termal dan kemudahan pengolahan jika dibandingkan dengan polimer lain seperti polyethylene (PE), polypropylene (PP), dan polyamide (PA) [8]. Dalam bentuk serbuk, PVC memiliki warna putih dan mempunyai berat molekul antara 100.000 hingga 200.000 g/mol [9]. Berikut pipa pvc yang akan dirubah menjadi serbuk dapat dilihat pada gambar 2.1.

Gambar 2.1 Polyvinyl Chlorida



Tabel 2.1 Sifat Mekanik PVC

Sifat Mekanik	Nilai Rata-rata
Kekuatan Tarik	40-60 MPa
Kekuatan Lentur	2,75 GPa
Kekuatan Tekan	50-80 MPa
Kekerasan	80-90 Shore D
Densitas	$1,38 \text{ g/cm}^3$

Sumber: Umam & Khoirul 2009 [10]

2.3 Bambu

Bambu salah satu tanaman dari jenis keluarga rumputan yang memiliki batang berongga dengan ruas-ruas yang khas. Tanaman ini dikenal dengan pertumbuhan yang sangat cepat, mampu tumbuh hingga 60 cm per hari tergantung pada kondisi lingkungan [11]. Secara struktural, bambu memiliki kandungan selulosa sekitar 42,4% hingga 53,6%, lignin antara 19,8% hingga 26,6%, dan hemiselulosa sekitar 21,18%. Komposisi ini menjadikan bambu sebagai material yang kuat dan fleksibel, sehingga sering digunakan dalam konstruksi, kerajinan, dan berbagai aplikasi lainnya [12]. Bambu yang digunakan pada penelitian ini berbentuk serbuk seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Serbuk Bambu

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Bambu

Sifat Mekanik	Nilai Rata-rata
Kekuatan Tarik	115,72-269,68 MPa
Kekuatan Tekan	48,94-57,66 MPa
Kekuatan Lentur	0.08 - 0.19 GPa
Kekerasan	60-80 Shore D
Densitas	0,60 g/cm ³

Sumber: F.Xaverius & Ndale 2013 [13]

2.4 Cangkang Telur

Cangkang telur ialah lapisan luar dari telur yang memiliki fungsi melindungi semua bagian telur dari luka atau kerusakan. Cangkang telur yang membungkus telur umumnya beratnya 9-12% dari berat telur total. Cangkang telur dikelilingi lapisan setebal 0,2-0,4 mm yang berkapur dan berpori [14]. Komposisi utama dalam cangkang telur adalah 97% kalsium karbonat, selain itu telur mempunyai kandungan rerata 3% fosfor dan 3% magnesium, natrium, kalium, seng, mangan,

besi, dan tembaga.

Material komposit yang menggunakan serbuk cangkang telur sebagai filler merupakan salah satu alternatif ramah lingkungan yang memiliki potensi kekuatan mekanik yang baik. Limbah cangkang telur ayam dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (filler) dalam pembuatan komposit, sehingga turut mendukung upaya pengurangan limbah organik sekaligus meningkatkan sifat mekanis material [15]. Cangkang telur yang dirubah menjadi serbuk dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Cangkang Telur

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Cangkang Telur

Sifat Mekanik	Nilai Rata-rata
Kekerasan	79-83 Shore D
Ketahanan Kikis	93,70-319,00 mm ³
Kekuatan Tekan	42.13 - 43.19 MPa
Densitas	2,70 g/cm ³

Sumber: N.Febriani, A.R Fachry, & Suharman 2016 [16]

2.5 Resin Epoxy dan Hardener

Resin epoksi merupakan jenis resin sintesis dari kelompok polimer termoset yang mengandung satu atau lebih gugus epoksida dalam struktur molekulnya. Struktur tersebut dapat dimodifikasi untuk memperoleh karakteristik tertentu, seperti viskositas yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. ECH merupakan senyawa organik yang terdiri dari dua cincin oksiran. Sedangkan, amina polifungsi merupakan senyawa organik yang memiliki dua atau lebih gugus amino. Proses pengerasan pada resin epoksi biasa disebut “curing”, resin epoksi membutuhkan pengeras dengan rasio resin dengan pengeras yang lebih tinggi, biasanya 1:1 atau 2:1. Pemilihan resin epoksi didasarkan pada sifat-sifat unggul yang dimilikinya,

antara lain daya rekat (adhesif) yang baik, permeabilitas rendah, kemurnian tinggi, serta ketahanan terhadap korosi dan tekanan [17].

Hardener berperan penting dalam proses curing, yaitu proses pengerasan resin. Hardener umumnya terdiri dari dua komponen utama, yakni katalisator dan akselerator. Kedua komponen ini menghasilkan panas yang diperlukan untuk mempercepat proses pengeringan, sehingga material komposit dapat memperoleh kekuatan mekanik yang optimal. Namun, suhu yang terlalu tinggi akibat reaksi eksotermis dapat merusak ikatan molekul dan menurunkan kualitas komposit. Oleh karena itu, proporsi pencampuran antara resin epoksi dan hardener harus disesuaikan secara tepat untuk memperoleh sifat mekanik yang diinginkan [18]. Resin epoxy dan hardener dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Resin Epoxy dan Hardener

2.6 Jenis Pengujian yang digunakan

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah uji kekerasan dan struktur makro.

2.6.1 Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik material yang menunjukkan tingkat ketahanannya terhadap deformasi akibat beban tekan. Deformasi yang terjadi umumnya merupakan kombinasi dari perilaku elastis dan plastis. Pada saat dua permukaan material bersinggungan dan mengalami gerakan relatif, dapat timbul deformasi elastis pada permukaan yang lebih keras, serta deformasi plastis pada permukaan yang lebih lunak. Pengujian kekerasan memiliki peran penting dalam memahami karakteristik suatu material, serta menjadi dasar dalam menentukan kualitas dan ketahanannya

terhadap tekanan. Dengan melakukan pengujian ini, nilai kekerasan material dapat dihitung dan dianalisis untuk keperluan rekayasa maupun aplikatif [19]. Pengujian kekerasan secara umum dibagi menjadi 3 jenis, yaitu Rockwell, Brinell, dan Vickers. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan Rockwell.

2.6.2 Uji Kekerasan Rockwell

Dilakukannya uji kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan untuk menentukan nilai kekerasan pada setiap daerah komposit. Nilai kekerasan pada metode ini dapat langsung terbaca pada indikator mesin uji Rockwell. Untuk hasil yang akurat, pengujian umumnya dilakukan beberapa kali pada titik yang sama atau berbeda, kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

Caran pengujiannya dengan pemberian beban minor sebesar 10 kgf kemudian diberikan beban mayor 60–100 kgf untuk indenter bola baja dan 150 kgf untuk indenter kerucut intan [20]. Dalam pengujian komposit ini menggunakan acuan uji kekerasan standar ASTM D785.

Pada pengujian kekerasan Rockwell hasil pengujian dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$HR = E - e \dots \dots \dots (1)$$

atau

$$e = E - HR \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

HR = Hardness Rockwell

E = Nilai konstanta yang bergantung pada bentuk indentornya

e = Jarak kedalaman penekanan (mm)

2.6.3 Kekerasan Rockwell B SNI 8388:2017

Prinsip dasar menurut SNI pengujian ini adalah mengukur kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan setelah beban tambahan dilepaskan, dan nilai kekerasan ditentukan berdasarkan selisih kedalaman antara tahap awal dan tahap akhir.

