

THE EFFECT OF SARULLA NATURAL NANOZEOLITE ADDITION IN THE PREPARATION OF NANOCOMPOSITE FOAM POLYURETHANTS VIEWED FROM FTIR CHARACTERIZATION

Oleh:

Fransiskus Gultom ¹⁾

dan Hernawaty ²⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2)}

dan STKIP Riama, Medan ^{1,2)}

E-mail:

fransiskusgultom2277@gmail.com ¹⁾

dan hernawatysihotang1973@gmail.com ²⁾

ABSTRACT

The fabrication and characterization of polyurethane foam nanocomposites with the addition of Sarulla natural nanozeolite fillers has been investigated. The steps carried out in research on the manufacture of polyurethane foam nanocomposites are: 1) Preparation and purification of natural zeolites, 2) Preparation of nanozeolites, and 3) Preparation of polyurethane foam nanocomposites is carried out using an in situ process by mixing natural nanozeolites in a mixture of polypropylene glycol and toluene diisocyanate. The results of the particle size analyzer show Sarulla nanozeolite particle size is 95.8 nm. The XRF results showed that the main composition of Sarulla nanozeolites was SiO₂ (80.98%) and Al₂O₃ (14.21%), while the XRD results showed that Sarulla nanozeolites were Mordenite types. Variation in weight ratio of nanozeolites as fillers to polypropylene glycol and toluene diisocyanate is (0, 5, 10, 15, 20 and 25)%. The results of the FTIR spectrum of polyurethane foam and polyurethane foam nanocomposite show almost the same functional groups, this is caused by the interaction that occurs between polyurethane foam and nanozeolite is a physical reaction.

Keywords: *Nanocomposite, Polyurethane Foam, Natural Zeolite, and FTIR*

ABSTRAK

Pembuatan dan karakterisasi nanokomposit busa poliuretan dengan penambahan pengisi nanozeolit alam Sarulla telah diteliti. Tahap yang dilakukan dalam penelitian pada pembuatan nanokomposit busa poliuretan adalah: 1) Persiapan dan

pemurnian zeolit alam, 2) Pembuatan nanozeolit, dan 3) Pembuatan nanokomposit busa poliuretan dilakukan menggunakan proses *in situ* dengan cara mencampurkan nanozeolit alam pada campuran polipropilene glikol dan toluene diisosiyanat. Hasil analisis *particle size analyzer* menunjukkan ukuran partikel nanozeolit Sarulla adalah 95,8 nm. Hasil XRF menunjukkan bahwa komposisi utama nanozeolit Sarulla adalah SiO₂ (80,98%) dan Al₂O₃ (14,21%), sementara hasil XRD menunjukkan bahwa nanozeolit Sarulla adalah jenis Mordenit. Variasi perbandingan persen berat nanozeolit sebagai bahan pengisi terhadap polipropilene glikol dan toluene diisosiyanat adalah (0, 5, 10, 15, 20 dan 25)%. Hasil spektrum FTIR busa poliuretan dan nanokomposit busa poliuretan menunjukkan gugus fungsi yang hampir sama, hal ini diakibatkan oleh interaksi yang terjadi antara busa poliuretan dan nanozeolit adalah reaksi fisika.

Kata kunci : nanokomposit, busa poliuretan, zeolit alam, dan FTIR

PENDAHULUAN

Polimer yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan sebagai bahan busa adalah poliuretan. Poliuretan selain sebagai bahan busa, saat ini dimanfaatkan sebagai bahan elastomer, perekat dan pelapis. Busa poliuretan diklasifikasikan sebagai busa fleksibel, semi-kaku atau kaku tergantung pada sifat mekanik dan kerapatannya (Cinelli, *et al.*, 2013).

Busa poliuretan umumnya tidak tahan dengan suhu yang tinggi dan akan mengalami degradasi, sehingga diperlukan usaha untuk mengatasi permasalahan itu. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengatasi sifat busa poliuretan yang tidak tahan terhadap suhu yang tinggi misalnya memodifikasi busa poliuretan dengan

bahan pengisi *clay*, CaCO₃ dan bentonit. Xia Cao, *et al.*, (2004) melaporkan bahwa pengisi bentonit yang ditambahkan pada poliuretan dapat meningkatkan *T_g* (*Temperature glass*) poliuretan sebesar 6°C. Disisi lain penelitian nano komposit busa poliuretan telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti baik dari sifat termal, morfologi, mekanik dan peredam suara (*sound damping*) dengan menggunakan berbagai pengisi diantaranya yaitu nano komposit *clay* dengan poliuretan. Sangram, *et al.*, (2014) melaporkan bahwa pengisi *clay* mampu memperkecil pori-pori dari poliuretan sehingga meningkatkan sifat termal secara signifikan dengan menggunakan TEM dan juga penelitian ini membuktikan tidak

adanya reaksi kimia akan tetapi analisis saserapan infra merah membuktikan adanya interaksi fisika antara *clay* dan poliuretan, oleh karena itu peningkatan interaksi fisika pada konsentrasi *clay* tertentu yang ditambahkan dapat meningkatkan sifat mekanik terutama *tensile strength* (tegangan dan regangan).

