

PAPER NAME

**1518025\_Annisa Feby Maharani\_.pdf**

AUTHOR

**1518025 Annisa Feby**

WORD COUNT

**7137 Words**

CHARACTER COUNT

**42576 Characters**

PAGE COUNT

**43 Pages**

FILE SIZE

**1.1MB**

SUBMISSION DATE

**Nov 10, 2022 1:14 PM GMT+7**

REPORT DATE

**Nov 10, 2022 1:15 PM GMT+7****● 23% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 19% Internet database
- 7% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 15% Submitted Works database

**SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL KOMPOSIT  
POLIPROPILENA DAUR ULANG BERPENGISI SILIKA  
TERMODIFIKASI *HEXAMETHYLDISILAZANE* (HMDS)**

**TUGAS AKHIR**

Oleh  
**ANNISA FEBY MAHARANI**  
**NIM: 1518025**



**9** **PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER**  
**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**  
**2022**

**33** **SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL KOMPOSIT  
POLIPROPILENA DAUR ULANG BERPENGISI SILIKA  
TERMODIFIKASI *HEXAMETHYLDISILAZANE* (HMDS)**

**TUGAS AKHIR**

**9** **Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Terapan Bidang Teknik dari Politeknik STMI Jakarta**

**Oleh**  
**ANNISA FEBY MAHARANI**  
**NIM: 1518025**



**9** **PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER  
POLITEKNIK STMI JAKARTA  
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI  
2022**

## PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

Penggunaan polimer sebagai material pembentuk komposit saat ini banyak dikembangkan dalam bidang sains dan teknologi. Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih campuran material yang memiliki karakteristik berbeda yang kemudian menghasilkan material dengan karakteristik yang lebih baik (Aryanti, 2021). Material komposit tersusun dari matriks dan *filler*. Matriks berfungsi mendistribusikan beban kedalam seluruh material komposit. Matriks yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah polipropilena daur ulang. Polipropilena merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang cukup sering digunakan di dunia industri, hal ini dikarenakan Polipropilena (PP) memiliki sifat mekanik yang cukup baik yaitu, densitas yang rendah, titik leleh yang cukup tinggi, dan ketahanan kimia yang tinggi (Aryanti, 2021). Beragamnya penggunaan polipropilena sebagai bahan baku produk di dunia industri, maka limbah yang dihasilkan juga semakin meningkat sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Banyaknya limbah tersebut perlu adanya daur ulang (Widyatmoko dkk, 2016).

Penambahan *filler* pada pembuatan komposit berfungsi untuk meningkatkan sifat mekaniknya seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, ketahanan abrasi, ketangguhan dan properti lainnya. Biasanya material-material anorganik sering digunakan sebagai *filler* (Yusmaniar & Suryani, 2012). Salah satu jenis material anorganik yang sering digunakan sebagai *filler* komposit yaitu silika dikarenakan sifat dan morfologinya yang unik diantaranya luas permukaan dan volume porinya yang besar (Fachry dkk, 2014). Selain itu silika juga bersifat polar, hidrofilik, mempunyai kestabilan termal, dan mekanik yang tinggi. Dengan sifatnya yang polar serta hidrofilik menyebabkan silika mudah teraglomerasi atau kurang tercampur dengan polimer non polar seperti polipropilena.

Kelemahan dari silika dapat diperbaiki dengan memodifikasi permukaan silika menggunakan *coupling agent*. Penggunaan *coupling agent* dapat memudahkan silika terdispersi secara merata dalam matriks polimer karena mengalami peningkatan ikatan antar muka antara partikel silika dengan matriks polimer (Chuang dkk, 2018). Penambahan <sup>1</sup> *coupling agent* dapat mengurangi aglomerasi partikel silika dalam matriks polimer dan dapat meningkatkan adhesi antara matriks dengan *interface* silika sehingga komposisi komposit semakin kuat. Penelitian Srisawat dkk, (2009) tentang pengaruh silika tanpa modifikasi (hidrofilik) dan silika modifikasi (hidrofobik) terhadap sifat termal dan sifat mekanik komposit polipropilena murni menunjukkan bahwa dengan penggunaan silika modifikasi dapat meningkatkan sifat termal dan sifat mekanik komposit lebih baik daripada silika tanpa modifikasi. Penelitian Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik dan sifat termal komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* *aminopropyltriethoxysilane* (APTES), *hexamethyldisilazane* (HMDS), *methyltriethoxysilane* (MTES), dan *dichlorodimethylsilane* (DCMS) menunjukkan bahwa silika yang termodifikasi *coupling agent* HMDS dapat meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal komposit PP lebih baik dibandingkan dengan MTES dan DCMS.

<sup>23</sup> Pada penelitian ini silika yang digunakan yaitu silika yang telah dimodifikasi menggunakan *coupling agent* *hexadimethyldisilazane* (HMDS). Selanjutnya silika digunakan sebagai bahan pengisi dan polipropilena sebagai matriks. <sup>67</sup> Penelitian ini bertujuan untuk menguji sifat mekanik dari komposit polipropilena daur ulang yang berpengisi silika termodifikasi HMDS menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).

## <sup>18</sup> I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan silika termodifikasi HMDS terhadap kuat tarik komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS?
2. Bagaimana pengaruh penambahan silika termodifikasi HMDS terhadap modulus elastisitas komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS?

3. Bagaimana pengaruh penambahan silika termodifikasi HMDS terhadap sifat termal komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS?

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Silika yang digunakan sudah dimodifikasi HMDS (*hexamethyldisilazane*).
2. Matriks pembuatan komposit yang digunakan yaitu polipropilena daur ulang.
3. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan mesin *compounder*.
4. Pembuatan komposit dengan menggunakan metode *hotpress*.
5. Pengujian komposit yang dilakukan yaitu pengujian kuat tarik menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).
6. Analisis uji sifat termal meliputi temperatur kristalisasi ( $T_c$ ), temperatur leleh ( $T_m$ ), dan entalpi pelelehan ( $\Delta H_m$ ) menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).
7. Variabel bebas silika HMDS 0% wt, 5% wt, 7,5% wt, 10% wt, 12,5% wt.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan silika termodifikasi HMDS terhadap kuat tarik komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS.
2. Mengetahui pengaruh penambahan silika termodifikasi HMDS terhadap modulus elastisitas komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS.
3. Mengetahui pengaruh penambahan silika termodifikasi HMDS terhadap sifat termal komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Industri  
Memberikan informasi mengenai penggunaan silika termodifikasi HMDS sebagai *filler* komposit polipropilena daur ulang dalam pembuatan komponen otomotif.

## 2. Bagi Masyarakat

Memberikan informasi mengenai pembuatan komposit polipropilena daur ulang dengan *filler* silika termodifikasi *hexamethyldisilazane* (HMDS) sebagai pengetahuan atau referensi dalam dunia akademik.

## 3. Bagi Mahasiswa

Menjadikan hasil analisis sebagai pengetahuan dan acuan bagi penelitian selanjutnya

## 1.3 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

### 1. Bagian permulaan laporan tugas akhir

Bagian ini terdiri dari halaman sampul, halaman pengesahan dosen pembimbing, halaman pengesahan pembimbing di laboratorium, lembar permohonan tugas akhir, halaman kata pengantar, abstrak, halaman daftar isi, halaman daftar Tabel, halaman daftar Gambar, halaman, daftar lampiran, serta halaman daftar singkatan dan lambang.

### 2. Bagian isi laporan tugas akhir

#### BAB I Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.

#### BAB II Landasan Teori

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan deskripsi mengenai dasar-dasar teori yang digunakan dalam penelitian.

#### BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini terdiri dari metode penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur kerja dalam penelitian.

#### BAB IV Pengumpulan dan Pengolahan Data

Bab ini berisi pengumpulan dan pengolahan data yang didapat setelah proses penelitian.

#### BAB V Analisis dan Pembahasan

Bab ini berisikan analisis dan pembahasan dari data yang sudah diolah pada bab sebelumnya.

## BAB VI<sup>32</sup> Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

### 5.<sup>17</sup> Bagian akhir laporan tugas akhir

Bagian ini terdiri dari halaman daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang akan dilampirkan dalam laporan.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II.1 Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang penyusunnya memiliki sifat berbeda. Gabungan material tersebut menghasilkan material baru dengan sifat mekanik yang lebih kuat dari sifat material pembentuknya. Material komposit umumnya tersusun dari matriks dan *filler*. Matriks berfungsi sebagai bahan pengikat dan melindungi *filler*. *Filler* (pengisi) berfungsi sebagai penguat dari matriks. Bahan *filler* dapat berupa serat, partikel dan serpihan.

Berdasarkan matriksnya, komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

##### 1. Komposit berbasis logam (*Metal Matrix Composite*)

Material komposit dengan matriks logam. Bahan logam yang digunakan sebagai pengikat seperti aluminium dan serat yang digunakan sebagai penguatnya seperti silikon karbida.

##### 2. Komposit berbasis keramik (*Ceramics Matrix Composite*)

Material komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai pengikatnya. Bahan penguat yang digunakan berupa serat pendek atau serabut-serabut (*whiskers*) yang terbuat dari oksida, karbida, dan nitrida.

##### 3. Komposit berbasis polimer (*Polymer Matrix Composite*)

Material komposit yang bermatriks polimer. Matriks ini paling umum digunakan sebagai bahan komposit karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Matriks polimer terbagi menjadi dua yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. Matriks *thermoplastic* bersifat *reversible*. Matriks *thermoplastic* dapat dilunakkan kembali bila dipanaskan dan akan mengeras bila didinginkan. Matriks *thermoset* bersifat *irreversible*. Matriks jenis ini tidak dapat dilunakkan kembali bila telah terjadi pengerasan. Bila dipanaskan tidak akan melunakkan melainkan akan hangus.

Berdasarkan penguatnya, komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

### 1. Komposit serat

Jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguatnya. Biasanya serat disusun secara acak atau orientasi tertentu yang lebih kompleks. Serat yang digunakan antara lain serat kaca, serat kapas, serat tebu dan lain-lain

### 2. Komposit partikel

Jenis komposit yang penguatnya dalam bentuk partikel atau butiran yang terdispersi didalam matriks. Komposit jenis ini memiliki keunggulan dari segi kekuatan karena partikel atau butiran penguat terdispersi secara merata.

### 3. Komposit struktural

Komposit yang tersusun berlapis-lapis sekurang-kurangnya dua material yang berbeda dan biasanya memiliki densitas rendah (Callister Jr dan Rethwisch, 2018). Orientasi penyusunan lapisan ini bisa searah ataupun melintang dengan lapisan sebelumnya. Penyusunan lapisan ini bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat baru.

## II.2 Polipropilena

Polipropilena merupakan polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Polipropilena terbentuk melalui proses polimerisasi monomer propena. Polipropilena adalah polimer non-polar dan bersifat termoplastik. Polipropilena memiliki rumus kimia  $C_3H_6$ . Polipropilena memiliki densitas yang rendah sekitar  $0,90-0,92 \text{ g/cm}^3$ . Memiliki titik leleh tinggi sekitar  $190-200^\circ\text{C}$  dan titik kristalisasinya antara  $130-135^\circ\text{C}$  (Fadel Muhammad dkk., 2021). Polipropilena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi serta sifatnya yang ulet namun cukup kaku sehingga kuat terhadap beban leleh. Polipropilena termasuk polimer yang populer karena harganya yang murah, biaya pembuatan produk yang rendah namun menghasilkan produk yang sangat baik dan tahan lama, isolator yang baik, memiliki bobot ringan dan tahan air. Sifat mekanik polipropilena dapat ditingkatkan dengan salah satu cara menambahkan zat aditif berupa bahan pengisi (Aryanti, 2021).

