

USULAN
PENELITIAN INTERNAL DOSEN
Progam Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik



**Pengaruh Penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap
Struktur Molekul dan Kekerasan pada Filamen Polylactid Acid
(PLA)**

Tim Peneliti:

**Amalia Ma'rifatul Maghfiroh, S.Si., M.T.
Putri Puja Pratiwi
Ocha Silvia Kencana**

Dibiayai oleh:

Universitas Bojonegoro

Periode 2 Tahun Anggaran 2024/2025

UNIVERSITAS BOJONEGORO

2025

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

- 1 Judul Penelitian** : Pengaruh Penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap Struktur Molekul dan Kekerasan pada Filamen Polylactid Acid (PLA)
- 2 Tema** : Sistem Manufaktur dan Jasa
- 3 Ketua Peneliti**
a. Nama Peneliti : Amalia Ma'rifatul Maghfiroh, S.Si., M.T.
b. NIDN : 07 1611 9201
c. Program Studi : Teknik Industri
d. E-mail : amalia@unigoro.ac.id
e. Bidang Keilmuan : Rekayasa Material
- 4 Anggota Peneliti 1**
a. Nama : Putri Puja Pratiwi
(Dosen/Mahasiswa)
b. NIDN/NIM : 23262011046
c. Program Studi : Teknik Industri
d. E-mail : ppuja8839@gmail.com
e. Bidang Keilmuan : Teknik Industri
- 5 Anggota Peneliti 2**
a. Nama : Ocha Silvia Kencana
(Dosen/Mahasiswa)
b. NIDN/NIM : 23262011043
c. Program Studi : Teknik Industri
d. E-mail : silviaocha5@gmail.com
e. Bidang Keilmuan : Teknik Industri
- 6 Jangka Waktu Penelitian** : 6 Bulan
- 7 Lokasi Penelitian** : Universitas Bojonegoro
- 8 Dana Diusulkan** : Rp 3.500.000,-

Bojonegoro, 4 Mei 2025

Mengetahui,

Ketua LPPM Universitas Bojonegoro



Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN. 07 2108 8601

Ketua Penelitian

Amalia Ma'rifatul Maghfiroh, S.Si., M.T.
NIDN. 0716119201

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa saya panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan proposal penelitian ini sebaik-baiknya. Proposal penelitian ini berjudul **“Pengaruh Penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap Struktur Molekul dan Kekerasan pada Filamen Polylactid Acid (PLA)”** ini disusun untuk memenuhi salah satu tridharma perguruan tinggi yaitu penelitian. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa penelitian sampai pembuatan proposal ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam pembuatan proposal penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu tentang karakterisasi material ke depannya.

Bojonegoro, 05 November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	1
KATA PENGANTAR	2
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR TABEL.....	4
DAFTAR GAMBAR	5
RINGKASAN	6
BAB I.....	7
PENDAHULUAN	7
1.1 Latar Belakang	7
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
BAB II.....	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Landasan Teori.....	9
2.2 Penelitian Terdahulu	24
2.3 Kerangka Konsep Penelitian.....	26
BAB III	27
METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	27
3.2 Lokasi Penelitian.....	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.4 Desain Wingspan	Error! Bookmark not defined.
3.5 Variabel Penelitian.....	27
3.6 Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV	29
RENCANA LUARAN DAN TARGET CAPAIAN.....	29
BAB V	30
JADWAL DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA.....	30
5.1 Jadwal Penelitian	30
5.2 Rencana Anggaran Biaya.....	30
DAFTAR PUSTAKA	31

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

RINGKASAN

Dalam industri penerbangan, material komposit yang ringan dan kuat menjadi komponen penting dalam desain pesawat, terutama pada bagian wingspan (rentang sayap) yang berfungsi untuk menghasilkan gaya angkat. Saat ini, berbagai bahan digunakan untuk pembuatan wingspan seperti aluminium, serat karbon, dan bahan komposit lainnya. Namun, harga bahan-bahan tersebut relatif mahal dan proses produksinya membutuhkan energi yang besar. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam pemanfaatan bahan yang lebih murah, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan. Buah gambas (*Luffa cylindrica*), yang dikenal di Indonesia sebagai sayuran, memiliki potensi sebagai bahan alternatif dalam pembuatan wingspan pesawat. Struktur dalam buah gambas yang berbentuk serat alami dengan densitas rendah, namun cukup kuat, menjadikannya menarik untuk diteliti lebih lanjut. Selain itu, gambas adalah tanaman yang mudah tumbuh di berbagai wilayah Indonesia, sehingga dapat dijadikan bahan baku yang berkelanjutan dan ekonomis.

Kata Kunci: Gambas, Komposit, UAV, Uji Impak, Uji Tarik.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polylactid Acid (PLA) merupakan salah satu jenis polimer biodegradable yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam bidang pencetakan tiga dimensi (3D printing) dan kemasan ramah lingkungan. PLA memiliki sifat mekanik yang cukup baik, ramah lingkungan, dan dapat diperoleh dari sumber daya terbarukan seperti pati jagung atau tebu. Namun, PLA juga memiliki kelemahan seperti kerapuhan dan ketahanan termal yang rendah, sehingga membatasi penggunaannya pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan mekanik tinggi.

Seiring berkembangnya teknologi material, penambahan bahan penguat (filler) ke dalam matriks polimer menjadi salah satu strategi yang umum dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik suatu material. Salah satu bahan penguat yang sangat potensial adalah **Carbon Nano Tube (CNT)**. CNT memiliki kekuatan mekanik, modulus elastisitas, dan konduktivitas termal yang sangat tinggi, serta struktur molekul yang unik dengan perbandingan panjang terhadap diameter yang ekstrem. Kombinasi antara PLA dan CNT diharapkan dapat menghasilkan material komposit yang memiliki kekuatan dan ketahanan yang lebih baik dibandingkan PLA murni.

Namun demikian, penambahan CNT ke dalam PLA tidak hanya mempengaruhi kekuatan mekaniknya, tetapi juga dapat memodifikasi struktur molekul dari PLA itu sendiri. Interaksi antara molekul PLA dan CNT dapat menyebabkan perubahan sifat kristalin, orientasi rantai polimer, dan distribusi ikatan antar molekul, yang pada akhirnya akan mempengaruhi karakteristik fisis dan mekanis dari filamen hasil komposit. Oleh karena itu, penting untuk melakukan kajian terhadap bagaimana pengaruh penambahan CNT terhadap **struktur molekul** dan **kekerasan** dari PLA, khususnya pada bentuk filamen yang umum digunakan dalam pencetakan 3D.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan CNT terhadap struktur molekul dan kekerasan filamen PLA. Dengan memahami

hubungan antara kandungan CNT dan sifat hasil komposit, diharapkan dapat ditemukan formulasi material yang optimal untuk aplikasi yang membutuhkan filamen PLA berkekuatan tinggi namun tetap ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap struktur molekul pada filamen PLA?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap kekerasan pada filamen PLA?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap struktur molekul pada filamen PLA.
2. Mengetahui pengaruh penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap kekerasan pada filamen PLA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain: memberikan data terkait pengaruh penambahan Carbon Nano Tube (CNT) terhadap struktur molekul dan kekerasan pada filamen PLA.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Polylactid Acid (PLA)

PLA yang juga disebut sebagai poli asam laktat, adalah komponen polimer *biodegradable* yang berasal dari asam laktat. PLA diklasifikasikan sebagai poliester alifatik karena dapat terdegradasi secara alami oleh lingkungan. PLA biasanya dibuat dari bahan baku pati seperti jagung, tebu dan bahan lain. Karena terdiri dari monomer-monomer asam laktat, PLA juga dikenal sebagai bahan termoplastik.