Pada penelitian ini busa poliuretan dimodifikasi dengan penambahan pengisi nanozeolit yang bertujuan agar zeolit terdistribusi merata pada busa poliuretan. Penggunaan zeolit sebagai pengisi dalam busa poliuretan dikarenakan zeolit merupakan senyawa alumina silikat yang tersusun dari logam-logam seperti logam aluminium, natrium, besi, dan sebagainya tergantung pada jenis zeolitnya (Makadia, 2000; Cho, *et al.*, 2000; Paul, *et al.*, 2000).

Zeolit dalam beberapa daerah di Indonesia sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, zeolit yang sangat melimpah tersebut, tersebar di berbagai daerah di pulau Jawa, Sumatera, dan Sulawesi. Salah satu sumber zeolit dalam yang terdapat

di Propinsi Sumatera Utara adalah di daerah Sarulla, Kecamatan Pahae, Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara. Berdasarkan hasil pemetaan yang dilakukan jumlah cadangan zeolit di daerah Sarulla, Kecamatan Pahae, Kabupaten Tapanuli Utara berjumlah 3.340.000 ton (Balitbang SU., 2006).

Nanokomposit busa poliuretan dipreparasi dalam konsentrasi persenyang berbeda, dengan harapan diperoleh material nanokomposit busa poliuretan yang memiliki sifat termal yang lebih baik dari material asalnya, disamping itu juga akan dilihat perubahan gugus yang dihasilkan dari reaksi antara kedua komponen. Harapan dari penelitian ini adalah memberikan masukan pada industri *furniture* aplikasi matras.

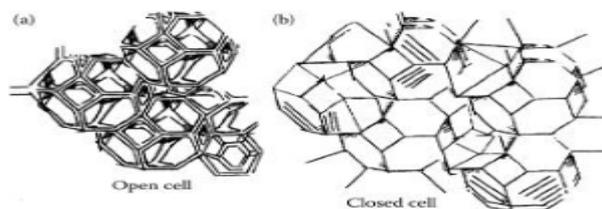
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Poliuretan

Poliuretan merupakan bahan polimer yang mempunyai ciri khas gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi uretan dihasilkan dari reaksi antara isosianat dengan senyawa

Berdasarkan struktur selnya, *foam* dibedakan menjadi dua, yaitu: sel tertutup (*closed cell*) dan sel terbuka (*opened cell*). *Foam* struktur sel tertutup (*closed cell*) tidak memiliki jaringan sel yang terhubung. *Foam* dengan struktur sel tertutup merupakan bahan foam padat/*rigid foam* (*foam* kaku seperti pada insulasi kedap suara). Biasanya jenis *foam* ini memiliki kuat tekan yang lebih tinggi karena strukturnya, memiliki stabilitas dimensi yang lebih tinggi, serapan air rendah dan

memiliki kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan *foam* sel terbuka (*opened cell*). *Foam* dengan struktur sel terbuka (*opened cell*) mengandung pori-pori yang saling terhubung satu sama lainnya untuk membentuk jaringan interkoneksi. Jenis *foam* ini memiliki kerapatan relatif lebih rendah dan penampilannya seperti *spons/flexible foam* (*foam* fleksibel seperti kasur busa, alas kursi dan jok mobil) (Szycher, 2013).



Gambar 2. (a). Foam struktur sel terbuka (*open cell*) dan (b). Foam struktur sel tertutup (*closed cell*) (Szycher, 2013)

2.2. Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan

vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin (Lestari, 2010).

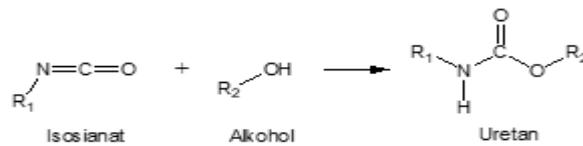
2.3. Pembentukan Busa Poliuretan

Terdapat dua sistem yang dapat digunakan untuk membentuk poliuretan yaitu: sistem *one-step*

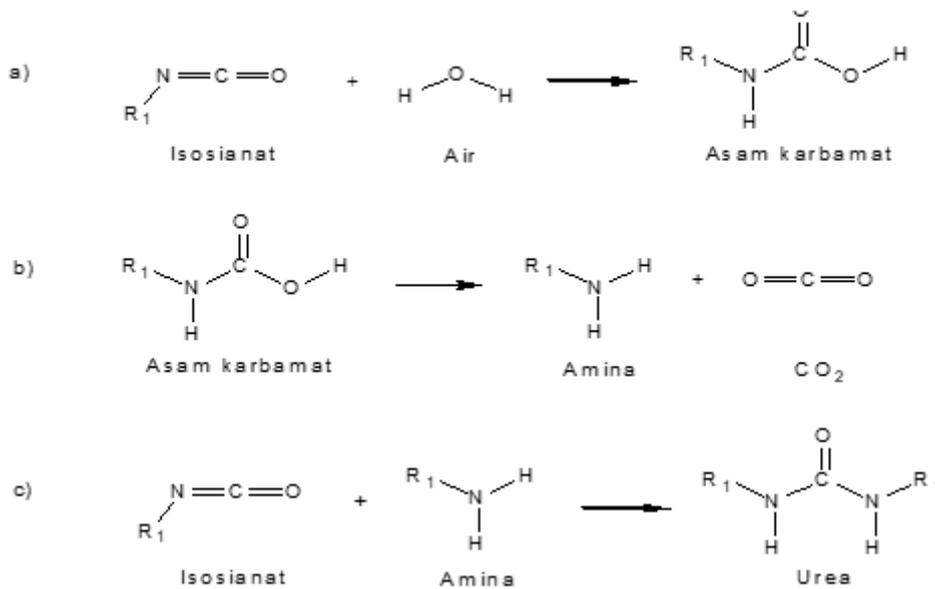
(*one-shot process*) dan sistem *two-step (prepolymer process)*. Sistem *one-step(one-shot process)* umumnya digunakan dalam

