

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI FILAMEN 3D PRINTING DAUR ULANG DARI SAMPAH KOMPONEN OTOMOTIF BERPENGUAT BIOCHAR DARI LIMBAH KULIT KAKAO

Dipersiapkan oleh:

Ahmad Raihan Putra

NIM 13720042

Dosen Pembimbing:

1. Dr. rer. nat. Mardiyati, S.Si., M.T.
2. Dr. Steven, S.T., M.T.

Program Studi Sarjana Teknik Material
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung





Agenda Presentasi

- Latar Belakang
- Tujuan Penelitian
- Metode Penelitian
- Hasil dan Analisis
- Kesimpulan dan Saran

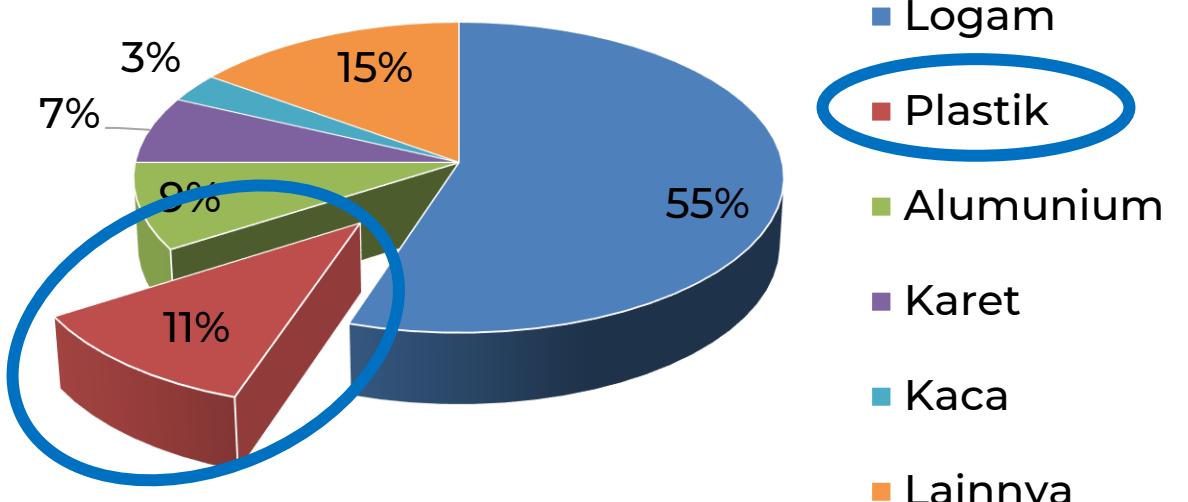


LATAR BELAKANG

Latar Belakang

Pada tahun **2022**, dunia menghasilkan **750.000 ton sampah otomotif**

Percentase sampah otomotif berdasarkan jenis material



Sampah otomotif **dibiarkan menumpuk**

Sampah otomotif **menumpuk** di tempat pembuangan akhir



Komponen sulit dipisahkan

Penurunan sifat mekanik akibat usia pemakaian

Latar Belakang

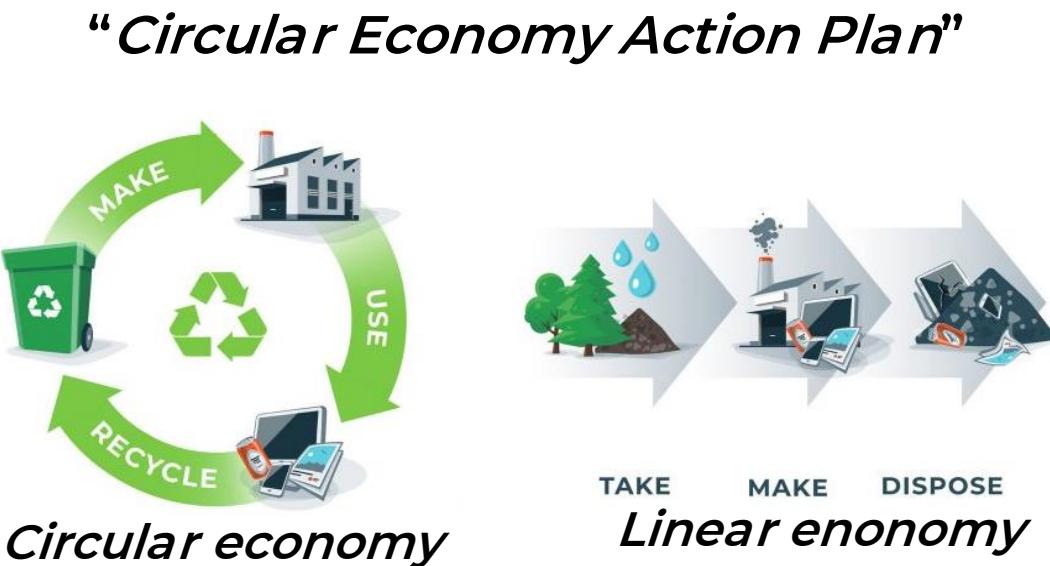
Akibat sampah otomotif dibiarkan menumpuk



Pada tahun 2015, Uni Eropa mengeluarkan kebijakan



Uni Eropa



Latar Belakang



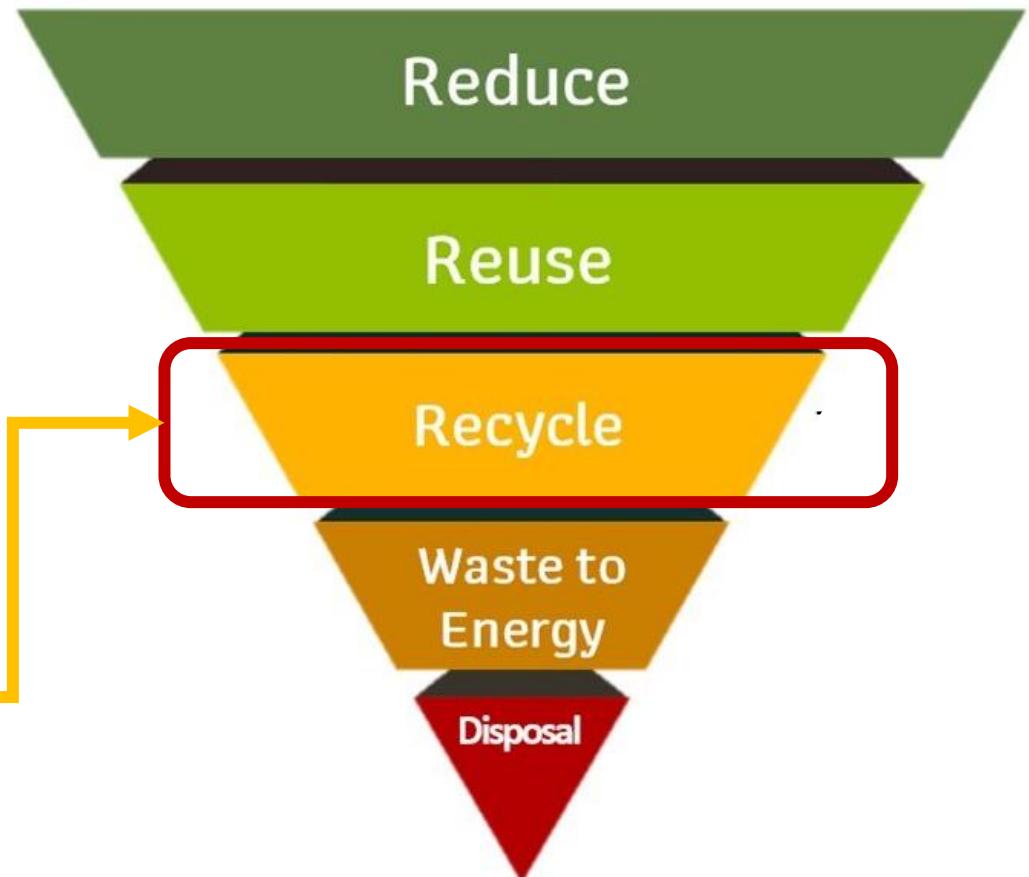
Kebijakan ini disempurnakan pada tahun **2018**



Perserikatan Bangsa-Bangsa

Salah satu prinsip
zero waste management

PBB mengeluarkan prinsip-prinsip
zero waste management



Latar Belakang



Green Polymer Lab



Dari Alam Indonesia, Oleh Anak Indonesia, Untuk Bangsa Indonesia



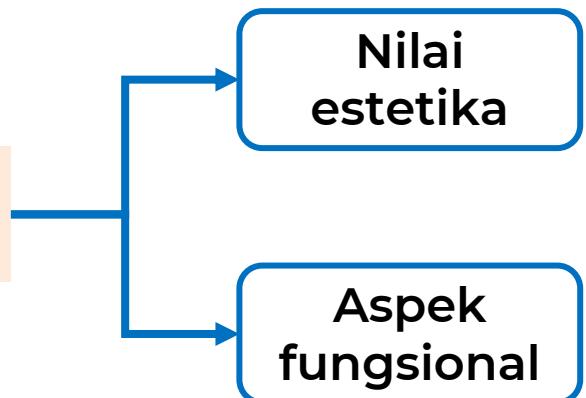
PT Chandra Asri Pacific Tbk



Chandra Asri

Perusahaan Petrokimia Plastik Terbesar di Indonesia

Membuat material daur ulang



Cacahan Komponen Interior Mobil

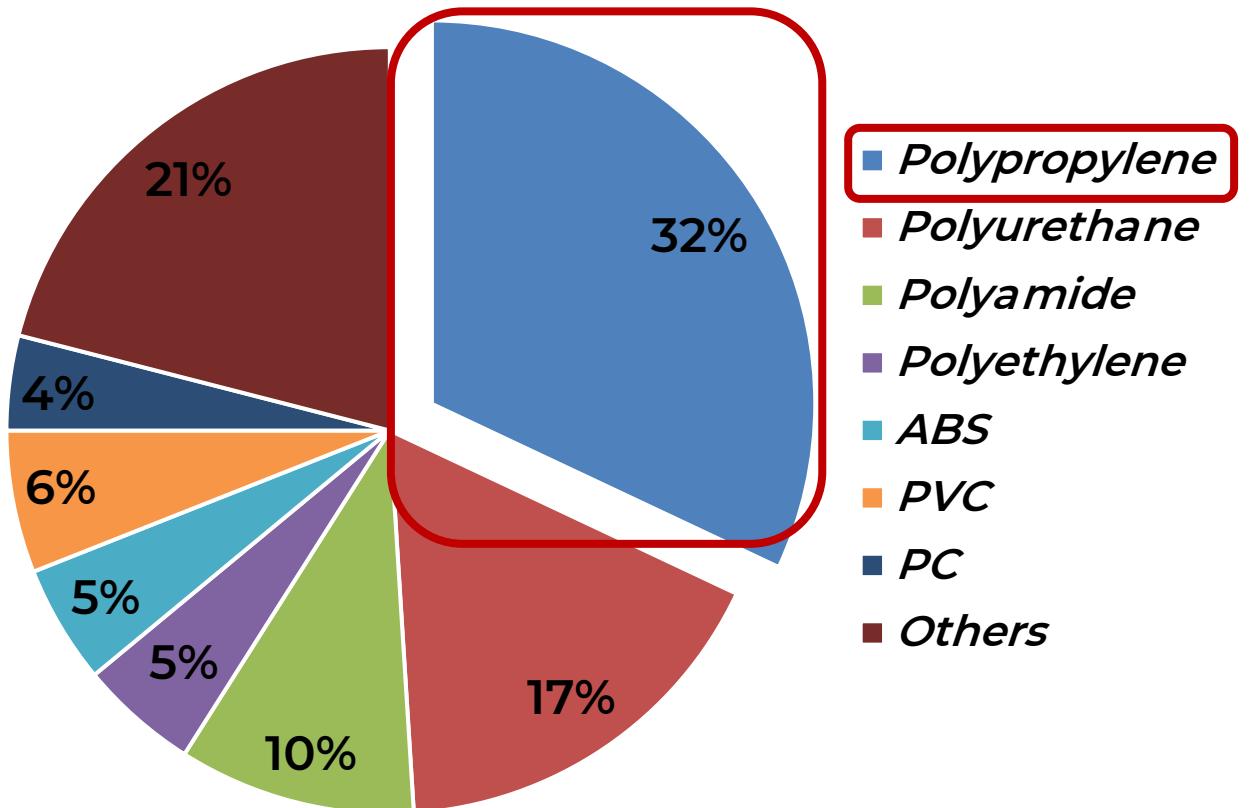


Copolymer Polypropylene

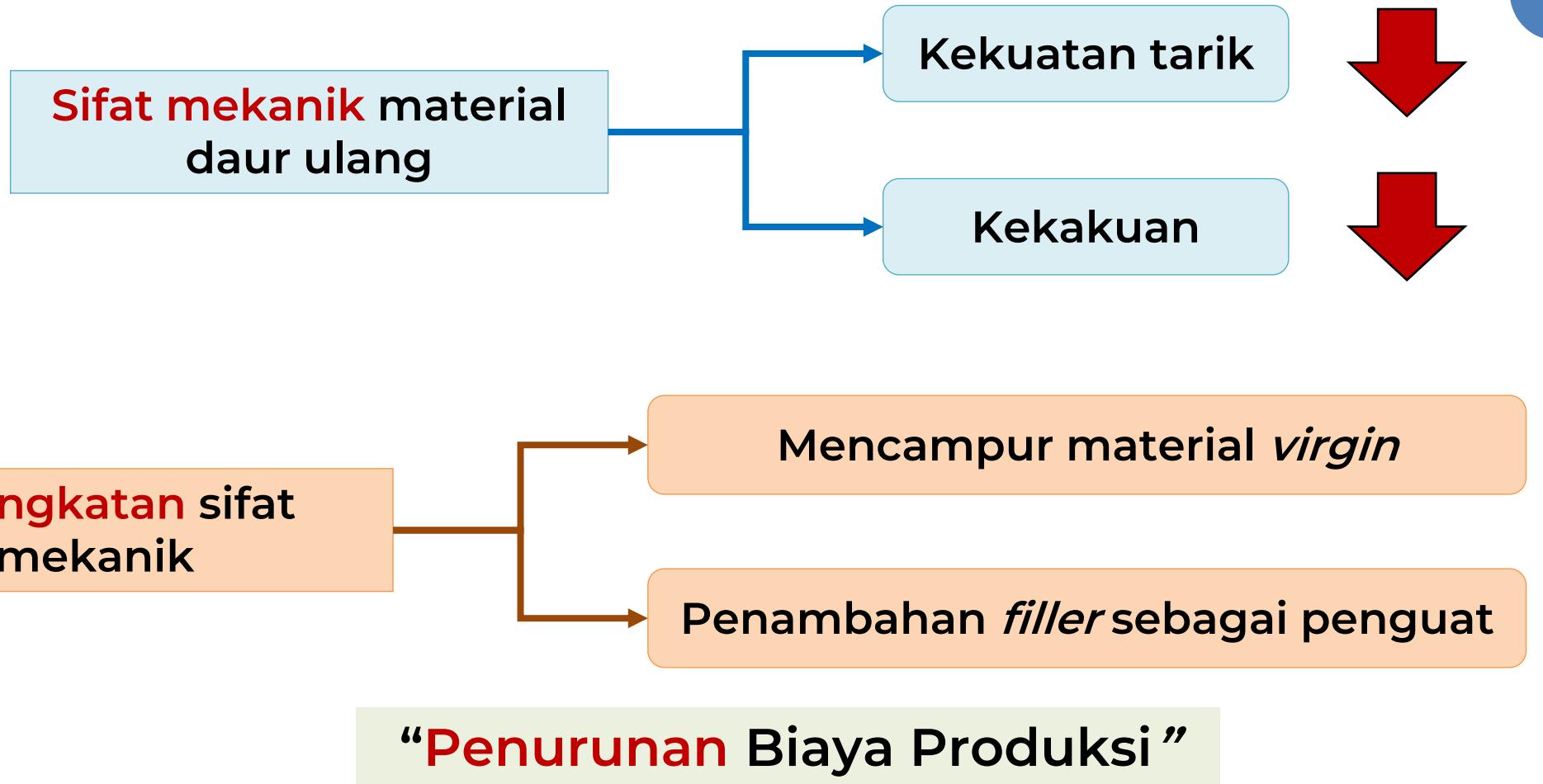
Latar Belakang



Persentase Komponen Plastik Penyusun Otomotif



Latar Belakang



Pada penelitian ini **daur ulang** komponen interior diperkuat dengan ***filler***

Latar Belakang



Filler yang umum digunakan untuk *Polypropylene*



Kalsium Karbonat



Serat gelas



Siilika



Mika

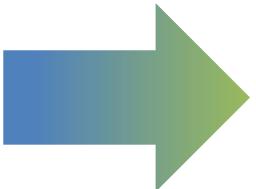


Talc

Filler yang mendukung *circular economy*



Circular Economy



Limbah *Biochar*

Latar Belakang



Biochar adalah **arang hayati** dengan kandungan **karbon hitam** yang berasal dari **limbah *biomass***

Limbah ***Biomass***



Karbonisasi



Temperatur 300-700 °C
Kondisi **vakum**

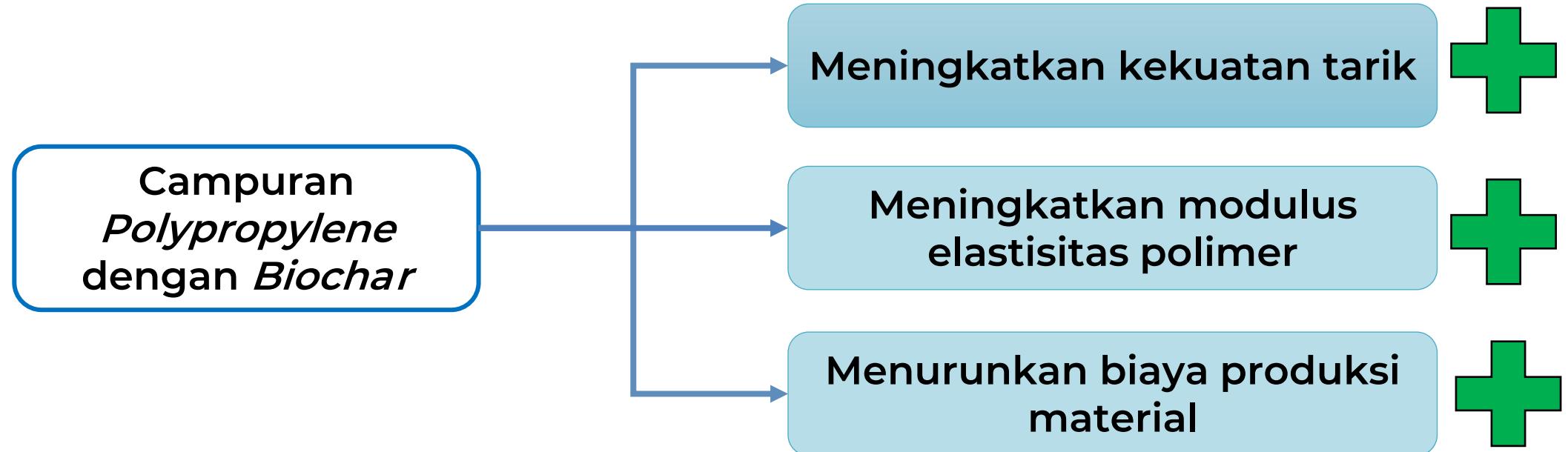
Limbah ***Biochar***



Latar Belakang



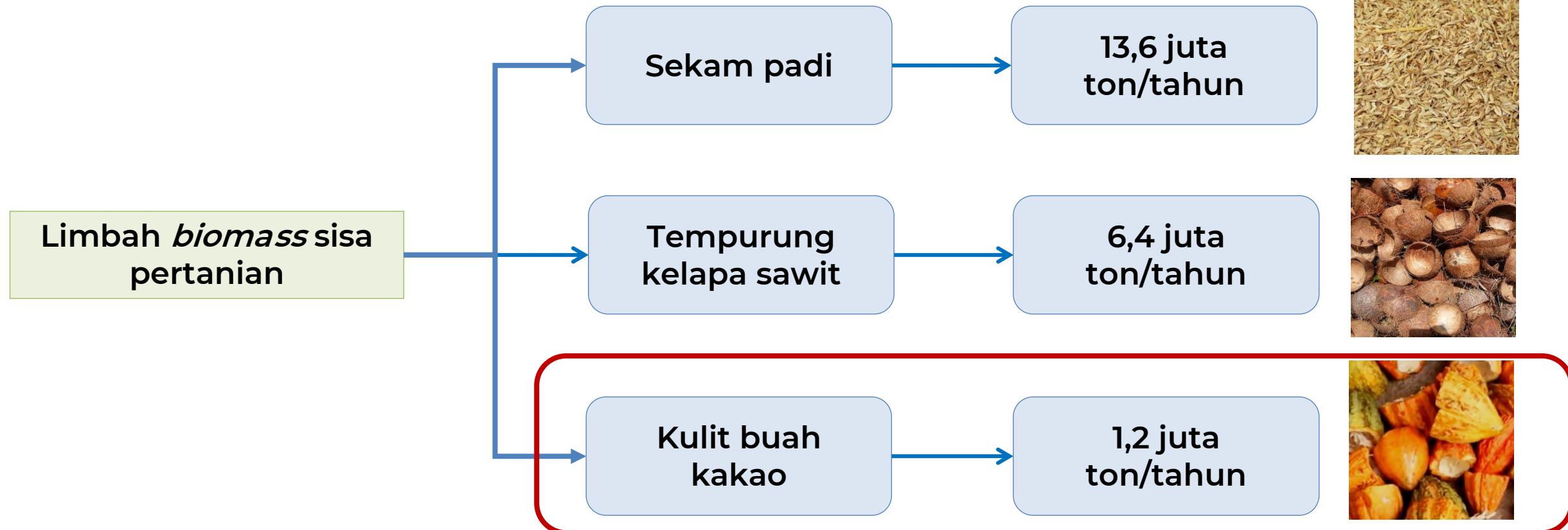
Penelitian terbaru *biochar* sebagai penguat untuk *polypropylene virgin*
(Shaik J, 2022)



Latar Belakang



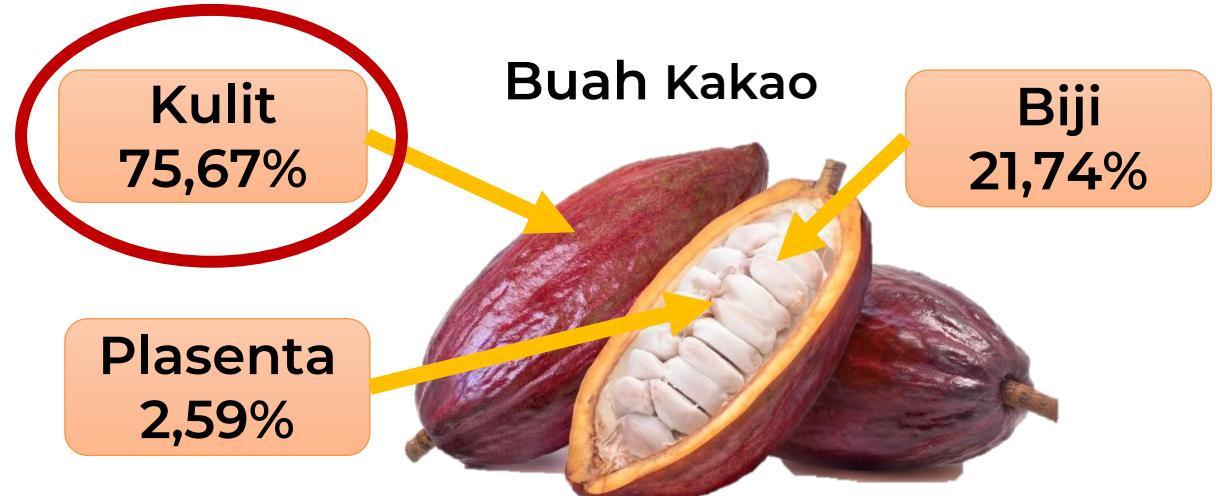
Limbah *Biomass* Terbanyak Di Indonesia



Latar Belakang



Potensi Limbah Kulit Kakao



Limbah kulit kakao di Indonesia **906.414 ton/tahun**

Kandungan Karbon Kulit Kakao

Kandungan	Kadar Karbon (%)	Temperatur Karbonisasi (°C)
Selulosa	36,23	150-350
Hemiselulosa	1,14	275-350
Lignin	20-27,95	250-500