Permukaan benda uji harus rata, halus, dan bersih dari goresan atau

cacat agar hasil pengujian akurat. Selain itu, ketebalan benda uji harus memenuhi syarat minimal, yaitu sekurang-kurangnya 15 kali dari kedalaman penetrasi indentasi, untuk mencegah pengaruh dari dasar penyangga atau deformasi balik. Mesin uji yang digunakan harus terkalibrasi dan stabil, serta pelaksanaan pengujian harus dilakukan dalam kondisi bebas getaran, pada suhu ruang (sekitar 10–35 °C).

Pengujian Rockwell B biasanya digunakan untuk bahan logam lunak seperti kuningan, aluminium paduan, dan beberapa jenis plastik keras. Nilai HRB berkisar antara 20 sampai 100, tergantung pada tingkat kekerasan material. Pembacaan hasil kekerasan dilakukan langsung melalui penunjuk dial atau digital yang tersedia pada mesin uji.

2.6.4 Mesin Uji Kekerasan Rockwell

Mesin uji kekerasan Rockwell merupakan alat yang akan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material komposit ini. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji (spesimen) terhadap beban yang ditentukan dengan indenter bola baja atau kerucut yang ditekan pada spesimen. Gambar mesin uji kekerasan dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2.5 Mesin Uji Kekerasan Rockwell

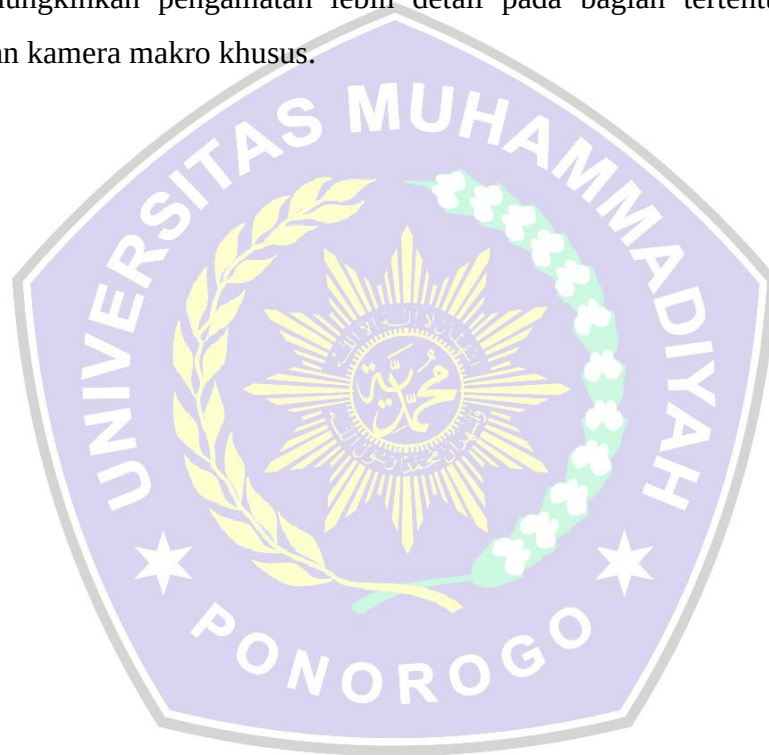
2.6.5 Uji Struktur Makro

Dilakukan pengujian struktur makro untuk mengamati permukaan dan tekstur material secara kasat mata tanpa bantuan alat pembesar. Tujuan utama dari uji ini adalah untuk mengidentifikasi cacat makroskopis seperti retakan, pori-pori, gelembung udara, atau ketidakhomogenan campuran yang dapat

mempengaruhi kekuatan material. Sampel diamati setelah proses pencetakan dan pengerasan selesai.

2.6.6 Alat Uji Struktur Makro

Penggunaan kamera handphone dinilai cukup efektif untuk mengamati dan mendokumentasikan kondisi permukaan spesimen secara makroskopis. Kamera ini digunakan untuk mengambil gambar permukaan dan dalam dari spesimen setelah dipotong serta mengamati tekstur, warna, dan cacat makroskopis seperti pori, gelembung udara, atau retakan dengan bantuan pendukung mode makro (dengan bantuan zoom dan jarak dekat) untuk memungkinkan pengamatan lebih detail pada bagian tertentu meskipun bukan kamera makro khusus.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai Uji Kekerasan dan Struktur Makro dari Komposit campuran berupa serbuk PVC, bambu, dan cangkang telur dengan pengikat resin epoxy dan katalis.

Tempat untuk pengujian Uji Kekerasan dan Struktur Makro di Laboratorium Fakultas Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammdiyah Ponorogo. Untuk waktu pelaksanaan setelah melakukan studi literatur dan pembuatan spesimen uji.

3.2 Alat dan Bahan

a. Alat

Beberapa alat yang dibutuhkan pada penelitian, antara lain:

1) Mesin Uji Kekerasan

Dengan Spesifikasi sebagai berikut:

Beban uji maksimum	: 30Kgf – 187,5Kgf
Rentang kecepatan uji	: 5
Dimensi mesin uji (panjang x lebar x tinggi)	: 44 x 37 x 69cm
Berat mesin	: 41Kg
Stroke Maksimum	: 220mm

2) Handphone IP 13

3) Saringan 40 mesh

4) Penumbuk

5) Gelas ukur

6) Cetakan Spesimen

7) Timbangan

8) Jangka sorong

9) Amplas kasar dan halus

b. Bahan

Adapun beberapa bahan atau material yang diperlukan untuk pengujian ini, yaitu:

- 1) Serbuk PVC
- 2) Serbuk Bambu
- 3) Serbuk Cangkang Telur
- 4) Resin Epoxy
- 5) Katalis

3.3 Spesimen

Pada penelitian ini spesimen yang akan diuji dibuat menggunakan cetakan standart ASTM D785 untuk uji kekerasan. Bentuk benda uji yang akan dibuat dalam pengujian bisa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Bentuk Spesimen

Spesifikasi ukuran dimensi spesimen:

Panjang	: 120mm
Lebar	: 40mm
Tebal	: 7mm

3.4 Penentuan Komposisi Spesimen

Perhitungan komposisi spesimen uji kekerasan didasarkan pada produk uji yang akan dibuat, yaitu dengan dimensi spesimen yang digunakan adalah panjang 120mm x lebar 40mm x tebal 7mm, mengacu pada standar ASTM D785 untuk uji kekerasan rockwell. Komposisi pembuatan spesimen dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Komposisi Spesimen

No	PVC	Bambu	Cangkang Telur	Epoxy : Katalis
1	20%	30%	-	33,3% : 16,7%
2	20%	-	30%	33,3% : 16,7%
3	20%	25%	5%	33,3% : 16,7%
4	20%	20%	10%	33,3% : 16,7%
5	20%	15%	15%	33,3% : 16,7%
6	20%	10%	20%	33,3% : 16,7%
7	20%	5%	25%	33,3% : 16,7%

Berdasarkan jumlah tabel 3.1 diatas jumlah spesimen yang akan dibuat sebanyak 7 sampel dengan perbandingan 42gram berat spesimen.

3.5 Proses Pembuatan Spesimen

Berikut ini beberapa proses pembuatan spesimen pengujian:

- Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses pengujian.
- Bahan yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah serbuk PVC, bambu, dan cangkang telur.
- Supaya PVC, bambu, dan cangkang telur menjadi serbuk, maka dilakukan proses pemarkisan PVC, penggergajian pada bambu, dan menghancurkan cangkang telur atau menggunakan chopper agar mendapatkan serbuk.
- Membuat dan mempersiapkan cetakan spesimen sesuai dengan ukuran yang ditentukan.
- Mencampur semua bahan dengan resin epoxy secara merata dan sesuai dengan ketentuan urutan komposisi pada tabel 3.1.
- Selanjutnya pastikan cetakan bersih dari kotoran, lalu tuangkan pada cetakan spesimen secara perlahan.