pembentukan busa poliuretan, sedangkan sistem *two-step (prepolymer process)* diaplikasikan pada produksi elastomer.

Reaksi-reaksi ini diilustrasikan pada Gambar 3. dan Gambar 4. di bawah ini:



Gambar 3. Reaksi gel (Edward, 1981)



Gambar 3. Reaksi pembentukan busa poliuretan a).reaksi *blow*-tahap awal, b).reaksi *blow*-tahap dekomposisi), dan c). reaksi *blow*-pembentukan urea (Edward, 1981).

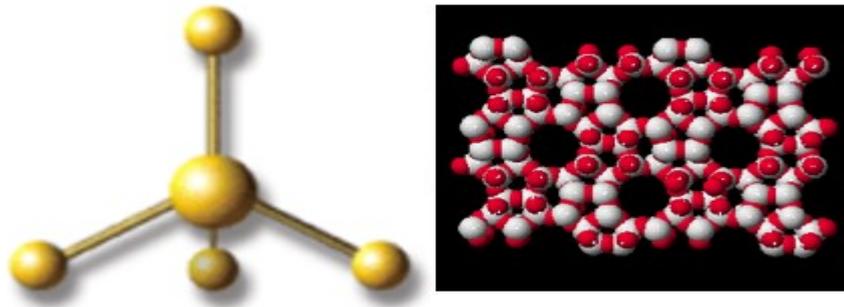
2.4. Zeolit

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi

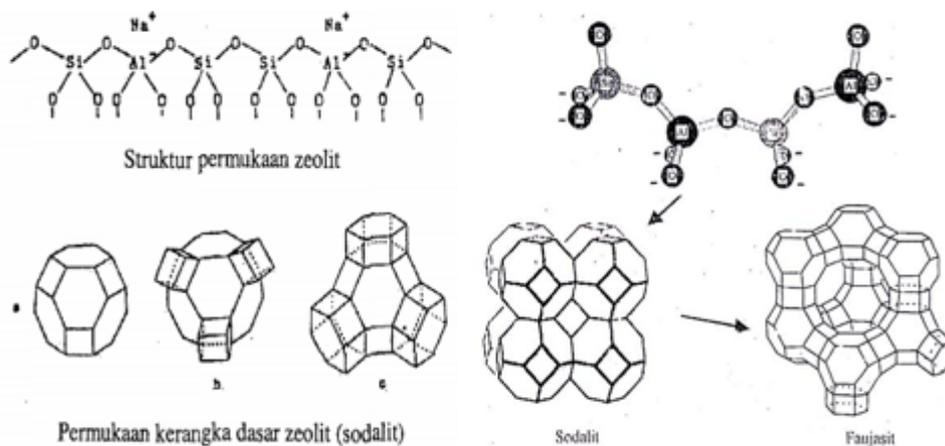
molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*.

Aktivasi secara kimia dapat juga dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na₂EDTA atau asam-asam anorganik seperti: HF,

HCl dan H₂SO₄ untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutup (Setiadi dan Astri Pertiwi, 2007).



Gambar 4. Kristal zeolit tiga dimensi yang dibangun oleh tetrahedral AlO₄ dan SiO₄



Gambar 5. Struktur molekul zeolit

2.5. Nanoteknologi

Nanoteknologi adalah ilmu dan rekayasa dalam menciptakan material, struktur fungsional, maupun piranti alam skala nanometer. Material berukuran nanometer memiliki

sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material berukuran besar (*bulk*). Disamping itu material dengan ukuran nanometer memiliki sifat yang kayakarena menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh material ukuran besar.

Sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah dengan melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel (Abdullah, 2009).

Nanoteknologi merupakan suatu teknologi yang dihasilkan dari pemanfaatan sifat-sifat molekul atau struktur atom apabila berukuran nanometer. Jadi apabila molekul atau struktur dapat dibuat dalam ukuran nanometer maka akan dihasilkan sifat-sifat baru yang luar biasa. Sifat-sifat baru inilah yang dimanfaatkan untuk keperluan teknologisehingga teknologi ini disebut nanoteknologi (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).