Latar Belakang

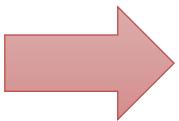


Daerah Penghasil Kakao Terbesar di Indonesia



1. Sumatera Utara
2. **Jawa Barat**
3. Kalimantan Timur
4. Sulawesi
5. Papua

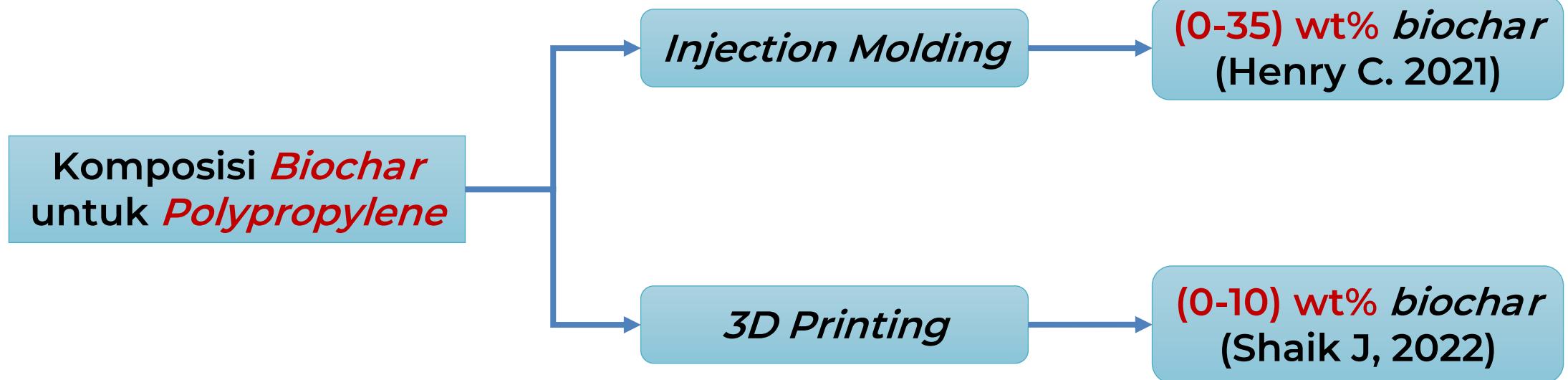
Limbah Kulit Kakao di
Jawa Barat



Dijadikan Pakan Ternak

Biochar pada penelitian ini terbuat dari **limbah kulit kakao**

Latar Belakang

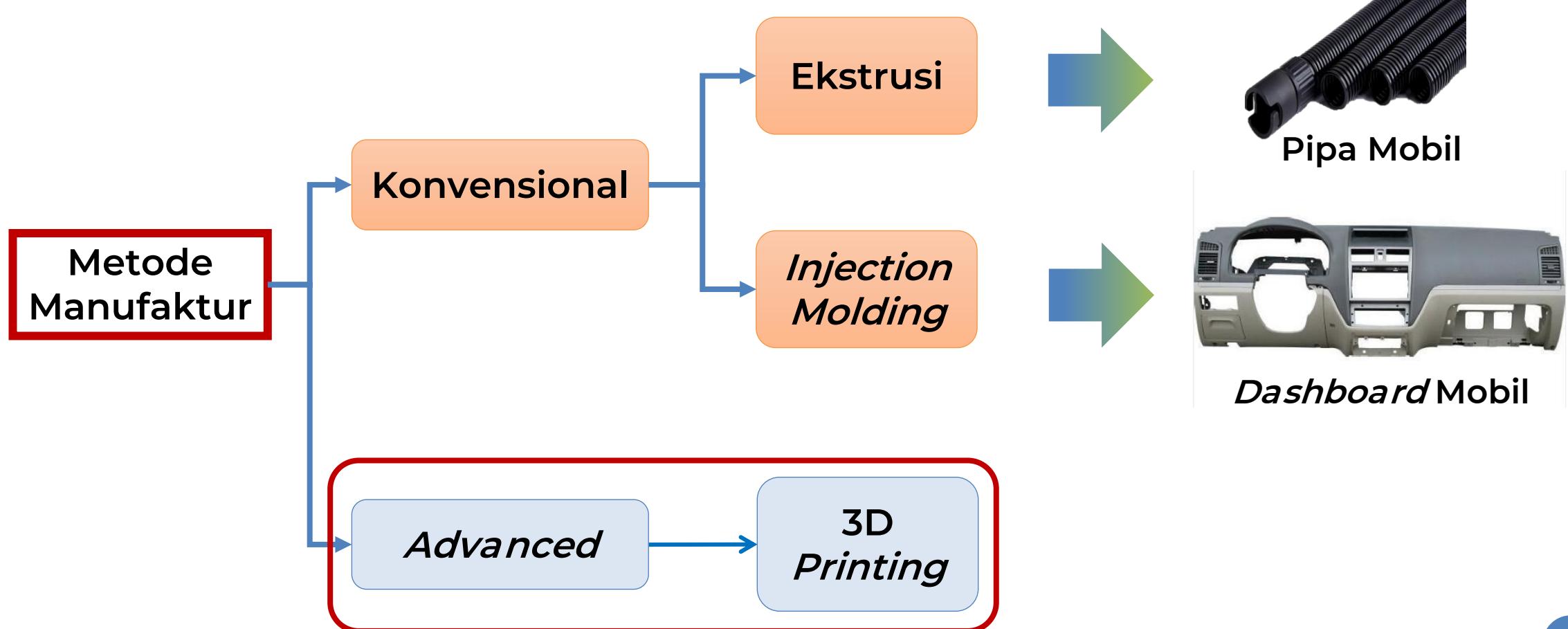


Penelitian ini berfokus pada penentuan **komposisi optimum biochar** sebagai **filler** untuk **daur ulang polypropylene** otomotif

Latar Belakang



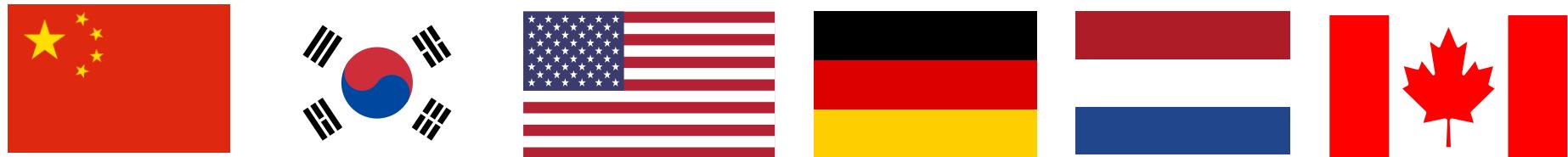
Metode Manufaktur Plastik untuk Komponen Otomotif



Latar Belakang

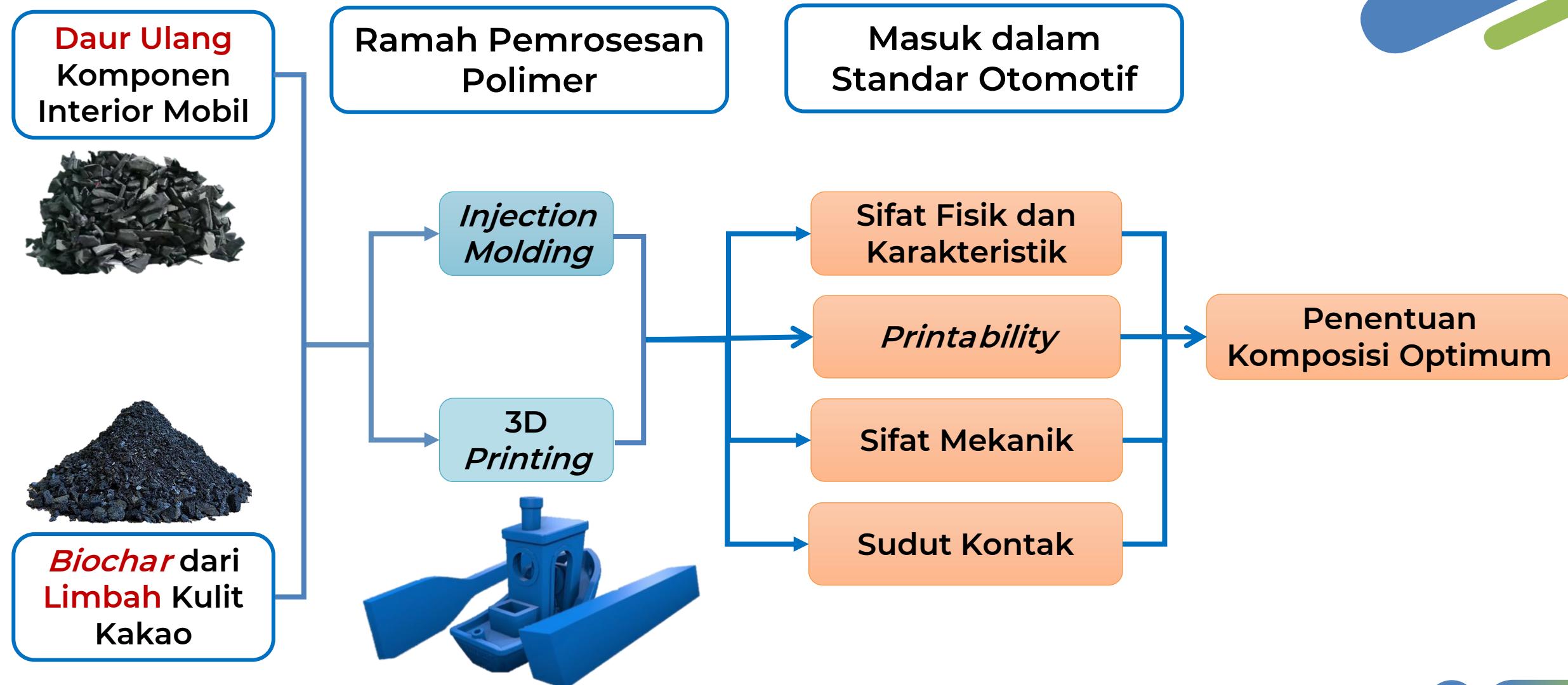


Filamen 3D *printing* yang ada di Indonesia
didominasi oleh produk **impor**



Penelitian ini akan membuat **filamen 3D *printing***
asli dari bahan **Indonesia**

Latar Belakang



Tujuan



1

Menentukan **parameter** optimal untuk **ekstrusi** dan **3D printing** pada material daur ulang **copolymer polypropylene** dari komponen interior otomotif

2

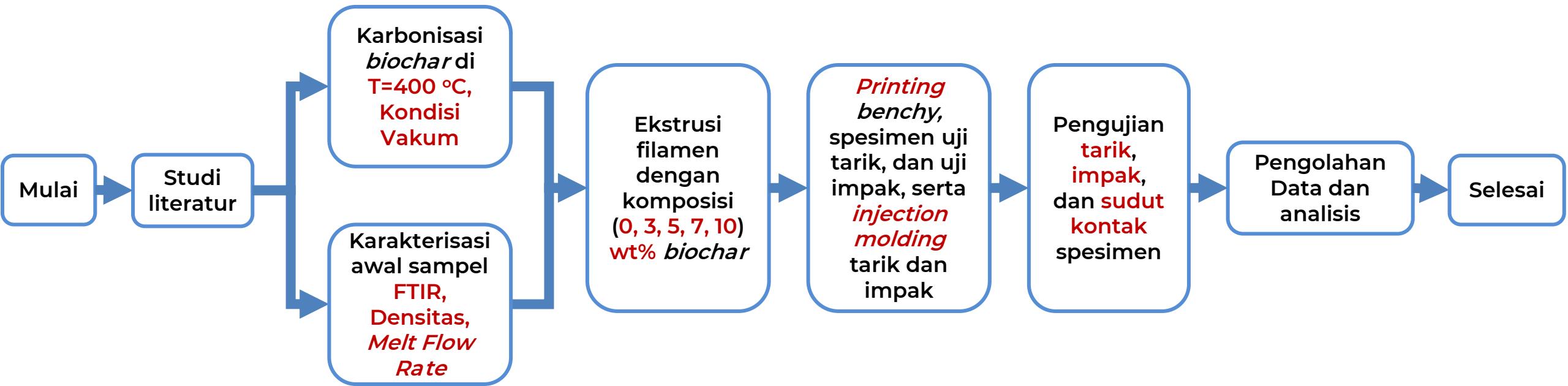
Mengkaji **pengaruh** penambahan **biochar** terhadap **printability**, sifat mekanik **tarik** dan **impak**, perubahan **sudut kontak**, serta **cacat** yang dihasilkan pada **filamen** **3D printing** dari campuran **polypropylene** daur ulang berpenguat **biochar** serta dibandingkan dengan manufaktur **injection molding**

3

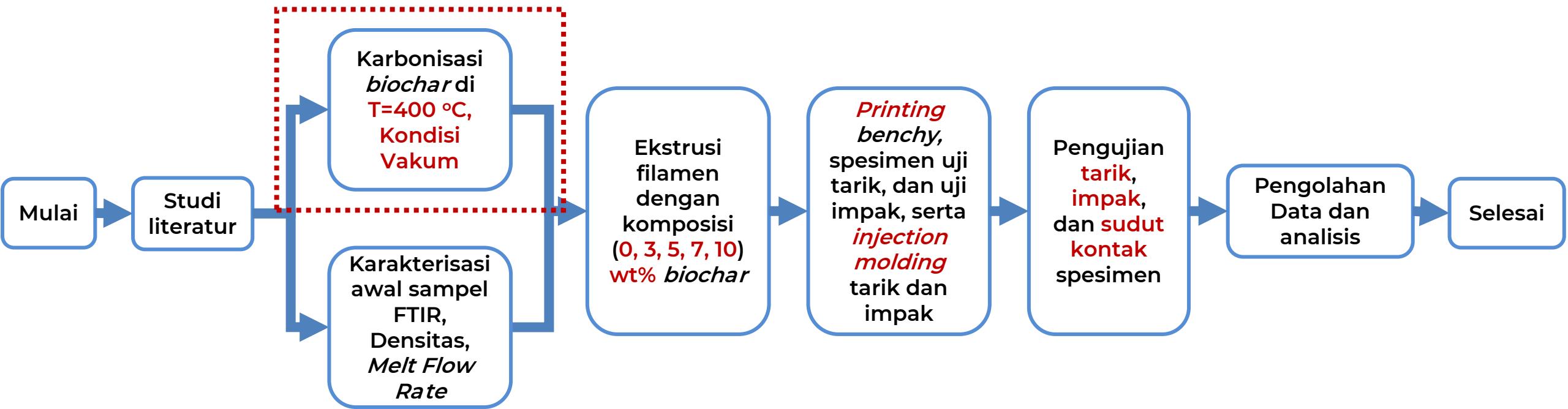
Menentukan **komposisi** optimum **biochar** yang digunakan pada **filamen** **3D printing** dan **injection molding** dari campuran **polypropylene** daur ulang berpenguat **biochar**

METODE PENELITIAN

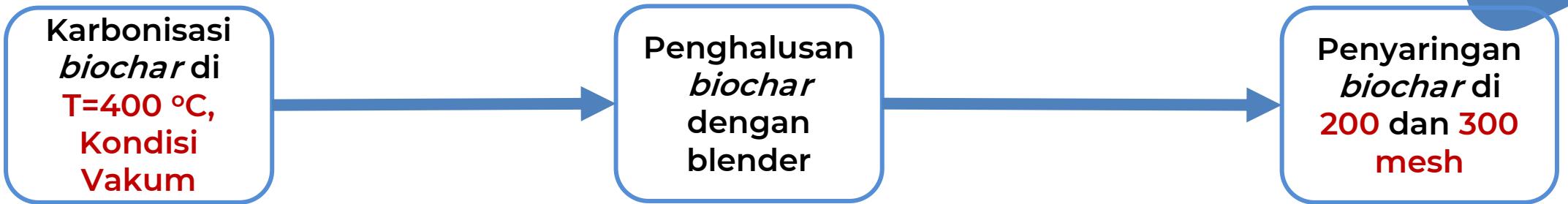
Alur Penelitian



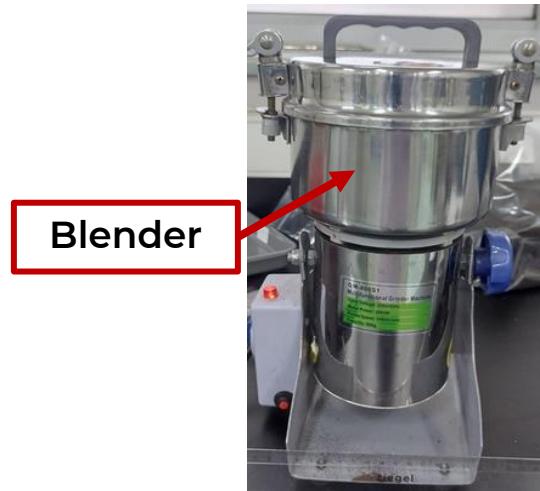
Alur Penelitian



Alur Penelitian



Biochar hasil karbonisasi

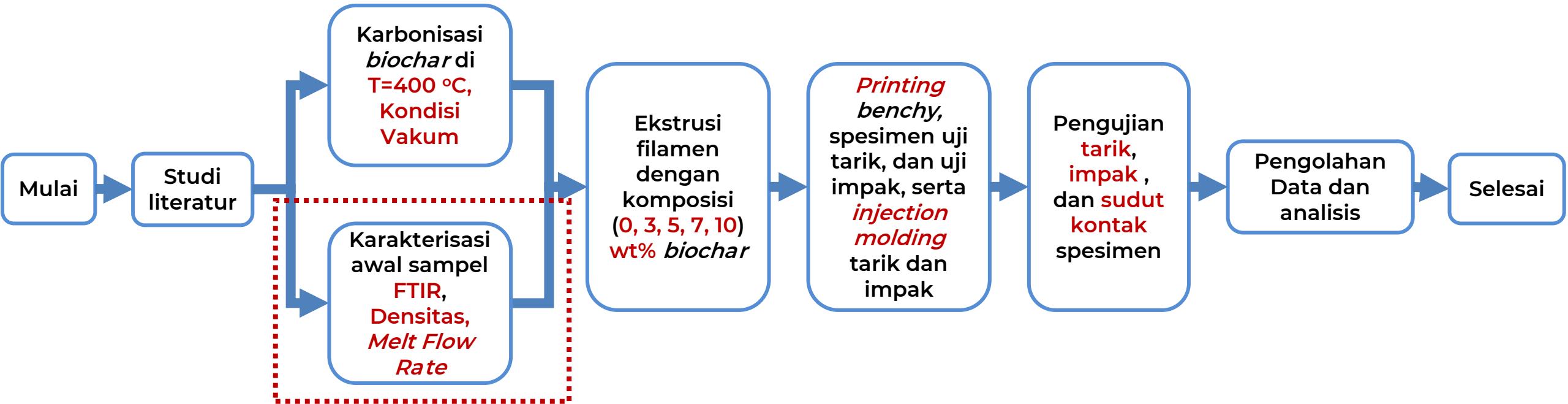


Biochar diblender hingga halus

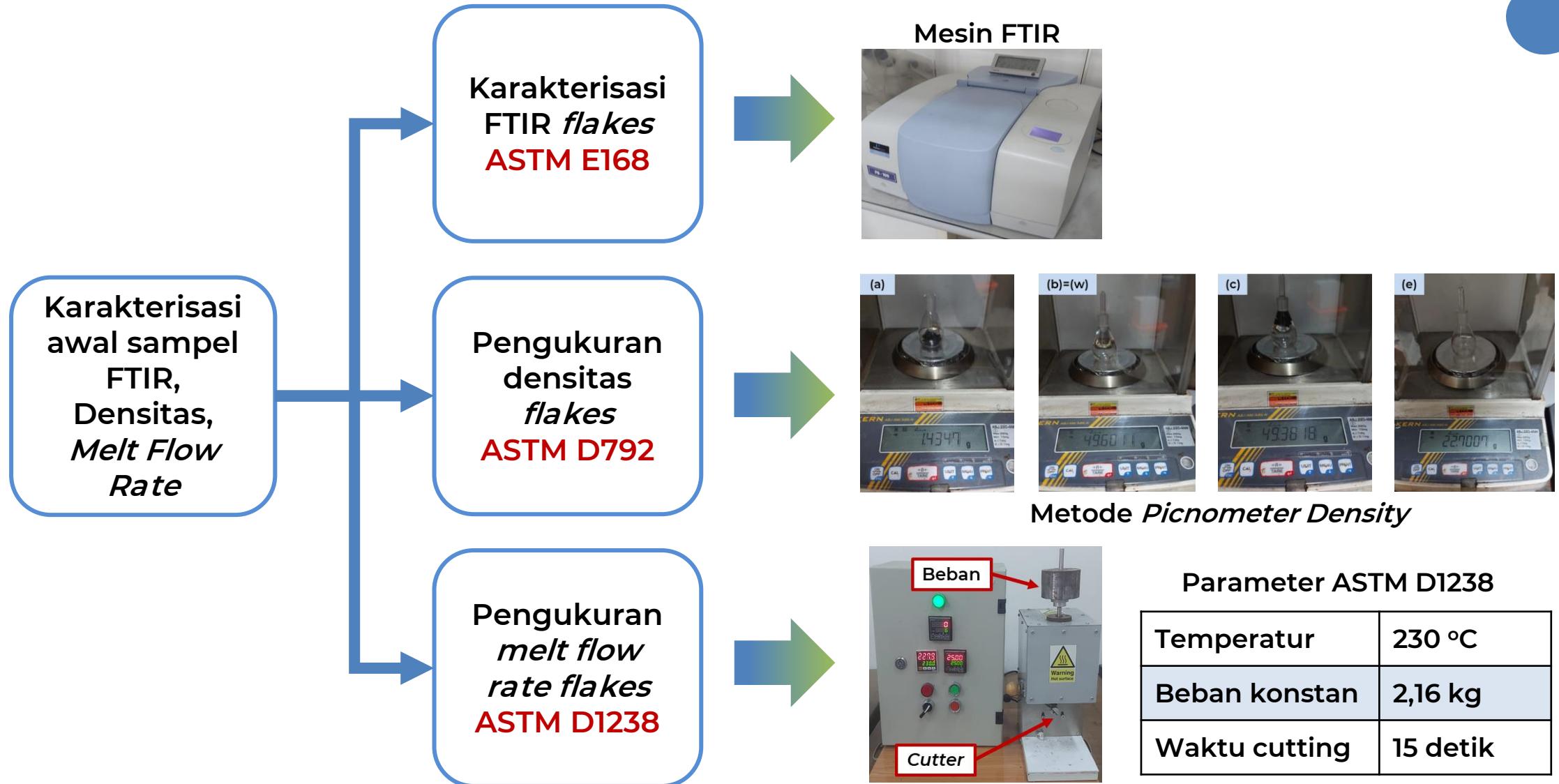


Saringan 300 mesh

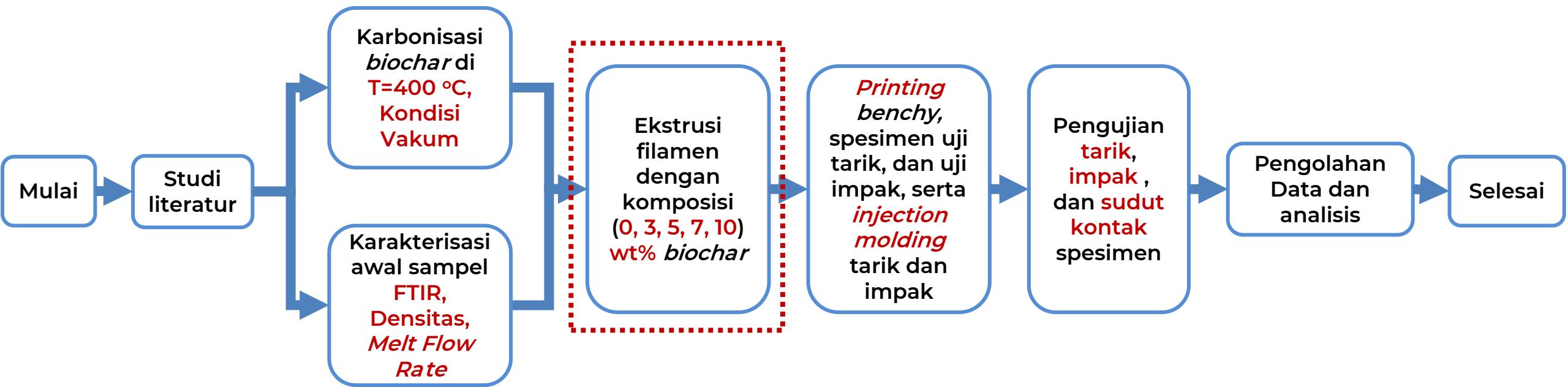
Alur Penelitian



Alur Penelitian

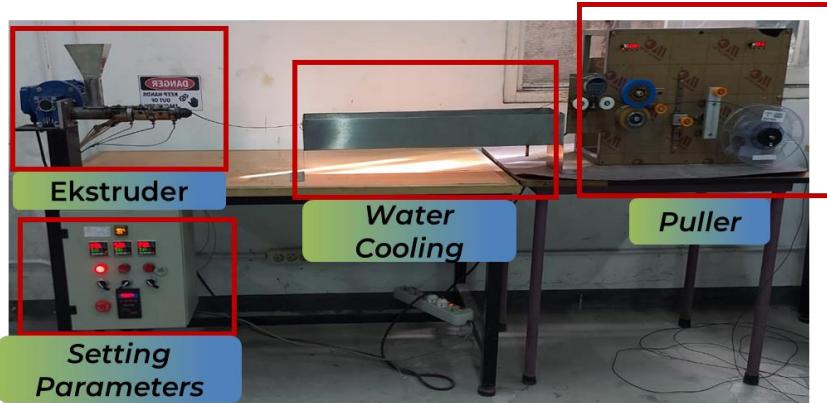


Alur Penelitian

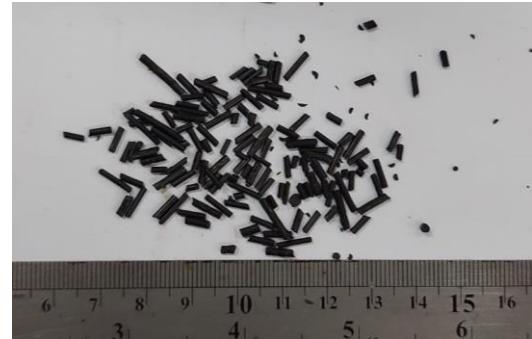


Alur Penelitian

Penentuan parameter ekstrusi optimum
($T_{ekstrusi}$, V_{screw} V_{puller})



