

**EFEK KOMPOSISI DAN UKURAN BASALT TERHADAP SIFAT
MEKANIK MATERIAL BIO-KOMPOSIT POLIMER DENGAN SERBUK
KAYU DAN BASALT SEBAGAI PENGUAT**

(Skripsi)

Oleh

**VIVI SAVITRI
1917041009**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

EFEK KOMPOSISI DAN UKURAN BASALT TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL BIO-KOMPOSIT POLIMER DENGAN SERBUK KAYU DAN BASALT SEBAGAI PENGUAT

Oleh

VIVI SAVITRI

Pemanfaatan limbah untuk bahan baku material baru sangat potensial dilakukan penelitian. Limbah kayu sisa dari pengrajin pintu dan jendela banyak tersedia seiring berkembang bisnis properti. Limbah kayu yang dicampur dengan resin poliester dimodifikasi dengan penambahan basalt agar menghasilkan material bio-komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik. Telah dilakukan penelitian mengenai efek komposisi dan ukuran basalt terhadap sifat mekanik material bio-komposit polimer dengan serbuk kayu dan basalt sebagai penguat. Persentase penggunaan serbuk kayu yaitu sebanyak 2,5% dengan menggunakan *mesh* 80. Variasi persentase basalt yang digunakan yaitu 5%, 10%, dan 15% dengan menggunakan variasi *mesh* 100, 200, dan 325. Dengan menggunakan resin poliester sebagai matriks. Pengujian yang dilakukan pada sampel meliputi struktur mikro, XRD, densitas, kekerasan (*vickers*), kuat tekan, dan modulus young. Berdasarkan karakterisasi diketahui penggunaan serbuk kayu dan basalt mempunyai pengaruh terhadap nilai densitas, kekerasan, kuat tekan, dan modulus dimana nilai-nilai tersebut akan mengalami penurunan ketika menggunakan penguat serbuk kayu dan akan naik kembali apabila ditambahkan penguat basalt. Nilai densitas, kekerasan, kuat tekan untuk resin, resin dengan serbuk kayu, resin dengan serbuk kayu dan basalt berturut-turut yaitu 0,13248 kg/m³, 0,12865 kg/m³, 0,14191 kg/m³ untuk nilai densitas; 26,74 HV, 26,02 HV, 36,6 HV untuk nilai kekerasan; 116,95 MPa, 98,29 MPa, 137,66 MPa untuk nilai kuat tekan; dan 1831,23 MPa, 1394,30 MPa, 1947,72 MPa untuk nilai modulus young. Diketahui pula bahwa semakin banyak dan besar ukuran *mesh* basalt yang digunakan dapat meningkatkan nilai densitas, kekerasan, kuat tekan dan modulus.

Kata kunci: komposit, serbuk kayu, basalt, sifat mekanik.

ABSTRACT

EFFECTS OF BASALT COMPOSITION AND SIZE ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER BIO-COMPOSITE MATERIALS WITH SAWDUST AND BASALT AS REINFORCEMENT

By

VIVI SAVITRI

The utilization of waste as raw material for new materials has great potential for research. Wood waste left over from door and window craftsmen is widely available as the property business develops. Wood waste mixed with polyester resin is modified by the addition of basalt to produce bio-composite materials with better mechanical properties. Research has been conducted on the effect of composition and size of basalt on the mechanical properties of polymer bio-composite materials with sawdust and basalt as reinforcement. The percentage of sawdust used is 2.5% using mesh 80. The variation in the percentage of basalt used is 5%, 10%, and 15% using mesh variations of 100, 200, and 325. By using polyester resin as a matrix. Tests carried out on samples include microstructure, XRD, density, hardness (vickers), compressive strength, and young modulus. Based on the characterization, it is known that the use of sawdust and basalt has an influence on the values of density, hardness, compressive strength, and modulus where these values will decrease when using sawdust reinforcement and will increase again when basalt reinforcement is added. The values of density, hardness, compressive strength for resin, resin with sawdust, resin with sawdust and basalt are 0.13248 kg/m³, 0.12865 kg/m³, 0.14191 kg/m³ for density value; 26.74 HV, 26.02 HV, 36.6 HV for hardness value; 116.95 MPa, 98.29 MPa, 137.66 MPa for compressive strength value, and 1831.23 MPa, 1394.30 MPa, 1947.72 MPa for young modulus value, respectively. It was also found that the more and larger mesh size of basalt used can increase the density, hardness, compressive strength and modulus values.

Keywords: composite, sawdust, basalt, mechanical properties.

**EFEK KOMPOSISI DAN UKURAN BASALT TERHADAP SIFAT
MEKANIK MATERIAL BIO-KOMPOSIT POLIMER DENGAN SERBUK
KAYU DAN BASALT SEBAGAI PENGUAT**

Oleh

VIVI SAVITRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **EFEK KOMPOSISI DAN UKURAN BASALT TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL BIO-KOMPOSIT POLIMER DENGAN SERBUK KAYU DAN BASALT SEBAGAI PENGUAT**

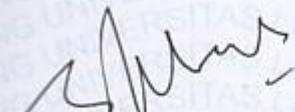
Nama Mahasiswa : Vivi Savitri

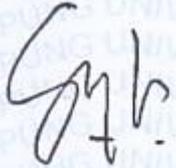
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041009

Program Studi : Fisika

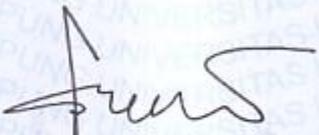
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP.196107231986031003

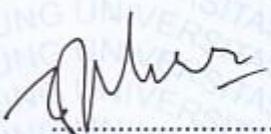

Singgih Prabowo, M.T.
NIP. 198210122014021002

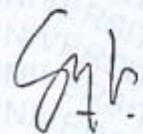
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

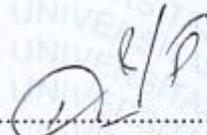

Gurun Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

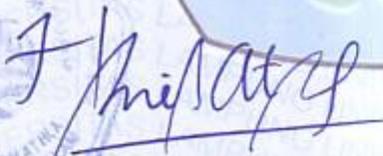
1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. 

Sekretaris : Singgih Prabowo, M.T. 

Penguji Bukan Pembimbing : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Januari 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain dan tidak terdapat pendapat atau karya yang ditulis oleh orang lain kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Penulis,



Vivi Savitri
NPM. 1917041009

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Vivi Savitri, dilahirkan di Kota Jakarta, Provinsi DKI Jakarta pada tanggal 22 Januari 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Satria dan Ibu Yeni Erti.

Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Pademangan Timur 07 Petang pada tahun 2013, SMPN 42 Jakarta pada tahun 2016, dan SMAN 41 Jakarta pada tahun 2019. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur penerimaan SNMPTN.

Selama menempuh pendidikan, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dengan judul “Pengaruh Variasi Media Pendinginan pada Proses *Hot Forging* 50 Ton terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Mangan Medium”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2022 di Desa Sidomakmur, Kecamatan Melinting, Kabupaten Lampung Timur. Dalam bidang keorganisasian, penulis sebagai Anggota Dinas Hubungan dan Diplomasi Eksternal (HDE) Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Universitas Lampung periode 2020 dan Anggota Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Universitas Lampung periode 2019-2021.

MOTTO

Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan
boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu.
Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui
-QS. Al-Baqarah : 216-

هَلْ جَزَاءُ الْإِحْسَانِ إِلَّا الْإِحْسَانُ
Tidak ada balasan untuk kebaikan selain kebaikan (pula)
-QS. Ar-Rahman : 60-

Everything that is meant for you is still waiting for you
-The Pivot Years by Brianna Wiest-

Not everyone likes me, but not everyone matters
-Vivi Savitri-

There is a blessing in the breaking
-Vivi Savitri-

after all, life will go on
-Vivi Savitri-

some goodbyes are good for your growth
-Vivi Savitri-

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanau wa ta'ala, karya ini
dipersembahkan kepada:

Ayah dan Mama

serta

Saudara-saudaraku

“Terima kasih untuk segala do’a dan usaha yang selalu diberikan kepadaku. Aku
tidak pernah menemukan kata-kata yang tepat untuk berterima kasih kepada
mama dan ayahku serta saudara-saudaraku atas pengorbanan yang mereka
lakukan setiap harinya hingga aku dapat sampai pada hari ini”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Efek Komposisi dan Ukuran Basalt terhadap Sifat Mekanik Material Bio-Komposit Polimer dengan Serbuk Kayu dan Basalt sebagai Penguat”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan secara isi maupun cara penyajian dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Vivi Savitri
NPM. 1917041009

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Efek Komposisi dan Ukuran Basalt terhadap Sifat Mekanik Material Bio-Komposit Polimer dengan Serbuk Kayu dan Basalt sebagai Penguat”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai pembimbing pertama yang telah memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya.
2. Bapak Singgih Prabowo, M.T. sebagai pembimbing kedua yang telah membantu, membimbing, memberikan saran, masukan, serta arahan dalam penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph. D. sebagai dosen penguji yang telah memberikan koreksi, saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc. dan Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan-masukan serta nasihat selama masa studi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak pimpinan Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah mengizinkan dan memberi fasilitas kepada penulis dalam melakukan penelitian.
8. Seluruh dosen Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu selama menempuh pendidikan S1 di Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Staf administrasi Jurusan Fisika FMIPA yang telah membantu dalam urusan administrasi selama menempuh pendidikan S1 di Fisika FMIPA Universitas Lampung.
10. Kedua orang tua dan saudara-saudara yang selalu memberikan do'a dan dukungan baik moral dan moril.
11. Hilya, Frila, Annisa, Windi, Mela, Afifah, dan Asya yang telah menjadi rekan diskusi selama proses pengerjaan skripsi ini.
12. Serta teman-teman seperjuangan Fisika 2019.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Vivi Savitri
NPM. 1917041009