## II.3 Polipropilena Daur Ulang

Polipropilena merupakan salah satu polimer termoplastik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga dapat digunakan dalam berbagai

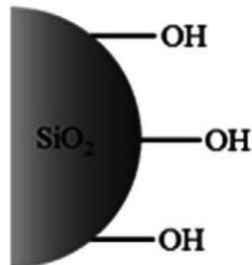
aplikasi seperti pengemasan, tekstil, alat tulis, komponen otomotif, keperluan medis atau perlengkapan laboratorium (Jong Hiong Jun dan Ariadne Juwono, 2010). Semakin beragamnya penggunaan polipropilena sebagai bahan baku produksi di dunia industri, maka limbah yang dihasilkan juga semakin meningkat. Limbah tersebut berpotensi mencemari lingkungan karena memerlukan waktu yang cukup lama untuk terurai salah satunya yaitu limbah plastik polipropilena. Widyatmoko dkk, (2016) menjelaskan data sampah plastik polipropilena sebesar 30%. Banyaknya limbah tersebut perlu adanya daur ulang. Selain untuk mengurangi dampak negatif limbah, daur ulang juga sangat dianjurkan dalam rangka memperpanjang nilai guna PP serta sejalan dengan ekonomi sirkular. <sup>41</sup>Ekonomi sirkular merupakan upaya memperpanjang siklus suatu produk, bahan baku, dan sumber daya agar dapat dipakai selama mungkin.

Sifat mekanik yang dihasilkan polimer daur ulang biasanya lebih rendah dari polimer murni karena PP daur ulang telah mengalami degradasi. Degradasi yang dialami adalah terjadinya pemutusan rantai polimer sehingga mempengaruhi sifat mekanik dan sifat termal (Jong Hiong Jun dan Ariadne Juwono dkk, 2010). Penelitian Amalia dkk, (2014) mengenai pembuatan komposit polipropilena daur ulang yang diperoleh dari kemasan air mineral dengan penambahan silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebanyak 0,25% kekuatan Tarik komposit PP/silica meningkat dengan nilai sebesar 77,80  $\text{N/m}^2$ .

#### II.4 Silika

Silika merupakan bahan kimia anorganik dengan rumus kimia  $\text{SiO}_2$ . Silika tersedia di alam dalam bentuk <sup>44</sup>pasir kuarsa, granit, dan sebagainya. Silika di alam berstruktur kristal, sedangkan silika sintetis berstruktur *amorf* (Sulastri & dan Kristianingrum, 2010). Silika memiliki kestabilan termal dan mekanik yang sangat baik, namun silika mempunyai sifat yang mudah berikatan dengan air (hidrofilik). <sup>23</sup>Selain itu, silika memiliki porositas yang cukup besar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengisi (Wahyu Ardaniswari dkk., 2020).

Sifat hidrofilik silika menjadi suatu kelemahan yang disebabkan oleh adanya gugus silanol pada permukaan silika yang dapat menyebabkan interaksi antara partikel-partikel yang kuat. Permukaan silika dapat dilihat pada Gambar II.1. Gugus silanol (-OH) pada permukaan menyebabkan partikel mudah teraglomerasi dan sulit



Gambar II. 1 Silika  
(Sumber: Thepradit dkk, 2014)

terdispersi. Hal ini dapat diperbaiki dengan memodifikasi permukaan silika menggunakan *coupling agent* untuk meningkatkan dispersi silika didalam bahan polimer (Chuang dkk., 2018).

Penambahan silika sebagai bahan pengisi pada komposit polimer dapat mengisi ruang kosong pada komposit sehingga komposit semakin terisi dan padat. Partikel dengan ukuran lebih kecil menyebabkan dispersi dan homogenitas menjadi lebih merata sehingga interaksi anatara bahan pengisi dengan matriks lebih besar. Semakin kuat interaksi antara bahan pengisi dengan matriks maka sifat mekanik semakin bertambah (Permata Sari dkk., 2019).

Penelitian yang dilakukan Putri Khavilla dkk, (2019) menunjukkan bahwa penambahan silika tanpa modifikasi menurunkan nilai kuat tarik komposit LLDPE/PP. Kekuatan tarik LLDPE/PP tanpa penambahan silika yaitu 39,52 MPa, menurun menjadi 34,32 MPa setelah ditambah silika tanpa modifikasi sebanyak 0,2%. Penurunan terjadi karena sifat hidrofilik silika yang kuat yang menyebabkan dispersi yang buruk dan menghambat ikatan antarmuka LLDPE/PP.

Penelitian Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS menunjukkan bahwa silika yang termodifikasi *coupling agent* HMDS dapat meningkatkan sifat

mekanik komposit PP lebih baik dibandingkan dengan MTES dan DCMS. Hal ini dikarenakan senyawa HMDS memiliki lebih banyak gugus non-polar pada strukturnya, sehingga dapat menurunkan sifat hidrofilik dan meningkatkan sifat hidrofobik pada silika. Semakin banyak gugus non-polar, maka semakin meningkatkan sifat hidrofobik silika. Semakin hidrofobik silika, maka semakin kompatibel antara silika dengan matriks polimer, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik polimer.

## II.5 *Coupling Agent*

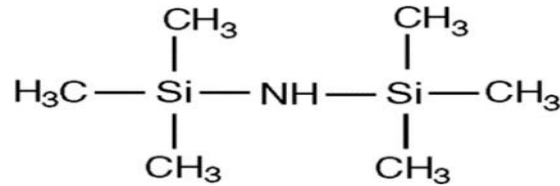
*Coupling agent* digunakan untuk menstabilkan ikatan antara dua ikatan yang antar permukaannya tidak dapat saling terikat. *Coupling agent* dapat meningkatkan performa dan kompatibilitas bahan pengisi pada matriks polimer. *Coupling agent* bertindak sebagai jembatan penghubung antara bahan pengisi dengan polimer sehingga tidak mudah terjadi aglomerasi.

Modifikasi silika menggunakan *coupling agent* akan lebih mudah terdispersi secara merata pada matriks polimer karena ikatan antara permukaan silika dengan matriks polimer mengalami peningkatan (Chuang dkk., 2018). Salah satu ujung *coupling agent* akan berikatan dengan salah satu ujung permukaan silika yang terdapat gugus silanol. Di sisi lainnya terdapat gugus hidrofobik yang akan menjembatani interaksi silika dengan matriks polimer. Penggunaan pelarut non polar dalam modifikasi silika dengan *coupling agent* dapat mencegah terjadinya interaksi antar senyawa *coupling agent*, sehingga interaksi antara gugus silanol dan *coupling agent* cenderung lebih besar. Penggunaan *coupling agent* akan menghasilkan partikel yang berukuran kecil.

Contoh *coupling agent* meliputi *hexamethyldisilazane* (HMDS), *methyltriethoxysilane* (MTES), *aminopropyltriethoxysilane* (APTES), dan lainnya:

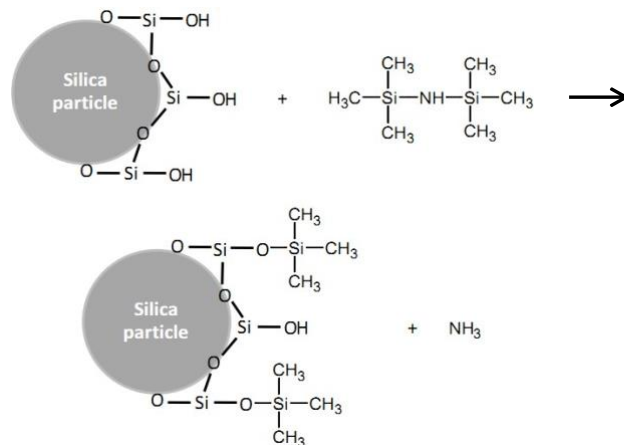
1. *Hexamethyldisilazane* (HMDS)

*Hexamethyldisilazane* merupakan cairan bening yang tidak berwarna dengan aroma khas seperti amonia. Rumus kimia *hexamethyldisilazane* adalah  $C_6H_{19}NSi_2$ . Rumus struktur *hexamethyldisilazane* dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II. 2 Rumus Struktur *Hexamethyldisilazane*  
(Sumber: Gun'Ko dkk, 2000)

*Hexamethyldisilazane* memiliki enam gugus metil ( $-\text{CH}_3$ ) yang memiliki sifat polar. Interaksi *hexamethyldisilazane* dengan silika melepaskan amonia. Interaksi HMDS dengan silika dapat dilihat pada Gambar II.3.

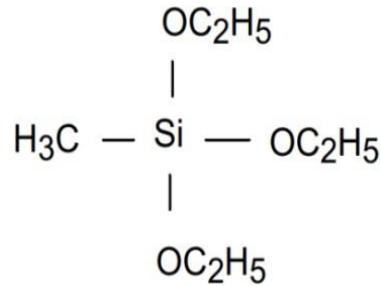


Gambar II. 3 Gambar Reaksi HMDS dengan Silika  
(Sumber: Gun'Ko dkk, 2000)

Penelitian Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS menunjukkan bahwa silika yang termodifikasi *coupling agent* HMDS dapat meningkatkan sifat mekanik komposit PP lebih baik dibandingkan dengan MTES dan DCMS. Hal ini dikarenakan senyawa HMDS memiliki lebih banyak gugus non-polar pada strukturnya dibandingkan dengan MTES dan DCMS, sehingga dapat menurunkan sifat hidrofilik dan meningkatkan sifat hidrofobik pada silika. Semakin banyak gugus non-polar, maka semakin meningkatkan sifat hidrofobik silika. Semakin hidrofobik silika, maka semakin kompatibel antara silika dengan matriks polimer, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik polimer.

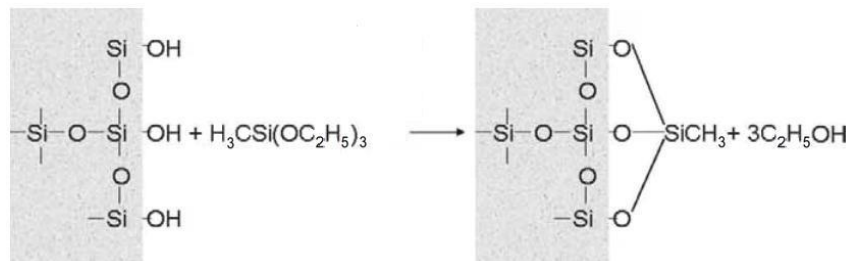
## 2. *Methyltriethoxysilane* (MTES)

*Methyltriethoxysilane* merupakan cairan bening tidak berwarna dengan bau khas alkohol. Rumus kimia senyawa ini adalah  $C_7H_{18}O_3Si$ . Rumus struktur *methyltriethoxysilane* dapat dilihat pada Gambar II.4



Gambar II. 4 Struktur *Methyltriethoxysilane*  
(Sumber: Nadargi dkk, 2009)

*Methyltriethoxysilane* memiliki satu gugus metil ( $-CH_3$ ) yang dapat meningkatkan sifat hidrofobik suatu permukaan. Selain itu, senyawa memiliki gugus yang dapat berinteraksi dengan permukaan silika yaitu gugus etanol ( $-OC_2H_5$ ). Interaksi *coupling agent* MTES dengan silika melepaskan senyawa etanol. Interaksi MTES dengan silika dapat dilihat pada Gambar II.5

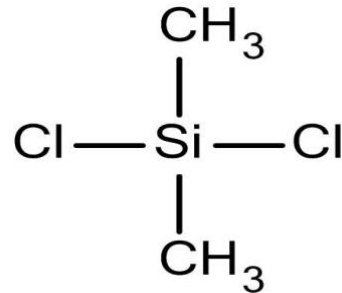


Gambar II. 5 Reaksi MTES dengan Silika  
(Sumber: Revuelta dkk, 2011)

Hasil penelitian Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS menunjukkan bahwa silika yang termodifikasi *coupling agent* MTES lebih rendah sifat mekaniknya dibandingkan dengan APTES dan HMDS, lebih tinggi dari DCMS. Hal ini dikarenakan senyawa MTES lebih sedikit gugus non-polar yang pada strukturnya dibandingkan dengan HMDS dan APTES, namun lebih banyak gugus non-polarnya dibandingkan dengan DCMS.