Pelletizing filamen hasil ekstrusi awal



Pembuatan filamen dengan komposisi (0, 3, 5, 7, 10) wt% biochar

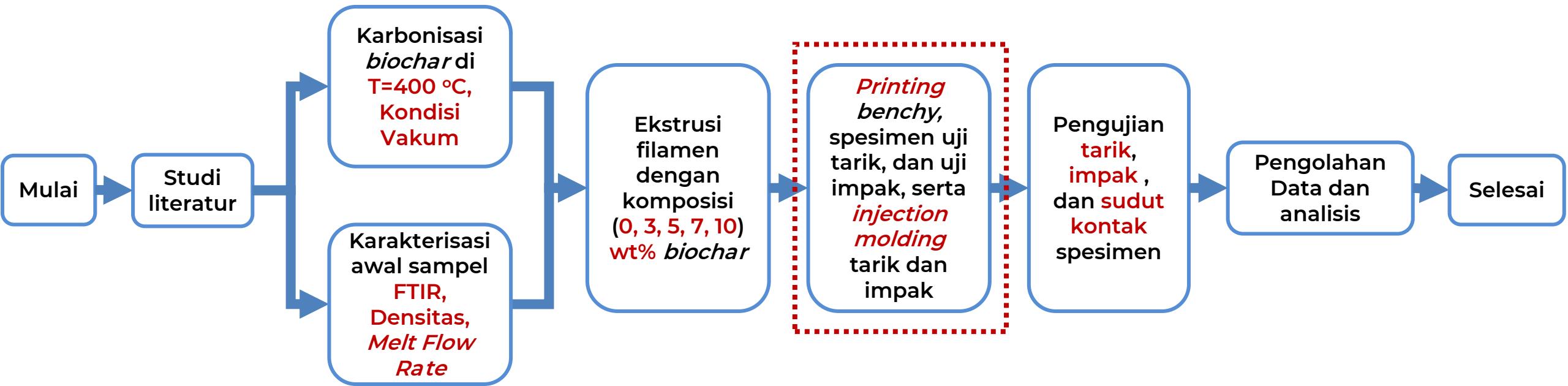


Parameter Ekstrusi

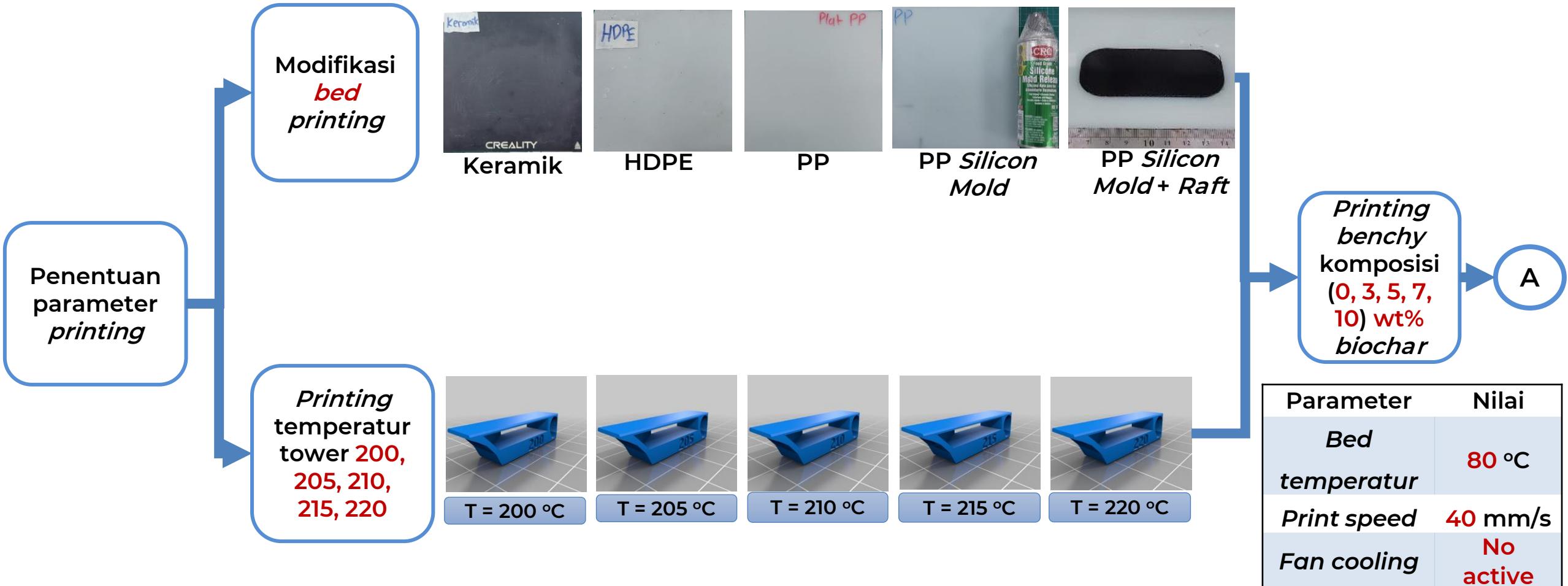
Temperatur ekstrusi	160 °C
Kecepatan screw	8,1 rpm
Kecepatan puller	5-13 rpm
Sistem pendinginan	Water cooling
Diameter filamen	1,75±0,1 mm

Komposisi Biochar (wt%)	Massa Biochar (gram)	Massa Flakes (gram)
3	1,5	48,5
5	2,5	47,5
7	3,5	46,5
10	5	45