2.6. Karakterisasi

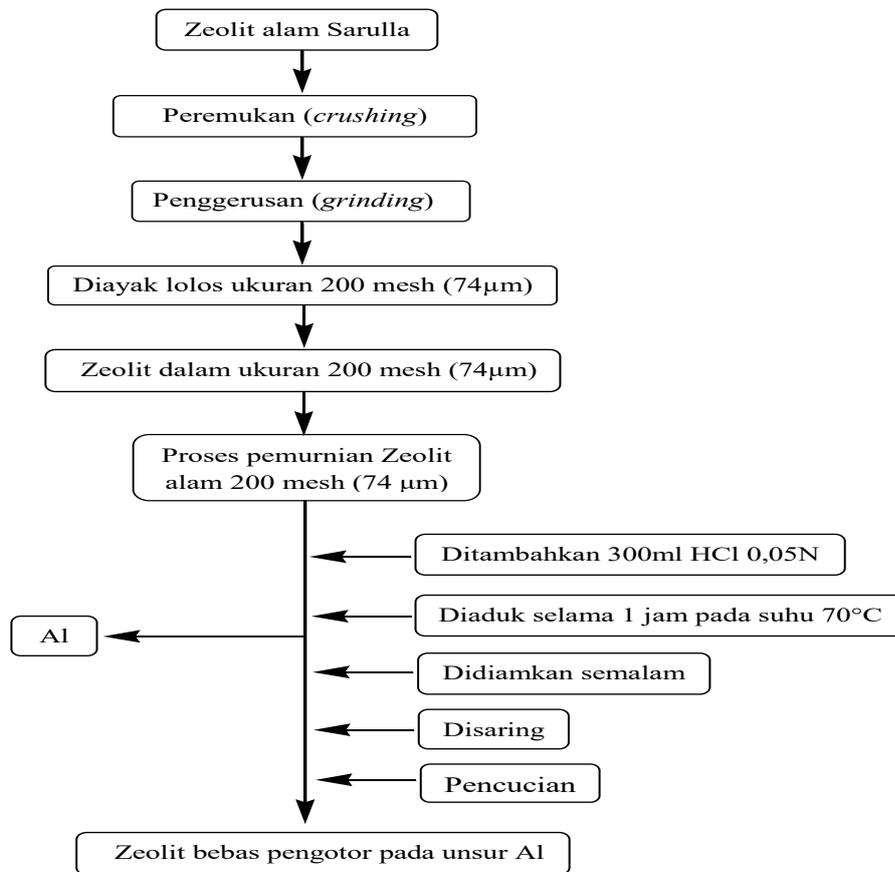
Karakterisasi polimer merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu industri polimer guna menentukan aplikasi dari polimer. Aplikasi polimer ini ditentukan oleh sifat yang dimiliki oleh bahan polimer tersebut. Dari hasil pembuatan sampel nanozeolit alam, maka dilakukan beberapa karakterisasi meliputi: analisis PSA, XRD, dan SEM. Hasil nanokomposit

busa poliuretan dengan bahan pengisi nanozeolit alam maka dilakukan analisis FTIR.

METODE PENELITIAN

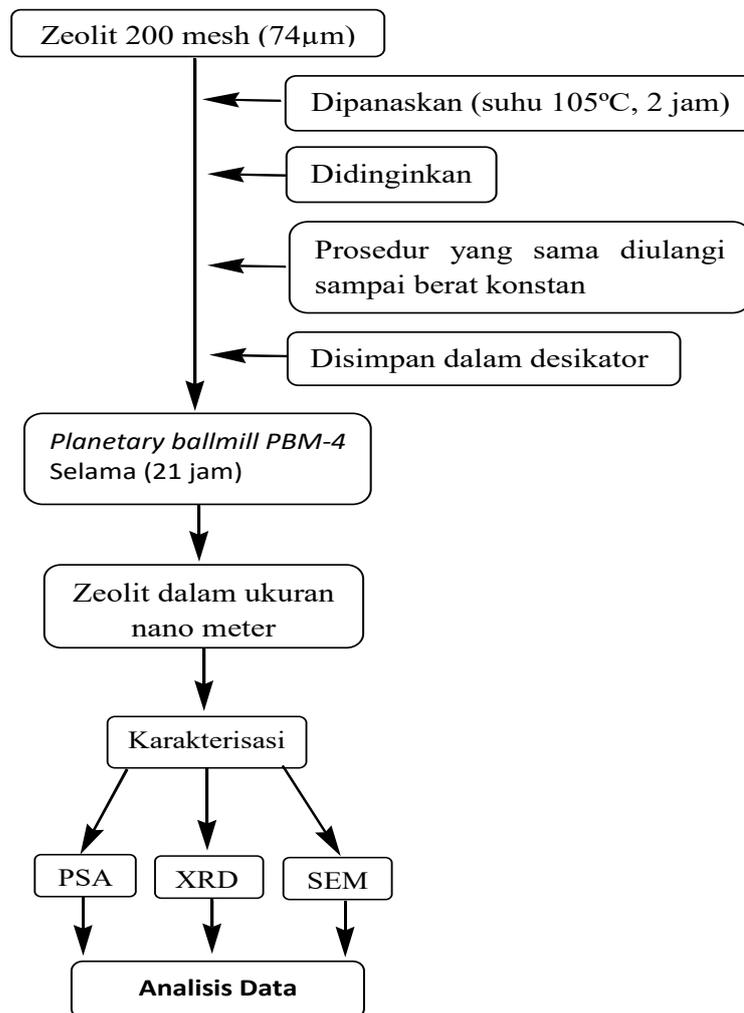
Proses Persiapan dan Pemurnian Zeolit Alam