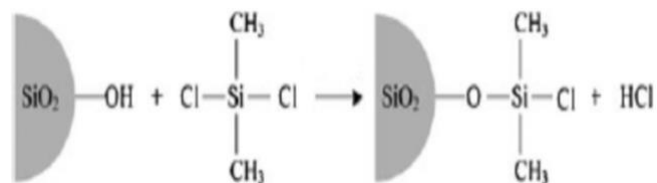
### 3. *Dichlorodimethylsilane* (DCMS)

Senyawa bening tidak berwarna dengan bau khas klorin. Rumus kimia senyawa ini adalah  $C_2H_6Cl_2Si$ . Rumus struktur *dichlorodimethylsilane* dapat dilihat pada Gambar II.6



Gambar II. 6 Struktur DMCS  
(Sumber: Pakizeh dkk, 2012)

*Dichlorodimethylsilane* memiliki dua gugus metil ( $-CH_3$ ) yang dapat meningkatkan sifat hidrofobik suatu permukaan. Selain itu, senyawa ini memiliki gugus yang dapat berinteraksi dengan permukaan silika yaitu gugus klorida ( $-Cl$ ). Interaksi *coupling agent* DMCS dengan silika melepaskan senyawa hidrogen klorida. Interaksi DMCS dengan silika dapat dilihat pada Gambar II.7

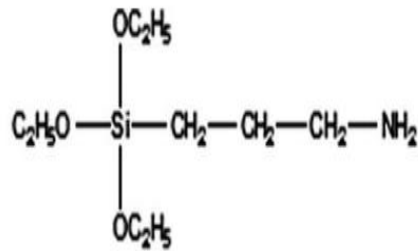


Gambar II. 7 Reaksi DMCS dengan Silika  
(Sumber: Pazkieh dkk, 2012)

### 4. *Aminopropyltriethoxysilane* (APTES)

*Aminopropyltriethoxysilane* merupakan cairan bening tidak berwarna. Rumus kimia senyawa ini adalah  $C_9H_{23}NO_3Si$ . Rumus struktur *Aminopropyltriethoxysilane* dapat dilihat pada Gambar II.6





Gambar II. 8 Rumus Struktur APTES  
(Sumber: Lin dkk, 2011)

*Aminopropyltriethoxysilane* memiliki tiga gugus etil ( $-\text{CH}_2$ ) yang dapat meningkatkan sifat hidrofobik suatu permukaan. Selain itu, senyawa ini memiliki gugus yang dapat berinteraksi dengan permukaan silika yaitu gugus ( $-\text{CH}_2$ ). Interaksi *coupling agent* APTES dengan silika melepaskan gugus amino. Interaksi APTES dengan silika dapat dilihat pada Gambar II.7.

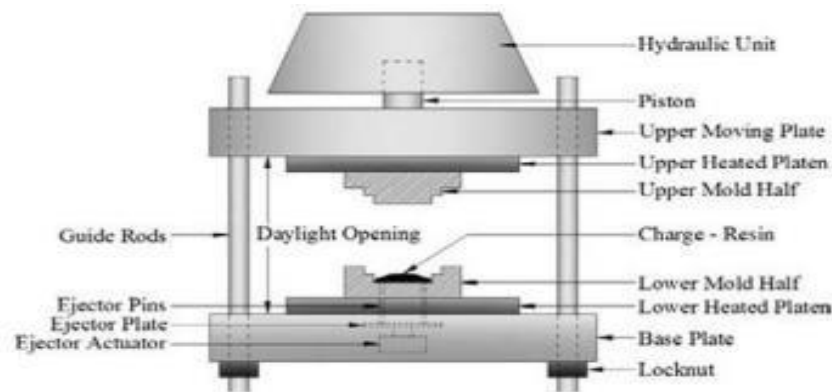


Gambar II. 9 Reaksi APTES dengan Silika  
(Sumber: Mousavi dan Fini, 2020)

Penelitian Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS menunjukkan bahwa silika yang termodifikasi *coupling agent* APTES meningkatkan kuat tarik komposit lebih baik dibandingkan dengan HMDS, MTES, dan DCMS. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya gugus non-polar pada yang berikatan dengan permukaan silika. Gugus amino pada *coupling agent* APTES berinteraksi lebih kuat dengan silika sehingga meningkatkan sifat mekanik lebih baik pada polimer.

## II.6 Compression Molding

<sup>35</sup> *Compression molding* adalah teknik pembuatan produk dengan pemanasan dan penekanan dalam sebuah *mold* tertutup. Proses ini terdiri dari pemanasan *mold* sampai temperatur tertentu, setelah itu masukkan matriks dan penguat ke dalam cetakan atau *cavity mold* lalu ditekan dengan tekanan tertentu dan ditahan hingga waktu tertentu. *Mold* dibuka saat produk sudah mencapai bentuk solid dan produk dilepaskan dari *mold cavity*. *Mold* atau cetakan merupakan tempat pelelehan material memperoleh bentuk. *Mold* terletak diantara dua pemanas (*heater*) atas dan bawah (Daniel dkk., 2019)



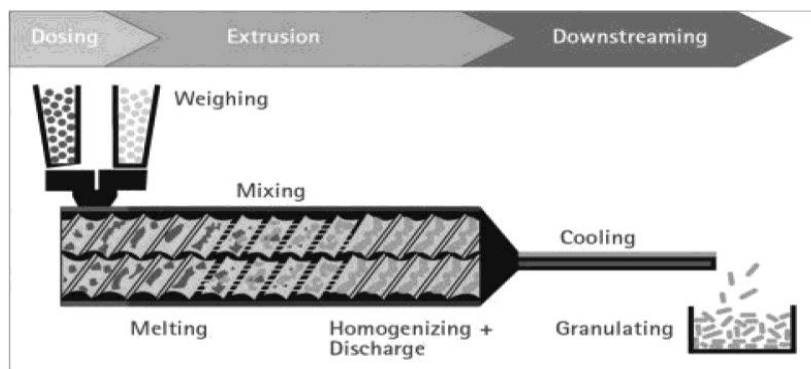
<sup>66</sup> Gambar II. 10 Skema Mesin *Compression Molding*  
(Ruben Daniel dan Muslimin, 2019)

Mesin *compression molding* telah banyak digunakan khususnya dalam dunia industri dengan skala besar seperti pembuatan papan partikel, panel *body* mobil, peralatan kemasan dan lain-lain. Sebagian industri kecil masih banyak yang belum menggunakan mesin tersebut dikarenakan harga mesin yang relatif mahal (Daniel dkk, 2019).

## II.7 Ekstruder

Ekstruder merupakan alat untuk proses ekstrusi. Proses ekstrusi pada industri pemrosesan polimer sangat penting. Secara luas digunakan untuk produksi pipa, lembaran, film, dan untuk proses pencampuran serta pembuatan pellet (Nastaj & Wilczynski, 2021). Umumnya ekstrusi adalah proses pembentukan material dengan cara pemanasan pada ekstruder.

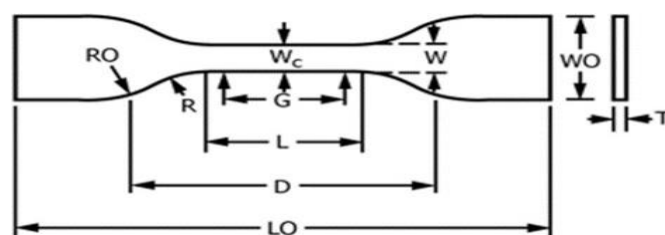
Ekstruder mempunyai bagian utama yaitu <sup>5</sup> *screw* yang berfungsi untuk mendorong dan menekan bahan *pellet* plastik di dalam *barrel* menuju *die*. Berdasarkan jumlah *screw*, ekstrusi terbagi menjadi 3 yaitu *single screw*, *twin screw*, dan *multiple screw*. *Twin screw extruder* sangat efektif digunakan sebagai alat pencampuran (*mixing*), umumnya untuk pencampuran kompon (*compound*). Pengoperasian *twin screw extruder* dimulai dengan mengatur suhu pada ekstruder, memasukkan bahan *pellet* ke dalam *feed* melalui *hopper*, *pellet* akan melebur di dalam rongga *twin screw*, produk akan keluar melalui *die*, lalu produk melewati *water bath* untuk pendinginan, dan akan ditarik dengan kecepatan tetap untuk mencapai mesin *pelletizer* (Giles dkk, 2005).



Gambar II. 11 Skema mesin *Twin Screw Extruder*  
(Sumber: Reddy dkk, 2011)

## II.8 <sup>26</sup> Kekuatan Tarik

Kuat tarik merupakan tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh suatu bahan ketika ditarik atau diregangkan sebelum bahan tersebut patah. Kuat tarik ditentukan dengan satuan MPa. <sup>2</sup> Pengujian tarik dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* sesuai dengan standar ASTM D638. Berdasarkan standar ASTM D638 yang memiliki <sup>6</sup> bentuk dan dimensi spesimen yang dapat dilihat pada Gambar II.12 dan <sup>15</sup> Tabel II.1.

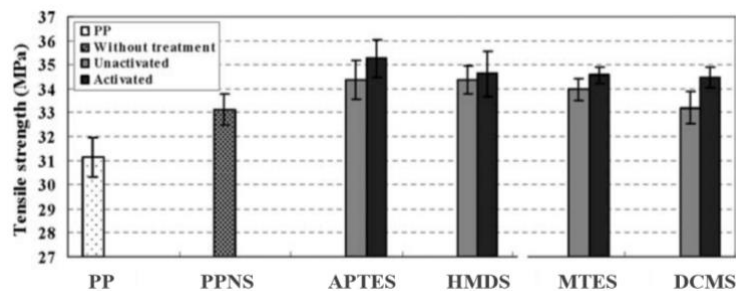


Gambar II. 12 Spesimen Uji tarik  
(Sumber: ASTM Internasional, 2016)

Tabel II. 1 Dimensi Spesimen ASTM D638 tipe IV (American Society for Testing and Materials, 2016)

Keterangan	Ukuran (mm)
W-Width of narrow section	$6 \pm 0,5$
L-Length of narrow section	$33 \pm 0,5$
Wo-Width overall, min	19
Lo-Length overall, min	115
G-Gage length	$25 \pm 0,13$
D-Distance between grips	$65 \pm 5$
R-Radius of fillet	14
t-Thickness	4
W-Width of narrow section	$25 \pm 1$
RO-Outer radius (type IV)	$25 \pm 1$

Penelitian yang dilakukan Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS menunjukkan bahwa silika yang termodifikasi HMDS dapat meningkatkan kekuatan tarik. Hasil kekuatan tarik tersebut dapat dilihat pada Gambar II. 13.



Gambar II. 13 Grafik Kuat Tarik Komposit PP/Silika Modifikasi (Sumber: Lin dkk, 2011)

## II.8 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui temperatur glass ( $T_g$ ), temperatur kristalisasi ( $T_c$ ), temperatur leleh ( $T_m$ ).  $T_g$  merupakan suhu transisi polimer amorf dari keadaan seperti kaca ke keadaan elastis, proses yang terjadi adalah endotermis (Xu dkk, 2018).  $T_c$  merupakan temperatur pada saat kristalisasi, proses yang terjadi adalah eksotermis, kecepatan aliran akan naik.  $T_m$  merupakan

temperatur leleh, untuk mendeteksi perubahan material dari padat ke cair. Massa sampel biasanya 1-10 mg. Pengujian DSC menghasilkan sifat termal yang terkait dengan perubahan fasa. Hasil penelitian Srisawat dkk, (2009) mengenai karakterisasi serat yang dihasilkan dari komposit polipropilena/silika DCMS (*dichlorodimethylsilane*) menunjukkan adanya peningkatan temperatur kristalisasi dengan volume silika sebanyak 0,5%, 1%, dan 2,5%. Temperatur kristalisasi masing-masing sebesar 115,79°C, 116,99°C, dan 117,70°C.

