



Artikel Penelitian

Potensi Zeolit Alam dalam Meningkatkan Sifat Termal Busa Poliuretan

Erfina Oktariani¹, Linda Rohmata Sari¹

¹ Prodi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta, 10510, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 18 Juli 2021
 Direvisi : 16 Agustus 2021
 Diterbitkan : 28 Agustus 2021

KATA KUNCI

Busa poliuretan, derajat kristalinitas, stabilitas termal, temperatur transisi kaca, zeolit alam.

KORESPONDENSI

E-mail Author Korespondensi:

erfina@kemenperin.go.id

E-mail Co-Author:

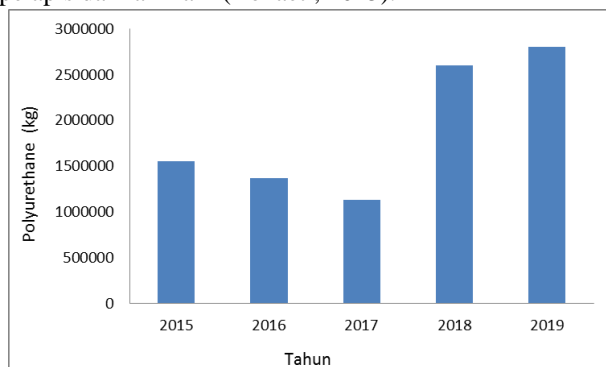
lindarohmatasari@gmail.com

A B S T R A K

Busa poliuretan banyak digunakan sebagai *roof head lining* di kendaraan bermotor berpenumpang banyak (bus). Tetapi poliuretan memiliki kekurangan yaitu tidak tahan dengan suhu yang tinggi dan akan mengalami degradasi sehingga dilakukan upaya untuk mengatasinya, salah satu upaya ialah menambahkan pengisi. Zeolit sebagai pengisi dapat memberikan keuntungan karena memiliki sifat stabil pada temperatur tinggi. Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui pengaruh penambahan zeolit terhadap sifat dekomposisi, derajat kristalinitas dan temperatur transisi kaca pada komposit busa poliuretan/zeolit. Metode yang digunakan dalam pembuatan busa poliuretan ialah metode *one shot*. Metode ini dilakukan dengan cara memasukan semua bahan baku seperti polioliol dan isosianat dengan perbandingan 3:2 dan zeolit dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% lalu dituang kedalam cetakan. Pada penelitian ini sifat yang diamati ialah derajat kristalinitas, temperatur transisi kaca dan dekomposisi. Suhu dekomposisi poliuretan mengalami kenaikan ketika ditambahkan zeolit, derajat kristalinitas mengalami kenaikan seiring ditambahkan zeolit. Sedangkan temperatur transisi kaca mengalami penurunan seiring ditambahkan zeolit.

PENDAHULUAN

Ekspor poliuretan di Indonesia mengalami penurunan dari tahun 2015 sampai tahun 2017. Pada tahun 2018 hingga 2019 mengalami peningkatan yang cukup tajam, dapat dilihat pada Gambar 1. Peningkatan ini terjadi karena poliuretan mempunyai cakupan yang amat luas, tidak hanya digunakan sebagai *fiber*, tetapi dapat juga digunakan untuk membuat busa, bahan elastomer (karet/plastik), lem, pelapis dan lain-lain (Rohaeti, 2015).



Gambar 1. Ekspor poliuretan lima tahun terakhir
 Sumber: Biro Pusat Statistik.

Poliuretan menjadi daya tarik karena penggunaan yang cukup luas di berbagai bidang, salah satunya dibidang otomotif. Pada bidang ini poliuretan dapat dijumpai sebagai komponen kendaraan yang meliputi bagian eksterior dan interior misalnya *bumper*, panel-panel *body*, tempat duduk, dan lain-lain (Komariyah, 2016). Salah satu panel mobil yang menggunakan poliuretan yaitu *roof head lining* atau biasa disebut plafon, berfungsi sebagai peredam panas.

