



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH PENAMBAHAN *PLASTICIZER DIOCTHYL PHTHALATE* (DOP) TERHADAP MAMPU ALIR DAN SIFAT MEKANIK RESIN POLIVINIL KLORIDA (PVC)

SKRIPSI

**KHAIRUL UMAM
04005040392**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH PENAMBAHAN *PLASTICIZER DIOCTHYL PHTHALATE* (DOP) TERHADAP MAMPU ALIR DAN SIFAT MEKANIK RESIN POLIVINIL KLORIDA (PVC)

SKRIPSI

**KHAIRUL UMAM
04005040392**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN POLIMER
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Khairul Umam

NPM : 0405040392

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Khairul Umam
NPM : 0405040392
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi :

Pengaruh Penambahan *Plasticizer Diocthyl Phatlate (DOP)* terhadap Mampu Alir dan Sifat Mekanik Resin Polivinil klorida (PVC)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dra. Sari Katili MS. (.....)

Pembimbing : Ir. Soemadi Agustinus (.....)

Penguji I : Dr. Ir. Akhmad H Yuwono, M.Phil.Eng (.....)

Penguji II : Ir. Rini Riastuti, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Indratmoko Hari Poerwanto dan Bapak Ahmadi selaku pembimbing penelitian serta segenap karyawan laboratorium PVT PT. Asahimas Chemichal yang telah membantu dalam melakukan pengujian, memberikan semua fasilitas pengujian serta membimbing dan mengarahkan pengujian;
2. Ir. Soemadi Agustinus dan Dra. Sari Katili MS selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
3. Segenap dosen mata kuliah ilmu polimer pada khususnya dan segenap dosen DMM FTUI yang telah memberikan ilmu material yang bermanfaat;
4. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; serta
5. Seluruh pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 24 Juni 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khairul Umam
NPM : 0405040392
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Penambahan *Plasticizer Diocthyl Phatlate (DOP)* terhadap Mampu Alir dan Sifat Mekanik Resin Polivinil klorida (PVC)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2009

Yang menyatakan

(Khairul Umam)

ABSTRAK

Nama : Khairul Umam
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : **Pengaruh Penambahan *Plasticizer Diocthyl Phthalate* (DOP) Terhadap Mampu Alir dan Sifat Mekanik Resin Polivinil Klorida (PVC)**

Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan komposisi terbaik PVC – *diocthyl phthalate* (DOP). Resin PVC ASNYL[®] digunakan dengan variasi penambahan DOP sebesar 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 phr. Spesimen dibuat melalui *calendering* dan dicetak dengan *hot pressing*. Dari hasil penelitian, diketahui bahwa seiring dengan penambahan konsentrasi DOP nilai MFR meningkat dari 5,7 gr/10 menit pada saat 0 phr sampai 28,2 gr/10 menit pada 10 phr. Kecepatan gelation time cenderung meningkat dari 1,66 menit pada 0 phr menjadi 1,46 menit pada 10 phr. Kandungan DOP yang lebih tinggi juga cenderung menurunkan kekerasan dari 25,4 shore A pada 0 phr, menjadi 24,5 shore A pada 10 phr. Ketahanan impak dari PVC menunjukkan penurunan dari 1285 J/m untuk 0 phr dan turun menjadi 214 J/m pada 10 phr. Fenomena penurunan ketahanan impak ini disebabkan karena terjadinya efek anti-plastisasi pada penambahan DOP kurang dari 15 phr yang justru menyebabkan PVC menjadi getas. Semua formulasi yang diberikan memberikan hasil yang kurang signifikan antara satu sama lain namun dengan mempertimbangkan pengaruh terbaik, sebaiknya dipilih formulasi 10 phr.

Kata kunci:

Polivinil klorida (PVC), *diocthyl phthalate* (DOP), sifat proses, sifat mekanik

ABSTRACT

Name : Khairul Umam
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering
Title : **The Influence of Dioctyl Phthalate Addition to Flow Ability and Mechanical Properties of Polyvinyl Chloride (PVC) Resin**

The objective of this research is to predict the best PVC – dioctyl phthalate (DOP) formulation. The sample used is PVC ASNYL[®] resins by varying the content of dioctyl phthalate which are; 0, 2, 4, 6, 8 and 10 phr. Specimen made by calendaring process and pressed by hot pressing method. It was observed that the increasing content of dioctyl phthalate resulting the increasing of melt flow rate from 5,7 gr / 10 minutes at 0 phr to 28,2 gr /10 minutes at 10 phr. Gelation time rate increase from 1,66 minutes at 0 phr to 1,46 minutes at 10 phr. the increasing content of DOP resulting the decreasing of hardness from 25,4 shore A at 0 phr, to 24.5 shore A at 10 phr. Impact resistance decrease from 1285 J/m at 0 phr to 214 J/m at 10 phr. The decreasing phenomenon of impact resistance is caused by anti-plastication effect when the DOP less than 15 phr. All formulation give not significantly influence of addition but by considering the best influence, it is better to use 10 phr formulation.

Keywords:

poly vinyl chloride (PVC), dioctyl phthalate (DOP), process properties, mechanical properties

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR RUMUS.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Polivinil Klorida (PVC).....	4
2.1.1 Sejarah PVC.....	5
2.1.2 Proses Produksi PVC.....	6
2.1.3 Karakteristik fisik PVC.....	7
2.1.4 Karakteristik kimia PVC	10
2.1.5 Jenis-jenis PVC.....	10
2.1.6 Proses Fabrikasi PVC.....	12
2.1.7 Kegunaan.....	12
2.1.7.1 Aplikasi PVC Rigid.....	12
2.1.7.2 Aplikasi PVC Fleksibel.....	13
2.2 <i>Plasticizer</i>	13
2.2.1 Cara Kerja <i>Plasticizer</i>	14
2.2.2 Sifat Fisik <i>Plasticizer</i>	15
2.2.3 Jenis-jenis <i>Plasticizer</i>	15
2.2.4 Diocthyl Phtalate (DOP).....	18
2.2.4.1 Proses Produksi DOP.....	19
2.2.4.2 Dampak Lingkungan DOP.....	19
2.2.4.3 Penggunaan DOP.....	20

2.3 Aditif-Aditif Untuk PVC.....	20
2.3.1. Functional Additives.....	21
2.3.2 Optional Additives.....	21
3. METODE PENELITIAN	22
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Komposisi Bahan.....	23
3.3 Peralatan dan Bahan.....	24
3.3.1 Peralatan.....	24
3.3.2 Bahan-Bahan.....	28
3.3.2.1 Polivinil klorida (PVC).....	28
3.3.2.2 Diocthyl Phtalate (DOP).....	28
3.3.2.3 Impact Modifier.....	29
3.3.2.4 Lubricant.....	29
3.3.2.4 Processing Aid (PA).....	29
3.3.2.5 Heat Stabilizer.....	30
3.4 Prosedur Penelitian.....	31
3.4.1 Preparasi dan Pembuatan Sampel.....	31
3.4.1.1 Penimbangan.....	31
3.4.1.2 Pencampuran (<i>Compounding</i>).....	31
3.4.1.3 Pembuatan lembaran (<i>Hot Rolling</i>).....	32
3.4.1.4 Pencetakan Pelat (<i>Compression Molding</i>).....	32
3.4.1.5 Pengujian <i>Melt Flow Rate</i> (MFR).....	32
3.4.1.6 Pengujian <i>Gelation Time</i> (GT).....	33
3.4.1.7 Pengujian Kekerasan.....	34
3.4.1.8 Pengujian Impak.....	34
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Preparasi Sampel.....	37
4.1.1 Hasil Pencampuran.....	37
4.1.2 Hasil Pembuatan Sampel Uji Mekanik.....	37
4.2 Hasil Pengujian.....	38
4.2.1 Hasil Pengujian <i>Melt Flow Rate</i> (MFR).....	38
4.2.2 Hasil Pengujian <i>Gelation Time</i> (GT).....	40
4.2.3 Hasil Pengujian Kekerasan.....	41
4.2.4 Hasil Pengujian Impak.....	42
5. KESIMPULAN	46
DAFTAR REFERENSI	47
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

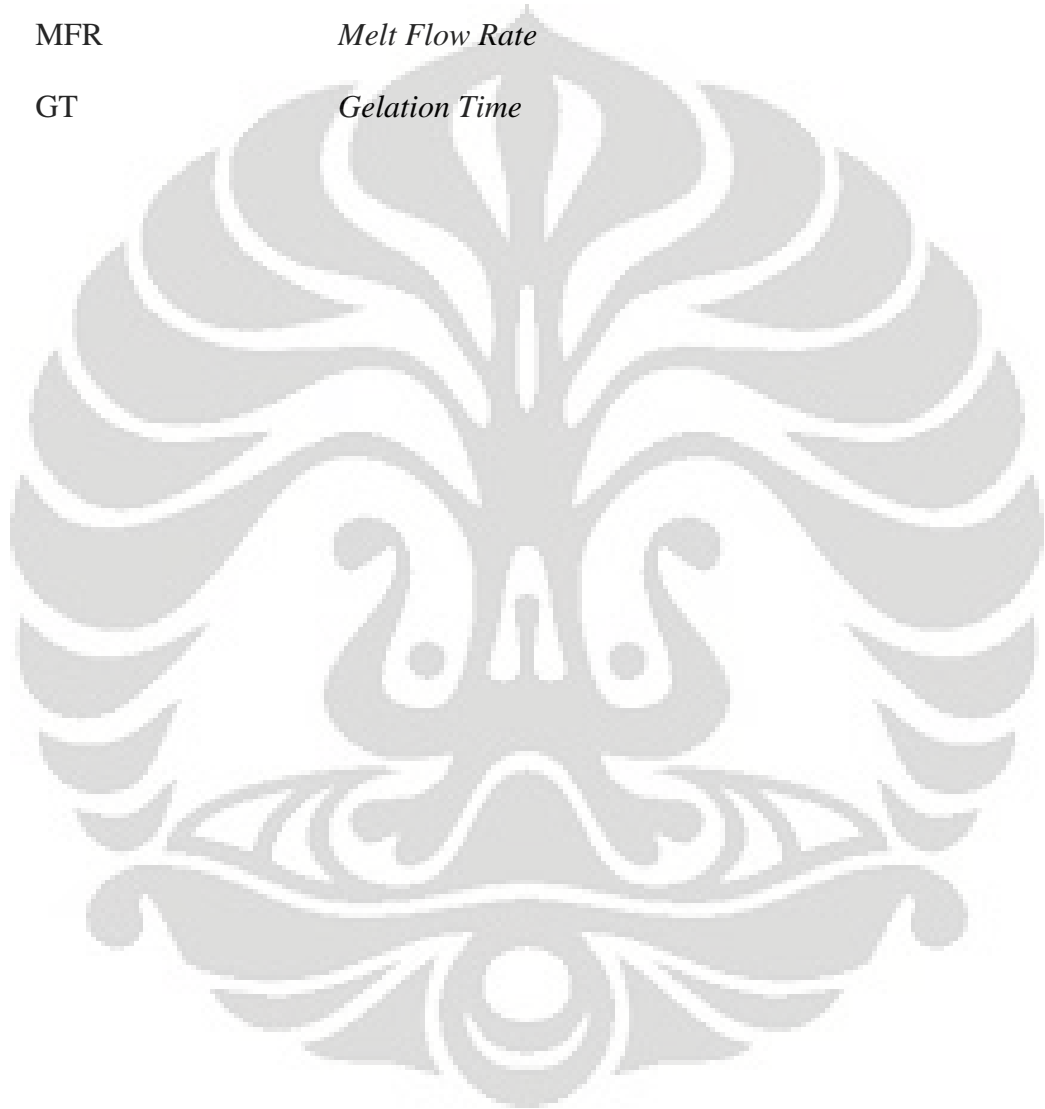
Gambar 2.1 Struktur Molekul PVC.....	4
Gambar 2.2 Struktur kimia Dioctyl Phtalate.....	18
Gambar 3.1 Diagram alir pengujian karakterisasi sampel.....	22
Gambar 3.2 Diagram alir pengujian karakterisasi sampel.....	23
Gambar 3.3 Ilustrasi Skematis Pengujian Impak dengan benda Uji <i>Charpy</i>	36
Gambar 4.1 Hasil Pencampuran (Compounding).....	37
Gambar 4.2 Sampel Uji Mekanik.....	38
Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai MFR untuk setiap formulasi.....	39
Gambar 4.4 Grafik perbandingan <i>gelation time</i> setiap formulasi.....	40
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai kekerasan setiap formulasi.....	42
Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai ketahanan impak masing-masing formulasi.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Morfologi PVC.....	8
Tabel 2.2 Perbandingan Sifat Mekanik PVC Rigid dan PVC Fleksibel..	11
Tabel 2.3 PVC Berdasarkan K-value.....	11
Tabel 3.1 Komposisi dan Formulasi Sampel.....	24
Tabel 3.2 Peralatan dan spesifikasinya.....	25
Tabel 3.3 Karakteristik PVC ASNYL®	28
Tabel 3.4 Karakteristik DOP.....	29
Tabel 3.5 Karakteristik <i>Processing Aid</i> PA-20.....	30
Tabel 3.6 Karakteristik Heat Stabilizer TM181.....	30
Tabel 3.7 Karakteristik Heat Stabilizer Barium Stearat.....	30
Tabel 3.8 Karakteristik Heat Stabilizer Normal Lead Stearat.....	31

DAFTAR SINGKATAN

PVC	Polivinil Klorida
DOP	<i>Diocetyl Phatalate</i>
PHR	<i>Part Per Hundred</i>
MFR	<i>Melt Flow Rate</i>
GT	<i>Gelation Time</i>



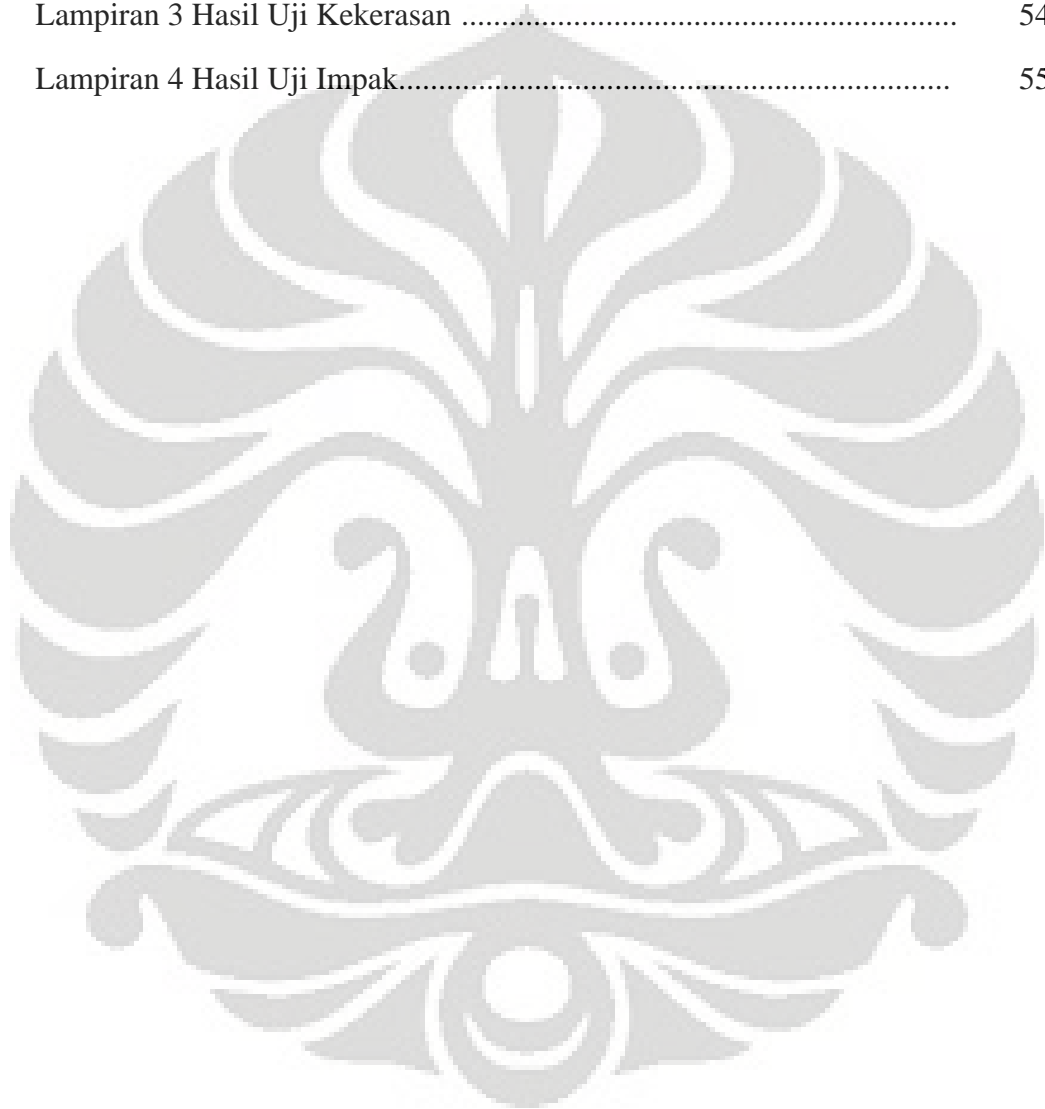
DAFTAR RUMUS

(2.1) Rumus nilai <i>K-Value</i>	11
(2.2) Reaksi esterifikasi <i>phthalic anhydride</i> dengan 2-etil-hexanol.....	19
(3.1) Rumus Harga Impak (HI)	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji <i>Melt Flow Rate</i>	48
Lampiran 2 Hasil Uji <i>Gelation Time</i>	50
Lampiran 3 Hasil Uji Kekerasan	54
Lampiran 4 Hasil Uji Impak.....	55



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di tengah tuntutan akan bahan atau material yang handal, material polimer harus terus dikembangkan agar dapat bersaing dengan material lain semacam logam dan kaca. Oleh karena itu, seringkali suatu bahan baku polimer (resin) ditambahkan zat tambahan (aditif) lain atau digabung dengan material polimer lain agar dapat menghasilkan material baru yang lebih handal dan lebih efisien dalam aplikasi tertentu.