PLA (*Polylactic acid*) adalah polilaktat polimer alifatik yang berasal dari laktat (asam propionat 2-hidroksi) dan dapat diproduksi melalui fermentasi karbohidrat atau sintesis kimiawi. PLA termasuk bioplastik dan berasal dari biomassa daya terbarukan seperti pati jagung atau tebu. Kelebihan dibanding jenis plastik berbasis minyak konvensional yaitu plastik jenis PLA dapat terdegradasi secara alami oleh lingkungan. Pada saat ini pla telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan pencetakan 3d printing.



Gambar 2. 1 Filamen PLA

Tabel 2. 1 Spesifikasi filamen PLA

Material	PLA
Diamater	1.75 mm
Diameter toleransi	0.02 mm
Printing temperature	190 °C
Bed temperature	60 °C - 80 °C
Print speed	50 – 100 mm/s
Berat bersih	1 kg

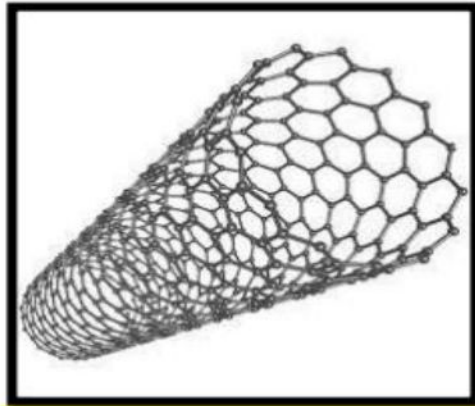
Carbon Nano Tube (CNT)

Carbon nanotube (CNT) ditemukan pertama kali oleh Sumio lijima pada tahun 1991 dan upaya pertamanya untuk mensintesis CNT berdinding banyak yang dilakukan dengan metode penguapan busur sederhana. CNT disusun dalam segi enam dan Pentagon yang terdiri dari atom karbon dengan diameter 3-15 nm. Nama ini diambil dari ukurannya dimana ukuran CNT beberapa nanometer. Struktur CNT adalah struktur silinder berongga, yang terbentuk dari lembaran graphene yang digulung dengan arah gulung yang berbeda-beda.

Ilmu nano adalah studi fenomena dan manipulasi bahan pada skala atom, molekul dan makro molekul, dimana sifat-sifat bahan sangat berbeda dibandingkan bahan tersebut pada skala yang lebih besar, molekulnya yang berukuran antara 1 hingga 100 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), Bahan berstruktur nano merupakan bahan yang memiliki paling tidak salah satu dimensinya (panjang, lebar, atau tinggi). *Carbon nanotube* merupakan salah satu bidang penelitian yang menarik dalam ilmu pengetahuan modern.

CNT secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu CNT berdinding tunggal (*single-walled CNT* atau SWNT) dan CNT berdinding banyak (*multi-walled CNT* atau MWNT).

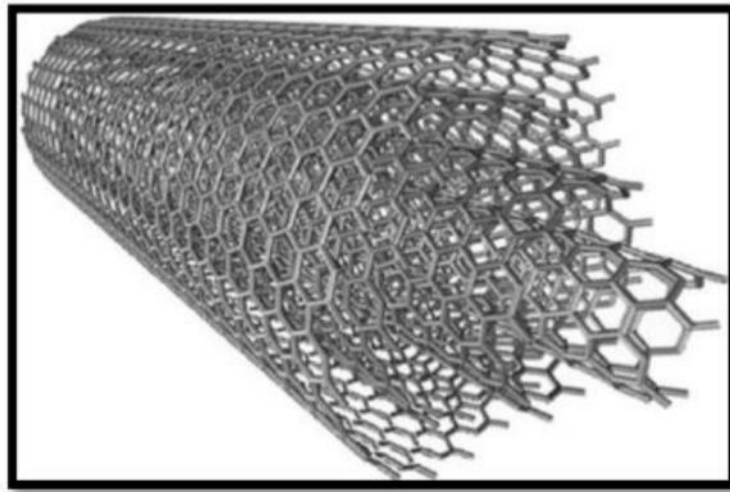
1. *Single Walled Nanotubes (SWNT)*



Gambar 2. 2 Single Walled Nanotubes (SWNT)

Struktur ini memiliki diameter kurang lebih 1 nanometer dan memiliki panjang hingga ribuan kali dari diameternya. Struktur SWNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (disebut *graphene*) yang tergulung. Umumnya SWNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur *tube* dibuka. SWNT memiliki sifat keelektrikan yang tidak dimiliki oleh struktur MWNT. Hal ini memungkinkan pengembangan struktur SWNT menjadi nanowire karena SWNT dapat menjadi konduktor yang baik. Selain itu SWNT telah dikembangkan sebagai pengganti dari *field effect transistors* (FET) dalam skala nano. Hal ini karena sifat SWNT yang dapat bersifat sebagai n- FET juga p-FET ketika bereaksi terhadap oksigen. Karena dapat memiliki sifat sebagai n-FET dan p-FET maka SWNT dapat difungsikan sebagai logic gate.

2. *Multi Walled Nanotubes (MWNT)*



Gambar 2. 3 Multi Walled Nanotubes (MWNT)

MWNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWNT tersusun oleh beberapa SWNT dengan berbeda diameter. MWNT terbentuk dari 2 sampai 30 lapisan struktur grafit (*graphene*) yang tergulung membentuk silinder dengan diameter 10-5- nm dan panjang lebih dari 10 mikrometer (MWNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWNT. Pada MWNT yang hanya memiliki 2 lapis dinding (*Double-Walled Carbon Nanotubes-DWNT*) memiliki sifat yang penting karena memiliki sifat yang menyerupai SWNT dengan chemical resistance yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada SWNT hanya memiliki 1 lapis dinding sehingga bilamana terdapat ikatan C=C yang rusak maka akan menghasilkan lubang di SWNT dan hal ini akan mengubah sifat mekanik dan elektrik dari ikatan SWNT tersebut. Sedangkan pada DWNT masih terdapat 1 lapisan lagi di dalam yang akan mempertahankan sifatnya.

