

No. Dok: 6068-
Copy : 1

D.
668.423 Ace
Feb
K.

**KARAKTERISTIK TERMAL PADA KOMPON HDPE/CaCO₃
DENGAN PENAMBAHAN UV *STABILIZER***

**DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(Agustus 2019 – Juni 2020)**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh

MONALISA FEBRIANTI

NIM: 1516062

DATA BUKU PERPUSTAKAAN

Tgl Terima	12/06/2020
No Induk Buku	171/100/1516062/2020



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

2020

SUMBANGAN ALUMNI

**KARAKTERISTIK TERMAL PADA KOMPON HDPE/CaCO₃
DENGAN PENAMBAHAN UV *STABILIZER***

**DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(Agustus 2019 – Juni 2020)**

LAPORAN TUGAS AKHIR

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

Oleh

MONALISA FEBRIANTI

NIM: 1516062



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
2020**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TERMAL PADA KOMPON HDPE/ CaCO_3 DENGAN PENAMBAHAN UV *STABILIZER*

DI POLITEKNIK STMI JAKARTA

Oleh

Monalisa Febrianti

NIM: 1516062

(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Dalam kehidupan sehari-hari penggunaan plastik semakin meningkat. Seiring dengan pemanasan global yang berpotensi meningkatkan radiasi sinar ultraviolet menjadikan plastik membutuhkan penstabil sinar ultraviolet. Penambahan UV *Stabilizer* sebagai penstabil sinar ultraviolet diharapkan mampu mencegah atau memperlambat terjadinya dekomposisi dan kerusakan terhadap plastik. Bahan pengisi yang ditambahkan pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat ketahanan termal dari sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan CaCO_3 dan UV *Stabilizer* terhadap sifat karakteristik termal pada kompon *High Density Polyethylene*. Aditif yang digunakan pada penelitian ini adalah UV *Stabilizer* jenis UV-20783 dengan komposisi 2% terhadap total kompon. Bahan pengisi yang digunakan yaitu kalsium karbonat dengan variasi 0%, 3% dan 5%. Pada pembuatan kompon CaCO_3 dengan penambahan UV *Stabilizer* dilakukan menggunakan mesin *Compounder* ZK 25x24D dengan suhu operasi 210°C. Pengujian sifat dan karakteristik termal pada penelitian ini menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* dan *Thermogravimetry Analysis*. Hasil pengujian menggunakan DSC menunjukkan bahwa karakteristik termal kompon berupa titik leleh dan titik kristalisasi tidak mengalami perubahan yang cukup besar. Pada penambahan 2% UV *Stabilizer* dan 3% CaCO_3 pada kompon *High Density Polyethylene* dapat meningkatkan titik kristalisasi (T_c) sebesar 116,2°C, entalpi pelelehan (ΔH) sebesar 190,7 J/g, dan derajat kristalinitas (X_c) 65,09%. Hasil pengujian menggunakan TGA untuk variasi 4 yaitu dengan penambahan 2% UV *Stabilizer* dan 3% CaCO_3 pada kompon HDPE diperoleh perbedaan suhu dekomposisi yang paling besar yaitu 446,42°C lalu kompon terdekomposisi sempurna pada suhu 478,91°C dan menghasilkan residu sebesar 0,392 mg.

Kata kunci : CaCO_3 , *High Density Polyethylene*, kompon, UV *Stabilizer*, karakteristik termal.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**KARAKTERISTIK TERMAL PADA KOMPON HDPE/CaCO₃
DENGAN PENAMBAHAN UV *STABILIZER***

DI POLITEKNIK STMI JAKARTA

Monalisa Febrianti
NIM : 1516062
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Juli 2020

Menyetujui,
Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng
NIP 198505112014022001

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng
NIP 198505112014022001

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS
AKHIR**

**KARAKTERISTIK TERMAL KOMPON HDPE/CaCO₃
DENGAN PENAMBAHAN UV *STABILIZER***

Monalisa Febrianti

NIM : 1516062

(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Juli 2020

Penguji 1

Penguji 2



Dr. Ir. Lintong Sopandi Hutahaean, M.Sc

NIP. 195803221986031002



Ir. Andi Rusnaenah, S.T. M, T. M.Si.

NIP. 197407192011012001

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng.

NIP. 198505112014022001

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS
AKHIR**

**KARAKTERISTIK TERMAL KOMPON HDPE/CaCO₃
DENGAN PENAMBAHAN UV *STABILIZER***

Monalisa Febrianti

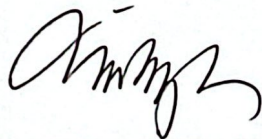
NIM : 1516062

(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Agustus 2020

Penguji 1



Dr. Ir. Lintong Sopandi Hutahaean, M.Sc

NIP. 195803221986031002

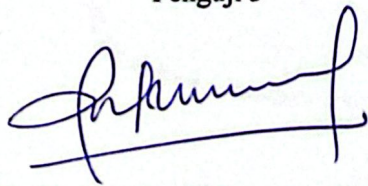
Penguji 2



Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.

NIP. 198210012014022001

Penguji 3



Ir. Parulian Leonard Marpaung, M.M.

NIP. 195702141985031002

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng.

NIP. 198505112014022001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Monalisa Febrianti

NIM : 1516062

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang saya buat dengan judul *Karakteristik Termal pada Kompon HDPE/CaCO₃ dengan Penambahan UV Stabilizer*.

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, bimbingan dengan dosen pembimbing, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada tugas akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada tugas akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti yang diatas, maka tugas akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, Juli 2020



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkah Rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Karakteristik Termal pada Kompon HDPE/CaCO₃ dengan penambahan UV *Stabilizer*” dengan baik. Penulisan laporan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Kimia Polimer di Politeknik STMI Jakarta.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terimakasih atas bimbingan dan dukungan kepada:

1. Orang tua penulis yang telah memberikan doa juga dukungan selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
3. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta dan sebagai Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Ella Melyna, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
5. Seluruh karyawan serta staff Politeknik STMI Jakarta yang telah membantu membimbing serta memfasilitasi keperluan selama proses tugas akhir.
6. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap agar tugas akhir ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu yang akan datang.

Jakarta, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS AKHIR	v
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR	vi
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
Bab I Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
Bab II Tinjauan Pustaka	5
II.1 Polietilena	5
II.2 Klasifikasi Polietilena	6
II.3 Zat Aditif	8
II.3.1 <i>Plasticizer</i>	9
II.3.2 <i>Stabilizer</i>	9
II.3.3 <i>Filler</i>	10
II.3.4 <i>Colorants</i>	10
II.3.5 Antioksidan	11
II.4 Kalsium Karbonat	11
II.5 UV <i>Stabilizer</i>	12
II.6 Karakteristik Termal	14
II.6.1 Karakteristik Termal Kompon menggunakan <i>Differential Scanning Calorimetry (DSC)</i>	14
II.6.2 Karakteristik Termal Kompon menggunakan <i>Thermogravimetric Analysis (TGA)</i>	17
II.7 <i>Compounder</i>	18
Bab III Metode	21
III.1 Waktu dan Tempat	21
III.2 Alat dan Bahan	21
III.2.1 Alat	21
III.2.2 Bahan	21
III.3 Variabel	21
III.3.1 Variabel Tetap	21
III.3.2 Variabel Bebas	22
III.4 Prosedur Penelitian	22
III.4.1 Persiapan Bahan	23

III.4.2 Pembuatan Kompon HDPE/CaCO ₃ /UV <i>Stabilizer</i>	24
III.4.3 Pengujian Karakteristik Termal.....	24
Bab IV Hasil dan Pembahasan	26
IV.1 Pengaruh Penambahan UV <i>Stabilizer</i> dan CaCO ₃ terhadap <i>Temperature Melting</i> (T _m) dan Derajat Kristalinitas Kompon HDPE.....	26
IV.2 Pengaruh Penambahan UV <i>Stabilizer</i> dan CaCO ₃ terhadap Suhu Dekomposisi Kompon HDPE.....	31
Bab V Penutup.....	37
V.1 Kesimpulan.....	37
V.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	41

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Lembar Bimbingan Tugas Akhir	42
LAMPIRAN B Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing.....	44
LAMPIRAN C Perhitungan	45
LAMPIRAN D <i>Technical Data Sheet</i> UV-20783	47
LAMPIRAN E <i>Certificate Of Analysis</i> CaCO ₃	49
LAMPIRAN F <i>Technical Data Sheet</i> HDPE	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Molekul Etilena.....	5
Gambar II.2 Struktur Molekul Chimassorb 944.....	14
Gambar II.3 Struktur Molekul Tinuvin 622.....	14
Gambar II.4 Termogram DSC HDPE Pipa.....	15
Gambar III.1 Skema Penelitian.....	23
Gambar IV.1 Termogram DSC HDPE.....	26
Gambar IV.2 Termogram DSC HDPE/UV Stabilizer 98;2.....	26
Gambar IV.3 Termogram DSC HDPE/CaCO ₃ 97;3.....	27
Gambar IV.4 Termogram DSC HDPE/CaCO ₃ /UV Stabilizer 95;2;3.....	27
Gambar IV.5 Termogram DSC HDPE/CaCO ₃ /UV Stabilizer 93;2;5.....	28
Gambar IV.6 Temperatur leleh dan Kristalisasi Kompon.....	30
Gambar IV.7 Diagram Entalpi.....	30
Gambar IV.8 Kurva Derajat Kristalinitas.....	31
Gambar IV.9 Suhu dekomposisi Termal Variasi 1.....	32
Gambar IV.10 Suhu dekomposisi Termal Variasi 2.....	32
Gambar IV.11 Suhu dekomposisi Termal Variasi 3.....	32
Gambar IV.12 Suhu dekomposisi Termal Variasi 4.....	33
Gambar IV.13 Suhu dekomposisi Termal Variasi 5.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Karakteristik HDPE	7
Tabel II.2 Spesifikasi CaCO ₃	12
Tabel II.3 Physical Properties of UV-20783	13
Tabel II.4 Kondisi Operasi Compounder ZK 25x24D.....	20
Tabel III.1 Variasi Komponen Resin HDPE, <i>Filler</i> , dan <i>Additive</i>	22
Tabel IV.1 Karakteristik Termal Kompon HDPE menggunakan TGA.....	34

DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
CaCO ₃	<i>Calcium Carbonate</i>	1
UV	<i>Ultra Violet</i>	1
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i>	1
NPCC	<i>Nano Particle Calcium Carbonate</i>	1
LDPE	<i>Low Density Polyethylene</i>	6
MDPE	<i>Medium Density Polyethylene</i>	6
LLDPE	<i>Linear Low Density Polyethylene</i>	8
VLDPE	<i>Very Low Density Polyethylene</i>	8
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>	1
TG	<i>Thermogravimetric</i>	17
DSC	<i>Differential Scanning Calorimetry</i>	iii
TGA	<i>Thermogravimetry Analysis</i>	iii

Bab I Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kompon polimer saat ini sering digunakan sebagai material pembuatan barang-barang plastik dalam kehidupan sehari-hari seperti kebutuhan rumah tangga, mainan, peralatan dapur dan peralatan makan. Dalam dunia otomotif, produk yang dihasilkan dari kompon polimer ini adalah sebagai bagian-bagian kecil yang ada dalam mobil maupun motor. Polimer terdiri dari 2 jenis, yaitu polimer alami dan polimer sintetis. Polimer sintetis dibuat melalui cara polimerisasi, salah satu polimer sintetis yang sering digunakan yaitu polietilena (PE). Polimer jenis ini lebih banyak digunakan karena memiliki sifat yang mudah dibentuk atau lentur, ringan, tahan lama, murah dan tahan terhadap bahan kimia. (Vasile dan Pascu, 2005).

Wahini dkk. (2011) meneliti tentang bagaimana pengaruh ketahanan termal dari nanokomposit HDPE/NPCC dengan metode pengujian TGA dan di analisis dengan metode SEM. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa dengan penambahan *nanofiller* NPCC sebesar 15%wt dari resin, akan memberikan sifat ketahanan panas terbaik dan memperlihatkan distribusi yang lebih merata. Analisis termal dengan TGA memperlihatkan bahwa penambahan NPCC dapat menaikkan suhu awal dekomposisi.

Zat aditif biasa digunakan sebagai pengubah sifat, agar dapat meningkatkan kemampuan pemrosesan atau membuat sifat baru pada material dengan cara penambahan pada saat formulasi. Zat aditif dapat berbentuk padatan dan cairan. Zat aditif polimer dikelompokkan menjadi *plasticizer*, *stabilizer*, *flame retardant*, *filler*, pewarna, dan lain-lain (Carragher, 2003).

Sulaeman (2003) pernah meneliti tentang pengaruh cuaca tropis di Indonesia terhadap komposit kayu/plastik daur ulang setelah dilakukan pemaparan sinar UV secara langsung. Terjadinya perubahan warna pada permukaan komposit yang terkena sinar UV secara langsung dan penurunan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan tarik, elongasi patah, dan modulus *young* pada komposit. Penambahan

2,5% maleat anhidrida (MAH) sebagai *compatibilizer* tidak memberikan pengaruh pada kekuatan komposit tersebut terhadap cuaca.

Penstabil panas digunakan untuk mencegah degradasi plastik yang disebabkan oleh panas. Terutama saat pemrosesan dan pengaplikasian. Penstabil panas (*heat stabilizers*) bekerja untuk menghentikan oksidasi termal atau untuk menghentikan dekomposisi oksidasi (Murphy, 2003).

Pada penelitian ini resin yang digunakan adalah polietilena berdensitas tinggi (HDPE) diproses menjadi kompon dengan menggunakan mesin *Compounder Teach-Line ZK 25x24 D* yang akan ditambahkan zat aditif UV *Stabilizer* dan CaCO_3 sebagai bahan pengisi pada saat pemrosesan menjadi kompon. Selanjutnya dilakukan karakteristik termal menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), dan *Thermogravimetry Analysis* (TGA) 55.

Kalsium karbonat atau CaCO_3 memiliki beberapa keunggulan yang dapat menjadikannya sebagai bahan pengisi dalam penelitian ini yaitu menurut Rothon (2017) CaCO_3 dapat mengurangi pengurangan biaya produksi karena CaCO_3 juga murah, dapat mengurangi terjadinya penyusutan pada produk, dan dapat mengontrol suhu eksoterm. CaCO_3 merupakan bahan pengisi anorganik yang sering digunakan dan banyak terdapat di alam.