Poliuretan berkembang menjadi suatu material khas yang mempunyai tetapan yang amat luas, tidak hanya digunakan sebagai fiber, tetapi dapat juga digunakan untuk membuat busa, bahan elastomer, lem, pelapis dan lain-lain (Manik, 2014). Sekitar 70% poliuretan diaplikasikan untuk pembuatan busa, sisanya diaplikasikan pada elastomer, lem dan pelapis.

Pada umumnya busa poliuretan diklasifikasikan ke dalam tiga tipe yaitu busa fleksibel, busa *rigid* dan busa semi *rigid*. Perbedaan sifat fisik dari tiga tipe busa poliuretan tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsionalitas polioliol dan fungsionalitas isosianat. Sedangkan berdasarkan struktur sel, busa dibedakan

menjadi dua yaitu sel terbuka dan sel tertutup. Busa dengan struktur *closed cell* merupakan jenis busa kaku sedangkan busa dengan struktur *opened cell* adalah busa fleksibel (Manik, 2014).

Walaupun demikian, busa poliuretan tidak tahan dengan suhu yang tinggi dan akan mengalami degradasi. Degradasi termal dapat terjadi akibat penyerapan inframerah radiasi, biasanya dari spektrum matahari dapat juga diakibatkan oleh disosiasi termal ikatan kimia dalam makromolekul (Xie dkk., 2019). Dekomposisi poliuretan terjadi melalui beberapa tahap seperti pada penelitian El-Shekeil dkk., (2012) dimana tahap pertama (31-153°C) terjadi karena penguapan yang memutuskan rantai polioliol dan isosianat yang terbentuk selama proses polimerisasi, setelah itu isosianat menguap, sedangkan polioliol terdekomposisi pada tahap selanjutnya. Hal ini juga didukung melalui penelitian dari Chen dkk., (2012) yang menunjukkan pada rentang suhu 280-400 °C merupakan tahap yang terjadi karena pemutusan grup uretan dan hasil dari reaksi samping. Pada rentang suhu 400-490 °C menunjukkan dekomposisi polimer polioliol.

Chen dkk., (2012) memodifikasi sepiolit dengan *g-aminopropyltriethoxysilane* dan menambahkannya pada busa poliuretan. Hasilnya dapat meningkatkan suhu dekomposisi awal. El-Shekeil dkk., (2012) menambahkan serat kenaf pada busa poliuretan. Hasilnya menurunkan suhu dekomposisi. Penelitian Cao dkk., (2005) melaporkan bahwa pengisi bentonit yang ditambahkan pada poliuretan dapat meningkatkan temperatur transisi kaca poliuretan sebesar 6 °C.

Salah satu pengisi yang dapat ditambahkan ke dalam busa poliuretan ialah zeolit, karena bahannya yang melimpah di alam dan memiliki luas permukaan yang besar. Kumar dkk., (2010) menggunakan zeolit sebagai pengisi pada busa poliuretan. Zeolit yang digunakan adalah zeolite sintesis yang dimodifikasi dengan aluminafosfat yaitu $AlPO_4-5$ dengan variasi 2,5; 5 dan 7,5%. Poliuretan yang dipakai oleh Kumar dkk adalah poliuretan yang harus melalui proses penyulingan minyak jarak. Kestabilan dari poliuretan minyak jarak masih kurang baik sehingga perlu penambahan beberapa senyawa kimia. Hasil pengujian TGA menunjukkan bahwa $AlPO_4-5$ dapat meningkatkan stabilitas termal pada busa poliuretan. Pehlivan dkk., (2006) menambahkan zeolit pada polipropilen, hasilnya ialah dapat meningkatkan struktur kristal dan bertindak sebagai agen nukleasi pada komposit polipropilen/zeolit.