Polivinil klorida (PVC) merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan dewasa ini karena sifatnya yang mudah dibentuk untuk berbagai aplikasi. PVC pada umumnya terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu PVC kaku (*rigid*) dan PVC fleksibel. Pada dasarnya, setiap produk PVC murni (tanpa zat aditif) memiliki sifat alami kaku. PVC jenis ini dapat ditemui pada produk-produk seperti sambungan (*fitting*) pipa, sakelar, alat-alat listrik, dan sebagainya. Sedangkan PVC fleksibel adalah produk-produk PVC yang telah ditambahkan zat aditif berupa *plasticizer*. Contoh produk-produk PVC fleksibel dapat ditemui pada pembungkus kabel, selang air, pipa, kulit imitasi dan sebagainya.

PVC kaku (*rigid*) ini jika langsung digunakan pada aplikasi tertentu memiliki kelemahan pada sifat mekaniknya, yaitu getas (*brittle*). Tentunya, kondisi ini akan membuat PVC kaku mudah mengalami kerusakan retak atau kerusakan patah jika terkena beban kejut. Kelemahan ini dapat diminimalisir jika PVC kaku tersebut memiliki sifat keuletan. Oleh karena itu, untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan dari produk PVC kaku perlu ditambahkan *plasticizer* dengan kadar tertentu, namun tanpa menghilangkan sifat kekakuan dari PVC kaku tersebut. Salah satu jenis *plasticizer* yang banyak digunakan adalah *Diocetyl phthalate* (DOP). DOP dikenal sebagai *general plasticizer* yaitu *plasticizer* yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Penambahan DOP ini akan meningkatkan fleksibilitas, kemampu bentuk, dan kemampuan proses PVC.

Ketiga hal tersebut merupakan faktor penting yang mempengaruhi peningkatan efisiensi proses.

Penambahan zat aditif pada polimer harus dipertimbangkan kadarnya. Pemberian kadar yang tepat akan menghasilkan produk polimer yang berkualitas. Selain itu, penambahan zat aditif juga dapat menekan biaya produksi karena proses berlangsung lebih cepat dan tepat. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam mempertimbangkan komposisi resin PVC yang tepat terutama untuk aplikasi ekstrusi PVC seperti pipa.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk meningkatkan efisiensi, tentunya perlu diketahui kisaran optimal kadar DOP dari PVC kaku tanpa menghilangkan sifat kekakuannya. Maka aspek utama dalam penelitian ini adalah mencoba melakukan variasi komposisi untuk menentukan komposisi terbaik.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kisaran komposisi PVC-*diethyl phthalate* terbaik terutama untuk aplikasi yang membutuhkan kekakuan namun memiliki fleksibilitas, kemampuan bentuk, dan kemampuan proses yang memadai.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, akan dibahas tentang pengaruh konsentrasi DOP terhadap laju alir yang diwakili oleh *melt flow rate* (MFR) dan *gelation time* (GT) dan juga terhadap sifat mekanik yang diwakili oleh kekerasan dan ketahanan impak resin PVC. PVC yang digunakan jenis kaku (*rigid*) dengan nama dagang PVC ASNYL[®] dengan penambahan DOP dalam satuan *part per hundred* (phr) sebesar 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 phr. Aditif jenis lain ditambahkan dengan nilai konstan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada makalah ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang sifat, jenis, kegunaan, proses fabrikasi dan aplikasi PVC. Kemudian menjelaskan sifat, jenis, dan cara kerja *plasticizer*, zat-zat aditif untuk PVC.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang diagram alir penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian, prosedur penelitian, parameter yang divariasikan, dan data penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang hasil dari pengujian laju alir dan pengujian sifat mekanik yang didapat selama penelitian dan dilakukan analisis.

BAB V : KESIMPULAN

Menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapat selama penelitian.

BAB 2

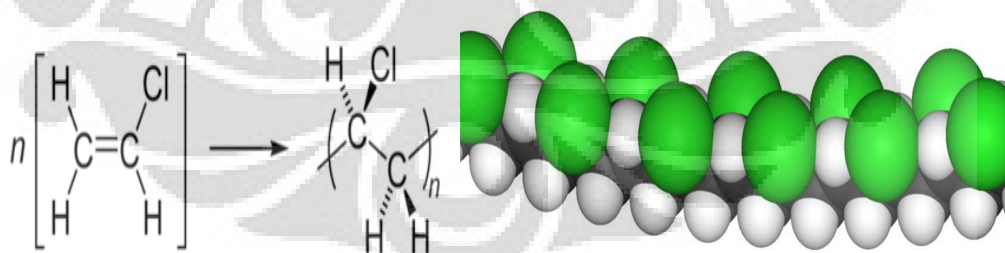
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polivinil Klorida (PVC)

Polimer polivinil klorida (PVC) termasuk ke dalam jenis polimer thermoplastic: suatu substansi yang kehilangan bentuknya ketika dipanaskan dan menjadi *rigid* kembali ketika didinginkan. Proses ekstrusi dan injection moulding bisa membentuk PVC ke bentuk yang diinginkan. Karena sifatnya yang termoplastik, daur ulang secara fisik PVC dapat dilakukan relatif mudah dimana material bisa dibentuk kembali dibawah proses pemanasan.

Polimer polivinil klorida (PVC) termasuk kelompok resin *vinyl*, didapatkan dari polimerisasi senyawa vinil klorida pada suatu reaksi polimerisasi adisi radikal bebas. Monomer vinil klorida didapatkan dari mereaksikan gas *ethylene* dengan *chlorine* untuk membentuk *1,2-dichloroethane*. *1,2-dichloroethane* kemudian dideklorinasi untuk menghasilkan senyawa vinil klorida [1].

PVC memiliki struktur molekul yang mirip dengan PE. Perbedaan antara kedua polimer tersebut adalah pada PVC salah satu atom H yang berikatan dengan atom C digantikan oleh atom Cl. Struktur molekul PVC ditunjukkan oleh Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Struktur Molekul PVC [2].

PVC bersifat amorf dan memiliki struktur polar. Sifat ini tergantung pada nilai rata-rata derajat polimerisasi (panjang rantai molekul polimer). Perbedaan proses produksi polimer berkembang menjadi polimer emulsi (PVC-E), polimer suspensi (PVC-S), dan polimer massa (PVC-M).

2.1.1 Sejarah PVC

Senyawa vinil klorida yang memiliki rumus molekul C_2H_3Cl merupakan salah satu produk senyawa petrokimia yang memiliki aplikasi secara komersil yang cukup luas di dunia terlebih di Amerika Serikat. Jika dilihat dari sejarah penemuannya, senyawa vinil klorida ini ditemukan oleh seorang kimiawan berkebangsaan Jerman yang bernama Justus Von Liebig dari Universitas Giessen karena pada sekitar tahun 1835 dialah orang pertama yang mensintesis senyawa vinil klorida ini.

Pada mulanya Justus Von Liebig mereaksikan dikloroetana [3] yang sering disebut minyak oleh kimiawan Belanda dengan alkohol untuk membuat vinyl chlorida. Dalam penelitiannya ia dibantu oleh muridnya yang bernama Victor Regnault yang pada akhirnya mereka berdua mempublikasikannya pada tahun 1835. Pada tahun 1872, E. Baumann menemukan bahwa hujan serpihan putih akan terjadi jika senyawa vinil klorida selama disinari cahaya matahari pada tabung yang tertutup. Ketika itu E. Baumann menemukan adanya padatan putih vinil klorida ketika terkena sinar matahari. Padatan putih ini bersifat sangat kuat karena tahan terhadap senyawa KOH atau air dan baru dapat meleleh dengan proses degradasi pada temperatur diatas $130^{\circ}C$.

Pada awal tahun 1926 mulai diproduksi PVC secara besar-besaran dengan bahan baku vinil klorida. Beberapa tahun sebelumnya Fritz Klatté menemukan proses pembuatan vinil klorida dengan mereaksikan HCl dengan asetilena menggunakan katalis merkuri klorida ($HgCl_2$) yang memperoleh hak paten pada tahun 1912. Melalui penemuan Klatté inilah industri vinil klorida pertama kali menjadi populer hingga saat ini [4].

2.1.2 Proses Produksi PVC

Terdapat tiga metode umum yang biasa digunakan dalam pembuatan PVC dari *vinyl chloride monomer* (VCM), yaitu polimerisasi suspensi, polimerisasi emulsi, dan polimerisasi massa. Lebih dari 75% PVC di dunia diproduksi dengan menggunakan proses suspensi (S-PVC). Proses suspensi ini terjadi dari VCM yang didispersikan dengan media air (*deminerized water*). Produk yang terbentuk bersifat *porous* dengan diameter butir antara 100-150 μm . Sedangkan sekitar 15% produksi PVC di dunia menggunakan polimerisasi emulsi dan kopolimerisasi, dimana produknya dalam bentuk dispersi lateks encer dari PVC dengan diameter partikel 0,1-2 μm , sedangkan yang menggunakan teknologi polimerisasi *bulk* adalah sekitar 10% dimana produknya didapat dengan cara mengeliminasi molekul air.

Berikut beberapa metode umum polimerisasi VCM menjadi PVC:

1. Polimerisasi Suspensi

Monomer VCM didispersikan ke dalam air kemudian ditambahkan *stabilizer* antara lain *talc* atau *bentonite*. Inisiator ditambahkan di dalam suspensi monomer. PVC yang dihasilkan lebih murni, memiliki sifat isolasi listrik dan ketahanan panas, *light fastness* yang baik serta lebih jernih dari PVC emulsi.

2. Polimerisasi Emulsi

Monomer VCM dicampur dengan air dan ditambahkan *stabilizer* (sabun) dan inisiator. Campuran dimasukkan ke dalam reaktor sehingga monomer teremulsi masuk ke dalam *soap micelle*. Inisiator akan terurai menjadi radikal bebas sehingga berdifusi ke dalam *soap micelle* untuk memulai polimerisasi PVC. Produk berbentuk lateks yang halus. Proses ini berlangsung relatif lebih cepat pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lain. Produk yang dihasilkan memiliki daya tahan listrik, ketahanan panas, *light fastness* dan kejernihan rendah.

3. Polimerisasi Massa

Proses ini tidak menggunakan *suspending agent* atau *emulsifier* sehingga produk yang dihasilkan mempunyai kemurnian yang tinggi. Produk yang dihasilkan memiliki sifat ketahanan listrik dan panas yang baik.

Berdasarkan uraian di atas, proses pembuatan PVC dari VCM mencakup tahap-tahap berikut:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan pelarutan VCM di dalam air, kemudian ditambahkan katalisator sehingga membantuk senyawa homogen.

2. Tahap Proses

Proses polimerisasi dilakukan dalam reaktor bertekanan dan kondisi operasi dijaga pada parameter yang diinginkan.

3. Tahap Penyelesaian

Pada proses ini telah dicapai derajat polimerisasi yang telah ditentukan kemudian dilakukan pengambilan produk dengan penyemprotan dan pengeringan dengan cara koagulasi (penambahan asam).

Tujuan dari proses polimerisasi itu sendiri adalah untuk menghasilkan resin dengan cara aman dan efisien, sehingga dapat ditangani dan diproses dengan mudah yang kemudian akan membentuk produk akhir dengan sifat-sifat yang diinginkan. Sifat-sifat polimer yang harus dioptimalkan adalah:

1. Berat molekul; menentukan proses polimerisasi dan sifat-sifat produk.
2. Komposisi kimia; berhubungan dengan pembentukan kopolimer dan menentukan sifat aliran pada saat pencairan polimer.
3. Ukuran butir dan lebarnya; menentukan cara penanganan bubuk dan prosesnya.
4. Kemurnian; resin harus bebas dari kotoran.
5. Warna yang bagus dan stabilitas termal dibutuhkan untuk memungkinkan polimer tidak terdegradasi.

2.1.3 Karakteristik fisik PVC

Senyawa PVC ini dapat berwujud padatan dalam cairan dengan perbandingan 50 % yang tersuspensi yang umumnya digunakan dalam bahan eksperimen dan penelitian, juga seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, wujudnya juga dapat berupa bubuk putih atau padatan krim yang berwarna. PVC memiliki range berat molekul dari 60000 hingga 140000 gram/mol.

Jika ditinjau dari segi kestabilan, senyawa ini sangat stabil karena berbentuk polimer sehingga fasanya berbentuk padatan yang keras sehingga hampir tidak berpengaruh (tak bereaksi) terhadap kehadiran oksidator kuat. Dari segi *safety*,

senyawa ini hampir tidak berbahaya dan mengganggu lingkungan karena tidak berpotensi mencemari udara, air maupun tanah. Selain itu, senyawa ini juga bersifat tidak mudah terbakar.

PVC memiliki beberapa karakteristik dalam morfologi (bentuk) sebagai sebuah polimer. Morfologi yang terbentuk selama polimerisasi akan mempengaruhi kemampuan prosesnya (*processability*) dan properti fisik yang dihasilkan. Di bawah ini disajikan Tabel 2.1 mengenai beberapa bentuk dari PVC:

Tabel 2.1 Morfologi PVC [5].

Bentuk PVC	Ukuran	Deskripsi
<i>Droplet</i>	30 -150 μm (diameter)	Terjadi karena adanya pendispersian monomer selama polimerisasi suspensi
<i>Grains</i>	100 – 200 μm (diameter)	Sesudah polimerisasi, <i>free-flowing powder</i> biasanya membuat droplet menjadi teraglomerasi pada polimerisasi massa membentuk grains
Membran	0,01 – 0,02 μm (ketebalan)	Membran pada lapisan monomer-air dalam suspensi PVC (biasanya pada Poly Vinyl Alkohol)
Skins	0,5 – 5 μm (ketebalan)	Adanya shell pada grains akan membuat PVC yang terdeposit dalam membran selama proses polimerisasi suspensi

Tabel 2.1 Morfologi PVC (*lanjutan*)

Bentuk PVC	Ukuran	Deskripsi
Partikel utama	1 μm (diameter)	Terbentuk sebagai tempat polimerisasi tunggal pada kedua suspensi dan polimerisasi massa oleh presipitasi polimer dari monomernya yang menjadikan lebih dari milyaran jumlah molekul
Aglomerasi dari partikel utama	3 – 10 μm (diameter)	Terbentuk selama polimerisasi dari penggabungan partikel utama
Domains	0,1 μm (diameter)	Terbentuk pada kondisi tertentu yaitu pada temperatur cair yang tinggi (205 $^{\circ}\text{C}$) dan pada temperatur kerja mekanis yang rendah (140 – 150 $^{\circ}\text{C}$)
Microdomains	0,01 μm (spacing)	Spacing yang terkristalisasi

Dari uraian pada tabel diatas PVC memiliki struktur yang dibangun di atas struktur lainnya yang akhirnya membentuk sebuah molekul raksasa yang disebut polimer. Lapisan yang saling terbentuk akan mempengaruhi performa dan semuanya saling berhubungan.

Kebanyakan PVC akan membentuk polimer yang bersifat kaku (*rigid*), tetapi ada PVC yang bersifat plastis dimana secara umum keduanya memiliki sifat struktur yang sama hanya saja perbedaannya adalah pada PVC yang plastis, *plasticizer* masuk pada fasa amorphous PVC. Selanjutnya grains akan hancur menjadi partikel utama yang berukuran 1 μm yang menjadi unit *melt flow*. Akhirnya melting unit tadi membentuk belitan pada batas *flow unit* yang diikuti

oleh proses rekristalisasi selama pendinginan yang membentuk struktur elastomer tiga dimensi yang kuat.

2.1.4 Karakteristik kimia PVC

PVC yang pembentukannya didasarkan atas reaksi polimerisasi kinetik massa dan suspensi dari PVC yang terjadi secara bersama-sama karena sebuah droplet monomer dalam polimerisasi suspensi bisa dianggap menjadi polimerisasi massa dalam sebuah reaktor yang kecil. Selama proses polimerisasi, polimer akan mengendap dari monomernya ketika ukuran rantainya mencapai 10 – 20 unit rantai.

Reaksi polimerisasi ini yang melibatkan dua fasa yaitu monomer dengan fasa cair dan polimer dengan fasa gel, akan membentuk basis untuk deskripsi kinetik dari polimerisasi PVC. Karena adanya laju polimerisasi yang lebih rendah pada monomer yang berfasa cair jika dibandingkan dengan polimer berfasa gel maka akan menghasilkan efisiensi pada tahap terminasi yang lebih besar.

Rantai transfer ke monomer merupakan reaksi utama pada polimerisasi yang mengontrol berat molekul dan distribusinya. Pada suhu 30 °C rantai transfer ke monomer terjadi sekali setiap reaksi propagasi 1600 monomer, sedangkan Pada suhu 70 °C rantai transfer ke monomer terjadi sekali setiap 420 monomer adisi. Dari sini suhu dari proses polimerisasi sangat berpengaruh pada berat molekul yang dimiliki PVC tersebut yaitu berat molekul PVC akan semakin besar pada suhu polimerisasi yang lebih rendah.