## METODE PENELITIAN

### III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini dilakukan selama dua bulan, terhitung dari bulan Agustus – September 2022 di Laboratorium Polimer dan Laboratorium Instrumentasi Polimer Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.

### III.2 Alat dan Bahan

#### III.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Gelas kimia
2. Spatula
3. Neraca analitik
4. Jangka sorong
5. *Compounder*
6. *Manual Forming Machine*
7. *Speciment Punch*
8. *Universal Testing Machine (UTM)*
9. *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*

#### III.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Polipropilena daur ulang
2. Silika HMDS

### III.3 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas.

#### III.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Temperatur *heater* sebesar 190°C, tekanan 400 kgf/cm<sup>2</sup>, dan dalam waktu operasi selama 25 menit.
2. Pengujian sifat termal menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).
3. Pengujian kuat tarik dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

### 25 III.3.2 Variabel Bebas

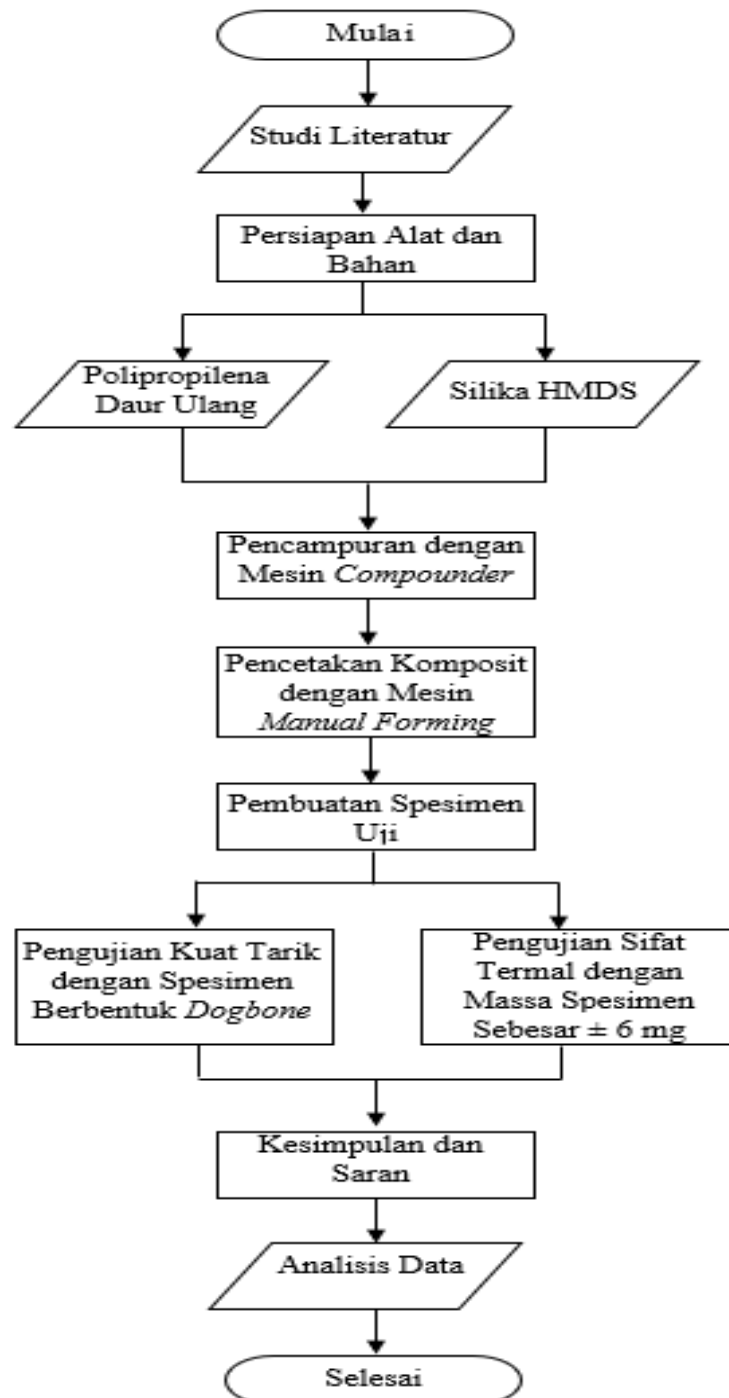
Variabel bebas yang ditetapkan pada penelitian ini adalah variasi komposisi penambahan silika HMDS sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% wt dengan penimbangan massa seperti Tabel III.1

Tabel III. 1 Komposisi Berat PP Daur Ulang/Silika HMDS

Variasi	Polipropilena daur ulang (g)	SiO <sub>2</sub> HMDS (g)
1	80	0
2	76	4
3	74	6
4	72	8
5	70	10

### III.4 Prosedur Penelitian

Berikut merupakan diagram alir proses pembuatan komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS.



2 Gambar III. 1 Diagram Alir Penelitian



### III.4.1 Proses *Compounder*

Persiapan bahan PP daur ulang dan silika termodifikasi HMDS. Bahan yang sudah siap kemudian ditimbang dengan variasi yang telah ditentukan lalu dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk secara merata. Bahan yang sudah dicampurkan dimasukkan ke dalam mesin *compounder* dengan temperatur 190°C dan kecepatan 65 rpm. Pelet yang keluar dari mesin *compounder*, kemudian masuk ke dalam *pelletizer* untuk dipotong.

### III.4.2 Proses Pembuatan Pelat Komposit

Kompon yang sudah ditimbang dituang ke dalam cetakan pelat logam dengan ukuran 20x20x0,2 cm lalu diratakan. Cetakan dipanaskan dengan temperatur operasi 190°C dengan waktu 25 menit. Tekanan operasi yang digunakan yaitu sebesar 400 kg/cm<sup>2</sup>. Pada menit ke-5 tekanan dinaikkan menjadi 100 kg/cm<sup>2</sup>, menit ke-10 tekanan dinaikkan menjadi 200 kg/cm<sup>2</sup>, menit ke-15 tekanan dinaikkan menjadi 300 kg/cm<sup>2</sup>, dan pada menit ke-20 tekanan dinaikkan menjadi 400 kg/cm<sup>2</sup>. Pemberian tekanan operasi dilakukan secara bertahap agar spesimen plastik terbentuk dengan kepadatan yang merata. Setelah waktu pemrosesan habis, mesin didinginkan dengan mengalirkan air hingga suhu *heater* mencapai 100°C. Keluarkan komposit dari cetakan.

### III.4.3 Pembuatan Spesimen Uji

Proses pembuatan komposit selesai, maka pelat komposit dipotong menjadi spesimen berbentuk *dogbone* sesuai dengan standar ASTM D638. Pemotongan dilakukan menggunakan alat *specimen punch*. Bentuk dan ukuran spesimen dapat dilihat pada Gambar II.10 dan Tabel II.1.

### III.4.4 Pengujian

#### 1. Pengujian Uji Tarik

Pengujian dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) sesuai dengan standar ASTM D638 yang terdapat di Laboratorium Instrumentasi Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.

#### 2. *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Pengujian derajat kristalinitas dilakukan menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang terdapat<sup>7</sup> di Laboratorium Instrumentasi Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta. Suhu operasi yang digunakan yaitu 30-220°C pada laju pemanasan 10°C/menit.

## BAB IV

### PENGOLAHAN DAN PENGUMPULAN DATA

#### IV.1 Pengumpulan Data

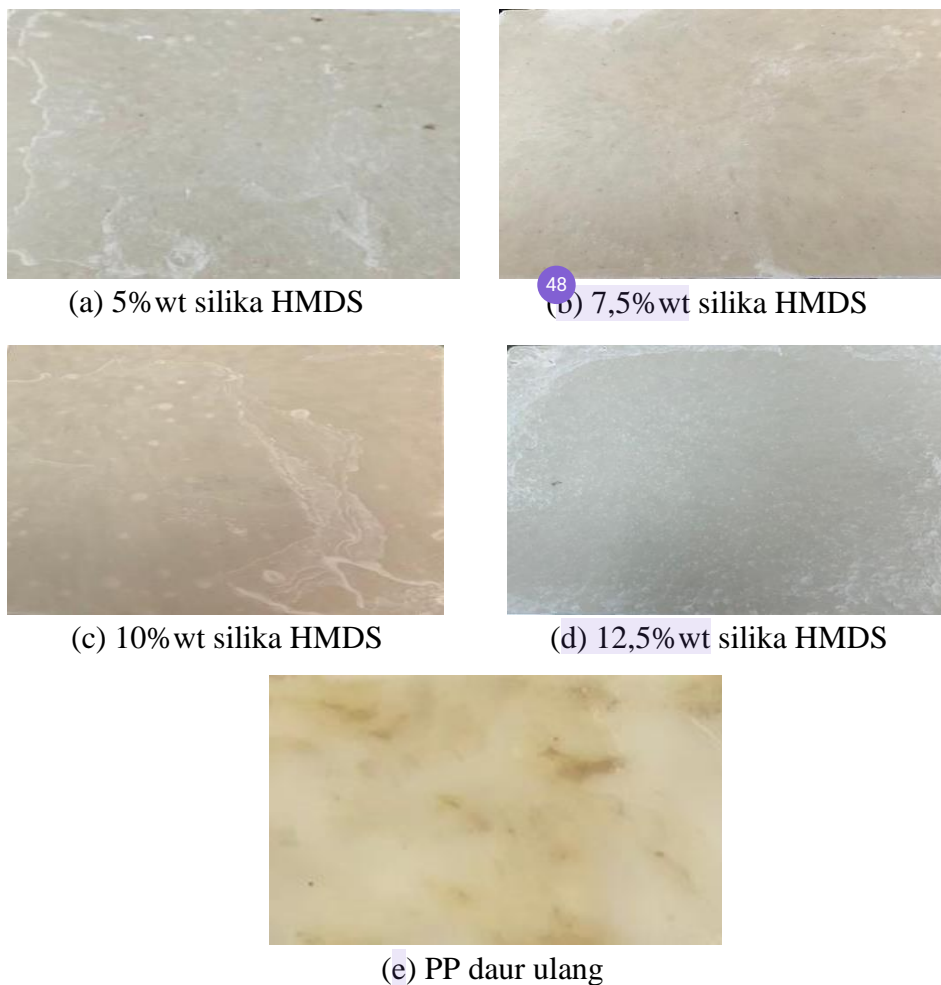
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang dihasilkan dari pengujian komposit yang telah dilakukan. Pengujian yang dilakukan antara lain yaitu kekuatan tarik dan sifat termal. Pengambilan data dilakukan di Politeknik STMI Jakarta pada bulan Agustus sampai September 2022.

