

## **PEMBUATAN KOMPOSIT INTERPENETRASI JARINGAN POLIMER ANTARA POLIURETAN-KARET ALAM SIR-10 DENGAN PENAMBAHAN MONTMORILLONIT SEBAGAI BAHAN PENGISI**

**Supran Hidayat Sihotang<sup>1</sup>, Wilda Wahyuni Siregar<sup>2</sup>, Dwi Handayani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universitas Tjut Nyak Dhien,

<sup>2</sup>Institut Kesehatan Medistra

*e-mail* : <sup>1</sup>supranhidayat0309@gmail.com

---

**Abstract** : The using of polyurethane (PU) that was added simultaneously with SIR-10 natural rubber (NR) as a synthesis of interpenetrating polymer network (IPN) which was then added montmorillonit (MMT) as filler material in the composite forming process IPN. Polypropylene glycol and toluene are diisocyanate with a comparison of the number of moles between NCO: OH = 2:1, which was used to synthesize a derived from PU. In advance stearic acid, zinc oxide, MBTS, and sulfur are added as a revulzation of NR. PU and NR vulcanization combined to produce IPN NR-PU by using temperature of 140 °C. The addition of MMT in the IPN NR-PU will generate the IPN NR-PU-MMT composite. Furthermore, the IPN NR-PU-MMT composite was characterised with tensile strength test, water absorption test, SEM and DSC. The results of this research showed that the composite mixture of IPN increased with the increase of MMT to the optimum limit in comparison between NR-PU and MMT was 74 phr: 26 phr was a mixture that produced good tensile strength and properties of ductility are good. The mechanical, physical, and morphological properties of the IPN are influenced by the number of MMT that was used to produce components that cross each other in the bonding interface.

**Keywords** : Interpenetrating Polymer Network, SIR-10 Natural Rubber, Polyurethanes, Montmorillonite.

**Abstrak** : Penggunaan poliuretan (PU) yang ditambahkan bersamaan dengan karet alam (NR) SIR-10 sebagai sintesis interpenetrasi jaringan polimer (IPN) yang kemudian ditambahkan montmorillonit (MMT) sebagai bahan pengisi pada proses pembentukan komposit IJP. Polipropilena glikol dan toluena adalah diisosianat dengan perbandingan jumlah mol antara NCO: OH = 2: 1, yang digunakan untuk mensintesis turunan dari PU. Asam stearat, seng oksida, MBTS, dan sulfur ditambahkan sebagai revitalisasi karet alam. Vulkanisasi PU dan NR dikombinasikan untuk menghasilkan IPN NR-PU, dengan menggunakan suhu 140 °C. Penambahan MMT dalam IPN NR-PU akan menghasilkan komposit IPN NR-PU-MMT. Selanjutnya, komposit IJP NR-PU-MMT dikarakterisasi dengan uji kekuatan tarik, uji penyerapan air, SEM dan DSC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran komposit IPN meningkat dengan peningkatan MMT ke batas optimal dalam perbandingan antara NR-PU dan MMT adalah 74 phr: 26 phr adalah campuran yang menghasilkan kekuatan tarik yang baik dan sifat daktilitas yang baik. Sifat mekanik, fisik, dan morfologis IPN dipengaruhi oleh jumlah MMT yang digunakan untuk menghasilkan komponen yang saling bersilangan di antarmuka ikatan.

**Kata Kunci** : Interpenetrasi Jaringan Polimer, Karet Alam SIR-10, Poliuretan, Montmorillonit.

---

## 1. PENDAHULUAN

Bahan baku utama dalam pembuatan bubuk kertas adalah serat selulosa yang diperoleh dari tumbuhan kayu maupun dari proses interpenetrasi jaringan polimer telah banyak diteliti sejak tahun 1914 (Tamrin, 1997). Dimana IPN disintesis secara propagasi, kondensasi, atau adisi yang dibuat secara ikat silang melalui bahan polimer dengan menggunakan beberapa jenis monomer, kemudian monomer yang telah dihasilkan tersebut dipolimersisasikan dan diikatsilangkan. IPN dapat dibuat melalui dua atau lebih polimer yang sudah jadi, dimana sulit untuk bercampur sempurna sehinggadalam campuran terjadi pemisahan fasa (fasa heterogen).