Oleh karena itu, busa poliuretan dengan menambahkan zeolit sebagai pengisi menarik untuk dipelajari. Poliuretan konvensional lebih dipilih karena kestabilan sifat kimia dan fisika serta ketersediaan di pasaran. Besar harapan

diperoleh material busa nantinya dapat memiliki sifat termal yang lebih baik dari sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. mengetahui pengaruh penambahan zeolit 0%, 10%, 20%, 30% terhadap stabilitas termal pada komposit busa poliuretan/zeolit,
2. mengetahui pengaruh penambahan zeolit 0%, 10%, 20%, 30% terhadap temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas pada komposit busa poliuretan/zeolite.

METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen yang dimulai dengan persiapan alat dan bahan. Persiapan alat dan bahan seperti persiapan zeolit yang dilakukan proses pemanasan didalam oven, lalu pencampuran zeolit dengan polioliol, lalu pencampuran zeolit dengan isosianat. Kemudian kedua campuran tersebut dicampurkan. Setelah di campurkan dimasukan ke dalam cetakan dan di masukan ke dalam oven. Sehingga terbentuk busa poliuretan/zeolit. Kemudian dilakukan pengujian kuat tarik dan sifat termal. Setelah itu dilakukan proses analisis data yang kemudian dibahas dan ditarik simpulan. Gambar 2 menunjukkan skema dari prosedur penelitian ini.

Persiapan Bahan

Zeolit sebanyak 100 gram dipersiapkan dengan cara melakukan pengovenan selama 4 jam dengan suhu 100 °C. Setiap satu jam sekali dilakukan pengecekan massa zeolit secara konstan. Pemanasan dalam oven dilakukan untuk menghilangkan kadar air pada zeolit.

Pembuatan Komposit Busa

Busa poliuretan dibuat dengan melakukan pencampuran antara polioliol dan diisocianat dengan perbandingan persen massa polioliol dan isosianat diambil 3:2. Selanjutnya polioliol dengan berat masing-masing (60% wt, 54% wt, 48% wt, 42% wt) dicampur dengan zeolit dengan persentase berat setengah dari ketentuan sampel (0% wt, 5% wt, 10% wt, 15% wt) menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 detik dengan kecepatan 200 rpm. Selanjutnya isosianat dengan persentase berat (40% wt, 36% wt, 32% wt, 28% wt) dicampur dengan zeolit dengan persentase berat setengah nya lagi dari ketentuan sampel (0% wt, 5% wt, 10% wt, 15% wt) menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 detik dengan kecepatan 200 rpm. Kemudian kedua campuran tersebut dicampur secara bersamaan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 40 detik dengan kecepatan 200 rpm. Setelah itu campuran diletakan pada cetakan dan dibiarkan berbusa sampai *curing* (menjadi padat) sekitar 20 menit.



Gambar 2. Diagram prosedur penelitian potensi zeolite dalam meningkatkan sifat termal busa poliuretan.

Pengujian Termal

Pengujian suhu dekomposisi dilakukan menggunakan mesin *Thermo Gravimetric Analyzer (TGA) TA TGA55*. Prinsip dasar dari TGA adalah pengukuran berat dari sampel sebagai fungsi dari suhu (Harsojuwono dan Arnata 2015). Stabilitas termal polimer didefinisikan sebagai kemampuan bahan polimer untuk menahan panas dan untuk mempertahankan sifat-sifatnya, seperti kekuatan, ketangguhan, atau elastisitas pada suhu tertentu. Stabilitas termal polimer biasanya ditentukan dengan TGA. Biasanya suhu pada alat TGA mencapai 1000°C atau lebih, sesuai dengan batas yang memadai untuk aplikasi polimer. Gas digunakan seperti nitrogen, argon, atau helium (Menczel dan Prime, 2009). Sebelum pengujian, sampel ditimbang terlebih dahulu sebanyak 13 mg lalu dimasukkan kedalam cawan platina. Suhu yang digunakan pada pengujian ini dari 25-800 °C dengan kecepatan pemanasan 10 °C/min.