Komposit Polimer

Material komposit adalah bahan struktural yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang digabungkan pada tingkat makroskopik dan tidak larut satu sama lain. Komposit merupakan sistem multi fasa yang tersusun atas bahan matriks dan bahan penguat. Bahan matriks adalah fase kontinu dan penguat merupakan fase

terdispersi. Bahan penguat dapat berupa serat, partikel atau serpihan. Komposit dengan matriks polimer merupakan material yang menggunakan polimer sebagai matriks dan serat sebagai penguat. Serat yang umum digunakan dalam material komposit polimer berpenguat serat adalah serat gelas, serat karbon dan serat organik lainnya. Biasanya, kekuatan dan kekakuan serat yang digunakan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dan kekakuan matriks. Bahan matriks harus memiliki sifat adhesive yang baik terhadap serat sehingga mampu mengikat serat secara kuat dan mampu mentransfer beban yang diterima komposit kepada serat. Pada material komposit, performa dari matriks, performa serat serta sifat antara muka antara matriks dan serat akan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap sifat dari material komposit.

Komposit polimer adalah material hasil penggabungan dua atau lebih bahan yang memiliki sifat fisik atau kimia berbeda, di mana salah satu komponennya berupa matriks polimer yang diperkuat dengan bahan penguat (filler) seperti serat alam, serat sintetis, atau partikel. Tujuan dari penggabungan ini adalah untuk menghasilkan material baru yang memiliki sifat mekanik, termal, atau kimia yang lebih unggul dibandingkan dengan masing-masing bahan penyusunnya secara terpisah.

Komposit polimer terdiri dari dua komponen utama:

- **Matriks Polimer:** Berfungsi sebagai pengikat dan pelindung serat, serta mendistribusikan beban ke seluruh material. Matriks dapat berupa polimer termoset (seperti resin epoksi dan polyester) atau termoplastik (seperti polipropilena dan polietilena).
- **Penguat (Filler):** Berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan aus komposit. Penguat bisa berupa serat kaca, serat karbon, maupun serat alami seperti serat gambas (luffa), rami, dan kenaf.

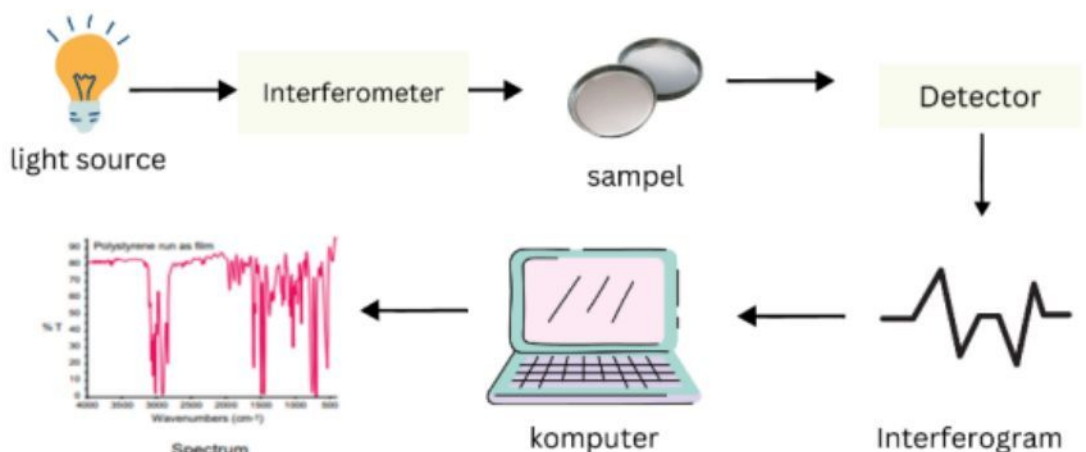
Komposit polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis penguatnya, antara lain:

- **Komposit Serat Panjang:** Memiliki serat kontinu yang memberikan kekuatan tinggi, biasanya digunakan pada struktur aeronautika dan otomotif.

- **Komposit Serat Pendek atau Acak:** Lebih mudah diproses dan memiliki biaya produksi lebih rendah, cocok untuk aplikasi non-struktural.
- **Komposit Partikulat:** Menggunakan penguat berupa partikel kecil, digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus.

FTIR

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum yang dihasilkan dengan menggunakan bantuan inframerah. Alat ini dapat mengidentifikasi senyawa organik yang terdapat pada sampel karena transmitansi cahaya dan pengukuran intensitas cahaya yang membuat spektrum menjadi kompleks. Prinsip kerja FTIR dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 4 Pinsip Kerja FTIR

Prinsip kerja dari FTIR yaitu pengiriman radiasi inframerah ke sampel dengan menggunakan pelarut referensi. Lalu inframerah akan diserap oleh sampel dan ditransmisikan. sinar inframerah terus menuju ke detektor dan kemudian fungsi *trans fourier* akan digunakan untuk menghasilkan data kedalam spektrum atau dalam bentuk puncak-puncak.

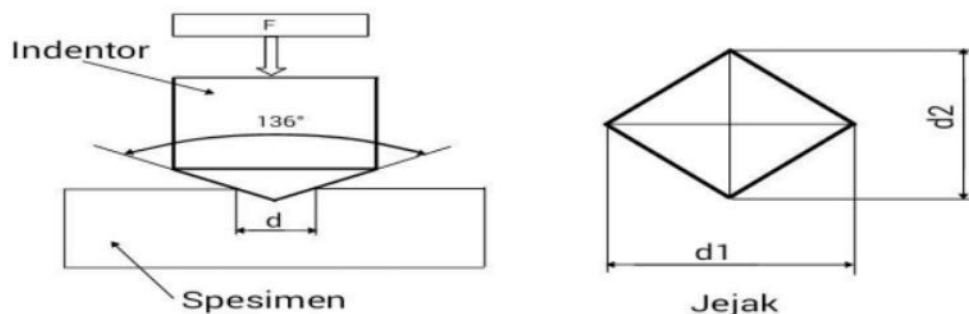
Uji Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi

permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam (Dieter 1987). Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: (1) Kekerasan goresan (scratch hardness); (2) Kekerasan lekukan (indentation hardness); (3) Kekerasan pantulan (rebound). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop, dan sebagainya.

Pengujian Kekerasan dengan Metode Vicker

Metode pengujian kekerasan Vickers dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° (Adityatama 2017). Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.

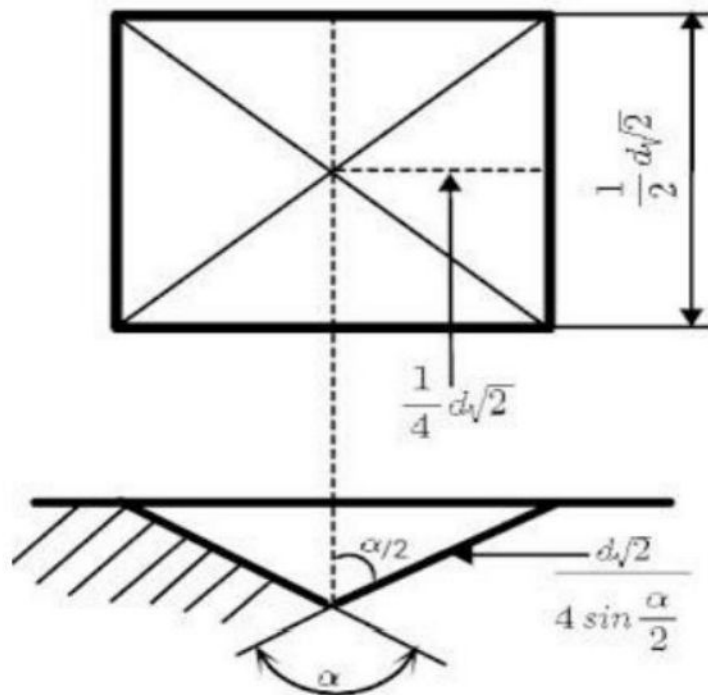


Gambar Jejak yang dihasilkan oleh penekanan indenter pada benda uji

Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak tersebut harus diukur terlebih dahulu dengan memakai mikroskop. Angka kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan jejak.

$$HV = \frac{P}{A}$$

Jika d merupakan diagonal rata-rata dari jejak, maka luas permukaan jejak dapat ditentukan sebagai berikut.