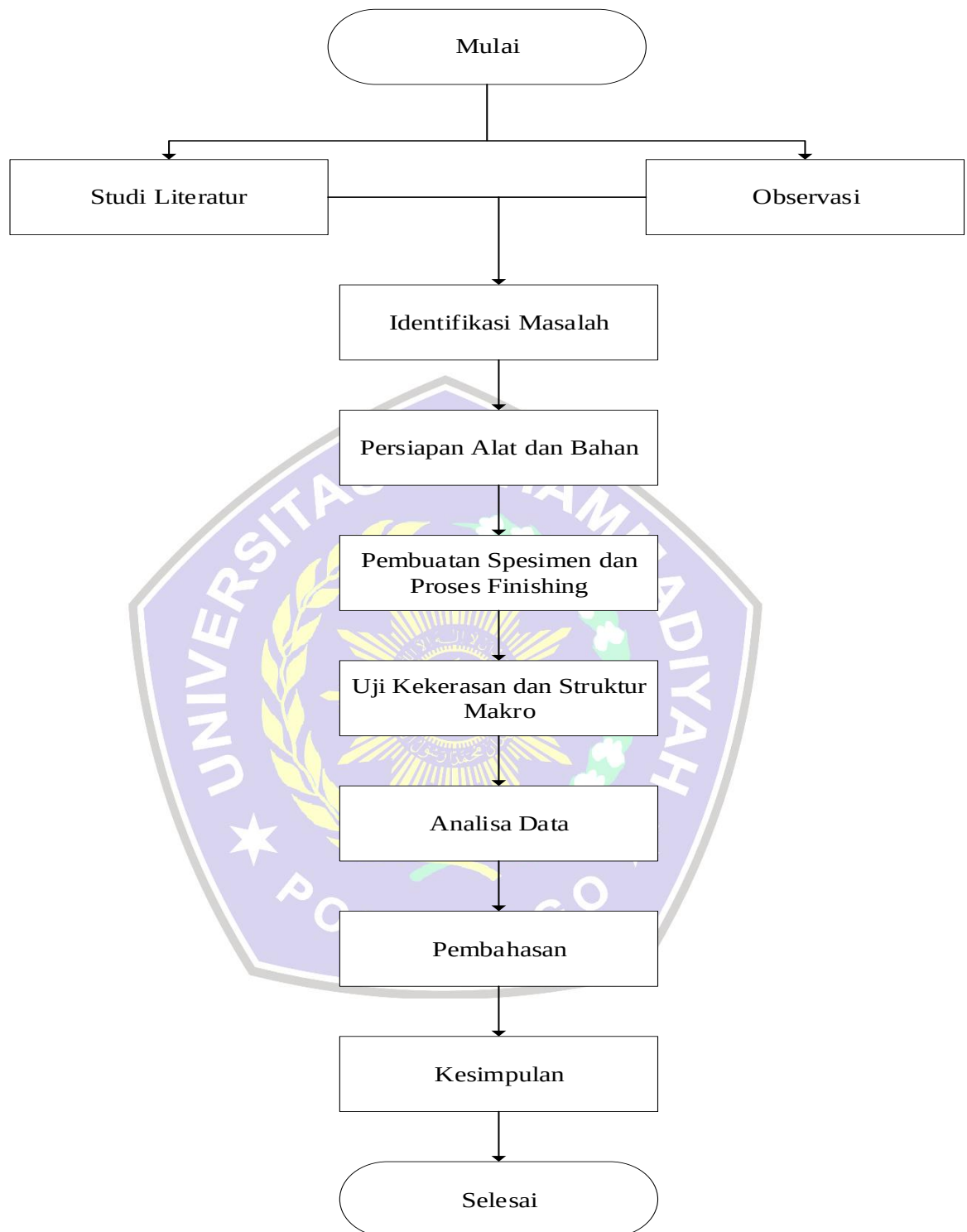
- g. Biarkan campuran mengeras. Umumnya resin epoxy mengeras membutuhkan waktu 6-24 jam, tergantung kondisi lingkungan dan komposisi yang digunakan.
- h. Setelah memastikan resin mengeras sempurna, lalu lepaskan secara perlahan dan hati-hati dari cetakan. Dan ampelas permukaan resin jika ada bagian yang tidak rata, dan gunakan ampelas dengan grit halus untuk hasil yang halus.
- i. Terakhir amplas bagian permukaan spesimen yang tidak rata menggunakan amplas halus atau grit amplas berukuran berkisar P100-P400.

3.6 Prosedur Pengujian Spesimen

Langkah-langkah prosedur pengujian spesimen sebagai berikut:

- a. Spesimen yang diuji disiapkan sesuai standar ASTM D785.
- b. Melakukan pengecekan kondisi mesin uji kekerasan yang akan dipakai.
- c. Posisi benda uji ditempatkan secara horizontal di meja mesin uji kekerasan.
- d. Pastikan spesimen rata dengan meja mesin uji kekerasan.
- e. Melakukan kalibrasi pada mesin uji.
- f. Dilakukan pengujian di 3 titik tempat yang berbeda pada spesimen hingga angka hasil uji kekerasan ditampakan dan dilakukan beberapa kali pada spesimen yang berbeda sesuai jumlah spesimen.
- g. Setelah pengujian pada spesimen selesai, selanjutnya mengambil data.
- h. Tahap terakhir jika pengujian kekerasan pada spesimen selesai secara keseluruhan, selanjutnya melakukan pengamatan struktur makro pada spesimen.

3.7 Flowchart



Gambar 3.2 Flowchart

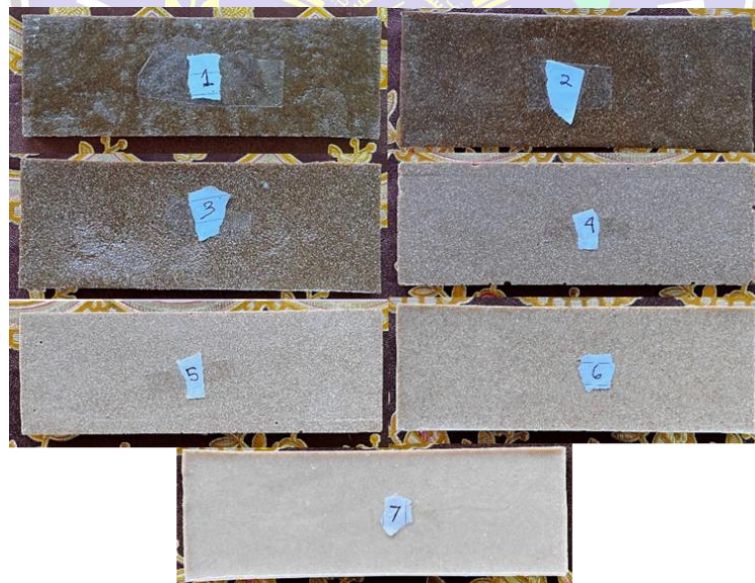
BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari pengujian yang telah dilaksanakan terhadap beberapa sampel uji komposit dari campuran berupa pvc, bambu, dan cangkang telur den serta resin epoxy dan katalis dengan jumlah 7 buah spesimen. Untuk pengujian kekerasan dilakukan pada tiga titik yang berbeda. Pengujian kekerasan memakai indentor bola baja 1/16 mm dengan pembebanan 100 kgf pada semua spesimen uji untuk mendapatkan pengaruh nilai uji kekerasan pada pembuatan komposit dengan ukuran spesimen panjang 120 mm x lebar 40 mm x tebal 7 mm dengan menggunakan standart ASTM D785.