Pengujian derajat kristalinitas dan temperatur transisi kaca dilakukan dengan menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetric (DSC)*. Gambar 3 adalah DSC 214 Polyma

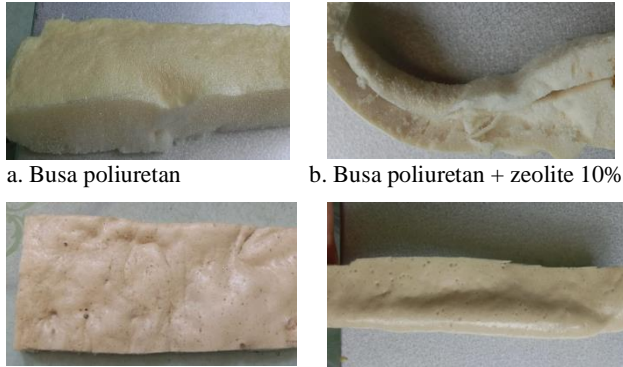
dari Netzsch yang digunakan dalam penelitian ini. Sebelum pengujian sampel sebanyak 6 mg. Sampel dipanaskan dari -20 °C hingga 200 °C, kemudian didinginkan sampai -20 °C lalu dipanaskan kembali hingga 200 °C dengan kecepatan pemanasan dan pendinginan 10 °C/min.



Gambar 3. DSC 214 Polyma

HASIL DAN DISKUSI

Produk busa poliuretan ditunjukkan pada Gambar 4 berikut. Produk busa poliuretan yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar zeolite yang ditambahkan ke dalam poliuretan maka warna busa menjadi semakin keruh. Hal ini dikarenakan zeolit yang digunakan berwarna putih kehijau-hijauan. Ditinjau dari pori-pori busa, dengan penambahan zeolite menjadikan produk busa lebih rapat dan bobotnya lebih berat.



Gambar 4. Produk busa poliuretan dengan variasi pengisi zeolite.

Pengaruh penambahan zeolit terhadap stabilitas termal pada busa poliuretan/zeolit

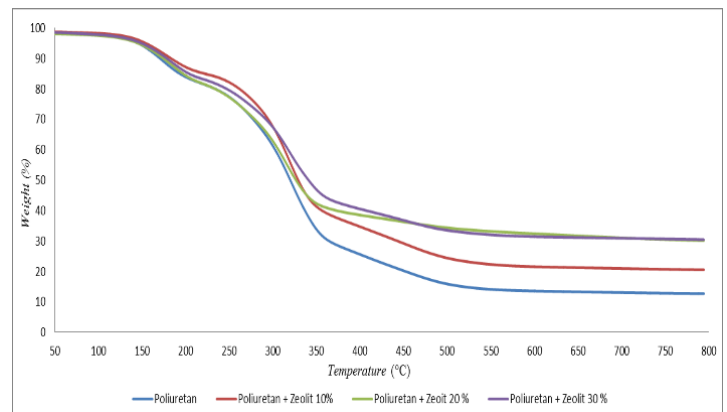
Stabilitas termal komposit busa poliuretan/zeolite dapat dilihat dari dekomposisi bahan selama pemanasan

Tabel 1. Suhu dekomposisi poliuretan dan poliuretan/zeolit

Jenis Busa	Onset I (°C)	End I (°C)	Onset II (°C)	End II (°C)	Onset III (°C)	End III (°C)
Poliuretan murni	138,22	189,26	280,04	346,73	385,08	488,68
Poliuretan + Zeolit 10 %	141,28	196,62	282,72	341,01	425,59	494,52
Poliuretan + Zeolit 20 %	143,47	199,15	281,32	337,41	372,15	433,67
Poliuretan + Zeolit 30 %	145,19	195,60	280,88	346,42	387,18	494,26