Pada tahapan ini, sampel zeolit alam diperoleh dari daerah Sarulla, Kecamatan Pahae, Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara. Sampel zeolit alam Sarulla dilakukan peremukan (*crushing*) dan penggerusan (*grinding*) hingga berbentuk serbuk halus sehingga lolos pada mata ayakan 200 mesh (74 mikrometer). Kemudian di aktivasi dengan penambahan 300ml larutan HCl 0.05N, lalu diaduk sampai homogen dengan menggunakan magnetik stirer selama 1 jam pada suhu 70°C, selanjutnya didiamkan selama 1 malam. Setelah itu disaring dengan menggunakan kertas saring dengan tujuan untuk memisahkan larutan HCl dengan zeolit alam, kemudian dilakukan pencucian ulang dengan menggunakan air aquades dan kembali memisahkan antara zeolit alam dengan air aquades sampai diperoleh pH netral.



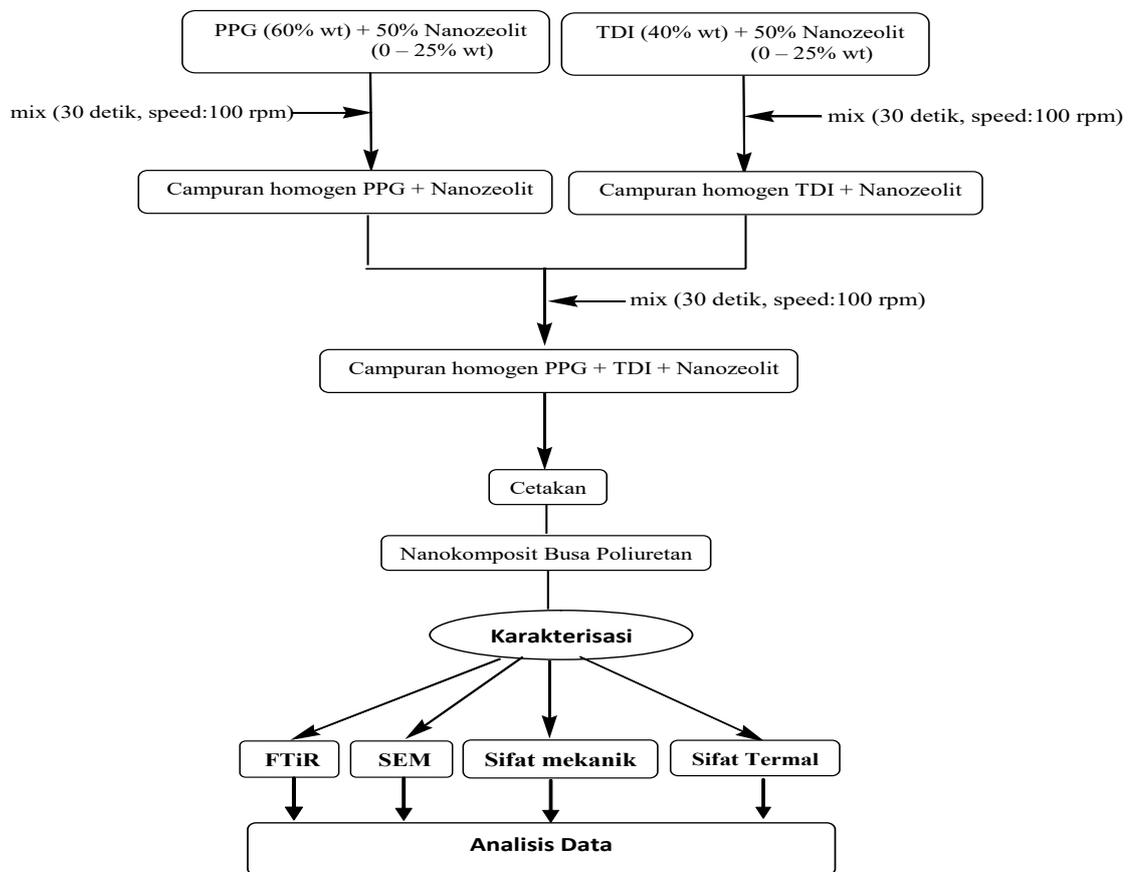
Gambar 6. Diagram alir proses persiapan dan pemurnian zeolit alam

Proses Pembuatan Nanozeolit



Gambar 7. Diagram Alir Proses Pembuatan Nanozeolit

Proses Pembuatan Nanokomposit Busa Poliuretan



Gambar 8. Diagram Alir Proses Pembuatan Nanokomposit Busa Poliuretan

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Nanozeolit

Zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam yang diperoleh dari daerah Sarulla, Kecamatan Pahae, Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara dengan ciri fisik berwarna putih kecoklat-coklatan. Sebagai salah satu material yang melimpah di alam, zeolit mengandung berbagai material lain seperti air dan pengotor

dari senyawa organik. Oleh karena itu, perlu dilakukan preparasi terhadap zeolit alam sebelum diaplikasikan.