Gambar Luas Permukaan Jejak

$$a = 4 \frac{1}{2} d \sqrt{2x \frac{1}{2} \left(\frac{d\sqrt{2}}{4 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)}$$

$$a = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}$$

Jadi angka kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan rumus

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}}$$

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2}$$

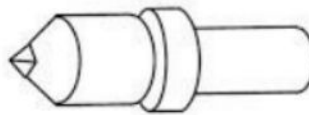
Dengan : P = beban yang digunakan (kg)

D = panjang diagonal rata-rata (mm)

α = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan Vickers berkisar antara 1 kgf sampai 120 kgf, dan beban uji yang umum digunakan adalah

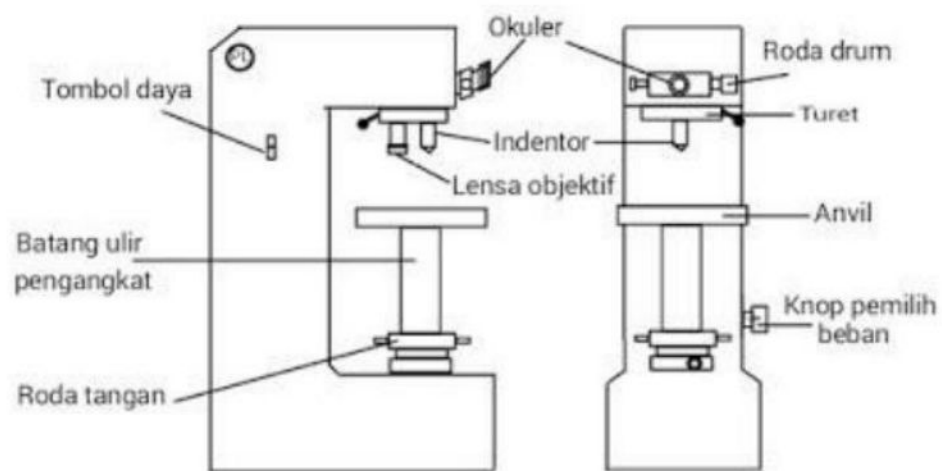
5, 10, 30 dan 50 kgf. Sedangkan waktu penerapan beban uji (dwell time) standar biasanya dilaksanakan selama 10 -15 detik. Di dalam pengujian kekerasan Vickers perlu diperhatikan mengenai jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir spesimen, di mana menurut standar ASTM adalah sebesar 2,5 kali diagonal jejak. Dan jarak minimal antara jejak-jejak yang berdekatan juga 2,5 kali diagonal jejak. Sedangkan menurut standar ISO, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir benda uji adalah 2,5 d untuk baja dan paduan tembaga dan 3 d untuk logam-logam ringan, sementara jarak minimal antara jejak adalah 3 d untuk baja dan paduan tembaga, dan 6 d untuk logam-logam ringan.



Gambar Indentor intan berbentuk piramid

Berbeda dengan pengujian kekerasan Brinell dan pengujian kekerasan Rockwell yang menggunakan lebih dari satu jenis atau ukuran indentor, pengujian kekerasan Vickers hanya menggunakan satu jenis indentor, yaitu indentor intan berbentuk piramid yang dapat digunakan untuk menguji hampir semua jenis logam mulai dari yang lunak hingga yang keras.

Ada beberapa jenis mesin yang digunakan untuk melaksanakan pengujian kekerasan Vickers, seperti mesin Vickers dengan tenaga hidrolik, mesin Vickers mekanis, mesin Vickers digital, mesin Vickers semi otomatis, dan mesin Vickers otomatis penuh. Salah satu jenis mesin Vickers mekanis diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar Mesin pengujian Vickers

Pada umumnya ada 3 jenis bentuk jejak (lekukan) yang dihasilkan oleh penekanan indentor, yaitu bentuk persegi sempurna, bentuk bantal dan jejak berbentuk tong.



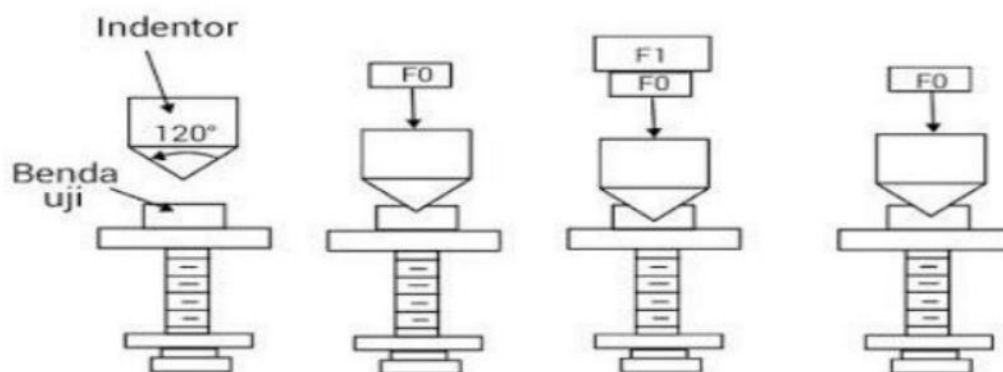
Gambar Bentuk-bentuk jejak

Jejak dengan bentuk persegi dihasilkan oleh indentor intan berbentuk piramid yang sempurna. Jejak berbentuk bantal dihasilkan karena terjadinya pengerutan logam di sekitar permukaan. Dan jejak dengan bentuk tong umumnya didapatkan pada logam-logam yang dikerjakan dingin (cold working) sehingga menghasilkan bentuk bubungan. Pada pelaksanaan pengujian kekerasan material dengan metode Vickers, maka benda yang akan diuji harus memiliki permukaan yang rata, halus dan bersih yang bebas dari cat, kerak, oksida, minyak dan kotoran lainnya. Untuk mendapatkan kualitas permukaan spesimen seperti ini, umumnya dicapai dengan proses penggerindaan dan pemolesan. Seperti halnya pengujian kekerasan Brinell, di mana jika ukuran jejak semakin kecil, maka kekerasan benda

uji juga semakin keras dan sebaliknya. Hal tersebut berlaku juga pada pengujian kekerasan Vickers. Pengujian kekerasan Vickers tidak cocok untuk menguji material yang tidak homogen, seperti besi tuang.