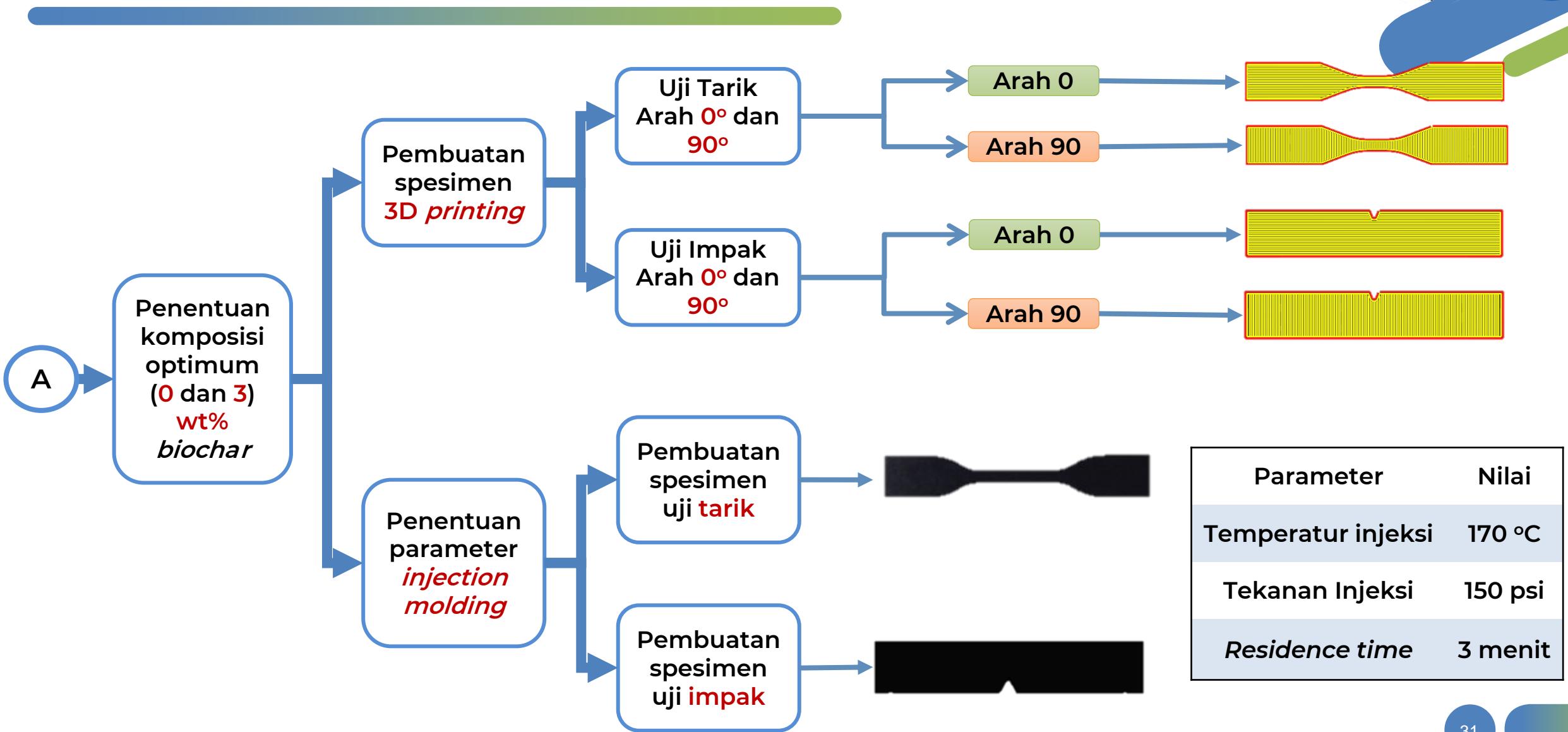
Alur Penelitian



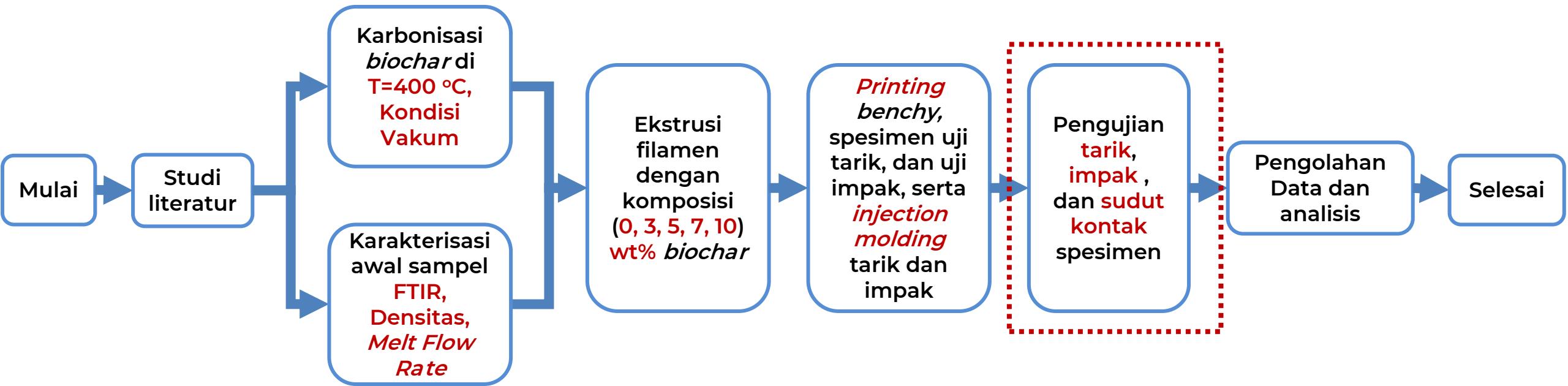
Alur Penelitian



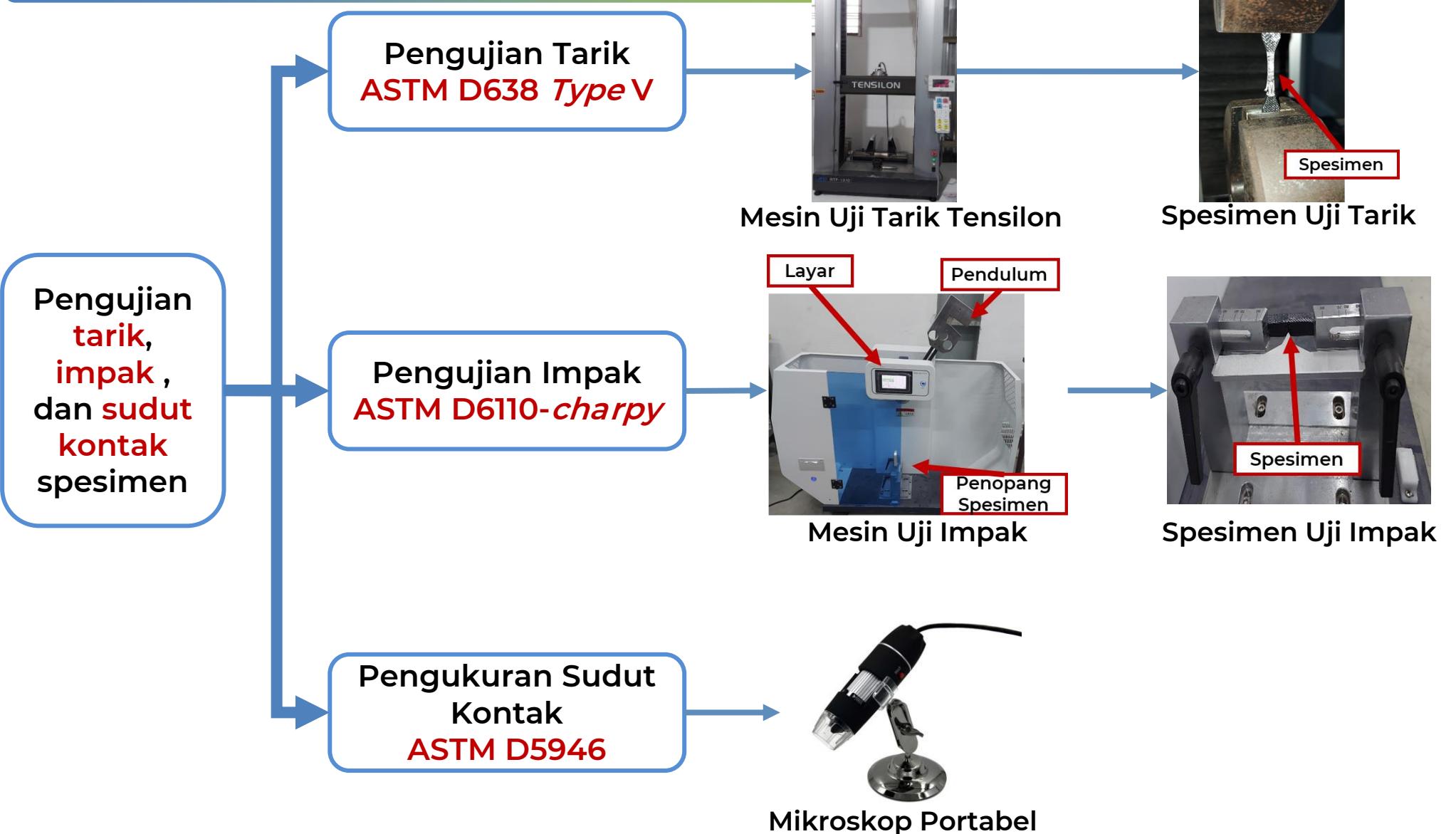
Alur Penelitian



Alur Penelitian

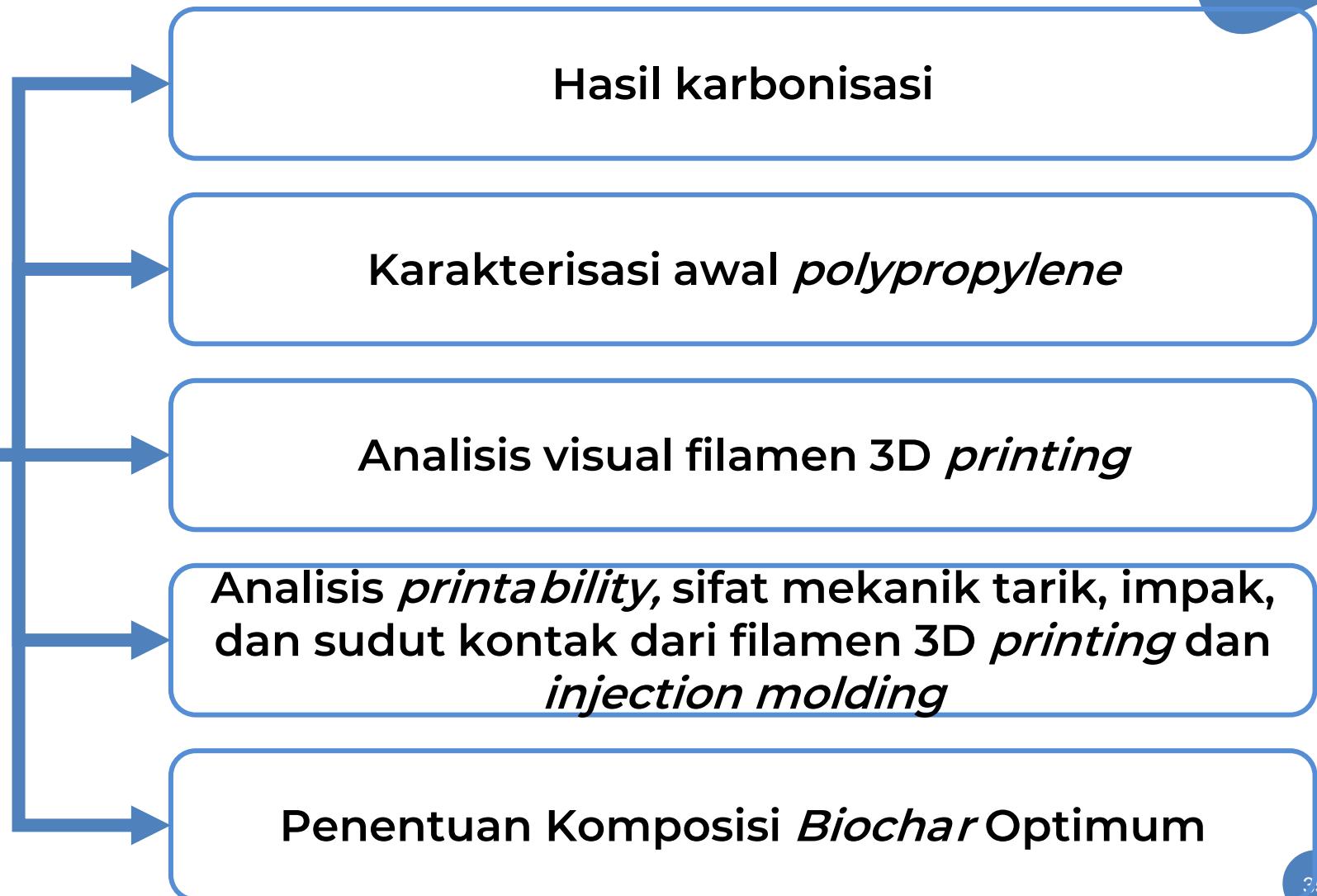


Alur Penelitian

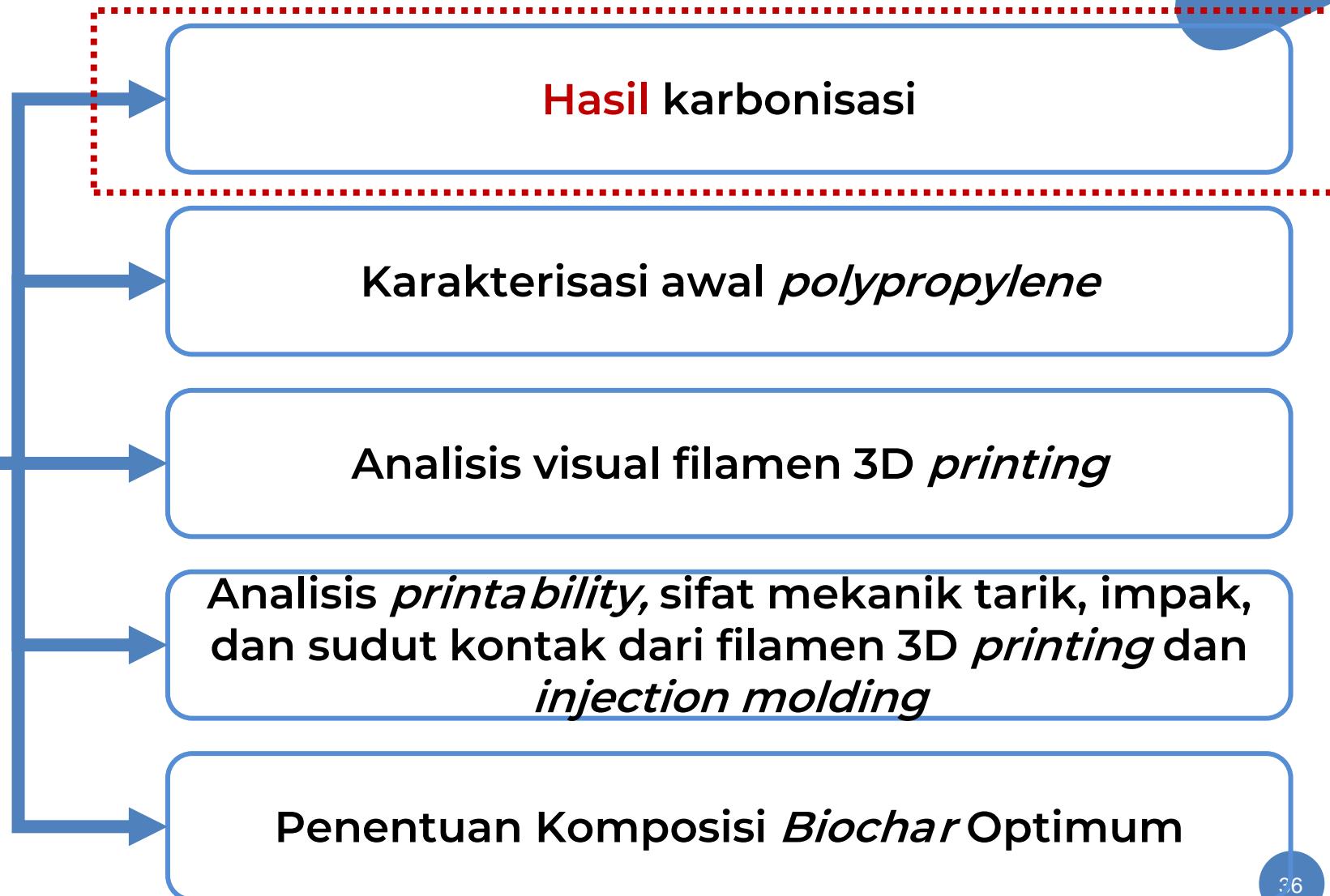


HASIL DAN ANALISIS

Hasil dan Analisis



Hasil dan Analisis



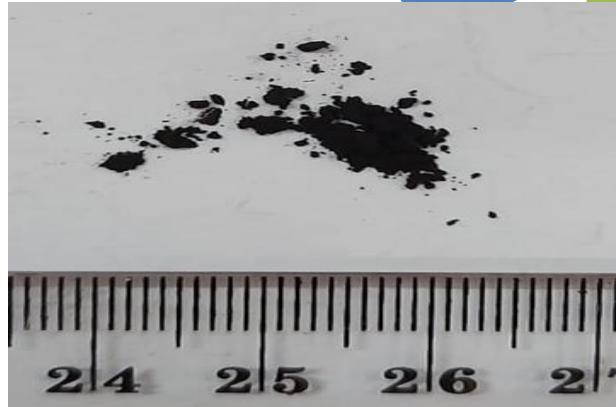
Hasil Karbonisasi



Sebelum
Karbonisasi



Setelah
Karbonisasi



Setelah
Penyaringan

Ukuran < 300 mesh

Parameter Karbonisasi

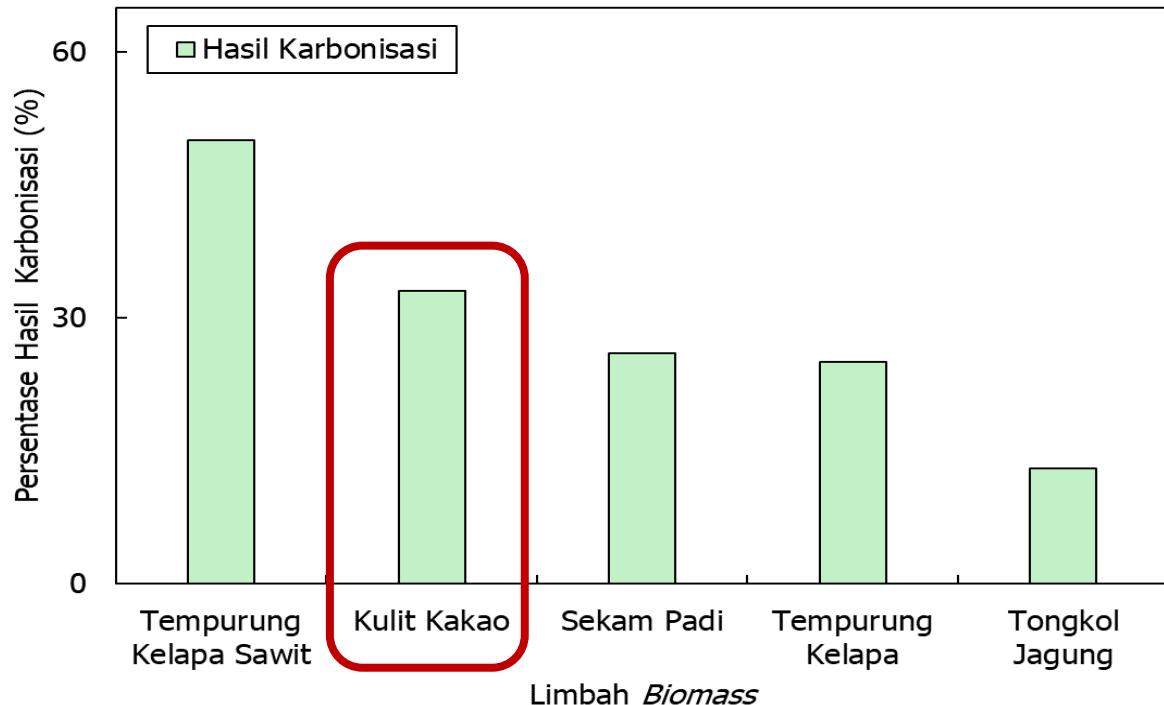
Heating rate	1,72 °C
Temperatur maksimum	400 °C
Waktu Karbonisasi	2 Jam
Kondisi tungku	Vakum

$$\% \text{Hasil} = \frac{\text{massa setelah karbonisasi}}{\text{massa sebelum karbonisasi}} \times 100\%$$

$$\% \text{Hasil} = \frac{500}{1500} \times 100\% = 33,33\%$$

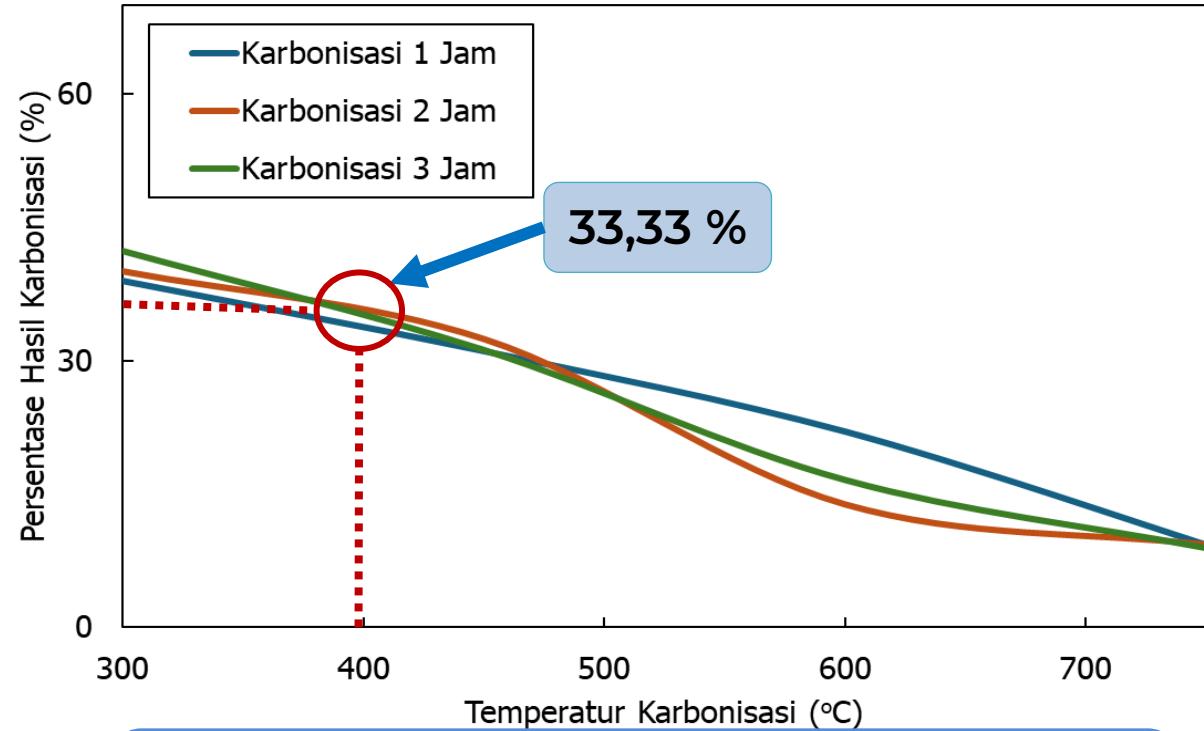
Hasil Karbonisasi

Hasil Karbon dari Limbah *Biomass* di Temperatur 400 °C (Literatur)



Kulit kakao memiliki hasil massa biochar yang tinggi

Pengaruh Durasi Karbonisasi Pada Hasil Karbon Kulit Kakao (Literatur)

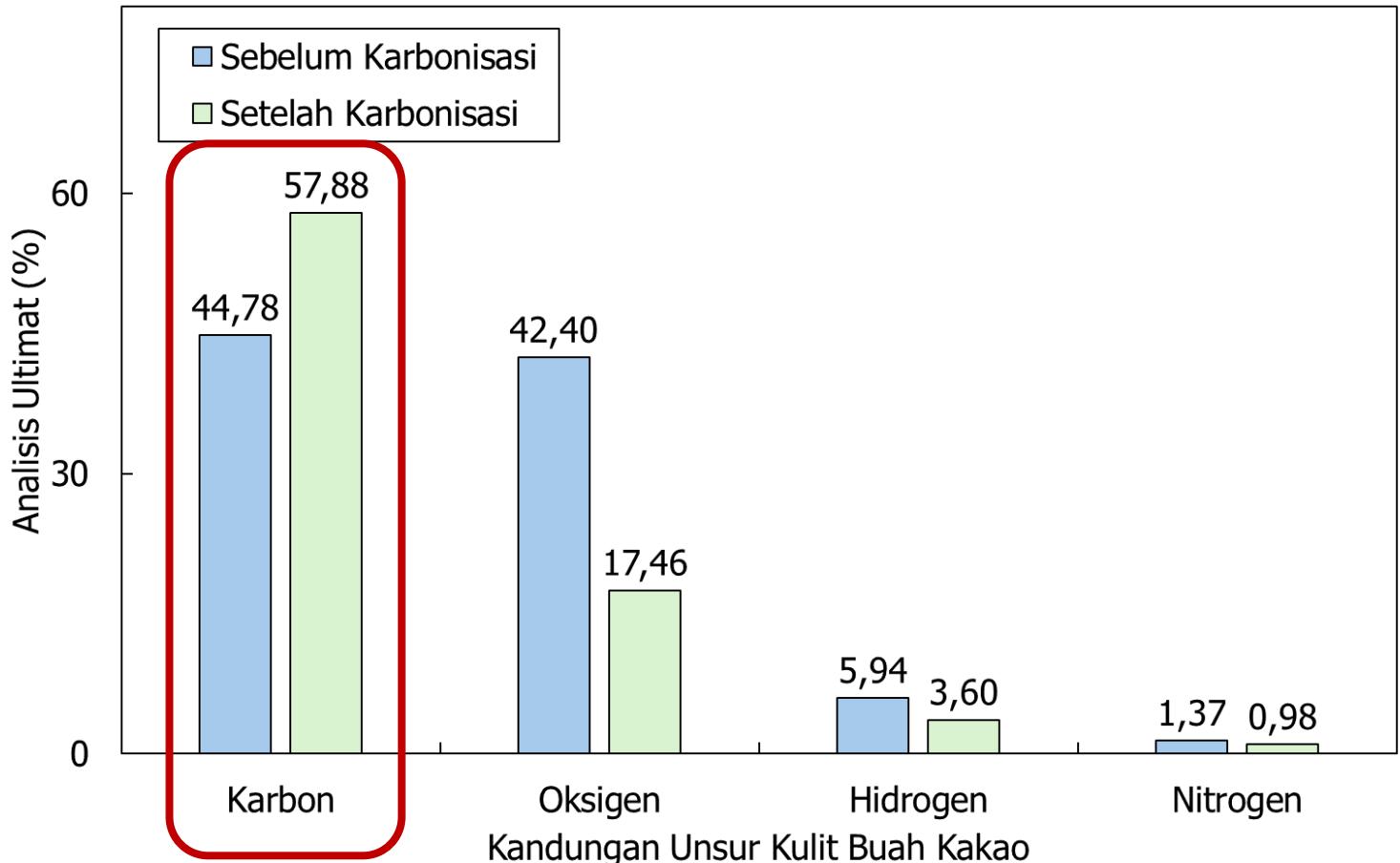


Pada temperatur 400 °C lama karbonisasi tidak berpengaruh pada hasil massa biochar

Hasil Karbonisasi



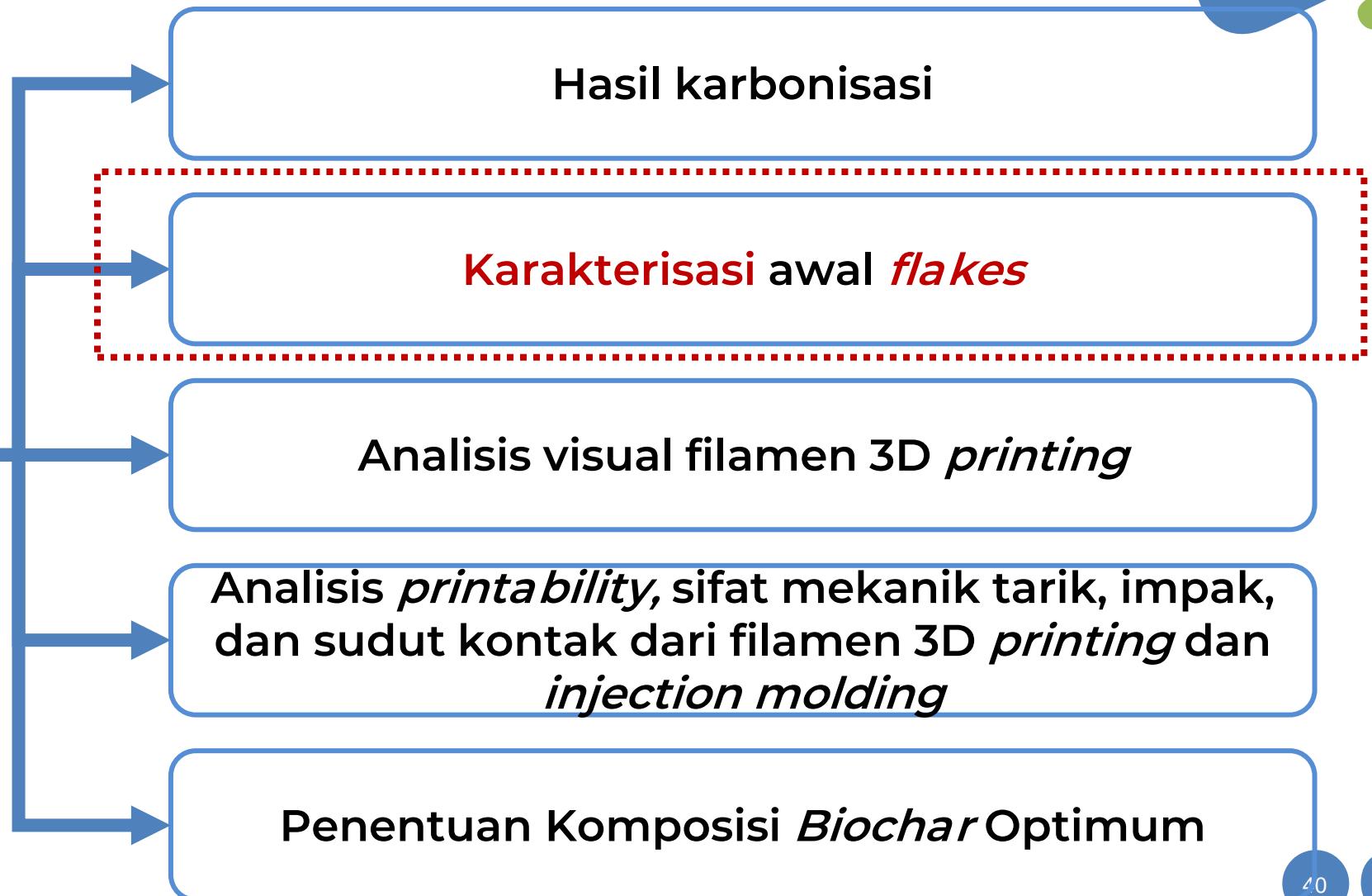
Hasil Analisis Ultimat dari Limbah Kulit Kakao di Temperatur 400 °C (Petrik, 2024)



Karbonisasi dapat meningkatkan kadar karbon di dalam kulit buah kakao

Biochar dari kulit kakao memiliki kadar karbon yang tinggi

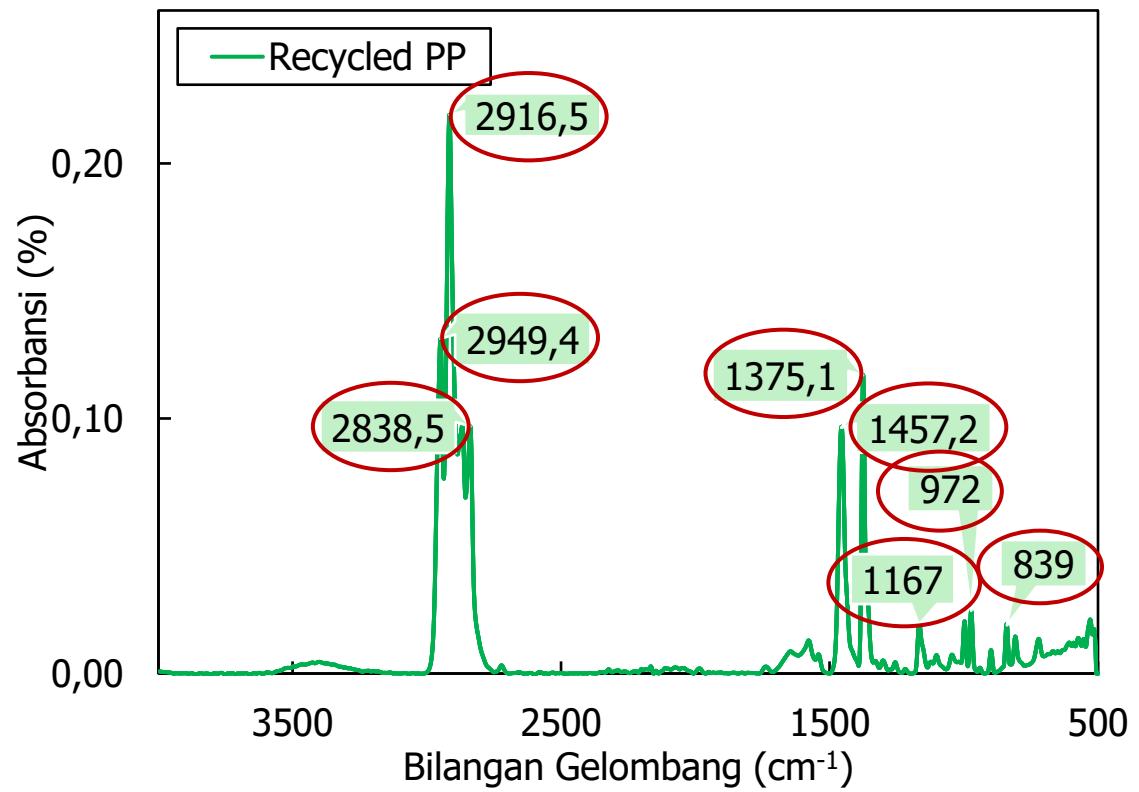
Hasil dan Analisis



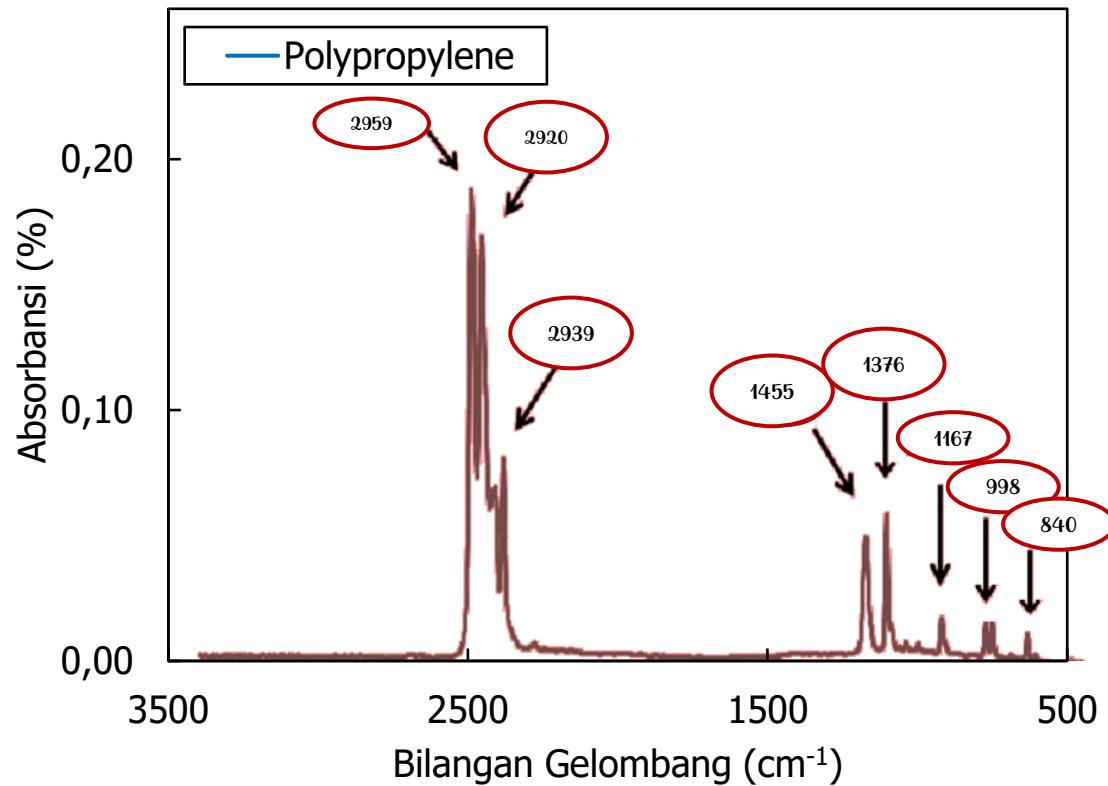
Karakterisasi Awal Flakes



Data FTIR ASTM E168
Hasil Penelitian



Data FTIR *Polypropylene*
Literatur



M. Mazhar, M. Abdouss, Z. Shariatinia, and M. Zargaran, "Graft copolymerization of methacrylic acid monomers onto polypropylene fibers," Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, vol. 20, no. 1, pp. 87–96, 2014, doi: 10.2298/CICEQ120428104M.