2.1.5 Jenis-jenis PVC

Secara umum, PVC dapat dibedakan menjadi PVC fleksibel dan PVC *rigid* (kaku). PVC kaku, sesuai namanya, adalah PVC murni dan memiliki kekakuan sangat tinggi. PVC murni lebih kuat dan lebih kaku dari *polipropylene* (PP) dan *polyethylene* (PE) [6]. PVC fleksibel diperoleh dengan menambahkan material dengan berat molekul lebih rendah (*plasticizer*). PVC fleksibel dapat diformulasikan menjadi bersifat seperti karet. Tabel 2.2 berikut menampilkan perbandingan sifat kedua jenis PVC ini.

Tabel 2.2 Perbandingan Sifat Mekanik PVC *Rigid* dan PVC *Fleksibel* [7].

Sifat Mekanik	PVC <i>Rigid</i>	PVC <i>Fleksibel</i>
Tensile strength (MPa)	44,4	9,6
Tensile Modulus (Gpa)	2,75	-
Impact Strength (J/m)	181	293
Density (g/cm ³)	1,4	1,4
Dielectric Strength (MV/m)	34	25,6

PVC juga dibedakan berdasarkan nilai *K-value*. *K-value* adalah suatu bilangan yang dihitung dari pengukuran viskositas larutan polimer, untuk menunjukkan derajat polimerisasi atau ukuran molekul dengan rumus :

$$\frac{\log(N_s / N_0)}{c} = \frac{75K^2}{1 + 1.5Kc} + K \quad (2.1)$$

Dimana

N_s = Viskositas larutan

N_0 = viskositas pelarut

c = Konsentrasi dalam gr/ml

Tabel 2.3 berikut ini menunjukkan jenis PVC dan aplikasinya berdasarkan *K-value*.

Tabel 2.3 PVC Berdasarkan *K-value*

<i>K-value</i>	Aplikasi
50-60	<i>Rigid calendered, lembaran, injection molding</i>
60-68	<i>Unplasticised extrusion</i>
70-80	<i>Plasticised PVC</i>

2.1.6 Proses Fabrikasi PVC

Proses fabrikasi adalah proses pengolahan dari bijih plastik (pelet) ke bentuk yang diinginkan. Ada berbagai jenis proses fabrikasi PVC yang paling umum dilakukan antara lain:

1. *Injection molding*

Proses ini bersifat siklus, dapat menghasilkan produk dengan kepresisian yang tinggi. Contoh PVC hasil injection molding sambungan (fitting) pipa.

2. Ekstrusi

Proses ini bersifat kontinyu, massal, dan digunakan untuk produk yang tidak memerlukan tingkat presisi yang tinggi seperti pipa, profil jendela, dll.

3. *Calendering*

Proses ini menghasilkan produk berupa film atau lembaran-lembaran tipis PVC. Contoh produknya adalah kulit imitasi.

4. *Thermoforming*

Proses ini mencetak produk PVC dengan memanaskan semacam lembaran PVC kemudian ditekan ke cetakan sehingga membentuk sesuai dengan cetakan. Contohnya *cup* untuk *ice cream*, kotak makanan, dll.

2.1.7 Kegunaan

Produk PVC amat beragam. Namun secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu *unplasticised* PVC (uPVC atau PVC-U) yang bersifat *rigid* dan *plasticised* PVC yang bersifat fleksibel.

2.1.7.1 Aplikasi PVC Rigid

PVC *rigid* itu keras dan kaku. Salah satu penggunaan uPVC yang paling besar adalah untuk frame jendela (profil). Material ini mudah untuk dilas dan ditempelkan, bahkan dengan formulasi tertentu aman untuk digunakan pada aplikasi kemasan makanan. Aplikasi uPVC termasuk:

1. Bangunan / Konstruksi: frame jendela, pipa air, lantai, frame pintu, lembaran atap, genteng.
2. *Electrical engineering*: pipa insulasi, rumah telepon, rumah stop kontak.

3. *Mechanical engineering*: pipa bertekanan, rumah *thermostat*, pipa sambungan, ventilasi.
4. *Packaging*: casing pulpen, botol oli dan makanan, kotak es krim, dll.

2.1.7.2 Aplikasi PVC Fleksibel

PVC yang diberi *plasticizer* lebih fleksibel. Sifat mekanik dari PVC jenis ini bergantung pada tipe dan kuantitas *plasticizer* yang ditambahkan. Aplikasi PVC fleksibel meliputi:

1. *Electrical engineering*: insulasi kabel dan kawat, soket, kepala kabe
2. *Mechanical engineering*: pipa, komponen mobil dan komputer.
3. Bangunan/konstruksi: cover lantai, perekat jendela dan pintu.
4. Medis: tas penyimpanan darah
5. Lain-lain: selang, mainan anak-anak, masker penyelam, sepatu bot, jas hujan, sabuk pengaman, jok sepeda, kemasan makanan, sepatu, cover dinding, dll.

2.2 Plasticizer

Plasticizer adalah jenis aditif yang paling banyak digunakan di industri plastik. Pada 1951, *Council of the Internasional Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) mendefinisikan *plasticizer* sebagai suatu substansi atau material yang disatukan dengan material lain (plastik dan elastomer) untuk meningkatkan fleksibilitas, *workability*, dan *distensibility*. Keuntungan lain yang dapat diraih dengan penambahan *plasticizer* adalah kemampuan proses yang meningkat dan ketahanan impak yang lebih baik. Beberapa *plasticizer* juga mampu memberikan kestabilan terhadap panas dan cahaya.

Plastisasi mungkin bisa dibagi menjadi plastisasi internal dan eksternal. Pengertian internal mengarah kepada kopolimerisasi. Adapun eksternal ditujukan pada pencampuran *plasticizer* dengan matriks resin PVC. Sedikitnya sepertiga dari produk PVC adalah fleksibel dimana *plasticizer* memegang peranan penting. Suatu *Plasticizer* mampu mengurangi viskositas lelehan atau menurunkan modulus elastis dari produk. Pemilihan *plasticizer* dan kuantitas di dalam produk akhir tergantung pada sifat akhir yang diinginkan pada compound PVC (tingkat

kelembutan, ketahanan terhadap temperatur rendah atau tinggi, ketahanan bakar, dll).

2.2.1 Cara Kerja *Plasticizer*

Beberapa teori telah diajukan untuk menjelaskan kerja *plasticizer* termasuk teori pelumasan, teori gel, dan teori volume bebas. Meskipun setiap teori tidaklah absolut, kita bisa mengkombinasikan ide dari setiap teori plastisasi yang pasti memuat teori-teori berikut:

- a. Teori lubrikasi didasarkan pada anggapan bahwa kekakuan dari resin tercapai dari friksi intermolekular yang mengikat rantai bersama-sama pada jaringan yang kaku. Pada pemanasan, gaya friksi ini melemah sehingga memungkinkan molekul *plasticizer* berada diantara rantai-rantai, dimana mereka melapisi rantai-rantai dari yang lainnya dan mencegah pembentukan kembali jaringan yang kaku. Ini akan menurunkan temperatur transisi gelas (T_g) dan memungkinkan rantai-rantai polimer bergerak lebih cepat, menghasilkan peningkatan fleksibilitas, kelunakan, dan elongasi dari PVC.
- b. Teori gel memperluas teori lubrikasi. memposisikan molekul *plasticizer* menghancurkan pelekatan dan interaksi resin-resin, mencegah reformasi.
- c. Teori volume bebas memperhitungkan ruang kosong internal yang ada pada polimer untuk pergerakan rantai polimer yang memberikan fleksibilitas kepada resin. Dimana resin rigid, semisal uPVC (*unplasticised* PVC) memiliki sedikit volume bebas. Ruang bebas yang rendah ini menyebabkan molekul tidak dapat bergerak dengan mudah. Ketika polimer dipanaskan di bawah suhu T_g energi panas dan gerak molekul menciptakan tambahan ruang bebas yang menyebabkan molekul dapat bergerak lebih cepat. Keberadaan *plasticizer* dengan sifat berat molekulnya yang jauh lebih rendah dari resin, memiliki kemampuan untuk memberikan volume bebas yang lebih besar di dalam material [8].

Berdasarkan teori-teori di atas, mekanisme plastisasi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Plasticizer* dicampur dengan resin dan aditif lain dengan blender berkecepatan tinggi.

2. *Plasticizer* melakukan penetrasi ke pori-pori butir resin-resin dan pengembangan (*swelling*) terjadi.
3. Grup polar dari resin PVC dibebaskan satu sama lain
4. Grup polar *plasticizer* berikatan dengan grup polar resin.
5. struktur resin dibangun ulang, dengan *plasticizer* yang telah menyatu di dalam matriks.

2.2.2 Sifat Fisik *Plasticizer*

Sifat-sifat ini penting untuk beberapa alasan, termasuk efek terhadap performa, ekonomis, penyimpanan dan penanganan. Pengukuran sifat fisik tertentu bisa juga sangat membantu pada kontrol kualitas dan identifikasi produk.

- a. Warna. Perbedaan kecil warna pada *plasticizer* biasanya tidak mempengaruhi formulasi PVC. Bagaimanapun, peningkatan warna yang signifikan bisa menjadi indikasi produk terkontaminasi, ini bisa saja disebabkan pengaruh terhadap panas, kestabilan cahaya atau sifat kelistrikan.
- b. *Specific Gravity*. Karena ini memiliki efek yang signifikan terhadap biaya. ini adalah sifat yang penting untuk *plasticizer*. Sebagai tambahan, ini adalah tes sensitif untuk kontrol kualitas dan bisa berguna untuk identifikasi suatu *plasticizer* yang tidak dikenal. Ini juga penting untuk mendesain fasilitas penyimpanan.
- c. Viskositas. Sifat ini memiliki efek signifikan terhadap *dry blending* dan reologi plastik. Ini juga penting untuk mendesain fasilitas penyimpanan
- d. Indeks Bias. Ini adalah tes termudah yang bisa dilakukan dan mampu mendeteksi kontaminasi atau produk yang tidak benar.
- e. *Flash Point dan Pour Point*. Data-data ini penting dalam mendesain dan menangani fasilitas penyimpanan.

2.2.3 Jenis-jenis *Plasticizer*

Berbagai Jenis *plasticizer* diproduksi oleh beberapa perusahaan kimia. *Plasticizer* utama yang digunakan pada PVC fleksibel adalah senyawa *phtalate*. Penggunaannya mencapai 95% pasar *plasticizer* PVC. Berbagai *plasticizer* alternatif juga digunakan seperti sitrat (lebih mahal dibanding *phtalate* sehingga

digunakan sangat sedikit saat ini), *adipate*, benzoat, *trimellitate*, dan *chlorinated paraffin* rantai panjang.

Pertimbangan pemilihan *plasticizer* untuk aplikasi spesifik sangat bergantung dari aplikasi yang diinginkan, sifat fisik seperti *volatility*, kompatibilitas, performa temperatur tinggi atau rendah, viskositas, dan tentu harga. Tidak ada satupun *plasticizer* yang ideal untuk semua aplikasi. *Plasticizer* monomerik modern untuk PVC merupakan sintesis senyawa kimia organik: ester, seperti *adipate* dan *phtalate*. Diantara yang paling banyak digunakan adalah:

- DEHP (di-(2-ethylhexyl) *phtalate*), lebih dikenal dengan nama DOP. DOP adalah *plasticizer* yang paling banyak digunakan. DOP diterima untuk aplikasi medis (misalnya kantong darah), meski kini ada semacam pelarangan karena pertanyaan seputar toksitas dari DOP.
- DIDP (di-isodecyl *phtalate*) dan DINP (di-isononylphthalate). Penggunaan senyawa *phtalate* ini telah berkembang pada 5 tahun terakhir dan total kombinasi keduanya sekarang adalah yang paling banyak digunakan.
- DEHA (di-(2-ethylhexyl) *adipate*).
- TOTM (trioctyl *trimellitate*).

Plasticizer monomerik bisa dikategorikan berdasarkan performanya sebagai berikut:

- a. *General Purpose (GP)*: *Plasticizer* memberikan fleksibilitas yang diinginkan sepanjang memenuhi sifat optimum dengan harga terendah. Contohnya senyawa *dialkyl phtalates* mulai dari *diisoheptyl* (DIHP) sampai *diisodecyl* (DIDP).
- b. *Performance Purpose (PP)*: menyumbangkan sifat sekunder yang dibutuhkan oleh PVC fleksibel di bawah tipe (GP). Sifat-sifat yang dapat dimiliki oleh tipe ini seperti pelarut kuat, temperatur rendah, dan daya uap rendah. Tipe pelarut kuat memiliki polaritas yang lebih tinggi. Sebaliknya, tipe temperature rendah seperti *aliphatic dibasic ester* lebih rendah daya melarutkannya dan lebih tinggi daya difusinya. Tipe daya uap rendah membutuhkan *plasticizer* dengan berat molekul tinggi, seperti *trimellitates* dan *polyester*.

- c. *Specialty Plasticizers* (SP): *plasticizer* jenis ini memiliki sifat kimia yang khusus seperti kestabilan dan tahan api. Beberapa jenis *phtalates* memenuhi kebutuhan khusus ini.

Berdasarkan kompatibilitas dan kecepatan *gelation time*, *plasticizer* bisa juga dibagi kepada tipe utama (*primary*), kedua (*secondary*) dan *tertiary*. Tipe *primary* digunakan sebagai komponen utama sistem *plasticizer*. Tipe *secondary* biasanya dicampur dengan *plasticizer primary* untuk meningkatkan performa tertentu atau untuk mengurangi biaya. Tipe utama memiliki kompatibilitas tinggi dan pembentukan gel yang cepat serta tak akan migrasi dari sistem, contohnya DOP. Tipe kedua memiliki kompatibilitas dan pembentukan gel terbatas tetapi memiliki daya melarutkan yang tinggi. Sedangkan tipe *tertiary* memiliki kompatibilitas dan kecepatan *gelation* buruk.

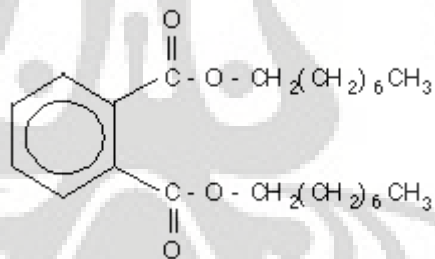
Grup terpenting *plasticizer* dari apa yang telah disebutkan di atas adalah:

- a. *Phtalate*: kelompok *plasticizer* yang paling banyak digunakan secara luas. Senyawa *phtalate* memiliki kompatibilitas yang baik, perilaku proses yang luar biasa, fleksibilitas temperatur rendah, *volatility* rendah, stabilitas panas dan cahaya, dan biasanya harganya murah. Biasanya *phtalate* dipertimbangkan sebagai formulasi awal semua jenis PVC.
- b. *Aliphatic Diester*: ester dari senyawa asam alifatik *dicarboxylic* (*adipate*, *azelate*, *sebacate*) memberikan fleksibilitas temperatur rendah yang luar biasa. Seperti senyawa *phtalate*, *volatility*, kompatibilitas, dan sifat larut menurun seiring peningkatan berat molekul asam.
- c. *Phosphate*: ester dari asam *phosphoric* digunakan sebagai *plasticizer* pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan bakar (*flame resistance*) contohnya *triaryls* dan *tryalkyls*.
- d. *Epoxide*: *plasticizer epoxy* digunakan karena kestabilannya terhadap panas dan cahaya.
- e. *Plasticizer Polimerik*: reaksi *dihydril alcohol* dengan asam *dicarbolyic* menghasilkan *polyester* dengan berat molekul tinggi. Jenis *plasticizer* ini memiliki kelebihan pada *volatility* yang rendah dan ketahanan ekstraksi (keluar dari formula) dari berbagai media. Biasanya digunakan pada aplikasi insulasi listrik temperatur tinggi.

- f. *Trimellitates: plasticizer* komersial jenis ini diproduksi dengan esterifikasi *trimellitic anhydride* dengan *2-ethylhexyl* atau alkohol *isononyl*. Memiliki kelebihan pada penggunaan aplikasi listrik temperatur tinggi. Juga memiliki ketahanan ekstraksi baik dari media cair dan non-cair.

2.2.4 Dioctyl Phthalate (DOP)

Dioctyl Phthalate (DOP) atau *di-(2-ethylhexyl) phthalate* (DEHP) adalah salah satu jenis *plasticizer* yang paling luas digunakan untuk berbagai aplikasi. DOP pertama kali diperkenalkan secara komersial pada 1949 dan produksinya meningkat semenjak itu. Penggunaan *plasticizer* jenis *phthalate* mencapai 92% penggunaan *plasticizer* dan Eropa memproduksi jutaan ton per tahun dengan pertumbuhan 3,7% per tahunnya dengan penggunaan jenis DOP mencapai 51% [9]. Konsumsi DOP di Eropa Barat saja sekitar 400.000 sampai 500.000 *metric ton* pada akhir tahun 1990-an. Produksi DOP di Amerika Serikat dan Jepang sekitar 125.000 *metric ton* per tahun [10]. Struktur kimia DOP ditunjukkan oleh Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Struktur kimia *Dioctyl Phthalate* [11].

DOP mampu memberikan *gelation* yang baik, cenderung tidak menguap di bawah panas dan memberikan sifat listrik dan campuran dengan elastisitas tinggi dengan ketahanan dingin yang mumpuni [12]. DOP merupakan jenis *plasticizer* yang sering dipilih untuk aplikasi medis. Karena sifat-sifatnya yang mampu mempertahankan fleksibilitas pada temperature rendah, dipadu dengan ketahanan terhadap proses sterilisasi bertemperatur tinggi. Dengan sifat-sifat DOP yang khas, banyak variasi formulasi yang bisa dibuat, mulai dari bentuk *glassy* sampai komposisi lunak, dengan fleksibilitas tinggi.