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
LEMBAR PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4

1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit	6
2.2 Resin Poliester	8
2.3 Serbuk Kayu	9
2.4 Basalt	10
2.5 Sistem Kristal	12
2.6 Karakterisasi Bio-Komposit	14
2.6.1 Mikroskop Optik.....	14
2.6.2 X-ray Diffraction (XRD)	15
2.6.3 Densitas.....	17
2.6.4 Kekerasan <i>Vickers</i>	18
2.6.5 Kuat Tekan.....	19
2.6.6 Modulus Elastisitas atau Modulus Young	20

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.2.1 Alat.....	23
3.2.2 Bahan	23
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.4 Diagram Alir.....	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Bio-Komposit Basalt-Serbuk Kayu	27
---	----

4.1.1 Morfologi Struktur Mikro.....	27
4.1.1.1 Perbandingan Poliester, Serbuk Kayu dan Basalt.....	28
4.1.1.2 Variasi Ukuran Basalt terhadap Struktur Mikro	29
4.1.1.3 Variasi Komposisi Basalt terhadap Struktur Mikro.....	31
4.1.2 Kristalinitas.....	32
4.1.3 Densitas.....	40
4.1.3.1 Perbandingan Poliester, Serbuk Kayu dan Basalt.....	40
4.1.3.2 Variasi Ukuran Basalt terhadap Densitas.....	41
4.1.3.3 Variasi Komposisi Basalt terhadap Densitas	43
4.2 Sifat Mekanik	45
4.2.1 Kekerasan.....	45
4.2.1.1 Perbandingan Poliester, Serbuk Kayu dan Basalt.....	46
4.2.1.2 Variasi Ukuran Basalt terhadap Kekerasan	47
4.2.1.3 Variasi Komposisi Basalt terhadap Kekerasan.....	49
4.2.2 Kuat Tekan dan Modulus Young.....	51
4.2.2.1 Perbandingan Poliester, Serbuk Kayu dan Basalt.....	52
4.2.2.2 Variasi Ukuran Basalt terhadap Kuat Tekan dan Modulus Young	54
4.2.2.3 Variasi Komposisi Basalt terhadap Kuat Tekan dan Modulus Young.....	58

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Penyusun komposit.....	7
2.2 Resin poliester.....	9
2.3 Serbuk kayu.....	10
2.4 Batu basalt.....	11
2.5 (a) Satu sel satuan, (b) Perluasan dalam tiga dimensi.....	12
2.6 Vektor abc.....	12
2.7 Tujuh jenis sel satuan.....	13
2.8 Mikroskop optik.....	14
2.9 Proses pembentukan Sinar-X.....	16
2.10 Skema difraksi Sinar-X.....	16
2.11 Skema pengujian kekerasan vickers.....	18
2.12 Skema pengujian kuat tekan.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	26
4.1 Struktur mikro sampel (a) resin, (b) RK, (c) RKB.....	28
4.2 Struktur mikro 5% basalt dengan mesh (a) 100; (b) 200; dan (c)325.....	29
4.3 Struktur mikro 10 % basalt dengan mesh (a) 100; (b) 200; dan (c) 325.....	29
4.4 Struktur mikro 15 % basalt dengan mesh (a) 100; (b) 200; dan (c) 325.....	30
4.5 Struktur mikro mesh 100 (a) 5%; (b) 10%; dan (c) 15%.....	31
4.6 Struktur mikro mesh 200 (a) 5%; (b) 10%; dan (c) 15%.....	31

4.7	Struktur mikro mesh 325 (a) 5%; (b) 10%; dan (c) 15%.	32
4.8	Difaktogram resin, resin + kayu, resin + kayu dan basalt.	33
4.9	Difaktogram bio-komposit mesh 100 dengan variasi komposisi.	34
4.10	Difaktogram bio-komposit mesh 200 dengan variasi komposisi.	36
4.11	Difaktogram bio-komposit mesh 325 dengan variasi komposisi.	38
4.12	Perbandingan nilai densitas bio-komposit.	40
4.13	Grafik hubungan ukuran basalt dengan komposisi (a) 5 %; (b) 10 %; dan (c) 15 % terhadap nilai densitas bio-komposit	42
4.14	Grafik hubungan komposisi basalt dengan mesh (a) 100; (b) 200; (c) 325 terhadap nilai densitas bio-komposit	44
4.15	Perbandingan nilai kekerasan bio-komposit.	46
4.16	Grafik hubungan ukuran basalt dengan komposisi (a) 5%; (b) 10 %; (c) 15 % terhadap nilai kekerasan bio-komposit.	48
4.17	Grafik hubungan komposisi basalt mesh (a) 100; (b) 200; dan (c) 325 terhadap nilai kekerasan bio-komposit.	50
4.18	Perbandingan nilai (a) kuat tekan, (b) modulus young.	52
4.19	Grafik hubungan ukuran basalt dengan komposisi (a) 5 %; (b) 10 %; (c) 15 % terhadap nilai kuat tekan bio-komposit	55
4.20	Grafik hubungan ukuran basalt dengan komposisi (a) 5 %; (b) 10 %; (c) 15 % terhadap nilai modulus young bio-komposit	57
4.21	Grafik hubungan komposisi basalt mesh (a) 100; (b) 200: dan (c) 325 terhadap nilai kuat tekan bio-komposit	59
4.22	Grafik hubungan komposisi basalt mesh (a) 100; (b) 200: dan (c) 325 terhadap nilai modulus young bio-komposit	61

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3.1	Parameter sampel bio-komposit yang dibuat	25
4.1	Fasa XRD Sampel Resin + Kayu + Basalt.....	33
4.2	Fasa XRD Sampel 100 (1)	34
4.3	Fasa XRD Sampel 100 (2)	35
4.4	Fasa XRD Sampel 100 (3)	35
4.5	Fasa XRD Sampel 200 (1)	36
4.6	Fasa XRD Sampel 200 (2)	37
4.7	Fasa XRD Sampel 200 (3)	37
4.8	Fasa XRD Sampel 325 (1)	38
4.9	Fasa XRD Sampel 325 (2)	39
4.10	Fasa XRD Sampel 325 (3)	39
4.11	Hasil Pengujian Densitas.....	40
4.12	Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	45
4.13	Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Young.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Alat dan Bahan
2. Perhitungan
3. Data Hasil Pengujian
4. Hasil Pengujian Struktur Mikro
5. Hasil Pengujian XRD

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan zaman yang saat ini semakin pesat berakibat pada teknologi yang juga semakin berkembang dengan pesat. Semakin berkembangnya teknologi, kebutuhan akan material tentunya akan semakin meningkat. Hal itu untuk mendapatkan produk berkualitas yang nantinya akan bersaing dalam dunia industri. Untuk mencapai hal itu, peneliti berupaya untuk terus menggali potensi yang ada di sekitar yang nantinya dapat menciptakan suatu material yang akan bersaing dalam dunia industri.

Salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit. Komposit merupakan suatu material baru hasil rekayasa yang berasal dari penggabungan dua ataupun lebih bahan material yang berbeda, yaitu fase matriks serta fase penguat ataupun pengisi (*reinforcement*) untuk menciptakan material yang baru serta memiliki sifat yang lebih baik daripada material penyusunnya (Gibson, 2016).

Komposit polimer umumnya menggunakan beberapa jenis matriks diantaranya resin epoksi, vinil ester dan poliester. Resin poliester memiliki keunggulan yaitu memiliki daya serap air yang rendah, tahan terhadap cuaca dan pengaruh zat-zat kimia dan memiliki harga yang ekonomis, sehingga resin poliester bisa digunakan

sebagai perekat material komposit (Hartono, 2016). Komposit dibedakan menjadi tiga berdasarkan cara penguatnya, yaitu komposit penguat partikel, komposit penguat struktural dan komposit penguat serat (Schwartz, 1984). Saat ini, komposit berpenguat serat banyak dikembangkan, khususnya serat alam. Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Serat alam mempunyai nilai ekonomis, mudah dibuat, densitas yang kecil, dan dapat terurai secara biologis sehingga ramah terhadap lingkungan (Endriatno dkk., 2015).

Sebagian besar serat alam berasal dari hewan atau tanaman (Pecas *et al.*, 2018), seperti serat jute (Kartini dkk., 2018), serat rami (Jokosisworo, 2009), serat rotan (Agusti dkk., 2022), serat kayu (Laksono dkk., 2019), dan serat alam lainnya. Serat alam yang saat ini banyak digunakan yaitu serat kayu, dengan kapasitas produksi kayu di Indonesia yang mencapai 53 juta m³ pada tahun 2021 (BPS, 2023) dan limbahnya sebanyak 4,7 juta m³ pada tahun 2021 (SIPSN), tentunya hal itu dapat menimbulkan permasalahan pada lingkungan karena jumlahnya yang terus meningkat. Limbah dari serat kayu umumnya berupa potongan kayu, kayu bulat, sampah vinir dan serbuk gergaji (Pari, 2002). Umumnya limbah yang dihasilkan industri penggergajian kayu berkisar dari 50-60 % dan sebanyak 15-20 % terdiri dari serbuk kayu gergajian (Pari and Roliadi, 2004). Diperkirakan jumlah produksi serbuk kayu gergajian di Indonesia sebanyak 1,6 juta m³ pada tahun 2021 (BPS, 2023). Untuk industri besar dan terpadu, limbah serbuk kayu gergajian sudah dimanfaatkan menjadi bentuk briket arang dan dijual secara komersial. Namun untuk industri penggergajian kayu skala industri kecil yang jumlahnya mencapai ribuan unit dan tersebar di berbagai kota, limbah tersebut

belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan memanfaatkannya kembali menjadi bahan material lain, tentu dapat membantu mengurangi volume limbah kayu.