<https://instanano.com/all/characterization/ftir/ftir-functional-group-search/>

Zięba-Palus, J. (2017). The usefulness of infrared spectroscopy in examinations of adhesive tapes for forensic purposes. *Forensic Science and Criminology*, 2(2). <https://doi.org/10.15761/FSC.1000112>

Karakterisasi Awal Flakes



Data Densitas ASTM D792

Densitas Hasil Penelitian	Densitas Amorf <i>Polypropylene</i> (Literatur)	Satuan
0,87 ± 0,01	0,87 - 0,89	gram/cm ³

Material *flakes* daur ulang dari PT Chandra Asri Pacific Tbk adalah *Copolymer Polypropylene* untuk komponen otomotif

Karakterisasi Awal Flakes

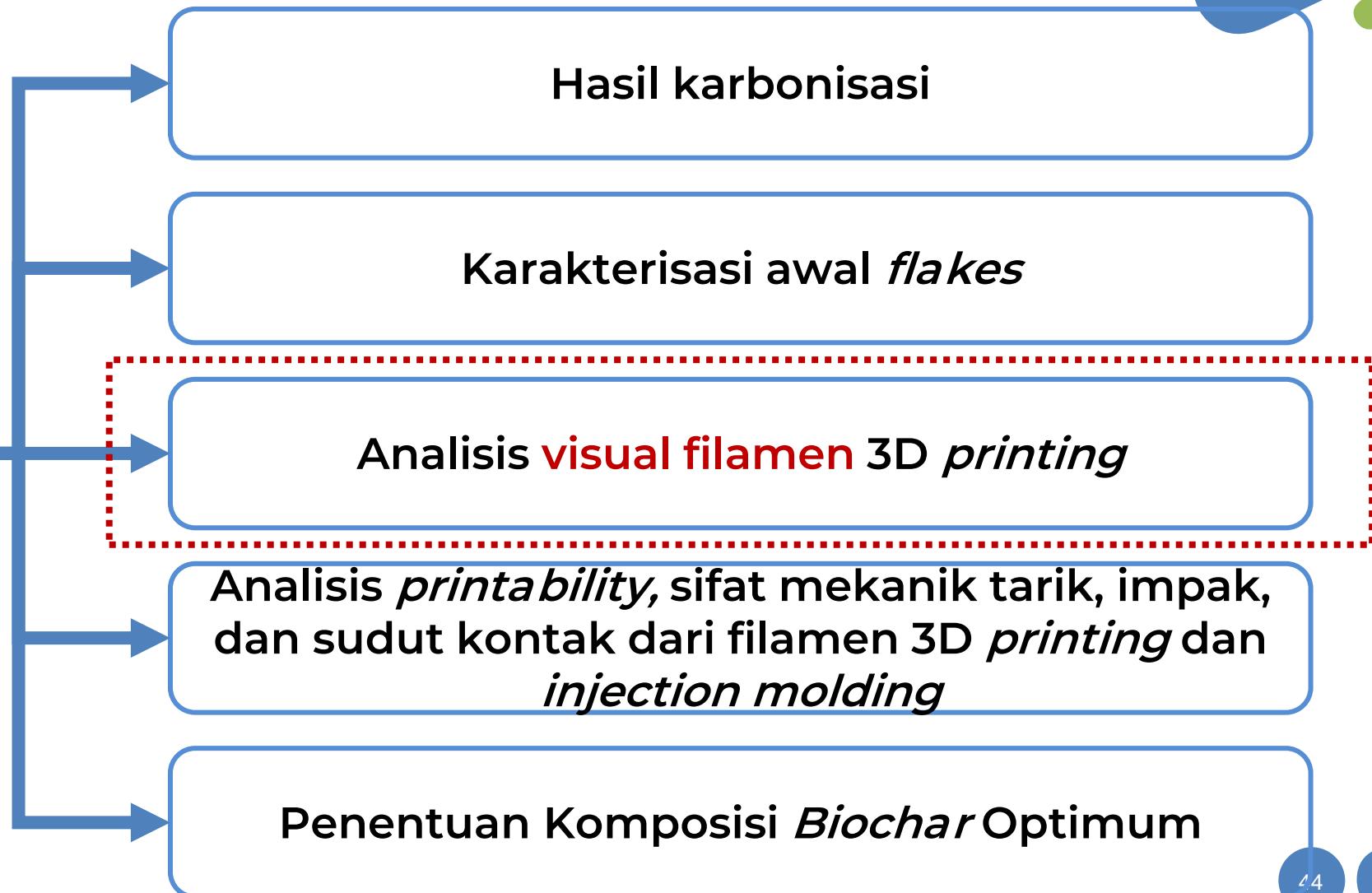


Data *Melt Flow Rate* ASTM D1238

MFR Hasil Penelitian (gram/10 menit)	MFR Standar Ekstrusi (Literatur) (gram/10 menit)	MFR Standar <i>Injection Molding</i> (Literatur) (gram/10 menit)
9,83 ± 0,07	0,5 – 12,0	9,0-50,0

Material **daur ulang** tersebut masuk untuk standar ekstrusi dan ***injection molding***

Hasil dan Analisis



Analisis Visual Filamen 3D Printing



Kode sampel digunakan untuk memudahkan **penjelasan** pada setiap variasi **komposisi biochar**

Komposisi Biochar (wt%)	Massa Biochar (gram)	Massa Flakes (gram)	Massa Total (gram)	Kode Sampel
0	0	50	50	R0
3	1,5	48,5	50	R3
5	2,5	47,5	50	R5
7	3,5	46,5	50	R7
10	5	45	50	R10

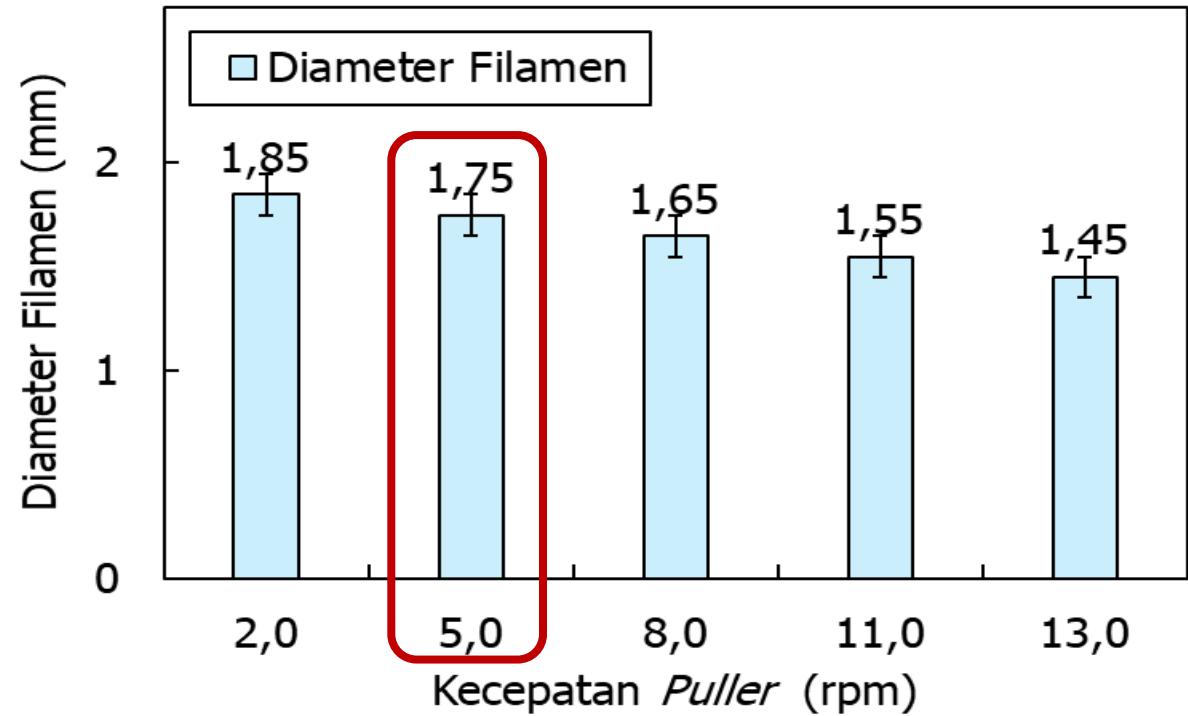
Analisis Visual Filamen 3D Printing



Penentuan kecepatan *puller* optimum dilakukan dengan mengukur diameter filamen setiap 10 cm pada 50 titik sepanjang total 500 cm

Parameter Tetap

Temperatur ekstrusi	160 °C
Kecepatan screw	8,1 rpm
Sistem pendinginan	<i>Water cooling</i>



Kecepatan *puller* optimum di 5,0 rpm

Analisis Visual Filamen 3D Printing

R0



R3



R5



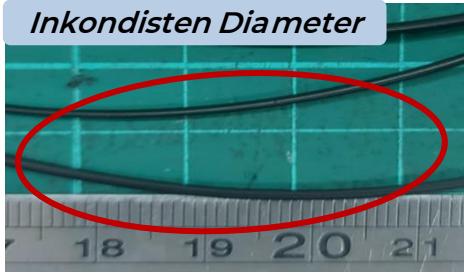
R7



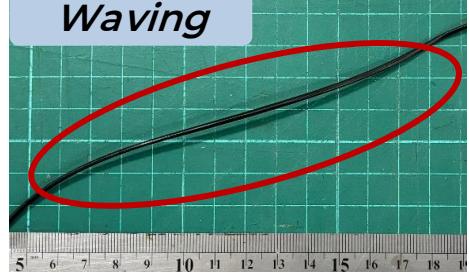
R10



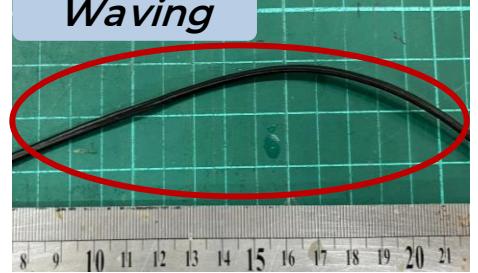
Inkondisten Diameter



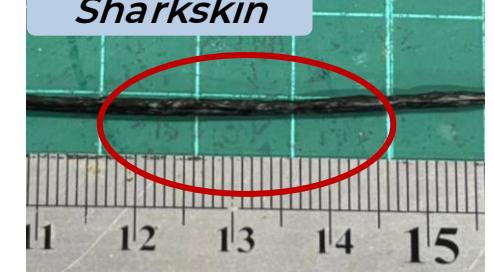
Waving



Waving



Sharkskin



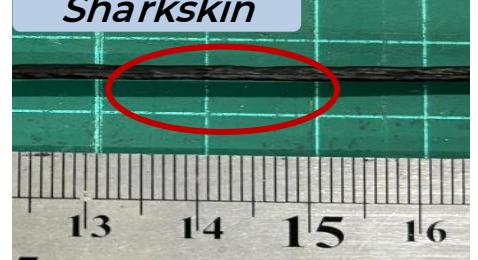
Sharkskin



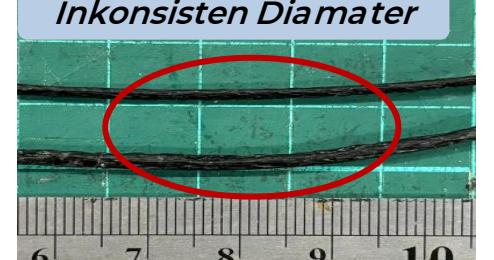
Sharkskin



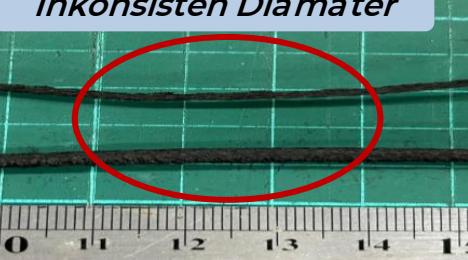
Sharkskin



Inkonsisten Diameter



Inkonsisten Diameter



Analisis Visual Filamen 3D Printing



R0



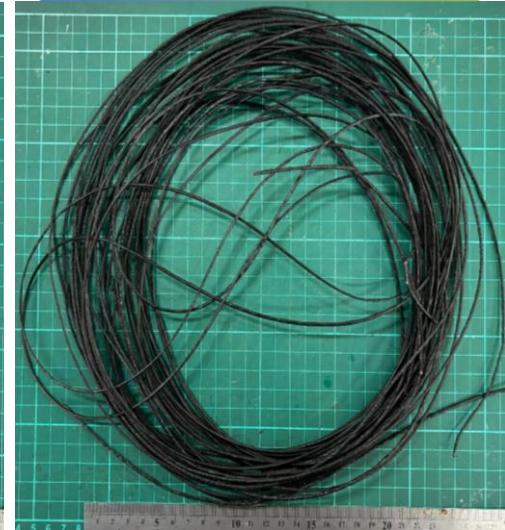
R3



R5



R7



R10



Secara visual R0, R3, R5, dan R7 tampak baik dan dapat digulung

Kode sampel R10 tampak tidak konsisten dan tidak dapat digulung

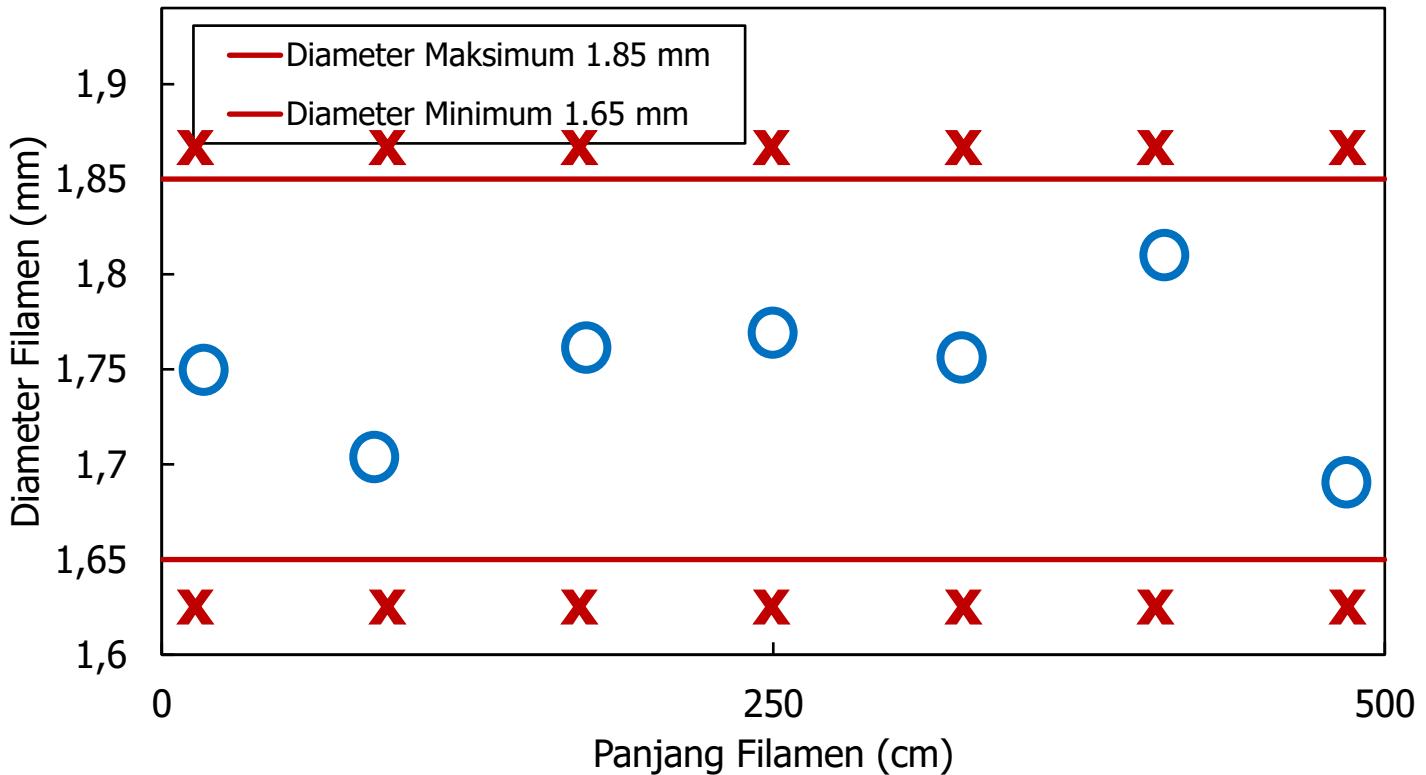
Peningkatan komposisi *biochar* dapat menurunkan kemampuan **ekstrusi** filamen

Analisis Visual Filamen 3D Printing



Pengukuran Diameter Filamen Dalam Rentang *Printing*

Filamen 3D printing harus memiliki diameter $1,75 \pm 0,1$ mm atau antara 1,65-1,85 mm



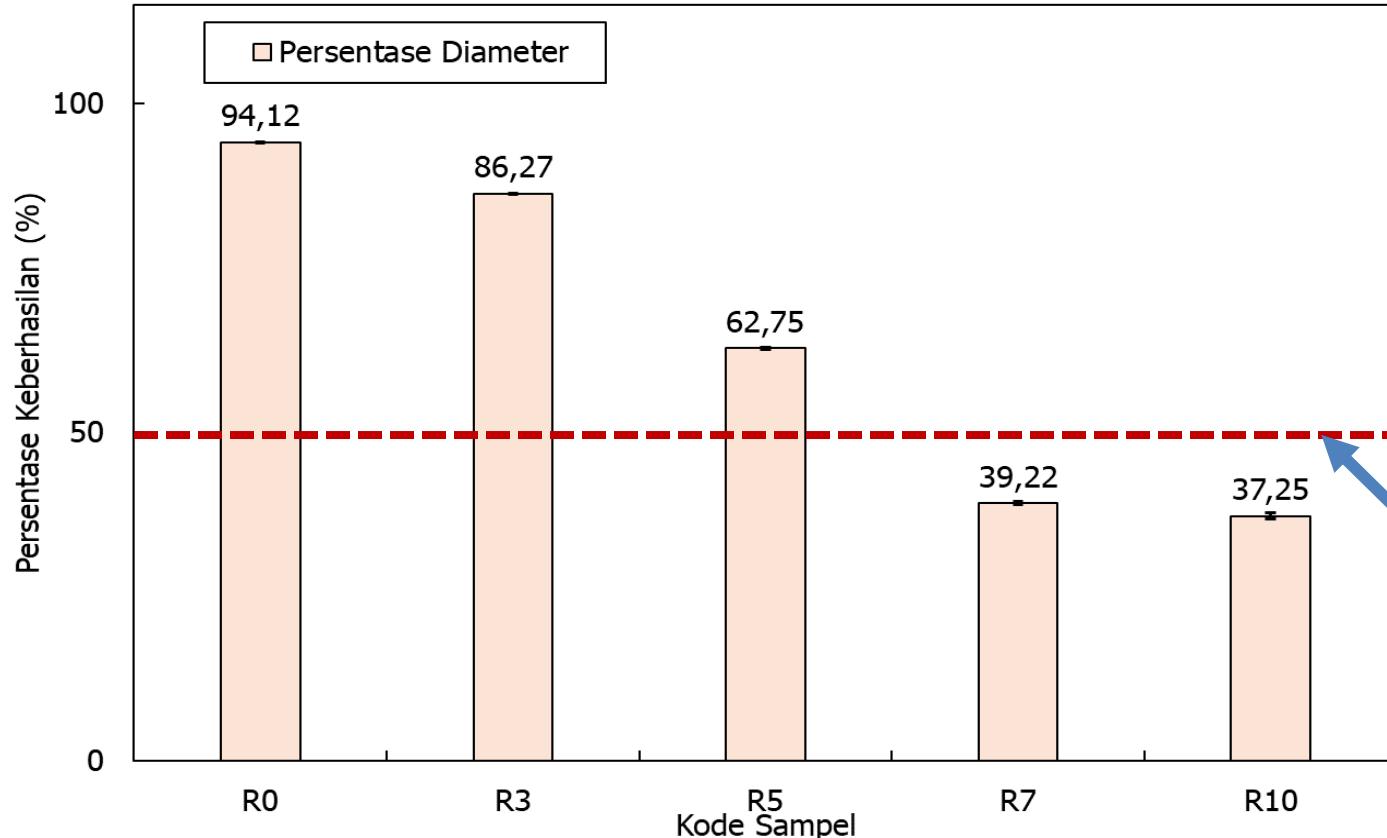
Filamen diluar rentang 3D printing tidak dapat diprint karena *clogging*

Analisis Visual Filamen 3D Printing



Persentase Diameter Filamen Dalam Rentang *Printing*

$$\% \text{Rentang Printing} = \frac{\text{Jumlah Titik Pengukuran Dalam Rentang } \textit{Printing}}{50 \text{ Titik}} \times 100\%$$

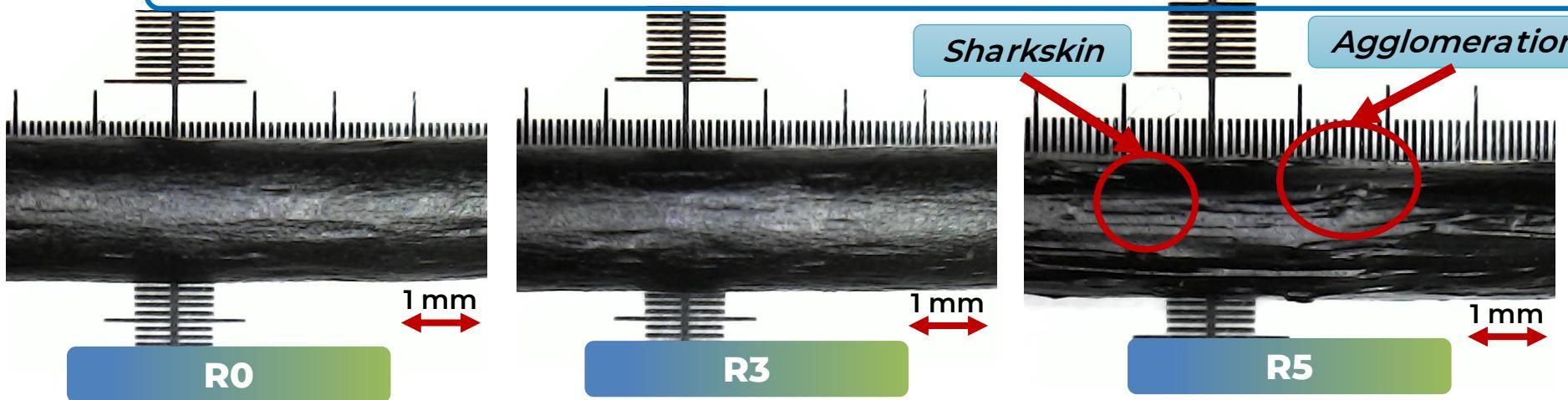


Penambahan ***biochar*** dapat menurunkan diameter dalam rentang ***printing*** karena terjadi **aglomerasi *biochar***

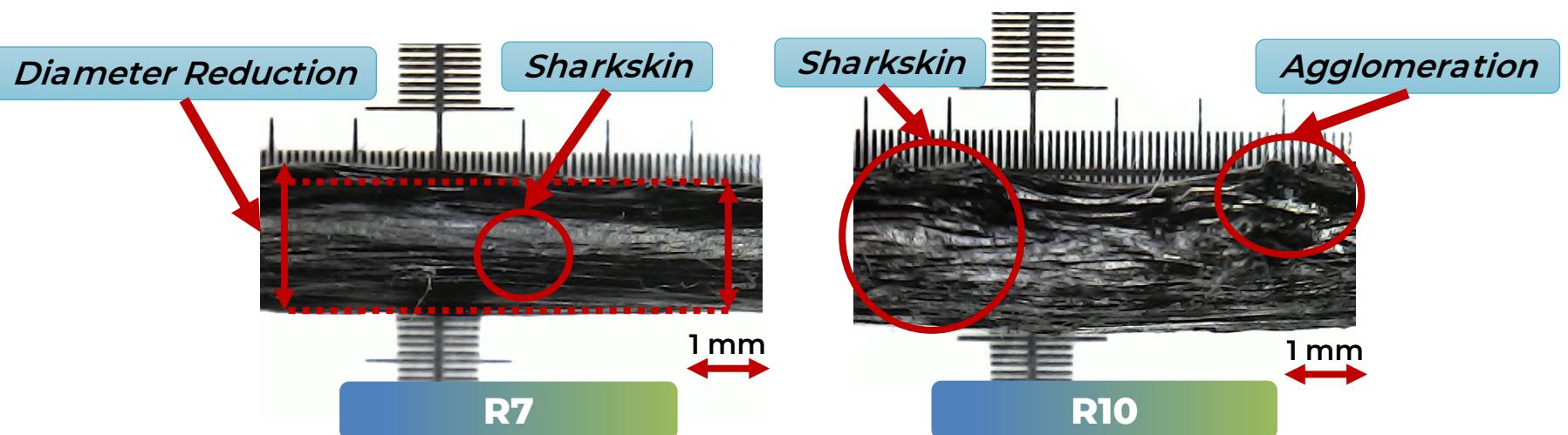
Batas filamen optimal untuk digunakan ***printing***

Analisis Visual Filamen 3D Printing

Visual Menggunakan Mikroskop



Sampel R3 memiliki campuran yang homogen



Penambahan **biochar** dapat meningkatkan cacat yang terjadi pada filamen

Analisis Visual Filamen 3D Printing



Tabel Perbandingan Setiap Komposisi

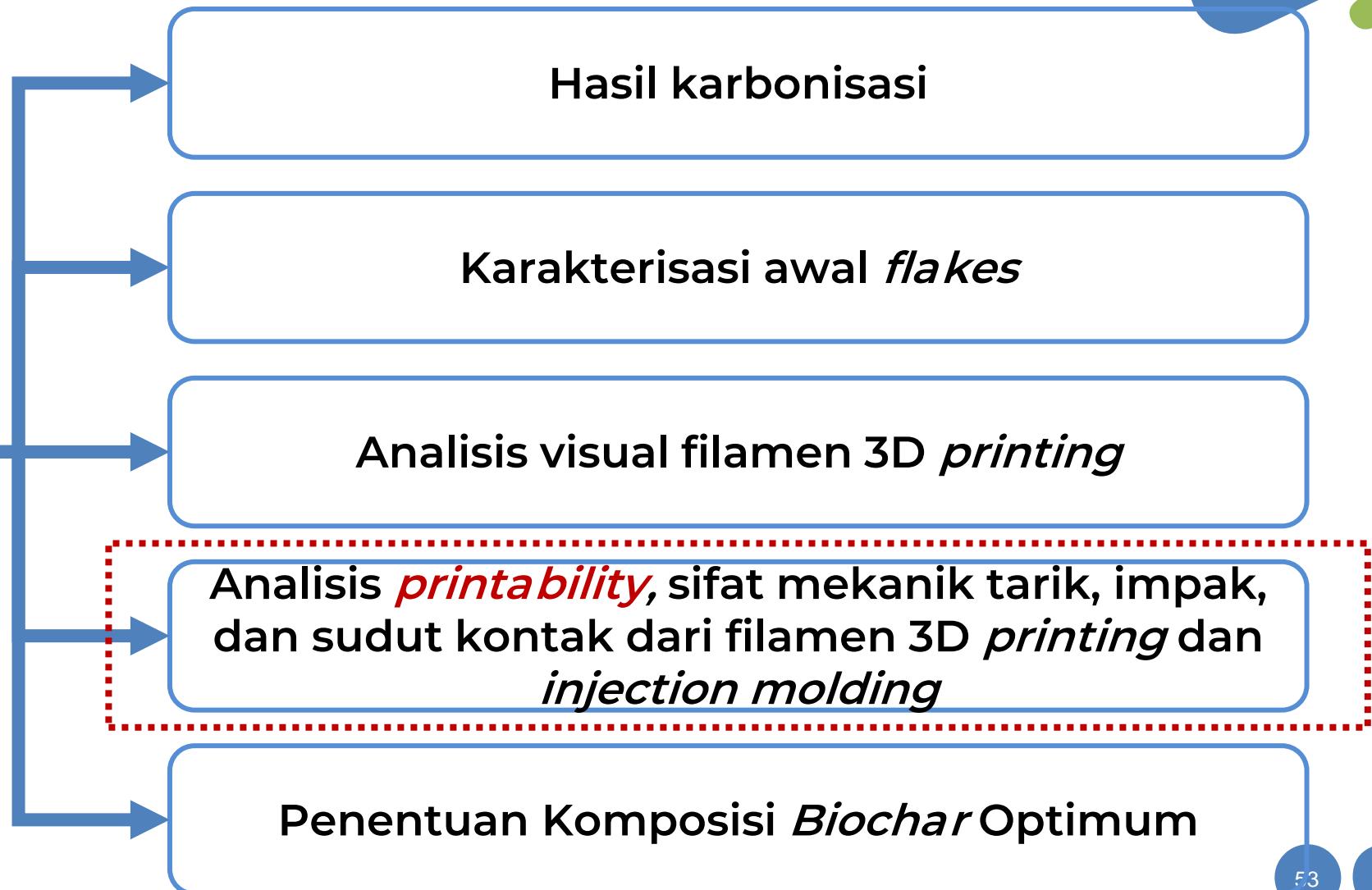
Kode Sampel	Filamen Dapat Digulung	Persentase Diameter Rentang <i>Printing</i> Optimal	Tampak Mikroskop Minimum Cacat
R0	✓	✓	✓
R3	✓	✓	✓
R5	✓	✓	✗
R7	✓	✗	✗
R10	✗	✗	✗