Aktivasi zeolit secara kimia dilakukan dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori dan membuang senyawa pengotor. Proses aktivasi zeolit dengan perlakuan asam HCl menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan

kation-kation dalam kerangka zeolit sertaber dampak terhadap bertambahnya luas permukaan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Luas

permukaan yang bertambah diharapkan meningkatkan kemampuan zeolit dalam proses penyerapan.

4.2. Karakterisasi Nanozeolit

Zeolit alam sebelum preparasi ini dapat dilihat pada Gambar. di bawah ini.



Gambar 9.a). Zeolit Alam dan b). Zeolit ukuran 200 mesh (74 mikrometer)



Gambar 10. Nanozeolit alam sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) aktivasi semakin kecil ukuran partikel akan didapatkan luas permukaan yang lebih besar, yang mana dengan luas permukaan yang lebih besar pada zeolit ini akan terjadi penyebaran

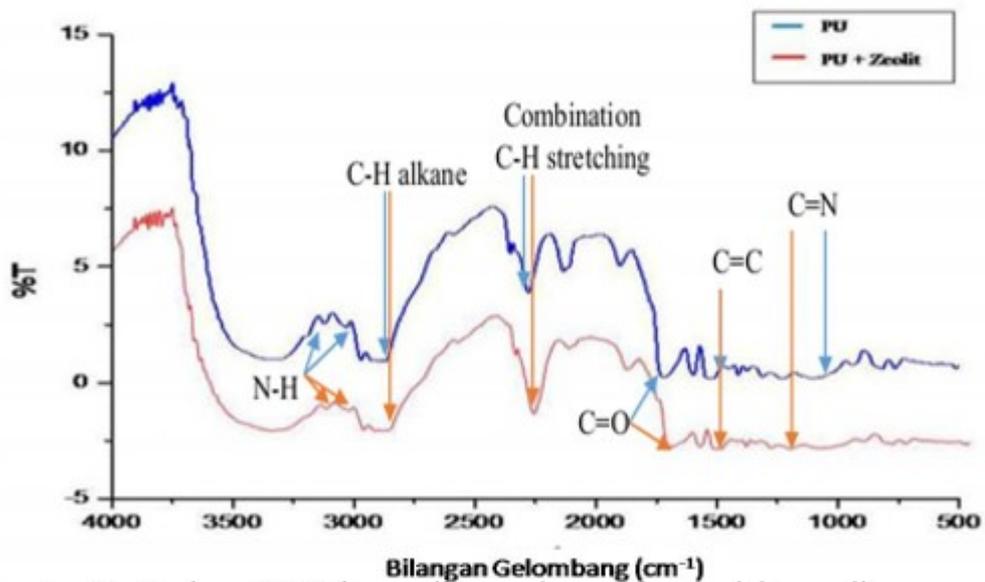
Nanozeolit yang diperoleh dengan ukuran partikel 95,8 nm atau lebih rendah dari hasil yang diperoleh beberapa peneliti sebelumnya, diharapkan dengan

yang lebih baik dalam penggunaannya sebagai bahan pengisi pada busa poliuretan, karena Fatimah dan Wijaya (2006) menyatakan dengan memanfaatkan

bahan pengisi dalam ukuran nanometer akan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan bila menggunakan bahan pengisi dalam ukuran mikrometer.

4.3. Karakterisasi dengan FTIR

Adapun hasil karakterisasi busa poliuretan dan nanokomposit busa poliuretan ditunjukkan pada Gambar di bawah.



Gambar 11. Spektum FT-IR busa poliuretan dan nanokomposit busa poliuretan

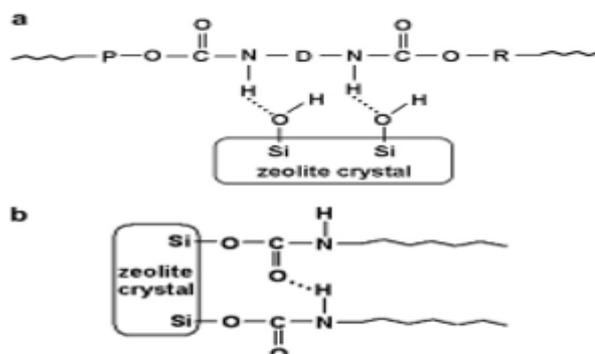
Tabel 1 .Daerah serapan untuk busa poliuretan dengan nanokomposit busa poliuretan

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang cm^{-1}	
	Busa Poliuretan	Nanokomposit Busa Poliuretan
N-H	3120,82 dan 3352,28	3120,82 dan 3344,57
C-H (alkana)	2927,94 dan 2970,38	2924,09 dan 2970,38
C=O	1724,36	1720,50