Pada penelitian ini komposit dibuat dengan menggunakan metode *hot press*. Variasi komposisi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel III.1. Pada saat proses pencampuran menggunakan mesin *compounder* berat awal yang diberikan berbeda dengan berat yang dihasilkan, karena bahan tersebut tertinggal didalam mesin *compounder*. Pada PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS sebanyak 80 gram tanpa melalui proses *mixing* dengan mesin *compounder*. Pada PP daur ulang dengan penambahan silika HMDS 5%wt berat kompon yang dihasilkan sebanyak 78,26 gram, pada penambahan silika HMDS 7,5%wt berat kompon yang dihasilkan sebanyak 77,64 gram, pada penambahan silika HMDS 10%wt berat kompon yang dihasilkan sebanyak 77,69 gram, dan pada penambahan silika HMDS 12,5%wt berat kompon yang dihasilkan sebanyak 77,62 gram. Proses pencampuran dengan alat *compounder* selesai, komposit dicetak dengan mesin *manual forming* dengan ukuran cetakan pelat logat 20x20x0,2 cm. kompon dimasukkan ke dalam cetakan pelat logam dengan berat massa kompon sebagai berikut:

Tabel IV. 1 Berat Kompon

Rasio (% wt)	Kompon (g)
100:0	80
95:5	78,26
92,5:7,5	77,64
90:10	77,69
87,5:12,5	77,62

Penggunaan berat massa kompon sebanyak 77-80 gram dikarenakan menyesuaikan dengan ukuran cetakan pelat logam *manual forming*. Pada proses *manual forming* temperatur operasi sebesar 190°C dengan lama waktu pemanasan 25 menit. Tekanan operasi yang digunakan yaitu sebesar 400 kg/cm<sup>2</sup>. Pada menit ke-5 tekanan dinaikkan menjadi 100 kg/cm<sup>2</sup>, menit ke-10 tekanan dinaikkan menjadi 200 kg/cm<sup>2</sup>, menit ke-15 tekanan dinaikkan menjadi 300 kg/cm<sup>2</sup>, dan menit ke-20 tekanan dinaikkan menjadi 400 kg/cm<sup>2</sup>. Pemberian tekanan operasi dilakukan secara bertahap agar spesimen plastik terbentuk dengan kepadatan yang merata. Setelah pemrosesan selesai, mesin didinginkan dengan mengalirkan air hingga suhu *heater* mencapai 100°C. Pelat komposit dikeluarkan dari cetakan, selanjutnya pelat komposit dipotong membentuk specimen berbentuk *dogbone* menggunakan alat *pneumatic spesimen punch*. Dapat dilihat komposit polipropilena daur ulang berpengisi silika HMDS pada Gambar IV.1



Gambar IV. 1 Komposit Polipropilena Daur Ulang Berpengisi Silika HMDS

## IV.1.1 Penguujian Kuat Tarik

Penguujian kuat tarik dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) sesuai standar ASTM D638 tipe IV di Laboratorium Polimer politeknik STMI Jakarta. Kecepatan alat UTM sebesar 5 mm/min. Spesimen uji dibuat sebanyak 6 (enam) spesimen setiap varian dalam bentuk *dog bone* menggunakan mesin *pneumatic specimen punch*. Pengkondisian sampel dilakukan sebelum penguujian dengan lama waktu  $\geq 40$  jam. Hasil uji kuat tarik dapat dilihat dalam Tabel IV.3 data yang dicantumkan hanya 5 (lima) spesimen uji sesuai dengan standar ASTM D638.

Tabel IV. 2 Kekuatan Tarik Komposit Polipropilena Daur Ulang/Silika HMDS

Spesimen	Hasil Uji Tarik (Mpa)				
	Variasi 1 (0% wt)	Variasi 2 (5% wt)	Variasi 3 (7,5% wt)	Variasi 4 (10% wt)	Variasi 5 (12,5% wt)
1	11,61	9,67	13,73	11,17	15,79
2	15,16	7,70	13,89	15,43	14,36
3	12,17	7,21	13,61	8,28	14,92
4	8,76	9,41	16,22	10,47	15,56
5	8,52	10,40	14,41	12,35	15,15
Rata-rata (Mpa)	11,24	8,88	14,37	11,54	15,15

Hasil penelitian didapatkan rata-rata nilai kuat tarik pada PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS sebesar 11,24 MPa. Pada penambahan silika HMDS 5% diperoleh nilai kuat tarik sebesar 8,88 MPa. Pada penambahan silika HMDS 7,5% diperoleh nilai kuat tarik sebesar 14,37 MPa. Pada diperoleh nilai kuat tarik HMDS 10% diperoleh nilai kuat tarik sebesar 11,54 MPa. Pada penambahan silika HMDS 12,5% diperoleh nilai kuat tarik sebesar 15,15 MPa.

Tabel IV. 3 Modulus Elastisitas Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS

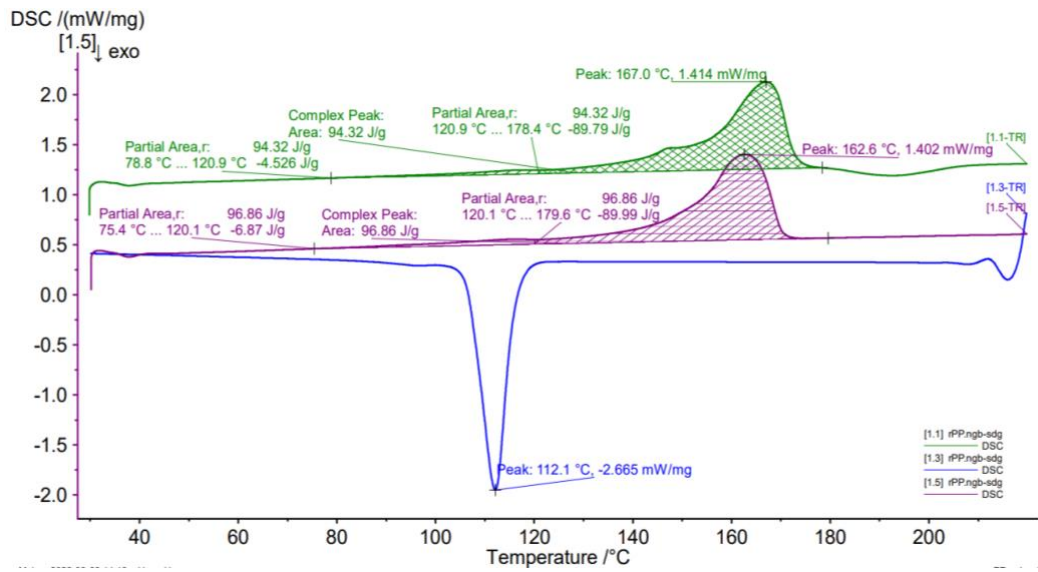
Spesimen	Hasil Uji Modulus Elastisitas (Mpa)				
	Variasi 1 (0% wt)	Variasi 2 (5% wt)	Variasi 3 (7,5% wt)	Variasi 4 (10% wt)	Variasi 5 (12,5% wt)
1	1544,4	2203,2	1668,6	1899,9	1850,2
2	1743,1	2396,2	2027,7	1947,2	1909,5
3	1458,2	2078,5	2081,6	1793,2	1972,6

Spesimen	Hasil Uji Modulus Elastisitas (MPa)				
	Variasi 1 (0% wt)	Variasi 2 (5% wt)	Variasi 3 (7,5% wt)	Variasi 4 (10% wt)	Variasi 5 (12,5% wt)
4	1750,8	2190,8	1881,5	1828,0	2012,0
5	1846,3	1946,8	2066,3	1581,1	1913,3
Rata-rata (Mpa)	1668,6	2163,1	1945,1	1809,8	1931,5

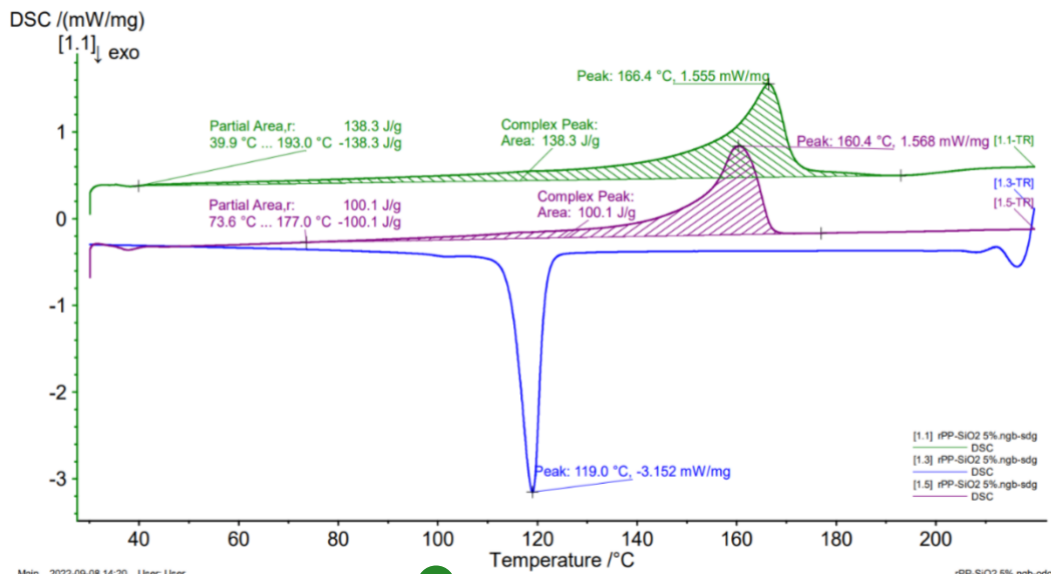
Hasil penelitian didapatkan rata-rata nilai modulus elastisitas pada PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS sebesar 1668,6 MPa. Penambahan silika HMDS 5% wt diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 2163,1 MPa. Penambahan silika HMDS 7,5% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1945,1 MPa. PP daur ulang/silika HMDS 10% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1809,8 MPa. Penambahan silika HMDS 12,5% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1931,5 MPa.

#### IV.1.2 Pengujian Sifat termal

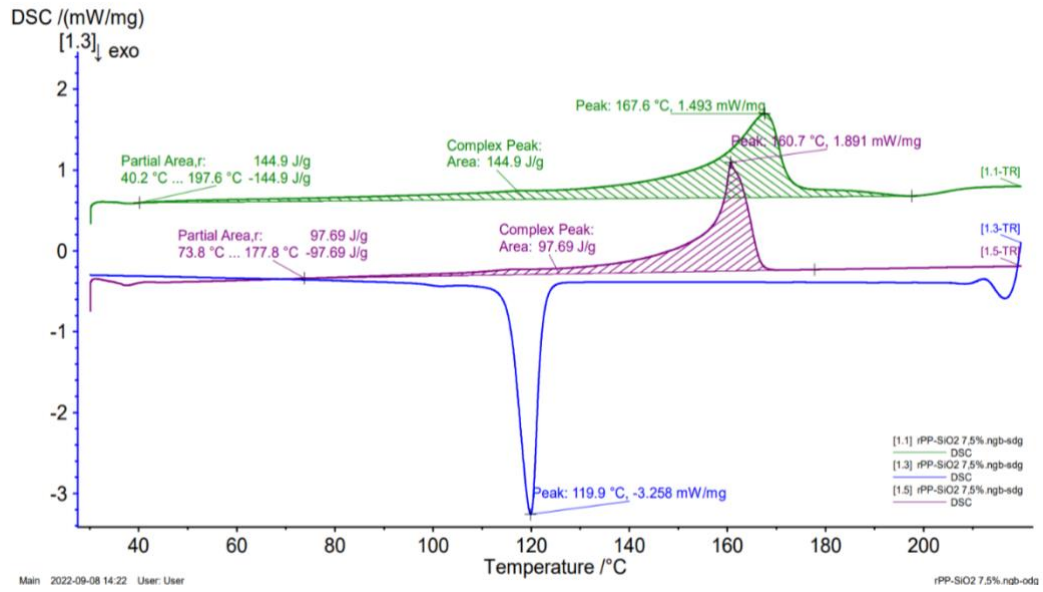
Pengujian sifat termal dilakukan dengan menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang terdapat di Laboratorium Instrumentasi Politeknik STMI Jakarta. Sampel yang digunakan dengan ukuran  $\pm 6$  mg, rentang suhu operasi yang digunakan yaitu 30-220°C pada laju pemanasan 10°C/menit (Aryanti & Maghfira, 2022). Sampel yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam pan, lalu pan di *press* hingga rapat. Pan dimasukkan ke dalam alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), lalu masukkan data sampel ke dalam *software* DSC yang terdapat pada komputer. Mulai pengujian dan hasil akan terbentuk selama waktu pengujian. Berikut hasil pengujian sifat termal berupa grafik pada Gambar IV.2