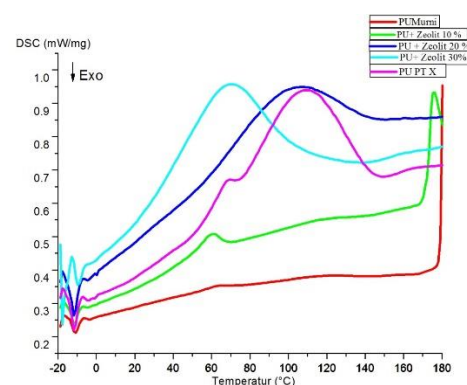
Tabel 1 memperlihatkan suhu dekomposisi dari setiap variasi busa poliuretan dengan lebih detail. *Onset I*, *onset II*, *onset III* menunjukkan suhu awal kehilangan massa pada tahap pertama, kedua, dan ketiga, sedangkan *end I*, *end II*, dan *end III* menunjukkan suhu akhir kehilangan massa pada tahap pertama, kedua, dan ketiga. Busa poliuretan dengan zeolit 10 % dan 30 % memiliki stabilitas termal yang lebih baik karena suhu dekomposisinya lebih tinggi daripada busa poliuretan murni. Busa dengan kandungan zeolite 20% menunjukkan sedikit perbedaan kecenderungan suhu dekomposisi, tetapi masih masuk dalam rentang suhu dekomposisi pada polioliol yaitu 400-490°C. Hal tersebut menandakan bahwa zeolite alam yang ditambahkan pada busa dapat meningkatkan ketahanan termal. Zeolite dengan porositasnya yang tinggi melindungi busa dari pemanasan ekstrim.

berlangsung. Gambar 5 menunjukkan bahwa selama proses pemanasan, telah terjadi tiga tahap dekomposisi. Tahap pertama adalah penguapan kadar air, secara umum terlihat penurunan massa cukup drastis dari 100°C sampai menjelang 200°C. Tahap kedua dekomposisi terjadi pada rentang suhu 210-340°C, karena pemutusan rantai ikatan poliuretan menjadi polioliol dan isosianat. Pemutusan ikatan tersebut berakibat pada penguapan isosianat. Tahap terakhir dari dekomposisi busa poliuretan adalah penguapan polioliol pada suhu 350-480°C.



Gambar 5. Pengaruh zeolite terhadap stabilitas termal komposit busa poliuretan/zeolit

Pengaruh penambahan zeolit terhadap temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas pada busa poliuretan/zeolit



Gambar 6. Kurva DSC dari busa poliuretan dengan beberapa komposisi.

Gambar 6 menunjukkan bagaimana sifat termal busa poliuretan dengan analisis kalorimetrik. Terlihat bahwa busa poliuretan dengan zeolite 20% memiliki kecenderungan yang mirip dengan busa poliuretan dari PT X. Busa poliuretan PT X ini dijadikan sebagai pembanding karena telah digunakan sebagai peredam suara di langit-langit bus

Tabel 2. Hasil pengujian DSC poliuretan, poliuretan/zeolit, dan poliuretan PT X

Jenis Busa	Tg (°C)	ΔH_m (J/g)	X _C (%)
Poliuretan murni	119,8	39,93	20,29
Poliuretan + Zeolit 10 %	107,8	12,93	6,57
Poliuretan + Zeolit 20 %	122,0	43,59	22,15
Poliuretan + Zeolit 30 %	86,5	55,3	28,10
Poliuretan PT X	131,2	59,12	30,04

Tabel 2 memberikan nilai transisi kaca (Tg), entalpi (ΔH_m) dan derajat kristalinitas (X_C) secara lebih rinci dari masing-masing jenis busa. Untuk mendapatkan nilai derajat kristalinitas (X_C) dapat dihitung dengan cara:

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

dimana X_C adalah derajat kristalinitas ΔH_m adalah entalpi busa dan ΔH_m^0 adalah entalpi pelelehan poliuretan kristalisasi 100% bernilai 196,8 J/g.