C=C (TDI)	1543,05 dan 1597,06	1543,05 dan 1600,92
C-H (aromatik)	763,81;821,68 dan 941, 26	763,81; 817,82 dan 933,55
C=N	1087,85; 1230,58 dan 1311,59	1234,44 dan 1311,59

Hasil karakterisasi dengan menggunakan spektrum IR pada daerah serapan hampir sama, yaitu $3120,82\text{cm}^{-1}$ dan $3352,28\text{cm}^{-1}$ untuk busa poliuretan, $3120,82\text{cm}^{-1}$ dan $3344,57\text{cm}^{-1}$ untuk nanokomposit busa poliuretan merupakan gugus N-H. Serapan pada daerah $2927,94\text{cm}^{-1}$ dan $2970,38\text{cm}^{-1}$ untuk busa poliuretan, $2924,09\text{cm}^{-1}$ dan $2970,38\text{cm}^{-1}$ untuk nanokomposit busa poliuretan merupakan gugus C-H (alkana). Serapan pada daerah $1724,36\text{cm}^{-1}$ dan $1720,5\text{cm}^{-1}$ merupakan gugus C=O dari senyawa amida. Pada daerah serapan $1543,05\text{cm}^{-1}$ dan $1597,06\text{cm}^{-1}$ merupakan gugus C=C dari TDI. Serapan pada daerah $1087,85\text{cm}^{-1}$; $1230,58\text{cm}^{-1}$; $1311,59\text{cm}^{-1}$; $1234,44\text{cm}^{-1}$ dan $1311,59\text{cm}^{-1}$ merupakan serapan gugus C=N dari senyawa isosianat.

Permukaan zeolit pada umumnya mengandung gugus hidroksil, T-OH (T = Si, Al, dan P). Berdasarkan reaktivitas gugus hidroksil, maka diperkirakan dapat terbentuk ikatan hidrogen dengan gugus -N-H yang terdapat pada rantai poliuretan.



Gambar 12. Kemungkinan a) interaksi fisika, b) interaksi fisika yang terjadi antara zeolit dan poliuretan

Spektrum FTIR dari poliuretan pada Gambar (pita biru), menunjukkan bahwa terdapat N-H *stretching* sebagai vibrasi uretan pada 3100-3300 cm^{-1} dan puncak terpecah menjadi 2 pita, yang disebabkan oleh interaksi intermolekuler yang terjadi dalam uretan, yakni interaksi ikatan hidrogen antara gugus C=O dari uretan dengan gugus N-H dari molekul uretan lainnya. Sedangkan untuk karakterisasi nanokomposit busa poliuretan dengan menggunakan FTIR dilakukan guna mengetahui perubahan lingkungan kimia yang terjadi antara rantai poliuretan dengan kristal zeolit. Gambar (pita merah dibandingkan dengan pita biru) menunjukkan bahwa

terjadi interaksi fisika, yakni interaksi ikatan hidrogen antara gugus -N-H dari rantai uretan dengan gugus OH dari zeolit (interaksi ditunjukkan oleh Gambar a). Puncak dengan intensitas rendah pada bilangan gelombang 3220 cm^{-1}

merupakan refleksi dari berlangsungnya interaksi tersebut. Terdapatnya perubahan intensitas dari beberapa puncak sebelum dan sesudah penambahan nanozeolit kemungkinan disebabkan oleh adanya pembentukan *crosslinking* poliuretan yang disebabkan oleh penambahan nanozeolit sebagai bahan pengisi.

SIMPULAN

Simpulan yang dapat penulis sajikan dalam tulisan ini adalah bahwa pembuatan nanokomposit busa poliuretan dengan penambahan pengisi nanozeolit alam Sarulla dapat meningkatkan sifat mekanik nanokomposit busa poliuretan. Peningkatan sifat mekanik nanokomposit busa poliuretan diperoleh pada nilai optimum 20% yaitu hasil spektrum FTIR busa poliuretan dan nanokomposit busa poliuretan menunjukkan gugus fungsi yang hampir sama, hal ini diakibatkan oleh interaksi yang terjadi antara busa poliuretan dan nanozeolit adalah reaksi fisika.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, Mikrajuddin. 2009.