Berikut hasil pembuatan spesimen serta hasil pengujian kekerasan rockwell kemudian diolah data untuk mendapatkan rata-rata nilai dari setiap spesimen. Hasil pembuatan spesimen bisa dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pembuatan Spesimen

Setelah proses pembuatan spesimen selesai, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian kekerasan spesimen guna memperoleh nilai kekerasan dari setiap spesimen. Nilai kekerasan setiap spesimen dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Nilai Uji Kekerasan Rockwell

No	Komposisi Spesimen	Beban Mayor (Kgf)	Nilai Kekerasan Rockwell (HRB)			Nilai Rata-rata
1	20% SPVC : 30% SB	100	77	75,5	78	76,83
2	20% SPVC : 30% SCT	100	76	77	78	77
3	20% SPVC : 25% SB : 5% SCT	100	78	76,5	77	77,16
4	20% SPVC : 20% SB : 10% SCT	100	79,5	76	81	78,83
5	20% SPVC : 15% SB : 15% SCT	100	81	78	79	79,33
6	20% SPVC : 10% SB : 20% SCT	100	80	77	79	78,66
7	20% SPVC : 5% SB : 25% SCT	100	76	80,5	78	78,16

Tabel 4.1 menyajikan hasil pengujian kekerasan Rockwell B (HRB) pada tujuh variasi spesimen komposit yang terdiri dari campuran serbuk polyvinyl chloride (SPVC), serbuk bambu (SB), dan serbuk cangkang telur (SCT), dengan masing-masing total fraksi volume sebesar 50% dan beban uji sebesar 100 kgf.

Pada komposisi pertama (20% SPVC : 30% SB), nilai kekerasan rata-rata sebesar 76,83 HRB diperoleh. Nilai ini relatif rendah karena serbuk bambu bersifat lebih lunak dan berserat, yang meskipun memberikan kontribusi terhadap kekuatan tarik dan fleksibilitas, namun kurang efektif dalam meningkatkan kekerasan permukaan. Pada komposisi kedua (20% SPVC : 30% SCT), terjadi peningkatan

kekerasan menjadi 77 HRB. Hal ini disebabkan oleh karakteristik serbuk cangkang telur yang memiliki kandungan utama berupa kalsium karbonat (CaCO_3) dengan sifat mekanik yang lebih keras dan rapat, sehingga mampu meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi.

Komposisi ketiga (20% SPVC : 25% SB : 5% SCT) menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 77,16 HRB. Penambahan kecil SCT ke dalam campuran berbasis SB mulai menunjukkan efek positif terhadap peningkatan kekerasan, yang dapat dikaitkan dengan distribusi partikel pengisi keras yang lebih merata dalam matriks resin. Komposisi keempat (20% SPVC : 20% SB : 10% SCT) menghasilkan peningkatan kekerasan yang lebih signifikan, yakni sebesar 78,83 HRB. Peningkatan ini menunjukkan bahwa perbandingan seimbang antara SB dan SCT mampu menciptakan struktur mikro yang lebih padat dan kohesif, sehingga kekuatan tekan meningkat.

Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada komposisi kelima (20% SPVC : 15% SB : 15% SCT), dengan rata-rata sebesar 79,33 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa pada proporsi campuran yang seimbang antara filler keras dan serat alam, terjadi sinergi yang optimal dalam meningkatkan sifat mekanik material, khususnya kekerasan. SCT berfungsi sebagai penguat tekan, sedangkan SB berperan dalam memperbaiki ikatan antarpartikel dan mencegah terjadinya retakan mikro. Pada komposisi keenam (20% SPVC : 10% SB : 20% SCT) dan ketujuh (20% SPVC : 5% SB : 25% SCT), nilai kekerasan justru menurun menjadi 78,66 HRB dan 78,16 HRB. Penurunan ini disebabkan oleh dominasi SCT yang berlebihan, yang meskipun meningkatkan kekerasan, dapat menurunkan homogenitas struktur serta meningkatkan risiko kerapuhan material akibat kurangnya fleksibilitas dan daya ikat dari SB.

Berdasarkan dari nilai tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa komposisi optimum untuk memperoleh nilai kekerasan tertinggi ada pada campuran 20% SPVC : 15% SB : 15% SCT, dengan nilai 79,33 HRB. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan filler organik (SB) dan anorganik (SCT) secara seimbang memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan material komposit. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi seimbang antara bahan serbuk bambu dan serbuk cangkang telur mampu menciptakan komposit dengan struktur mekanis yang kuat.

Serbuk cangkang telur yang kaya akan kalsium karbonat memberikan sifat kekerasan, sedangkan serbuk bambu memberikan fleksibilitas dan daya ikat antar partikel yang tinggi.

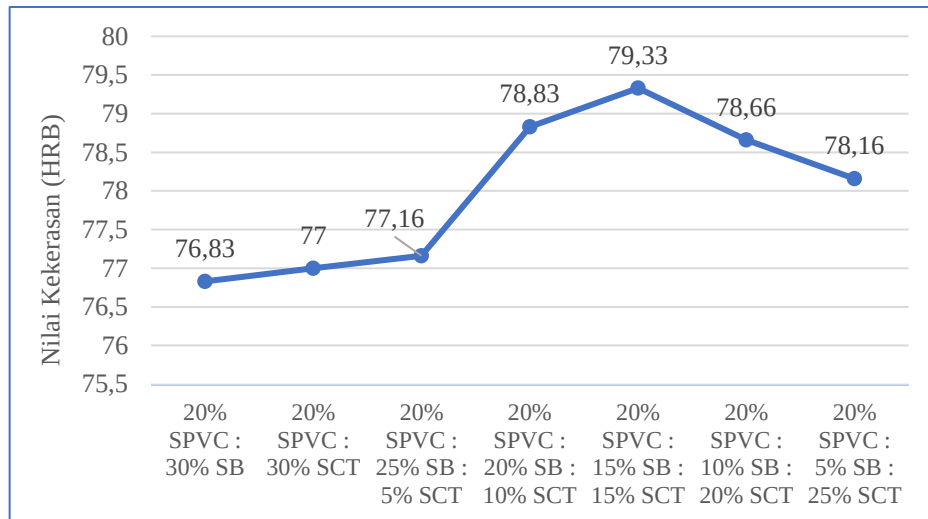
Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan Banga dkk yang dikutip oleh Zaki Muhyidin [4], yang menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serbuk dan serat bambu dalam material komposit cenderung menyebabkan penurunan nilai kekerasan. Penurunan tersebut disebabkan oleh sifat alami bambu yang relatif lunak dan memiliki tingkat kekerasan rendah. Sebaliknya, penambahan fraksi volume serbuk cangkang telur ke dalam matriks komposit memungkinkan partikel tersebut terdistribusi hingga mendekati permukaan spesimen uji. Dengan demikian, saat dilakukan pengujian kekerasan indentor tidak hanya mengenai resin dan pengisi lainnya, tetapi juga mengenai serbuk cangkang telur, sehingga memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan nilai kekerasan permukaan.

Menurut penelitian Dodi dkk [15], peningkatan ketangguhan impak disebabkan oleh kemampuan serbuk cangkang telur ayam berukuran 180 mesh dalam mengisi celah-celah kosong pada struktur komposit, sehingga jumlah dan ukuran pori menjadi lebih sedikit dan kecil.

Selanjutnya, dalam penelitian Almeida dkk yang dikutip oleh Laksono dkk [21], menunjukkan bahwa untuk resin dan bahan lignoselulosa dengan proporsi bambu 25% dan 50% meningkatkan nilai yang lebih tinggi daripada papan partikel dengan proporsi 100% kayu.