Berdasarkan keadaan inilah orang mulai mencoba untuk membuat suatu jenis polimer yang disebut “*Interpenetrating Polymer Network (IPN)*” dan diharapkan bahan yang diperoleh mempunyai sifat bahan yang lebih baik dibandingkan bahan yang dihasilkandengan cara mencampur dua polimer yang sudah jadi.

Dari hasil penelitian terdahulu yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, bahwa IPN memperlihatkan tingkat keunggulannya dibanding jenis polimer yang lainnya dimana daerah kerjanya mencakup frekuensi yang luas dan trayek temperatur. Pada tahun 2013 Vivek J. Dave membentuk IPN dari modifikasi poliuretan berbasis minyak jarak dan polistirena yang dibuat dengan metode skuensial dimana minyak jarak yang dimodifikasi oleh trietanolamin dengan cara transesterifikasi dan ditetapkan sebagai transesterifikasi minyak jarak, kemudian jaringan poliuretan dibuat dari transesterifikasi minyak jarak.

Dari hasil penelitian Vivek J. tersebut menunjukkan bahwa stabilitas termal yang dihasilkan lebih baik dari polistirena murni dan menunjukkan homogenitas bahan pada pembentukan interpenetrasi kedua jaringan dari analisa SEM.

Marinovic, S. (2010) membuat IPN dengan perbandingan berat 50 : 50 antara Poliuretan dan Poliakrilat, dimana berdasarkan analisa dinamis mekanik (DMA), termogram (DSC), dan analisa termogravimetri (TGA), sifat mekanik dari IPN yang dihasilkan memiliki kinerja terbaik dimana memiliki suhu transisi gelas (Tg) tertinggi dan kerapatan ikat silang tertinggi, tetapi tidak memiliki kekerasan tertinggi. Shoubing, C (2011) telah membentuk komposit IPN dengan serangkaian poliuretan berbasis minyak jarak dan resin epoksi, dimana berdasarkan pemindaian TGA, DMA, dan SEM yang memperlihatkan bahwa adanya peningkatan suhu dekomposisi termal pada komposit sedangkan kekuatan tarik dan juga dampak kekuatan dari komposit IPN secara signifikan ditingkatkan, sehingga hasil dari penelitian tersebut menunjukkan sifat peredam dimana hasil dari komposit tersebut dapat digunakan untuk bahan peredam suara dan juga getaran. Laurent, J. G. (2014) telah membentuk semi-IPN dari poli(3,4-etilen dioksitiopena), Nitril Butadiena, dan Polietilena Oksida, dimana dari hasil pencampuran tersebut dihasilkan sifat mekanik cukup tinggi dibandingkan dengan jaringan tunggal dari masing-masing bahan, semi-IPN yang dihasilkan memiliki sebuah perpanjangan putus dibawah 10% sehingga hasil penelitian ini menunjukkan perilaku fleksibel yang kuat. Nicolas, F. (2014) meneliti tentang pembuatan elektro-aktif Interpenetrasi jaringan polimer (IPN) yang dibuat dengan polimerisasi oksidatif dari 3,4-etilendioksitiopena dalam Polimer Elektrolit Padat yang menggabungkan Polietilenoksida dan Karet Nitril Butadiena dimana dalam penelitian ini menunjukkan telah terbukti bahwa penerapan regangan menghasilkan perubahan proporsional dalam tegangan. Amrollahi, M. (2011) telah membentuk jaringan elastomer poliuretan yang disintesis dari campuran 2,4-toluena diisosiyanat dan 1,4-butanadiol, disebut dengan pseudo-semi-IPN dimana hasil

jaringan elastomer poliuretan telah mempunyai struktur yang sangat mirip dengan jaringan polimer saling melakukan penetrasi. Jaringan elastomer poliuretan baru ini memperlihatkan kekuatan tarik yang cukup tinggi dan memperoleh manfaat ekonomi dari poliuretan yang dihasilkan didasarkan pada jumlah polioliol non-polar.