(a) PP daur ulang

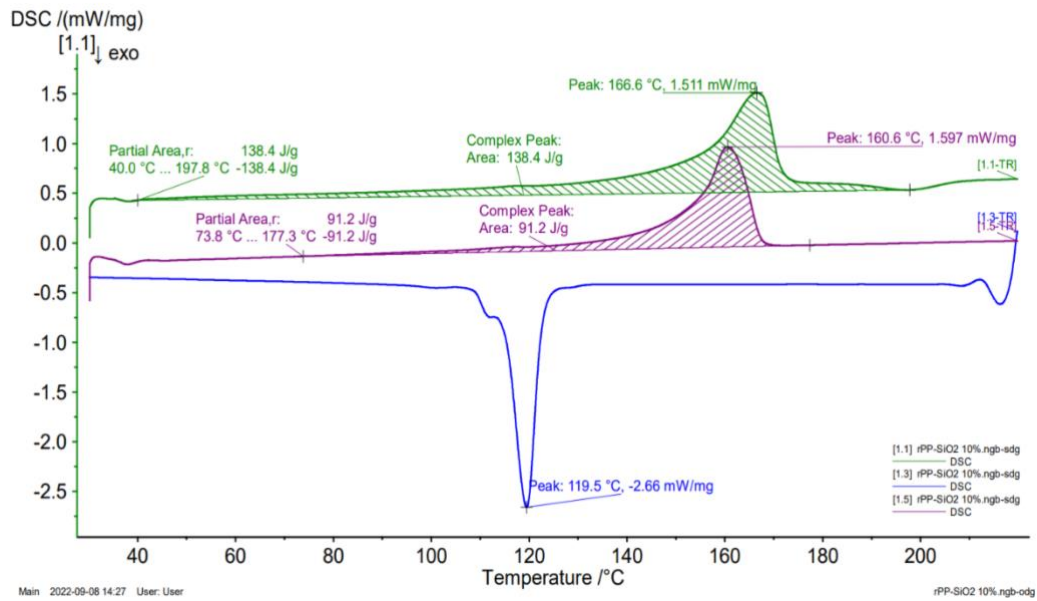


34 (b) 5% wt silika HMDS

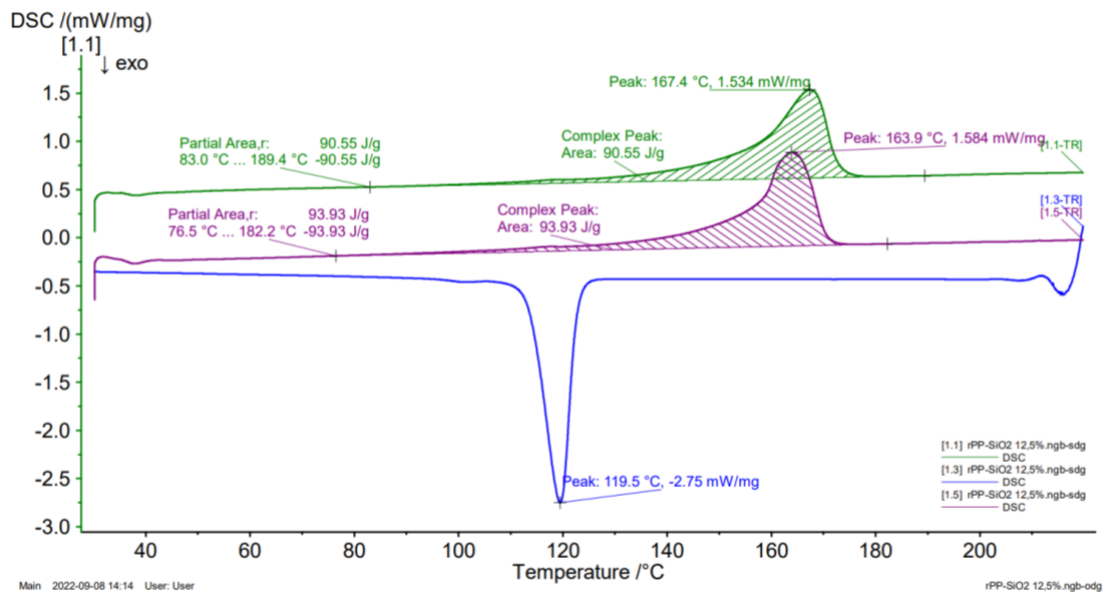


(c) 7,5% wt silika HMDS





(d) 10% wt silika HMDS



(e) 12,5% wt silika HMDS

Gambar IV. 2 Hasil Pengujian Sifat termal Komposit Polipropilena Daur Ulang Berpengisi Silika HMDS

Pada Gambar IV.2 merupakan grafik hasil pengujian sifat termal dengan menggunakan alat DSC. Dalam grafik yang ditampilkan dapat diketahui nilai dari temperatur kristalisasi ( $T_c$ ), temperatur leleh ( $T_m$ ), dan entalpi dari komposisi yang diuji ( $\Delta H_m$ ). Pada Tabel IV.4 disajikan data hasil pengujian DSC.

Tabel IV. 4 Hasil Pengujian Termal menggunakan DSC Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS

Polipropilena daur ulang (%wt)	Silika HMDS (%wt)	T <sub>m</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>m</sub> (J/g)	X <sub>c</sub> (%)
100	0	162,6	112,1	98,86	46,77
95	5	160,4	119	100,1	48,33
92,5	7,5	160,7	119,9	97,69	47,17
90	10	160,6	119,5	91,20	44,04
87,5	12,5	163,9	119,5	93,93	45,35

Tabel IV.4 memberikan nilai kristalisasi (T<sub>c</sub>), temperatur leleh (T<sub>m</sub>), entalpi (ΔH<sub>m</sub>), dan derajat kristalinitas (X<sub>c</sub>) secara detail masing-masing variasi PP daur ulang/silika HMDS. Untuk mendapatkan nilai derajat kristalinitas (X<sub>c</sub>) dapat dihitung dengan cara:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\% \quad (\text{IV.1})$$

Dimana X<sub>c</sub> adalah derajat kristalinitas, ΔH<sub>m</sub> adalah entalpi polipropilena, dan ΔH<sub>m</sub><sup>0</sup> adalah entalpi pelelehan polipropilena kristalisasi 100% bernilai 207,1 J/g .

A. Sampel 1 (PP daur ulang 100%)

$$X_c = \frac{96,86}{207,1} \times 100\% = 46,77\%$$

B. Sampel 2 (PP daur ulang/silika HMDS 5%)

$$X_c = \frac{100,1}{207,1} \times 100\% = 48,33\%$$

C. Sampel 3 (PP daur ulang/silika HMDS 7,5%)

$$X_c = \frac{97,69}{207,1} \times 100\% = 47,17\%$$

D. Sampel 4 (PP daur ulang/silika HMDS 10%)

$$X_c = \frac{91,20}{207,1} \times 100\% = 44,04\%$$

E. Sampel 5 (PP daur ulang/silika HMDS 12,5%)

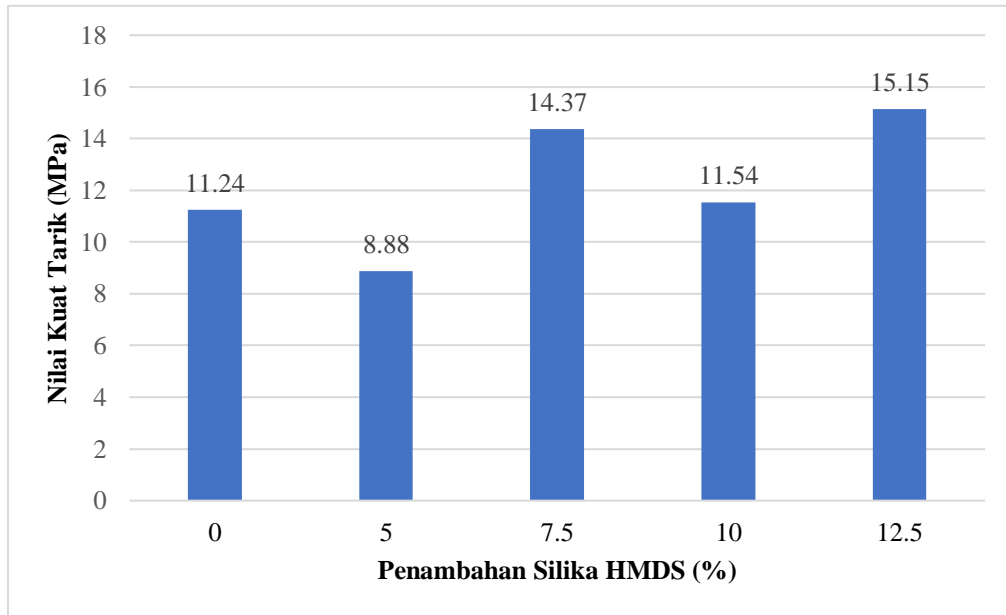
$$X_c = \frac{93,93}{207,1} \times 100\% = 45,35\%$$

Pengujian DSC menggunakan metode kalorimetri yaitu dengan penyerapan kalor atau sistem pelepasan kalor. Sampel yang menyerap kalor disebut sebagai keadaan endotermis, sedangkan sampel yang melepas kalor disebut sebagai keadaan eksotermis. Pada keadaan endotermis beberapa proses terjadi seperti pelelehan dan transisi *glass* ( $T_g$ ). Maka hasil pengujian sifat termal komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS didapatkan temperatur leleh tiap sampel. Pada keadaan eksotermis terjadi proses kristalisasi, oksidasi, dan curing. Keadaan tersebut merupakan respon dari proses pelepasan kalor atau energi dari sampel. Maka hasil dari pengujian sifat termal komposit polipropilena daur ulang/silika HMDS didapatkan temperatur kristalisasi.

## IV.2 Pengolahan Data

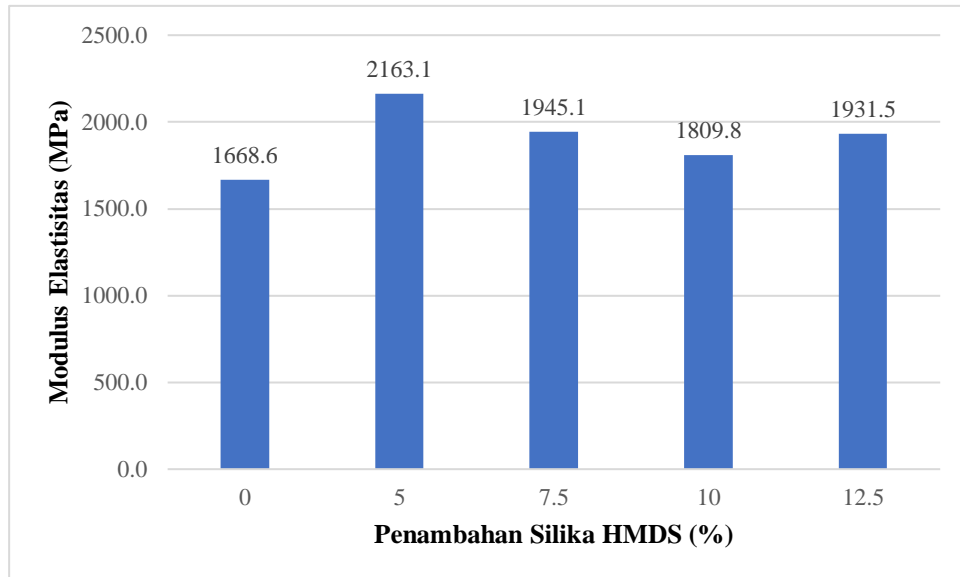
### IV.2.1 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Data yang telah diperoleh dari <sup>37</sup> penelitian ini difungsikan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi polipropilena daur ulang/silika HMDS terhadap kekuatan tarik komposit. Sesuai dengan standar pengujian yang digunakan, nilai kuat tarik didapat dari rata-rata nilai uji pada 5 (lima) spesimen pada tiap variasinya. Hasil dari pengujian kuat tarik diolah <sup>55</sup> dalam bentuk diagram batang yang dapat dilihat pada Gambar IV.3



Gambar IV. 3 Diagram Pengaruh Penambahan Silika HMDS Terhadap Kekuatan Tarik Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS

Pada Gambar IV.3 menunjukkan hasil kekuatan tarik dari setiap variasi. PP daur ulang tanpa silika HMDS<sup>11</sup> didapat nilai kuat tarik sebesar 11,24 MPa. Penambahan silika HMDS<sup>11</sup> 5% didapat nilai kuat tarik sebesar 8,88 MPa. Penambahan silika HMDS<sup>11</sup> 7,5% didapat nilai kuat tarik sebesar 14,37 MPa. Penambahan silika HMDS<sup>11</sup> 10% didapat nilai kuat tarik sebesar 11,54 MPa. Penambahan silika HMDS<sup>11</sup> 12,5% didapat nilai kuat tarik sebesar 15,15 MPa. Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai kuat tarik tertinggi pada variasi<sup>19</sup> komposisi PP daur ulang/silika HMDS 12,5% yaitu sebesar 15,15 MPa.