Namun komposit berpenguat serbuk kayu memiliki kekurangan ketika menerima beban tekan karna mekanisme perpatahan plastis (*plastic microbuckling*) akibat ketidaklurusan serat. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dengan menambahkan *filler* pengisi yang kemudian disebut komposit hibrid. Komposit hibrid adalah komposit yang memadukan dua atau lebih *reinforcement* (Rahayu dkk., 2022).

Selain menggunakan serbuk limbah kayu, penelitian ini juga menggunakan basalt sebagai *filler* pengisinya. Basalt adalah salah satu batuan beku bersifat basa yang terbentuk dari proses pembekuan magma di permukaan bumi yang memiliki ciri ukuran butir yang baik, bersifat massif dan keras, memiliki tekstur afanitik, terdiri atas mineral gelas vulkanik yaitu yaitu plagioklas, piroksin, amfibol dan mineral hitam (Faisal dkk., 2014). Basalt ramah lingkungan karena dapat didaur ulang, produk hasil yang berbahan basalt tidak memiliki reaksi beracun dengan udara atau air, tidak mudah terbakar, tahan terhadap ledakan (Jamshaid and Rajesh, 2015). Di Provinsi Lampung, basalt terdapat di sekitar sisi barat Gunung Tanggamus, sepanjang Teluk Semangka hingga sisi timur Gunung Rajabasa, Sukadana Lampung Timur (Hendronursito dkk., 2020). Batuan tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai material maju dan digunakan hanya sebagai material bangunan (Birawidha dkk., 2022).

Selain jenis material penyusunnya, sifat mekanik komposit juga dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel penyusun dan komposisi perbandingan fraksi volume serbuk dan resin (Hendronursito dkk., 2021). Sebagai material komposit ukuran basalt

dan rasio fraksi volume antara basalt dan resin poliester berpengaruh pada sifat mekaniknya.

Dari pemaparan diatas, dilakukan studi literatur tentang pengaruh variasi ukuran dan komposisi basalt pada material bio-komposit berpenguat basalt dan serbuk kayu dengan resin poliester terhadap densitas, sifat mekanik dan struktur mikro sehingga didapatkan formulasi terbaik dari material bio-komposit. Pada penelitian ini dilakukan pengujian densitas, kekerasan (*Vickers*), kuat tekan, mikroskop optik dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk kayu dan basalt sebagai penguat material bio-komposit?
2. Bagaimana pengaruh ukuran partikel dan komposisi serbuk basalt terhadap sifat mekanik?
3. Bagaimana formulasi material bio-komposit terbaik dari basalt dan serbuk kayu sebagai penguat dan poliester sebagai matriks?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh serbuk kayu dan basalt sebagai penguat pada material bio-komposit.
2. Mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel dan variasi komposisi serbuk basalt dan resin poliester terhadap sifat mekanik material bio-komposit.
3. Mencari formulasi material bio-komposit terbaik dari basalt dan serbuk kayu sebagai penguat dan resin poliester sebagai matriks terhadap sifat mekanik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bahan yang digunakan basalt skoria, serbuk kayu, dan resin poliester.
2. Ukuran butir serbuk kayu yang digunakan yaitu *mesh* 80.
3. Variasi ukuran butir basalt yang digunakan yaitu *mesh* 100, 200 dan 325.
4. Variasi persentase basalt yang digunakan sebanyak 5 %, 10 %, dan 15 %.
5. Pengujian yang dilakukan yaitu uji densitas, kekerasan (*Vickers*), kuat tekan, mikroskop optik dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memberi informasi mengenai pengaruh variasi ukuran partikel dan variasi perbandingan komposisi serbuk basalt dan resin poliester terhadap sifat mekanik.
2. Sebagai referensi bagi mahasiswa, dosen dan peneliti.

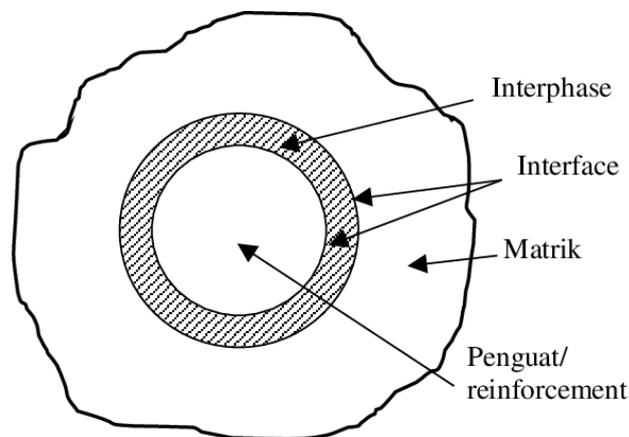
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit (*composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. *Composite* berasal dari kata kerja “*to compose*” berarti menyusun atau menggabung (Mawardi dan Hasrin, 2018). Jadi, komposit merupakan suatu material baru hasil rekayasa yang berasal dari penggabungan dua ataupun lebih bahan material yang berbeda, yaitu fase matriks serta fase penguat ataupun pengisi (*reinforcement*) untuk menciptakan material yang baru serta memiliki sifat yang lebih baik daripada material penyusunnya (Gibson, 2016) dan akan membentuk sebuah ikatan mekanik (Laksono dkk., 2019). Sifat mekanik merupakan salah satu sifat bahan komposit yang sangat penting untuk dipelajari. Untuk aplikasi struktur, sifat mekanik ditentukan oleh pemilihan bahan (Mathew and Rawlings, 1994).

Berdasarkan terminologinya, komposit adalah suatu material yang komponen penyusunnya terdiri dari gabungan/kombinasi dua atau lebih komponen yang berbeda bentuk, komposisi, dan tidak saling melarutkan, dimana salah satu material berfungsi sebagai *reinforcement* (penguat) dan yang lain sebagai matriks (pengikat). Secara lebih spesifik, komposit terdiri dari dua material pembentuk yang tersusun dari dua bagian yakni penguat (*reinforcement*) atau sering disebut dengan *filler* dan matriks (resin) (Hull, 1981).

Komposit dibedakan menjadi tiga berdasarkan cara penggunaannya, yaitu komposit penguat partikel, komposit penguat struktural, dan komposit penguat serat (Schwartz, 1984). Sifat bahan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi unsur penyusun, serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lain yang mungkin mempengaruhi sifat bahan komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi dari penguat (*filler*) dan berbagai ciri-ciri dari matriks (Bhagwan, 1980).



Gambar 2. 1 Penyusun komposit (Suryanto, 2019).

Secara lebih spesifik, komposit terdiri dari dua material pembentuk yang tersusun dari dua bagian yakni penguat (*reinforcement*) atau sering disebut dengan *filler* dan matriks (resin). Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi penguat adalah sebagai bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan tanpa penguat, selain itu penguat dapat berfungsi sebagai *filler* (pengisi) untuk menghemat penggunaan matriks polimer (Suryanto, 2019). Sedangkan matriks berfungsi untuk melindungi serat dari pengaruh lingkungan seperti temperatur, kelembaman, reaksi kimia dan kerusakan akibat benturan (*impact*) (Hull, 1981).

2.2 Resin Poliester

Berdasarkan dari pengaruh panas terhadap sifatnya, resin dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu material yang tidak tahan terhadap perlakuan pada temperatur tinggi disebut resin termoplastik dan material yang memiliki ketahanan temperatur yang tinggi disebut resin termoset. Poliester adalah resin termoset yang berbentuk cair dengan viskositas yang relatif rendah. Dengan penambahan katalis, poliester dapat mengeras pada suhu kamar. Resin poliester banyak mengandung monomer stiren sehingga suhu deformasi termal lebih rendah dari pada resin termoset lainnya dan ketahanan panas jangka panjang adalah kira-kira 110–140 °C (Bifel dkk., 2015). Resin poliester dibuat dari bahan asam tereftalat atau dimetil tereftalat dan monoetilen glikol. Poliester *thermosetting* umumnya berupa kopolimer poliester tak jenuh dengan stiren. Ketidakjenuhan poliester disebabkan oleh asam maleat dan asam *fumarate*. Ikatan rangkap pada poliester tak jenuh dengan stiren menghasilkan material *thermoset* struktur ikatan silang 3-D. Ikatan silang diawali oleh reaksi eksotermik oleh peroksida organik seperti benzoil peroksid. Poliester tak jenuh umumnya berupa material *casting*, resin laminasi *fiberglass*, filter non logam. Poliester tak jenuh dan *fiberglass* banyak digunakan untuk membuat perahu dan badan mobil. Resin poliester banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang menggunakan resin termoset, baik secara terpisah maupun dalam bentuk material komposit. Sifat resin ini adalah kaku dan getas. Resin ini mempunyai karakteristik yang khas yaitu dapat dibuat kaku dan fleksibel, transparan, dapat diwarnai, tahan air, tahan bahan kimia dan cuaca. Poliester umumnya memiliki densitas 1,2 hingga 1,5 kg/liter (Hartono, 2016).