2.2.4.1 Proses Produksi DOP

Semua produsen ester *phthalate* menggunakan proses serupa. DOP diproduksi dengan reaksi esterifikasi *phthalic anhydride* dengan 2-etil-hexanol. Reaksi ini terjadi dalam dua langkah berkesinambungan. Langkah pertama menghasilkan pembentukan monoester dengan reaksi alkoholis asam *phthalic*. Proses ini berlangsung sangat cepat. Langkah kedua melibatkan konversi dari monoester ke di-ester. Ini adalah reaksi reversibel dan berlangsung lebih lambat dari reaksi pertama. Reaksi esterifikasi *phthalic anhydride* dengan 2-etil-hexanol ditunjukkan oleh rumus berikut ini:



Untuk mencapai keseimbangan di-ester, air reaksi dikeluarkan dengan proses penyulingan. Tergantung pada katalis yang digunakan, suhu di kedua langkah bervariasi dari 140 °C sampai 165 °C dengan katalis asam dan dari 200 °C sampai 250 °C dengan katalis *amphoteric*. Variasi kemurnian mungkin terjadi tergantung dari katalis, reaktan alkohol dan jenis proses. Kelebihan alkohol akan di daur ulang dan DOP dimurnikan dengan penyulingan vakum atau arang aktif. Urutan reaksi dilakukan dalam sistem tertutup.

2.2.4.2 Dampak Lingkungan DOP

DOP memiliki tekanan uap rendah, akan tetapi temperatur proses PVC cenderung tinggi, sehingga dapat memicu DOP terlepas ke lingkungan, meningkatkan resiko kesehatan. DOP dapat diserap oleh makanan dan minuman. Level yang lebih tinggi pernah ditemukan di dalam susu dan keju. DOP juga dapat terserap ke air yang kontak langsung dengan plastik. DOP dapat terekstraksi lebih cepat pada larutan nonpolar seperti makanan yang mengandung minyak dan lemak yang dibungkus dengan PVC. *Food and Drug Administration* (FDA) hanya mengizinkan penggunaan DOP pada kemasan PVC untuk makanan yang kandungan utamanya air.

2.2.4.3 Penggunaan DOP

DOP banyak digunakan untuk berbagai aplikasi PVC karena DOP merupakan *general plasticizer* dan juga murah. Contoh penggunaan DOP pada PVC untuk aplikasi kabel, lantai, dinding, sepatu, dll.

DOP juga banyak digunakan pada bidang kesehatan seperti kantung darah, tabung dialisis, tabung transfusi, dan tabung udara. Namun penggunaan DOP untuk bidang kesehatan mendapat perhatian serius dari berbagai kalangan disebabkan adanya kemungkinan terlepasnya DOP yang memiliki potensi racun bagi manusia. *American Academy of Pediatrics* telah menetapkan untuk tidak menggunakan peralatan kesehatan mengandung DOP, akan tetapi menggunakan peralatan alternatif yang bebas DOP.

2.3 Aditif-aditif untuk PVC

Sebagaimana disebut sebelumnya, resin PVC tidaklah stabil. Oleh karena itu perlu dikombinasikan dengan berbagai aditif khusus yang mampu menstabilkan dan menghasilkan sifat yang beraneka ragam. Proses pengkombinasian PVC dengan aditif-aditifnya disebut dengan *compounding*. Biasanya PVC dicampur dengan berbagai aditifnya pada *mixer* berkecepatan tinggi. Kemudian campuran ini dimasukkan pada *extruder* untuk dilelehkan agar homogen kemudian lelehan tersebut dilewatkan *die* membentuk benang-benang dan dipotong-potong menjadi pelet-pelet kecil oleh pemotong yang terintegrasi.

PVC memiliki *grade* yang beragam disesuaikan dengan aplikasi. Formulasi untuk setiap *compounding* tentu berbeda antara pelet yang satu dengan yang lain. Perbedaan ini juga terkait proses fabrikasi yang nanti dilakukan. Ada *grade* untuk *injection molding*, ekstrusi, *calendering*, *blow molding* dan lain-lain.

Ada dua tipe utama aditif yang digunakan untuk PVC: *functional additives* dan *optional additives*. Sebagai tambahan ada sejumlah aditif yang esensial dalam mengubah PVC dari monomernya yang dikenal dengan *polymerisation aids* juga dikenal sebagai *polymerisation initiator*, digunakan dalam proses polimerisasi PVC contohnya *polyvinyl Alcohol* dan *potassium persulphate*.

2.3.1. *Functional Additives*

Ketika resin PVC telah diproduksi, maka *functional additives* dicampurkan selama proses compounding. Ini sangat penting bagi semua jenis material PVC untuk menjaga integritas dari plastik. Ada tiga kategori penting *functional additives*: *Stabilizer* (juga dikenal *heat stabilizer*), *lubricant* dan untuk fleksibilitas PVC yaitu *plasticizer*.

- a. *Stabilizer* penting untuk semua formulasi PVC karena mampu mencegah dekomposisi PVC oleh panas dan geseran selama proses. Selain itu juga berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap cuaca dan sinar UV.
- b. *Lubricant* digunakan untuk mengurangi friksi selama proses. *Lubricant* eksternal mengurangi friksi antara PVC dan peralatan, sedangkan *lubricant* internal berfungsi mengurangi friksi antara butir-butir PVC. Aditif lain bisa juga memiliki efek *lubricant*, seperti beberapa *heat stabilizer* dan antioksidan.
- c. *Plasticizer* mengurangi ikatan polar antara molekul PVC, membuat PVC lebih fleksibel dan mudah untuk ditangani dan diproses.

2.3.2 *Optional Additives*

Optional Additives tidak terlalu esensial untuk integritas plastik, tetapi digunakan untuk memperoleh sifat tertentu. Beberapa aditif bisa ditambahkan ke formulasi ketika efek spesial dibutuhkan untuk aplikasi khusus. Aditif ini meliputi:

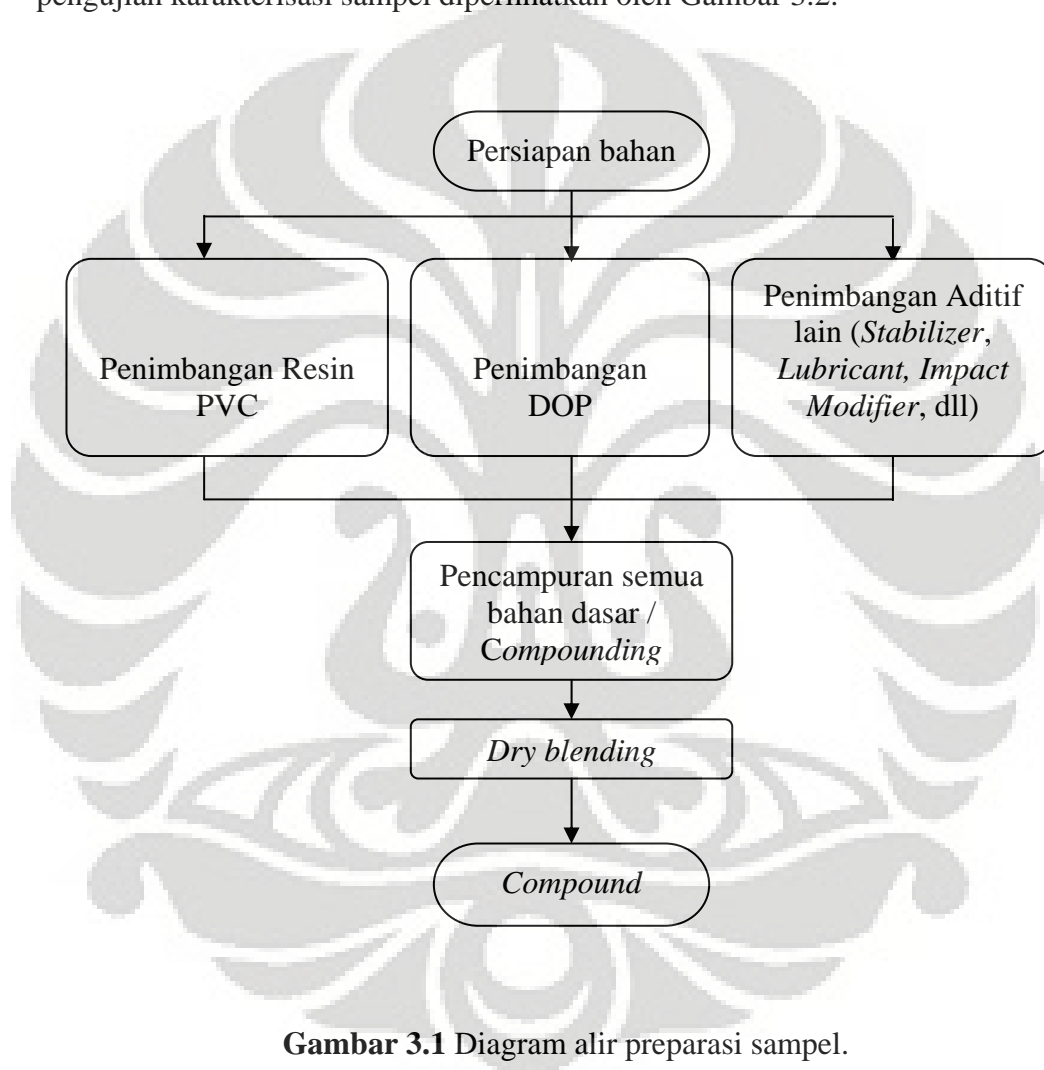
- a. *Impact Modifier* memanfaatkan molekul besar yang sesuai dengan matriks PVC dan membantu PVC dalam menyerap guncangan tanpa mengalami kerusakan.
- b. *Filler*, biasanya tidak mahal. Merupakan material inert yang menambah *bulk* (komposisi) dari plastik. Kalsium karbonat baik sendiri atau dilapisi dengan asam *stearic* adalah *filler* yang paling banyak digunakan pada *compounding* PVC di dunia mencapai 90% penggunaan.
- c. *Nitrile rubber*, dicampurkan ke PVC untuk mendapatkan produk akhir dengan sifat seperti karet (*rubbery*)
- d. Pigmen atau *Colorant*, ditambahkan untuk estetika produk, dll.

BAB 3

METODE PENELITIAN

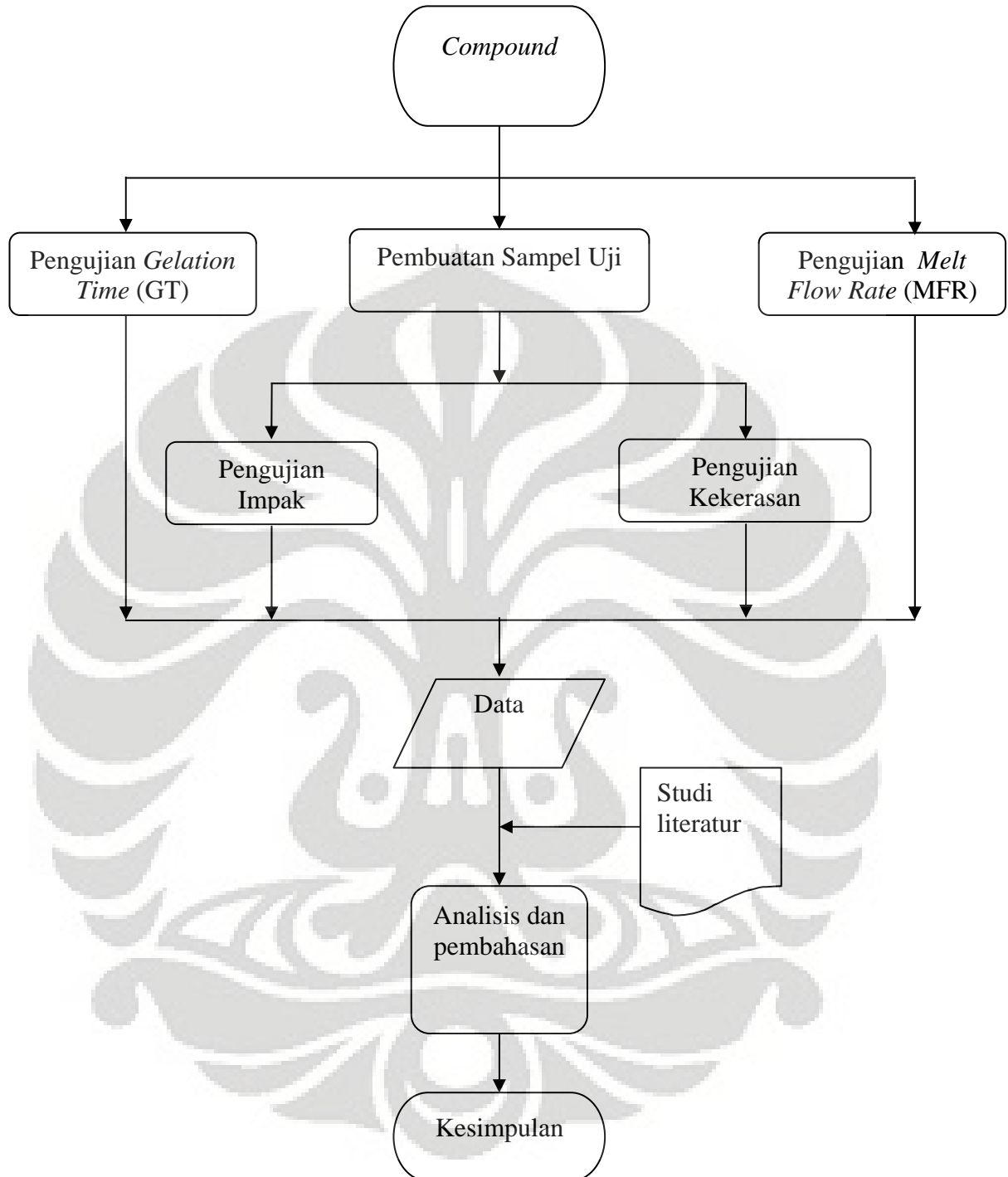
3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 di bawah ini menunjukkan diagram alir preparasi dan pembuatan sampel secara umum pada penelitian ini. Sementara itu, diagram alir pengujian karakterisasi sampel diperlihatkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram alir preparasi sampel.

Diagram alir pengujian karakterisasi sampel secara umum pada penelitian ini:



Gambar 3.2 Diagram alir pengujian sampel.

3.2 Komposisi Bahan

Pada pengujian ini resin Polivinil Klorida (PVC) ditambahkan *dioctyl phthalate* (DOP) dengan kandungan dalam satuan phr (*part per hundred*) yang

bervariasi untuk mengetahui pengaruhnya. Aditif lain ditambahkan guna mempermudah proses. Tabel 3.1 di bawah ini menunjukkan komposisi dari resin, *plasticizer* dan zat aditif lain yang ditambahkan untuk setiap formulasi.

Tabel 3.1 Komposisi setiap formulasi





Bahan	Satuan	Kandungan DOP (phr)					
		0	2	4	6	8	10
Resin PVC	gr	400	400	400	400	400	400
DOP	gr	0	8	16	24	32	40
<i>Impact Modifier</i>	phr	15	15	15	15	15	15
	gr	60	60	60	60	60	60
<i>Internal Lubricant</i>	phr	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	gr	1	1	1	1	1	1
<i>External Lubricant</i>	phr	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	gr	2	2	2	2	2	2
<i>Processing Aid</i>	phr	1	1	1	1	1	1
	gr	4	4	4	4	4	4
<i>Heat Stabilizer A</i>	phr	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	gr	2	2	2	2	2	2
<i>Heat Stabilizer B</i>	phr	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	gr	6	6	6	6	6	6
<i>Heat Stabilizer C</i>	phr	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	gr	6	6	6	6	6	6

3.3 Peralatan dan Bahan


3.3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.2 di bawah ini:


Tabel 3.2 Peralatan dan spesifikasinya.

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
Timbangan Digital	<i>Mettler PM600</i> di Laboratorium PVT Asahimas Chemical	
<i>Dry Mixer</i>	Labo Plastomill (Toyoseki, Jepang) di Laboratorium PVT Asahimas Chemical	
<i>Melt Indexer</i>	Melt Indexer L244-2581 (Takara, Japan) di Laboratorium PVT Asahimas Chemical	
<i>Rheomix</i>	Haake Rheomix OS (Thermo Electron Corp.) di Laboratorium PVT Asahimas Chemical	

Tabel 3.2 Peralatan dan spesifikasinya (lanjutan).

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
<i>Hydraulic Hot Press</i>	<i>Collin P300E</i> di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	
Mesin Uji Impak	Zwick Roell Impact Tester HIT25P di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	
<i>Rolling Machine</i>	LabTech Rolling Machine di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	
Mesin Uji Kekerasan	Zwick Roell Durometer di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	

Tabel 3.2 Peralatan dan spesifikasinya (*lanjutan*).

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
Mesin Uji Tarik	Tensile Meter (Humsfield, Inggris) di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	
<i>Notcher</i>	Zwick Roell Notching Machine di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	
Cetakan <i>Hot Press</i>	Cetakan Hot Press untuk Sampel uji impak dan uji kekerasan di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	
Pencetak <i>Dog Bone Uji Tarik</i>	Pencetak Dog Bone tipe IV di Laboratorium PVT Asahimas Chemichal	

3.3.2 Bahan-Bahan

3.3.2.1 Polivinil klorida (PVC)

Polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah resin PVC ASNYL[®] yang diproduksi oleh PT. Asahimas Chemical Indonesia. Tabel 3.3 di bawah ini merupakan karakteristik dari PVC yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.3 Karakteristik resin PVC ASNYL[®].