Komposisi terbaik untuk di *printing* adalah sampel R0 dan R3 karena memenuhi ketiga parameter

Kode sampel R5, R7, dan R10 tidak memenuhi semua parameter

Pembuktian komposisi terbaik dilihat dari *benchy*

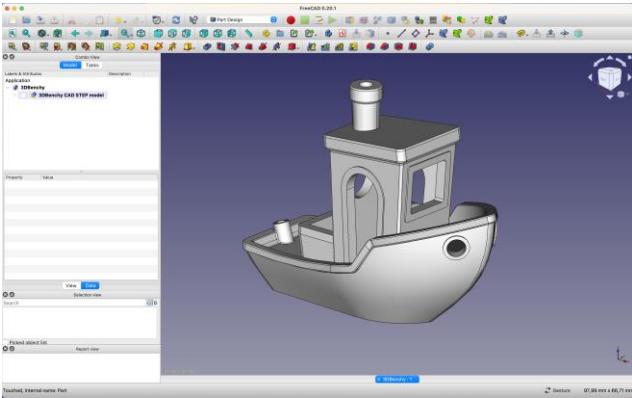
Hasil dan Analisis



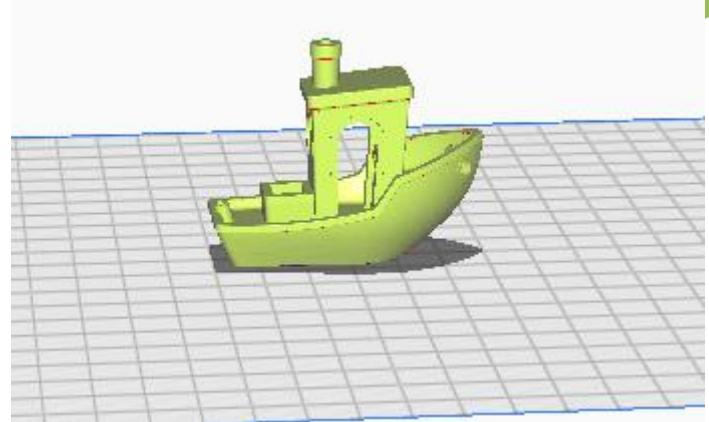
Analisis Printability Filamen 3D printing



Mesin 3D Printing



Konversi CAD
Menjadi Format STL



Slicing dan
pencetakan



Warping



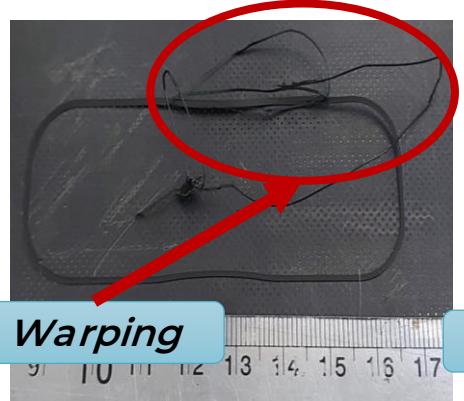
Stringing



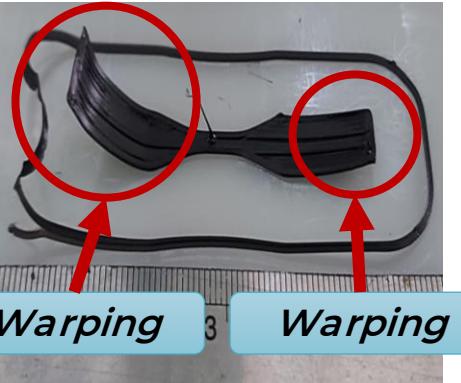
Clogging

Analisis Printability Filamen 3D Printing

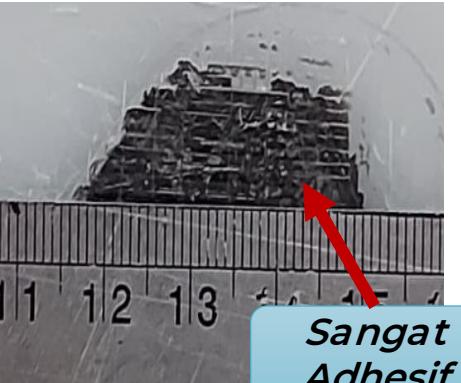
Menentukan *Bed Printing* Optimum



Keramik

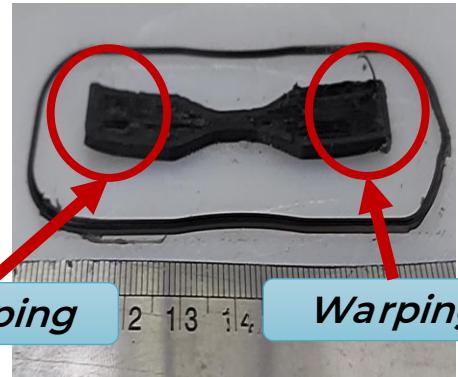


HDPE



PP

Bed printing* optimum adalah menggunakan **PP Silicon Mold + Raft*



PP Silicon Mold

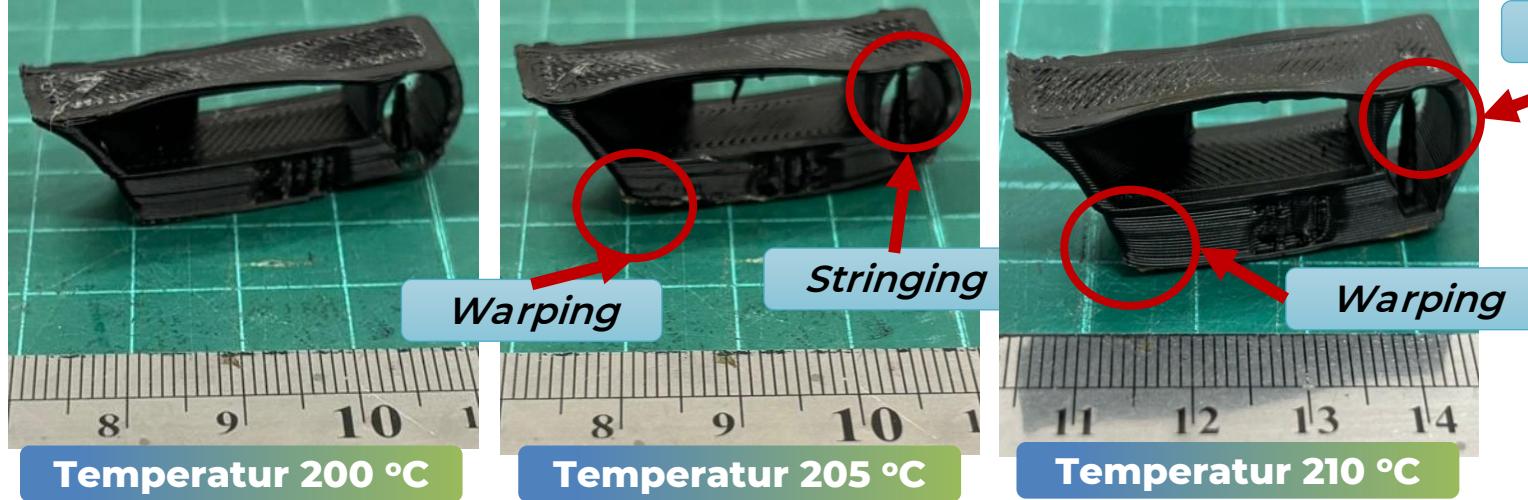


PP Silicon Mold + Raft

Gaya kohesi polypropylene lebih besar dari adhesi pp dengan bed

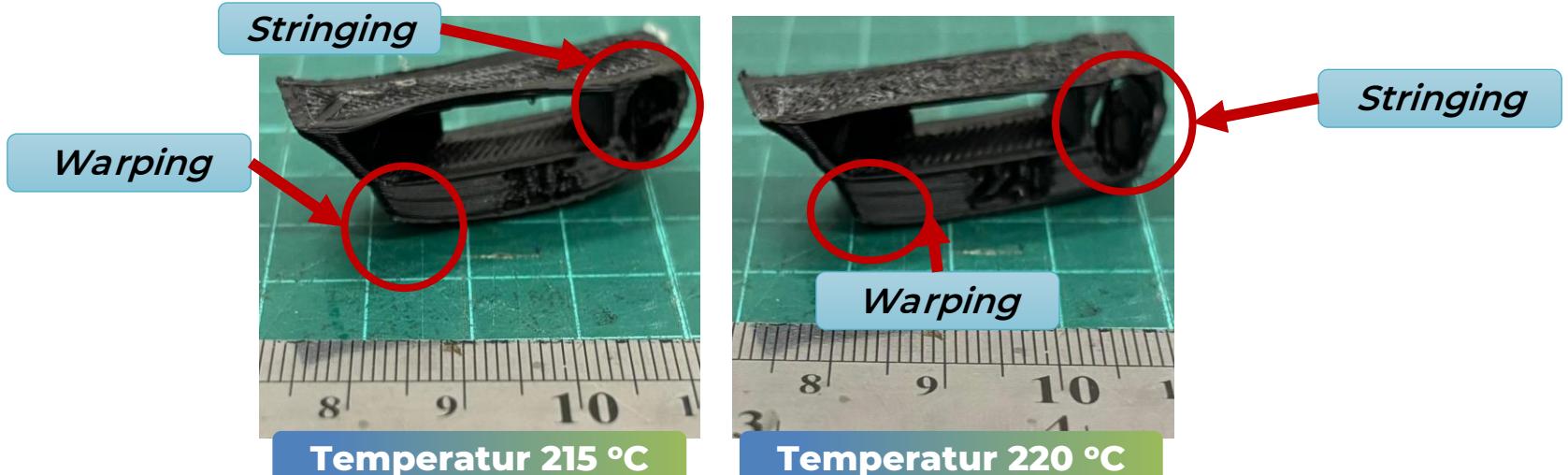
Analisis Printability Filamen 3D Printing

Penentuan Temperatur *Printing* Optimum



Stringing

Warping



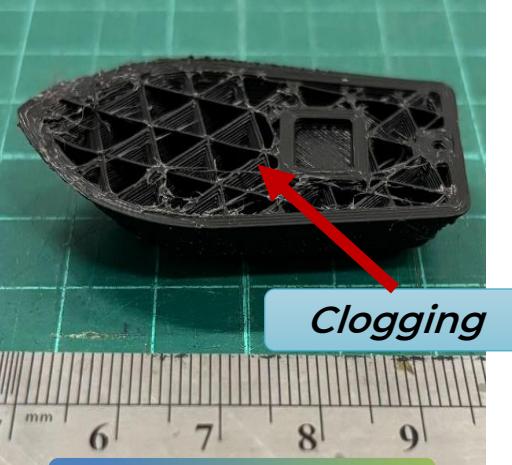
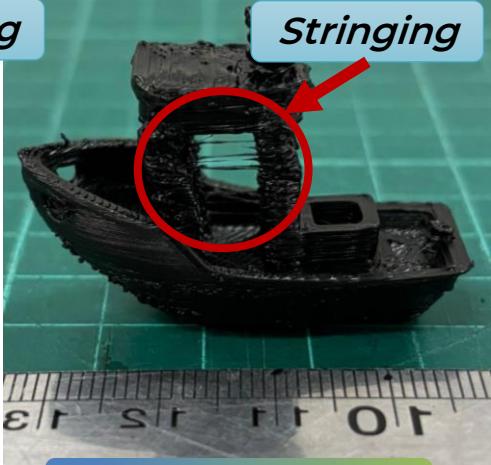
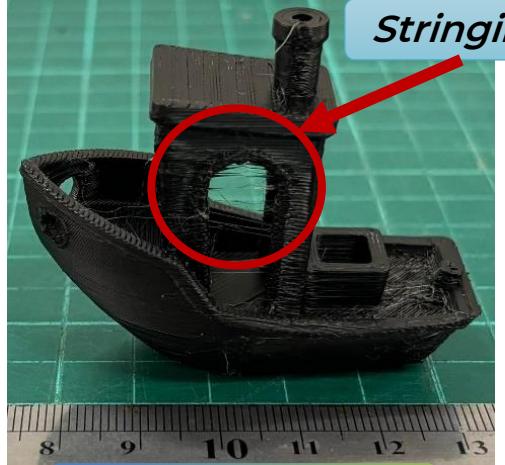
Secara visual, temperatur optimum adalah di 200 °C karena minimum cacat

Temperatur 205 °C, 210 °C, 215 °C, dan 220 °C memiliki cacat *warping* dan *stringing*

Analisis Printability Filamen 3D Printing



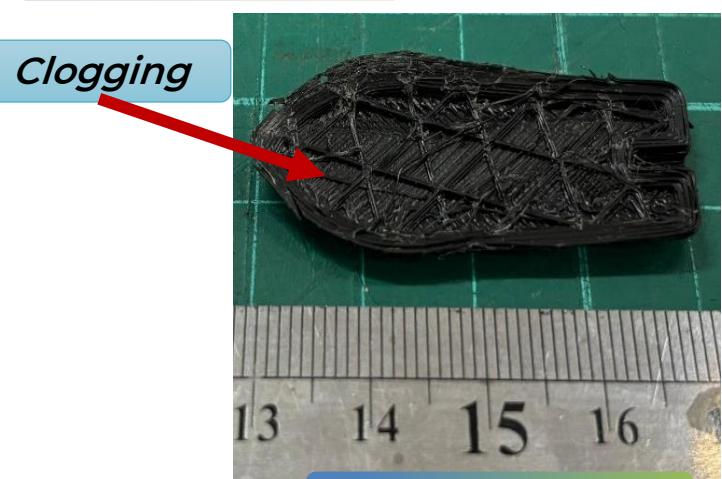
Data Printability Benchy



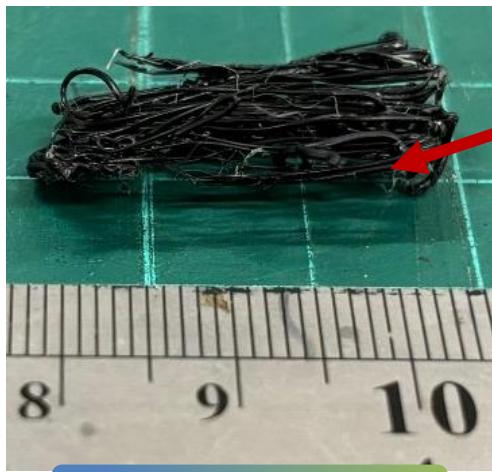
R0

R3

R5



Clogging



Clogging

R7

R10

Berdasarkan hasil *printing* maka sampel R0 dan R3 memiliki *printability* terbaik

Kode R5, R7, dan R10 tidak memiliki *printability* yang baik karena terjadi *clogging*

Analisis Printability Filamen 3D Printing



Tabel Perbandingan Setiap Komposisi

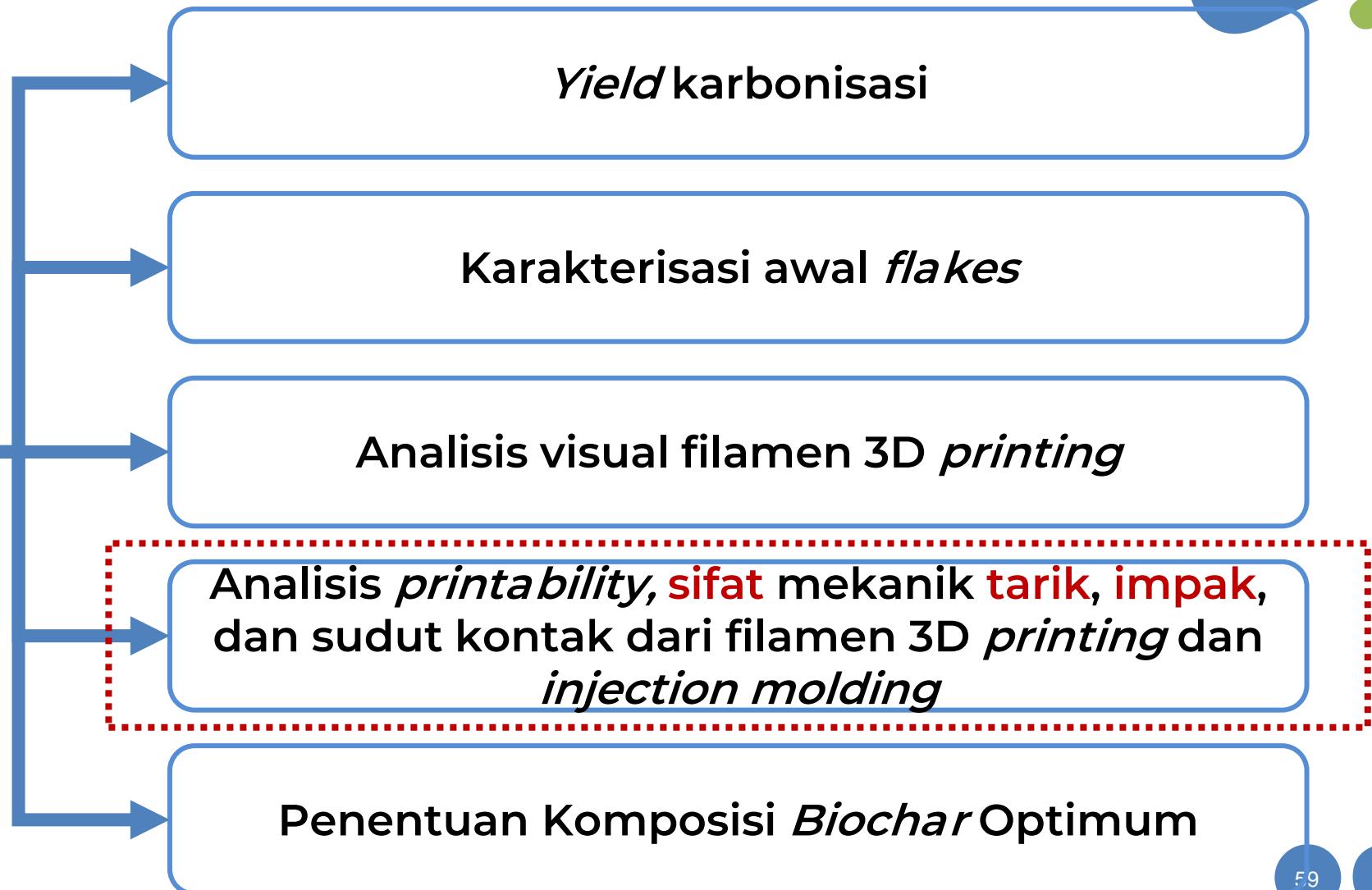
Kode Sampel	Filamen Dapat Digulung	Persentase Diameter Rentang Printing Optimal	Hasil Mikroskop Minimum Cacat	Printability Baik
R0	✓	✓	✓	✓
R3	✓	✓	✓	✓
R5	✓	✓	✗	✗
R7	✓	✗	✗	✗
R10	✗	✗	✗	✗

Komposisi terbaik untuk *printing* adalah R0 dan R3 karena memenuhi semua parameter

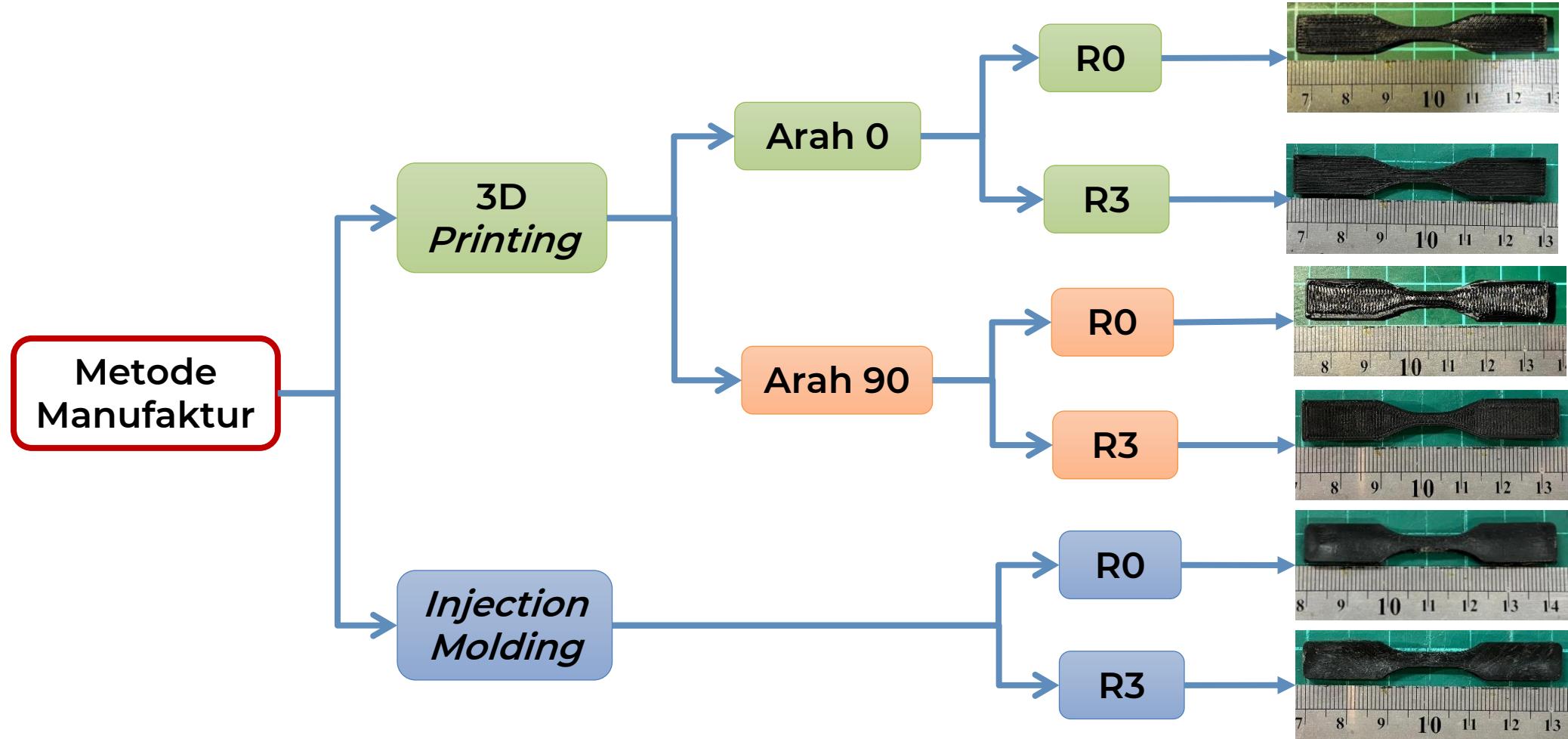
Kode sampel R5, R7, dan R10 tidak memenuhi semua parameter