Berdasarkan dengan uraian diatas, maka peneliti akan mensintesis Interpenetrasi jaringan polimer (IPN) dengan cara mereaksikan karet alam SIR-10 dengan poliuretan yang telah direaksikan terlebih dahulu antara Toluena Diisosianat (TDI) dengan Polipropilena glikol, setelah terjadi pencampuran antara poliuretan dengan karet alam SIR-10, lalu akan ditambahkan dengan MMT untuk membentuk komposit IPN.

Dari hasil penelitian ini, diharapkan hasil sintesis interpenetrasi jaringan polimer atau IPN dapat memperlihatkan sifat fisik maupun sifat mekanik yang baik, sehingga dapat memberikan informasi terhadap kemajuan dalam bidang IPN ataupun pemanfaatannya dalam bidang industri.

## 2. METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah Karet Alam (NR) SIR 10, Montmorillonit, Toluena diisosianat, Polipropilena Glikol.

Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Viskositas Mooney 100°C Produk Wallace, Two Roll Mill Tech Lab Ketebalan 1,6-1,8 dalam satuan mm produk Shinco, Internal Mixer, Fourier Transform Infrared Spectroscopy Produk Shimadzu, Seperangkat alat Scanning Electron Microscopy Produk Jeol Type JSM-6360 LA, Seperangkat alat Differential Scanning Calorimeter, Seperangkat peralatan cetak tekan produk Torsee/Type SC-2DE, Seperangkat Uji Tarik dengan kekuatan 2000 Kgf Torsee.

### Karakterisasi Montmorillonit

Karakterisasi bahan Montmorillonit dengan menggunakan peralatan PSA (Partikel Size Analyzer) dan spektrofotometri FT-IR.

### Mastikasi Karet Alam

Sebanyak 100 phr Karet Alam (NR) SIR-10 di giling dengan menggunakan alat *Two Roll Mill* dengan ketebalan 1,6 - 1,8 mm dengan lama waktu 2, 4, 6, 8, 10 menit. Karet Alam yang telah di giling kemudian diukur viskositasnya dengan menggunakan alat *Mooney Viscosity*. Lalu dapat ditentukan lama waktu mastikasi optimum.

### Pembuatan Poliuretan menggunakan Bahan Polipropilena Glikol dan Toluena Diisosianat

Pembuatan poliuretan berdasarkan reaksi polimer dengan perbandingan mol isosianat dan polipropilena glikol (PPG) adalah (2:1), jika isosianat yang dipakai sebanyak 0,02 mol, maka PPG adalah 0,01 mol sehingga dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut

$$\begin{aligned}\rho \text{ Isosianat} &= 1,21 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Mr Isosianat} &= 174,2 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

Maka jumlah isosianat yang dipakai :

$$\begin{aligned}mol &= \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \\ 0,02 \text{ mol} &= \frac{\text{gram}}{174,2 \text{ g/mol}} \\ \text{gram} &= 3,484 \text{ gram}\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka, PPG (Mr 1000 g/mol) yang diperlukan adalah sebanyak :

$$\begin{aligned}0,01 \text{ mol} &= \frac{\text{gram}}{1000 \text{ g/mol}} \\ \text{gram} &= 10 \text{ gram}\end{aligned}$$

Sebanyak 10 gram PPG dimasukkan kedalam gelas beaker ukuran 250 mL kemudian ditambahkan toluena diisosianat dengan massa 3,484 gram, kemudian campuran diaduk selama waktu 15 menit pada temperatur 40°C. Selanjutnya campuran dikarakterisasi dengan FT-IR.

### Sintesis IPN antara Poliuretan dengan Karet Alam (NR) SIR-10

Karet alam (NR) SIR-10 yang sudah dimastikasi lalu dimasukkan sebanyak 90 phr kedalam alat internal mixer kemudian diputar pada temperatur 40°C kemudian ditambahkan sebanyak 2 phr senyawa asam stearat kemudian diputar kembali selama waktu 1 menit, lalu dimasukkan sebanyak 2 phr ZnO lalu diputar kembali selama waktu 1 menit, lalu ditambahkan sebanyak 2 phr MBTS lalu diputar kembali selama waktu 1 menit kemudian dimasukkan sebanyak 0,5 phr serbuk sulfur lalu diputar kembali selama waktu 1 menit, lalu dimasukkan sebanyak 10 phr poliuretan lalu diputar lagi selama waktu 15 menit sehingga diperoleh keadaan sampai homogeny.