Gambar 2.2 di berikut ini menunjukkan resin poliester.



Gambar 2. 2 Resin poliester.

2.3 Serbuk Kayu

Serbuk gergaji atau serutan kayu adalah produk sampingan dari kayu, diperoleh dari berbagai operasi pengerjaan kayu, misalnya, menggergaji, meratakan, mengampelas, dan menggiling kayu (Kataria and Garg, 2018). Ini adalah senyawa lignoselulosa yang relatif melimpah, murah, dan ditemukan dalam jumlah besar dan memiliki masalah pembuangan (Shukla *et al.*, 2002). Dalam dekade terakhir, sebagian besar digunakan di peternakan dan pabrik kertas, dan sisanya dibuang ke tanah sekitarnya tanpa pengolahan (Mallakpour *et al.*, 2021).

Menurut Strak and Berger (1997) serbuk kayu memiliki kelebihan sebagai *filler* dibandingkan dengan *filler* mineral seperti mika, kalsium karbonat, dan talk yaitu:

1. Temperatur proses lebih rendah (kurang dari 204 °C) dengan demikian mengurangi biaya energi.
2. Dapat terdegradasi secara alami.
3. Berat jenisnya jauh lebih rendah, sehingga biaya per volume lebih murah.
4. Gaya geseknya rendah sehingga tidak merusak peralatan pada proses pembuatan.
5. Berasal dari sumber yang dapat diperbarui.

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan serbuk kayu sebagai *filler* dalam pembuatan komposit adalah jenis kayu, ukuran serbuk, fraksi volume/berat, dan kandungan air. Untuk bentuk serat tidak begitu memengaruhi, yang berpengaruh adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi juga kandungan seratnya memengaruhi (Mawardi dan Hasrin, 2018).



Gambar 2. 3 Serbuk kayu.

Serbuk kayu yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2.3** di atas. Serbuk kayu mengandung komponen utama selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat ekstraktif kayu. Serbuk kayu merupakan bahan berpori, sehingga air mudah terserap dan mengisi pori-pori tersebut. Dimana sifat serbuk kayu yang higroskopik atau mudah menyerap air. Material kayu merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, dan tetap akan memegang peranan penting dalam material teknik pada umumnya. Oleh karena itu ketersediaan serbuk kayu gergaji akan tetap tersedia, jika kita ingin mengembangkan komposit partikel dalam penelitian ini.

2.4 Basalt

Batu basalt merupakan batuan yang dihasilkan akibat kegiatan vulkanik gunung berapi dan dapat ditemukan di aliran-aliran lahar. Batu basalt Scoria terbentuk

saat lava mencapai permukaan bumi sehingga suhu lava sekitar antara 1100 hingga 1250°C. Batu basalt adalah jenis batuan beku yang dibentuk dari pembentukan magma yang terjadi dipermukaan bumi dan bersifat basa. Batuan ini berasal dari pendinginan cepat lava dengan viskositas rendah yang kaya akan magnesium dan besi. Basalt terdiri dari mineral gelas vulkanik, piroksin, amfibol, plagioklas dan mineral hitam. Batuan ini bersifat keras dan masif serta bertekstur afanitik. Ukuran butir batuan basalt sangat halus dapat membuat mineral-mineral menjadi tidak terlihat (Tarmizi dkk., 2018). Bentuk batuan basalt ditunjukkan pada **Gambar 2.4** berikut.

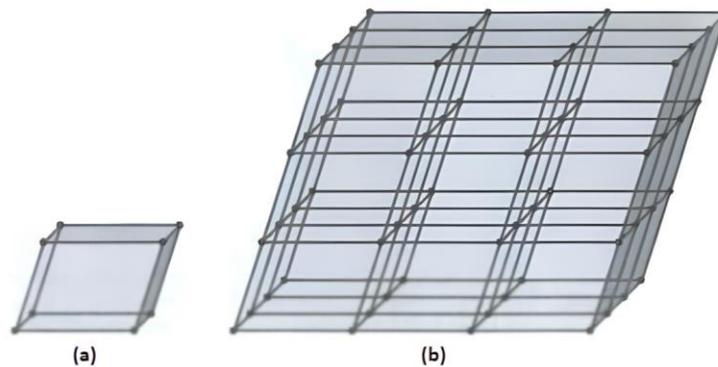


Gambar 2. 4 Batu basalt.

Salah satu basalt yang memiliki potensi sumber daya mineral adalah basalt skoria terutama di Provinsi Lampung yang memiliki bentuk berpori. Batuan ini mineralnya berbutir halus dan berwarna abu-abu atau hitam (Rajiman dan Vita, 2020). Batuan ini sebagian besar terdapat struktur ronggga-rongga yang tidak beraturan. Sebagian besar rongga tersebut terdiri dari klorit, zeolite dan kalsit (Hartini dkk., 2020).

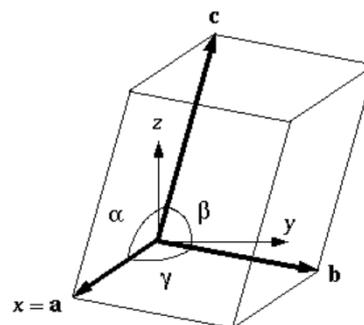
2.5 Sistem Kristal

Kristal digambarkan sebagai pola tiga dimensi yang strukturnya berulang. Polanya dapat berupa atom atau molekul, dan dapat pula ion-ion. Susunan atom-atom di dalam suatu kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal yang berulang pada padatan kristal disebut sel satuan (*unit cell*).



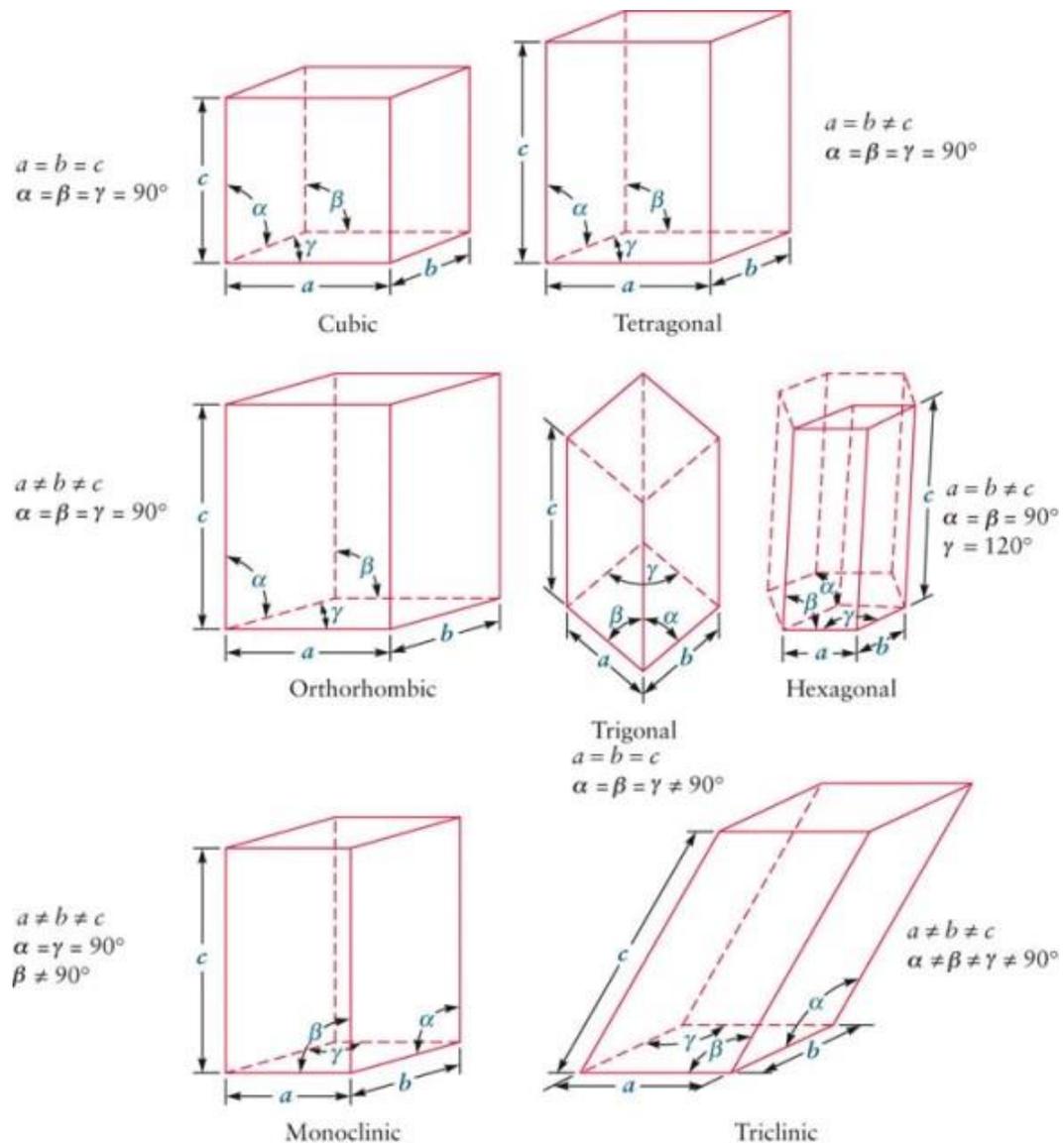
Gambar 2. 5 (a) Satu sel satuan, (b) Perluasan dalam tiga dimensi (Chang, 2005).