Komposisi optimum untuk dilakukan pengujian tarik dan impak adalah sampel R0 dan R3

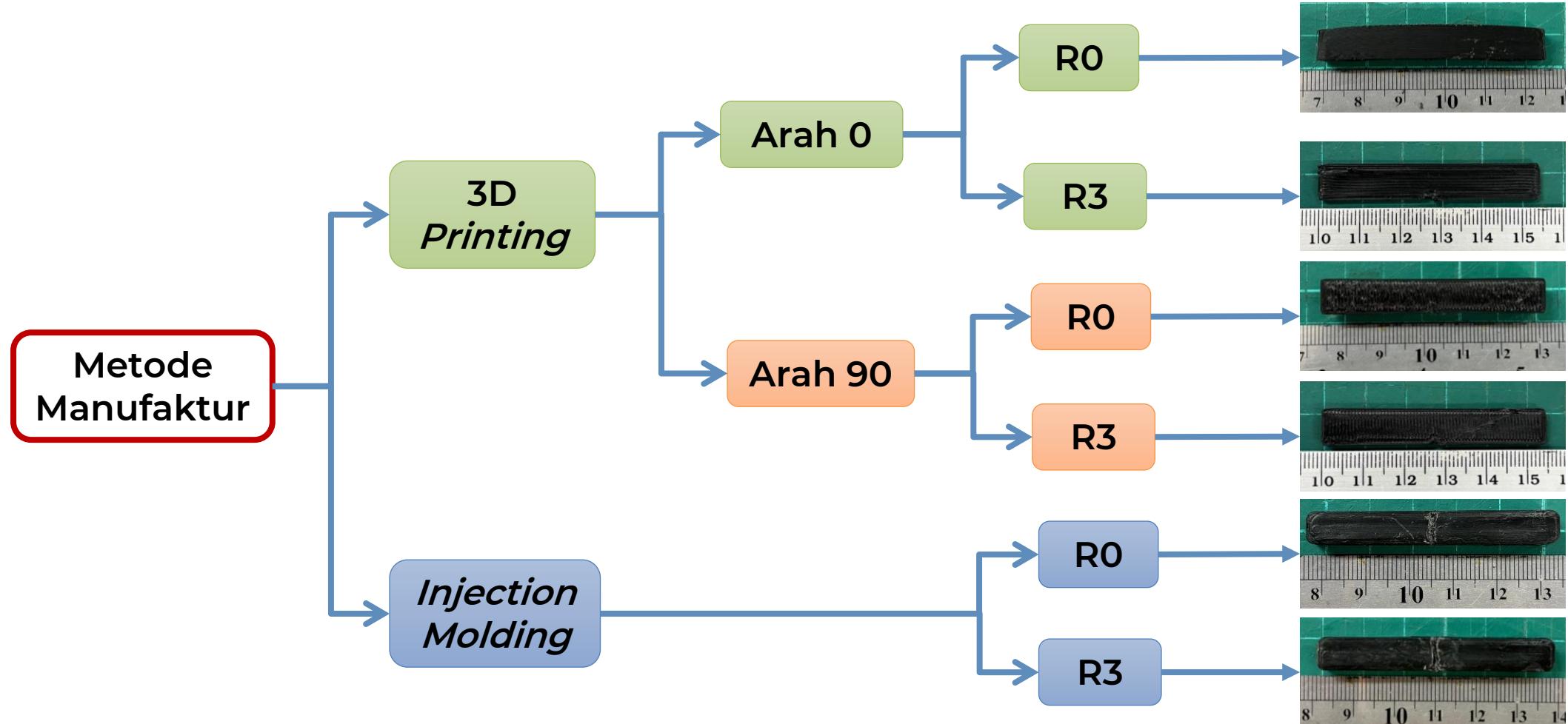
Hasil dan Analisis



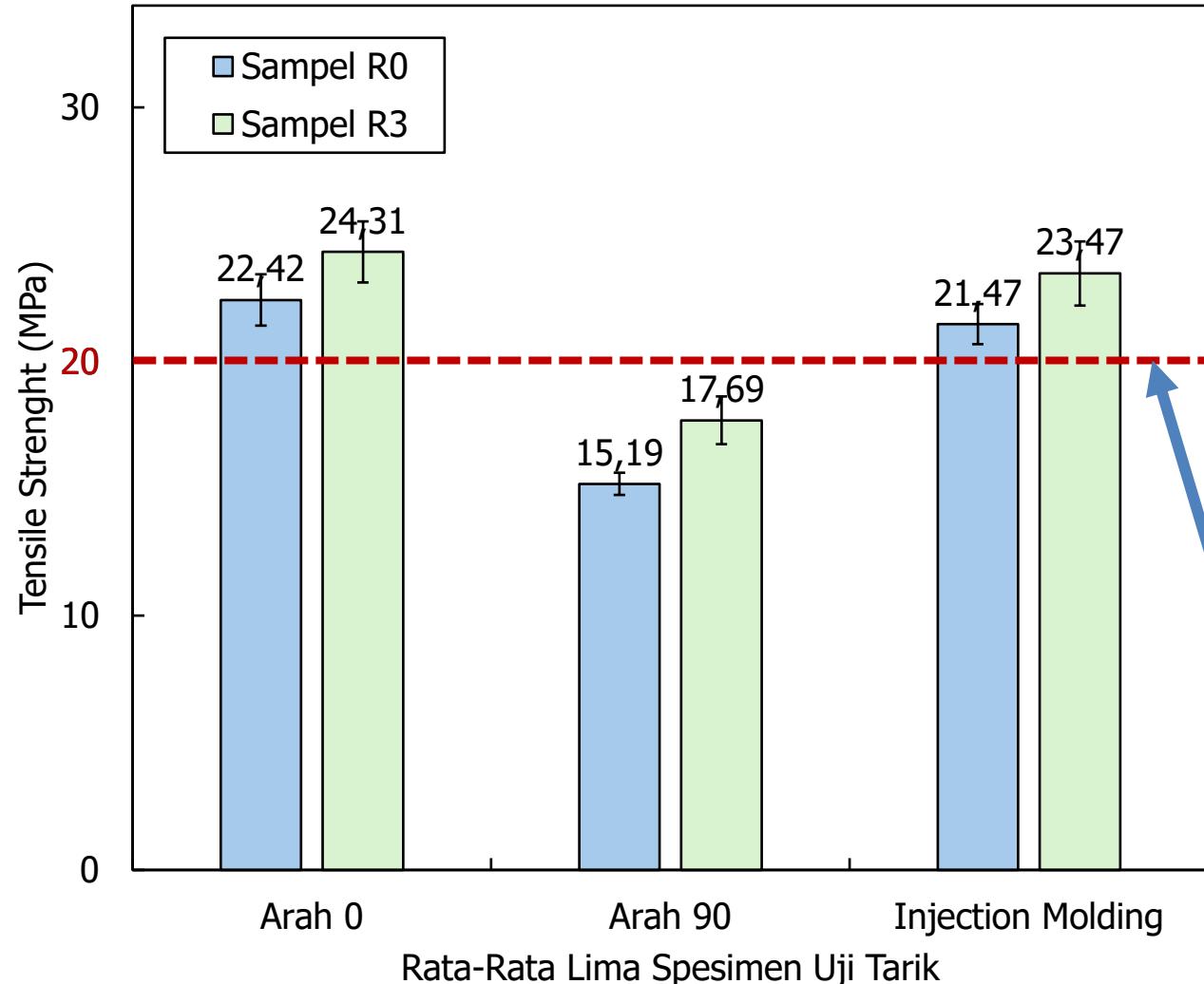
Analisis Sifat Mekanik 3D Printing



Analisis Sifat Mekanik 3D Printing



Analisis Kekuatan Tarik Filamen 3D Printing



Penambahan *biochar* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik material pada berbagai metode manufaktur

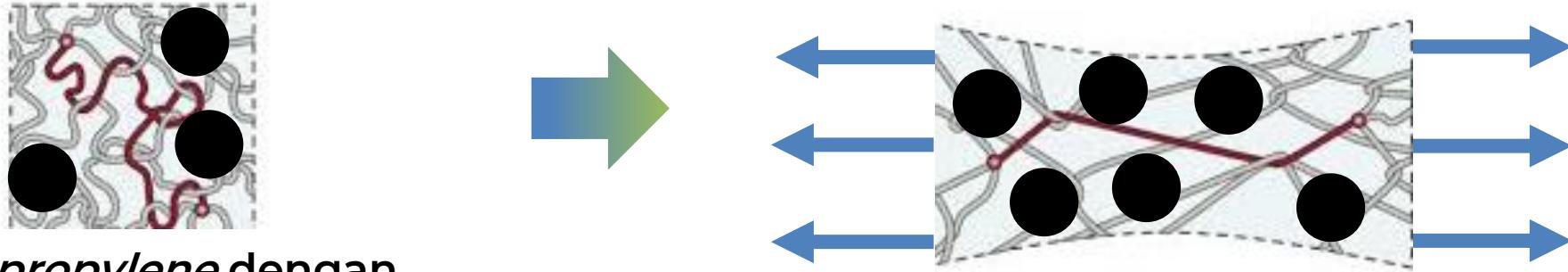
Penambahan 3 wt% Biochar	Kenaikan Kekuatan Tarik (%)
Arah 0	8.44
Arah 90	16.45
Injection Molding	9.32

Standar Kekuatan Tarik Interior Mobil

*TRINSEO INSPIRE™ TF1305 ESU

Analisis Kekuatan Tarik Filamen 3D Printing

Penambahan *biochar* dapat meningkatkan kekuatan material

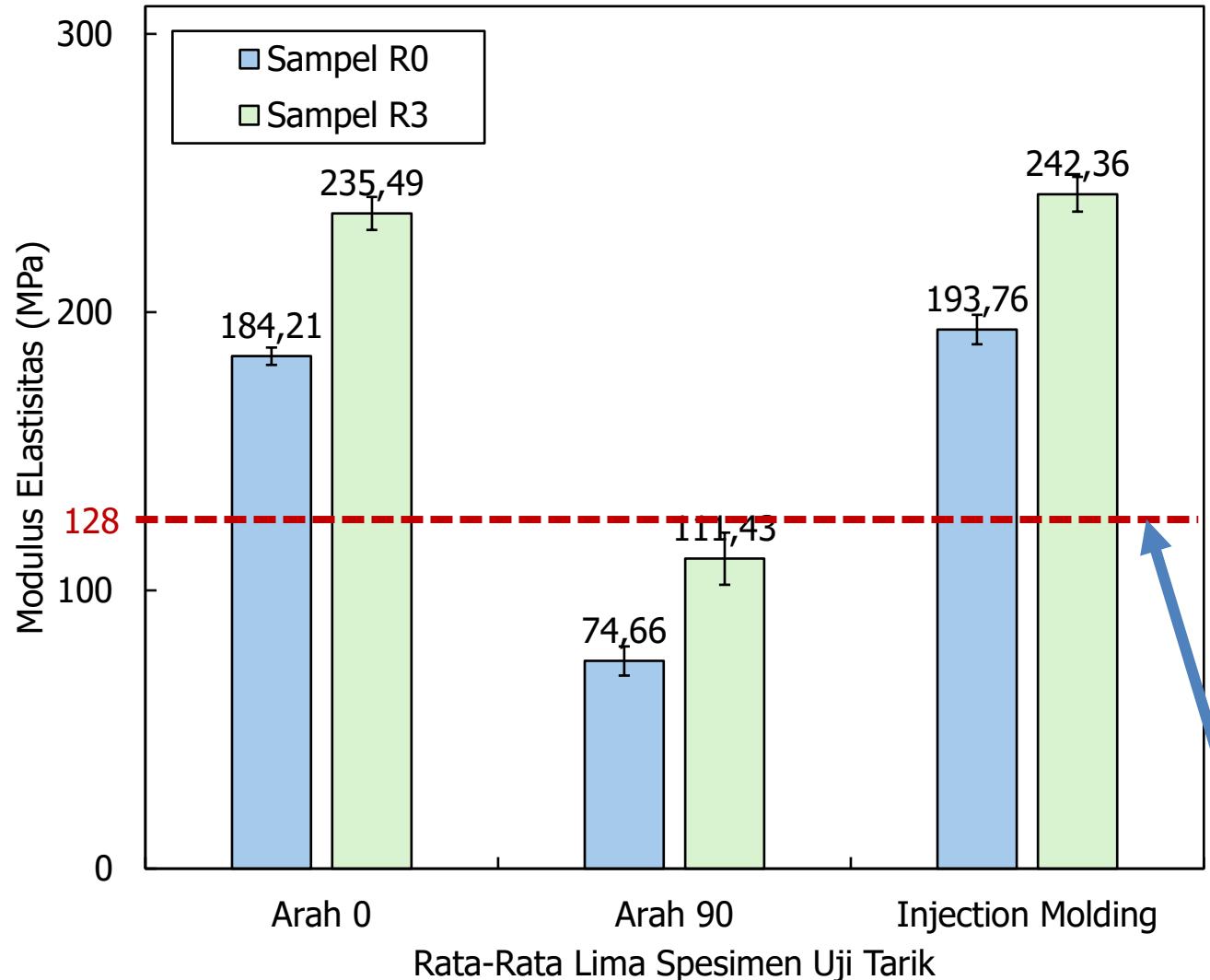
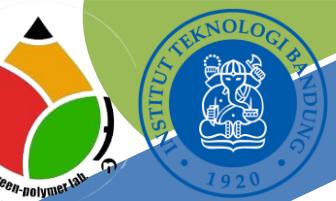


Polypropylene dengan
biochar

Tegangan tarik

Biochar dapat menghalangi gerak pada *entanglement* rantai di daerah *amorf* sehingga dibutuhkan energi lebih besar untuk menggerakkan rantai sampai putus

Analisis Modulus Elastisitas Filamen 3D Printing



Penambahan *biochar* dapat meningkatkan nilai **modulus elastisitas** pada berbagai metode manufaktur

Penambahan 3 wt% Biochar	Kenaikan Modulus (%)
Arah 0	27.84
Arah 90	49.24
Injection Molding	25.08

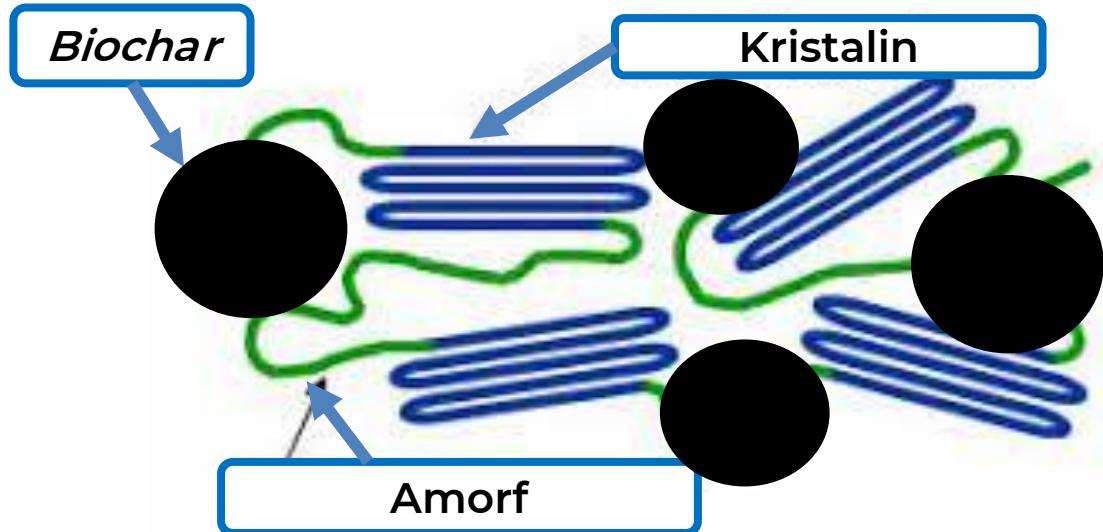
Modulus PP *Biochar* 3D Printing (Literatur)

(Shaik J, 2022)

Analisis Modulus Elastisitas Filamen 3D Printing



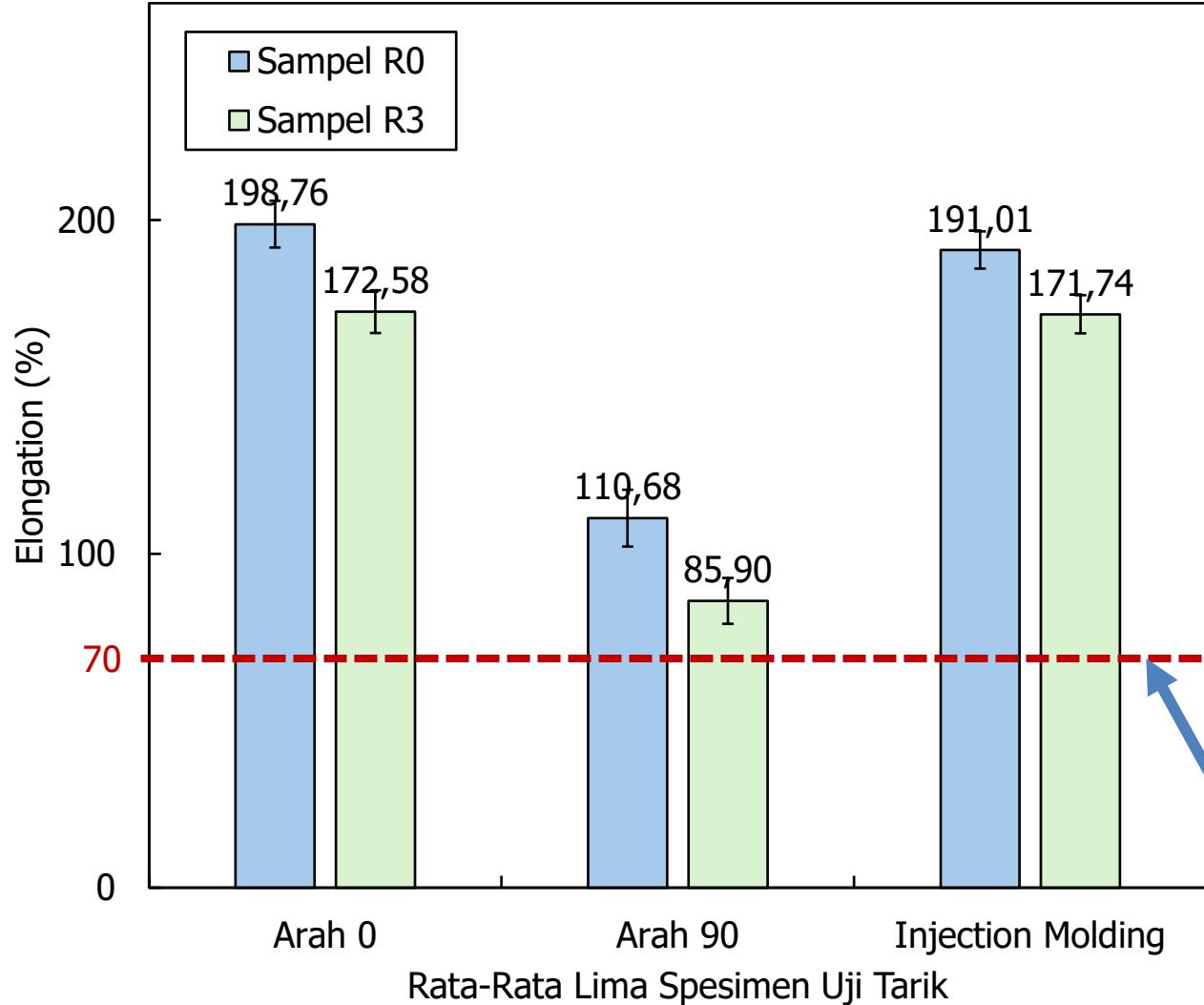
Penambahan *biochar* dapat meningkatkan modulus material



Polypropylene dengan biochar

Biochar dapat menahan pergerakan rantai sehingga polimer semakin sulit untuk bergerak dan semakin kaku

Analisis Elongasi Filamen 3D Printing



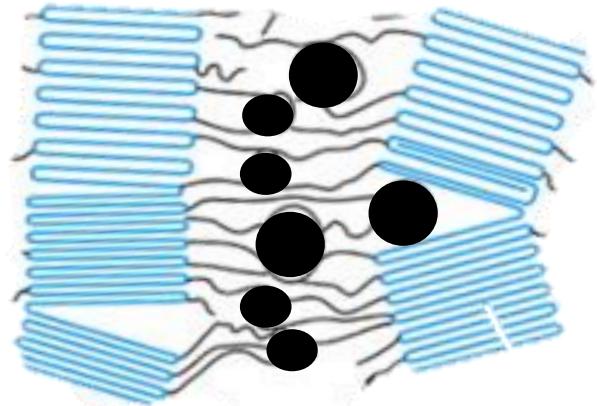
Penambahan *biochar* dapat menurunkan nilai elongasi material pada berbagai metode manufaktur

Penambahan 3 wt% Biochar	Penurunan Elongasi (%)
Arah 0	13.17
Arah 90	22.39
Injection Molding	10.08

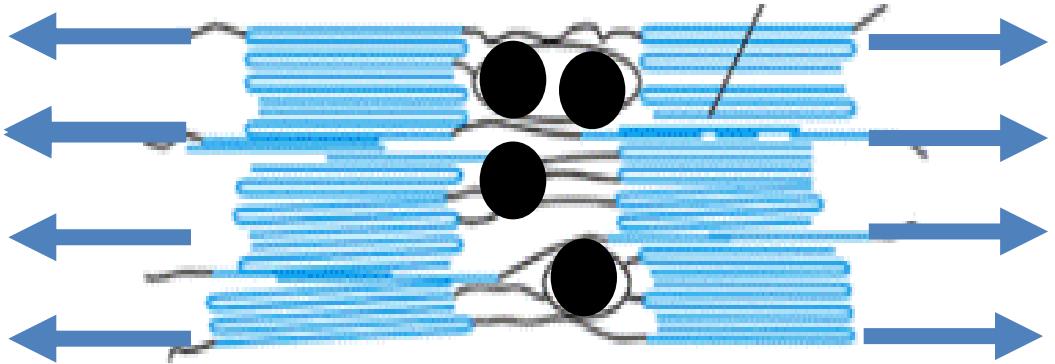
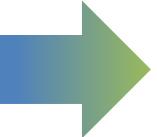
Standar Elongasi Interior Mobil

Analisis Elongasi Filamen 3D Printing

Penambahan *biochar* dapat menurunkan elongasi material



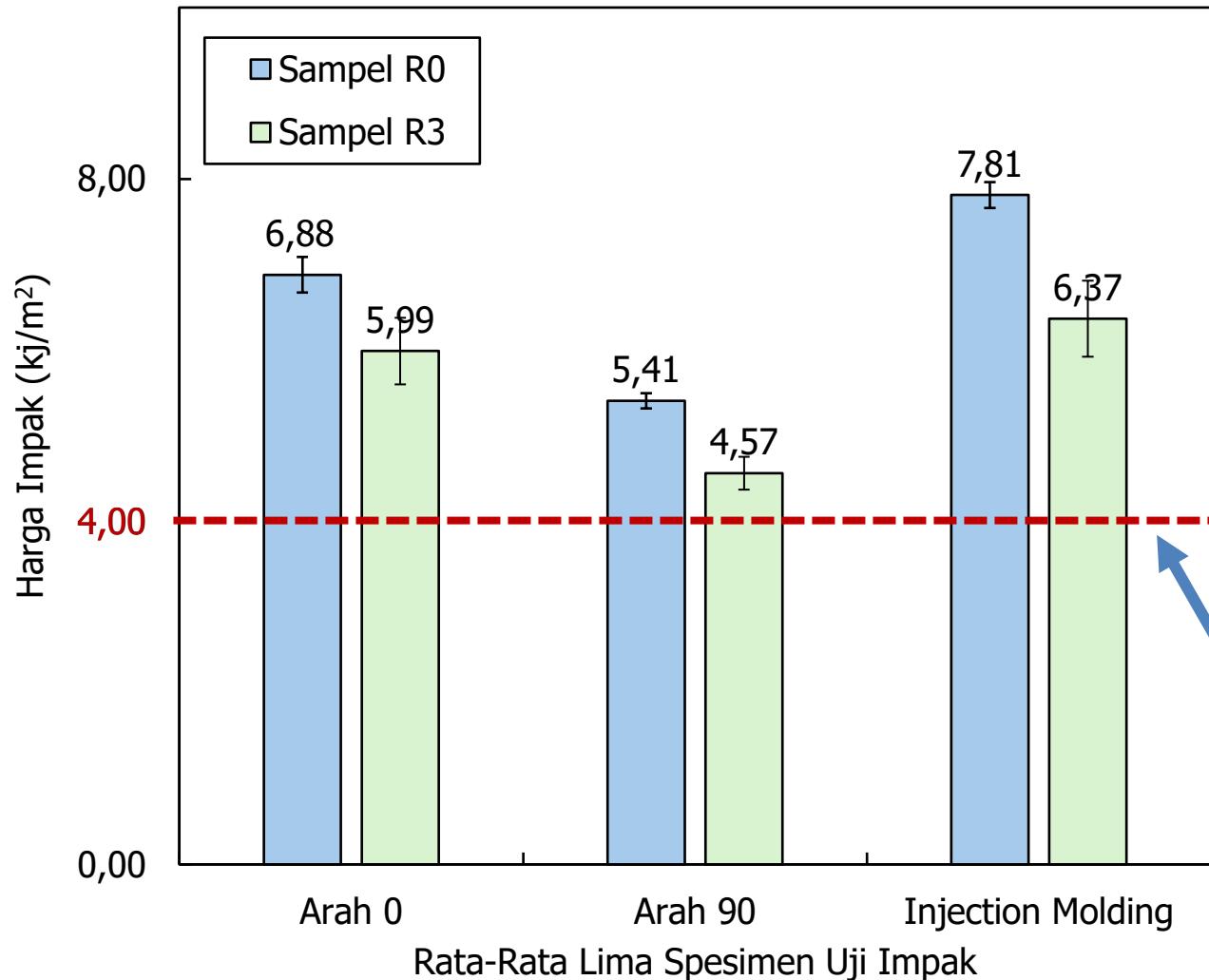
Rantai sebelum penarikan



Rantai disaat penarikan

Biochar dapat menghalangi regangan rantai pada daerah amorf sehingga rantai tidak dapat merenggang seluruhnya dan menurunkan elongasi