Selanjutnya dilakukan pengkompresan pada campuran dengan menggunakan peralatan hot kompresor menggunakan jenis cetakan ASTM D638 dengan tipe V dengan ketebalan 1 mm dan temperatur 140 °C selama waktu 15 menit dan didinginkan pada suhu kamar.

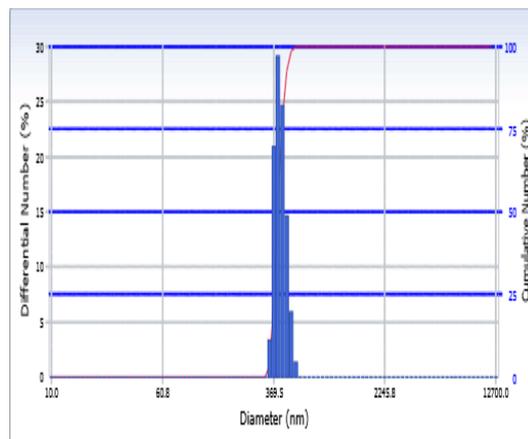
### Pembuatan Komposit IPN dengan Penambahan Serbuk Montmorillonit untuk Bahan Pengisi

Campuran antara Karet alam (NR) SIR-10 dan Poliuretan (PU) paling optimum ditambahkan dengan Montmorillonit (MMT), dimana sejumlah 82 phr antara NR-PU dimasukkan kedalam internal mixer kemudian diputar pada temperatur 140°C kemudian ditambahkan 18 phr MMT lalu diputar selama waktu 15 menit.

Selanjutnya campuran tersebut dilakukan pengkompresan dengan menggunakan hot kompresor menggunakan cetakan jenis ASTM D638 dengan tipe V dengan ketebalan 1 mm dan temperatur 140 °C selama waktu 15 menit kemudian didinginkan pada suhu kamar.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Ukuran Partikel Montmorillonit Dengan PSA (*Particle Size Analyzer*)



Gambar 1. Grafik Distribusi Partikel Montmorillonit

Data yang ditampilkan pada grafik (Gambar 1) menggambarkan bahwa partikel montmorillonit memiliki ukuran partikel yang terdistribusi dengan rata-rata sebanyak 413,3 nm dan nilai standar deviasi  $\pm 39,3$  nm.

### Hasil Analisis Berat Molekul Karet Alam Termastikasi Dengan Viskositas Mooney

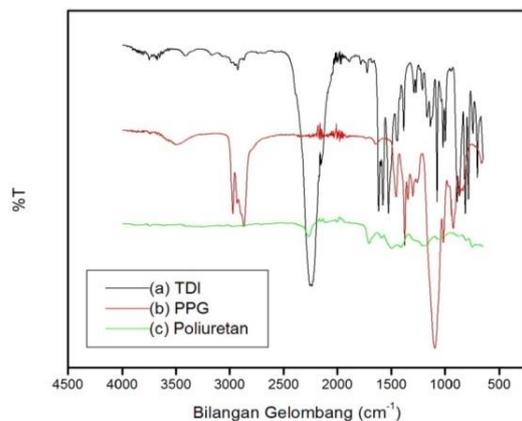
Tabel 1. Hasil Analisis Berat Molekul Dengan Viskositas Mooney

Waktu putaran (menit)	$\eta$ Mooney	Berat Molekul (gr/ml)
0	60,84444	1.015.697,34
2	33,32222	433.530,15
4	27,78889	337.098,30
6	31,45556	401.402,40
8	28,76667	352.491,70
10	30,21111	377.609,45

### Hasil Analisis Gugus Fungsi Poliuretan dari Toluena Diisohanat dan Polipropilena Glikol

Berdasarkan pada hasil spektrum FTIR poliuretan (Gambar 2) menunjukkan adanya perubahan gugus isosianat ( $N=C=O$ ) setelah polimerisasi pada bilangan gelombang 2270,77  $cm^{-1}$ . Identifikasi terhadap FTIR tersebut menunjukkan pita serapan pada 3299,92

$\text{cm}^{-1}$  yang merupakan daerah ulur gugus N-H terikat, dan bilangan gelombang 1713,14  $\text{cm}^{-1}$  merupakan ciri khas dari poliuretan karena menunjukkan puncak C=O uretan.