Salah satu kemungkinan terjadinya degradasi polimer adalah disebabkan oleh sinar UV, maka dari itu diperlukan penstabil untuk material saat terkena sinar matahari langsung dalam waktu lama yang dapat menyebabkan adanya pelapukan. HDPE mengalami penurunan sifat mekanik ketika material terpapar sinar UV (Sahu dkk., 2019). Bahan penstabil yang dipakai dalam penelitian ini merupakan UV *Stabilizer* atau penstabil sinar UV.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ terhadap temperatur leleh dan derajat kristalinitas kompon HDPE?
2. Bagaimana pengaruh penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ terhadap suhu dekomposisi kompon HDPE?

I.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Filler* yang digunakan adalah CaCO₃ dari PT Justus Kimiaraya dengan variasi 0%, 3% dan 5%,
2. Penambahan aditif UV *Stabilizer* (UV-20783) sebesar 2% dari PT Masolikalerindo Perkasa.
3. Karakteristik sifat termal menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) tipe Netzsch 214 Polyma dan *Thermogravimetry Analysis* (TGA) 55,
4. Sifat termal yang diamati adalah temperatur leleh (T_m), temperatur pendinginan kristal (T_c) dan suhu dekomposisi.
5. Pembuatan kompon menggunakan *Compounder Teach Line* ZK 25-24 D dengan temperatur operasi yaitu 210°C.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, adapun tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ terhadap temperatur leleh dan derajat kristalinitas kompon HDPE.
2. Mengetahui pengaruh penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ terhadap suhu dekomposisi kompon HDPE.

I.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah untuk:

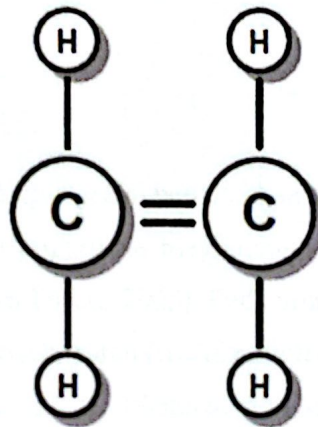
1. Memberikan pengetahuan dan pengalaman dalam penelitian, serta menambah wawasan dalam berpikir ilmiah.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan aditif UV-20783 sebagai UV *Stabilizer* terhadap karakteristik termal kompon HDPE.

3. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung perkembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi pada penelitian yang sejenis.

Bab II Tinjauan Pustaka

II.1 Polietilena

Polietilena (PE) merupakan polimer termoplastik yang sering di gunakan dalam kehidupan sehari hari, diproduksi dari gas etilena (C_2H_4). Resin polietilena diklasifikasikan berdasarkan *melt index* (MI) dan berat jenisnya (*density*). Etilena adalah gas yang tidak berwarna diperoleh dari perengkahan etana atau nafta pada suhu tinggi sekitar $850^{\circ}C$ (Rajen, 2016).



Gambar II. 1 Molekul Etilena
Sumber: Rajen, M.P., 2016

Polietilena (PE) memiliki sifat yang lentur atau mudah dibentuk, murah, tahan lama dan memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dengan baik. Kegunaan polietilena pertama kali di temukan dan digunakan sebagai tempat makan yang tahan terhadap udara dan air. Polietilena juga banyak digunakan sebagai *film* dan *molded objects*. Polietilena film banyak digunakan sebagai kemasan produk, tekstil, dan kemasan makanan yang tahan panas dan dingin (Carraher, 2003).

Polietilena berdasarkan tabel *Thermal Properties of Polymers* dari NETZSCH-Geratebau GmbH memiliki temperatur leleh sebesar $120-135^{\circ}C$. Agar sifat yang diinginkan tercapai perlu adanya penambahan zat-zat penambah yang biasa dikenal sebagai zat aditif. Aditif merupakan bahan penambah yang di gunakan pada polimer untuk memodifikasi karakteristik polimer, kekuatan polimer dan ketahanan polimer

sehingga sifat-sifat polimer akan semakin kuat dan melengkapi kelemahan daripada bahan polimer itu sendiri.

Polietilena memiliki berbagai manfaat salah satunya sebagai bahan dasar pembuatan plastik, karena jenis polietilena yang sangat banyak, maka dapat dihasilkan berbagai macam produk plastik, contohnya LDPE dapat dimanfaatkan menjadi botol kemasan air mineral. MDPE dapat dibuat menjadi tempat makan anti panas, dan HDPE dapat dimanfaatkan menjadi pipa-pipa pada pabrikan industri. Selain itu polietilena berdensitas tinggi dapat dibuat menjadi tangki untuk menyimpan bahan kimia.

II.2 Klasifikasi Polietilena

Polietilena terdiri dari berbagai jenis berdasarkan kepadatan dan percabangan molekul. Sifat mekanis dari polietilena bergantung pada tipe struktur kristal dan berat molekulnya (Vasile dan Pascu, 2005). Pada umumnya semakin tinggi massa molekulnya dan semakin banyak ikatan (rantai polimer), maka semakin rendah titik rapuh (*brittle point*) (Sara, 2017). Menurut Vasile dan Pascu (2005) berikut merupakan beberapa jenis-jenis polietilena berdasarkan densitasnya, yaitu:

a. *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE)

UHMWPE adalah polietilena dengan massa molekul yang sangat tinggi yaitu lebih dari 1000 kg/mol dan densitas sebesar 0.93-0.95 g/cm³. (Vasile dan Pascu, 2005) Tingginya massa molekul membuat plastik ini sangat kuat, namun mengakibatkan pembentukan rantai panjang menjadi struktur kristal tidak efisien dan memiliki kepadatan lebih rendah dari pada HDPE. UHMWPE tidak dapat diproses dengan metode pemrosesan yang digunakan untuk termoplastik lainnya, karena memiliki *melt viscosity* yang tinggi (Sara, 2017).

UHMWPE bisa dibuat dengan teknologi katalis Ziegler Natta. Ketahanannya terhadap goresan serta bahan kimia menjadikan plastik ini memiliki aplikasi yang luas. UHMWPE biasa digunakan sebagai *packaging* (kemasan) onderdil, pelindung sisi luar, bahan anti peluru, dan sebagai implan atau bahan biomedis.

b. *High Density Polyethylene* (HDPE)

Polietilena berdensitas tinggi atau biasa disebut HDPE memiliki densitas 0.940-0.975 g/cm³, derajat kristalinitasnya 60-80% , titik leleh 128-135°C dan *heat of fusion* (ΔH) 165-225 J/g (Enderle, 2001). HDPE memiliki ikatan kimia yang rendah dan memiliki kekuatan antar molekul serta *tensile strength* yang tinggi. HDPE bisa diproduksi dengan katalis kromium/silika, katalis *Ziegler-Natta*, atau katalis *metallocene*. HDPE biasa digunakan sebagai bahan pembuat botol minuman, kemasan, pipa atau perabotan rumah tangga. Tabel II.1 menunjukkan karakteristik dari HDPE untuk menjadi acuan dalam penelitian yang dilakukan.

Tabel II.1 Karakteristik HDPE

Parameter	Keterangan	Satuan
<i>Common Name</i>	High Density Polyethylene; poly(ethylene-co-1-hexene); poly(ethylene-co-1-octane)	-
<i>IUPAC Name</i>	Polyethylene	-
Singkatan	HDPE	-
Struktur Monomer	CH ₂ =CH ₂	-
Temperatur Polimerisasi	80-100	°C
Temperatur Kristalisasi	114-120; 117 (bimodal)	°C
Temperatur Leleh	125-135; 130 (bimodal)	°C
Temperatur Glass	-118 sampai -133	°C
<i>Heat of Polymerization</i>	93.6	kJ/mol
Kristalinitas	70-90	%
Densitas	0.94-0.965; 0.996-1.0	g/dm ³
Warna	Putih	-

Sumber: Wypych, 2016

c. *Medium Density Polyethylene* (MDPE)

Polietilena berdensitas medium atau MDPE merupakan campuran dari LDPE dan HDPE sehingga memiliki sifat yang mendekati. MDPE memiliki densitas antara 0.926-0.940 g/cm³ dengan titik leleh 105-120°C. Berat molekul MDPE berada sekitar 200-300 kg/mol dan MDPE memiliki laju alir leleh yang tinggi antara 10-25 g/10 min. MDPE biasa digunakan pada pipa gas karena memiliki ketahanan yang baik terhadap tekanan.

d. *Low Density Polyethylene (LDPE)*

LDPE adalah polietilena berdensitas rendah yang memiliki sifat transparan, tidak terlalu kaku, *translucent*, densitasnya $0.910-0.925 \text{ g/cm}^3$, titik leleh $105-120^\circ\text{C}$, *glass transition temperature* -110°C dan memiliki derajat kristalinitas sebesar 40-50%. Pengaplikasian LDPE biasanya sebagai plastik kemasan, lapisan *film*, sarung tangan, gelas minuman dan insulasi untuk kabel. Kekurangan dari LDPE adalah kekuatan materialnya yang rendah.

e. *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)*

LLDPE dicirikan dengan densitas antara $0.915-0.925 \text{ g/cm}^3$. LLDPE merupakan resin yang terdiri dari molekul dengan susunan polietilena linier dengan gugus alkil pendek secara acak. LLDPE memiliki kekuatan tensil yang lebih tinggi dari LDPE, dan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap tekanan. LLDPE digunakan sebagai bahan baku berbagai jenis peralatan rumah tangga, produk kemasan, *cover* kabel dan komponen otomotif.

f. *Very Low Density Polyethylene (VLDPE)*

VLDPE dicirikan dengan densitas $0.890-0.915 \text{ g/cm}^3$. VLDPE adalah polietilena linier dengan tingkat ikatan rantai pendek yang sangat tinggi. Umumnya dibuat dengan kopolimerisasi etilena dengan rantai pendek alfa-olefin. VLDPE biasa digunakan untuk *frozen food bags*, kemasan makanan, dan selang-selang pada pipa air.

II.3 Zat Aditif

Aditif adalah zat yang ditambahkan ke dalam polimer untuk mencapai sifat yang diinginkan. Aditif memberikan kelebihan pada salah satu atau lebih daripada sifat polimer itu sendiri, seperti ketahanan *durability*, *stiffness*, *strength*, *impact resistance*, tahan panas, dan tahan terhadap kelenturan (Bart, 2005). Aditif dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan tujuan penggunaan, struktur kimia, berat molekul, tipe polimer yang digunakan, reaktifitas, efektifitas, efek samping dan tujuan kebutuhan komersial (Fink, 2010).

Adapun beberapa jenis bahan aditif yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu pada material polimer, salah satunya untuk meningkatkan ketahanan panas dan degradasi selama proses atau pengaplikasian pada produk yaitu:

- *Acid Scavengers*
- *Bio Stabilizers*
- *Light/UV Stabilizers*
- *Metal deactivators*
- *Processing/Thermal Stabilizers*

II.3.1 *Plasticizer*

Plasticizer adalah aditif dengan berat molekul rendah yang digunakan untuk mengurangi kekakuan dari termoplastik kristalin, melunakkan bahan polimer dan membuatnya menjadi lebih fleksibel serta lebih kuat (Adrian, 2012). Berat molekul yang rendah dari *plasticizer* dapat menurunkan viskositas leleh dari polimer. *Plasticizer* biasanya menghasilkan modifikasi pada sifat termal dan mekanis dari polimer. Salah satunya *plasticizer* dapat menurunkan suhu transisi kaca dari polimer (Dahr, 2017).

Umam (2009) meneliti tentang pengaruh penambahan *plasticizer dioctyl phthalate* (DOP) terhadap laju alir dan sifat mekanik polimer polivinil klorida (PVC) yang merupakan salah satu polimer termoplastik. Salah satu pengujian yang dilakukan ialah kecepatan laju alir menggunakan *melt flow rate* (MFR). Hasil yang didapat ialah nilai MFR meningkat seiring dengan penambahan DOP sebagai *plasticizer*, hal ini sesuai dengan literatur bahwa dengan penambahan *plasticizer* akan menurunkan viskositas material.

II.3.2 *Stabilizer*

Bahan penstabil (*Stabilizer*) digunakan untuk menghindari degradasi polimer oleh reaksi kimia atau panas yang terjadi selama proses. *Stabilizer* biasa digunakan untuk meningkatkan kekuatan panas dan stabilitas cahaya pada polimer. Selain itu, penggunaan *stabilizer* pada polimer juga dapat meningkatkan temperatur operasi atau ketahanan dari paparan sinar *ultraviolet* (UV) (Fink, 2010). Adapun beberapa

jenis *stabilizer* yang sering digunakan untuk ketahanan polimer dari panas dan cuaca ialah *heat stabilizer* dan *UV Stabilizer*.

II.3.3 Filler

Filler merupakan salah satu bahan aditif yang sering digunakan untuk meningkatkan sifat kekakuan dan menguatkan permukaan kompon. Sesuai dengan *American Society for Testing and Materials standard (ASTM) D-883* bahan pengisi (*filler*) merupakan suatu material relatif *inert* yang ditambahkan pada plastik untuk meningkatkan sifat dan kualitas. *Filler*/bahan pengisi dapat terbuat dari bahan anorganik dan organik. Contoh bahan pengisi yaitu, *talca*, kalsium karbonat (CaCO_3), *carbon black*, dan silika (Carragher, 2003).

Filler memiliki konduktivitas termal 20 kali lebih tinggi daripada plastik, dan memiliki *heat specific* sekitar 50%. Penggunaan filler dapat mempercepat proses pematangan dan meningkatkan waktu siklus menjadi lebih baik, hal ini dikarenakan filler mampu menghantarkan panas dengan baik sehingga dapat meningkatkan proses *melting* (Murphy, 2003).

II.3.4 Colorants

Pewarna (*colorants*) merupakan bahan yang selalu digunakan pada hampir seluruh produk plastik karena dapat meningkatkan estetika penampilan produk. Warna pada produk dapat mempengaruhi persepsi konsumen mengenai seberapa baik penjualan produk tersebut, selain itu variasi warna mungkin diperlukan sesuai dengan permintaan konsumen. Pewarnaan tidak mempengaruhi kualitas produk secara teknis.