Selain itu, pada penelitian Ahmad Firdaus [7] perbedaan nilai uji juga dapat dipengaruhi oleh bentuk filler bambu dalam komposit. Pada komposit dengan filler bambu berbentuk memanjang, orientasi filler yang teratur dan tampak jelas memungkinkan jarum durometer menekan langsung pada area yang mengandung filler. Sebaliknya, pada komposit dengan filler bambu berbentuk serbuk, distribusi filler yang acak menyebabkan jarum penguji berpotensi hanya menekan matriks tanpa mengenai filler secara langsung.

Selanjutnya pada gambar 4.2 dibawah menunjukkan grafik hubungan antara variasi komposisi campuran SPVC, SB, dan SCT terhadap nilai rata-rata kekerasan material (HRB). Dari grafik tersebut, terlihat adanya fluktuasi nilai kekerasan akibat perbedaan proporsi masing-masing bahan penyusun.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan

Pada kandungan serbuk bambu 30%, diduga membuat struktur material menjadi kurang padat karena sifat serbuk bambu yang lebih lunak dan menyerap resin lebih banyak, mengurangi kepadatan serta daya tahan permukaan terhadap penetrasi beban.

Terlihat pula bahwa penambahan serbuk cangkang telur (SCT) dalam jumlah sedang hingga tinggi cenderung meningkatkan nilai kekerasan. SCT yang mengandung kalsium karbonat bersifat keras dan mampu meningkatkan ketahanan permukaan terhadap deformasi. Namun, pada komposisi dengan 25% SCT nilai kekerasan justru menurun kembali (78,16 HRB), kemungkinan akibat kelebihan filler yang menyebabkan distribusi partikel tidak merata atau terbentuknya pori-pori mikro.

4.2 Hasil Kedalaman Penetrasi

Setelah diperoleh data nilai kekerasan Rockwell (HRB) dari masing-masing spesimen, langkah selanjutnya adalah menghitung kedalaman penetrasi indenter selama pengujian. Perhitungan kedalaman dilakukan menggunakan rumus standar:

$$e = (130 - HRB) \times 0,002 \text{ mm}$$

Rumus ini mengacu pada prinsip kerja pengujian Rockwell skala B, di mana 1 satuan Rockwell setara dengan 0,002 mm penetrasi ke dalam material. Hasil perhitungan kedalaman penetrasi dari setiap spesimen ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut.

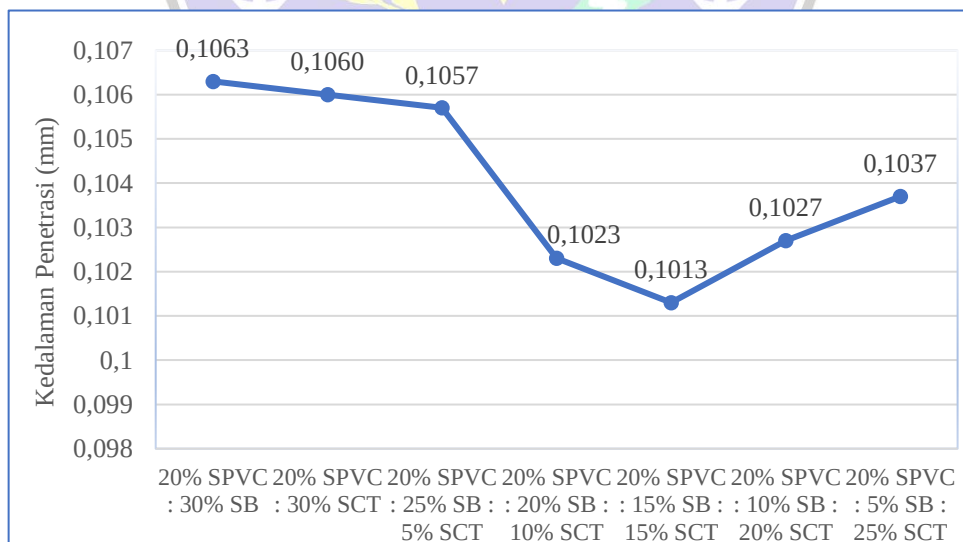
Tabel 4.2 Nilai Kedalaman Penetrasi

No	Komposisi Spesimen	Nilai Rata-rata (HRB)	Kedalaman Penetrasi (mm)
1	20% SPVC : 30% SB	76,83	$(130 - 76,83) \times 0,002 = 0,1063$
2	20% SPVC : 30% SCT	77	$(130 - 77,00) \times 0,002 = 0,1060$
3	20% SPVC : 25% SB : 5% SCT	77,16	$(130 - 77,16) \times 0,002 = 0,1057$
4	20% SPVC : 20% SB : 10% SCT	78,83	$(130 - 78,83) \times 0,002 = 0,1023$
5	20% SPVC : 15% SB : 15% SCT	79,33	$(130 - 79,33) \times 0,002 = 0,1013$
6	20% SPVC : 10% SB : 20% SCT	78,66	$(130 - 78,66) \times 0,002 = 0,1027$
7	20% SPVC : 5% SB : 25% SCT	78,16	$(130 - 78,16) \times 0,002 = 0,1037$

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dengan metode Rockwell pada skala B (HRB), diperoleh data nilai rata-rata kekerasan serta nilai kedalaman penetrasi pada tabel 4.2, dari masing-masing variasi komposisi spesimen. Sampel dengan komposisi 20% SPVC dan 30% serbuk bambu (SB) menunjukkan nilai kekerasan sebesar 76,83 HRB dengan kedalaman penetrasi sebesar 0,1063 mm. Komposisi 20% SPVC dan 30% serbuk cangkang telur (SCT) memiliki kekerasan 77 HRB dan kedalaman penetrasi 0,1060 mm. Untuk komposisi campuran 20% SPVC : 25% SB : 5% SCT menghasilkan kekerasan 77,16 HRB dengan kedalaman penetrasi 0,1057 mm.

Selanjutnya, spesimen dengan kombinasi 20% SPVC : 20% SB : 10% SCT mencatat nilai kekerasan 78,83 HRB dan kedalaman penetrasi 0,1023 mm. Komposisi 20% SPVC : 15% SB : 15% SCT menunjukkan performa kekerasan tertinggi yaitu 79,33 HRB, dengan kedalaman penetrasi terendah yaitu 0,1013 mm, yang mengindikasikan tingkat kekerasan terbaik di antara semua variasi. Sedangkan pada komposisi 20% SPVC : 10% SB : 20% SCT diperoleh nilai kekerasan 78,66 HRB dengan kedalaman penetrasi 0,1027 mm. Terakhir, campuran 20% SPVC : 5% SB : 25% SCT memberikan kekerasan sebesar 78,16 HRB dan kedalaman penetrasi 0,1037 mm.