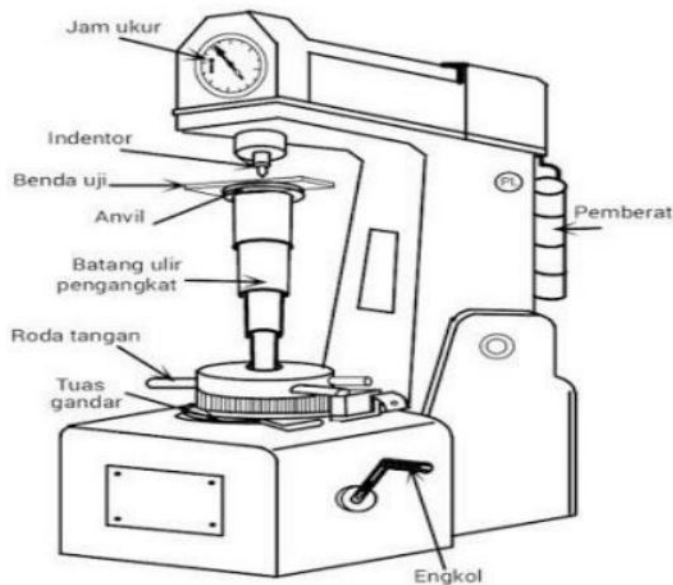
Pengujian Kekerasan Bahan dengan Metode Rockwell

Pengujian kekerasan Rockwell merupakan salah satu pengujian kekerasan bahan yang banyak digunakan, hal ini dikarenakan pengujian kekerasan Rockwell yang : sederhana, cepat, tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak. Pengujian kekerasan Rockwell dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indenter. Penekanan indenter ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.



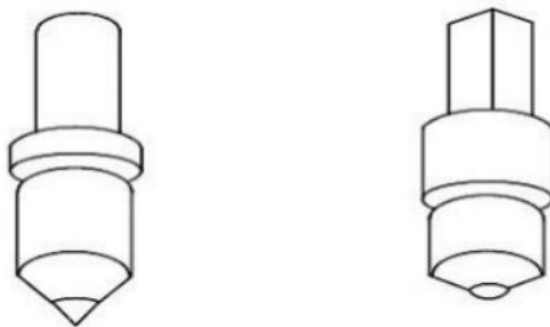
Gambar Proses Pengujian Kekerasan Rockwell

Besarnya beban minor ini adalah 10 kgf sedangkan besarnya beban utama biasanya adalah 50 kgf, 90 kgf, atau 140 kgf. Penerapan beban minor pada hakekatnya dimaksudkan untuk membantu mendudukan indenter di dalam benda uji (spesimen) dan menghilangkan pengaruh dari penyimpangan permukaan sehingga menciptakan permukaan spesimen yang siap untuk menerima beban utama. Dengan demikian permukaan benda uji tidak perlu dibuat dengan sehalus dan selicin mungkin.



Gambar Mesin Rockwell Manual

Ada dua jenis indentor yang digunakan pada pengujian kekerasan Rockwell, yaitu intan berbentuk kerucut yang memiliki sudut puncak 120° di mana bagian ujungnya sedikit dibulatkan dengan jari-jari 0,2 mm dan indentor bola yang terbuat dari baja yang dikeraskan atau dari tungsten karbida yang memiliki diameter $1/16"$, $1/8"$, $1/4"$, dan diameter $1/2"$. Indentor kerucut intan sering disebut juga sebagai 'Brale' (Hutauruk Panangian 2014).



Gambar Indentor intan dan indentor bola

Indentor kerucut intan pada umumnya digunakan untuk menguji material-material yang keras. Sementara indentor bola baja sering digunakan untuk menguji kekerasan material-material yang lebih lunak.

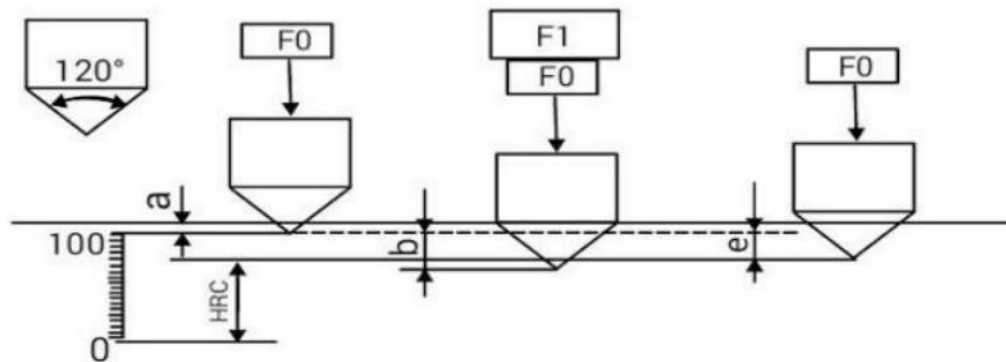
Berbeda dengan pengujian kekerasan Brinell dan Vickers yang mengukur luas dari jejak, pada pengujian kekerasan Rockwell yang diukur adalah kedalaman jejak hasil penetrasi indenter. Dalam hal ini, seberapa jauh indenter bergerak turun secara vertikal ketika melakukan penetrasi. Skala pada jam ukur (dial gage) mesin Rockwell terdiri dari 100 pembagian, masing-masing pembagian sama dengan kedalaman penetrasi sejauh 0,002 mm. Pada pengujian kekerasan bahan dengan metode Rockwell, kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan dari penerapan dan pelepasan beban utama dipakai untuk menentukan angka kekerasan Rockwell, sebagai berikut,

$$HR = E - e$$

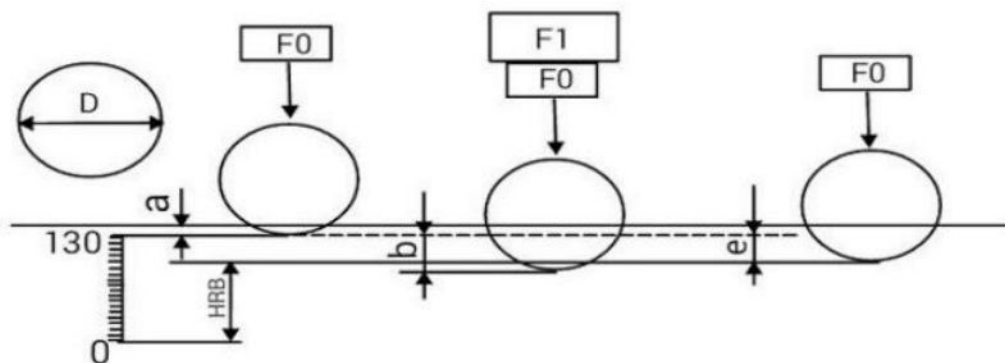
Dimana:

E = konstanta dengan nilai 100 untuk indenter intan dan 130 untuk indenter bola.

e = kedalaman penetrasi permanen karena beban utama (FI) diukur dengan satuan 0,002 mm. jadi $e = h/0,002$.