Kode	FJ65R	
Nama Produk	PVC ASNYL [®]	
	Sifat-Sifat	Satuan
<i>Bulk Density</i>	0,549	gr/ml
<i>Volatile Matter</i>	0.09	%
<i>Foreign Matter</i>	8	pcs/100 gr
<i>Residual VCM</i>	0,1	ppm wt

PVC ASNYL[®] FJ65R adalah PVC dengan nilai *K-value* sebesar 65. Artinya, PVC jenis ini merupakan PVC dengan *grade unplasticised extrusion*. Aplikasi yang paling sering digunakan untuk PVC jenis ini adalah pipa *rigid*.

3.3.2.2 Diocthyl Phthalate (DOP)

Penelitian ini menggunakan DOP sebagai *plasticizer*. Karakteristik dari DOP ditunjukkan oleh Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Karakteristik DOP [13].

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Cairan bening
Massa molar	390,56
Titik leleh	-50°C
Titik didih	384 °C
<i>Specific gravity</i>	0,986
Kelarutan dalam air	Tak larut

3.3.2.3 *Impact Modifier*

Impact Modifier yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Impact Modifier B621* yang berfungsi untuk menaikkan ketahanan terhadap impak. B621 digunakan untuk aplikasi lembaran, lapisan tipis dan pelat [14].

3.3.2.4 *Lubricant*

Penelitian ini menggunakan dua jenis *lubricant* (pelumas) yaitu pelumas internal dan pelumas eksternal. Pelumas internal yang digunakan adalah *Loxiol® GH4* sedangkan pelumas eksternal yang digunakan adalah *Loxiol® G78*. Kedua jenis pelumas ini biasa digunakan untuk aplikasi *PVC rigid* [15].

3.3.2.4 *Processing Aid (PA)*

PA yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *PA-20*. Karakteristik dari *PA-20* ditunjukkan oleh Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Karakteristik *Processing Aid* PA-20 [16].

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Serbuk Putih
<i>Particle size distribution</i>	0,2-30,1
<i>Volatile Content</i>	0,5
<i>Specific viscosity</i>	1
<i>Specific gravity</i>	0,553

3.3.2.5 Heat Stabilizer

Dalam penelitian ini digunakan tiga jenis *heat stabilizer* yaitu TM181, barium stearat ($\text{Ba}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$) dan normal lead stearat ($\text{Pb}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$). Karakteristik *heat stabilizer* TM181 ditunjukkan oleh Tabel 3.6 di bawah ini. Karakteristik barium stearat ditunjukkan Tabel 3.7 di bawah ini. Karakteristik normal lead stearat ditunjukkan Tabel 3.8 di bawah ini.

Tabel 3.6 Karakteristik *Heat Stabilizer* TM181 [17].

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Cairan Bening
<i>Specific viscosity</i>	50
<i>Specific gravity</i>	1,17
Refractive Index	$1,509 \pm 0.002$

Tabel 3.7 Karakteristik *Heat Stabilizer* Barium Stearat [18].

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Serbuk putih
Titik leleh	$> 200^\circ\text{C}$
<i>Specific gravity</i>	1,2
Berat molekul	704,28
Kelarutan	Sedikit larut dalam air

Tabel 3.8 Karakteristik *Heat Stabilizer Normal Lead Stearat* [19].

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Serbuk putih
Titik leleh	104 - 108 °C
<i>Specific gravity</i>	1,4
Berat molekul	774
Kelarutan	sedikit larut dalam air

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi dan Pembuatan Sampel

3.4.1.1 Penimbangan

Pertama bahan-bahan ditimbang untuk mendapatkan takaran sesuai formulasi pada Tabel 3.1 di atas. Penimbangan pelet PVC, DOP dan zat aditif lain dilakukan dengan timbangan digital *Mettler* PM600. Hasil takaran ditempatkan pada wadah gelas beker dan plastik.

3.4.1.2 Pencampuran (*Compounding*)

Proses pencampuran bahan-bahan dilakukan dengan metode *dry blending* menggunakan Labo Plastomill. Proses ini dilakukan sebagai tahap awal sebelum dilanjutkan ke proses berikutnya yaitu *calendering* dan *hot pressing* atau langsung digunakan untuk pengujian sifat proses. Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pencampuran:

- Masing-masing bahan ditimbang sesuai dengan paduan komposisi yang ditentukan yaitu 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 phr.
- Konsentrasi Resin PVC ditetapkan 400 gr, sehingga DOP yang digunakan berturut-turut 0, 8, 16, 24, 32, dan 40 gr.
- *Mixer* dihidupkan. Suhu diatur pada 100 °C dan kecepatan putaran rotor 60 rpm.
- Kertas *chart* diatur.
- 400 gr resin PVC dituang ke *mixer* kemudian dilakukan *Pre-heating* selama 3 menit.
- Setelah 3 menit, DOP dimasukkan diikuti dengan zat aditif lainnya.

- Setelah itu dilihat waktu mulai dari DOP dimasukkan hingga menyatu dengan resin (*dry up*) dengan melihat grafik pada kertas *chart*.
- Percobaan diulangi untuk tiap konsentrasi DOP yang berbeda

3.4.1.3 Pembuatan Lembaran (*Hot Rolling*)

Campuran PVC yang telah ditambahkan DOP dan berbagai aditif lain dicetak dalam bentuk lembaran dengan proses *calendering* pada mesin *rolling*. Suhu diatur pada 150 °C dengan ketebalan 0,6 mm.

3.4.1.4 Pencetakan Pelat (*Compression Molding*)

Lembaran hasil *calendering* kemudian dibentuk melalui proses *hot pressing* ke bentuk sampel siap cetak. Kemudian pelat tersebut dibuat menjadi Sampel uji kekerasan dan uji ketahanan impak.

3.4.1.5 Pengujian *Melt Flow Rate* (MFR)

Pengujian *Melt Flow Rate* (MFR) dilakukan dengan menggunakan campuran yang didapat dari proses *dry blending* dengan mengacu pada ASTM D3364. Langkah-langkah pengujian MFR adalah sebagai berikut:

- Formulasi dibuat berdasarkan komposisi yang sudah ditentukan.
- Diambil 40 gr untuk setiap sampel.
- *Melt Indexer* dihidupkan dan diatur konstan pada suhu 185 °C.
- Sampel dimasukkan ke tabung *melt indexer* dengan bantuan corong.
- Dilakukan *pre-heating* selama 2 menit, sementara itu beban 10 kg dipersiapkan.
- Setelah 2 menit beban dilepaskan.
- Waktu dihitung sampai satu menit. Sampel yang keluar pada menit pertama tidak diambil.
- Pada menit kedua, sampel diambil.
- Sampel kemudian ditimbang.
- Percobaan dilakukan tiga kali untuk formulasi yang sama.
- Setiap pergantian pengisian tabung, pipa tabung harus selalu dibersihkan.

Uji MFR dilakukan untuk mengetahui laju alir dari suatu material. Ini berkaitan erat dengan viskositas dari suatu material. Semakin kecil viskositasnya, semakin cepat laju alirnya. Sebaliknya, material dengan viskositas tinggi akan sulit untuk melakukan pergerakan sehingga laju alirnya rendah.

3.4.1.6 Pengujian *Gelation Time (GT)*

Pengujian *gelation time* ini mengacu pada ASTM D2538. *Gelation time* atau *fusion time* adalah suatu proses dimana gumpalan, partikel utama, domain, dan microdomain PVC melekat bersama-sama selama proses. Kemudahan proses *gelation* berhubungan dengan polaritas dan ukuran molekul *plasticizer*. Semakin besar polaritas, semakin besar pula daya tarik terhadap rantai-rantai polimer dan membutuhkan hanya sedikit energi tambahan. Kebanyakan *plasticizer* aktif mampu melakukan efek ini segera setelah suhu gelas (T_g) dari polimer ($70-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) dicapai, dimana *plasticizer* yang kurang aktif membutuhkan suhu sekitar $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ agar sifat elongasi maksimum dapat dicapai [20]. Berikut ini adalah langkah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai *gelation time*:

- Setiap formulasi dibuat sesuai dengan takarannya.
- Komputer pengendali dihidupkan.
- Mesin rheomix dihidupkan .
- Pada komputer kendali, waktu diatur 10 menit, suhu $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan putaran 40 rpm.
- Setelah semua kondisi diatur, sampel siap dimasukkan .
- Setelah 10 menit, pada komputer dihasilkan garfik yang bisa digunakan untuk mengetahui *gelation* atau *fusion time*.

Mekanisme terjadinya *gelation* sendiri adalah sebagai berikut:

1. *Plasticizer* melakukan penetrasi ke pori-pori butir resin-resin dan pengembangan (*swelling*) terjadi.
2. Grup polar dari resin PVC dibebaskan satu sama lain .
3. Grup polar *plasticizer* berikatan dengan grup polar resin.
4. Struktur resin dibangun ulang, dengan *plasticizer* yang telah menyatu di dalam matriks.

3.4.1.7 Pengujian Kekerasan

Makna nilai kekerasan suatu material berbeda untuk kelompok bidang ilmu yang berbeda. Bagi insinyur metalurgi nilai kekerasan adalah ketahanan material terhadap penetrasi sementara untuk para insinyur disain nilai tersebut adalah ukuran dari tegangan alir, untuk insinyur lubrikasi kekerasan berarti ketahanan terhadap mekanisme keausan, untuk para insinyur mineralogi nilai itu adalah ketahanan terhadap goresan, dan untuk para mekanik *work-shop* lebih bermakna kepada ketahanan material terhadap pemotongan dari alat potong. Begitu banyak konsep kekerasan material yang dipahami oleh kelompok ilmu, walaupun demikian konsep-konsep tersebut dapat dihubungkan pada satu mekanisme yaitu tegangan alir plastis dari material yang diuji.

Dari uraian singkat di atas maka kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*scratching*), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji.

Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode uji kekerasan *durometer tipe A* yang mengacu pada ASTM D2240. Uji kekerasan durometer adalah salah satu jenis pengujian kekerasan yang banyak digunakan untuk mengukur kekerasan relatif dari suatu material polimer yang lunak. Metode uji didasarkan pada penetrasi sebuah penjejak (*indenter*) kepada benda uji di bawah kondisi tertentu. Ada dua tipe pengujian durometer yaitu tipe *shore A* dan tipe *shore D*. Perbedaan mendasar keduanya adalah pada bentuk dan dimensi dari penjejak. *Shore A* digunakan untuk polimer yang lunak sedangkan *shore D* untuk polimer yang keras [21].

Alat uji durometer terdiri dari alat penekan, penjejak, dan perangkat penjejak. Ketebalan minimal untuk pengujian ini adalah sekitar 6 mm. Pengujian dilakukan dengan meletakkan benda uji pada permukaan mendatar. Kemudian penjejak dilepaskan. Durometer secara otomatis akan menampilkan nilai kekerasan segera setelah terjadi kontak antara penjejak dengan benda uji.

3.4.1.8 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan

pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi pada *bumper* mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan.

Pengujian impak ini menggunakan metode *charpy* mengacu pada ASTM D6110. Pada pengujian impak, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan *Joule* dan dibaca langsung pada skala (*dial*) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode Charpy diberikan oleh :

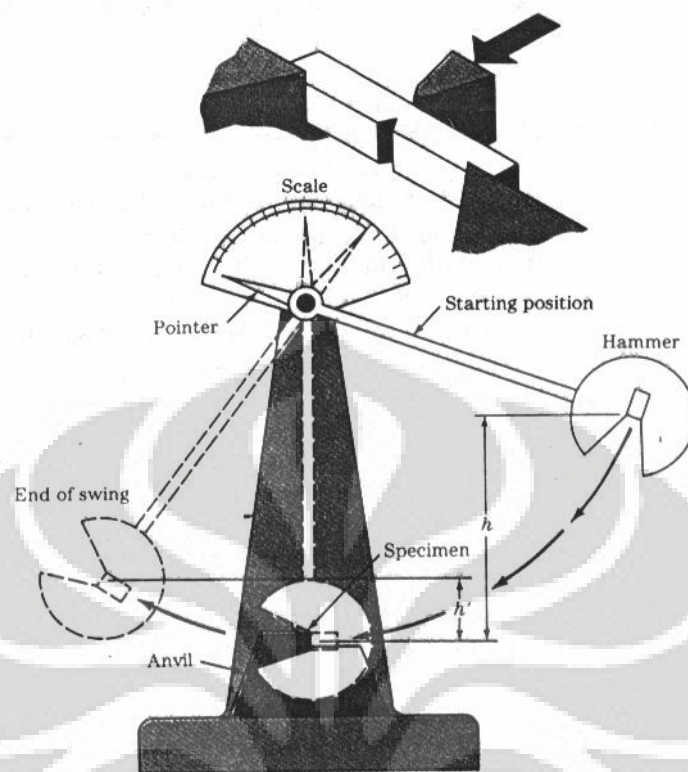
$$HI = E / A \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana E adalah energi yang diserap dalam satuan *Joule* dan A luas penampang di bawah takik dalam satuan mm² [22].

Langkah-langkah pengujian impak ini adalah sebagai berikut:

- Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar. Bagian yang bertakik menghadap beban.
- Penahan beban dilepaskan.
- Ketahanan impak dilihat langsung pada skala.
- Pengujian diulangi sampai 3 kali untuk setiap benda uji.

Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Gambar 3.3 di bawah ini memberikan ilustrasi suatu pengujian impak dengan metode Charpy:



Gambar 3.3 Ilustrasi Skematis Pengujian Impak dengan benda uji Charpy [23]

Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu: batang uji **Charpy** sebagaimana telah ditunjukkan pada Gambar 3.3 di atas, banyak digunakan di Amerika Serikat dan batang uji **Izod** yang lazim digunakan di Inggris dan Eropa. Benda uji Charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10×10 mm) dan memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45° , dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul, sebagaimana telah ditunjukkan oleh Gambar 3.1 di atas.

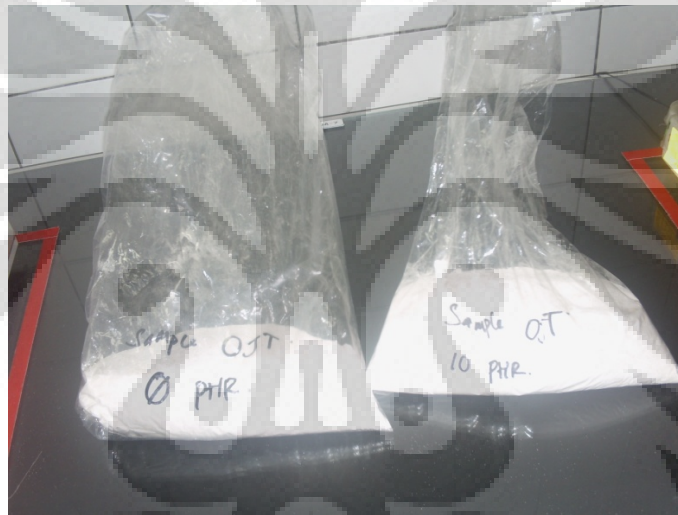
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Preparasi Sampel

4.1.1 Hasil Pencampuran

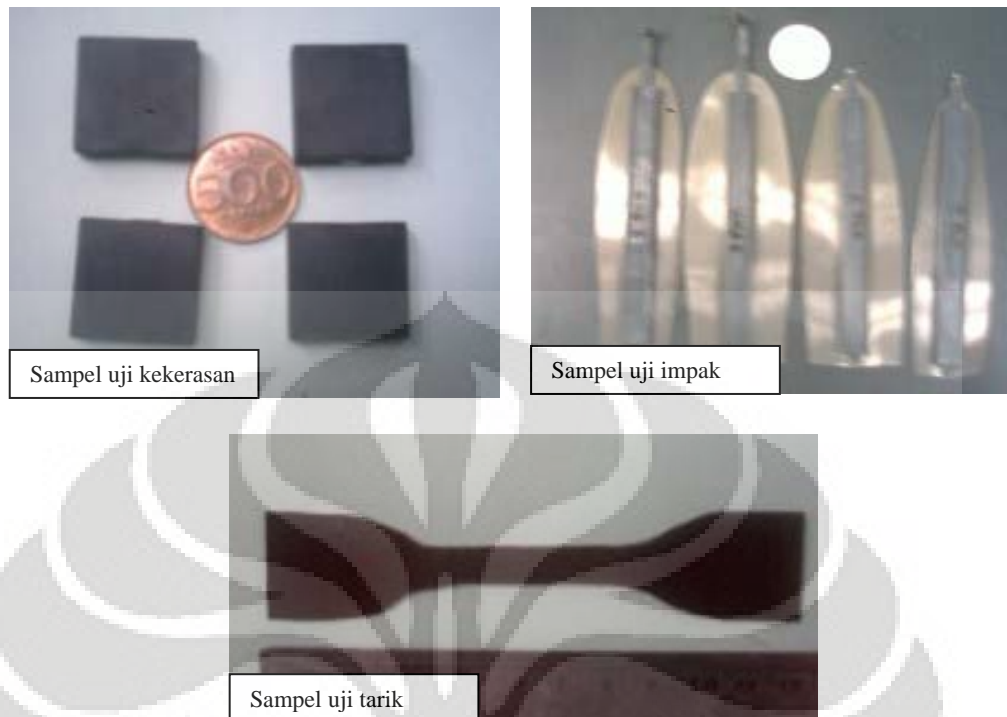
Hasil pencampuran resin PVC, DOP, dan aditif-aditif lainnya berbentuk serbuk putih seperti ditunjukkan Gambar 4.1 di bawah ini. Tidak terlihat perbedaan yang mencolok dari segi warna dan ukuran butiran antara campuran formulasi sampel yang satu dengan yang lainnya.