Gambar 2. Spektrum FTIR Toluena Diisosiadat, Polipropilena Glikol, dan Poliuretan

### Analisis Uji Mekanik Komposit IPN Pencampuran antara Karet Alam SIR-10 dan Poliuretan

Tabel 2. Hasil dari Uji Mekanik Komposit IPN Antara Campuran Karet Alam SIR-10 dengan Poliuretan

Komposisi NR : PU (phr)	Stress ( $\times 10^{-3}$ ) (MPa)	Strain (%)	Modulus Elastisitas ( $\times 10^{-3}$ ) (MPa)
100 : 0	12,56	65,13	19,28
90 : 10	22,22	82,02	27,09
80 : 20	23,11	96,21	24,02
70 : 30	15,71	86,84	18,09
60 : 40	10,68	37,24	28,68
50 : 50	0	0	0
40 : 60	0	0	0
30 : 70	0	0	0
20 : 80	-	-	-
10 : 90	-	-	-
0 : 100	49,25	5,53	890,60

Campuran karet alam SIR-10 80 phr dan poliuretan 20 phr yang mempunyai karakteristik sifat mekanik paling baik, dimana nilai stress yang dihasilkan sebesar  $23,11 \times 10^{-3}$  MPa, nilai regangan yang dihasilkan sebesar 96,21 % dan nilai Modulus Elastisitas yang dihasilkan sebesar  $24,02 \times 10^{-3}$  MPa.

### Analisis Sifat Mekanik Komposit IPN Dengan Penambahan Montmorillonit

Tabel 3. Hasil Uji Mekanik Komposit IPN dengan Menambahkan MMT

Komposisi NR-PU : MMT (phr)	Stress ( $10^{-3}$ ) (Mpa)	Strain (%)	Modulus Elastisitas ( $10^{-3}$ ) (MPa)
82 : 18	6,48	65,78	9,85
80 : 20	9,98	92,97	10,73
78 : 22	10,67	109,89	9,71
76 : 24	12,31	124,58	9,88
74 : 26	18,92	150,14	12,60
72 : 28	14,13	140,00	10,09
70 : 30	6,92	107,29	6,45
68 : 32	6,00	96,94	6,19

Komposisi campuran Karet Alam Poliuretan (NR-PU) dan Montmorillonit (MMT) yang memiliki karakteristik sifat mekanik yang sangat baik adalah pada perbandingan 74 phr : 26 phr, dimana nilai stress (tegangan) yang dihasilkan sebesar  $18,92 \times 10^{-3}$  MPa, nilai strain (regangan) yang dihasilkan sebesar 150,14 % dan Modulus Elastisitas dihasilkan yaitu  $12,60 \times 10^{-3}$  dalam satuan MPa.

### Karakterisasi Persentase Ikatan Silang IPN Antara Poliuretan dan Karet Alam SIR-10

Hasil pengujian penentuan persentase ikatan silang interpenetrasi jaringan polimer (IPN) antara poliuretan dan karet alam SIR-10 seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Persentase Poliuretan - Karet Alam SIR-10 Dalam Pembentukan Ikatan Silang IPN

Komposisi NR : PU (phr)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Persen Ikatan Silang (%)
100 : 0	1,39	1,29	92,81
90 : 10	0,87	0,80	91,95
80 : 20	1,25	1,21	96,80
70 : 30	1,25	1,18	94,40
60 : 40	1,23	1,15	93,50
0 : 100	0,73	0,68	93,15

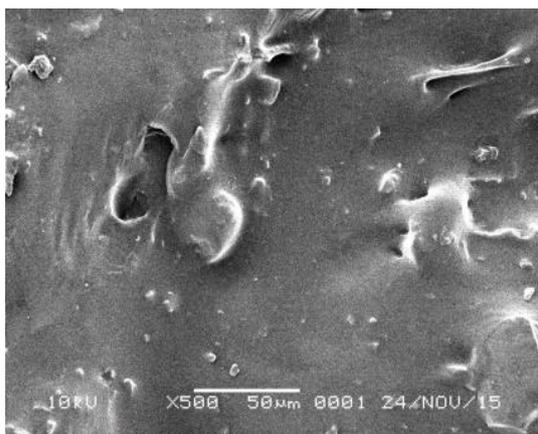
### Analisis Daya Serap Air dengan Penambahan Montmorillonit Pada Komposit IPN

