

**PEMBUATAN KOMPOSIT POLIMER NANOKERAMIK(ZrO<sub>2</sub>)****UNTUK ISOLASI TERMAL****MANUFACTURE OF NANOCERAMIC(ZrO<sub>2</sub>) POLYMER COMPOSITES****FOR THERMAL INSULATION****Muhammad Laupe<sup>1</sup>, Suwandi<sup>2</sup>, Djoko Hadi Prayitno<sup>3</sup>**<sup>1,2</sup> Universitas Telkom, Bandung**muhammadlaupe@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, suwandi@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
djokohp@batan.go.id<sup>3</sup>**

---

**Abstrak**

Penggunaan poliuretan dan ZrO<sub>2</sub> pada pembuatan komposit polimer nano keramik untuk isolasi termal karena poliuretan memiliki perbedaan dengan bahan plastik lain, yang proses sintesisnya memungkinkan untuk mengontrol sifat produk akhir yang diharapkan dan ZrO<sub>2</sub> memiliki sifat keras, kuat dan inert secara kimia yang memiliki titik lebur yang tinggi. Pada tugas akhir ini penulis mempelajari efek konsentrasi dan efek ketebalan terhadap isolasi termal dalam menghasilkan bahan insulasi termal yang lebih baik lagi. Konsentrasi bahan yang digunakan yaitu komposit polimer tanpa ZrO<sub>2</sub> dan dengan ZrO<sub>2</sub> 0,5 dan 0,7 gram serta ketebalan masing-masing di 1 dan 1,5 cm. Sifat termal poliuretan dan ZrO<sub>2</sub> dikarakterisasi dengan foto termal menggunakan *thermal imaging*. Morfologi bahan menggunakan uji metalografi menggunakan mikroskop stero yang skala kecil dan lebih besar menggunakan *scanning electron microscopy*. Hasilnya, dari uji *scanning electron microscopy* menunjukkan pada komposit polimer tanpa bahan ZrO<sub>2</sub> morfologi permukaannya lebih besar antara pori yang satu dengan pori yang lainnya secara insulasi cukup baik menahan panas. Kemudian, hasil eksperimen dalam pembuatan komposit polimer nano keramik ZrO<sub>2</sub> yang dianalisis dengan metode grafik yang menggambarkan hubungan laju perpindahan dibagi luas permukaan(Q/A) terhadap perubahan suhu dibagi ketebalan bahan ( $\Delta T/L$ ) yang grafik tersebut menunjukkan nilai konduktivitas PU awal 0,02 W/m.K menghasilkan konduktivitas termal dari penambahan ZrO<sub>2</sub> masing-masing 0,5(gram) dan 0,7(gram) pada ketebalan 1 cm dan 1,5 cm yaitu 0,0211 W/m.K dan 0,0165 W/m.K. Serta, 0,0163 W/m.K dan 0,0180 W/m.K.

---

**Kata Kunci: poliuretan, ZrO<sub>2</sub>, SEM, *thermal imaging*, metalografi.**

---

**Abstract**

The use of polyurethane in the manufacture of nanoceramic polymer composites for thermal insulation because polyurethane has differences with other plastic materials, the synthesis process allows to control the desired end product properties and ZrO<sub>2</sub> is hard, strong and chemically inert which has a high melting point. In this final project, the authors study the effect of concentration and thickness effect on thermal insulation in producing a better thermal insulation material. The concentration of the materials used were polymer composites without ZrO<sub>2</sub> and with ZrO<sub>2</sub> of 0.5 and 0.7 gram and thickness of 1 and 1.5 cm, respectively. The thermal properties of polyurethane are characterized by thermal photos using thermal imaging. The morphology of the material uses a metallographic test using a small scale stereo microscope and a larger one using a scanning electron microscopy. The result, from the scanning electron microscopy test, showed that in polymer composites without ZrO<sub>2</sub> material, the surface morphology was larger between one pore and the other. Then, the experimental result in manufacture of ZrO<sub>2</sub> nanoceramic polymer composites were analyzed using a graph method that describe the relationship between the transfer rate divided by surface area (Q/A) to changes in the temperature divided by material thickness ( $\Delta T/L$ ) which the graph shows the initial PU conductivity value of 0.02 W/m.K resulted in thermal conductivity from the addition of 0.5 (gram) and 0.7 (gram) ZrO<sub>2</sub> at thickness of 1 cm and 1.5 cm, such 0.0211 W/m.K and 0.0165 W/m.K. Also, 0.0163 W/m.K and 0.0180 W/m.K.