Pewarna dapat bersifat *soluble* atau *compound pigment*. Beberapa contoh penggunaan pewarna pada warna hitam ban, menggunakan *carbon black* sebagai bahan pengisi sekaligus pewarna. Pada cat biasa digunakan pewarna inorganik seperti titanium dioksida yang menghasilkan warna putih (Carragher, 2003).

II.3.5 Antioksidan

Antioksidan digunakan untuk mencegah polimer dari degradasi yang disebabkan oleh panas saat pemrosesan atau kondisi termomekanis sehingga terjadinya oksidasi panas (Carraher, 2003). Peran antioksidan dalam mencegah atau menghambat oksidasi polimer biasanya mengandung zat yang dapat mengoksidasi dengan sendirinya tanpa menimbulkan reaksi kimia. *Aromatic amines, phenols, aldehyd, dan keton* kompon merupakan bahan yang sering digunakan sebagai antioksidan (Fred, 1984).

II.4 Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat adalah bahan kimia dengan rumus molekul CaCO_3 , banyak terdapat di alam dan digunakan sebagai bahan pengisi pada aplikasi polimer. Kalsium karbonat biasa digunakan untuk polimer termoplastik, termoset, dan elastomer. Kalsium karbonat bersifat tidak beracun, materialnya relatif halus dan mudah dibuat menjadi ukuran tertentu (Roython dan Paynter, 2017)

Noor dan Rahmah (2013) melakukan pengujian sifat termal dari penambahan kalsium karbonat/ CaCO_3 sebanyak 10%, 20%, dan 30% pada komposit HDPE, hasil yang di dapatkan ialah semakin besar presentase penambahan kalsium karbonat dapat menurunkan ΔH_m atau energi yang dibutuhkan untuk mencapai *melting temperature* (T_m) dan kalsium karbonat mampu menghambat proses degradasi atau terjadinya dekomposisi material.

Vakili dkk., (2011) juga melakukan pengujian efek kristalisasi dan konduktifitas panas dari penambahan nanopartikel kalsium karbonat dengan polipropilena. Hasilnya menunjukkan dengan penambahan kalsium karbonat sebagai bahan pengisi sebanyak 5%, 10%, dan 15% w/t mampu meningkatkan *melting temperature, entalpy of melting* (ΔH_m), dan derajat kristalinitas dari material sampel tersebut. Adapun jenis CaCO_3 yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi pada tabel berikut:

Tabel II.2 Spesifikasi CaCO₃

Karakteristik	Spesifikasi	Ambang batas
<i>Top Cut</i> (d98%)	24,800	0,00-28,00 μ
Rata-rata ukuran partikel (d50%)	4,090	3,70-4,70 μ
Residu pada 45 μ m	0,101	0,00-0,20%
<i>Brightness</i>	92,440	91,00-94,00%
Kelembaban	0,020	0,00-0,30%

Sumber: *Certificate of Analysis* CaCO₃

II.5 UV Stabilizer

Salah satu kemungkinan terjadinya degradasi polimer adalah disebabkan oleh sinar UV. Sifat morfologi dan sifat mekanik polimer dapat berubah ketika terkena sinar radiasi UV dari matahari, yang dapat menyebabkan fotodegradasi polimer karena ikatan rantai kimia yang putus (Sahu dkk., 2019).

Sinar UV memiliki radiasi yang berada dalam rentang panjang gelombang 280-400 nm dengan energi radiasi sebesar 72-100 kkal yang akan dapat memecah ikatan kovalen polimer, sehingga menyebabkan produk menjadi menguning dan mudah rapuh. Polietilena, PVC, polistirena, poliester, dan polipropilena akan mengalami degradasi pada panjang gelombang masing-masing 300, 310, 319, 325, dan 370 nm (Carragher, 2003)

Kondisi paparan sinar matahari atau UV yang tinggi karena gelombang yang dipancarkan sinar matahari memiliki komponen UV-B yang besar, temperatur yang tidak tetap, dan kelembaban yang tinggi menunjukkan perlunya *stabilizer* untuk dapat menstabilkan gelombang paparan sinar matahari agar tidak dapat memecah ikatan polimer. *Stabilizer* panas yang efektif juga penting digunakan untuk melindungi plastik dari degradasi selama proses. Menurut Andrady dkk. (2003) tanpa *stabilizer*, temperatur tinggi dalam proses pembuatan polimer dapat menghasilkan produk yang lebih mudah terdegradasi secara cahaya.

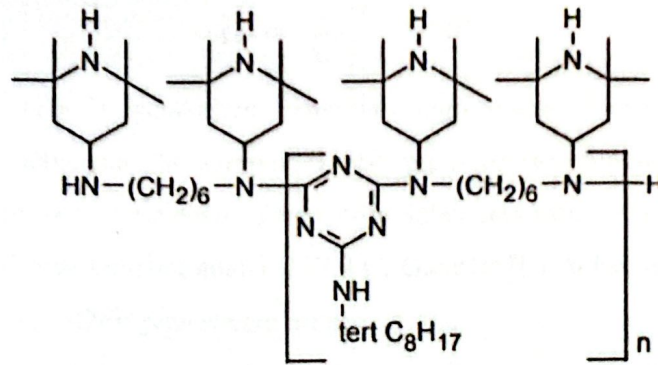
Brostow. dkk. (2020) melakukan pengujian dengan penambahan UV *Stabilizers* untuk mempertahankan sifat fisik, mekanik dan ketahanan panas dalam jangka waktu yang lama. Pengujian yang dilakukan salah satunya menggunakan *Thermogravimetric Analysis* untuk mengetahui suhu dekomposisi dari material sampel. Polimer yang digunakan ialah polipropilena dengan penambahan UV *Stabilizers* jenis *Hindered Amine Light Stabilizers* (HALs) 1 dan Hals 2 (0.5% dan 1.25%) dan Nano Zn-O (0.75% dan 1.25%). Hasil yang didapat ialah penambahan penstabil UV pada material dapat mengalami proses dekomposisi sempurna.

Alok dkk. (2019) meneliti ketahanan panas komposit HDPE dengan penambahan *carbon black*. Didapatkan hasil karakteristik termal menggunakan DSC pada resin HDPE dengan penambahan *Carbon black* sebesar 1%, 2%, dan 3% ialah karbon hitam tersebar secara seragam dalam matriks HDPE dan tidak ada degradasi dalam polimer setelah paparan kepada sampel menggunakan sinar UV. Pada penelitian ini jenis UV *Stabilizer* yang digunakan adalah tipe UV-20783 yang memiliki sifat-sifat fisik yang tertera pada tabel dan dengan kandungan Chimassorb 944 dan Tinuvin 622 yang memiliki struktur kimia sebagai berikut:

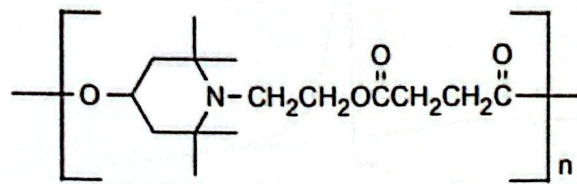
Tabel II.3 Physical Properties of UV-20783

Karakteristik	Keterangan
<i>Appearance</i>	<i>Clear Granules</i>
<i>Tinuvin Contents</i>	20% of Tinuvin 783
<i>Carrier</i>	<i>Polyethylene</i>
<i>Filler</i>	Tidak Ada
<i>Density</i>	1,02 g/cm ³
<i>Melting Point</i>	100°C-120°C
MFI 2,16 kg/190°C	8,3 g/10 mins
<i>Flash Point</i>	192°C

Sumber: *Technical Data Sheet*, PT Masolikalerindo Perkasa



Gambar II.2 Struktur Molekul Chimassorb 944
 Sumber: Wypych, 2015



Gambar II.3 Struktur Molekul Tinuvin 622
 Sumber: Wypych, 2015

II.6 Karakteristik Termal

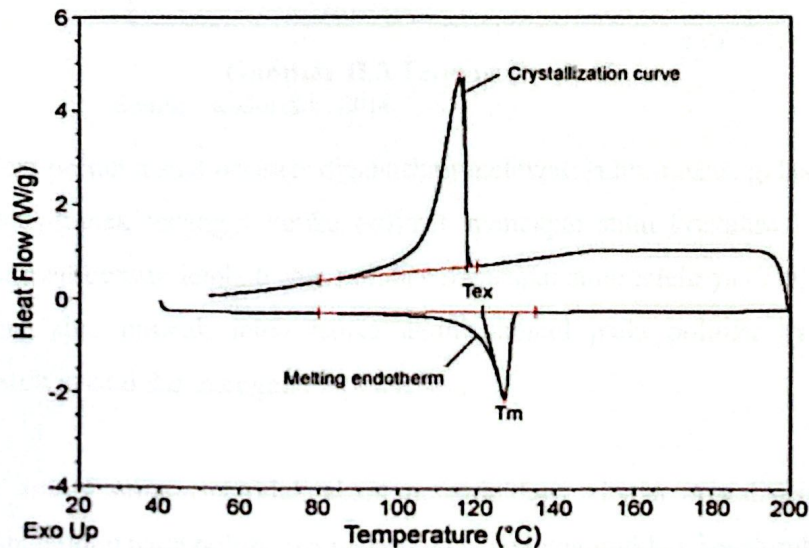
International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry (ICTAC) mengatakan karakteristik termal adalah teknik yang digunakan untuk mengukur sifat fisik suatu zat atau material sebagai fungsi suhu saat pemanasan dengan temperatur yang konstan dan terkontrol.

II.6.1 Karakteristik Termal Kompon menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Karakteristik termal merupakan teknik pengukuran perubahan sifat-sifat fisik dan kimia suatu material sebagai fungsi atau respon terhadap perubahan suhu. Salah satunya menggunakan DSC yaitu untuk mempelajari perubahan yang terjadi pada bahan pada saat dipanaskan. Polietilena memiliki titik leleh 142°C dan *melting heat* (ΔH_m^0) 286.7 J/g . Sedangkan untuk Politilena berdensitas tinggi atau HDPE memiliki *melting heat* (ΔH_m^0) 293 J/g . Rasio *melting heat* dari sampel dan *melting heat* HDPE digunakan untuk menghitung derajat kristalisasi dimana ΔH_m adalah entalpi pembentukan sampel dan ΔH_m^0 adalah entalpi pada suhu stabil (*equilibrium*) (Li dkk., 2019).

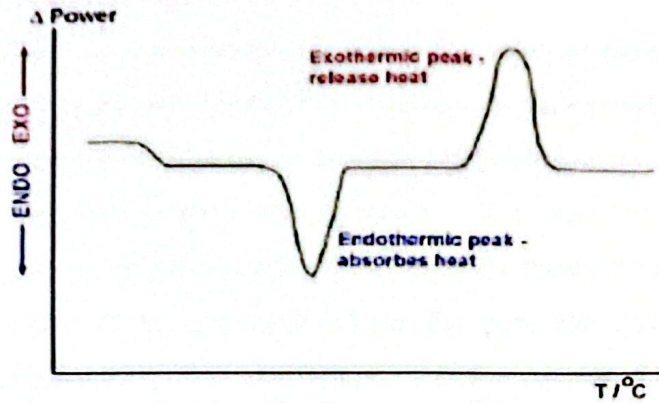
$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

Sajwan dkk. (2007) melakukan pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) pada sebanyak 28 sampel HDPE pipa. Secara umum, HDPE hanya mengalami satu kali pelelehan. Temperatur leleh rata-rata yang didapat dari 28 sampel HDPE pipa tersebut adalah 127.9°C. Gambar II.1 di bawah ini merupakan termogram DSC HDPE pipa secara umum.



Gambar II.4 Termogram DSC HDPE Pipa
Sumber: Sajwan dkk., 2007

DSC merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis dan mengukur perbedaan kalor yang mengalir pada sampel dan referensi sebagai pembandingnya. DSC dapat menentukan entalpi, kapasitas panas (*heat capacity*), perubahan temperatur dari keadaan kaku ke keadaan elastis (*glass transition*, T_g), suhu pembentukan kristal (T_c), suhu perubahan dari padat menjadi cair (*melting point*, T_m), dan derajat pengkristalan (*crystallinity*) (Kodre dkk., 2014). Kurva yang dihasilkan dari pengujian DSC akan menunjukkan grafik keseluruhan proses, gambar II.3 ini menunjukkan kurva yang dihasilkan dari pembacaan DSC.



Gambar II.3 Termogram DSC

Sumber: Kodre dkk., 2014

Pada tahap pertama saat polimer dipanaskan melewati suhu transisi gelas (T_g), kemudian puncak tertinggi ketika polimer mencapai suhu kristalisasi (T_c) dan akhirnya membentuk lembah saat polimer mencapai suhu lelehnya (T_m). Puncak kristalisasi dan puncak leleh hanya akan muncul pada polimer yang dapat membentuk kristal dan mengalami pelelehan.