Secara keseluruhan, terdapat kecenderungan bahwa peningkatan proporsi serbuk cangkang telur (SCT) dan distribusi filler yang seimbang mampu memberikan nilai kekerasan yang lebih tinggi dan penetrasi yang lebih rendah, menunjukkan struktur material yang lebih padat dan tahan terhadap deformasi oleh beban indenter disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai kekerasan Rockwell, maka semakin kecil kedalaman penetrasi yang terjadi. Artinya, struktur material yang padat dan homogen memiliki resistensi lebih tinggi terhadap beban tekan dari indenter, yang menjadi indikator kekuatan permukaan material komposit tersebut. Untuk grafik kedalaman penetrasi dari tabel 4.2 dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Grafik Nilai Kedalaman Penetrasi

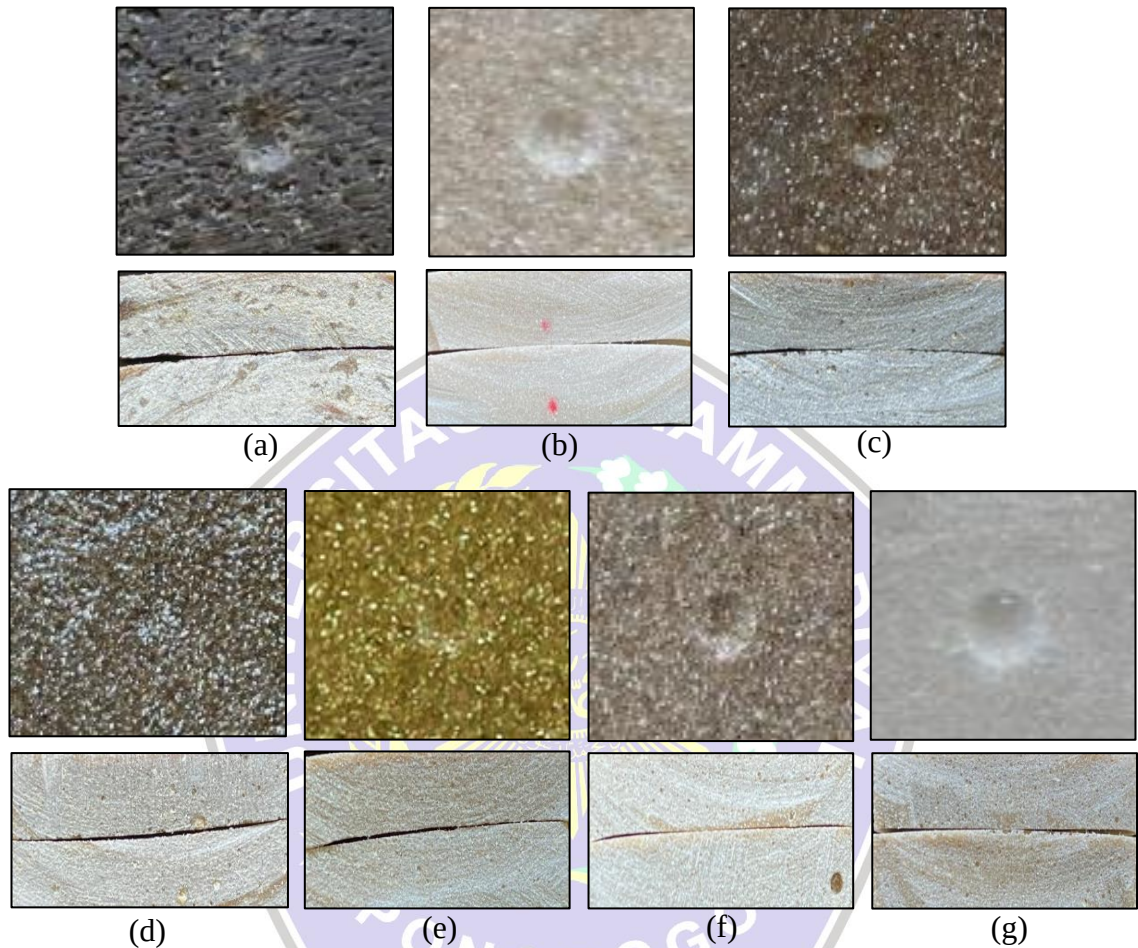
Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan nilai kedalaman penetrasi pada masing-masing variasi komposisi campuran serbuk PVC (SPVC), bambu (SB), dan cangkang telur (SCT). Terlihat bahwa nilai kedalaman penetrasi mengalami fluktuasi seiring dengan perubahan rasio campuran bahan. Nilai tertinggi terdapat pada spesimen dengan komposisi 20% SPVC : 30% SB, yaitu sebesar 0,1063 mm, disusul oleh spesimen dengan komposisi 20% SPVC : 30% SCT sebesar 0,1060 mm. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan salah satu filler secara dominan cenderung menghasilkan material dengan struktur yang kurang padat.

Penurunan signifikan terjadi pada spesimen dengan komposisi 20% SPVC : 15% SB : 15% SCT, di mana kedalaman penetrasi hanya sebesar 0,1013 mm, yang merupakan nilai terendah pada grafik. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi seimbang antara filler organik dan anorganik mampu membentuk struktur material yang lebih padat dan homogen, sehingga tahan terhadap penetrasi. Setelah titik minimum ini, kedalaman penetrasi kembali meningkat secara bertahap, dengan nilai tertinggi berikutnya sebesar 0,1037 mm pada komposisi 20% SPVC : 5% SB : 25% SCT. Secara keseluruhan, semakin rendah kedalaman penetrasi, maka semakin tinggi kekerasan material, sehingga grafik ini mendukung temuan uji kekerasan Rockwell sebelumnya.

Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa nilai kedalaman penetrasi mengalami fluktuasi seiring perubahan komposisi bahan. Nilai tertinggi terdapat pada spesimen dengan komposisi SPVC 20% : SCT 30%, yaitu sebesar 0,1060 mm, disusul oleh spesimen SPVC 20% : SB 30% dengan nilai 0,1063 mm. Nilai kedalaman terendah tercatat pada spesimen dengan komposisi SPVC 20% : SB 15% : SCT 15%, yaitu sebesar 0,1013 mm, yang menunjukkan bahwa kombinasi seimbang antara serbuk bambu dan serbuk cangkang telur menghasilkan struktur yang paling padat dan tahan terhadap penetrasi. Secara umum, penurunan nilai kedalaman penetrasi menunjukkan peningkatan kekerasan material, dan hal ini selaras dengan hasil uji kekerasan pada spesimen tersebut

4.3 Hasil Pengamatan Struktur Makro

Setelah dilakukan pengujian kekerasan maka dilanjutkan dengan pengamatan struktur makro pada permukaan luar dan dalam setelah pemotongan pada setiap spesimen. Hasil visual dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Makro (a) Spesimen 1 (b) Spesimen 2 (c) Spesimen 3 (d) Spesimen 4 (e) Spesimen 5 (f) Spesimen 6 (g) Spesimen 7

Pada Spesimen 1 (Gambar 4.4a) yang memiliki komposisi 20% SPVC : 30% SB, tampak bahwa permukaan luar kasar dan terdapat pori-pori kecil yang tersebar tidak merata. Struktur bagian dalam terlihat tidak homogen, dengan indikasi distribusi partikel serbuk bambu yang dominan dan tidak tercampur sempurna. Hal ini berkontribusi terhadap nilai kekerasan yang relatif rendah, yaitu 76,83 HRB.

Spesimen 2 (Gambar 4.4b) terdiri dari komposisi 20% SPVC : 30% SCT tanpa adanya SB. Permukaan spesimen terlihat paling pucat dan bagian dalam menunjukkan adanya variasi densitas serta indikasi porositas. Ketiadaan serbuk

bambu yang berperan sebagai pengikat alami menyebabkan berkurangnya kohesi dalam material. Akibatnya, nilai kekerasan spesimen ini hanya mencapai 77,00 HRB, lebih rendah dibandingkan spesimen lain yang memiliki kombinasi bahan lebih seimbang.

Spesimen 3 (Gambar 4.4c) dengan komposisi 20% SPVC : 25% SB : 5% SCT, menunjukkan perbaikan dalam struktur permukaan. Tampilan luar terlihat lebih halus dan padat, dengan sedikit pori-pori. Distribusi partikel di bagian dalam juga tampak lebih merata dibanding Spesimen 1. Hal ini berdampak pada peningkatan kekerasan menjadi 77,16 HRB.

Spesimen 4 (Gambar 4.4d) yang mengandung 20% SPVC : 20% SB : 10% SCT, permukaan tampak paling baik di antara ketiganya. Permukaan luar terlihat halus, sedangkan bagian dalam menunjukkan struktur yang padat dan distribusi serbuk yang merata. Tidak ditemukan retakan maupun pori besar yang signifikan. Hal ini selaras dengan hasil pengujian kekerasan yang tertinggi di antara ketiga spesimen, yaitu 78,83 HRB.