- Pengantar Nanosains*. Penerbit ITB. Bandung.
- Academie des Science dan Academie des Technologies, 2004. *Nanoscience, Nanotechnologies, RST No.18*. <http://www/academiescience.fr/publications/rappports/rappportsht/ml/RST18htm>, diakses tanggal 17 Agustus 2014.
- Adebajo MO., Long MA, dan Frost RL., 2004. *Spectroscopic and XRD characterization of zeolite catalysts active for the oxidative methylation of benzene with methane*. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 60(4):791-9.
- Aini, Mukharomah Nur dan Lies Indriati. 2007. *Proses Pemutihan Zeolit Sebagai Bahan Pengisi Kertas*. *BS*, Vol. 42, No. I, Juni 2007 : 23 - 28.
- Akimkhan, MA., 2012, *Structural and Ion-Exchange Properties of natural Zeolite*, *InTech*, <http://dx.doi.org/10.5772/51682>, diakses tanggal 11 Desember 2015.
- Anisah, S., Sakti, Y. M., dan Sumarno. 2013. *Pengaruh Penggunaan Blowing Agent Methylene Chloride dan Karbondioksida Terhadap Struktur Polyurethane Foam*. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 1, No. 1; 1-3.
- Arryanto, Y., Amini, S., dan Rosyid, M.F., 2007. *IPTEK Nano di Indonesia. Terobosan, Peluang, dan Strategi*. Edisi 1, 12-35. Diglossia. Yogyakarta.
- Badan Peneliti dan Pengembangan Provinsi Sumatera Utara. 2006. *Kajian Bahan Galian Zeolit Untuk Dimanfaatkan Sebagai Bahan Baku Pupuk*. Medan.
- Bukit, Nurdin dan Rugaya. 2009. *Sintesis carbon dari limbah Perkebunan Disertai Analisis Penggunaannya Sebagai Filer Material Kompon Karet dan Breket Arang*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing DIKTI.
- Bukit, Nurdin. 2011. *Pengolahan Zeolit Alam Sebagai Bahan Pengisi Nano Komposit Polipropilena dan Karet Alam SIR-20 Dengan Kompatibelizer Anhidrida Maleat-Grafted-Polipropilena*. Disertasi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Bussaya Rattanasupa dan Wirunya Keawwattana. 2007. *The Development of Rubber Compound based on Natural Rubber (NR) and Ethylene-Propylene-Diene-Monomer (EPDM) Rubber for Playground Rubber Mat*. *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)* 41 : 239 – 247.
- Cinelli, P., Anguillesi, I dan Lazzeri, A., 2013. *Green Synthesis of*

- Flexible Polyurethane Foams from Liquefied Lignin*. European Polymer Journal. 49: 1174–1184.
- Ciobanu, C.L., Cook, N.J., Pring, A., Damian, G., and Capraru N., 2008. *Another look at nagyagite from the type locality, Sacarimb, Romania*. Replacement, chemical variation and petrogenetic implications. Mineralogy and Petrology 93, 273-307.
- Cowd, M.A., 1991. *Kimia Polimer*. Terjemahan Harry Firman. ITB. Bandung.
- Eddiyanto. 2007. *The Functionalisation of Polymers, Reactive Processing, Structure and Performance Characteristics*. Doctor,s Disertasion of Aston University, 10 August 2007.
- Graeme J. Millar, Abigail Winnett, Travis Thompson, dan Sara J. Couperthwaite. 2016. *Equilibrium studies of ammonium exchange with Australian naturalzeolites*. Journal of Water Process Engineering 9 (2016) 47–57.
- Gultom Fransiskus, 2015. *Preparation and Characterization of Polyol Natural Rubber Latex Based Polyurethane Foam*. Agrium ISSN 0852-1077 (Print) ISSN 2442-7306 (Online). April 2015 Volume 19 No.2.
- Gultom Fransiskus, 2015. *Preparation of Sarulla Natural Nanozeolite as a Filler for Polyurethane Foam Polymer*. Agrium ISSN 0852-1077 (Print) ISSN 2442-7306 (Online) Oktober 2015 Volume 19 No.3.
- Gultom Fransiskus, Basuki Wirjosentono, Thamrin, Hamonangan Nainggolan, dan Eddiyanto. 2015. *Preparation and Characterization from Natural Zeolite Sarulla of North Sumatera Polyurethane Nanocomposite Foams*. Chemistry and Materials Research. ISSN 2224- 3224 (Print) ISSN 2225- 0956 (Online). Vol.7 No.10, 2015.
- Gultom Fransiskus, Basuki Wirjosentono, Thamrin, Hamonangan Nainggolan, dan Eddiyanto. 2016. *Preparation and characterization of North Sumatera natural zeolitepolyurethane nanocomposite foams for light-weight engineering materials*. Procedia Chemistry 19 (2016) 1007 – 1013. Available online at www.sciencedirect.com. ScienceDirect.Elsevier.
- Gultom Fransiskus, Basuki Wirjosentono, Thamrin, Hamonangan Nainggolan, dan Eddiyanto. 2016. *Preparasi Zeolit Alam Sarulla Kecamatan Pahae Kabupaten TapanuliUtara Propinsi*

Sumatera Utara Sebagai Bahan Pengisi Dalam Aplikasi Nanokomposit Busa Poliuretan. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2016. ISBN : 978-602-432-004-2.

Gultom Fransiskus, 2019. Pengaruh Penambahan Nanozeolit Alam Dalam Preparasi Nanokomposit Foam Poliuretan Terhadap Sifat Mekanik. JURNAL DARMA AGUNG Volume XXVII, Nomor 3, Desember 2019: 1179–1190.
<https://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/jurnaluda/article/view/377/351>. p-ISSN 0852-7296 (Print) e-ISSN 2654-3915(Online).

Szycher, Michael. 2013. *Szycher's Handbook Of Polyurethanes Second Edition*. CRC.Press. New York.

Thamrin, 2003. *Saling Tembus Polimer Antara Karet Alam (Sir – 20) Dan Poliuretan Thermoplastik*. Jurnal Sains Kimia (Journal Of Chemical Science). Volume 7, 2003. ISSN : 1410 – 5152.