Gambar 2.5 menunjukkan sel satuan yang perluasannya dalam tiga dimensi. Setiap bola mewakili satu atom, ion, atau molekul yang disebut titik kisi (*lattice point*). Setiap titik kisi ditempati oleh satu atom. Kisi adalah susunan tiga dimensi dari titik (titik latis) yang identik dengan sekelilingnya. Sebuah unit sel adalah bagian terkecil dari latis. Seluruh bangunan latis dapat disusun dengan mengulang sebuah unit sel tanpa ada ruang kosong diantaranya. Sebuah unit sel dideskripsikan dengan tiga independen unit vektor yaitu a , b dan c .



Gambar 2. 6 Vektor abc .

Variable pada unit sel ada enam buah yaitu panjang dari unit sel yang direpresentasikan oleh tiga vektor (a , b , dan c) dan tiga independen sudut antara dua vektor (α , β , and γ), dimana α adalah sudut antara b dan c ; β adalah sudut antara c dan a ; γ adalah sudut antara a dan b . Setiap padatan kristal dapat digambarkan sebagai salah satu dari tujuh jenis sel satuan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7** berikut.



Gambar 2.7 Tujuh jenis sel satuan (Chang, 2005).

2.6 Karakterisasi Bio-Komposit

2.6.1 Mikroskop Optik

Mikroskop optik didirikan pada abad ke-17 oleh perintis seperti Anton van Leeuwenhoek. Secara umum, tujuan mikroskop optik adalah untuk memperbesar sudut pandang benda-benda kecil, dan pada saat itu teknik tersebut, secara harfiah, memberikan pandangan tentang dunia baru. Sejak saat itu mikroskop tidak pernah berhenti berkembang dalam banyak hal, dan bahkan saat ini mikroskop adalah bidang penelitian yang sangat aktif dengan seluruh konferensi didedikasikan untuk kemajuannya (Maurer *et al.*, 2011).



Gambar 2. 8 Mikroskop optik.

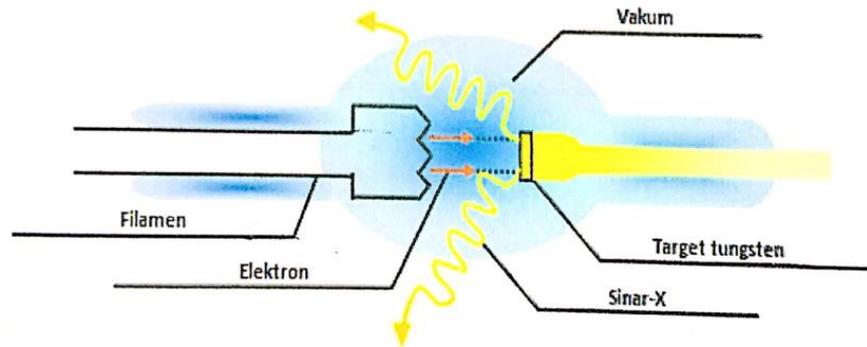
Hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik ini disebut struktur mikro. Variabel-variabel dari fitur-fitur struktural ini mencakup jumlah, ukuran, bentuk, dan distribusi. Ukuran ditentukan oleh waktu, suhu, dan pertimbangan-pertimbangan kinetik yang lain (Vlack, 2004).

Visualisasi optik adalah metode yang sangat efektif untuk memperoleh informasi morfologi suatu material. Gambar *real-time* berwarna asli dapat dikumpulkan dengan bantuan visualisasi optik yang bermanfaat dalam proses dinamis. Dibandingkan dengan mikroskop probe pemindaian dan mikroskop elektron, visualisasi dengan mikroskop optik bermanfaat karena kondisi pengoperasian

yang ringan, kesederhanaan, dan biaya yang rendah. Untuk memperoleh informasi tertentu tentang morfologi dan sifat lainnya dengan menggunakan mikroskop elektron, sampel harus berada dalam ruang hampa. Hal ini memiliki beberapa kelemahan, seperti kesulitan dalam melakukan beberapa operasi dan sampel menjadi rusak setelah perlakuan awal untuk mikroskop elektron. Sebaliknya, mikroskop optik memberikan peluang untuk manipulasi tanpa merusak atau merusak sampel dalam kondisi normal.

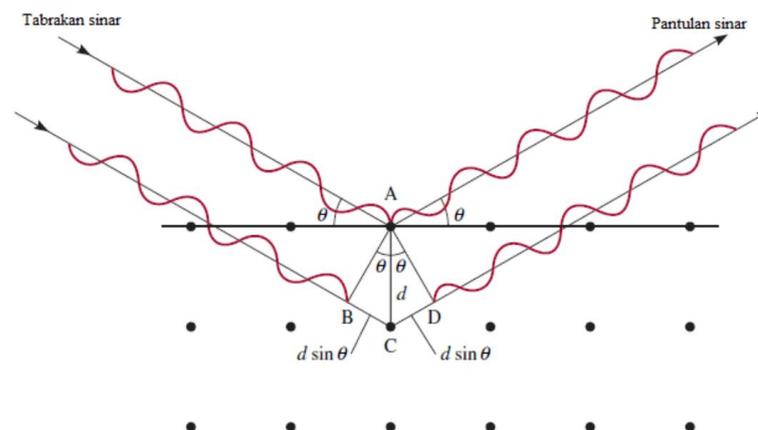
2.6.2 X-ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) merupakan metode analisa yang mampu mengidentifikasi karakteristik material kristalit yang dilihat dari struktur (kualitatif), fasa (kuantitatif), ataupun ukuran butir dari sebuah sampel dengan menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Sinar-X termasuk kedalam radiasi elektromagnetik yang sama seperti cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek. Sinar-X yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai dengan 2,5 Å. Sementara itu, panjang gelombang cahaya tampak diketahui berada dalam orde 6000 Å (Cullity and Stock, 2014). Sinar-X dihasilkan ketika elektron berkecepatan tinggi menumbuk sebuah logam target. Sinar-X dapat diproduksi di dalam sebuah wadah (tabung) kedap udara dengan cara memanaskan filamen sehingga mengeksitasi elektronnya yang kemudian dipercepat dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Karena elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakkan pada bagian anoda yang bermuatan positif (Setiabudi dkk., 2012). Proses pembentukan sinar-X ditunjukkan pada **Gambar 2.9** berikut.



Gambar 2. 9 Proses pembentukan Sinar-X (Setiabudi dkk, 2012).

Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang (λ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang (λ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan (d). Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada **Gambar 2.10** berikut.



Gambar 2. 10 Skema difraksi Sinar-X (Cullity, 1978).

Gambar 2.10 menunjukkan sinar yang datang dan menumbuk menumbuk pada titik bidang pertama kemudian dihamburkan oleh atom D. Sinar datang yang

kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom B, sinar ini menempuh jarak $AB + BC$ bila dua sinar tersebut parallel atau satu fasa (saling menguatkan) (Nazari *et al.*, 2018).

2.6.3 Densitas

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya (Sitindaon dan Harahap, 2014). Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Kepadatan suatu material memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik mekaniknya (Stasiak *et al.*, 2015). Satuan SI massa jenis adalah kg/m^3 .

$$D = W_s/V \quad (2.1)$$

Dimana: D = Densitas spesimen (kg/m^3)

W = Berat spesimen (kg)

V = Volume spesimen (m^3)

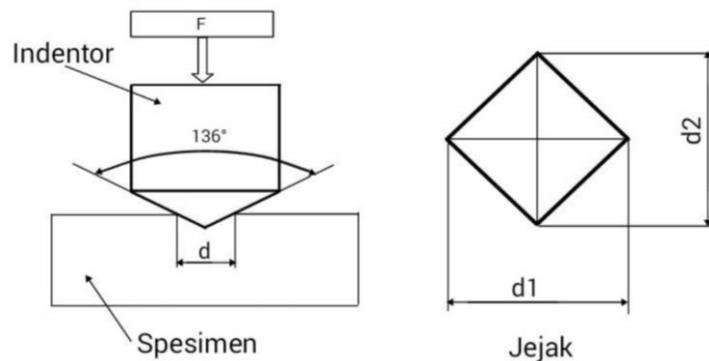
Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama (Landi dan Arijanto, 2017).

Tingkat densitas batuan dipengaruhi oleh jenis dan jumlah mineral serta persentasenya, porositas batuan, dan fluida pengisi rongga. Densitas batuan meliputi densitas asli (*natural density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan aslinya, densitas kering (*dry density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan susut

setelah batuan dipanaskan, dan densitas jenuh (*saturated density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan jenuh setelah batuan dijenuhkan dalam suatu fluida. Nilai densitas suatu batuan berkaitan dengan seberapa rapat material penyusun membentuk batuan tersebut (Ridha dan Darminto, 2016).

2.6.4 Kekerasan *Vickers*

Kekerasan *Vickers* didasarkan pada ketahanan yang ditawarkan oleh material untuk penetrasi piramida berlian dengan alas dan sudut persegi Antarmuka 136° , di bawah beban tertentu seperti pada **Gambar 2.11** berikut.