Gambar 4.1 Hasil Pencampuran (*Compounding*).

4.1.2 Hasil Pembuatan Sampel Uji Mekanik

Sampel Uji kekerasan didapat dengan teknik hot pressing dengan dimensi 25 mm x 25 mm x 6 mm dan Sampel uji impak dibuat dengan teknik hot pressing dengan dimensi 125 mm x 13 mm x 4,1 mm. Setelah itu dibuat *notch* dengan *notcher*. Sedangkan sampel uji tarik berbentuk *dog-bone* tipe IV sesuai standar ASTM D 638 [24]. Foto ketiga sampel bisa dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.

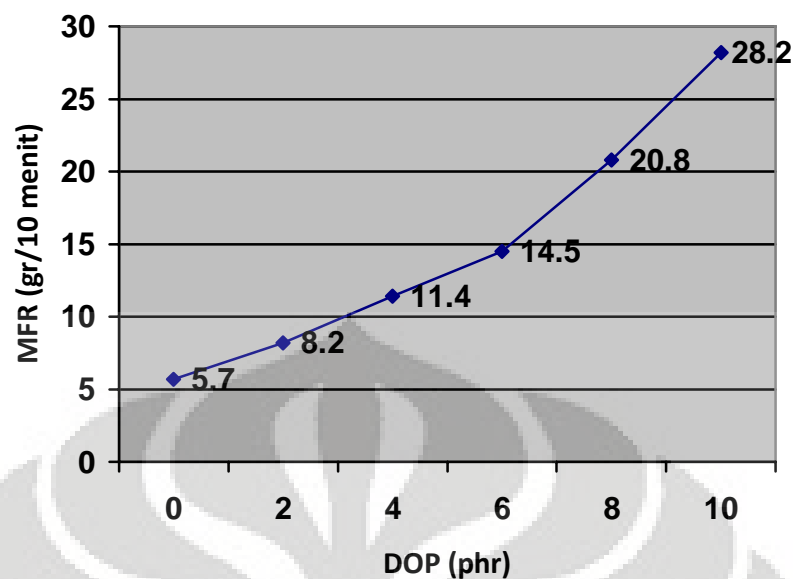


Gambar 4.2 Sampel Uji Mekanik

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Hasil Pengujian *Melt Flow Rate* (MFR)

Mengetahui kecepatan laju alir (*melt flow rate*/MFR) amatlah penting karena dengannya bisa diketahui kecepatan dan efektifitas proses dari suatu bahan. Hasil pengujian MFR ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Perhitungan data mentah dari uji MFR dapat dilihat pada Lampiran 1.

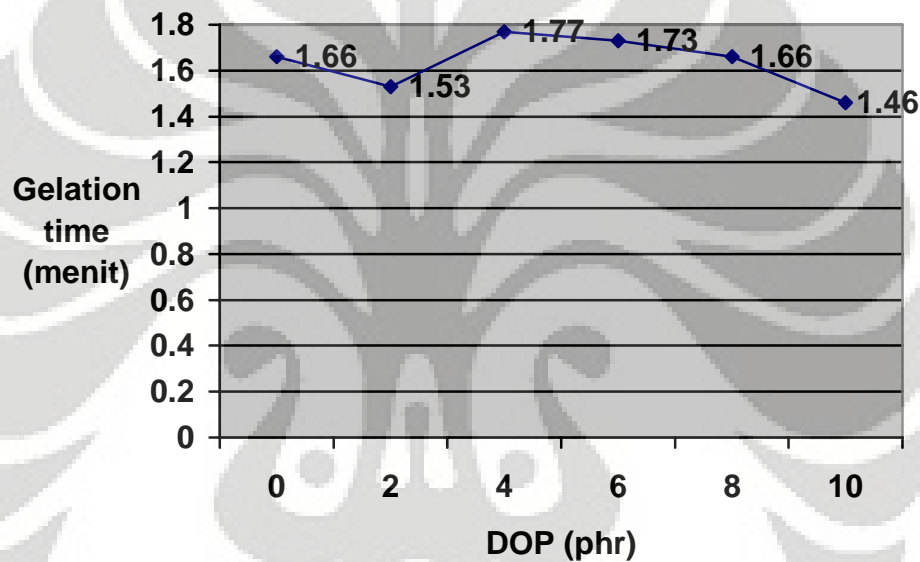


Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai MFR untuk setiap formulasi.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa MFR meningkat seiring dengan penambahan DOP dengan peningkatan mulai dari 5,7 gr/10 menit pada saat 0 phr dan terus meningkat sampai 28,2 gr/10 menit pada 10 phr. Hal ini dapat dipahami sesuai dengan literatur, bahwa penambahan *plasticizer* akan menurunkan viskositas dari PVC [25], *plasticizer* akan menyebabkan ikatan jaringan yang bersifat *rigid* berubah menjadi fleksibel. *Plasticizer* menjaga ikatan ranta-rantai yang membentuk jaringan yang *rigid* dengan membuat lapisan antara rantai yang satu dengan yang lainnya sehingga mencegah pembentukan kembali jaringan yang kaku atau dengan memperbesar ruang bebas pada matriks sehingga membuat rantai-rantai polimer lebih bebas bergerak. Dengan jaringan baru yang lebih fleksibel, akan menyebabkan viskositas dari resin PVC menurun. Penurunan viskositas PVC ini tentu akan meningkatkan kemampuan alir dari lelehan resin PVC. Sehingga pada percobaan didapatkan nilai MFR paling besar didapat dari penambahan DOP yang paling besar yaitu 10 phr.

4.2.2 Hasil Pengujian *Gelation Time* (GT)

Gelation time (GT) erat kaitannya dengan temperatur gelas. Karena GT terjadi setelah tercapai temperatur transisi gelas. Temperatur transisi gelas (T_g) merupakan salah satu sifat penting pada polimer. Pada temperatur ini, material berubah dari kondisi gelas yang rapuh ke bentuk plastis atau bentuk menyerupai cair. T_g dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat molekul, *plasticizer*, dan polimerisasi [26]. Hasil pengujian *gelation time* ditunjukkan oleh Gambar 4.4 I bawah ini. Perhitungan data mentah untuk hasil pengujian *gelation time* dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai *gelation time* untuk setiap formulasi

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kecepatan *gelation* paling cepat terjadi pada kandungan 10 phr yaitu 1,46 menit. Sedangkan secara umum, grafik menunjukkan sebuah kecenderungan kecepatan terjadinya *gelation* meningkat seiring semakin besar penambahan DOP. Hal ini sesuai dengan literatur dimana keberadaan DOP akan menurunkan temperatur transisi gelas dari resin PVC. Sehingga akan mempercepat terjadinya *gelation*. Mekanisme terjadinya *gelation* sendiri adalah sebagai berikut:

- a. *Plasticizer* melakukan penetrasi ke pori-pori butir resin-resin dan pengembangan (*swelling*) terjadi.

- b. Grup polar dari resin PVC dibebaskan satu sama lain.
- c. Grup polar *plasticizer* berikatan dengan grup polar resin.
- d. Struktur resin dibangun ulang, dengan *plasticizer* yang telah menyatu di dalam matriks.

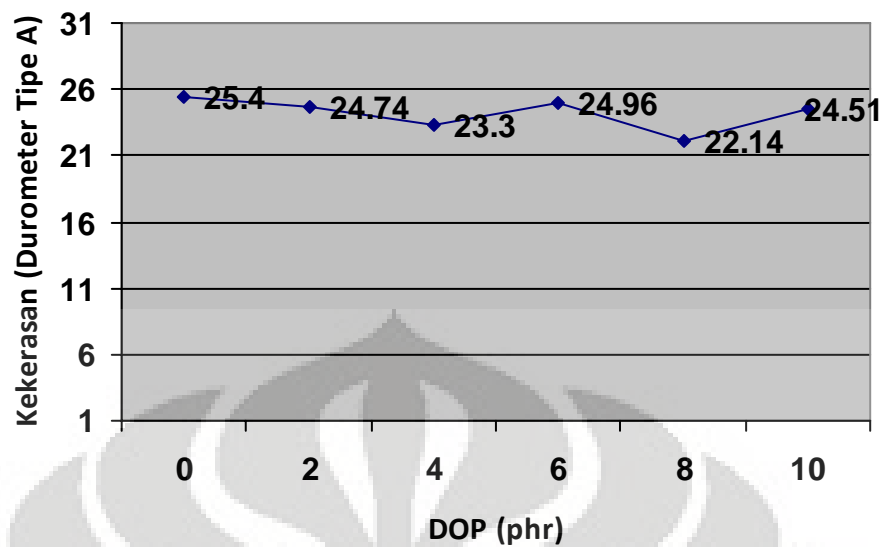
Mekanisme di atas tentu berlangsung lebih baik pada formulasi yang memiliki kandungan DOP lebih banyak karena proses berlangsung lebih intensif.

Penyebab terjadinya nilai *gelation time* yang tidak menunjukkan kecenderungan yang seragam (fluktuatif) bisa jadi disebabkan karena campuran yang tidak homogen pada beberapa formulasi terutama pada formulasi 0 phr dan 2 phr sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyatu dan mengalami *gelation* lebih lama dari seharusnya. Ketidak homogenan ini bisa terjadi pada proses *dry blending* terjadi gumpalan-gumpalan dalam skala mikroskopis terutama disebabkan karena pencampuran *liquid* dengan serbuk yang dapat menghasilkan gumpalan-gumpalan.

Dari hasil pengujian bisa dilihat juga bahwa kecepatan terjadinya *gelation* untuk setiap formulasi saling berdekatan satu sama lain (rentang 1,46 – 1,77 menit). Ini menunjukkan bahwa penambahan DOP dengan formulasi yang ada tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kecepatan waktu *gelation*.

4.2.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan oleh Gambar 4.5 di bawah ini. Penghitungan data mentah nilai kekerasan dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai kekerasan untuk setiap formulasi

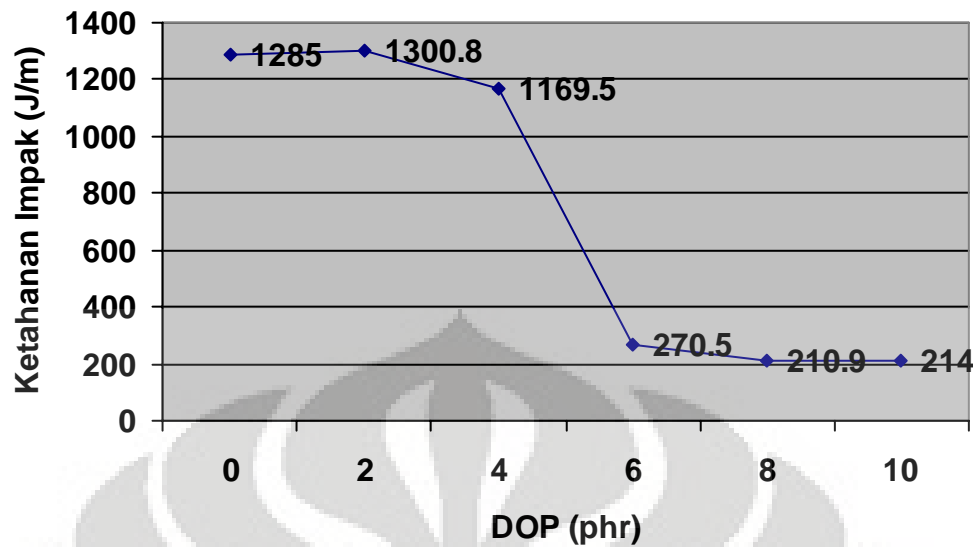
Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa secara umum terjadi kecenderungan nilai kekerasan yang menurun seiring dengan penambahan kandungan DOP. Berdasarkan literatur, penambahan *plasticizer* akan meningkatkan fleksibilitas dari PVC. Artinya, kekerasannya menurun sebagaimana yang ditunjukkan oleh grafik.

Terjadi anomali pada formulasi 6 phr dan 10 phr yang tidak mengikuti kecenderungan menurun. Seharusnya formulasi 10 phr yang memiliki kekerasan yang paling rendah. Penyimpangan ini bisa terjadi karena sampel hasil *hot pressing* tidak homogen dimana molekul-molekul *plasticizer* dan aditif tidak terdispersi secara merata.

Ketidak homogenan ini dapat disebabkan pada saat pembuatan sampel yaitu pada pembuatan lembaran dengan proses *calendering* atau pada saat mencetak sampel dengan metode *hot pressing*. Penyebab lain, bisa jadi nilai yang tidak seragam disebabkan karena adanya penyusutan (*shrinkage*) pada saat pembekuan. Karena material polimer sangat rentan terhadap penyusutan.

4.2.4 Hasil Pengujian Impak

Hasil pengujian Impak ditunjukkan oleh Gambar 4.6 di bawah ini. Penghitungan data mentah ketahanan impak dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai ketahanan impak masing-masing formulasi

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kandungan DOP, ketahanan impak dari resin PVC cenderung menurun. Padahal, jika ditinjau dari fungsi *plasticizer* itu sendiri seharusnya dengan banyaknya kandungan *plasticizer*, ketahanan impaknya semakin baik karena *plasticizer* mampu meningkatkan fleksibilitas dan kemampuan deformasi dari resin PVC.

Ketahanan impak untuk PVC *rigid* berdasarkan literatur yang telah disebutkan pada Bab Tinjauan Pustaka adalah sebesar 181 J/m. Sedangkan PVC fleksibel memiliki ketahanan impak 293 J/m. Ini menunjukkan bahwa penambahan *plasticizer* seharusnya menaikkan ketahanan impak karena material polimer menjadi lebih ulet.

Berdasarkan literatur, polimer termoplastik semacam PVC membutuhkan *crosslink* yang dapat meleleh agar membuat PVC bersifat termoplastik. Oleh karena itu, bahan *plasticizer* tidak boleh merupakan pelarut kuat untuk setiap bagian PVC, akan tetapi harus terarah ke bagian amorf saja, tanpa menghancurkan bagian kristalin.

Penjelasan mekanisme plastisasi mempertimbangkan interaksi antara *plasticizer* dengan makromolekul resin PVC. Ini mengasumsikan molekul *plasticizer* tidak secara permanen ke molekul resin PVC akan tetapi secara bebas

membentuk ikatan sendiri (antar *plasticizer*) dan membentuk ikatan dengan molekul polimer pada daerah tertentu seperti daerah amorf. Dikarenakan bentuk interaksi ini lemah, ada suatu proses pertukaran dinamis dimana ketika salah satu molekul *plasticizer* terikat pada suatu daerah, molekul ini siap untuk digantikan dengan molekul lain. Perbedaan *plasticizer* menyebabkan efek plastisasi yang berbeda dikarenakan perbedaan kekuatan interaksi polimer-*plasticizer* dan antar *plasticizer* itu sendiri. Pada kandungan *plasticizer* rendah, interaksi polimer-*plasticizer* lebih dominan, sedangkan pada kandungan *plasticizer* yang tinggi, interaksi antar *plasticizer* menjadi lebih signifikan. Inilah yang bisa menjadi penjelasan kenapa pada penambahan *plasticizer* rendah (<15phr) justru meningkatkan kekakuan dari PVC. [27]

Sumber lain menyebutkan, pengaruh penambahan *plasticizer* dapat dipertanggung jawabkan pada rentang 20-50%. Adapun penambahan di luar rentang ini baik lebih sedikit atau lebih banyak, memberikan hasil uji yang tidak dapat diprediksi. Di bawah tingkat penambahn 20%, bisa menyebabkan suatu efek daerah anti-plastisasi, dimana *plasticizer* memberikan efek yang berlawanan pada sistem resin menyebabkan polimer lebih getas dari yang diharapkan. Sedangkan di atas 50%, *plasticizer* memberikan efek yang tidak signifikan pada sifat-sifat PVC[28].