Tabel 5. Daya Serap Air Dengan Penambahan Montmorillonit pada Sampel Komposit IPN

Komposisi NR-PU : MMT (phr)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Daya Serap Air (%)
82 : 18	1,55	1,63	5,16
80 : 20	1,48	1,55	4,73
78 : 22	1,55	1,62	4,52
76 : 24	1,52	1,57	3,29
74 : 26	1,55	1,58	1,94
72 : 28	1,46	1,49	2,05
70 : 30	1,26	1,29	2,38
68 : 32	1,44	1,47	2,08

### Analisis Sifat Morfologi Komposit IPN Dengan Uji SEM

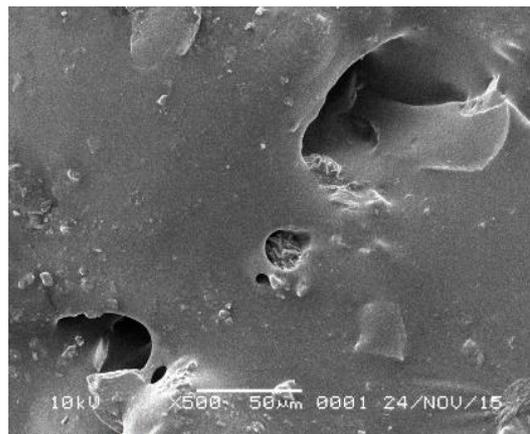
Berdasarkan hasil foto SEM (Gambar 3) dengan penambahan MMT sebagai bahan pengisi dari komposit IPN atas perbandingan (74:26) phr dengan perbesaran 500 kali menunjukkan adanya pembentukan fasa homogen antara karet alam, poliuretan, dan MMT pada permukaan dari patahan komposit IPN tersebut.



Gambar 3. Hasil Foto SEM Dengan Penambahan Montmorillonit (74:26) Dari Komposit IPN

Selanjutnya berdasarkan pada Gambar 4. yang merupakan hasil foto SEM dengan penambahan MMT sebagai bahan pengisi komposit IPN atas perbandingan (82:18) phr dengan perbesaran 500 kali.

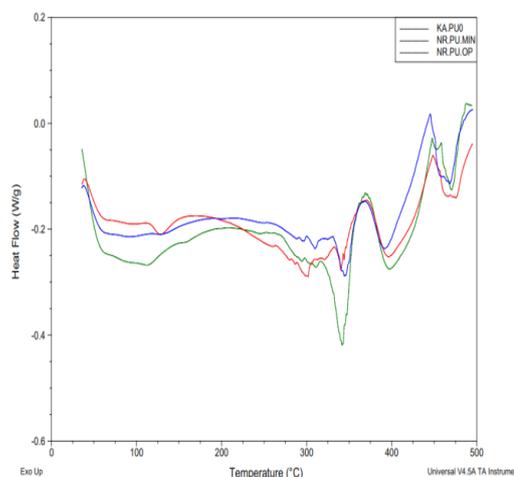
Permukaan patahan komposit IPN tersebut menunjukkan berkurangnya partikel-partikel montmorillonit inilah yang dapat menurunkan kekuatan tarik komposit IPN. Penyebaran partikel montmorillonit yang tidak merata menyebabkan matriks tidak mampu mengikat penguat dengan baik, maka dihasilkan ikatan *interface* antara karet alam-poliuretan dan montmorillonit menjadi lemah.



Gambar 4. Hasil Foto SEM Dengan Penambahan Montmorillonit (82:18) Dari Komposit IPN

### Analisis Sifat Termal Komposit IPN dengan Uji DSC

Dari hasil DSC (Gambar 5) dapat dilihat temperatur tansi gelas ( $T_g$ ) pada NR-PU 108,38 °C, NR-PU-MMT Optimum dan minimum adalah 122,29 °C, dan 120 °C dihasilkan temperatur yang hampir sama.