Gambar 2. 11 Skema pengujian kekerasan vickers (ASTM E384).

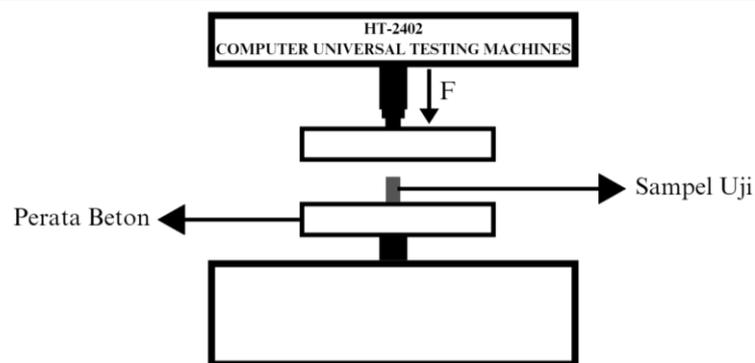
Seperti metode pengukuran kekerasan lainnya, juga menggunakan indenter yang meninggalkan kesan pada sampel uji material, biasa disebut sebagai lekukan. Kekerasan *Vickers* dinyatakan dalam satuan HV (*Hardness Vickers*). Nilai HV adalah produk dari beban yang diterapkan (F) dengan area cetak (A) yang tertinggal tubuh yang diuji. Hubungan ini, dinyatakan dalam bahasa matematika adalah sebagai berikut:

$$HV = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Biasanya, teknik uji kekerasan *Vickers* harus dicapai dengan penggunaan beban yang bervariasi dari 5 hingga 120 kgf, dan waktu aktuasi indenter pada sampel material harus antara 10 dan 15 detik. Parameter ini harus ditentukan menurut sifat mekanik material yang akan diuji (Moreira *et al.*, 2016).

2.6.5 Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan suatu metode pengujian dimana nilai besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (Manuahe dkk., 2014). Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Yuliansyah dan Cahya, 2019). Alat untuk mengukur kuat tekan diilustrasikan pada **Gambar 2.12** berikut.



Gambar 2. 12 Skema pengujian kuat tekan.

Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Dengan P sebagai kuat tekan (MPa), F sebagai beban (N) dan A sebagai luas permukaan (mm^2). Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besarnya

beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur (Wariyatno dan Yanuar, 2013).

2.6.6 Modulus Elastisitas atau Modulus Young

Pengujian modulus elastisitas pada beton adalah proses untuk menentukan seberapa kaku atau elastis beton tersebut. Modulus elastisitas menggambarkan kemampuan beton untuk mengembalikan bentuknya setelah diberi beban atau deformasi.

Ada beberapa metode yang umum digunakan untuk menguji modulus elastisitas pada beton. Berikut adalah dua metode yang sering digunakan:

1. Pengujian Tarik (*Tensile Testing*): Metode ini melibatkan penerapan beban tarik pada sampel beton. Sampel beton ditarik secara perlahan hingga terjadi deformasi atau retak. Dalam pengujian ini, dilakukan pengukuran gaya yang diterapkan dan perubahan deformasi pada sampel beton. Modulus elastisitas dapat dihitung berdasarkan hubungan antara gaya dan deformasi yang diamati.
2. Pengujian Kompresi (*Compression Testing*): Metode ini adalah metode yang paling umum digunakan dalam pengujian modulus elastisitas beton. Sampel beton ditempatkan di antara dua pelat datar atau alat uji yang disebut mesin uji tekan. Beban tekan diterapkan perlahan pada sampel beton hingga terjadi deformasi. Pengukuran gaya dan perubahan deformasi dilakukan selama pengujian. Modulus elastisitas dapat dihitung berdasarkan hubungan antara gaya dan deformasi yang diamati.

Pengujian modulus elastisitas pada beton biasanya dilakukan di laboratorium dengan peralatan khusus. Hasil pengujian ini penting dalam desain struktur beton,

karena modulus elastisitas digunakan dalam perhitungan deformasi struktur dan distribusi tegangan dalam elemen beton.

Penting untuk dicatat bahwa pengujian modulus elastisitas pada beton harus dilakukan dengan mematuhi standar pengujian yang relevan, seperti ASTM (*American Society for Testing and Materials*) atau Standar Nasional Indonesia. Pengujian modulus elastisitas pada beton adalah proses untuk menentukan sejauh mana beton mampu menahan gaya atau tegangan sebelum mengalami deformasi permanen. Modulus elastisitas, yang juga dikenal sebagai modulus Young atau modulus kekakuan, mengukur kekakuan atau kekakuan beton.

Ada beberapa metode yang umum digunakan untuk menguji modulus elastisitas pada beton. Berikut ini adalah dua metode yang sering digunakan:

1. Pengujian Tarik (*Tensile Testing*): Metode ini melibatkan pemberian tegangan tarik pada sampel beton dan mengukur regangan (deformasi) yang terjadi. Sampel beton ditarik menggunakan mesin uji tarik yang memberikan gaya secara bertahap. Dalam pengujian ini, hubungan antara tegangan dan regangan diukur. Modulus elastisitas dapat dihitung sebagai gradien garis lurus pada kurva tegangan-regangan pada rentang elastisitas beton.
2. Pengujian Kompresi (*Compression Testing*): Metode ini melibatkan pemberian gaya tekan pada sampel beton dan mengukur perubahan panjang atau deformasi yang terjadi. Sampel beton ditempatkan di dalam mesin uji kompresi yang memberikan tekanan bertahap pada sampel tersebut. Dalam pengujian ini, modulus elastisitas dapat dihitung sebagai rasio tegangan terhadap regangan di dalam rentang elastisitas beton.

Kedua metode ini dapat digunakan untuk menguji modulus elastisitas pada beton dengan mengacu pada standar pengujian yang telah ditetapkan, seperti ASTM C469 atau ISO 6784. Pengujian ini penting dalam merancang struktur beton yang aman dan efisien, serta memastikan bahwa beton yang digunakan memenuhi persyaratan kekuatan dan kekakuan yang diperlukan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2022 sampai dengan Maret 2023 di Laboratorium Non-Logam Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Secara administrasi daerah penelitian berada di Jalan Ir. Sutami Km.15, Tanjung Bintang, Sindang Sari, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung 35361.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Polishing Machine Unipol 1210*, *Vickers EN ISO 6507*, *Computer Universal Testing Machines HT-2402*, Mikroskop Optik Nikon Eclipse MA100, ayakan *mesh* 80, 100, 200 dan 325, Kuas, Neraca digital, Cetakan sampel, Lakban, Sendok pengaduk, Wadah pencampur, Tisu, Sarung tangan lateks, Label, *Cutter*, Amplas grid 280 dan 2000.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu campuran yang diperoleh dari industri penggergajian kayu, batuan basalt yang telah diperoleh dari Lampung Timur, dan resin poliester.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

1. Menyiapkan bahan yang akan digunakan, yaitu serbuk kayu dan batuan basalt.
2. Serbuk kayu yang sudah tidak digunakan, diayak dengan menggunakan *mesh* 80.
3. Batuan basalt yang telah melalui proses *ball mill* diayak dengan menggunakan *mesh* 100, 200 dan 325.

3.3.2 Pembuatan Cetakan

1. Menyiapkan alat yang akan digunakan, yaitu pipa paralon, lakban dan gunting.
2. Membuat cetakan sesuai dengan ASTM D-695 yang berbentuk silinder dengan diameter 12,7 mm dan tinggi 25,4 mm menggunakan pipa paralon.
3. Memberi alas pada bagian bawah cetakan dengan menggunakan lakban.

3.3.3 Pembuatan Sampel

1. Menyiapkan bahan, yaitu serbuk basalt dan serbuk kayu yang sudah diayak, resin serta katalis.
2. Menyiapkan bahan yang digunakan, yaitu timbangan digital, cetakan, wadah pencampur dan sendok pengaduk.
3. Menimbang bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi setiap sampel ditunjukkan pada **Tabel 3.1**. Berat total satu sampel sebanyak 42 g dengan hasil berupa 7 spesimen.