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *Diocetyl Phthalate* (DOP) meningkatkan *melt flow rate* (MFR) resin PVC yaitu dari 5,7 gr / 10 menit pada saat 0 phr dan terus meningkat sampai 28,2 gr /10 menit pada 10 phr. Semakin besar kandungan DOP, semakin tinggi MFR nya. Pengaruh terbaik diberikan oleh DOP dengan kandungan 10 phr.
2. kecepatan *gelation time* resin PVC cenderung meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi DOP. Ditunjukkan dengan adanya peningkatan kecepatan *gelation time* dari 1,66 menit pada 0 phr menjadi 1,46 menit pada 10 phr. Pengaruh terbaik diberikan oleh DOP dengan kandungan 10 phr.
3. Kekerasan resin PVC cenderung menurun seiring dengan penambahan konsentrasi DOP. Ditunjukkan dengan penurunan nilai kekerasan dari 25,4 shore A pada 0 phr, menjadi 24.5 shore A pada 10 phr. Pengaruh terbaik diberikan oleh DOP dengan kandungan 10 phr.
4. Penambahan DOP menurunkan ketahanan impak dimana ketika 0 phr, ketahanan impaknya 1285 J/m dan ketika 10 phr turun menjadi 214 J/m. Fenomena ini bertolak belakang dengan literatur. Hal ini terjadi karena efek anti-plastisasi sehingga material menjadi getas.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Charless A. Harper, *Modern Plastics Handbook*, (McGraw Hill: New York, 1999). Hlm. 1.75
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride diakses pada 19/06/2009
- [3] Charles E Wilkes. *et al*, *PVC Handbook* (Munich: Hanser Publishers, 2005) hlm. 7
- [4] Ibid hlm. 95
- [5] Ibid hlm. 290
- [6] Charless A. Harper, *Modern Plastics Handbook*, (McGraw Hill: New York, 1999). Hlm. 1.76
- [7] Ibid. hlm. 1.80
- [8] Charles E Wilkes. *et al*, *PVC Handbook* (Munich: Hanser Publishers, 2005) hlm. 175
- [9] John Murphy, *Additives for Plastics* (Elsevier Science LTd,: Oxford, 2001), hlm. 171
- [10] Jerry M. Neff, *Bioaccumulatio in Marine Organisms* (Elsevier Science LTd. : Netherland, 2004) hlm. 215
- [11] <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/structures/RACB85047.gif> diakses pada 19/06/2009
- [12] John Murphy, *Additives for Plastics* (Elsevier Science LTd,: Oxford, 2001), hlm. 171
- [13] <http://chemicalland21.com/industrialchem/plasticizer/DOP.htm> diakses pada 19/06/2009
- [14] <http://www.gaurichemicals.com/impactmodifier.htm> diakses pada 19/06/2009
- [15] <http://www.oleosolutions.com/loxiol-g78.htm> diakses pada 19/06/2009
- [16] John Murphy, *Additives for Plastics* (Elsevier Science LTd, 2001), hlm. 421
- [17] http://www.rohmhaas.com/wcm/products/product_detail.page?product=11205
[18](#) diakses pada 19/6/2009

- [18] <http://chemicalland21.com/specialtychem/perchem/BARIUM%20STEARAT E.htm> diakses pada 19/6/2009
- [19] <http://chemicalland21.com/specialtychem/perchem/LEAD%20STEARATE.htm> diakses pada 19/6/2009
- [20] J. Wickson Edward, *Handbook of PVC Formulating* (John Wiley & Sons: New York, 199) hlm. 275
- [21] E. Alfredo Campo, *Selection of Polymeric Materials* (Plastics Design Library : Texas, 2007) hlm. 192-193.
- [22] Akhmad Herman Yuwono, *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*, (DMM FTUI 2009), hlm. 20
- [23] Ibid, hlm. 20
- [24] ASTM International, *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01*.
- [25] Leonard I. Nass(editor), *Encyclopedia of PVC Volume 3*, (Marcel Dekker, Inc. :New York 1998) hlm. 424
- [26] P. Cheremisinoff Nicholas (editor), *Handbook of Polymer Sciences and Technology Volume 1* (Marcell Dekker Inc. : New York, 1989) hlm. 494
- [27] Charles E. Wilkes *et al*, *PVC Handbook* (Munich: Hanser Publishers, 2005) hlm. 175
- [28] Leonard I. Nass (editor), *Encyclopedia of PVC Volume 3*, (Marcel Dekker, Inc. :New York 1998) hlm. 294

LAMPIRAN

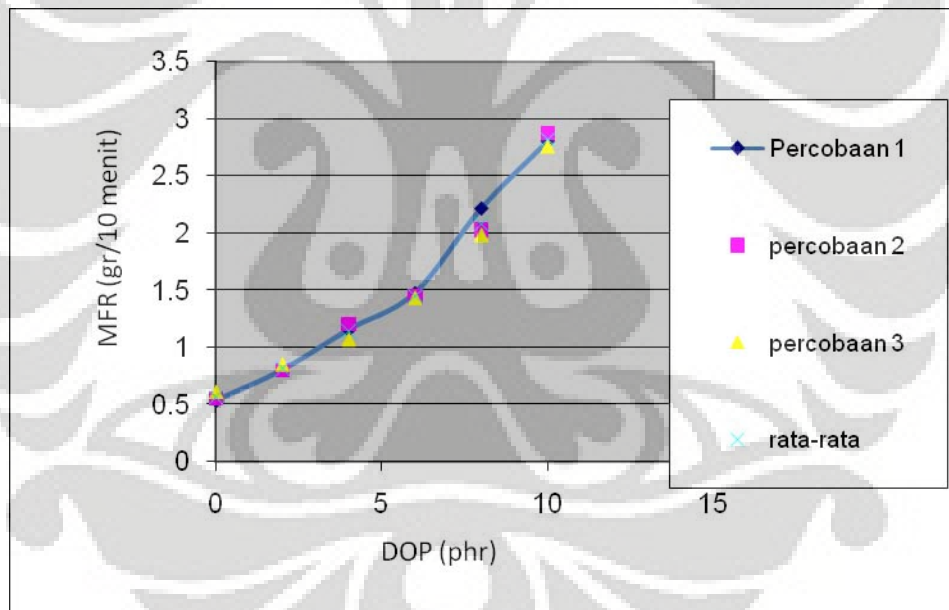
Lampiran 1

Hasil Uji MFR

DOP (phr)	MFR (gr/menit)			Rata-rata
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	
0	0.5380	0.5506	0.6106	0.57
2	0.8037	0.7957	0,8517	0.82
4	1.1567	1.1983	1.0690	1.14
6	1.4766	1.4426	1.43533	1.45
8	2.2153	2.0277	1.9847	2.08
10	2.8026	2.8756	2.7613	2.82

Data tersebut kemudian dikalikan 10 untuk mengikuti standar hasil Uji MFR (gr / 10 menit)

Grafik Persebaran data Uji MFR



	DATA SHEET	No : FRM-PVT-0064 2
	1.DUT , 2.GT, 3.TST, 4.FT, 5.MFR, 6.VRT	Rev : 1
		Date : 26-Dec-07

ANALYSIS Unit : (1, 2, 3) : menit. (4) : detik (5) : g/10 detik (6) : ΩcmxE13

Tanggal	Tujuan / Sampel					Hasil Analisa			Report			Operator	Staff	Remark
	SE	SR	SLK	SLP	SM	n	Data Ass							
					28101	1	1.529	L	L	1.575		dwi	Rec-pa EPR/Val	
						2	1.501							
						3								
23/08 10					28102	1	1.370	L	L	1.417		dwi	"	
						2	1.464							
						3								
					28103	1	1.452	L	L	1.437	J. Hanu S. Marni	dwi	"	
						2	1.423							
						3								
					28104	1	1.640	L	L	1.688		dwi	"	
						2	1.737							
						3								
23/08 10					28105	1	1.536	L	L	1.529		dwi	"	
						2	1.529							
						3								
					28110	1	1.498	L	L	1.500		dwi	"	
						2	1.543							
						3								
					B3HA21 (Dop & PNR)	1	0.5383	L	L	0.5665		dwi	"	
						2	0.5586							
						3	0.6106							
					B3HA21 (Dop 2 PNR)	1	0.8037	L	L	0.8170		dwi	"	
						2	0.7957							
						3	0.8517							
					B3HA21 (Dop 4 PNR)	1	1.1567	L	L	1.1413		dwi	"	
						2	1.1983							
						3	1.0690							
14/08 11					B3HA21 (Dop 6 PNR)	1	1.4766	L	L	1.4515	R. Marni M. H. L.	dwi	Experiment support pt UI.	
						2	1.4426							
						3	1.4353							
					B3HA21 (Dop 8 PNR)	1	2.2153	L	L	2.0759		dwi	"	
						2	2.0277							
						3	1.9847							
					B3HA21 (Dop 6 PNR)	1	2.8026	L	L	2.8131		dwi	"	
						2	2.8736							
						3	2.7613							
23/08 11					#3679 re L	1	2.2083			2.1820	Supri Marni	dwi	reg pa' h	
						2	2.1557							
						3								
					#3683 re L	1	2.2643			2.2695		dwi	"	
						2	2.2747							
						3								

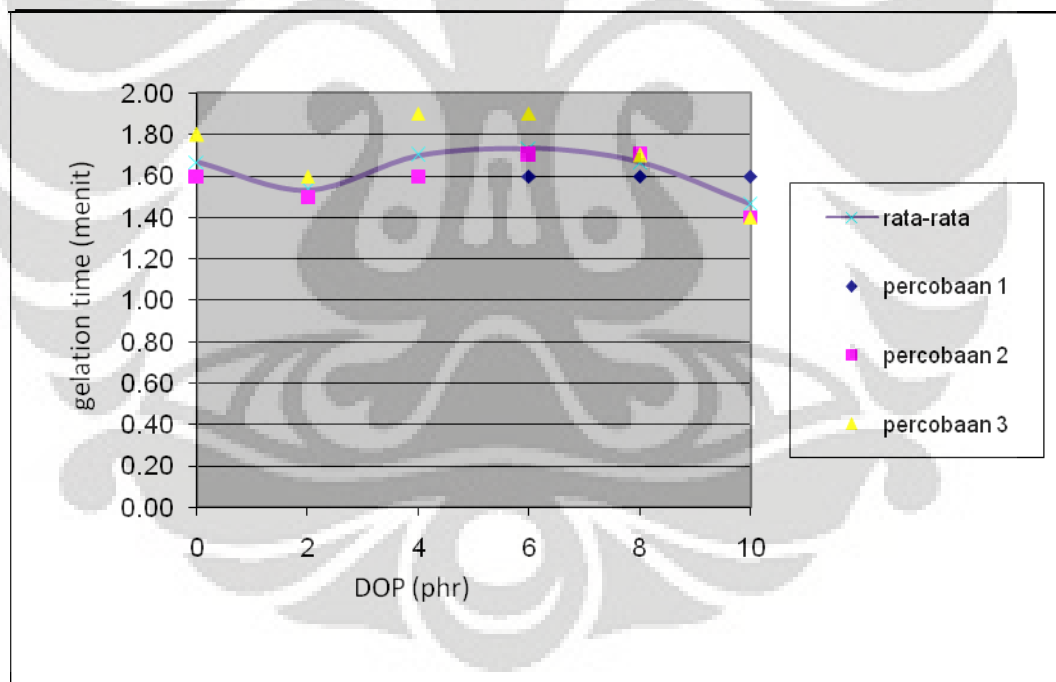
Lampiran 2

Hasil Uji Gelation Time

Tabel Hasil Pengujian Gelation Time

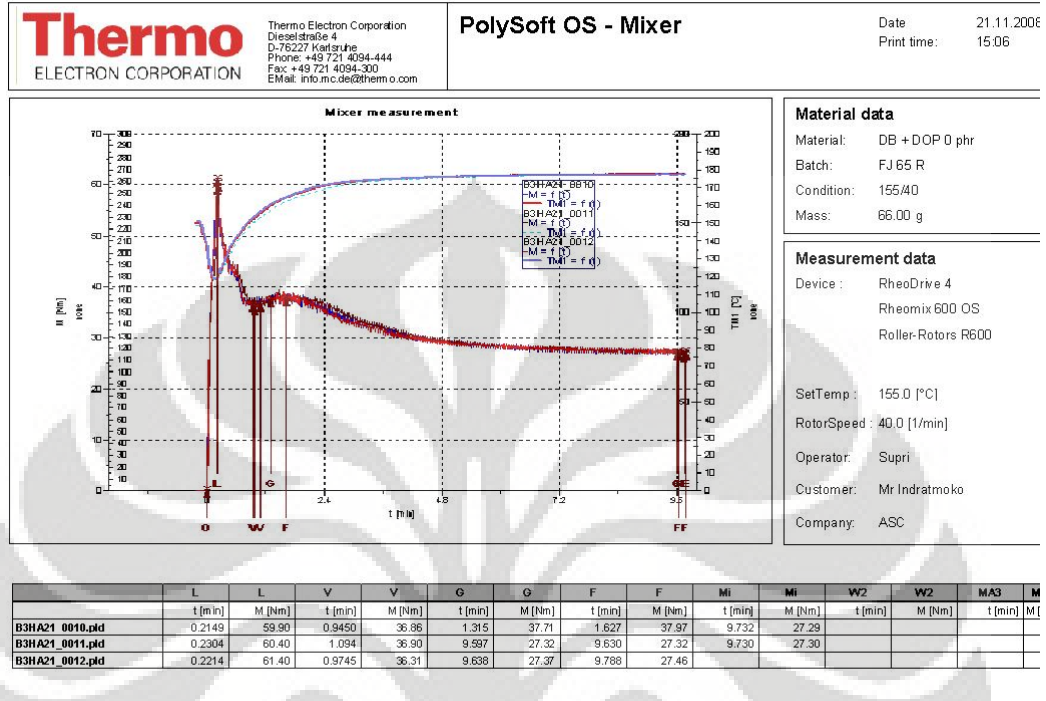
DOP (Phr)	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata-rata
0	1.6	1.6	1.8	1.67
2	1.5	1.5	1.6	1.53
4	1.6	1.6	1.9	1.70
6	1.6	1.7	1.9	1.73
8	1.6	1.7	1.7	1.67
10	1.6	1.4	1.4	1.47

Grafik Persebaran data Uji Gelation Time

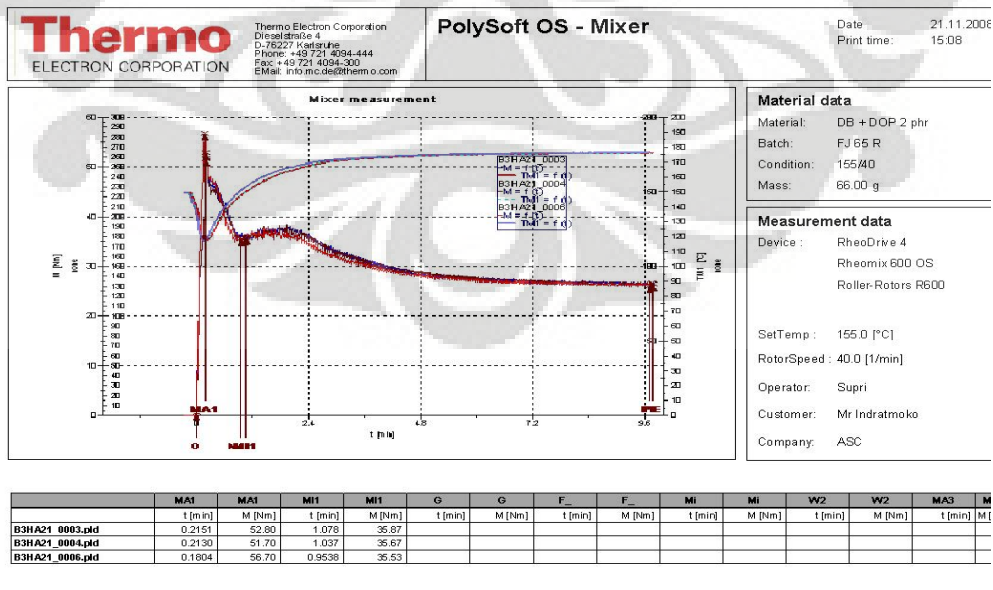


Nilai-nilai tersebut didapat dari membaca grafik pengujian berikut:

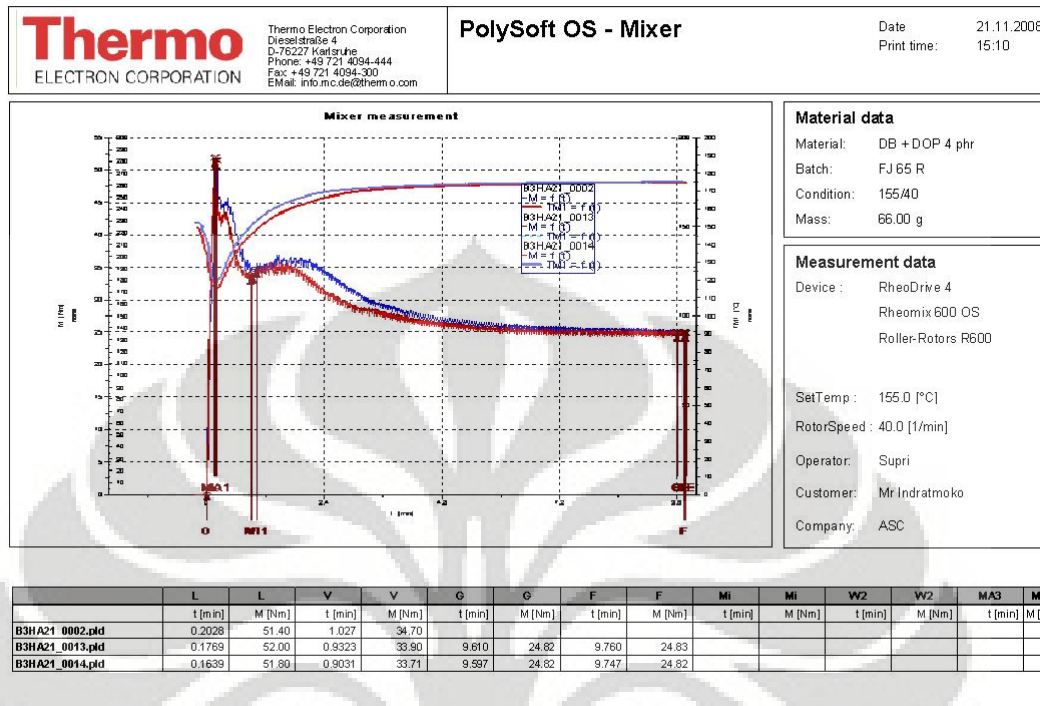
Sampel 0 phr:



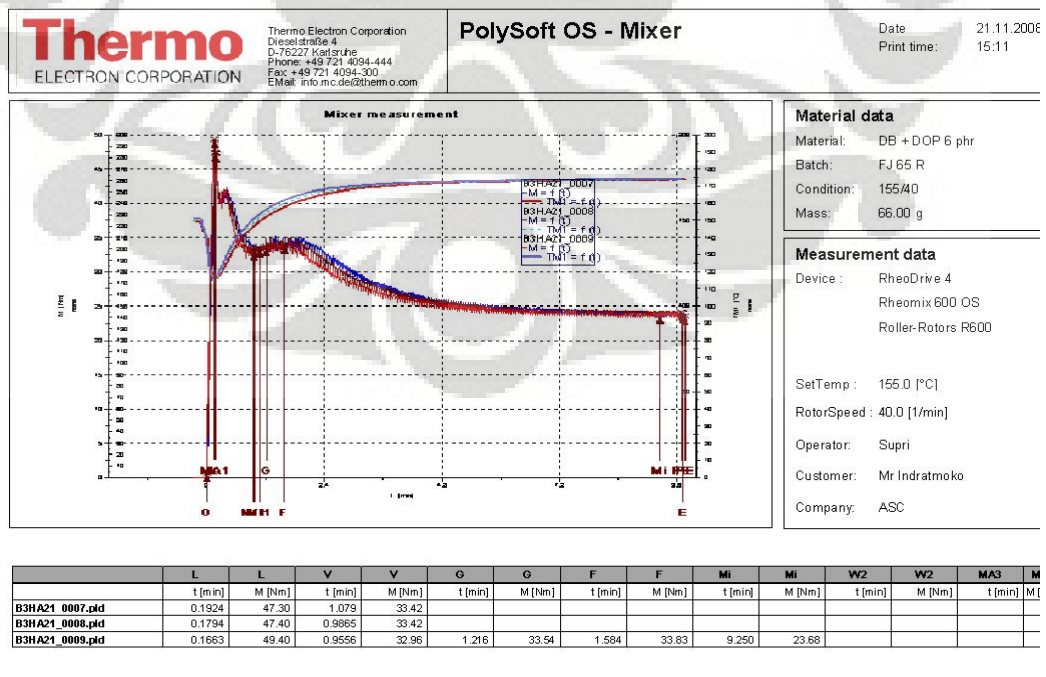
Sampel 2 phr:



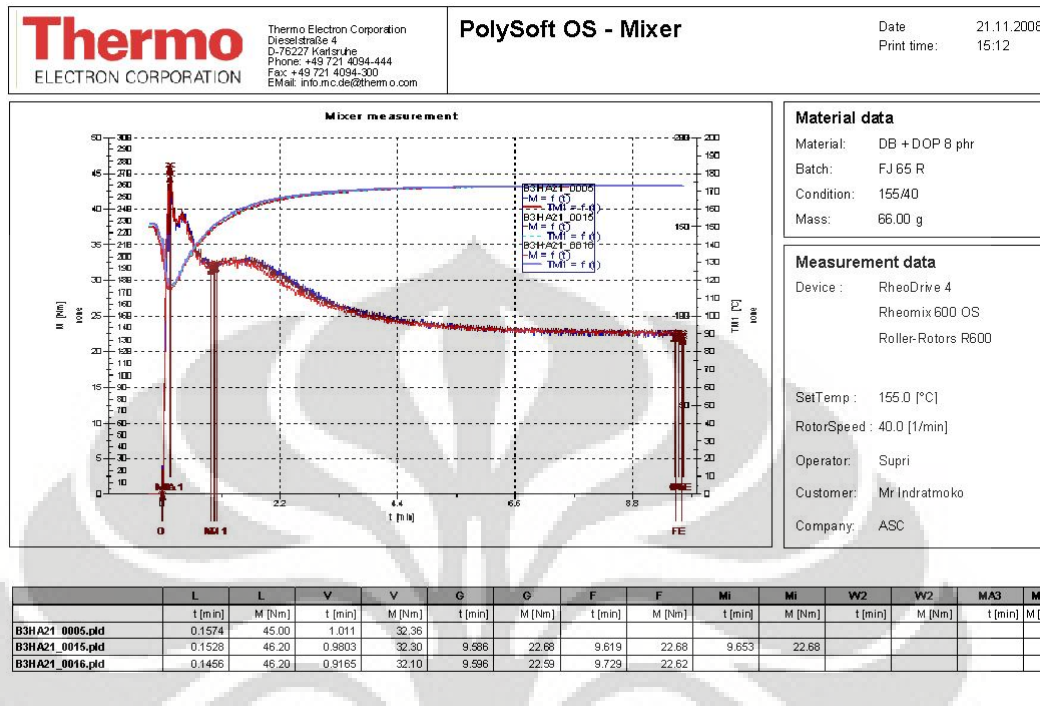
Sampel 4 phr:



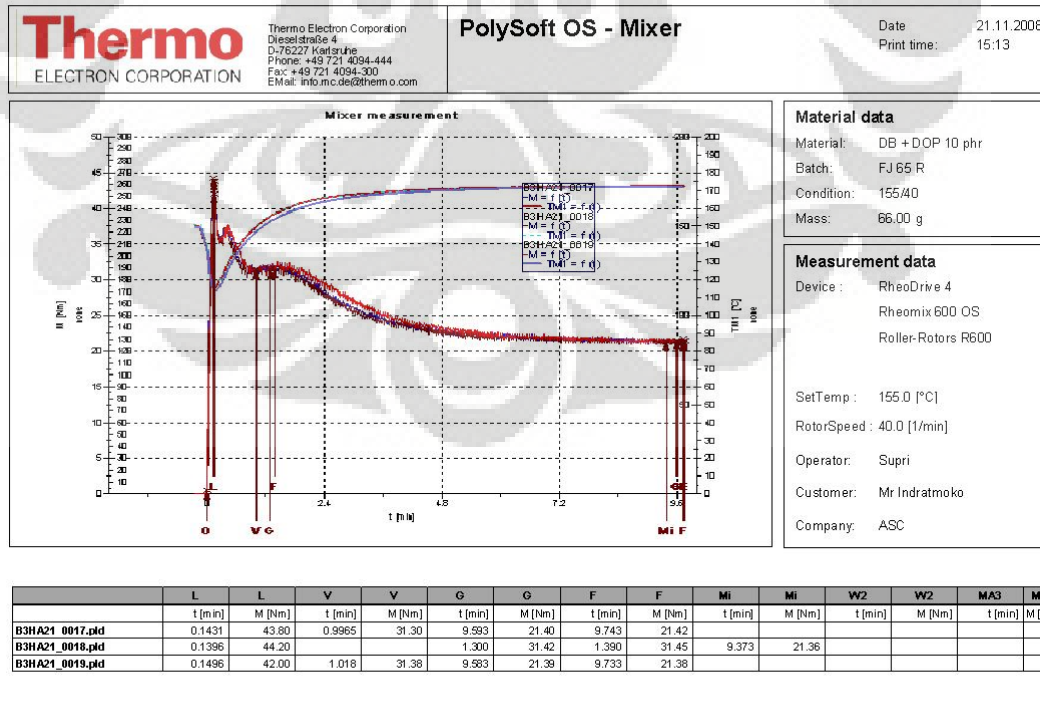
Sampel 6 phr:



Sampel 8 phr:



Sampel 10 phr:



Lampiran 3
Hasil Uji Kekerasan

DOP	Percobaan	Penjejakan									Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0phr	I	26.2	23.9	25.6	25	24.6	24.4	25.4	26.8	26.5	25.4
	II	24.9	26.8	27.3	25	26.9	27.1	25.4	23.3	26.7	
	III	25.1	24.3	24.8	24.9	24.4	25	26.6	25.4	23.5	
2hr	I	24.9	24.5	22.9	22.9	24	24.5	25.2	21.1	25.5	24.74
	II	25.7	28.5	28.8	26.8	28.9	28.3	25.9	27.3	25.9	
	III	23.9	21.8	22.6	22.8	22.4	23.6	24.6	19.7	25.1	
4phr	I	22.5	23.1	24	21.9	22.6	23.6	22.4	19.4	25.9	23.3
	II	23.5	24.2	24.8	23.6	23.3	24.7	23.2	16	24.6	
	III	25.2	24.6	23.9	24.4	24.4	21.5	23.6	23.9	24.3	
6phr	I	26.1	26	25.6	25	25.7	25.3	25.3	20.5	24.8	24.96
	II	26.9	26.5	25.9	26.8	24.8	25.5	26	20.2	26.1	
	III	24.3	23.9	25.8	24.5	24.7	24.6	24.3	23.8	25.2	
8phr	I	22.9	23	23.9	20.8	23.4	23.7	25	24.1	24.6	22.14
	II	22.7	21.3	22.9	22	21.5	21.7	21.4	22.7		
	III	20.5	19.7	21.4	20.3	20.5	21.4	21.7	21	21.6	
10 phr	I	23.6	23.8	22.8	23.2	23	20.2	24.9	24.4	25.6	24.51
	II	24.5	24.2	23	26.2	24.4	23.2	25.6	25.7	27	
	III	25.1	24.3	25.5	24.3	24.7	24.6	25.8	26.4	25.8	

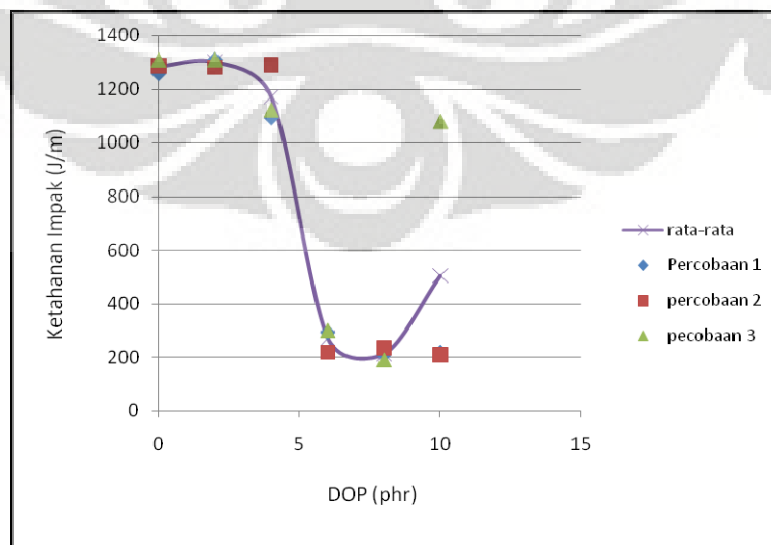
Lampiran 4
Hasil Uji Impak
Data Mentah

DOP	Percobaan				Rata-rata
	I	II	III	IV	
0 phr	1257.16	1287.61	1310.3	gagal	1285.023
2 phr	1113.42	1308.85	1282.48	1311.08	1253.958
4 phr	1092.77	1307.23	1291.82	1123.78	1203.9
6 phr	293.61	218.39	299.52	1263.64	518.79
8 phr	209.26	234.57	1184.95	188.86	454.41
10 phr	219.56	208.34	1083.65	1080.35	647.975

Dari data mentah tersebut dipilih 3 data dengan rentang terendah, khusus untuk sampel 10 phr karena terjadi penyimpangan yang sangat mencolok, hanya diambil 2 data terendah.

DOP	Percobaan			Rata-rata
	I	II	III	
0 phr	1257.16	1287.61	1310.3	1285
2 phr	1308.85	1282.48	1311.08	1300.8
4 phr	1092.77	1291.82	1123.78	1169.5
6 phr	293.61	218.39	299.52	270.5
8 phr	209.26	234.57	188.86	210.9
10 phr	219.56	208.34	-	214

Grafik persebaran data uji impak



Sampel 0 phr:

Zwick / Roell		08.04.2009			
CHARPY IMPACT TESTS According to ASTM D 6110					
Customer	: OJT	Product ID	:		
Job no.	:	Specimen manufacture	:		
Tester	: Khairul Umam	Specimen removal	:		
Test standard	: ASTM D256	Pre-treatment	:		
Material	: PVC + 0 PHR DOP	Direction of impact	:		
Quality	:	Notes...	:	Penelitian Skripsi	
Type and origin	:	Machine data	:		
Nominal work capacity	: 5.4 J				
Impact velocity	: 3.458 m/s				
Results:					
Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure
1	4.1	10.8	5.15435	1257.16	H
2	4.1	11	5.37695	1287.61	H
3	4.1	10.8	5.37222	1310.30	H

Sampel 2 phr

Zwick / Roell		08.04.2009			
CHARPY IMPACT TESTS According to ASTM D 6110					
Customer	: OJT	Product ID	:		
Job no.	:	Specimen manufacture	:		
Tester	: Khairul Umam	Specimen removal	:		
Test standard	: ASTM D256	Pre-treatment	:		
Material	: PVC + 0 PHR DOP	Direction of impact	:		
Quality	:	Notes...	:	Penelitian Skripsi	
Type and origin	:	Machine data	:		
Nominal work capacity	: 5.4 J				
Impact velocity	: 3.458 m/s				
Results:					
Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure
1	4.1	11	4.56503	1113.42	H
2	4.1	11	5.36629	1308.85	H
3	4.1	11.1	5.30597	1282.48	H

Sampel 4 phr:

Zwick / Roell		08.04.2009			
CHARPY IMPACT TESTS According to ASTM D 6110					
Customer	: OJT	Product ID			
Job no.	:	Specimen manufacture			
Tester	: Khairul Umam	Specimen removal			
Test standard	: ASTM D256	Pre-treatment			
Material	: PVC + 0 PHR DOP	Direction of impact			
Quality	:	Notes... : Penelitian Skripsi			
Type and origin	:	Machine data			
Nominal work capacity	: 5.4 J				
Impact velocity	: 3.458 m/s				
Results:					
Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure
1	4.1	10.9	4.43963	1092.77	H
2	4.1	11	5.35964	1307.23	H
3	4.1	11	5.34505	1291.82	H
4	4.1	10.7	4.52295	1123.78	H

Sampel 6 phr:

Zwick / Roell		08.04.2009			
CHARPY IMPACT TESTS According to ASTM D 6110					
Customer	: OJT	Product ID			
Job no.	:	Specimen manufacture			
Tester	: Khairul Umam	Specimen removal			
Test standard	: ASTM D256	Pre-treatment			
Material	: PVC + 0 PHR DOP	Direction of impact			
Quality	:	Notes... : Penelitian Skripsi			
Type and origin	:	Machine data			
Nominal work capacity	: 5.4 J				
Impact velocity	: 3.458 m/s				
Results:					
Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure
1	4.1	10.9	1.22628	293.61	C
2	4.1	10.85	0.90797	218.39	C
3	4.1	10.7	1.20552	299.52	C

Sampel 8 phr:

Zwick / Roell		08.04.2009																														
CHARPY IMPACT TESTS According to ASTM D 6110																																
Customer	: OJT	Product ID																														
Job no.	:	Specimen manufacture																														
Tester	: Khairul Umam	Specimen removal																														
Test standard	: ASTM D256	Pre-treatment																														
Material	: PVC + 0 PHR DOP	Direction of impact																														
Quality	:	Notes...																														
Type and origin	:	Machine data																														
Nominal work capacity	: 5.4 J																															
Impact velocity	: 3.458 m/s																															
Results: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr</th> <th>Width mm</th> <th>Depth below the notch mm</th> <th>W J</th> <th>ak J/m</th> <th>Type of failure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>4.1</td> <td>10.8</td> <td>0.85009</td> <td>209.26</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.1</td> <td>10.6</td> <td>0.93527</td> <td>234.67</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4.1</td> <td>10.8</td> <td>4.85829</td> <td>1184.95</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4.1</td> <td>10.9</td> <td>0.77433</td> <td>188.86</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>			Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure	1	4.1	10.8	0.85009	209.26	C	2	4.1	10.6	0.93527	234.67	C	3	4.1	10.8	4.85829	1184.95	H	4	4.1	10.9	0.77433	188.86	C
Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure																											
1	4.1	10.8	0.85009	209.26	C																											
2	4.1	10.6	0.93527	234.67	C																											
3	4.1	10.8	4.85829	1184.95	H																											
4	4.1	10.9	0.77433	188.86	C																											

Sampel 10 phr:

Zwick / Roell		08.04.2009																														
CHARPY IMPACT TESTS According to ASTM D 6110																																
Customer	: OJT	Product ID																														
Job no.	:	Specimen manufacture																														
Tester	: Khairul Umam	Specimen removal																														
Test standard	: ASTM D256	Pre-treatment																														
Material	: PVC + 0 PHR DOP	Direction of impact																														
Quality	:	Notes...																														
Type and origin	:	Machine data																														
Nominal work capacity	: 5.4 J																															
Impact velocity	: 3.458 m/s																															
Results: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr</th> <th>Width mm</th> <th>Depth below the notch mm</th> <th>W J</th> <th>ak J/m</th> <th>Type of failure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>4.1</td> <td>10.9</td> <td>0.90020</td> <td>219.56</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.1</td> <td>10.75</td> <td>0.84244</td> <td>208.34</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4.1</td> <td>10.85</td> <td>4.42260</td> <td>1083.65</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4.1</td> <td>10.95</td> <td>4.42943</td> <td>1080.35</td> <td>H</td> </tr> </tbody> </table>			Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure	1	4.1	10.9	0.90020	219.56	C	2	4.1	10.75	0.84244	208.34	C	3	4.1	10.85	4.42260	1083.65	H	4	4.1	10.95	4.42943	1080.35	H
Nr	Width mm	Depth below the notch mm	W J	ak J/m	Type of failure																											
1	4.1	10.9	0.90020	219.56	C																											
2	4.1	10.75	0.84244	208.34	C																											
3	4.1	10.85	4.42260	1083.65	H																											
4	4.1	10.95	4.42943	1080.35	H																											