Gambar 5. Hasil Uji DSC IPN NR-PU, Komposit IPN Optimum dan Minimum

Sedangkan untuk titik leleh ( $T_m$ ) nya (Gambar 5) tersebut diperoleh temperatur dengan perbedaan yang signifikan hal ini membuktikan bahwa komposit IPN dengan titik leleh 363,53 °C merupakan komposit IPN NR-PU-MMT paling optimum dibandingkan dengan titik leleh 340,30 °C yang merupakan komposit IPN NR-PU-MMT yang minimum.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai Pembuatan Komposit Interpenetrasi Jaringan Polimer yang mencampurkan Antara Poliuretan-Karet Alam SIR-10 Dengan Penambahan Montmorillonit Sebagai Bahan Pengisi, dapat ditarik kesimpulan.

Hasil sintesis Poliuretan - Karet Alam (NR) SIR-10 menghasilkan pengukuran dengan kekuatan tarik dan juga regangan dari campuran. Yakni kekuatan regangan meningkat dengan penambahan 20 phr poliuretan yakni 96,21 % pada perbandingan NR : PU = 80 phr : 20 phr, selain itu kekuatan tegangan tarik yang dihasilkan juga meningkat hingga 23,11 x 10<sup>-3</sup> Mpa, campuran tersebut juga memiliki nilai Modulus Elastisitas sebesar 24,02 x 10<sup>-3</sup> MPa.

Persentase ikat silang antara Poliuretan dan Karet Alam SIR-10 menunjukkan bahwa persen Ikat silang yang dihasilkan menunjukkan adanya interaksi yang sangat kuat antara komponen campuran, dan dapat dilihat pada perbandingan Karet alam dengan poliuretan pada 80 phr : 20 phr mendapatkan persen ikat silang yang paling tinggi.

Konsentrasi campuran yang paling tepat dengan penambahan Montmorillonit dalam sintesis IPN pada campuran Poliuretan - Karet Alam (NR) SIR-10 adalah pada perbandingan 74 phr : 26 phr dengan ukuran partikel bahan pengisi Montmorillonit terdistribusi dengan rata-rata sebanyak 413,3 nm dan nilai standar deviasi adalah ± 39,3 nm.

Peningkatan sifat mekanik yang maksimum pada sintesis IPN antara Poliuretan-Aaret Alam SIR-10 dengan penambahan Monmorillonit adalah Pada perbandingan 74 phr : 26 phr, memiliki nilai stress (tegangan) yang paling optimum yakni sebesar 18,92 x 10<sup>-3</sup> MPa, nilai strain (regangan) yang dihasilkan sebesar 150,14 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amrollahi, M. (2011). *Investigation Of Novel Polyurethane Elastomeric Networks Based On Polybutadiene-Ol/ Polypropylene oxide Mixture And Their Structure-Properties Relationship*. Materials And Design. 32. pp 3933–3941.
- [2] Laurent, J. G. (2014). *Soft And Flexible Interpenetrating Polymer Networks Hosting Electoreflective Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)*. Solar Energy Materials & Solar Cells. 127. pp 33–42.
- [3] Marinovic, S. (2010). *The Influence Of Different Components On Interpenetrating Polymer Network's (IPN's) Characteristics As Automotive Top Coats*. Progress In Organic Coatings. 68. pp 293–298.
- [4] Nicolas, F. (2014). *Electro-Active Interpenetrating Polymer Networks Actuators and Strain sensors: Fabrication, Position Control And Sensing Properties*. Sensors and Actuators B. 193. pp 82–88.
- [5] Shoubing, C. (2011). *Hydroxy-Terminated Liquid Nitrile Rubber Modified Castor Oil Based Polyurethane/ Epoxy IPN Composites : Damping, Thermal And Mechanical Properties*. Polymer Testing. 30.
- [6] Tamrin. (1997). *Penyediaan dan Pencirian Polimer Jaringan Saling Menembus Antara Getah Asli dan Poliuretana*. Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.

- [7] Vivek, J. D. (2013). *Synthesis and Characterization of Interpenetrating Polymer Networks From Transesterified Castor Oil Based Polyurethane and Polystyrene*. Journal of Saudi Chemical Society. Sardar Patel University, Gujarat.