Tabel 3.1 Parameter sampel bio-komposit yang dibuat

Sampel	Ukuran Basalt (<i>mesh</i>)	Berat Poliester (%)	Berat Basalt (%)	Berat Serbuk Kayu (%)
Resin	-	100	-	-
Kayu	-	97,5	-	2,5
100 (1)	100	92,5	5	2,5
100 (2)	100	87,5	10	2,5
100 (3)	100	82,5	15	2,5
200 (1)	200	92,5	5	2,5
200 (2)	200	87,5	10	2,5
200 (3)	200	82,5	15	2,5
325 (1)	325	92,5	5	2,5
325 (2)	325	87,5	10	2,5
325 (3)	325	82,5	15	2,5

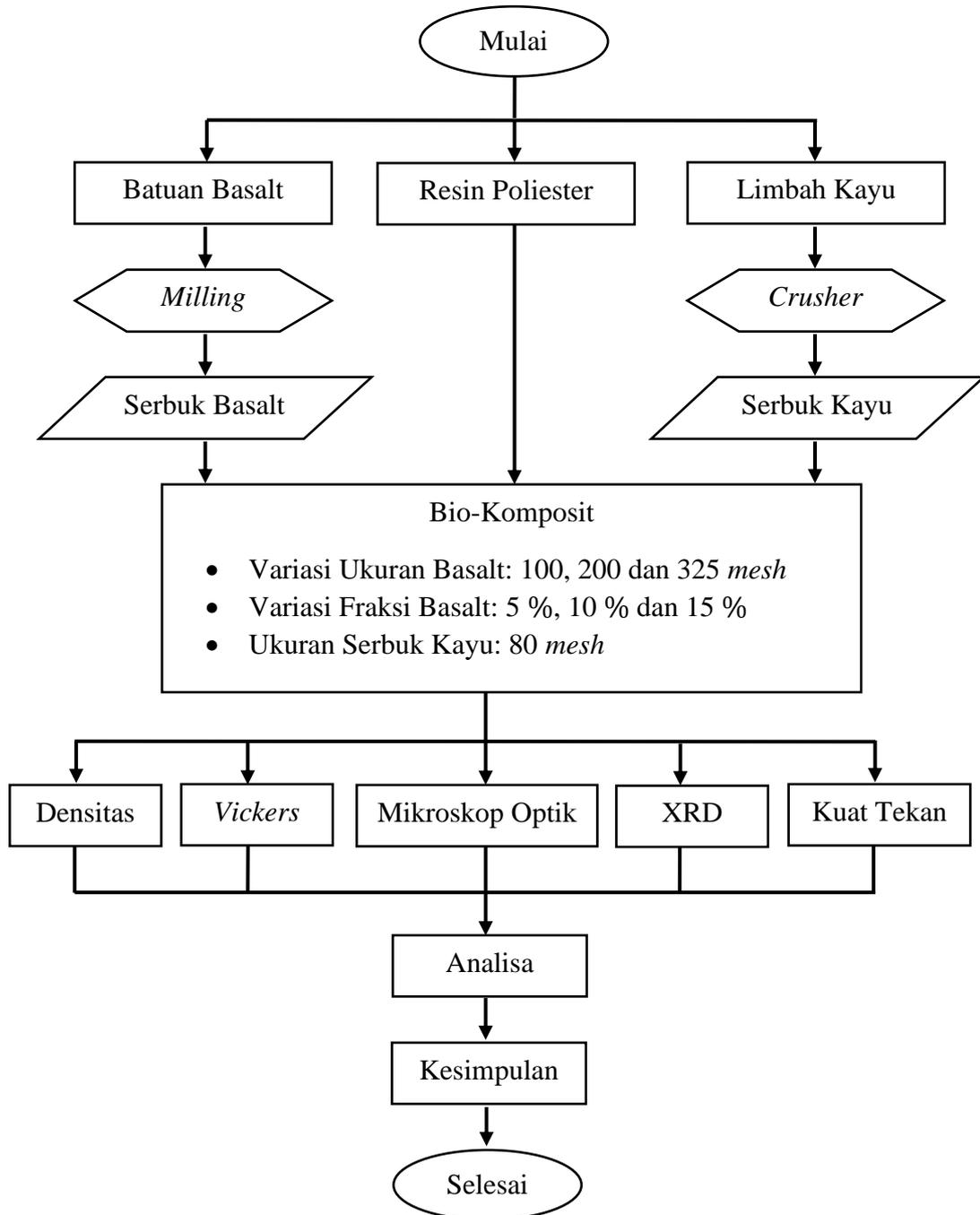
4. Menambahkan katalis sebanyak 3% ke dalam resin, lalu diaduk menggunakan sendok pengaduk.
5. Menambahkan bahan lainnya seperti serbuk kayu dan serbuk basalt ke dalam campuran resin dan katalis, lalu diaduk hingga homogen.
6. Menuang hasil pencampuran ke dalam cetakan.
7. Mengeringkan sampel dengan suhu ruang selama 1 hari.

3.3.4 Analisa

1. Melakukan pengukuran densitas.
2. Melakukan penghalusan permukaan sampel dengan amplas grid 280 dan 2000 menggunakan *Polishing Machine Unipol 1210*.
3. Pengujian sampel berupa Densitas, Kekerasan *Vickers*, Kuat Tekan, Modulus Young, Mikroskop Optik dan *X-Ray Diffraction (XRD)*.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan serbuk kayu sebagai penguat material bio-komposit menyebabkan nilai densitas, kekerasan, kuat tekan, dan modulus menurun. Sebaliknya, penggunaan basalt sebagai penguat tambahan dapat meningkatkan nilai densitas, kekerasan, kuat tekan dan modulus. Nilai densitas, kekerasan, kuat tekan dan modulus young untuk resin, resin dengan serbuk kayu, resin dengan serbuk kayu dan basalt berturut-turut yaitu 0,13248 kg/m³, 0,12865 kg/m³, 0,14191 kg/m³ untuk nilai densitas; 26,74 HV, 26,02 HV, 36,6 HV untuk nilai kekerasan; 116,95 MPa, 98,29 MPa, 137,66 MPa untuk nilai kuat tekan; dan 1831,23 MPa, 1394,30 MPa, 1947,72 MPa untuk nilai modulus young.
2. Ukuran partikel batuan basalt dan komposisi basalt yang digunakan berpengaruh terhadap sifat mekanik. Hal itu diketahui dengan meningkatnya nilai kekerasan, kuat tekan, dan modulus yang berjalan seiringan dengan meningkatnya ukuran *mesh* basalt dan komposisi basalt yang digunakan.

3. Formulasi terbaik dari material bio-komposit berpenguat serbuk kayu dan basalt yaitu dengan menggunakan komposisi basalt lebih banyak dan ukuran *mesh* basalt yang semakin besar.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk memperoleh produk bio-komposit dengan kualitas yang lebih baik, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan tambahan pada bahan baku sebelum mencampurkannya ke dalam resin dan katalis.
2. Melakukan penelitian mengenai komposisi waktu penyimpanan sebelum sampel dilakukan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusti, B., Rajagukguk, T. O., Sumardi, S., dan Hendronursito, Y. 2022. Pengaruh Fraksi Massa dan Ukuran Butir Basalt terhadap Sifat Mekanik Komposit Hibrid Serat Rotan. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*. Vol. 17. No. 2. Hal. 112-118.
- ASTM D1622. *Standart Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics*.
- ASTM E384. *Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Material*.
- ASTM E695. *Standart Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*.
- Atmika, I. K. A., Subagia, I. D. G. A., Surata, I. W., dan Sutantra, I. N. 2019. Hardness and Wear Rate of Basalt/Alumina/Shellfish Powder Reinforced Phenolic Resin Matrix Hybrid Composite Brake Lining Pads. *International Conference on Design, Energy, Materials and Manufacture*. Vol. 539. No. 1. Hal. 1-6.
- Bhagat Singh, P., Sangama Eswaran, R., Prem Kumar, D., dan Gnana Dileep, B. 2021. Effect of basalt powder in AA 5083 composite on microstructure and mechanical properties evolution. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 46. No. 9. Hal. 3517–3520.
- Bhagwan, D. A. 1980. *Analysis and Performance of Fiber Composite*. John Wiley & Sons. NewYork.
- Bifel, R. D. N., Maliwemu, E. U. K., dan Adoe, D. G. H. 2015. Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 2. No. 1. Hal. 61-68.
- Birawidha, D. C., Hendronursito, Y., Isnugroho, K., Amin, M., Muttaqi, M. A., Arista, B. R., dan Rajagukguk, T. O. 2022. Pengaruh Penggunaan Basalt Lebur Hasil Perlakuan Normalizing sebagai Bahan Dasar Papan Partikel. *Jurnal Litbang Industri*. Vol. 12. No. 1. Hal. 69-77.
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistik Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik.
- Chang, R. 2005. *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti*. Erlangga. Jakarta.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company Inc. USA.

- Cullity, B. D., and Stock, S. R. 2014. *Elements of X-Ray Diffraction Third Edition*. Pearson Education Limited. London.
- Dobiszewska, Magdalena., and Ahmet Beycioğlu. 2017. Investigating the Influence of Waste Basalt Powder on Selected Properties of Cement Paste and Mortar. *Materials Science and Engineering Journal*. Vol. 245. No.2. Hal. 1-10.
- Endriatno, N., Kadir, K., dan Alim, A. 2015. Analisis Sifat Mekanik Komposit Sandwich Serat Pelepah Pisang dengan Core Kayu Biti. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 6. No. 2. Hal. 1-6.
- Faisal., Shaleh, S.M., dan Isya, M. 2014. Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt dengan Aspal PEN. 60/70 dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4. *Jurnal Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*. Vol. 3 No. 3. Hal. 1-8.
- Gibson, R. F. 2016. *Principles of Composite Material Mechanics*. CRC Press. New York.
- Hartini, S., Ildrem S., Aton P., dan Dudi H. 2020. Penentuan Zona Alterasi dan Paleotemperatur Berdasarkan Kehadiran Mineral Alterasi pada Sumur PSR-1 Pantar, NTT. *Padjajaran Geoscience Journal*. Vol. 4. No. 1. Hal. 43-51.
- Hartono., Rifai M., dan Handoko. 2016. *Pengenalan Teknik Komposit*. Deepublish. Yogyakarta.
- Hendronursito, Y., Asep, A. S., Tumpal, O. R., Slamet, S., Yayat, I. S., Kusno, I., David, C. B., dan Muhammad, A. 2021. Pengaruh Sintering Serbuk Batuan Basalt sebagai Bahan Penguat pada Komposit Polyester terhadap Sifat Fisik dan Mekanik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vo. 12. No. 2. Hal. 391-399.
- Hendronursito, Y., Rajagukguk, T. O., Safii, R. N., Sofii, A., Isnugroho, K., Birawidha, D. C., Muhammad Amin and Al Muttaqii, M. 2020. Analysis of Aluminium Basalt Particulate Composite Using Stirring Casting Method Through Taguchi Method Approach. *Materials Science and Engineering*. Vol. 807. No. 1. Hal. 120.
- Hull, D. 1981. *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press. UK.
- Jamshaid, H., dan Rajesh, M. 2015. A Green Material from Rock: Basalt Fiber. *The Journal of The Textile Institute*. Vol. 107. No. 7. Hal. 923-937.
- Jokosisworo, S. 2009. Pengaruh Penggunaan Serat Kulit Rotan sebagai Penguat pada Komposit Polimer dengan Matriks Polyester Yukalac 157 terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk. *Jurnal Teknik*. Vol. 30. No. 3. Hal. 191-196.
- Kartini, R., Darmasetiawan, H., Karo, A. K., dan Sudirman, S. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 3. No. 3. Hal. 30-38.