Spesimen 5 (Gambar 4.5e) dengan komposisi 20% SPVC : 15% SB : 15% SCT menunjukkan struktur permukaan yang halus dan padat. Tampilan bagian dalam spesimen memperlihatkan distribusi partikel yang homogen tanpa pori besar maupun retakan. Kombinasi yang seimbang antara serbuk bambu dan cangkang telur menghasilkan struktur material yang kompak dan berkualitas. Hal ini sejalan dengan hasil uji kekerasan yang menunjukkan nilai tertinggi sebesar 79,33 HRB, yang menandakan bahwa rasio campuran ini memberikan sifat mekanik terbaik di antara semua spesimen.

Spesimen 6 (Gambar 4.4f) dengan komposisi 20% SPVC : 10% SB : 20% SCT memiliki permukaan yang masih tergolong baik, namun mulai ditemukan indikasi pori-pori mikro pada bagian dalam material. Penurunan proporsi SB menyebabkan distribusi partikel menjadi sedikit kurang merata dibandingkan Spesimen 4. Meskipun demikian, nilai kekerasan masih cukup tinggi yaitu 78,66 HRB, menunjukkan bahwa SCT masih memberikan kontribusi terhadap kekuatan, meskipun homogenitas mulai berkurang.

Spesimen 7 (Gambar 4.4g) yang mengandung 20% SPVC : 5% SB : 25% SCT memperlihatkan struktur yang cenderung kurang homogen. Tampak beberapa

pori halus dan distribusi warna yang tidak seragam pada permukaan maupun bagian dalam spesimen. Kadar SB yang rendah menyebabkan daya ikat antarpartikel berkurang, sementara SCT dalam jumlah besar berpotensi membentuk aglomerasi partikel. Hal ini berdampak pada penurunan nilai kekerasan menjadi 78,16 HRB.

Berdasarkan pengamatan makroskopik terhadap permukaan dan bagian dalam spesimen komposit, dapat disimpulkan bahwa struktur makro sangat dipengaruhi oleh komposisi dan proporsi filler yang digunakan. Spesimen dengan distribusi filler yang seimbang antara serbuk bambu dan cangkang telur, seperti pada Spesimen 5 (20% SPVC : 15% SB : 15% SCT), menunjukkan permukaan yang paling halus, padat, serta distribusi partikel yang homogen tanpa pori besar maupun retakan. Hal ini selaras dengan nilai kekerasan tertinggi yang diperoleh, yaitu 79,33 HRB.

Sebaliknya, spesimen dengan kandungan serbuk bambu atau cangkang telur yang terlalu dominan cenderung menunjukkan permukaan yang kasar, tidak merata, dan mengandung pori-pori atau aglomerasi partikel. Misalnya, Spesimen 1 (dengan dominasi SB) dan Spesimen 2 (dengan dominasi SCT) menunjukkan struktur makro yang tidak homogen, yang berdampak pada penurunan nilai kekerasan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur makroskopik yang baik yakni permukaan yang padat, halus, dan distribusi partikel yang merata berkorelasi erat dengan peningkatan nilai kekerasan material, serta menunjukkan bahwa keseimbangan proporsi antara filler berserat dan filler keras merupakan kunci utama dalam menghasilkan komposit dengan kualitas struktur makro yang optimal.

Menurut Manalo dkk [22], serat bambu diketahui mampu menghambat perambatan retak pada material, sehingga mampu mengubah karakteristik kegagalan dari yang semula getas menjadi lebih ulet. Sebaliknya, peningkatan fraksi volume serbuk cangkang telur cenderung memperbesar kemungkinan terjadinya patahan yang bersifat getas.

Hal ini sesuai dengan penelitian Rangka dkk [23], yang menyatakan bahwa penambahan serbuk cangkang telur menyebabkan spesimen mengalami patahan getas atau granular, yang ditandai dengan permukaan patahan yang relatif rata serta memiliki sifat reflektif terhadap cahaya.

Dalam penelitian Tauvana dkk [24] menduga, bahwa patahan yang terjadi disebabkan oleh ketidakseimbangan rasio pencampuran antara resin epoxy dan pengeras, serta kemungkinan keberadaan serat yang belum sepenuhnya kering, sehingga menghasilkan pola patahan berserat setelah uji impak. Selain itu, kemungkinan lainnya adalah waktu pengerasan yang kurang optimal, sehingga sebagian spesimen masih dalam kondisi lunak. Sementara itu, pada fraksi volume 30% dan 50%, tampak pola patahan getas yang ditandai oleh bentuk patahan yang merata.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

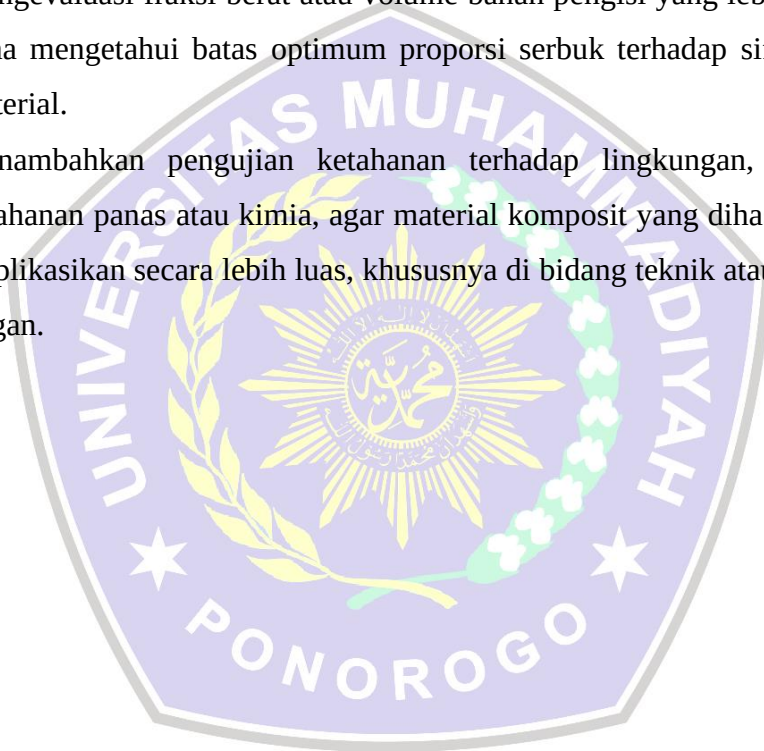
Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap material komposit berbasis serbuk PVC, bambu, dan cangkang telur dengan resin epoxy sebagai matriks, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Nilai uji kekerasan Rockwell skala B (HRB) menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari variasi campuran serbuk terhadap hasil pengujian. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan komposisi 20% serbuk PVC : 15% serbuk bambu : 15% serbuk cangkang telur, yaitu sebesar 79,33 HRB, yang menunjukkan struktur komposit yang padat dan homogen. Sebaliknya, nilai kekerasan terendah ditemukan pada komposisi 20% serbuk PVC : 30% serbuk bambu, yaitu sebesar 76,83 HRB, yang mengindikasikan bahwa dominasi serbuk bambu dapat menurunkan kekuatan material akibat struktur yang kurang padat dan adanya pori. Secara umum, kombinasi proporsi yang seimbang antara filler organik dan anorganik mampu meningkatkan nilai kekerasan material komposit.
2. Hasil pengamatan struktur makro menunjukkan bahwa spesimen dengan distribusi filler yang merata dan homogen menghasilkan permukaan yang lebih padat dan minim pori. Spesimen dengan komposisi 20% PVC : 15% bambu : 15% cangkang telur menunjukkan struktur makro terbaik, dengan permukaan yang relatif halus, padat, dan distribusi filler yang baik. Sebaliknya, spesimen dengan komposisi dominan bambu atau cangkang telur menunjukkan permukaan yang kasar, tidak merata, dan memiliki banyak pori. Ini mengindikasikan bahwa rasio campuran yang tidak seimbang dapat menyebabkan aglomerasi partikel dan pembentukan rongga mikro, yang berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit.