Pengujian kekerasan Rockwell dengan indenter kerucut intan



Pengujian kekerasan Rockwell dengan indenter bola

Gambar Pengujian kekerasan Rockwell memakai indenter intan dan indenter bola

Keterangan:

F0 = beban pendahuluan (beban minor)

F1 = beban utama (beban mayor)

a = kedalaman penetrasi oleh beban minor

b = kedalaman penetrasi oleh beban total ($F_0 + F_1$)

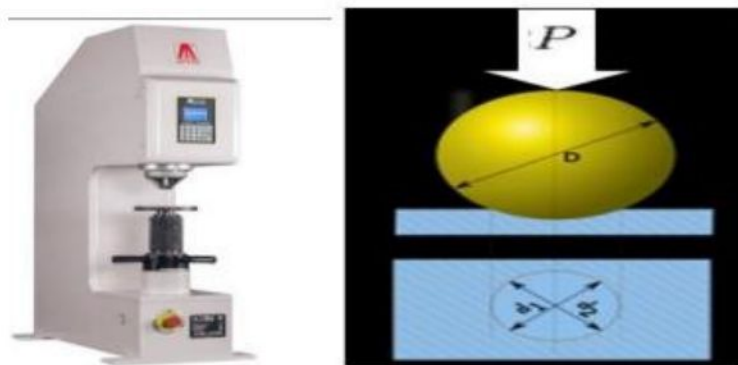
e = kedalaman penetrasi setelah beban utama dilepaskan

Cara penulisan nilai kekerasan Rockwell adalah dengan menulis angka kekerasannya lalu diikuti dengan huruf HR yang artinya kekerasan Rockwell (Hardness Rockwell) dan pembubuhan nama skala yang digunakan dalam

pengujian, seperti HRA untuk penggunaan skala A, HRB untuk penggunaan skala B dan seterusnya.

Uji Kekerasan Brinell

Metode uji kekerasan ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya (J.A. Brinell 1900). Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan yang akan dibuat lekukan harus relatif halus, rata dan bersih dari debu atau kerak.



Gambar Pengujian Brinell

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - d^2)}$$

Dimana:

BHN = Brinell Hardnes

P = beban yang diberikan (kgf)

d = diameter intendor (mm)

D = diameter lekukan rata-rata hasil indentasi

2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah penelitian terdahulu yang sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

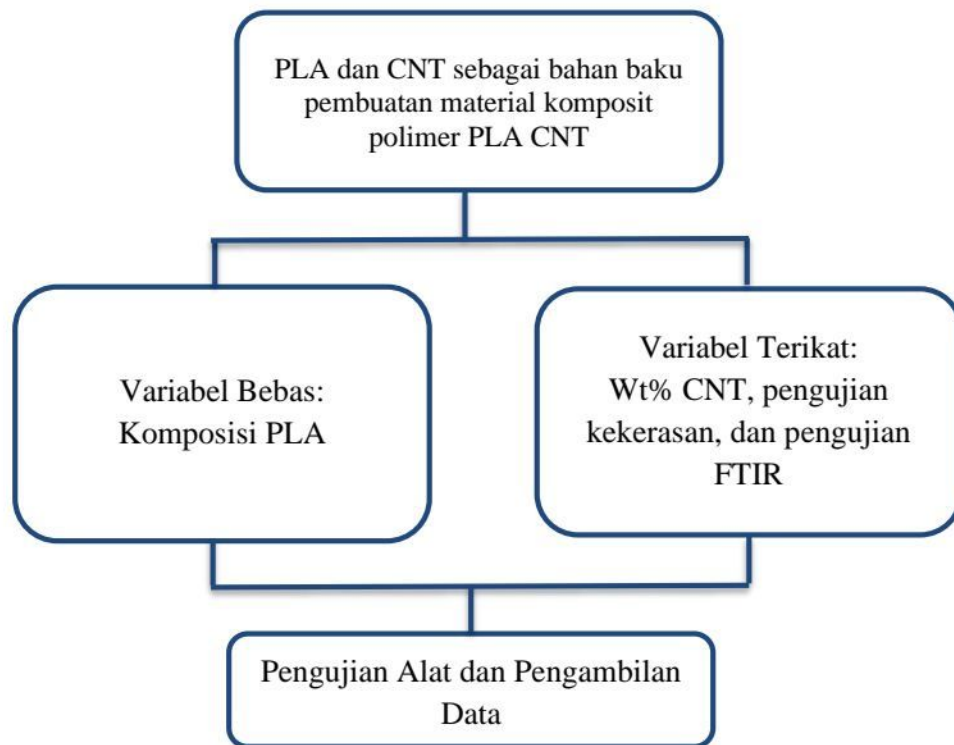
Author, Judul dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil
Kemasan Antistatis Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Poli Asam Laktat Fagan Rezka Azzadhiya, Aroya Desma Ramadita, Gina Karnela, Mujtahid Kaavessina. Tahun 2022	memenuhi kebutuhan material di bidang elektronik yang lebih ramah lingkungan	<i>melt blending.</i>	Hasil uji SEM, DSC, dan FTIR menunjukkan bahwa penambahan <i>filler</i> CNT tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat fisis dan termal PLA. Oleh karena itu, CPC masih memiliki karakteristik unggul PLA seperti <i>biodegradable</i>, <i>biocompatible</i>, serta tahan terhadap pengaruh termal dan kimia. Hasil uji konduktivitas menunjukkan bahwa penambahan <i>filler</i> CNT dapat memperbaiki sifat konduktivitas PLA. Penambahan CNT dengan <i>presentase</i> berat 0,5% dan 1% memenuhi sifat konduktivitas yang diperlukan kemasan antistatis.
Ekstruksi dan karakterisasi filamen komposit Polylactid Acid (PLA) / Carbon Nano Tube (CNT) Dicky Oktavian, Muslim Mahardika, Budi Arifvianto Tahun 2021	mengetahui pengaruh penambahan <i>carbon nano tube</i> terhadap sifat fisis dan mekanis material PLA dengan metode ekstrusi serta menghasilkan komposit filamen PLA/CNT dengan sifat fisis dan mekanis yang dapat diaplikasikan sebagai filamen bahan baku 3D printing FDM	<i>planetary ball mill</i>	Proses pembuatan filamen PLA-CNT dengan penambahan zat tambahan PEG telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Hasil morfologi permukaan filamen memperlihatkan bahwa proses ekstrusi pembuatan filamen berjalan dengan feeding dan pressure yang tidak stabil, serta adanya porositas yang menurunkan sifat mekanis dari filamen.