Analisis Impak Filamen 3D Printing



Penambahan *biochar* dapat menurunkan nilai **impak** material pada berbagai metode **manufaktur**

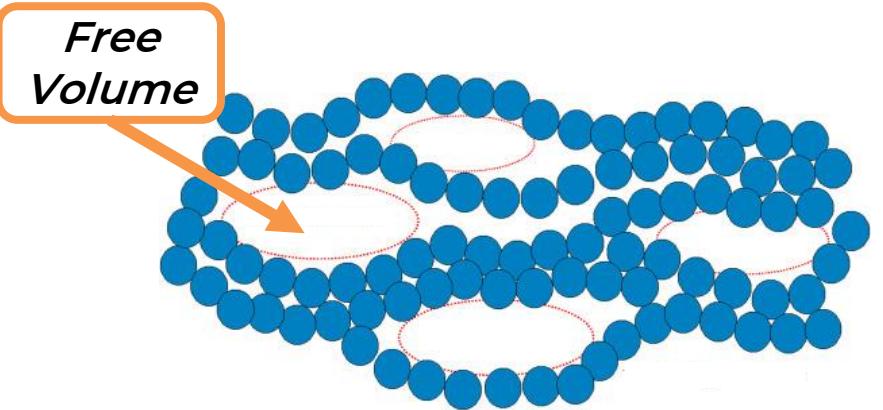
Penambahan 3 wt% Biochar	Penurunan Impak (%)
Arah 0	12.95
Arah 90	15.63
Injection Molding	18.48

Standar Impak Interior Mobil

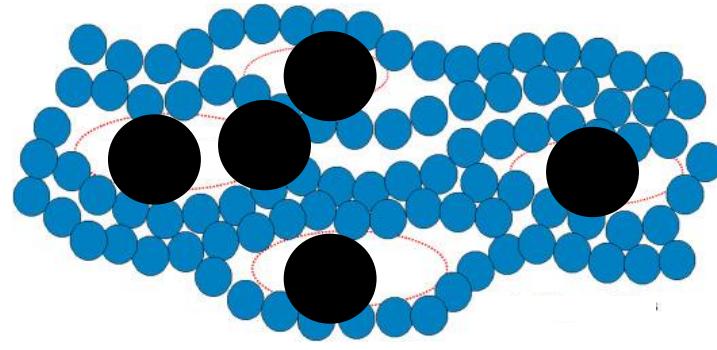
*TRINSEO INSPIRE™ TF1305 ESU

Analisis Impak Filamen 3D Printing

Penambahan **biochar** dapat menurunkan impak material



Polypropylene **tanpa** *biochar*



Polypropylene **dengan** *biochar*

Biochar mengurangi **free volume** yang dibutuhkan polimer untuk **bergerak** ketika terkena beban impak sehingga **energi** yang diserap **tidak** mampu **diubah** seluruhnya menjadi energi **kinetik**

Analisis Sifat Mekanik



Tabel Perbandingan Pengaruh Sifat Mekanik Terhadap Penambahan *Biochar*

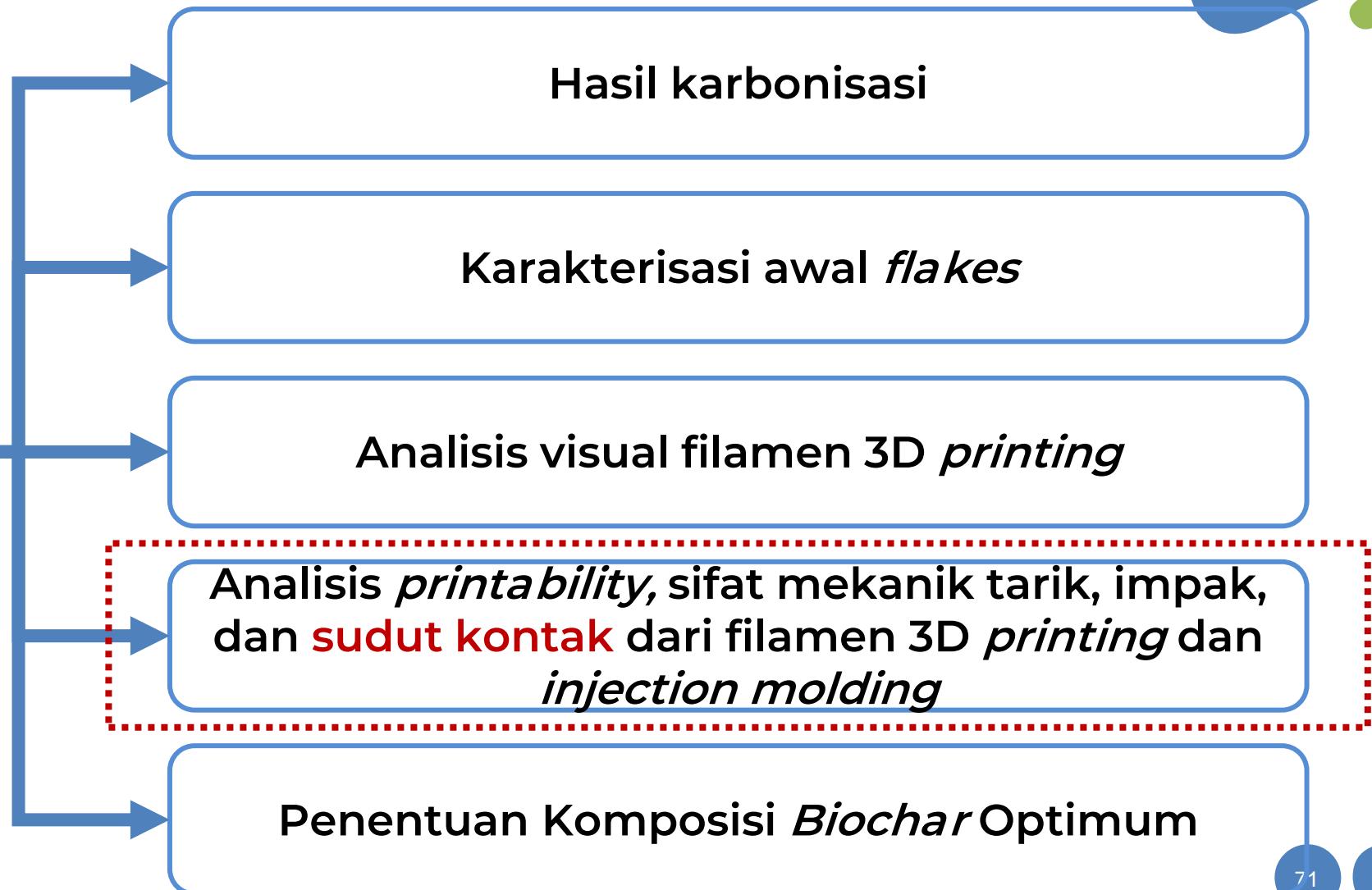
Sifat Mekanik	Pengaruh Penambahan 3 wt% Biochar
Kekuatan Tarik	Naik
Modulus Elastisitas	Naik
Elongasi	Turun
Impak	Turun

Penambahan *biochar* dapat meningkatkan kekuatan tarik dan modulus material daur ulang

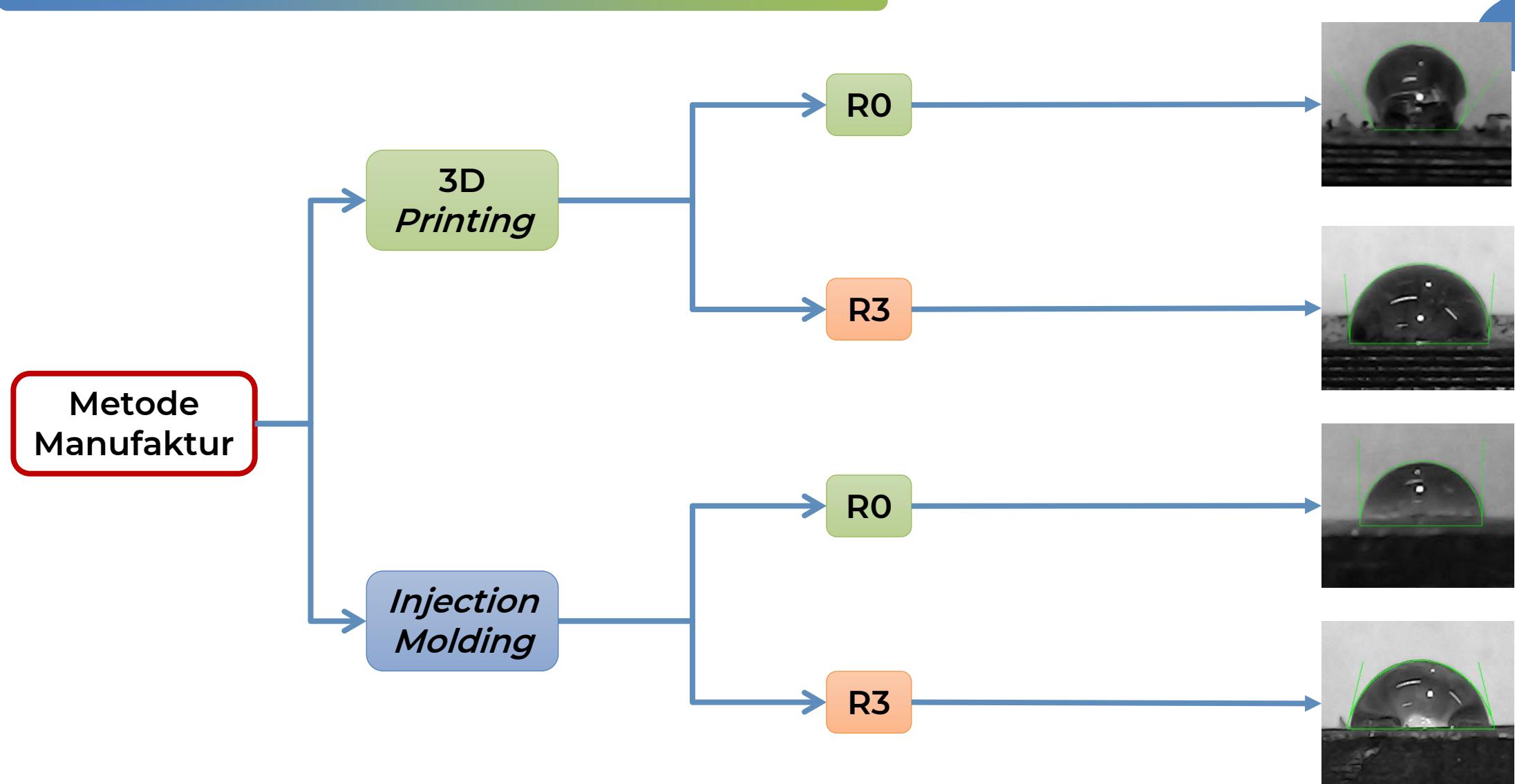
Biochar dapat menurunkan elongasi dan impak namun penurunan ini masih masuk standar untuk otomotif

Biochar dapat dijadikan penguat untuk meningkatkan sifat mekanik material daur ulang serta tetap masuk standar untuk otomotif

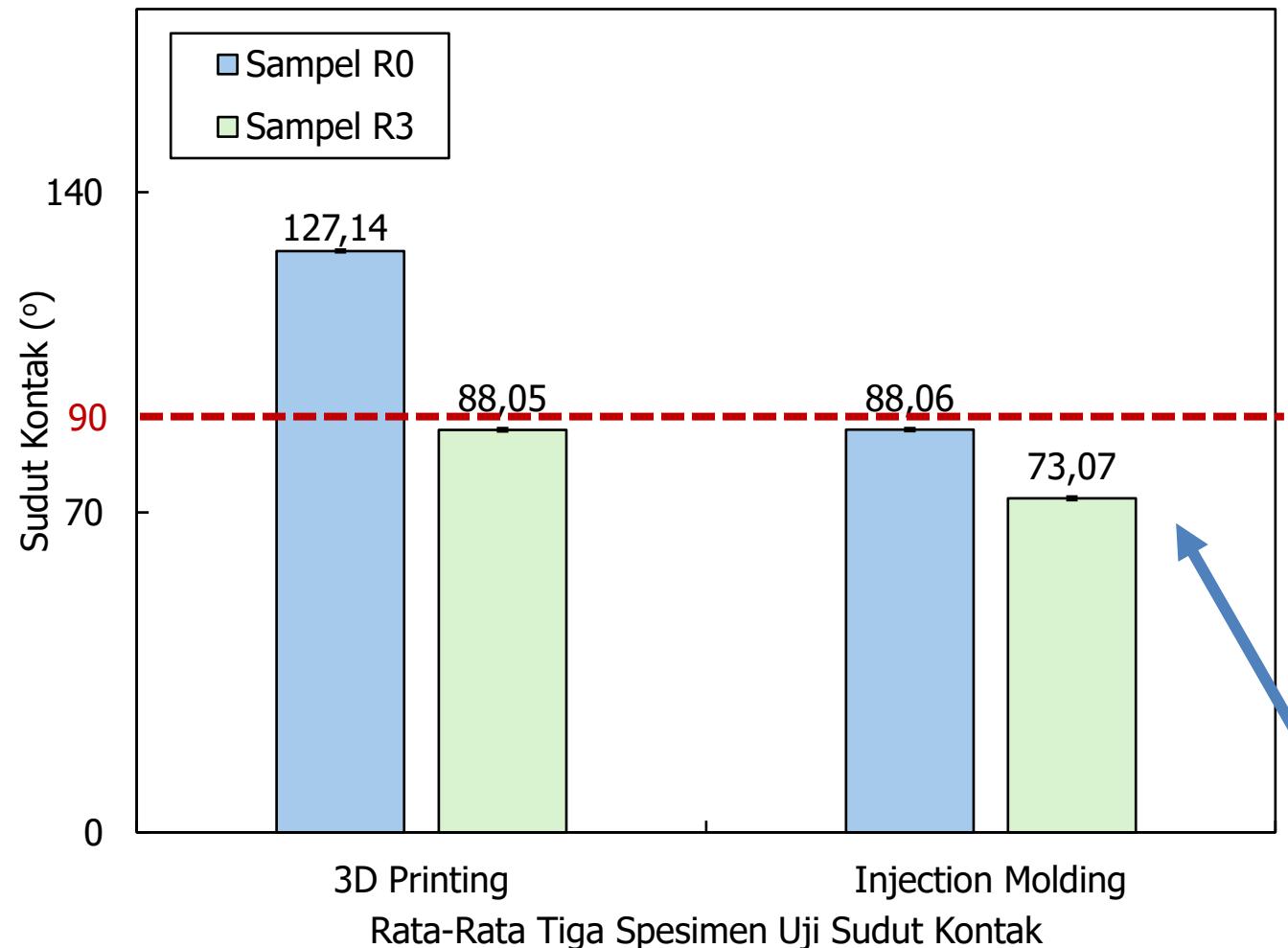
Hasil dan Analisis



Analisis Sudut Kontak



Analisis Sudut Kontak



Penambahan *biochar* dapat menurunkan nilai sudut kontak material pada berbagai metode manufaktur

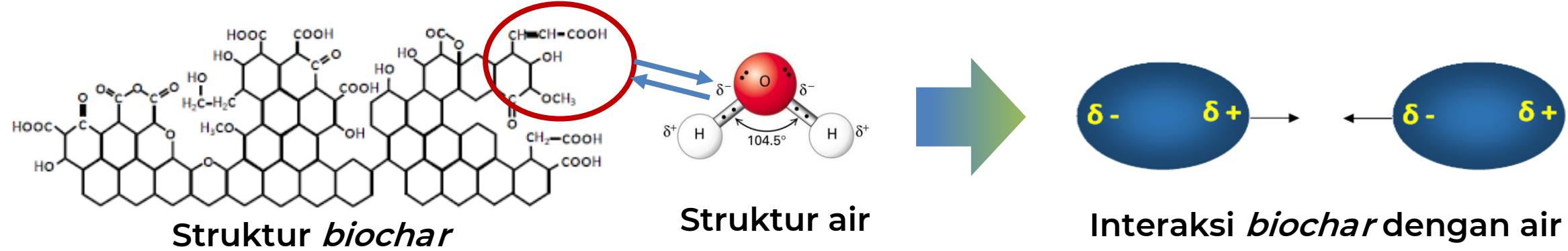
Penambahan 3 wt% Biochar	Penurunan Sudut Kontak (%)
3D Printing	30,71
Injection Molding	16,42

Standar Material Hidrofobik

*ASTM D5946

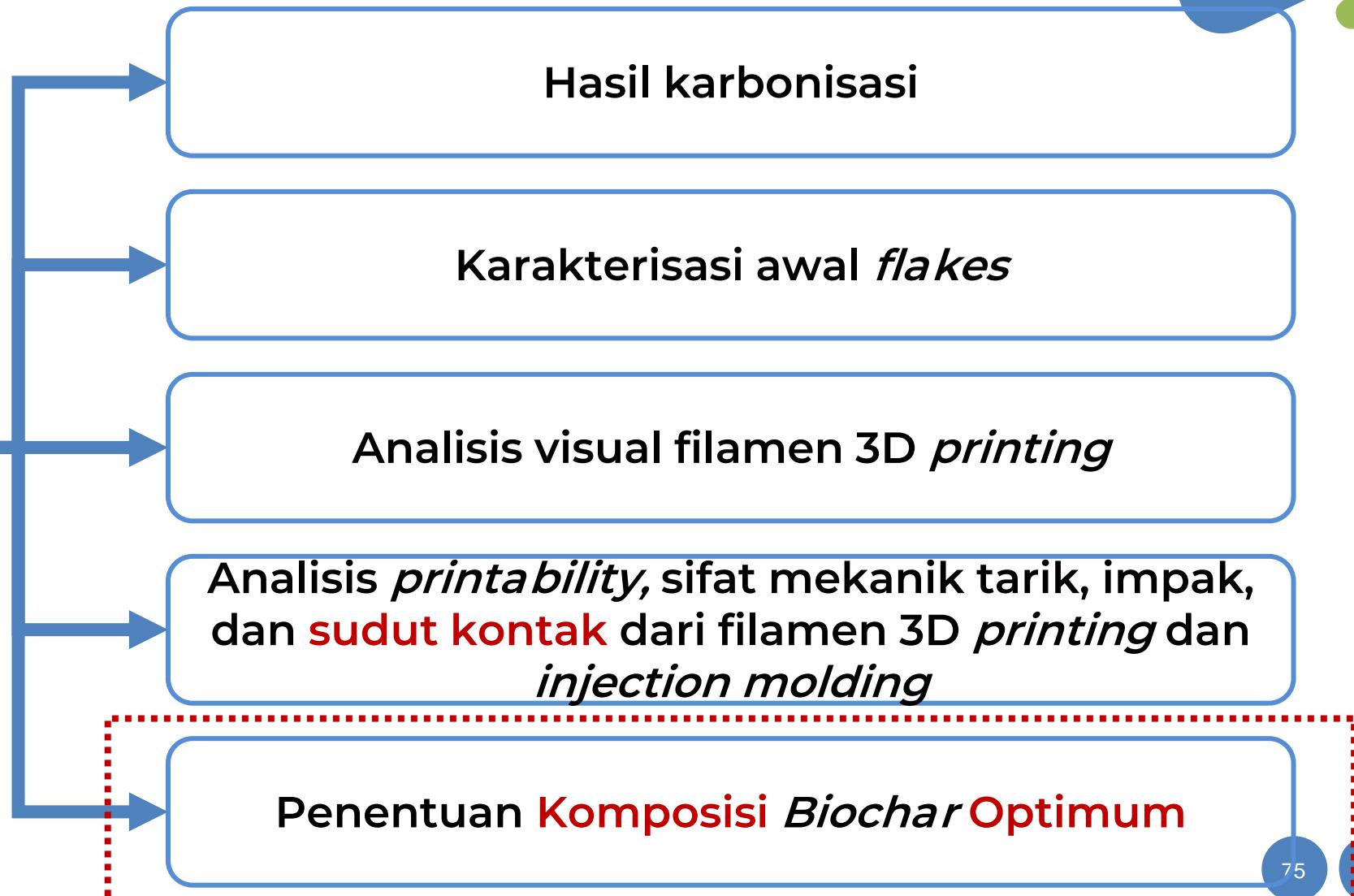
Analisis Impak Filamen 3D Printing

Penambahan ***biochar*** dapat menurunkan sudut kontak material



Biochar memiliki gugus OH dan COOH pada struktur rantai. Gugus ini bersifat polar dan dapat berinteraksi dengan air sehingga sudut kontak menurun karena terjadi ikatan tarik menarik antara air dengan ***biochar***.

Hasil dan Analisis



Penentuan Komposisi Biochar Optimum



Tabel Perbandingan Setiap Komposisi *Biochar*

Kode Sampel	Filamen Dapat Digulung	Persentase Diameter Masuk Rentang <i>Printing</i> Optimal	Hasil Mikroskop Minimum Cacat	Printability Baik	Peningkatan Kekuatan Tarik dan Modulus	Peningkatan Sudut Kontak
R0	✓	✓	✓	✓	✓	✗
R3	✓	✓	✓	✓	✓	✗
R5	✓	✓	✗	✗	✗	✗
R7	✓	✗	✗	✗	✗	✗
R10	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Komposisi *biochar optimum* untuk pembuatan filamen 3D *printing* adalah R0 dan R3 karena memenuhi semua parameter kecuali sudut kontak dan masuk ke dalam standar otomotif



KESIMPULAN DAN SARAN



Kesimpulan



- 1 Parameter ekstrusi optimum didapatkan ketika kecepatan *puller* 5,0 rpm, kemudian parameter *printing* optimum didapatkan ketika temperatur *print* 200 °C dan menggunakan *bed PP Silicon Mold + Raft*
- 2 Penambahan *biochar* dapat menurunkan *printability*, meningkatkan kekuatan tarik dan modulus, menurunkan elongasi dan impak, serta menurunkan sudut kontak dari filamen 3D *printing* campuran *polypropylene* daur ulang berpenguat *biochar*
- 3 Komposisi optimum *biochar* untuk pembuatan filamen 3D *printing* daur ulang dari komponen otomotif adalah 3 wt% *biochar*

Saran



1

Pada penelitian berikutnya sebaiknya dilakukan **treatment** terlebih dahulu untuk **menghilangkan** gugus OH dan COOH di **biochar** untuk **mengurangi polaritas** ketika berinteraksi dengan air.

2

Pada penelitian berikutnya sebaiknya dilakukan pengujian **flame retardant** sebagai salah satu standar otomotif



Thank You...