Polimer amorf sempurna tidak akan menunjukkan adanya kristalisasi ataupun pelelehan, namun pada polimer semikristalin akan menunjukkan keseluruhan grafik dari transisi gelas (T_g), suhu kristalisasi (T_c) dan suhu lelehnya (T_m). Hal tersebut terjadi karena tidak ada energi panas yang dilepaskan ataupun diserap oleh polimer selama transisi gelas, kristalisasi dan pelelehan (Kodre dkk., 2014). Menurut Ehrenstein dkk (2004) hasil dari pengujian DSC berupa sebagai berikut:

a. Temperatur Transisi Glass (T_g)

Temperatur transisi glass atau sering disebut T_g merupakan perubahan jenis material tersebut dari yang sebelumnya bersifat kaku menjadi elastis. T_g biasa dimiliki oleh termoplastik yang bersifat amorf sampai kristalin. T_g termoplastik tidak tergantung pada massa molar polimer. Besar suhu transisi kaca dan bentuk material saat mencapai T_g bergantung pada morfologi polimer. Berdasarkan sifat suatu polimer atau material morfologi yang dimiliki sangat bergantung pada kondisi yang digunakan dalam pemrosesan sebelumnya, misalnya pendinginan dan pembekuan, dan riwayat termal polimer.

b. Temperatur Leleh (T_m)

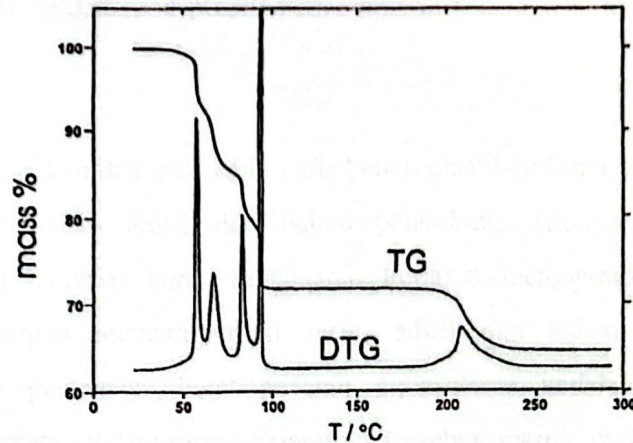
Titik leleh atau *melting point* adalah perubahan fasa dari padatan ke bentuk cair. Sifat morfologinya juga ikut berubah, dari kristalin menjadi amorf. Pada fasa ini tidak terjadi adanya perubahan massa ataupun perubahan kimiawi, pada fasa ini hanya terjadi perubahan pada energi entalpi (ΔH). Saat mulai terjadinya peningkatan termogram, hal tersebut adalah pertanda bahwa sudah dimulainya perubahan fasa dari kristalin menjadi lelehan dan pada saat terjadinya puncak termogram menunjukkan suhu pada sebagian kristalin meleleh. Pada suhu akhir lelehan, semua fasa kristalin sudah menjadi lelehan dan sudah tidak berbentuk kristal. Peristiwa inilah yang akhirnya disebut sebagai *melting temperature* (T_m).

c. Titik Kristalisasi (T_c)

Pada hasil termogram adanya titik kristalisasi ditandai pada saat pendinginan berlangsung dimulai dengan adanya perubahan entalpi, penurunan suhu tinggi, lalu terjadinya perubahan fasa dari cair lalu amorf dan menjadi padatan kristal.

II.6.2 Karakteristik Termal Kompon menggunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Thermogravimetric Analysis (TGA) adalah metode pengujian untuk menentukan stabilitas termal material dan fraksi komponen yang bersifat *volatile* dengan cara menghitung perubahan berat yang berbanding dengan kenaikan suhu. Kurva yang dihasilkan pada pembacaan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah perubahan massa dan temperatur (TG) yang terdapat pada gambar II.4. Kurva TG merupakan plot dari persentase (%) penurunan berat massa (wt) pada sumbu (Y) dan peningkatan temperatur pada sumbu (X). Kurva TG dapat menampilkan tingkat kemurnian sampel yang dianalisa dan menentukan transformasi sampel dalam rentang temperatur spesifik (Brown, 2001).



Gambar II.4 Termogram TGA

Sumber: Brown, 2001.

Kobobhange pada tahun 2019 melakukan penelitian untuk menganalisa perubahan dekomposisi termal pada 10.8 mg CaCO_3 dengan laju pemanasan $10^\circ\text{C}/\text{min}$ yaitu berada sekitar 700°C dan 800°C . Pada akhir dekomposisi total massa yang hilang yaitu sekitar 44%. Termal dekomposisi polietilena berdensitas tinggi/HDPE pada laju pemanasan yang berbeda (4, 7, dan $10^\circ\text{C}/\text{min}$) mengalami perbedaan suhu dekomposisi awal dan dekomposisi akhir. Perubahan maksimal suhu dekomposisi awal yaitu 461°C dan 493°C dekomposisi akhir dengan laju pemanasan $10^\circ\text{C}/\text{min}$. (Ammar dkk., 2018).

Sachin (2013) meneliti tentang sifat pirolisis panas (*thermal pyrolysis*) *High Density Polyethylene* (HDPE) pada produk *petroleum*. Mendapati suhu pirolisis termal dari HDPE murni ialah pada 400°C sampai 550°C dengan laju pemanasan $20^\circ\text{C}/\text{min}$. Lama waktu degradasi menurun seiring dengan meningkatnya suhu pemanasan.

II.7 Compounder

Compounder adalah alat yang digunakan untuk membuat kompon dari dua atau lebih bahan jenis plastik dengan jenis plastik yang berbeda atau dengan penambahan aditif dan bahan pendukung lainnya sehingga dapat menghasilkan material baru dengan sifat yang lebih baik dari sifat komponen asalnya. *Compounding* merupakan proses pencampuran dua bahan polimer yang berbeda dan menghasilkan kompon. Proses penacampuran (*compounding*) merupakan

kopolimerisasi berdasarkan proses pencampuran secara fisis-mekanis (Permono, 2015).

Kompon merupakan dua atau lebih jenis bahan plastik/polimer yang berbeda atau dengan penambahan aditif dan bahan pendukung lainnya sehingga dapat menghasilkan material baru. Pembuatan kompon menggunakan *compounder* dilakukan dengan mencampurkan resin, aditif dan bahan pengisi dengan perbandingan persentase berat tertentu dimasukkan kedalam *mixer* supaya tercampur merata. Selanjutnya, campuran tersebut masuk melalui hopper dan mengalami proses ekstrusi (Nass, 1992).

Compounder memiliki beberapa bagian, antara lain sebagai berikut:

1. Ekstruder, adalah alat untuk melakukan proses ekstrusi secara kontinu atau berkelanjutan. Ekstruder terdiri dari beberapa komponen, yaitu:
 - a. *Hooper*,
 - b. *Screw*,
 - c. *Die*,
2. *Water Bath*
3. *Strand Pelletizer*

Compounder yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Teach-Line Compounder ZK 25x24 D* dengan spesifikasi:

Tabel II.4 Kondisi Operasi *Compounder* ZK 25x24D

Parameter	Keterangan	Satuan
<i>Tipe Screw</i>	<i>Twin Screw</i>	
<i>Arah Putaran Screw</i>	Co-Rotation	
<i>Diameter Screw</i>	2x25	mm
<i>Rasio Screw, L/D</i>	24(4x6)	
<i>Kecepatan Screw</i>	5-210	min ⁻¹
<i>Putaran (torque) Maksimum Screw</i>	2x52	Nm
<i>Drive Power</i>	2,6	kW
<i>Throughput (Output)</i>	3-30	kg/h
<i>Daya Pemanas Silinder</i>	1x650;2x800;1x1400	W
<i>Daya Pemanas Die</i>	430	W
<i>Temperatur Maksimum Lelehan</i>	300	°C
<i>Tekanan Maksimum Lelehan</i>	180	bar
<i>Kapasitas Hopper</i>	0,7	dm ³
<i>Dimensi (PxLxT)</i>	1250x700x850	mm
<i>Berat</i>	170	kg/h

Sumber: *Manual book, Compounder ZK 25x24D Teach Line.*

III.1 Waktu dan Tempat

Adapun pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan studi literatur sejak bulan September 2019. Pembuatan kompon HDPE dilaksanakan pada :

Waktu : Februari-Juni 2020

Tempat Penelitian : Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI
Jakarta

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah, sebagai berikut:

- a. *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) Netzsh 214 Polyma.
- b. *Thermogravymetry Analysis (TGA)* TG 55.
- c. Mesin *Compounder and Extruder* Teach Line ZK 25x24 D
- d. Timbangan analitik
- e. Gunting
- f. Sarung tangan
- g. Wadah

III.2.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah, sebagai berikut:

- a. Resin pelet *High Density Polyethylene* (HDPE) dari PT Chandra Asri Petrochemical, Tbk.
- b. *Filler* CaCO_3 diperoleh dari PT Justus Kimiaraya.
- c. Aditif *UV Stabilizer* (UV-20783) diperoleh dari PT Masolikalerindo Perkasa.

III.3 Variabel

Variabel pada penelitian ini terdiri dari 2 jenis variabel, yaitu variabel tetap dan variabel berubah.

III.3.1 Variabel Tetap

Variable tetap dalam penelitian ini adalah:

- a. Suhu operasi mesin *compounder* : 210°C
- b. Laju putaran *pelletizer* : 70 rpm
- c. Persentase berat UV *Stabilizer* adalah : 2%.
- d. Persentase berat *filler* CaCO₃ adalah : 0%, 3% dan 5%.
- e. Massa kompon untuk uji DSC : ± 6,5 mg
- f. Massa kompon untuk uji TGA : ± 20 mg
- g. Suhu operasi DSC : 25°C-220°C
- h. Suhu operasi TGA : 30°C-700°C
- i. Laju nitrogen pada DSC : 40ml/min
- j. Laju nitrogen pada TGA : 60ml/min

III.3.2 Variabel Bebas

Pada penelitian ini variable bebas yang ditetapkan adalah persentase (%wt) dari komponen resin HDPE, bahan pengisi dan aditif. Berikut variasi yang akan dilaksanakan:

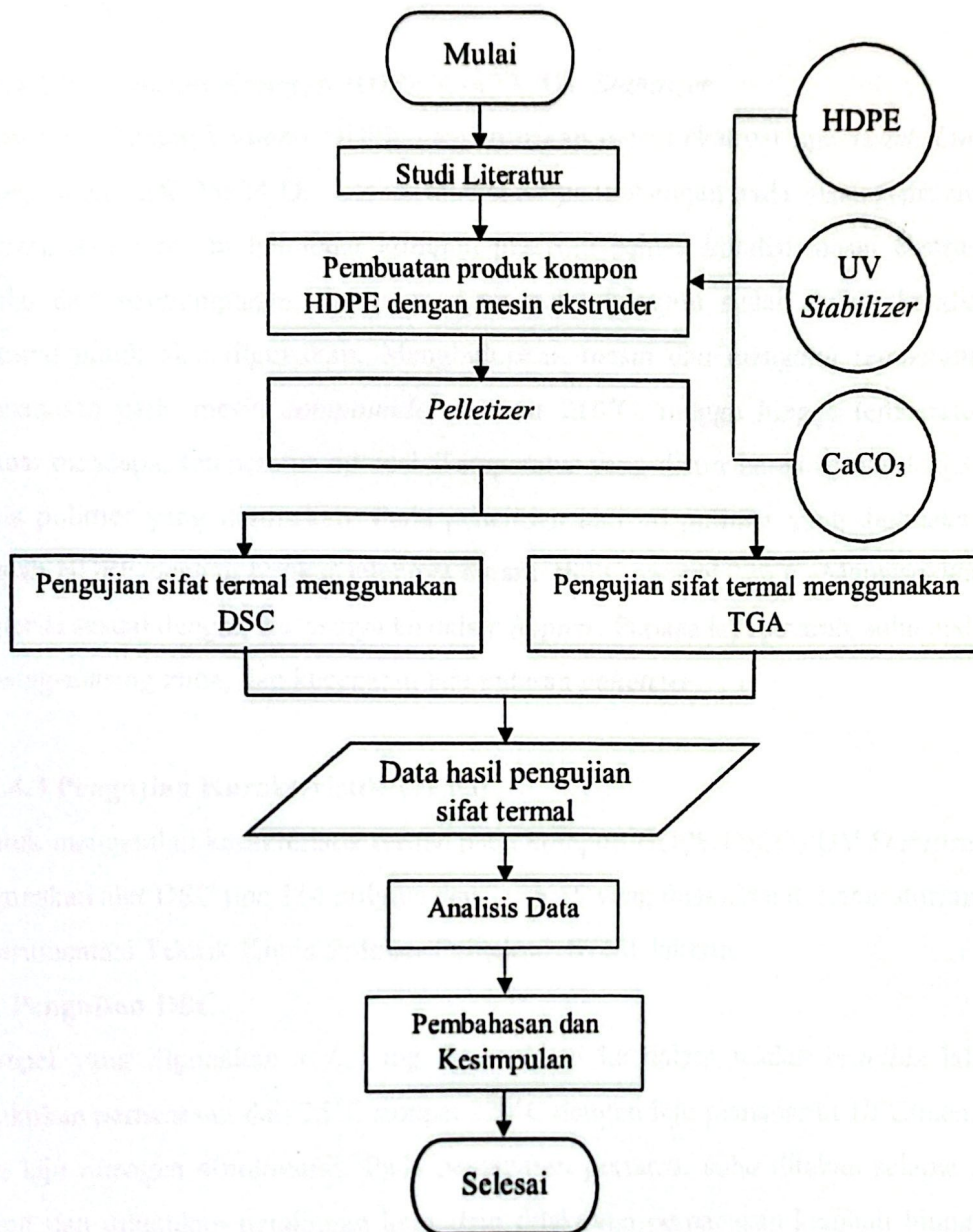
Tabel III.1 Variasi Komponen Resin HDPE, *Filler*, dan *Additive*

Variasi	Komponen			Total (gr)
	HDPE	UV <i>Stabilizer</i>	CaCO ₃	
	Gram	Gram	Gram	
Var 1: HDPE	250	-	-	250
Var 2: HDPE;UV <i>Stabilizer</i> 98;2	245	5	-	250
Var 3: HDPE;CaCO ₃ 97;3	242,5	-	7,5	250
Var 4: HDPE;UV <i>Stabilizer</i> ;CaCO ₃ 95;2;3	237,5	5	7,5	250
Var 5: HDPE;UV <i>Stabilizer</i> ;CaCO ₃ 93;2;5	232,5	5	12,5	250
Total	957,5	15	27,55	1250

III.4 Prosedur Penelitian

Prosedur pembuatan kompon dimulai dengan menimbang masing-masing material kemudian dilanjutkan dengan pencampuran semua bahan secara manual sebelum dimasukkan ke dalam mesin *ekstruder* sampai menghasilkan produk kompon. Setelah itu produk di potong-potong menjadi kecil menggunakan mesin *pelletizer*. Produk hasil *pelletizer* berupa pelet kompon HDPE. Pelet kompon ini yang akan diuji karakteristik termal menggunakan DSC dan TGA untuk mengetahui

pengurangan massa yang terjadi saat suhu tertentu. Skema penelitian terlihat pada Gambar III.1.



Gambar III.1 Skema Penelitian

III.4.1 Persiapan Bahan

Menimbang resin pelet HDPE, UV *Stabilizer*, dan CaCO₃ sebanyak 5 varian yang akan digunakan untuk membuat kompon. Adapun berat dari masing-masing varian dapat dilihat pada Tabel III.1 yang merupakan varian bebas dari penelitian ini. Setelah ditimbang masing-masing sesuai dengan variasinya, semua bahan di

campur secara manual sebelum mulai dimasukkan ke mesin ekstruder untuk dijadikan kompon.