- Kataria, N., and Garg, VK. 2018. Green Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles Loaded Sawdust Carbon for Cadmium(II) Removal from Water: Regeneration and Mechanism. *Chemosphere*. Vol. 208. No. 6. Hal. 818–28.
- Laksono, A. D., Basyaruddin., dan Adlina, N. 2019. Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Serat Alam Kayu Bangkirai (*Shorea Laevifolia* Endert) pada Sifat Mekanik Komposit dengan Matriks Poliester. *Jurnal Sains Terapan*. Vol. 5 No. 2. Hal. 60-66.
- Landi, T., dan Arijanto. 2017. Perancangan dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis LDPE (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5. No. 1. Hal. 1-8.
- Mallakpour, S., Sirous, F., and Hussain, C. M. 2021. Sawdust, a Versatile, Inexpensive, Readily Available Bio-Waste: From Mother Earth to Valuable Materials for Sustainable Remediation Technologies. *Advances in Colloid and Interface Science*. Vol. 295. Hal. 1-20.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., dan Windah, R. S. 2014. Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2. No. 6. Hal. 277-282.
- Mathew, F. L, and Rawlings, R. D. 1994. *Composite Materials: Engineering and Science*. Chapman & Hall. London.
- Maurer, C., Alexander, J., Stefan, B., and Monica, R. M. 2011. What Spatial Light Modulators can do for Optical Microscopy. *Journal Laser Photonics*. Vol. 5. No. 1 Hal. 81-101.
- Mawardi, I., dan Hasrin L. 2018. *Proses Manufaktur Plastik dan Komposit*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Meiwardari, Mutiara., dan Ida, Sriyanti. 2019. Analisis Struktur Heksagonal terhadap Bentuk Sarang Lebah. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*. Vol. 6. No. 1. Hal. 82-89.
- Moreira, F. D. L., Mauricio, N. K., Hemerson, F. A., Francisco, N. C. F., Marcelo, M. V. P., Victor, H. C. A., and Pedro, P. R. F. 2016. A Novel Vickers Hardness Measurement Technique Based on Adaptive Balloon Active Contour Method. *Expert Systems With Applications*. Vol. 45. Hal. 294-306.
- Muttaqi, M. A., Fauzul, K., dan Agung, E. H. 2022. Karakteristik Material Komposit Berbasis Batuan Basalt dan Dross Al. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 13. No. 1. Hal. 21-27
- Nazari, H., Naderi, K., and Nejad, F. M. 2018. Improving Aging Resistance and fatigue Performance of Asphalt Binder using Inorganic Nanoparticles. *Construction and Building Materials*. Vol. 170. Hal. 591-602.
- Pari., and H. Roliadi. 2004. Alternative Technology for The Utilization of Biomass Waste from Wood Industries. *Proceeding of The International Workshop on Better Utilization of Forest Biomass for Local Community*

and Environments. Resrearch and Development Center for Forest Products Technology. Bogor.

- Pari, G. 2002. *Industri Pengolahan Kayu Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah.*
- Pecas, P., Carvalho, H., Salman, H., and Leite, M. 2018. Natural Fibre Composites and Their Application: A Review. *Journal of Composites Science.* Vol. 2. No. 66. Hal. 1-20.
- Purba, R. E. S., Irwan., dan Nurmaidah. 2017. Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu sebagai Substitusi Campuran Bata Ringan Kedap Suara. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation.* Vol. 1. No. 2. Hal. 87-95.
- Rahayu M., B., Rajagukguk, T. O., Sumardi, S., dan Hendronursito, Y. 2022. Pengaruh Filler Serbuk Basalt dan Serat Rotan Tersusun Bi-Directional terhadap Sifat Mekanik Komposit Resin Polyester. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia.* Vol. 17. No. 1 Hal. 101-105.
- Rajiman., dan Ihda A. 2019. Pengaruh Penambahan Serbuk Batuan Basalt pada Komposisi Campuran Beton Menggunakan Ordinary Portland Cement (OPC) Ditinjau dari Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknologi Aplikasi Konstruksi.* Vol. 9. No. 1. Hal. 9-17.
- Rajiman., dan Setya, N. 2019. Tinjauan Kuat Tekan Beton Menggunakan Campuran Serbuk Batu Basalt sebagai Bahan Penambah Ordinary Portland Cement (OPC). *Jurnal Teknologi Aplikasi Konstruksi.* Vol. 8. No. 2. Hal. 170-178.
- Rajiman., dan Vita, L. 2019. Analisis Variasi Suhu Pemanasan Serbuk Batu Basalt sebagai Bahan Pengisi Ordinary Portland Cement terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain.* Vol. 7. No. 4. Hal. 515-524.
- Respati, S. M. B. 2008. Macam-Macam Mikroskop dan Cara Penggunaan. *Jurnal Momentum.* Vol. 4. No. 2. Hal. 42-44.
- Ridha, M., dan Darminto. 2016. Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batuan Apung Lombok dengan Variasi Lokasi Menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya.* Vol. 12. No. 3. Hal. 124-130.
- Sari, Nasmi H. 2018. *Material Teknik.* Penerbit Deepublish (Grup Penerbitan CV Budi Utama). Yogyakarta.
- Schwartz, M. M. 1984. *Composite Material Handbook.* 2 ed., McGraw-Hill. New York.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia.* UPI Press. Bandung.
- Sharma, V., Lal Meena, M., Kumar Chaudhary, A., and Kumar, M. 2021. Cenosphere Powder Filled Basalt Fiber Reinforced Epoxy Composite:

- Physical, Mechanical, and Thermal Conductivity Analysis. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 44. No. 6. Hal. 4984–4989.
- Shukla A, Zhang Y, Dubey P, Margrave JL, and Shukla, S. S. 2002. The Role of Sawdust in The Removal of Unwanted Materials from Water. *Journal Hazardous Materials*. Vol. 95. No. 1. Hal. 137–52.
- Sibilia and John, P. 1988. *A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysis*. VCH. New York.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).
- Sitindaon, D., dan Harahap, M. H. 2014. Pengaruh Penambahan Styrofoam pada Pembuatan Beton Ringan Menggunakan Pasir Merah Labuhan Batu Selatan. *Jurnal Einstein*. Vol. 2. No. 3. Hal. 14-19.
- Strak N . M., and Berger, M. J. 1997. Effect of Particle Size on Properties of Wood-Flour Reinforced Polypropylene Composites. *Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites Wisconsin: Forest Product Society*. Hal. 134-143.
- Stasiak M., Marek, M., Maciej, B., and Ewa G. 2015. Mechanical Properties of Sawdust and Woodchips. *Fuel Journal*. Vol. 159. Hal. 900-908.
- Suryanto, H. 2019. *Biokomposit Starch-Nanoclay: Sintesis dan Karakterisasi*. Penerbit Universitas Negeri Malang. Malang.
- Tarmizi., Sofyan, M. S., dan Muhammad I. 2018. Pengaruh Substitusi Semen Portland dan Fly Ash Batubara pada Filler Abu Batu terhadap AspHalt Concrete-Binder Course (AC-BC). *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1. No. 3. Hal. 749-760.
- Thomaz, W. de A., Miyaji, D. Y., dan Possan, E. 2021. Comparative Study of Dynamic and Static Young's Modulus of Concrete Containing Basaltic Aggregates. *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 15. No. 1. Hal. 1-17.
- Vlack, Lawrence H. Van. 2004. *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material, Edisi Ke-6*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Wariyatno, N. G., dan Yanuar, H. 2013. Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah sebagai Nilai Estimasi Kekuatan Sisa pada Beton Serat Kasa Aluminium Akibat Variasi Suhu. *Jurnal Dinamika Rekayasa*. Vol. 9. No. 1. Hal. 21-28.
- Widjojoko, L dan Rajiman. 2011. Kinerja Mortar Abu Batu Basalt Skoria dengan Menggunakan Semen Serbaguna Baturaja dan Superplasticiser Structuro 335. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 1. Hal. 79-87.
- Yuliansyah, F., dan Cahya, S. 2019. Analisa Variasi Ukuran Agregat Batu Basalt Scoria terhadap Hasil Uji Kuat Tekan Beton Mutu K-250. *Jurnal Teknika Sains*. Vol. 4. No. 2. Hal. 1-10.