5.2 Saran

Sebagai tindak lanjut pada penelitian ini, dapat diberikan beberapa saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang:

1. Lakukan pengujian tambahan, seperti uji tarik, uji impak, dan uji ketahanan terhadap kelembaban, untuk mengetahui lebih jauh performa komposit dalam kondisi aplikatif.
2. Gunakan metode pencampuran mekanik (mixer berkecepatan tinggi) agar distribusi partikel filler dalam matriks resin menjadi lebih homogen dan mengurangi kemungkinan terbentuknya pori atau aglomerasi
3. Mengevaluasi fraksi berat atau volume bahan pengisi yang lebih beragam, guna mengetahui batas optimum proporsi serbuk terhadap sifat mekanik material.
4. Menambahkan pengujian ketahanan terhadap lingkungan, seperti uji ketahanan panas atau kimia, agar material komposit yang dihasilkan dapat diaplikasikan secara lebih luas, khususnya di bidang teknik atau konstruksi ringan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. F. Rasul and Y. A. Sari, "Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Pvc Pada Campuran Laston Lapis Aus," *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 127–135, 2022, doi: 10.30630/jirs.v19i2.822.
- [2] S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and S. Arora, "Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior To Glass Fiber Reinforced Composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 35, no. 3, pp. 371–376, 2004, doi: 10.1016/j.compositesa.2003.09.016.
- [3] R. P. Munirwan, M. Munirwansyah, and M. Marwan, "Penambahan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung," *J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 30–35, 2019, doi: 10.24815/jts.v8i1.13496.
- [4] Z. Muhyidin, "Pengaruh Cangkang Telur Dan Bambu Betung Pada Matriks Epoksi Dan Polyvinyl Acetate (PVAc) Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Komposit," *T. Technology. TJ Mechanical engineering and machinery*, pp. 1–99, 2023.
- [5] S. Salam, "Studi Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Matriks Resin Epoxy yang Diperkuat dengan Serbuk Titania (TiO₂)," *T. Technology. TJ Mechanical engineering and machinery*, 2007.
- [6] S. Supraptiningsih, "Pengaruh Serbuk Serat Batang Pisang Sebagai Filler Terhadap Sifat Mekanis Dari Komposit PVC– CaCO₃," *Maj. Kulit, Karet, dan Plast.*, vol. 28, no. 2, p. 79, 2012, doi: 10.20543/mkcp.v28i2.108.
- [7] A. Firdaus, A. Tjahjono, and S. A. Saptari, "Analisis Pengaruh Bentuk Filler Pada Komposit Batang Bambu Terhadap Nilai Kekerasan (Hardness Shore D)," *Al-Fiziya J. Mater. Sci. Geophys. Instrum. Theor. Phys.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2019, doi: 10.15408/fiziya.v1i2.9506.
- [8] Y. K. Sinaga, A. Priharyoto Bayuseno, and R. Ismail, "Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC) Menggunakan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Limbah Padat Hasil Ekstraksi Aspal Buton Dengan Konsentrasi HNO₃," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 3, pp. 43–50, 2023.
- [9] F F. Silvianti, D. Jayanti, and W. B. Dewi, "Karakterisasi Material Produk Plastik Daur Ulang Berbahan Dasar Polyvinyl Chloride (PVC)," (*Doctoral dissertation Politeknik ATK Yogyakarta*) p. 7, 2018.

- [10] K. Umam, "Pengaruh Penambahan Plasticizer Diocthyl Phtalate (DOP) Terhadap Mampu Alir Dan Sifat Mekanik Resin Polivinil Klorida (PVC)," *Depok: Journal Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2009.
- [11] C. Firmansyah Alhamdi, "Rancang Bangun Mesin Pembelah Dan Penyerut Bambu," (*Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surabaya*) pp. 1–23, 2019.
- [12] H. Setyono, "Pembuatan Membran Komposit Poli Vinil Alkohol (Pva) Dan Poli Etilen Glikol (Peg) Dengan Biosilika Abu Daun Bambu Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu," Fakultas Teknik dan Sains UMP, (*Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*), pp. 2–5, 2020.
- [13] F. X. Ndale, "Sifat Fisik Dan Mekanik Bambu Sebagai Bahan Konstruksi," *TEKNOSIAR - J. Tek. Univ. Flores*, vol. 7, no. 2, pp. 22–31, 2013.
- [14] E. Putra, "Optimalisasi Penyerapan Kalsium dengan Nano Kalsium dari Cangkang Telur," (*Doctoral dissertation Universitas Kristen Satya Wacana*). no. July, pp. 1–23, 2020.
- [15] D. Irnawan and B. Karomah, "Kajian Ukuran Serbuk Komposit Limbah Cangkang Telur Terhadap Ketangguhan Impak," *J. Arsit. GRID-Journal Archit. Built Environ.*, vol. 1, no. 2, pp. 24–27, 2019.
- [16] N. Febriani, A. R. Fachry, and Suharman, "Mempelajari Sifat Fisika Sol Karet Cetak Dengan Filler Cangkang Telur Ayam," *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 27, no. 1, pp. 69–75, 2016.
- [17] F. Aghnia, "Asetilasi Serat Ilalang Sebagai Filler pada Pembuatan Komposit dengan Matriks Resin Epoksi," *Journal Event Kampus.*, vol. 1, no. 69, pp. 5–24, 2019.
- [18] R. Sughiandi, Sudarsono, and N. Endriatno, "Analisa Sifat Mekanik Resin Dengan Variasi Komposisi Hardener," *J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 4, pp. 119–123, 2019, doi: 10.55679/enthalpy.v4i4.10013.
- [19] A. I. Junaidi, "Analisa Pengujian Kekerasan Material Baja Karbonrendah Dan BesiMenggunakan Metode Uji Brinell," *Jitekh*, vol. 7, no. 2, pp. 57–61, 2019.

- [20] M. Nafi, D. Sulistyono, M. Mufti, and D. Ruseno, "Analisa Kekerasan Rockwell dan Metalografi Hasil PWHT pada Pengelasan SMAW Baja ST41 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan," *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 31–42, 2022.
- [21] A. D. Laksono, M. N. Rozikin, N. A. S. Pattara, and I. Cahyadi, "Potensi Serbuk Kayu Ulin dan Serbuk Bambu Sebagai Aplikasi Papan Partikel Ramah Lingkungan - Review," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 267–274, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.02.4.
- [22] A. C. Manalo, E. Wani, N.A. Zukarnain, W. Karunasena, and K.T. Lau. "Effects Of Alkali Treatment And Elevated Temperature On The Mechanical Properties Of Bamboo Fibre–Polyester Composites," *Composites Part B: Engineering*, 80, 73-83, 2015.
- [23] D. P. Rangga, P. Hartono, and M. Basjir. "Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Telur Dan Serat Ampas Tebu Sebagai Komposit Terhadap Sifat Mekanis," *Jurnal Teknik Mesin*, 18(5), 56-63, 2023.
- [24] A. I. Tauvana, S. Syafrizal, and M. I. Subekti, M. I. "Pengaruh matrik resin-epoxy terhadap kekuatan impak dan sifat fisis komposit serat nanas," *Jurnal Polimesin*, 18(2), 99-104, 2020.

LAMPIRAN