III.4.2 Pembuatan Kompon HDPE/CaCO₃/UV Stabilizer

Proses pembuatan kompon HDPE menggunakan mesin ekstrusi tipe *Teach Line Compounder ZK 25x24 D*. Setelah dilakukan penimbangan pada masing-masing variasi, dan sebelum membuat kompon pastikan bahwa kondisi mesin ekstrusi mulai dari pengumpanan hingga menjadi pelet kompon sudah dalam kondisi optimal untuk siap digunakan. Menghidupkan mesin dan mengatur temperatur pemanasan pada mesin *compounder* sebesar 210°C, tunggu hingga temperatur aktual mencapai temperatur operasi. Temperatur yang diatur harus sesuai dengan jenis polimer yang digunakan. Pada penelitian kali ini polimer yang digunakan adalah HDPE dengan tingkat lelehnya antara 180°C sampai 220°C. Memasukkan material sesuai dengan variasinya ke dalam *hopper*. Periksa laju putaran, suhu pada masing-masing zona, dan kecepatan laju putaran *pelletizer*.

III.4.3 Pengujian Karakteristik Termal

Untuk mengetahui karakteristik termal pada kompon HDPE/CaCO₃/UV Stabilizer digunakan alat DSC tipe 214 polyma dan TGA 55 yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.

a. Pengujian DSC

Sampel yang digunakan ± 6,5 mg dimasukkan ke dalam wadah *crucible* lalu dilakukan pemanasan dari 25°C sampai 220°C dengan laju pemanasan 10°C/menit dan laju nitrogen 40ml/menit. Pada pemanasan pertama, suhu ditahan selama 5 menit dan dilakukan pendinginan kemudian dilakukan pemanasan kembali hingga 220°C. Selanjutnya, hasil data yang tercantum dalam pengujian DSC yaitu energi entalpi, temperatur leleh (T_m) dan temperatur kristalisasi (T_c) yang akan dilakukan analisis.

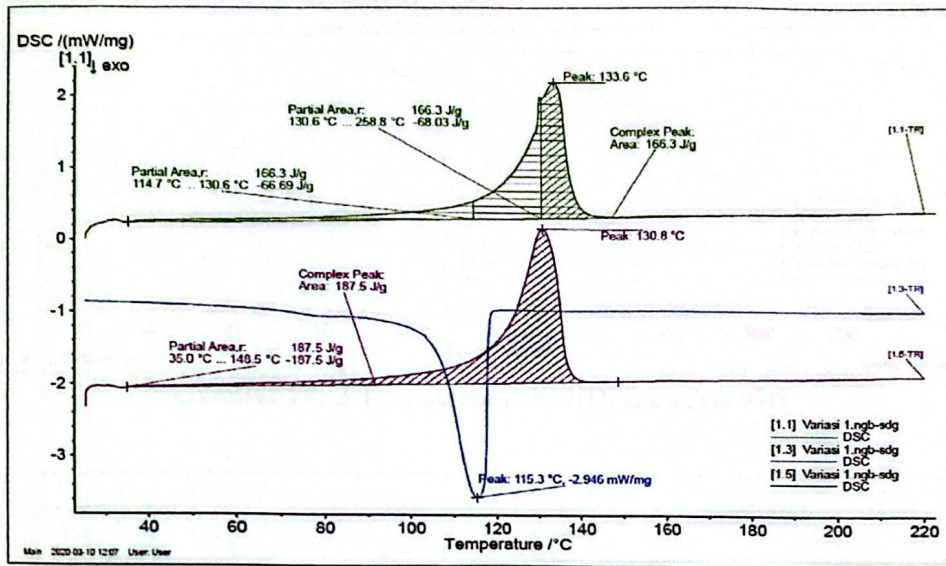
b. Pengujian TGA

Tahapan dalam pengujian TGA yaitu mempersiapkan sampel sebesar ± 20 mg, meletakkan sampel kedalam pan, mengatur laju alir nitrogen sebesar 60ml/min, dan mengatur suhu pemanasan mulai dari 30°C sampai 700°C. Selanjutnya, pan dimasukkan ke dalam *furnace*. Data yang diperoleh dari pengujian TGA yaitu suhu dekomposisi material sebagai fungsi berkurangnya massa sampel dalam suhu tertentu.

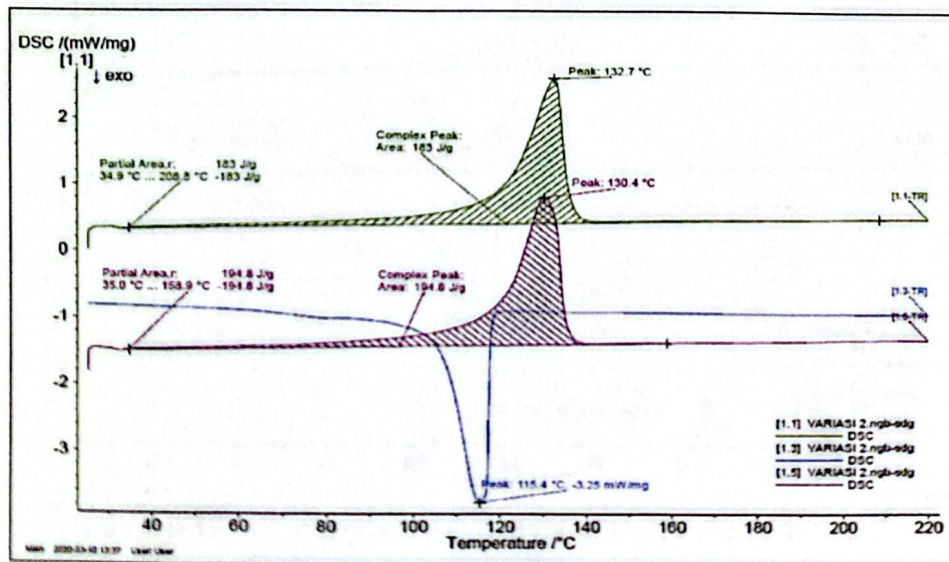
Bab IV Hasil dan Pembahasan

IV.1 Pengaruh Penambahan UV Stabilizer dan CaCO₃ terhadap Temperature Melting (T_m) dan Derajat Kristalinitas Kompon HDPE

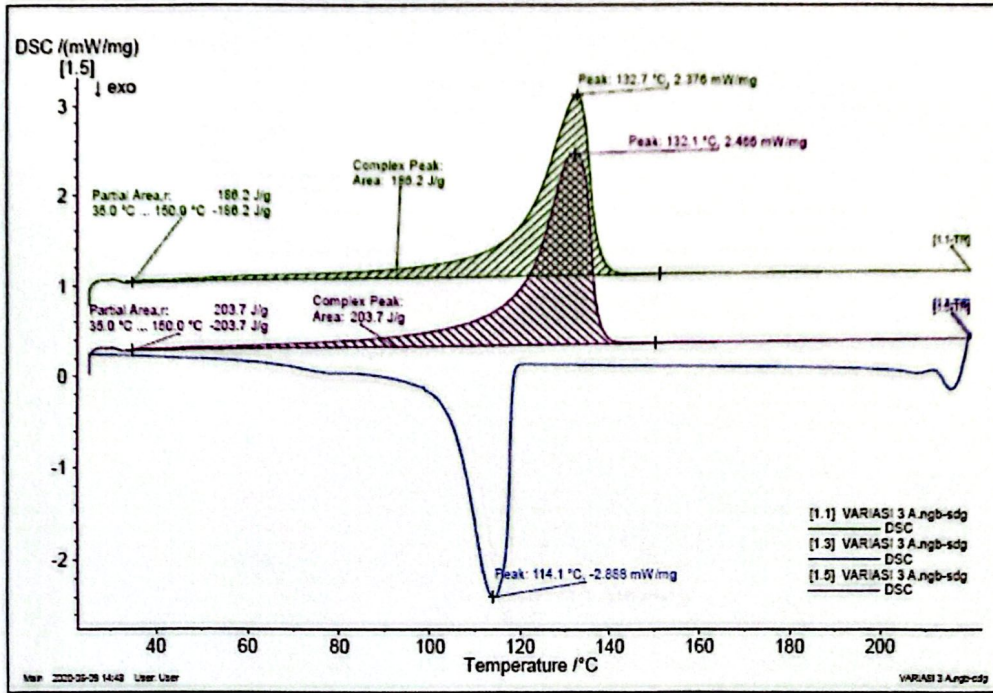
Gambar IV.1, IV.2, IV.3, IV.4, dan IV.5 menunjukkan termogram hasil analisa termal menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).



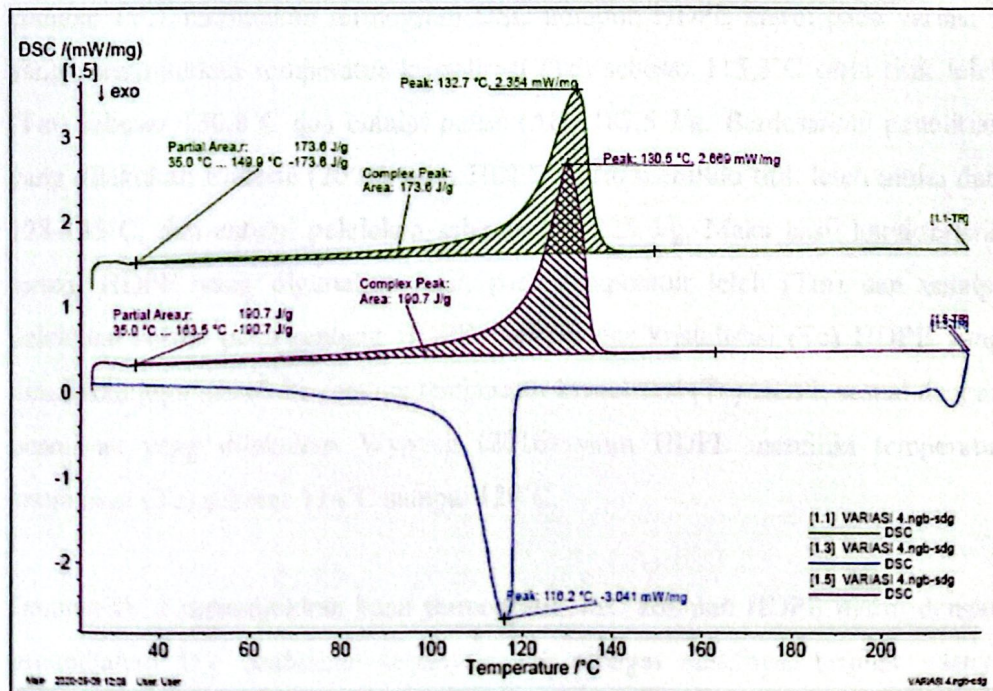
Gambar IV.1 Termogram DSC HDPE



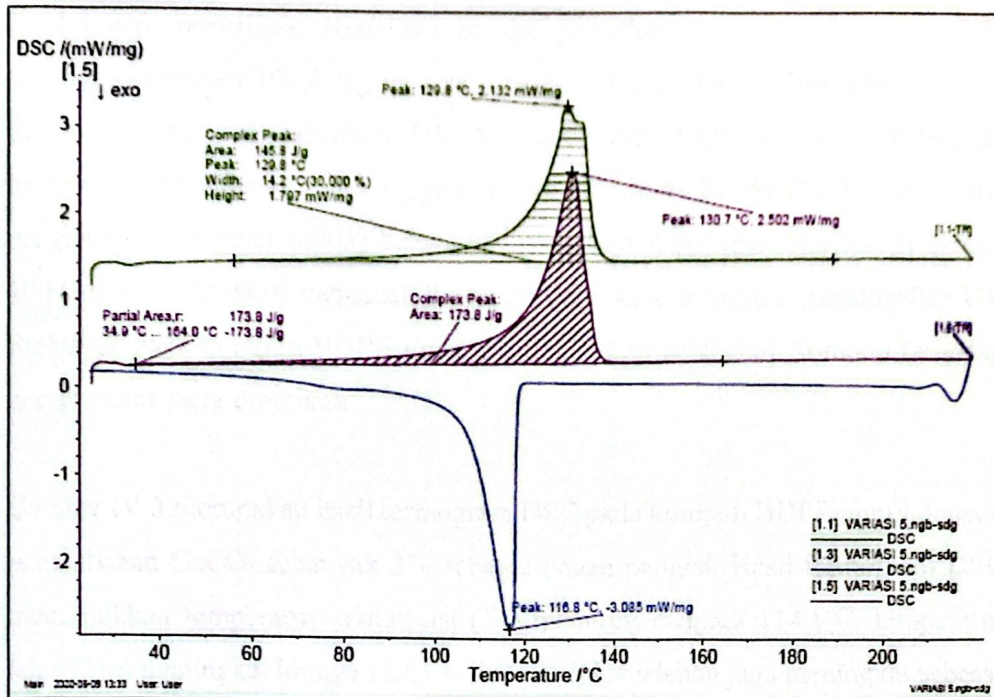
Gambar IV. 2 Termogram DSC HDPE/UV Stabilizer 98:2



Gambar IV. 3 Termogram DSC HDPE/CaCO₃ 97;3



Gambar IV. 4 Termogram DSC HDPE/CaCO₃/UV Stabilizer 95;2;3



Gambar IV. 5 Termogram DSC HDPE/CaCO₃/UV Stabilizer 93;2;5

Gambar IV.1 merupakan termogram DSC kompon HDPE murni pada variasi 1 yang menunjukkan temperatur kristalisasi (T_c) sebesar 115,3°C serta titik leleh (T_m) sebesar 130,8°C dan entalpi panas (ΔH) 187,5 J/g. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Enderle (2001) yaitu HDPE murni memiliki titik leleh mulai dari 128-135°C, dan entalpi pelelehan sebesar 165-225 J/g. Maka hasil karakteristik termal HDPE yang digunakan ialah pada temperatur leleh (T_m) dan entalpi pelelehan sesuai pada rentang HDPE. Temperatur kristalisasi (T_c) HDPE yang dihasilkan juga masuk ke rentang temperatur kristalisasi (T_c) HDPE sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wypych (2016) yaitu HDPE memiliki temperatur kristalisasi (T_c) sebesar 114°C sampai 120°C.