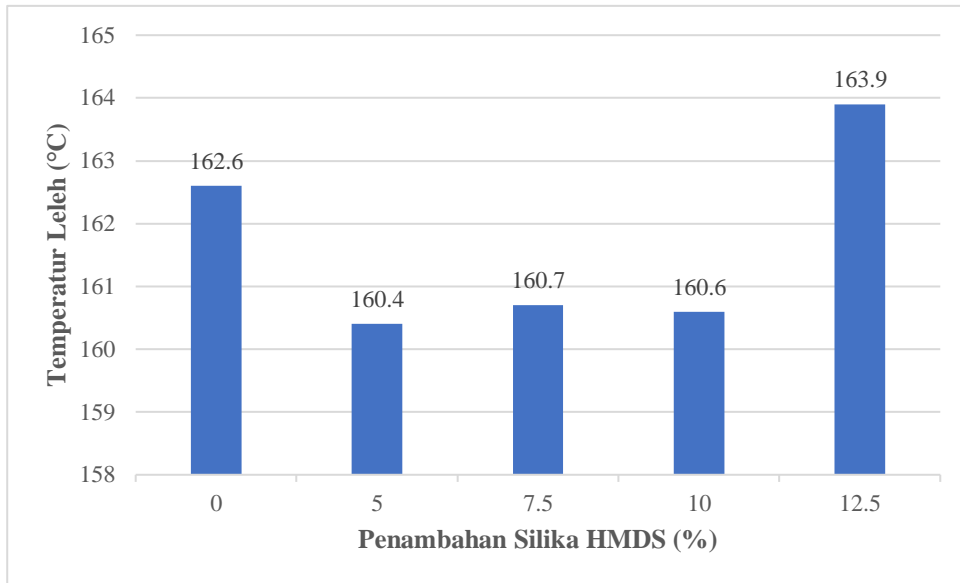


Gambar IV. 4 Diagram Pengaruh Penambahan Silika HMDS Terhadap Modulus Elastisitas Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS

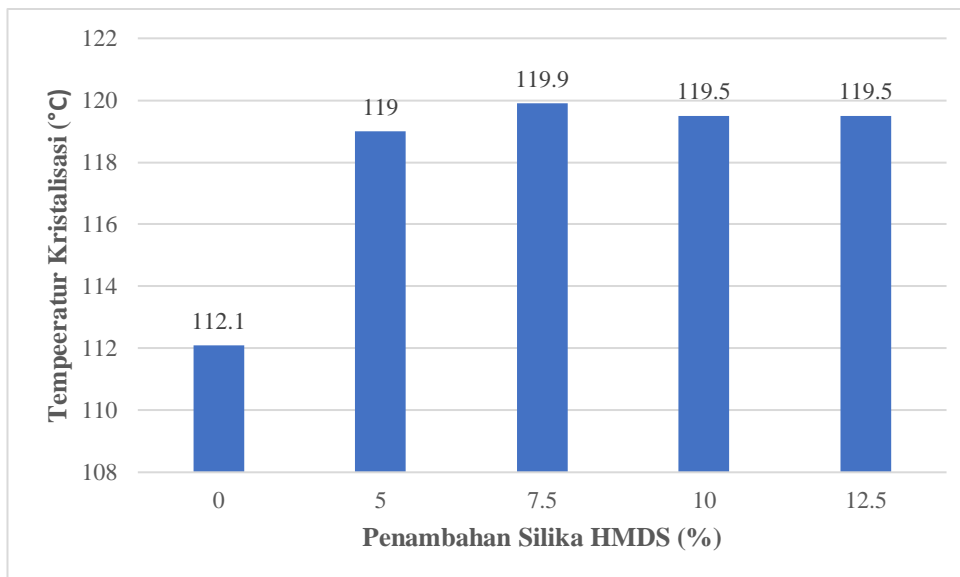
Gambar IV.4 menunjukkan nilai modulus elastisitas komposit PP daur ulang/silika HMDS dari setiap variasi. PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 1668,6 MPa. Penambahan silika HMDS 5% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 2163,1 MPa. Penambahan silika HMDS 7,5% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1945,1 MPa. PP daur ulang/silika HMDS 10% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1809,8 MPa. Penambahan silika HMDS 12,5% diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1931,5 MPa. Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai modulus elastisitas tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 5% yaitu sebesar 2163,1 MPa.

#### IV.2.2 Hasil Pengujian Sifat Termal

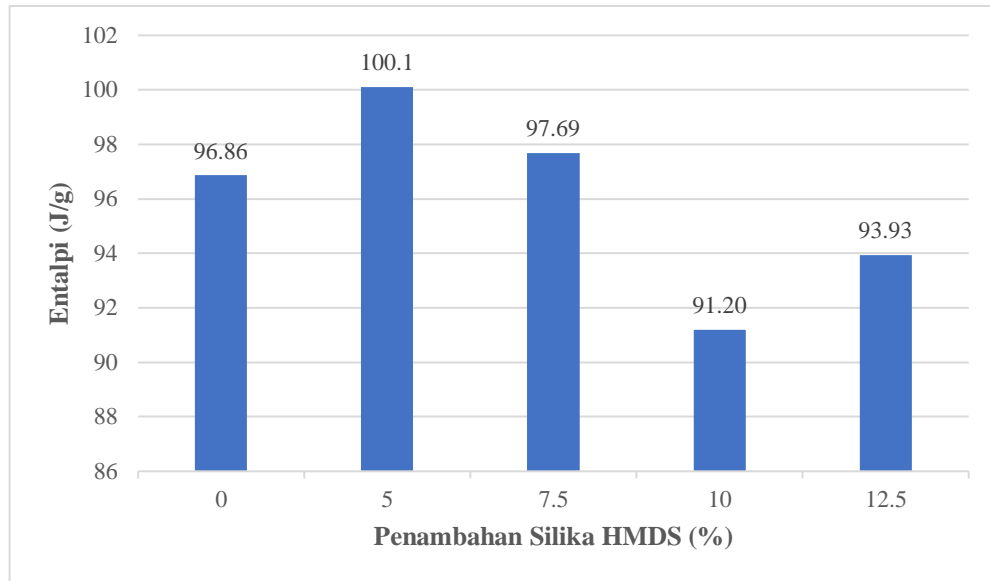
Data yang telah diperoleh dari penelitian ini difungsikan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi polipropilena daur ulang/silika HMDS terhadap sifat termal komposit. Hasil dari pengujian sifat termal menggunakan alat DSC diolah dalam bentuk diagram batang. Temperatur leleh ( $T_m$ ) dan temperatur kristalisasi ( $T_c$ ) dapat dilihat pada Gambar IV.5 dan IV.6. Nilai entalpi dapat dilihat pada Gambar IV.7



Gambar IV. 6 Diagram Pengaruh Penambahan Silika HMDS Terhadap Temperatur Leleh ( $T_m$ ) Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS



Gambar IV. 5 Diagram Pengaruh Penambahan Silika HMDS Terhadap Temperatur Kristalisasi ( $T_c$ ) Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS



Gambar IV. 7 Diagram Pengaruh Penambahan Silika HMDS Terhadap Entalpi ( $\Delta H_m$ ) Komposit PP Daur Ulang/Silika HMDS

Gambar IV.5 merupakan diagram batang yang menunjukkan temperatur leleh komposit PP daur ulang/silika HMDS. PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS didapat nilai temperatur leleh sebesar  $162,6^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika HMDS 5% didapat nilai temperatur leleh sebesar  $160,4^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika HMDS 7,5% didapat nilai temperatur leleh sebesar  $160,7^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika HMDS 10% didapat nilai temperatur leleh sebesar  $160,6^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika silika HMDS 12,5% didapat nilai temperatur leleh sebesar  $163,9^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai temperatur leleh tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 12,5% yaitu sebesar  $163,9^{\circ}\text{C}$ .

Gambar IV.6 merupakan diagram batang yang menunjukkan nilai temperatur kristalisasi komposit PP daur ulang/silika HMDS. Penambahan silika HMDS 5% didapat nilai temperatur kristalisasi sebesar  $119^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika HMDS 7,5% didapat nilai temperatur kristalisasi sebesar  $119,9^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika HMDS 10% didapat nilai temperatur kristalisasi sebesar  $119,5^{\circ}\text{C}$ . Penambahan silika HMDS 12,5% didapat nilai temperatur kristalisasi sebesar  $119,5^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai temperatur kristalisasi tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 7,5% yaitu sebesar  $119,9^{\circ}\text{C}$ .

Gambar IV.7 merupakan diagram batang yang menunjukkan nilai entalpi komposit PP daur ulang/silika HMDS. PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS didapat nilai entalpi sebesar 96,86 J/g. Penambahan silika HMDS 5% didapat nilai entalpi sebesar 100,1 J/g. Penambahan silika HMDS 7,5% didapat nilai entalpi sebesar 97,69 J/g. Penambahan silika HMDS 10% didapat nilai entalpi sebesar 91,20 J/g. Penambahan silika HMDS 12,5% didapat nilai entalpi sebesar 93,93 J/g. Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai entalpi tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 5% yaitu sebesar 100,1 J/g.



## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### V.1 Pengaruh Penambahan Silika Termodifikasi HMDS Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polipropilena Daur Ulang/Silika HMDS

Pengujian kekuatan tarik<sup>2</sup> pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan silika HMDS dalam komposit polipropilena daur ulang terhadap kekuatan tarik komposit yang dihasilkan. Pada penelitian ini silika yang digunakan telah dimodifikasi dengan *coupling agent hexamethyldisilazane* (HMDS). Modifikasi ini dilakukan untuk meningkatkan dispersi antarmuka dalam matriks polimer. Spesimen uji dibuat sebanyak 6 (enam) spesimen setiap varian. Hasil uji kuat tarik dapat dilihat dalam Tabel IV.3 data yang dicantumkan hanya 5 (lima) spesimen uji sesuai dengan standar ASTM D638.