Pada tabel terlihat bahwa perubahan temperatur transisi kaca poliuretan ditunjukkan seiring dengan ditambahkan zeolit. Hal ini sesuai dengan pernyataan Zhang dkk bahwa zeolit merupakan agen nukleasi heterogen yang menginduksi kristalisasi poliuretan (Zhang dkk., 2011)

Poliuretan yang memiliki nilai Tg lebih besar menunjukkan bahwa poliuretan tersebut dapat mempertahankan sifat kacanya sehingga sulit untuk menjadi elastis. Poliuretan yang bersifat elastis akan menyebabkan mudah lepas busa tersebut pada atap kendaraan, sifat ini kurang bagus dalam pengaplikasian plafon pada kendaraan.

Poliuretan pada penelitian ini, baik yang ditambahkan zeolit maupun tidak memiliki temperatur transisi kaca lebih rendah dibanding dengan poliuretan dari PT X yaitu sebesar 131,2 °C dan disusul oleh poliuretan yang ditambahkan zeolit 20% sebesar 122 °C sehingga dalam mempertahankan sifat kacanya poliuretan PT X sebagai pembanding lebih unggul.

Derajat kristalinitas pada poliuretan murni sebesar 20,29% dan meningkat seiring ditambahkan zeolit. Poliuretan dengan ditambahkan zeolit sebesar 10% mengalami penurunan derajat kristalinitas yang cukup tajam, hal ini kemungkinan bahwa poliuretan tersebut memiliki fase amorf yang lebih banyak.

Poliuretan PT X sebagai pembanding memiliki derajat kristalinitas sebesar 30,04 % dan pada penelitian ini, poliuretan yang mendekati derajat kristalinitas poliuretan PT X ialah poliuretan dengan ditambahkan zeolit sebesar 30%. Poliuretan yang memiliki derajat kristalinitas lebih tinggi menunjukkan bahwa poliuretan tersebut memiliki keteraturan struktural dan memiliki fase kristal yang lebih banyak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat ditarik simpulan bahwa suhu dekomposisi poliuretan mengalami kenaikan ketika ditambahkan zeolit, namun pada persentase zeolit 20% mengalami penurunan. Selain itu, zeolit mempengaruhi derajat kristalinitas dan temperatur transisi kaca pada komposit busa poliuretan/zeolit. Dengan hasil yang dicapai ini dapat memberikan rekomendasi kepada industri komponen otomotif khususnya busa poliuretan, agar dapat menambahkan zeolite alam untuk menambahkan ketahanan termal produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium program studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, N., Avar, G., Blankenheim, H., Friederichs, W., Giersig, M., Weigand, E., dan Meyer-Ahrens, S. (2000): *Polyurethanes*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- Akindoyo, J. O., Beg, M., Ghazali, S., Islam, M. R., Jeyaratnam, N., dan Yuvaraj, A. R. (2016): Polyurethane types, synthesis and applications—a review. *Rsc Advances*.
- Anggoro, D. D. (2017): *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*. Undip Press
- Arwanto. (2012): *Sintesis komposit hybrid glass/epoxy-MWNT dan analisis dengan model mikro mekanik*. Disertasi Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia.
- Ashida, K. (2006): *Polyurethane and related foams: chemistry and technology*. CRC press.
- Auerbach, S. M., Carrado, K. A., dan Dutta, P. K. (2003): *Handbook of zeolite science and technology*. CRC press.
- Callister, W. D., dan Rethwisch, D. G. (2014): *Materials science and engineering: an introduction*. New York: Wiley.
- Cao, X., Lee, L. J., Widya, T., dan Macosko, C. (2005): Polyurethane/clay nanocomposites foams:

- processing, structure and properties. *Polymer*, 46(3), 775-783.
- Çelebi, M., dan Yazici, T. (2016): Synthesis and Characterization of Bio-Based Polyester Polyol. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 3(3), 721-730.
- Chen, H., Lu, H., Zhou, Y., Zheng, M., Ke, C., dan Zeng, D. (2012): Study on thermal properties of polyurethane nanocomposites based on organo-sepiolite. *Polymer Degradation and Stability*, 97(3), 242-247.
- Clowes, M. (2013): Senyawa organik dan polimer terjemahan: Nuraini, Wulandari. Pakar Raya Pustaka, Bandung.
- Drobny, J. G. (2014): *Handbook of thermoplastic elastomers*. Elsevier.
- El-Shekeil, Y. A., Sapuan, S. M., Abdan, K., dan Zainudin, E. S. (2012): Influence of fiber content on the mechanical and thermal properties of Kenaf fiber reinforced thermoplastic polyurethane composites. *Materials and Design*, 40, 299-303.
- Gregorova, A. (2013): Application of Differential Scanning Calorimetry to The Characterization of Biopolymers.
- Gultom, F. (2016): Pembuatan dan Karakterisasi Nanokomposit Busa Poliuretan dengan Penambahan Pengisi Nanozeolit Alam Sarulla. Disertasi Program Doktor, Universitas Sumatera Utara.
- Gultom, F., dan Hernawaty, H. (2019): Pengaruh Penambahan Nanozeolit alam dalam Preparasi Nanokomposit Foam Poliuretan terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Darma Agung*, 27(3), 1179-1190.
- Harsojuwono, B. A., dan Arnata, I. W. (2015): *Teknologi Polimer Industri Pertanian*. Denpasar.
- Januastuti, L. (2015): *Pemanfaatan Limbah Ampas Tahu Sebagai Bahan Baku Pembuatan Plastik Biodegradable dengan Plasticizer Sorbitol*. Disertasi Program Doktor, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Komariyah, S. (2016): *Karakterisasi Sifat Akustik, Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Polyurethane/Serbuk Bambu Sebagai Aplikasi Panel Pintu Mobil*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Kumar, B. S., Shayan, M. B., Manjula, K. S., Ranganathaiah, C., Rao, G. N., Basavalingu, B., dan Byrappa, K. (2010): Effect of zeolite particulate filler on the properties of polyurethane composites. *Journal of polymer research*, 17(1), 135.
- Lv, Zhang, L., Yang, Y., dan Bi, X. (2011): Preparation and properties of polyurethane/zeolite 13X composites. *Materials & Design*, 32(6), 3624-3628.
- Manik, D. R. (2014): Pembuatan Komposit Busa Poliuretan Dengan Mikrobentonit dan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penyaring Dalam Pengolahan Air Bersih DAS Belawan (Master's thesis).
- Menczel, Joseph D, dan R Bruce Prime (2009): *Thermal analysis of polymer*, Canada: John Wiley and Son Inc.
- Nevianita, I. (2016): *Rancang Bangun Prototipe Elektroda Aluminium Berbasis Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Simazin*. Disertasi Program Doktor, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Pehlivan, H., Balköse, D., Ülkü, S., dan Tihminlioğlu, F. (2006): Effect of zeolite filler on the thermal degradation kinetics of polypropylene. *Journal of applied polymer science*, 101(1), 143-148.
- Rohaeti, E. (2015): *Sintesis Poliuretan Ramah Lingkungan*, UNY Press, Yogyakarta.
- Visakh, P. M., Nazarenko, O. B., Amelkovich, Y. A., dan Melnikova, T. V. (2016): Effect of zeolite and boric acid on epoxy-based composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 27(8), 1098-1101.
- Xie, F., Zhang, T., Bryant, P., Kurusingal, V., Colwell, J. M., & Laycock, B. (2019). Degradation and stabilization of polyurethane elastomers. *Progress in Polymer Science*, 90, 211-268.

NOMENKLATUR

Tg	Temperatur Transisi Kaca
TGA	Thermo Gravimetry Analysis
Tm	Temperatur Leleh
Xc	Derajat kristalinitas
$\Delta H^{\circ}m$	Entalpi leleh untuk 100% kristalisasi poliuretan
ΔHm	Entalpi leleh