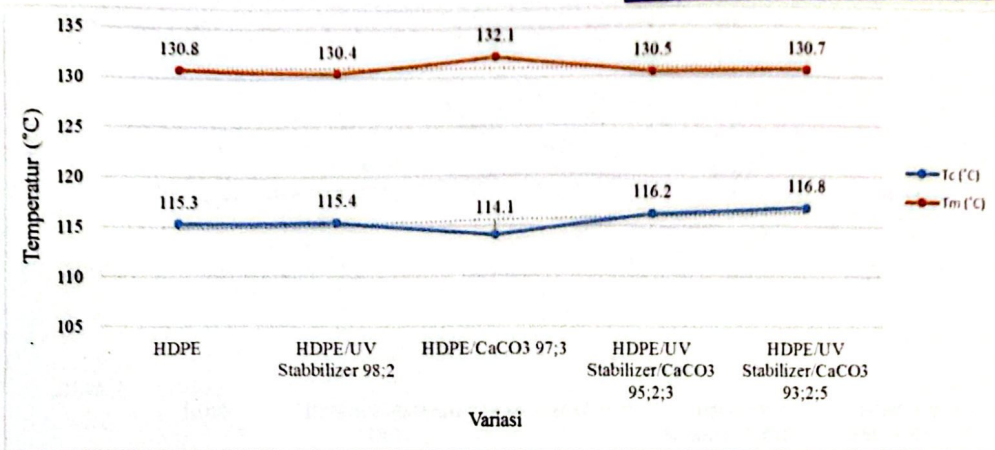
Gambar IV.2 menunjukkan hasil termogram DSC kompon HDPE murni dengan penambahan UV Stabilizer sebanyak 2% sebagai aditifnya, terlihat adanya kenaikan entalpi pelelehan menjadi 194,8 J/g. Hasil termogram pada variasi 2 menunjukkan temperatur leleh dan temperatur kristalisasi yang tidak jauh berbeda dengan variasi 1 yaitu sebesar 115,4°C pada T_c dan 130,4°C untuk T_m , kemungkinan hal ini terjadi dikarenakan UV Stabilizer yang dipakai ialah *polyethylene based*, sehingga tidak berpengaruh besar terhadap perubahan

karakteristik termalnya. Kenaikan entalpi pelelehan yang diberikan oleh UV *Stabilizer* menjadi 194,8 J/g ini setara dengan 46,55 kkal/kg, jika dibandingkan dengan sebelum ditambahkan UV *Stabilizer* menunjukkan entalpi pelelehan kompon HDPE sebesar 187,5 J/g yang setara dengan 44,81 kkal/kg. Hal ini sesuai dengan teori Carraher (2003) bahwa UV *Stabilizer* dapat menahan energi hingga 100 kkal/kg yang dapat memecah ikatan polimer, karena dengan penambahan UV *Stabilizer* pada kompon HDPE dapat meningkatkan ketahanan kompon terhadap energi panas yang diberikan.

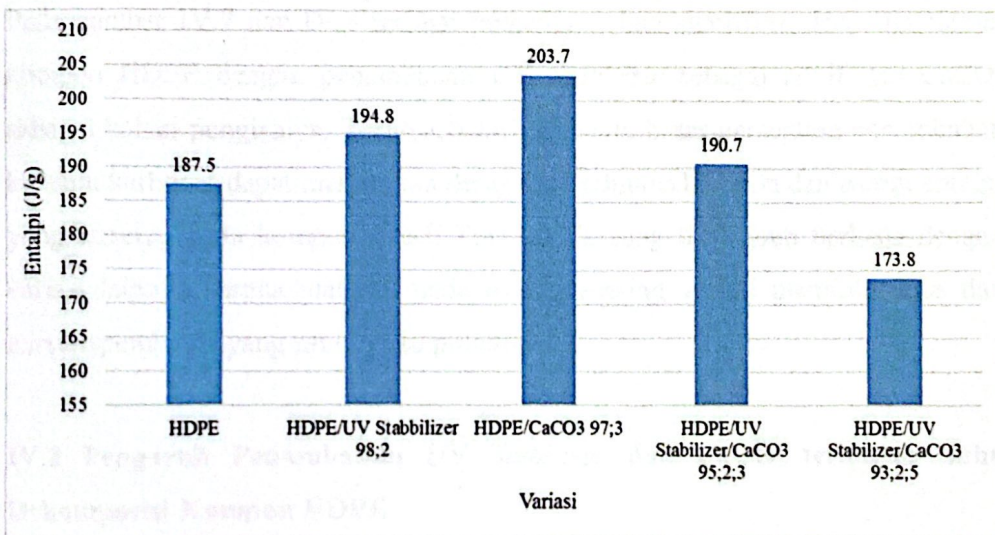
Gambar IV.3 merupakan hasil termogram DSC pada kompon HDPE murni dengan penambahan CaCO₃ sebanyak 3% sebagai bahan pengisi. Hasil termogram DSC menunjukkan temperatur kristalisasi (T_c) menurun menjadi 114,1°C, temperatur leleh (T_m) meningkat hingga 132,1°C dan entalpi pelelehan juga meningkat sebesar 203,7 J/g hal ini membuat kompon mengalami peningkatan derajat kristalinitas menjadi 69,52%.

Derajat kristalinitas dari sampel dapat dilihat dari entalpi pelelehan sampel dengan entalpi pelelehan dari 100% kristalin HDPE yaitu 293 J/g. Hasil pengujian DSC mengindikasikan dengan adanya penambahan CaCO₃ pada HDPE dapat menyebabkan *marginal effect* pada temperatur leleh (T_m) sedangkan temperatur kristalinasinya (T_c) tetap. Hasil perhitungan derajat kristalinitas dari HDPE setelah ditambahkan CaCO₃ menunjukkan peningkatan nilai X_c, mengindikasikan bahwa bahan pengisi CaCO₃ melakukan nukleasi saat proses kristalisasi berlangsung. Berdasarkan sifatnya sebagai bahan pengisi, CaCO₃ memiliki sifat yang dapat meningkatkan kristalinitas sehingga membuat material semakin kuat atau kaku dan membutuhkan energi serta waktu yang lama untuk mencapai titik leleh. Sedangkan menurut Noor dan Rahmah (2013) bahwa semakin tinggi penambahan kalsium karbonat dapat menurunkan ΔH_m atau energi yang dibutuhkan untuk mencapai titik leleh (T_m).

Hasil pengujian DSC pada temperatur leleh dan kristalisasi kompon tertera pada gambar IV.6 dan besar hasil energi entalpi kompon terlihat pada gambar IV.7.

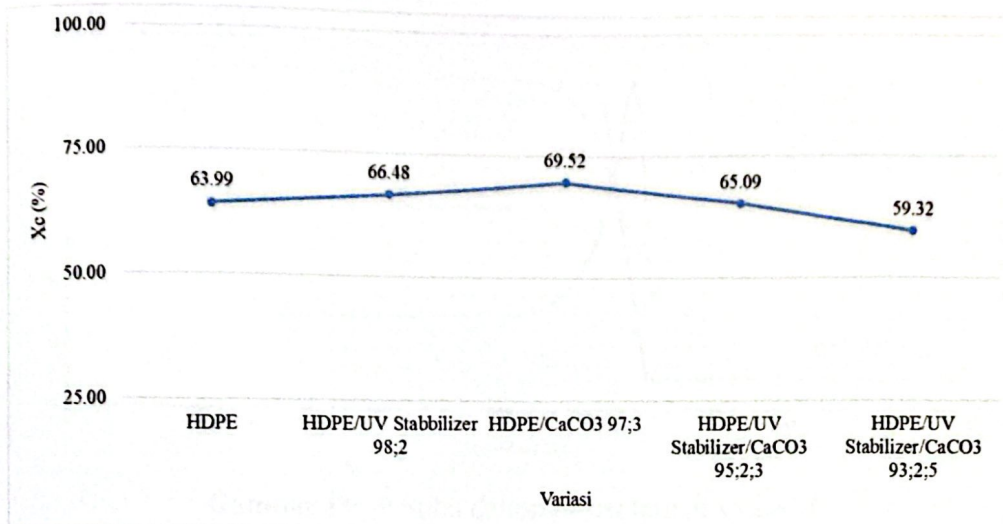


Gambar IV. 6 Temperatur leleh dan Kristalisasi Kompon HDPE/CaCO₃/UV Stabilizer



Gambar IV. 7 Diagram Entalpi

Gambar IV.8 di bawah ini menunjukkan besar derajat kristalinitas yang dihasilkan dari kompon HDPE berdasarkan masing-masing variasi dengan persentase aditif dan bahan pengisi yang berbeda-beda.

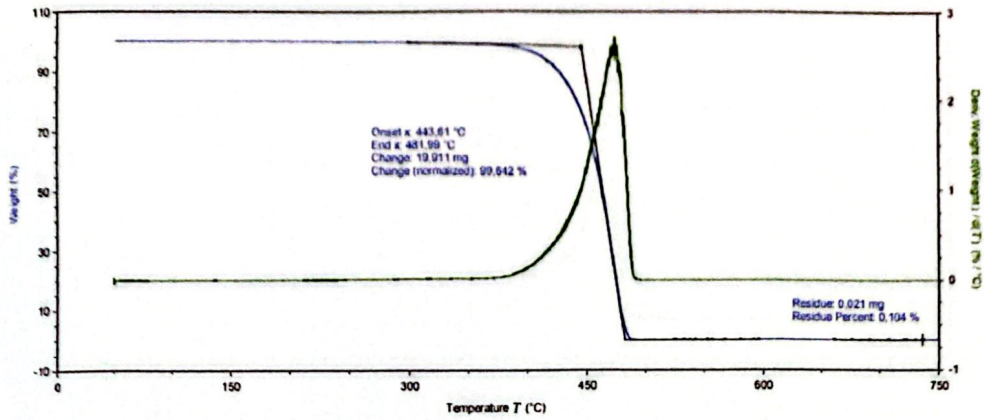


Gambar IV. 8 Derajat Kristalinitas

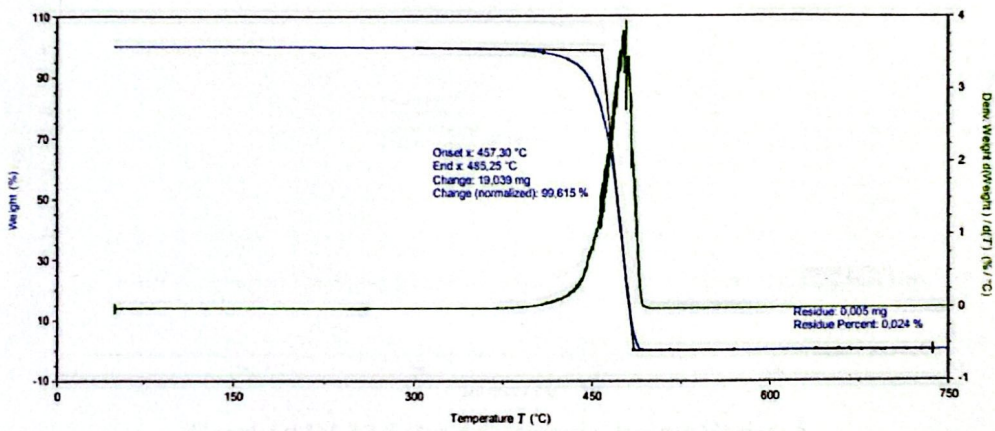
Pada gambar IV.7 dan IV.8 terlihat perbedaan yang signifikan dari sifat termal kompon HDPE dengan penambahan UV *Stabilizer* sebagai aditif dan CaCO₃ sebagai bahan pengisinya. Terlihat bahwa semakin besar persentase penambahan kalsium karbonat dapat menurunkan derajat kristalinitas kompon dan energi entalpi yang terserap pada kompon. Hasil T_m dan T_c yang tidak jauh berbeda dengan variasi lainnya karena material pada masing-masing variasi memiliki jenis dan *carrier*/pembawa yang sama yaitu polietilena.

IV.2 Pengaruh Penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ terhadap Suhu Dekomposisi Kompon HDPE

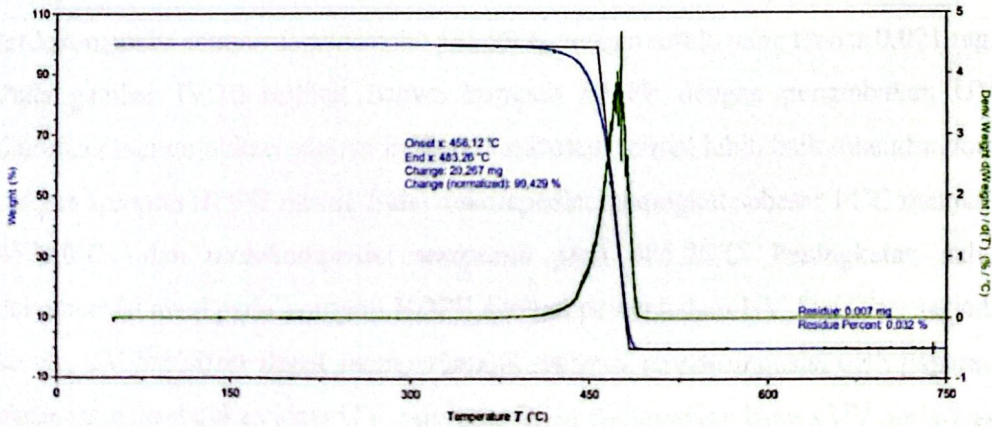
Thermogravimetry Analysis (TGA) digunakan untuk mengetahui temperatur saat kompon mulai terdekomposisi sampai kompon selesai terdekomposisi. Hasil pengujian dekomposisi termal masing-masing variasi terlihat pada gambar IV.9, IV.10, IV.11, IV.12 dan IV.13.