**Keywords: polyurethane, ZrO<sub>2</sub>, SEM, *thermal imaging*, metallography.**

---

## 1. Pendahuluan

Insulasi termal merupakan cara yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas. Proses insulasi termal biasanya diaplikasikan pada alat penukar kalor misalnya teknologi *thermal roofing*[1]. Dalam insulasi termal dapat diaplikasikan pada pipa instalasi pada pembangkit tenaga uap secara konduksi, konveksi, dan radiasi[2]. Pada instalasi standar tangki pada industri minyak dan gas[3]. Cara insulasi termal secara konvensional biasanya menggunakan bahan *Glass Wool* yang tahan terhadap suhu tinggi 555 °C hingga dan tidak mudah terbakar. Namun, dalam penggunaannya tidak dapat digunakan dalam waktu yang lama karena menyerap uap air dan akan beresiko berjamur, jika tersentuh langsung dengan kulit menyebabkan iritasi, alergi pernapasan[4]. Maka dari itu, penggunaan bahan insulasi termal untuk menghasilkan bahan dengan insulasi termal yang lebih baik lagi harus memperhatikan sifat dari bahan baik dalam penggunaan dan aplikasinya. Bahan poliuretan sebagai bahan polimer memiliki perbedaan dengan bahan plastik lain, yang proses sintesisnya memungkinkan untuk mengontrol sifat produk akhir yang diharapkan.  $ZrO_2$  sebagai penguat bahan poliuretan (PU).  $ZrO_2$  bersifat keras[10], kuat[5] dan tahan terhadap suhu tinggi hingga 1000-1100 °C yang memiliki titik lebur yang tinggi[6,12]. serta bersifat biokompatibel, kemampuan menyesuaikan dengan material yang lainnya[11]. Pada penelitian ini, melakukan pembuatan komposit polimer poliuretan nanokeramik ( $ZrO_2$ ) dan fokus pada kemampuan insulasi termalnya dengan memvariasikan konsentrasi masing-masing tanpa  $ZrO_2$  dengan  $ZrO_2$  dengan konsentrasi 0,5 dan 0,7 gram dan variasi ketebalan di 1 dan 1,5 cm untuk menghasilkan bahan insulasi termal yang lebih baik lagi dan fokus pada kemampuan insulasi termalnya. Konsentrasi pada  $ZrO_2$  yang digunakan bertujuan menghasilkan data baru untuk nilai konduktivitas termal dari bahan poliuretan yang sebelumnya dan variasi ketebalan yang digunakan bertujuan terdapat faktor ketebalan dari konsep perpindahan panas secara konduksi.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Material Poliuretan

Poliuretan yaitu material polimer yang mempunyai gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam molekulnya. Struktur linier poliuretan diperoleh dengan mereaksikan diol rantai pendek dengan isosianat. Poliuretan memiliki ikatan cabang serta berikatan dapat diperoleh dengan cara mereaksikan molekul yang mengandung  $-OH > 2$  dengan diisosianat atau dengan mereaksikan glikol dengan diisosianat atau dengan mereaksikan glikol dengan diisosianat serta penambahan beberapa jumlah kecil poliol[8].



Gambar 1. Reaksi kimia poliuretan[9]

### 2.2 Polymer Matrix Composites (PMC)

*Polymer Matrix Composites* (PMC) adalah suatu material komposit yang tersusun dari serat pendek maupun serat kontinyu yang digabung jadi satu oleh matriks polimer organik. *Polymer Matrix Composites* (PMC) memiliki sifat yang sangat kuat, tahan lama, kemampuan mengikuti bentuk, dan lebih ringan[15].

### 2.3 $ZrO_2$

Zirkonium oksida ( $ZrO_2$ ) merupakan oksida yang sangat stabil yang bahan refraktorinya sangat baik. Zirkonium oksida memiliki sifat keras, kuat dan inert secara kimia yang memiliki titik lebur yang tinggi. Zirkonium oksida memiliki sifat isolator termal yang baik dan memiliki sifat biokompatibel. Sifat-sifat intrinsik yang membuat zirkonium oksida dapat digunakan pada berbagai bidang ilmiah dan teknologi.

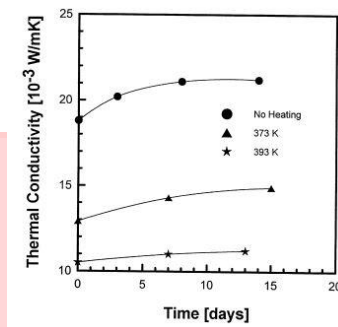
### 2.4 Perpindahan Panas

Panas merupakan bentuk energi yang dapat ditransferkan dari suatu sistem ke sistem yang lain akibat dari perbedaan suhu. Panas dapat ditransfer melalui tiga cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud[7].