Sifat Mekanis dan Termal PLA dengan Filler TiO₂ dan ZnO Syaiful Ahsan¹, Robiatul Diniyah¹, Muhammad Firel Firmana¹ Tahun 2022	menentukan pengaruh <i>filler</i> TiO₂ terhadap sifat termal PLA, serta menentukan pengaruh <i>filler</i> ZnO terhadap sifat termal dan mekanis PLA.	<i>melt processing</i> dan <i>solvent casting</i>	penambahan <i>filler</i> TiO₂ cenderung meningkatkan nilai Td5% dan Tonset yang menunjukkan terjadinya peningkatan stabilitas termal PLA. Penambahan <i>filler</i> ZnO cenderung menurunkan nilai Td5%, Td10%, dan Tonset yang menunjukkan terjadinya penurunan stabilitas termal PLA. Dalam hal sifat mekanis penambahan <i>filler</i> ZnO meningkatkan kekuatan dan keuletan namun menurunkan kekakuan PLA.
<i>Morphology and properties of electrically and rheologically percolated PLA/PCL/CNT nanocomposites</i>: ARTICLE J. Urquijo,¹ S. Dagreou,² G. Guerrica-Echevarria,¹ J. I. Eguiazabal¹, Tahun 2017	mengembangkan dan mengkaji sifat morfologi, mekanik, viskoelastik, dan konduktivitas listrik dari nanokomposit PLA/PCL/CNT yang sepenuhnya <i>biodegradable</i>.	melt-extrusion	PLA/PCL/CNT NCs yang didasarkan pada campuran PLA/PCL 80/20 diproses dengan metode leleh dalam ekstruder sekrup ganda seperti industri konvensional. CNT terletak dalam fase PCL minor karena afinitasnya yang lebih besar, dan mampu memodifikasi morfologi umum sistem. Kontinuitas fase PCL hanya diamati pada kandungan CNT di mana perkolasi reologi dan listrik terjadi.

Sumber: Hasil penelitian sebelumnya diolah (2025)

2.3 Kerangka Konsep Penelitian

Berikut adalah kerangka konsep penelitian:



Gambar 2. 5 Kerangka konsep penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan salah satu jenis penelitian metode eksperimen, dimana variabel penelitian dan metode pengukurannya telah ditentukan. dengan tujuan untuk mengetahui cara pembuatan dan karakteristik komposit polimer dari PLA dan CNT. Variasi yang digunakan dalam penelitian adalah variasi komposisi CNT.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini akan dilakukan di laboratorium Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. PLA
2. CNT
3. Binder
4. Kotak Pengaduk
5. Timbangan
6. Glass Ukur

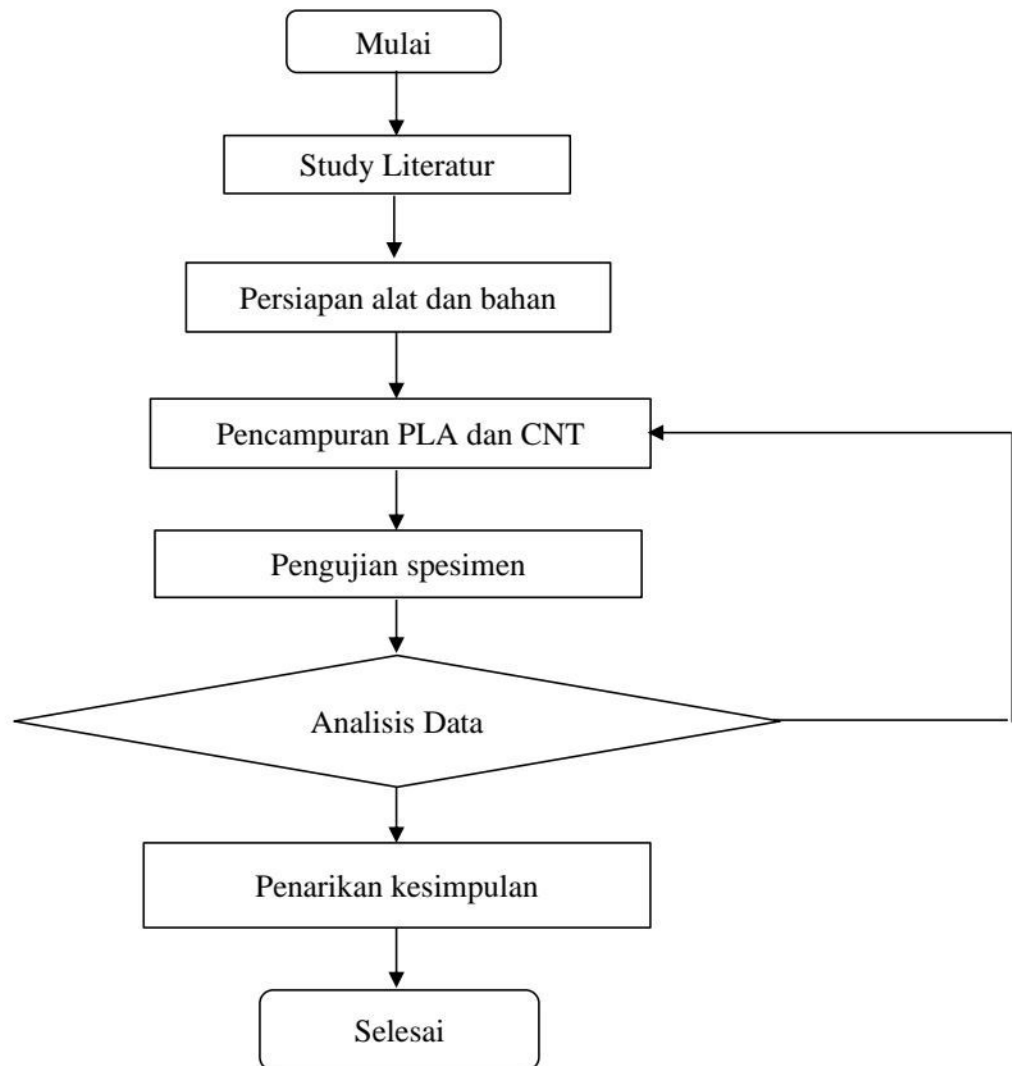
3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pengambilan data penelitian ini adalah variasi komposisi CNT yang akan digunakan untuk material komposit polimer. Komposisi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. 100% PLA, 20% CNT
2. 100% PLA, 20% Binder
3. 100% PLA, 10% CNT 10% Binder
4. 100% PLA, 15% CNT 5% Binder
5. 100% PLA, 5% CNT 15% Binder

3.6 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan pengerjaan seperti yang dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3. 1 Flowchart

BAB IV

RENCANA LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Penelitian yang ditargetkan oleh peneliti adalah publikasi ilmiah di jurnal nasional terakreditasi sinta yakni sinta 2 dengan nama jurnal JGEET (*Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*) seperti pada tabel 4.1 tentang rencana luaran penelitian.

Tabel 4. 1 Rencana Luaran Penelitian

No	Jenis Luaran	Indikator Capaian
1	Publikasi ilmiah di jurnal Nasional Terakreditasi sinta minimal 2	Sinta 3: JGEET (<i>Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology</i>)
2	Pemakalah dalam temu ilmiah: Nasional Lokal	-
3	Bahan Ajar	-
4	Luaran lainnya jika ada (Teknologi tepat guna, model, desain)	-
5	Tingkat kesiapan teknologi	-

BAB V

JADWAL DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

5.1 Jadwal Penelitian

Adapun Penelitian ini direncanakan dapat terealisasi dalam waktu 6 (Enam) bulan sebagaimana diuraikan berikut berikut:

Tabel 5. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan Penelitian	Bulan Ke					
		1	2	3	4	5	6
1.	Persiapan dan pengajuan proposal						
2.	Studi literasi						
3.	Persiapan Alat dan Bahan						
4.	Pencampuran PLA dan CNT						
6.	Pengujian FTIR dan kekerasan						
7.	Pengolahan data						
8.	Analisis Data						
9.	Pembuatan Laporan						
10.	Publikasi Luaran						