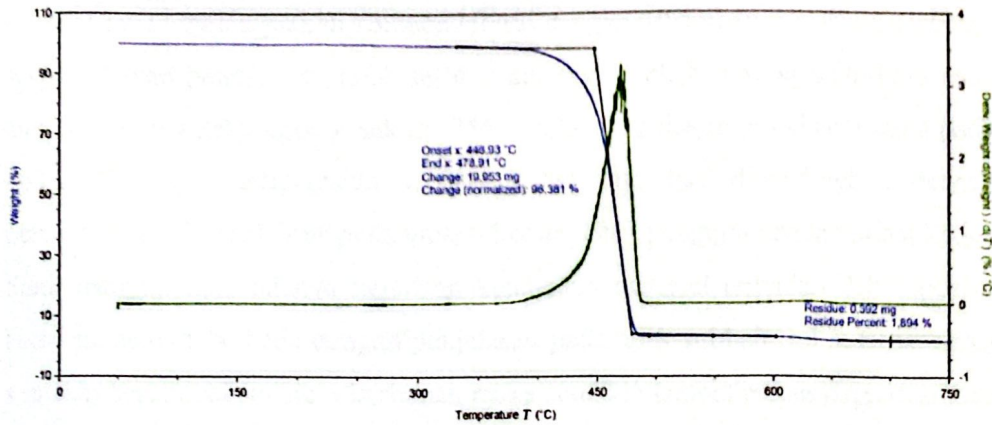
Gambar IV. 9 Suhu dekomposisi termal variasi 1



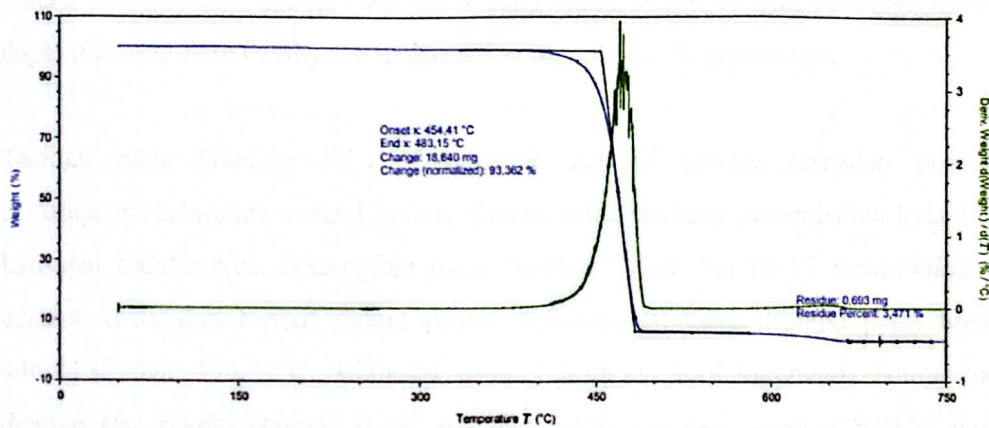
Gambar IV.10 Suhu dekomposisi termal Variasi 2



Gambar IV.11 Suhu dekomposisi termal Variasi 3



Gambar IV.12 Suhu dekomposisi termal Variasi 4



Gambar IV.13 Suhu dekomposisi termal Variasi 5

Kompon HDPE variasi 1 mulai terdekomposisi pada suhu *onset* yaitu 443,61°C dan terdekomposisi sempurna pada suhu 481,99°C dengan residu yang tersisa 0,021 mg. Pada gambar IV.10 terlihat bahwa kompon HDPE dengan penambahan UV *Stabilizer* menunjukkan adanya indikasi ketahanan termal lebih baik dibandingkan dengan kompon HDPE murni. Suhu dekomposisi meningkat sebesar 14°C menjadi 457,30°C dan terdekomposisi sempurna pada 485,26°C. Peningkatan suhu dekomposisi awal pada kompon HDPE dengan penambahan UV *Stabilizer* terjadi karena UV *Stabilizer* dapat memperlambat material terdekomposisi oleh paparan panas yang disebabkan sinar UV, sehingga dapat disimpulkan bahwa UV *Stabilizer* yang digunakan dapat meningkatkan nilai suhu terdekomposisi awal terhadap paparan energi panas pada kompon HDPE karena dapat mempengaruhi suhu dekomposisi kompon.

Gambar IV.11 menunjukkan kompon HDPE dengan penambahan kalsium karbonat sebagai bahan pengisinya, tidak terlihat adanya perubahan yang signifikan pada awal terjadinya dekomposisi sekitar 456,12°C dan terdekomposisi sempurna pada 483,26°C dengan sisa residu sebesar 0,007 mg. Jika dibandingkan dengan penambahan UV *Stabilizer* pada variasi kedua, hasil pengujian pada variasi ketiga tidak menunjukkan adanya kenaikan ketahanan material terhadap dekomposisi. Hasil ini sedikit berbeda dengan penjelasan pada anak subbab II.3.3. Seharusnya semakin bertambah kalsium karbonat, maka semakin lambat proses degradasi atau terjadinya dekomposisi material terhadap panas. Hal ini kemungkinan terjadi karena penambahan kalsium karbonat yang tidak terlalu banyak sehingga tidak dapat menampilkan hasil yang maksimal sesuai dengan kegunaannya.

Terlihat pada Gambar IV.11 ketahanan material sampel terhadap proses dekomposisi ada pada variasi kedua, dimana tidak terdapat penambahan kalsium karbonat didalamnya. Sedangkan pada Gambar IV.12 dan IV.13 menunjukkan adanya kestabilan termal dalam proses dekomposisi yang dimulai pada suhu 446,93°C dan 454,41°C. Material sampel kompon terdekomposisi sempurna dengan sisa residu sebesar 0,392 mg dan 0,693 mg pada suhu 478,91°C dan 483,15°C. Hal ini sebanding dengan hasil DSC yang menunjukkan bahwa dengan penambahan aditif dan *filler* dapat menstabilkan daya tahan panas terhadap energi yang diserap oleh sampel sehingga sampel tetap stabil dan tahan terhadap degradasi atau dekomposisi termal. Dibawah ini merupakan kurva dekomposisi awal dan dekomposisi akhir hasil pengukuran TGA pada kompon HDPE dengan variasi yang berbeda-beda:

Tabel IV.1 Karakteristik Termal Kompon HDPE menggunakan TGA

Sampel	Suhu Dekomposisi (°C)		Residu (mg)	ΔT (°C)
	Awal	Akhir		
Var 1;HDPE	443,61	481,99	0,021	38,38
Var 2;HDPE;UV <i>Stabilizer</i> 98;2	457,30	485,25	0,005	27,95
Var 3;HDPE;CaCO ₃ 97;3	456,12	483,26	0,007	27,14
Var 4;HDPE;UV <i>Stabilizer</i> ;CaCO ₃ 95;2;3	446,93	478,91	0,392	32,49

Var 5;HDPE;UV Stabilizer;CaCO ₃ 93;2;5	454,41	483,15	0,693	28,74
---	--------	--------	-------	-------

Tabel IV.1 merupakan hasil analisis termal kompon menggunakan *Thermogravimetry Analysis* (TGA), dimana suhu dekomposisi awal atau kompon mulai terdekomposisi pada masing-masing variasi terlihat bahwa tidak jauh berbeda yaitu berada di sekitar 450°C dan terdekomposisi sempurna sekitar 480°C. Hasil pengujian yang telah dilakukan berupa suhu dekomposisi sudah sesuai dengan besar rentang suhu dekomposisi yang didapat pada penelitian Ammar, dkk (2018) bahwa suhu awal dekomposisi pada HDPE adalah 461°C dan akhir dekomposisi pada 493°C.

Tabel IV.1 juga menunjukkan besaran perbedaan suhu dekomposisi pada masing-masing variasi dan jumlah residu yang dihasilkan. Terlihat bahwa penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ pada kompon HDPE dengan variasi paling tinggi yaitu 2% UV *Stabilizer* dan 5% CaCO₃ menghasilkan jumlah residu yang paling banyak, kemungkinan banyaknya sisa residu menandakan bahwa material tersebut tidak banyak memiliki senyawa volatil yang dapat ikut hilang saat proses pemanasan berlangsung. Perbedaan temperatur (ΔT) paling besar masih dimiliki oleh kompon HDPE itu sendiri dan yang paling kecil rentang temperaturnya ialah pada variasi ketiga. Perbedaan temperatur ini berpengaruh pada ketahanan material terhadap proses dekomposisi. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa benar dengan adanya penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO₃ mampu memperlambat terjadinya proses material terdekomposisi.

Residu yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan perbedaan temperatur dekomposisi. Residu yang terdapat pada masing-masing variasi kemungkinan adalah hasil zat sisa pembakaran pada sampel, yang dapat berupa material pengotor ataupun senyawa non volatil lainnya. Hasil residu variasi kelima pada Tabel IV.1 menunjukkan nilai yang paling tinggi yaitu sebesar 0,693 mg, jika dibandingkan dengan variasi keempat yang menghasilkan residu lebih kecil, ketahanan material terhadap dekomposisi awal dan akhir juga ikut meningkat. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah residu menunjukkan ketahanan termal yang semakin baik, rentang perbedaan temperatur tidak mempengaruhi jumlah residu yang tersisa

dan semakin cepat juga semakin lama material bertahan pada rentang suhu dekomposisi HDPE maka semakin baik ketahanan termal terhadap dekomposisi.

Bab V Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan UV *Stabilizer* tidak berpengaruh banyak terhadap titik leleh (T_m), energi entalpi (ΔH), dan derajat kristalinitas (X_c) pada kompon HDPE/ CaCO_3 .
2. Penambahan UV *Stabilizer* dan CaCO_3 pada Kompon HDPE dapat meningkatkan suhu dekomposisi dari $443,61^\circ\text{C}$ menjadi $446,93^\circ\text{C}$.
3. Penambahan CaCO_3 pada kompon HDPE/UV *Stabilizer* dapat mempengaruhi turunnya derajat kristalinitas seiring dengan penurunan entalpi pelelehan kompon, sedangkan penambahan CaCO_3 pada kompon HDPE dapat meningkatkan temperature leleh (T_m) kompon HDPE menjadi $132,1^\circ\text{C}$.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengaruh UV *Stabilizer* terhadap ketahanan material menggunakan UV *Weathering Test*.
2. Perlu diadakan pengujian terkait kekuatan dari hasil produk kompon HDPE/ CaCO_3 dengan penambahan UV *Stabilizer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, P. Mouritz. (2012): *Polymers for Aerospace Structures*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Alok, K., Sahu, K., Sudhakar, R.M. dan Sarviya. (2019). Influence of UV Light on The Thermal Properties of HDPE/Carbon Black Composites. Universitas Malaysia, Pahang, Malaysia.
- Ammar S, Abbas., dan Marwa G. Saber. (2018). Kinetics of Thermal Pyrolysis of High Density Polyethylene. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*. Iraq.
- Andrady., Anthony, L., Halim S. Hamid., dan Ayako Torikai. (2003). Effects of Climate Change and UV-B on Materials. *Journal Photochemical and Photobiology Science*, 2, 68-72.
- Anonim. (2012). Handbook of Polymers. Chemtech Publishing.
- Anthony C.Y. Wong., dan Augustine C.M. Wong. (2018). Extrudate swell ration characteristics of CaCO₃ added linear low density polyethylene. Canada.
- Bart, J.C.J. (2005). *Additives in Polymer: Industrial Analysis and Applications*. John Wiley & Sons Ltd., England.
- Brostow, W., Xinyao, L., Osman, G., dan Allison, T.O. (2020): Effect of UV Stabilizers on Polypropylene Outdoors. *Journal Materials.*, Texas, USA.
- Brown., Michael E. (2001). Introduction to Thermal Analysis. Grahamstown, South Africa. Kluwer Academic
- Carraher, Charles E. (2003): *Polymer chemistry 6th edition revised and expanded*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Chodak I., Chorvath I., Novak I., dan Csomorova. (1991). Crosslinked Low density polyethylene filled with silica. Polymer Institute, Slovakia.
- Dahr, M.F., Mostoufi, N., dan Gharebagh, R.S. (2017): Particle Coating in Fluidized Beds. University of Tehran., Tehran, Iran.
- Dosen Teknik Kimia Polimer. (2018). Modul Praktik Teknologi Plastik. Politeknik STMI, Jakarta.
- Dosen Teknik Kimia Polimer. (2018). Modul Praktikum Karakterisasi dan Uji Polimer. Politeknik STMI, Jakarta.
- Enderle, H.F. (2001). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Elsevier Ltd.
- Fink, J.K. (2010): *A Concise Intoduction to Additives for Thermoplastic Polymers*. Wiley Interscience., Austria.
- Fred W., dan Billmeyer, JR. (1984). *Textbook of Polymer Science*, John Wiley & Sons Ltd, Canada, 3.
- Gu, Jiaqi., Xu, Haiyan., dan Wu, Chifei. (2013). Thermal and Crystallization Properties of HDPE and HDPE/PP blends modified with DCP. *Advances in Polymer Technology*, 33, 1, China.
- Khairul Umam. (2009): Pengaruh Penambahan Plasticizers Diocthyl Phthalte (DOP) Terhadap Laju Alir dan Sifat Mekanis Resin Polivinil Klorida (PVC). Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kobobhange S.P., Karundasa, C.H., Manuratne, H.M.T.G.A., Pitawala, R.M.G. dan Rajapakse. (2019): Thermal Decomposition of Calcium Carbonate as

- Examined by in-situ High Temperature X-ray Powder Diffraction. University of Peradeniya., Srilanka.
- Kodre K.V., Attarde S.R., Yendhe P.R., Patil R.Y., dan Barge V.U. (2014): A Review Differential Scanning Calorimetry. PDEA's Shankarrao Ursal College of Pharmaceutical Sciences and Research Centre., Maharashtra, India.
- Li, Dawei., Zhou, L., Wang, X., He, L., dan X, Yang. (2019). Effect Crystallinity of Polyethylene with Different Densities on Breakdown Strength and Conductance Property. *Journals Materials*, **12**, 1746. China.
- Margolis, J.M. (2006). Margolis Polymers. Canada. Montreal
- Murphy, John. (2003). *Additives for Plastics Handbook 2 edition*. Elsevier Advanced Technology., Oxford, United Kingdom.
- Nass, L.I. (1992): Encyclopedia of PVC Second Edition, Revised, and Expanded, 3. Marcel Dekker Inc., New York.
- Noor, Z.A.A., dan Rahmah M. (2013): Effect of Calcium Carbonate on Thermal Properties of CaCO₃/Kenaf/HDPE and CaCO₃/Rice Husk/HDPE Composites. Trans Tech Publications., Selangor, Malaysia.
- Padron, C.A.J., dan Allen, N.S. (1992). Handbook of Polymer Stabilization. New York
- Palanikumar, K., Gandhi, R.A., Raghunath, B.K., dan Jayaseelan, V. (2019): Role of Calcium Carbonate (CaCO₃) in improving wear resistance of Polypropylene (PP) components used in automobiles. Sri Sai Ram Institute of Technology., Tamilnadu, India.
- Permono, A. (2015): *Mengenal Polimer dan Polimerisasi*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Qiang F., dan Wang, Guiheng. (1993): Polyethylene Toughened by CaCO₃ Brittle-Ductile Transition of CaCO₃-Toughened HDPE. *Journal of Applied Polymer Science*, **12**, 4. Department of Polymer Science & Materials., China.
- Rajen, M.P. (2016): The Dow Chemical Company, Freeport. Texas, United States.
- Sachin, K., dan Singh, R.K. (2013): Thermolysis of High Density Polyethylene to Petroleum Products. *Journal of Petroleum Engineering.*, India.
- Sajwan, M., Aggarwal, S., dan Singh, R.B. (2007): Forensic Characterization of HDPE Pipes by DSC. *Journal Forensic Science International*, **175**, 130-133. National Institute of Criminology and Forensic Science., Delhi, India.
- Sara, R. (2017): Brydsons Plastics Materials: Eight Edition. Elsevier Ltd., Oxford, United Kingdom.
- Sugeng, B., dan Hadi, A. (1996): Analisa Struktur Termoplastik HDPE dan LDPE pada Temperatur Tinggi. Puslitbang IPTEK Batan., Jakarta.
- Sulaeman, R. (2003): Deteriorasi Komposit Serbuk Kayu-Plastik Polipropilena Daur Ulang oleh Cuaca dan Rayap. Tesis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor., Bogor.
- Vakili, M.H., Dehaghani, H.E., dan Fard, M.H. (2011): Crystallization and Thermal Conductivity of Nanoparticle Filled Polypropylene. Taylor & Francis Ltd., Shahreza, Iran.
- Vasile, C., dan Pascu, M. (2005). Practical Guide to Polyethylene. Rapra Technology., UK.