Berdasarkan table IV.3 diperoleh data pengujian kuat tarik komposit polipropilena daur ulang berpengisi silika termodifikasi HMDS yang menunjukkan nilai kuat tarik meningkat seiring dengan penambahan massa silika HMDS. Hasil penelitian didapatkan nilai kuat tarik tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 12,5% yaitu sebesar 15,15 MPa. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS dapat meningkatkan kekuatan tarik. Peningkatan terjadi karena silika yang termodifikasi terdispersi lebih baik didalam matriks PP sehingga meningkatkan interaksi antarmuka PP (Lin dkk, 2011). PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS didapat nilai kuat tarik sebesar 11,24 MPa. PP daur ulang tanpa silika HMDS tidak melalui proses *mixing* pada mesin *compounder* seperti variasi yang lainnya, jika melalui proses yang sama memungkinkan nilai kuat tarik yang diperoleh akan lebih rendah. Proses *mixing* pada mesin *compounder* dilakukan dengan pemanasan di dalam *barrel* dengan hasil produk berupa *pellet* kompon yang akan dicetak menggunakan mesin *manual forming* dengan pemanasan dan tekanan. PP daur ulang hanya mendapat satu kali perlakuan pemanasan yaitu saat pencetakan pelat komposit. Pemanasan dapat

mempengaruhi sifat mekanik komposit polimer. Pada komposisi silika HMDS 10% mengalami penurunan kuat tarik yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya dapat disebabkan pada saat pencampuran silika HMDS dengan pellet PP daur ulang saat proses *mixing* dengan mesin *compounder* kurang homogen. Dapat juga disebabkan saat proses pencetakan pelat plastik terdapat gelembung udara sehingga pelat plastik yang dihasilkan berongga. Hasil penelitian dengan penambahan silika HMDS terbukti dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit.

Berdasarkan tabel diatas diperoleh data modulus elastisitas komposit PP daur ulang berpengisi silika termodifikasi HMDS yang menunjukkan dengan penambahan silika dapat meningkatkan nilai modulus elastisitas PP daur ulang. Namun, semakin banyak komposisi silika ditambahkan nilai modulus elastisitas menurun. Nilai maksimum modulus elastisitas didapat pada komposisi silika 5% sebesar 2163,1 MPa. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, maka bahan polimer tidak elastis atau kaku. Semakin banyak komposisi silika yang ditambahkan, maka komposit PP daur ulang semakin elastis. Sesuai dengan penelitian Lin dkk, (2011) mengenai sifat mekanik komposit PP murni/silika termodifikasi *coupling agent* APTES, HMDS, MTES, dan DCMS bahwa dengan penambahan silika termodifikasi *coupling agent* dapat meningkatkan nilai modulus elastisitas.

## **V.2 Pengaruh Penambahan Silika Termodifikasi HMDS Terhadap Sifat Termal Komposit Polipropilena Daur Ulang/Silika HMDS**

Dapat dilihat pada Gambar IV.5 menunjukkan nilai temperatur leleh ( $T_m$ ). Nilai temperatur leleh paling tinggi ditunjukkan pada penambahan silika HMDS sebanyak 12,5% yaitu sebesar 163,9°C. Pada Gambar IV.6 menunjukkan nilai temperatur kristalisasi ( $T_c$ ). Nilai temperatur kristalisasi paling tinggi ditunjukkan pada penambahan silika HMDS sebanyak 7,5% yaitu sebesar 119,9°C, lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur kristalisasi komposit PP murni berpengisi silika termodifikasi HMDS hasil penelitian Lin dkk, (2011) dengan nilai maksimum sebesar 112°C. Silika termodifikasi menginduksi proses kristalisasi menjadi lebih cepat (Srisawat dkk, 2009). Tabel IV.5 menunjukkan derajat kristalinitas pada PP daur ulang berpengisi silika termodifikasi HMDS didapatkan nilai maksimum pada

variasi penambahan silika HMDS sebanyak 5% yaitu sebesar 48,33%. Hasil tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan derajat kristalinitas dari PP daur ulang tanpa penambahan silika HMDS yaitu sebesar 46,77%. Dengan penambahan silika termodifikasi HMDS menunjukkan bahwa dapat meningkatkan kristalinitas PP daur ulang pada komposisi maksimum silika HMDS sebesar 7,5%. Polipropilena yang memiliki derajat kristalinitas tinggi menunjukkan bahwa polipropilena memiliki fase kristal lebih banyak.

Gambar IV.7 menunjukkan nilai entalpi. Nilai entalpi paling tinggi ditunjukkan pada penambahan silika HMDS 5% yaitu sebesar 100,1 J/g lebih tinggi dibandingkan dengan entalpi hasil penelitian Lin dkk, (2011) mengenai komposit PP murni/silika termodifikasi HMDS dengan nilai entalpi tertinggi sebesar 73 J/g.

43  
**BAB VI**  
**PENUTUP**

**VI.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa data penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan silika termodifikasi *hexamethyldisilazane* (HMDS) dapat meningkatkan kekuatan tarik dari polipropilena daur ulang. Nilai kekuatan tarik tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 12,5% yaitu sebesar 15,15 MPa<sup>16</sup> sedangkan nilai kuat tarik terendah pada penambahan silika HMDS sebanyak 5% yaitu sebesar 8,88 MPa.
2. Penambahan silika termodifikasi *hexamethyldisilazane* (HMDS) dapat<sup>47</sup> meningkatkan modulus elastisitas PP daur ulang. Nilai modulus elastisitas tertinggi pada penambahan silika HMDS sebanyak 5% yaitu sebesar 2163,1 MPa<sup>16</sup> sedangkan nilai modulus elastisitas terendah pada penambahan silika HMDS sebanyak 12,5% yaitu sebesar 1931,5 MPa.
3. Penambahan silika termodifikasi *hexamethyldisilazane* (HMDS) dapat mempengaruhi sifat termal. Sifat termal paling baik pada penambahan silika HMDS sebanyak 5%. Hal ini dapat dilihat dari nilai temperatur leleh, temperatur kristalisasi, entalpi, dan derajat kristalinitas.

**VI.2 Saran**

Saran dalam pelaksanaan agar dapat<sup>20</sup> dilakukan penelitian yang lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Proses pencampuran harus dilakukan dengan maksimal, agar seluruh bahan dapat tercampur dengan baik.
2. Perlu dicoba penelitian dengan komposisi dan *coupling agent* yang lain.

## ● 23% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 19% Internet database
- Crossref database
- 15% Submitted Works database
- 7% Publications database
- Crossref Posted Content database

### TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	<b>media.neliti.com</b> Internet	2%
2	<b>repository.its.ac.id</b> Internet	2%
3	<b>123dok.com</b> Internet	1%
4	<b>ejournal.kemenperin.go.id</b> Internet	<1%
5	<b>docplayer.info</b> Internet	<1%
6	<b>es.scribd.com</b> Internet	<1%
7	<b>Erfina Oktariani, Linda Rohmata Sari. "Potensi Zeolit Alam dalam Meni..."</b> Crossref	<1%
8	<b>hdl.handle.net</b> Internet	<1%

9	<b>tkp.stmi.ac.id</b>	Internet	<1%
10	<b>eprints.mercubuana-yogya.ac.id</b>	Internet	<1%
11	<b>teras.unimal.ac.id</b>	Internet	<1%
12	<b>Fitria Ika Aryanti. "Pembuatan Komposit Polimer Polipropilena/Talk/M...</b>	Crossref	<1%
13	<b>pt.slideshare.net</b>	Internet	<1%
14	<b>LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-09-25</b>	Submitted works	<1%
15	<b>iGroup on 2017-06-18</b>	Submitted works	<1%
16	<b>jurnal.upnyk.ac.id</b>	Internet	<1%
17	<b>repo.itera.ac.id</b>	Internet	<1%
18	<b>scribd.com</b>	Internet	<1%
19	<b>Universitas Negeri Jakarta on 2021-01-29</b>	Submitted works	<1%
20	<b>digilib.uin-suka.ac.id</b>	Internet	<1%

21	<b>Sriwijaya University on 2020-08-31</b>	<1%
	Submitted works	
22	<b>repo.uinsatu.ac.id</b>	<1%
	Internet	
23	<b>digilib.unila.ac.id</b>	<1%
	Internet	
24	<b>online-journal.unja.ac.id</b>	<1%
	Internet	
25	<b>web.stfm.ac.id</b>	<1%
	Internet	
26	<b>Universitas Muhammadiyah Yogyakarta on 2017-01-04</b>	<1%
	Submitted works	
27	<b>repository.unwira.ac.id</b>	<1%
	Internet	
28	<b>Institut Teknologi Kalimantan on 2020-01-25</b>	<1%
	Submitted works	
29	<b>mulok.library.um.ac.id</b>	<1%
	Internet	
30	<b>Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2018-02-05</b>	<1%
	Submitted works	
31	<b>Universitas Sultan Ageng Tirtayasa on 2020-11-12</b>	<1%
	Submitted works	
32	<b>scholar.unand.ac.id</b>	<1%
	Internet	

33	<b>text-id.123dok.com</b>	Internet	<1%
34	<b>link.springer.com</b>	Internet	<1%
35	<b>Universitas Airlangga on 2020-08-30</b>	Submitted works	<1%
36	<b>Universitas Jember on 2019-01-03</b>	Submitted works	<1%
37	<b>Nuri Yanti, Muhammad Anas, Rosliana Eso. "Pengaruh Variasi Ukuran ...</b>	Crossref	<1%
38	<b>Virginia Polytechnic Institute and State University on 2020-05-10</b>	Submitted works	<1%
39	<b>ejournal.unesa.ac.id</b>	Internet	<1%
40	<b>poltera on 2022-07-19</b>	Submitted works	<1%
41	<b>kardilot.com</b>	Internet	<1%
42	<b>Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-07</b>	Submitted works	<1%
43	<b>mytomonho.blogspot.com</b>	Internet	<1%
44	<b>Sriwijaya University on 2020-11-26</b>	Submitted works	<1%



45	<b>Universitas Pertamina on 2021-01-25</b>	<1%
	Submitted works	
46	<b>repository.bku.ac.id</b>	<1%
	Internet	
47	<b>Ari Rianto, Leo Dedy Anjiu. "Kekuatan Mekanik Komposit Berpenguat S...</b>	<1%
	Crossref	
48	<b>Eun Mi Choi, Kyoung Sub Shin, Taek Sung Hwang. "Synthesis and elect...</b>	<1%
	Crossref	
49	<b>Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-09</b>	<1%
	Submitted works	
50	<b>Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-16</b>	<1%
	Submitted works	
51	<b>Politeknik Negeri Bandung on 2021-09-02</b>	<1%
	Submitted works	
52	<b>Sriwijaya University on 2020-06-16</b>	<1%
	Submitted works	
53	<b>Universitas Diponegoro on 2018-08-20</b>	<1%
	Submitted works	
54	<b>digilib.polban.ac.id</b>	<1%
	Internet	
55	<b>eprints.uny.ac.id</b>	<1%
	Internet	
56	<b>idoc.pub</b>	<1%
	Internet	

57	<b>journal.unj.ac.id</b>	Internet	<1%
58	<b>ojs.atmajaya.ac.id</b>	Internet	<1%
59	<b>Fredrick M. Mwanja, Maina Maringa, Jakobus. G. van der Walt. "Prelimi...</b>	Crossref	<1%
60	<b>Marinus S. Tappy, Jozua Ch. Huwae, Jefta Ratela, Barokah Barokah, Se...</b>	Crossref	<1%
61	<b>North West University on 2017-10-20</b>	Submitted works	<1%
62	<b>directory.umm.ac.id</b>	Internet	<1%
63	<b>journal.univpancasila.ac.id</b>	Internet	<1%
64	<b>lib.unnes.ac.id</b>	Internet	<1%
65	<b>ojs.uho.ac.id</b>	Internet	<1%
66	<b>repository.itk.ac.id</b>	Internet	<1%
67	<b>scilit.net</b>	Internet	<1%
68	<b>UPN Veteran Yogyakarta on 2021-10-26</b>	Submitted works	<1%

69	<b>Universitas Sebelas Maret on 2019-04-08</b> Submitted works	<1%
70	<b>Fakultas Hukum Universitas Lampung on 2021-12-01</b> Submitted works	<1%
71	<b>Institut Teknologi Kalimantan on 2020-01-28</b> Submitted works	<1%
72	<b>repository.uin-suska.ac.id</b> Internet	<1%
73	<b>repository.usd.ac.id</b> Internet	<1%