5.2 Rencana Anggaran Biaya

Adapun Rencana Anggaran Biaya (RAB) penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Rencana Anggaran Biaya

No.	KOMPONEN	ITEM	SATUAN	VOLUME	HARGA	TOTAL
1	ATK	Kertas A4	RIM	1	Rp 150,000	Rp 150,000
2	ATK	Fotocopy	Paket	1	Rp 150,000	Rp 150,000
3	ATK	Tinta Printer	Botol	1	Rp 100,000	Rp 100,000
4	ATK	ATK	Paket	1	Rp 200,000	Rp 200,000
5	Bahan	PLA	Kg	2	Rp 100,000	Rp 200,000
6	Bahan	CNT	Botol	1	Rp 200,000	Rp 200,000
7	Bahan	Binder	Paket	1	Rp 100,000	Rp 100,000
8	Biaya Pengujian	Pengujian	Paket	1	Rp 1,000,000	Rp 1,000,000
9	Biaya Analisis Data	Analisis Data	Paket	1	Rp 400,000	Rp 400,000
10	Biaya Publikasi	Publikasi Jurnal	Paket	1	Rp 1,000,000	Rp 1,000,000
GRAND TOTAL						Rp3,500,000

DAFTAR PUSTAKA

- Ahsan, S., Diniyah, R., & Firmana, M. F. (2022). Sifat Mekanis dan Termal PLA dengan Filler TiO₂ dan ZnO. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, 20(1), 27–32. <https://doi.org/10.52330/jtm.v20i1.43>
- Azzadhiya, F. R., Ramadita, A. D., Karnela, G., & Kaavessina, M. (2022a). Kemasan Antistatis Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Poli Asam Laktat. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v6i1.262>
- Azzadhiya, F. R., Ramadita, A. D., Karnela, G., & Kaavessina, M. (2022b). Kemasan Antistatis Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Poli Asam Laktat. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v6i1.262>
- Da Silva, T. F., Menezes, F., Montagna, L. S., Lemes, A. P., & Passador, F. R. (2020). Synergistic effect of adding lignin and carbon black in poly(lactic acid). *Polimeros*, 30(1). <https://doi.org/10.1590/0104-1428.06819>
- Darsin, M., Mauludy, R. R., Hardiatama, I., Fachri, B. A., Ramadhan, M. E., & Parningotan, D. (2022). Analysis of the effect 3D printing parameters on tensile strength using Copper-PLA filament. *SINERGI*, 26(1), 99. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2022.1.013>
- Efendy, G., Handayani, I. D., Fauziatul Husni, N., Habibah, S., & Kaavessina, M. (2021). Konduktivitas Listrik Poly(Lactic Acid) dengan Variasi Bahan Isian Karbon: Review. <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- Kourtidou, D., Grigora, M. E., Tzetzis, D., Bikiaris, D. N., & Chrissafis, K. (2022). Graphene Nanoplatelets' Effect on the Crystallization, Glass Transition, and Nanomechanical Behavior of Poly(ethylene 2,5-furandicarboxylate) Nanocomposites. *Molecules*, 27(19). <https://doi.org/10.3390/molecules27196653>
- Kumar, M., Kumar, R., & Kumar, S. (2021). Synergistic effect of carbon nanotubes and nano-hydroxyapatite on mechanical properties of polyetheretherketone based hybrid nanocomposites. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9), 1365–1376. <https://doi.org/10.1177/0967391120969503>
- Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021a). EKSTRUKSI DAN KARAKTERISASI FILAMEN KOMPOSIT POLYLACTID ACID (PLA) / CARBON NANO TUBE (CNT). *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 2(2), 12. <https://doi.org/10.22146/jmtp.70481>
- Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021b). EKSTRUKSI DAN KARAKTERISASI FILAMEN KOMPOSIT POLYLACTID ACID (PLA) / CARBON NANO TUBE (CNT). *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta*

- Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses, 2(2), 12.
<https://doi.org/10.22146/jmtp.70481>
- Schätzlein, E., Kicker, C., Söhling, N., Ritz, U., Neijhoft, J., Henrich, D., Frank, J., Marzi, I., & Blaeser, A. (2022). 3D-Printed PLA-Bioglass Scaffolds with Controllable Calcium Release and MSC Adhesion for Bone Tissue Engineering. *Polymers*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/polym14122389>
- Shahdan, D., Chen, R. S., & Ahmad, S. (2020). Mechanical and thermal properties of toughened polylactic acid/liquid natural rubber/Polyaniline nanocomposites reinforced graphene at low loading. *Sains Malaysiana*, 49(9), 2101–2111. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4909-08>
- Suhendar, D., Eroza Rasman, G., & Sutrisno, A. (2021). Pengembangan Bioplastik Antibakteri Untuk Bahan Alat Pelindung Diri (APD) yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Health Sains*, 2(9), 1147–1158. <https://doi.org/10.46799/jhs.v2i9.270>
- Sukindar, N. A., Rahim, N. A. A. A., Yasir, A. S. H. M., Kamaruddin, S., Khata, M. T. A. H. M., Halim, N. F. H. A., Jamil, M. N. H., & Aziz, A. A. A. (2024). OPTIMIZATION OF FDM 3D PRINTING PARAMETERS FOR TENSILE STRENGTH OF PETG CARBON FIBRE USING TAGUCHI METHOD. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 16(3 Special Issue), 143–152. <https://doi.org/10.54684/ijmmt.2024.16.3.143>
- Sukmana, I. (2023). Aplikasi Komposit Berbasis PLA (Poly Lactic Acid) untuk Scaffolding Biomaterial. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 15(2), 67. <https://doi.org/10.24843/jem.2016.v15.i02.p01>
- Teixeira-Santos, R., Gomes, M., Gomes, L. C., & Mergulhã, F. J. (2021). iScience Antimicrobial and anti-adhesive properties of carbon nanotube-based surfaces for medical applications: a systematic review. <https://doi.org/10.1016/j.isci>
- Urquijo, J., Dagréou, S., Guerrica-Echevarría, G., & Eguiazábal, J. I. (2017). Morphology and properties of electrically and rheologically percolated PLA/PCL/CNT nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(36). <https://doi.org/10.1002/app.45265>
- Xu, Z., Dou, T., Wang, Y., Zuo, H., Chen, X., Zhang, M., & Zou, L. (2023). Three-Dimensional-Printed Carbon Nanotube/Polylactic Acid Composite for Efficient Electromagnetic Interference Shielding. *Polymers*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/polym15143080>
- Younus, M. M., Naguib, H. M., Fekry, M., & Elsayy, M. A. (2023). Pushing the limits of PLA by exploring the power of MWCNTs in enhancing thermal, mechanical properties, and weathering resistance. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43660-3>

Zhang, J., Yang, L., Xu, H., Zhou, J., Sang, Y., Cui, Z., Liu, C., Liu, J., Guo, T., Wang, X., Wang, L., Chen, G., & Chen, X. (2022). Dip-Coating Self-Assembly Fabrication and Polarization Sensitive Photoresponse of Aligned Single-Walled Carbon Nanotube Film. *Sensors*, 22(2). <https://doi.org/10.3390/s22020490>