Wahini, D.N., Yuniari, A., dan Kasmudjiastuti, E. (2011): Sifat Elektrik dan Termal Nanokomposit HDPE/NPCC. *Jurnal Kulit, Karet dan Plastik.*, Yogyakarta.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A Lembar Bimbingan Tugas Akhir

Nama : Monalisa Febrianti
NIM : 1516062
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Termal pada Kompon HDPE/CaCO₃ dengan Penambahan *UV Stabilizer*
Pembimbing : Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
07-08-2019	-	Diskusi dan konsultasi mengenai topik tugas akhir beserta judulnya.	
14-08-2019	-	Diskusi mengenai judul dan bahan aditif yang akan digunakan.	
17-12-2019	Judul	Penentuan judul, tema, dan topik tugas akhir.	
23-12-2019	-	Diskusi bahan aditif yang akan digunakan, jenis, dan ketersediaan bahan serta adanya COA atau TDS.	
27-12-2019	Abstrak, Bab I, dan Bab II	Revisi pembatasan masalah, diskusi mesin yang akan digunakan dan menambahkan jurnal-jurnal sebagai referensi.	
21-01-2020	Abstrak, Bab I, dan Bab II.	Revisi abstrak, menentukan variabel yang akan dipakai, standar yang dipakai saat menggunakan mesin compounder serta saat pengujian, dan format penulisan.	
28-01-2020	Bab II dan Bab III.	Melengkapi daftar pustaka, revisi format penulisan, dan harus mengetahui setiap standar pengujian.	
13-02-2020	Bab II dan Bab III.	Revisi tinjauan pustaka, skema penelitian, dan SOP penggunaan	

20-02-2020	Bab III	mesin compounder serta mesin pengujiannya.
24-02-2020	Bab III	Revisi variasi bebas, perbedaan jenis bahan yang akan dipakai dengan jurnal sebagai referensinya, dan penulisan sumber prosedur. Review ketersediaan dan persiapan bahan yang akan digunakan.
03-07-2020	Bab IV	Menentukan kondisi operasional pada saat proses pembuatan dan pengujian, berdasarkan literatur. Perbaiki pembahasan, tata letak grafik pengujian dan teori pembahasan.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer

Pembimbing,

Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng

NIP 198505112014022001

Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng

NIP 198505112014022001

LAMPIRAN B Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing

Nomor : B/
/BPSDMI/STMI/PP/II/2020
Lampiran : 1 (satu)
Hal : Penugasan Proses Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2019/2020

Jakarta, 26 Februari 2020

Yth. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M. Eng
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/BPSDMI/STMI/PP/KEP/II/2020 tanggal 02 Januari 2020 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Assisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2019/2020, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Monalisa Febrianti
No. Induk : 1516062

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Karakteristik Termal Pada Kompon HDPE/CaCo3 dengan Penambahan UV Stabilizer. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.

Direktur,

Mustofa

Tembusan:
1 Pudir 1;
2 Ka Prodi TKP;
3 Mahasiswa yang bersangkutan;



LAMPIRAN C Perhitungan

Analisa:

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui derajat kristalinitas dari HDPE variasi 1 dan variasi 2 yaitu:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

Keterangan: X_c = Derajat kristalinitas

ΔH_m = Entalpi pembentukkan sampel

ΔH_m^0 = Entalpi *equilibrium*

Variasi 1 (HDPE 100%)

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

$$X_c = \frac{187.5 \text{ J/g}}{293 \text{ J/g}} \times 100\%$$

$$X_c = 63.99 \%$$

Variasi 2 (HDPE 98% + UV Stabilizer 2%)

Derajat kristalinitas (%):

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

$$X_c = \frac{194,8 \text{ J/g}}{293 \text{ J/g}} \times 100\%$$

$$X_c = 66,48 \%$$

Variasi 3 (HDPE 97% + CaCO₃ 3%)

Derajat kristalinitas (%):

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

$$X_c = \frac{203.7 \text{ J/g}}{293 \text{ J/g}} \times 100\%$$

$$X_c = 69,52 \%$$

Variasi 4 (HDPE 95% + CaCO₃ 3% + UV Stabilizer 2%)

Derajat kristalinitas (%) :

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

$$X_c = \frac{190 \text{ J/g}}{293 \text{ J/g}} \times 100\%$$

$$X_c = 65,09 \%$$

Variasi 5 (HDPE 93% + CaCO₃ 5% + UV Stabilizer 2%)

Derajat kristalinitas (%) :

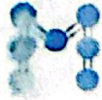
$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%$$

$$X_c = \frac{173,8 \text{ J/g}}{293 \text{ J/g}} \times 100\%$$

$$X_c = 59,32 \%$$

Variasi	Tc (°C)	Tm (°C)	ΔH (J/g)	Xc (%)
Var 1;HDPE	115,3	130,8	187,5	63,99
Var 2;HDPE;UV Stabilizer 98;2	115,4	130,4	194,8	66,48
Var 3;HDPE;CaCO ₃ 97;3	114,1	132,1	203,7	69,52
Var 4;HDPE;UV Stabilizer;CaCO ₃ 95;2;3	116,2	130,5	190,7	65,09
Var 5;HDPE;UV Stabilizer;CaCO ₃ 93;2;5	116,8	130,7	173,8	59,32

LAMPIRAN D *Technical Data Sheet* UV-20783



P.T. MASOLIKALERINDO PERKASA

JL. JEMBATAN DUA NO. 82 BLOK GI KOMPLEK RUKO ROBINSON II
JAKARTA UTARA 14450 INDONESIA

TEL : (62-21) 6615873 (HUNTING)
FAX : (62-21) 6615874

Email: masoli@indo.net.id

UV-20783 POLYETHYLENE MASTERBATCH

UV-20783PE is a polyethylene based masterbatch containing 20 % of *TINUVIN 783 which is a synergistic mixture of *CHIMASSORB 944 and *TINUVIN 622.

UV-20783PE is a versatile UV stabilizer masterbatch with outstanding extraction resistance and low pigment interaction.

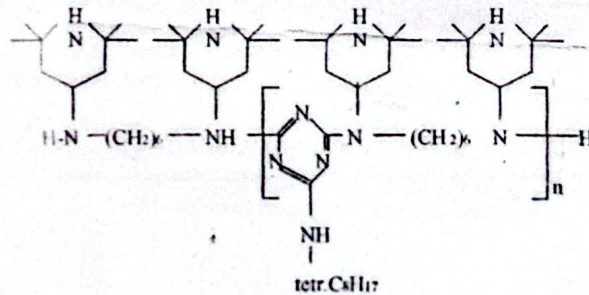
Chemical Name

*CHIMASSORB 944 : Poly ([6-[(1,1,3,3-tetramethylbutyl)amino]-1,3,5-triazine-2,4-diyl][2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny]imino)-1,6-hexanediy] [(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny]imino]).

*TINUVIN 622 : Butanedioic acid, dimethylester, polymer with 4-hydroxy-2,2,6,6-tetramethyl-1,-piperidine ethanol.

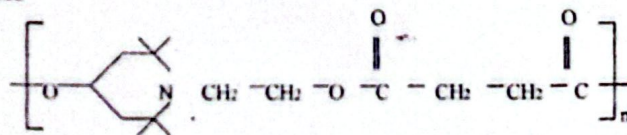
Structure

*CHIMASSORB 944

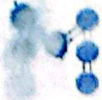


Molecular weight $M_n = 2000 - 3100$

* TINUVIN 622



Molecular weight $M_n = 3100 - 4000$



P.T. MASOLIKALERINDO PERKASA

JL. JENDERAL TAN DUA NO. 82 BLOK GI KOMPLEK RUKO PETERSON II
JAKARTA UTARA 14450 INDONESIA

TEL (02-21) 6615873 (HUNTING)
FAX (02-21) 6615874

Email: masoli@indo.net

UV-20783PE masterbatch provide cost effective, excellent dispersion and easy to blend with PE / PP resins.

Physical Properties of UV-20783PE

Appearance	: Clear Granules
Tinuvin Contents	: 20 % of TINUVIN 783
Carrier	: Polyethylene
Filler	: None
Density at 23°C	: 1.02 g/cm ³
Melting Point	: 100°C - 120°C
MFI 2.16 kg/190°C	: 8.3 g/10 Mins
Flash Point	: 192°C

Guidelines for Use

Thick Sections	: UV stabilization of HDPE, LLDPE and PP	1 %
Films	: UV stabilization of LLDPE and PP	1 % - 2 %
Tapes	: UV stabilization of PP and HDPE	1 % - 2 %
Fibers	: UV stabilization of PP	1 % - 2 %

Packing

UV-20783 PE is supplied in regular pellet form packed in 20 kgs bags. It should be stored in a dry place.

Handling and Safety

In accordance with good industrial practice, handle with care and avoid unnecessary personal contact. Avoid continuous breathing of dust and avoid contact with eyes.

Quoted test results are only intended as a general guidance, users are recommended to conduct their own specific conditions to ensure satisfactory results.

LAMPIRAN E *Certificate Of Analysis* CaCO₃



CERTIFICATE OF ANALYSIS

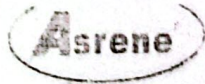
Customer : JUSTUS KIMARAYA
Product : CALCIUM CARBONATE
Grade : OMYACARB 6 40KG PB
Packing : 40 KG
Delivery Order No : SUE018
Lot Number : IDTD090819
Delivery Date : 19/08/2019
Comment :

Test Item	Specification	Result	Test Method
Top Cut (d98%)	0.00-28.00 Micron	24.800	Mastersizer 3000
Mean Particle Size (d50%)	3.70-4.70 Micron	4.090	Mastersizer 3000
Residue on 45µm	0.00-0.20 %	0.101	Sieve
Brightness (Ry)	91.00-94.00 %	92.440	DIN 5033
Moisture content	0.00-0.30 %	0.020	Moisture Analyser

Remark :

This document printed electronically and valid without signature

LAMPIRAN F Technical Data Sheet HDPE



High Density Polyethylene

Technical Data Sheet (TDS)

SP4808

Pipe

Product Description:

Asrene® SP4808 is an HDPE resin which is supplied in natural pellet form and suitable for pressure pipes, water distribution pipes, subduct conduit, sewerage and industrial pipes requiring high tensile properties, excellent stress cracking resistance and long term hydrostatic strength.

Product Characteristics:

- High tensile properties
- Excellent stress cracking resistance
- Long term hydrostatic strength
- Low sagging grade
- O₂A @50 years = 10.70 MPa

Applications:

- PE-100 certified (MRS = 10 MPa)
- Pressure pipes
- Water distribution pipes (portable water certified)
- Subduct conduit, sewerage and industrial pipes

Physical Properties	Test Method	Unit	Value
Density	ASTM D 1505	g/cm ³	0.949
Melt Index (190 °C/2.15 kg)	ASTM D 1238	g/10 min	0.06
Melt Index (190 °C/5.0 kg)	ASTM D 1238	g/10 min	0.25
Melt Index (190 °C/21.5 kg)	ASTM D 1238	g/10 min	9.0
Brittleness Temperature	ASTM D 746	°C	< -70
ESCR (10% Igepal, F ₂)	ASTM D 1693	Hrs	> 1,000
Tensile Strength @Yield	ASTM D 638	MPa	30
Tensile Strength @Break	ASTM D 638	MPa	50
Ultimate Elongation	ASTM D 638	%	> 700
Tensile Impact Strength	ASTM D 1822	kJ/m ²	550
Flexural Modulus	ASTM D 790	MPa	1,300
Oxidative-Induction Time @200 °C	ASTM D 3895	min	> 80
Viscosity @0.1 sec ⁻¹ , 190 °C	Torque Rheometer	Pa.s	> 100,000

Pipe Properties	Test Method	Unit	Value
Hydrostatic Resistance @12.4 MPa, 20 °C**	ISO 1167	Hrs	> 100
Hydrostatic Resistance @12.4 MPa, 20 °C**	ISO 1167	Hrs	> 165
Hydrostatic Resistance @12.4 MPa, 20 °C**	ISO 1167	Hrs	> 1,000
Rapid Crack Propagation (S4 test @0 °C)**	ISO 13477	Bar	> 12
Slow Crack Growth (notch test @80 °C, 9.2 bar)**	ISO 13479	Hrs	> 1,058
Longitudinal Reversion***	ISO 2305 1&2	%	0.63

*Polyethylene tested per ASTM D 1928

**PE-100 S-5, SDR-11, PN-16, OD-32 mm

***PE-100, S-5, SDR-11, PN-16, OD-110 mm

Conversion: 1 MPa = 10.2 kgf/cm²
1 kJ/m² = 0.01 kgf cm/cm²

Recommended Processing Conditions:

Melt Temperature..... 190-220 °C

Product Available Form:

Natural pellet

Packaging:

25 kg in FFS PE-bag