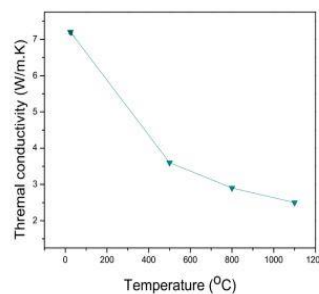
#### 2.4.1 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas yang merambat melalui perantara tanpa disertai dengan berpindahnya zat perantara. Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair dan gas. Pada benda padat, perpaduan getaran dari molekul dalam kisi serta transfer energi oleh elektron bebas. Berdasarkan hal tersebut, suatu bahan

dapat diketahui sifatnya dari nilai konduktivitas termal. Konduktivitas termal merupakan kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan panas.



Gambar 2. Nilai konduktivitas Poliuretan [13]



Gambar 3. Nilai konduktivitas ZrO<sub>2</sub> [14]

### 3. Metodologi

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Percobaan diawali dengan pembuatan bahan poliuretan A sebagai bahan polimer dan poliuretan B sebagai pengembang. Setelah dicampur dibiarkan 1 jam untuk PU murni di udara terbuka akan mengeras. Setelah itu, PU/ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram selama 45 menit, dan PU/ZrO<sub>2</sub> 0,7 gram 30 menit. Kemudian, divariasikan dengan berbagai ketebalan bahan yaitu 1 dan 1,5 cm. Bahan polimer dan nano keramik yang telah direaksikan tersebut sifat termalnya dikarakterisasi dengan metode foto termal menggunakan *thermal imaging* dengan memfokuskan pada permukaan bahan untuk mendapatkan suhu pada bahan yang diambil sebanyak 3 kali pengambilan data suhu masing-masing-masing pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{C}, 150^{\circ}\text{C}, 200^{\circ}\text{C}, 250^{\circ}\text{C}$  dan  $300^{\circ}\text{C}$ . Kemudian, bahan polimer dan nano keramik tersebut dikarakterisasi menggunakan mikroskop jenis mikroskop *scanning electron microscopy* yang bertujuan untuk menggambarkan morfologi permukaan bahan. Kemudian, hasil eksperimen dalam pembuatan komposit polimer nano keramik ZrO<sub>2</sub> yang dianalisis dengan metode grafik yang menggambarkan hubungan laju perpindahan dibagi luas permukaan ( $Q/A$ ) terhadap perubahan suhu dibagi ketebalan bahan ( $\Delta T/L$ ). Selain itu, metode visual yang dilakukan secara manual dengan mengukur data beberapa variabel ukuran sampel untuk menentukan luas penampang ( $A$ ) dan ketebalan sampel ( $L$ ). Kemudian, pengujian metalografi menggunakan mikroskop jenis mikroskop stereo untuk melihat secara mikro dan makro yang lebih kecil dibandingkan dengan mikroskop *scanning electron microscopy*. variabel laju perpindahan panas untuk menentukan nilai konduktivitas dari PU/ZrO<sub>2</sub> yang diambil dari nilai laju perpindahan panas berdasarkan data sheet PU murni yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas termal bahan yang menggunakan ZrO<sub>2</sub>.

### 4. Pembahasan

#### 4.1 Pengolahan Data Hubungan Q/A terhadap $\Delta T/L$

**Tabel 1. Data PU Murni(L=1 cm)**

Bahan	$\Delta T/L$ (K/m)	Q/A ( W/m <sup>2</sup> )	k (W/m.K)
PU Murni(L=1 cm)	3750	75	0,02
	6440	129	
	9300	186	
	10700	214	
	14333	287	

**Tabel 2. Data PU Murni(L=1,5 cm)**

Bahan	$\Delta T/L$ (K/m)	Q/A ( W/m <sup>2</sup> )	k (W/m.K)
PU Murni(L=1,5 cm)	3129	63	0,02
	5233	105	
	7409	148	
	8244	165	
	11044	221	

**Tabel 3. Data PU/ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram (L=1 cm)**

Bahan	$\Delta T/L$ (K/m)	Q/A ( W/m <sup>2</sup> )	k (W/m.K)
PU/ZrO <sub>2</sub> 0,5 gram(L=1 cm)	4017	75	0,0211
	6650	129	
	9533	186	
	11033	214	
	13900	287	

**Tabel 4. Data PU/ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram (L=1,5 cm)**

Bahan	$\Delta T/L$ (K/m)	Q/A ( W/m <sup>2</sup> )	k (W/m.K)
PU/ZrO <sub>2</sub> 0,5 gram(L=1,5 cm)	2809	63	0,0165
	5233	105	
	7336	148	
	9556	165	
	12111	221	

**Tabel 5. Data PU/ZrO<sub>2</sub> 0,7 gram (L=1 cm)**

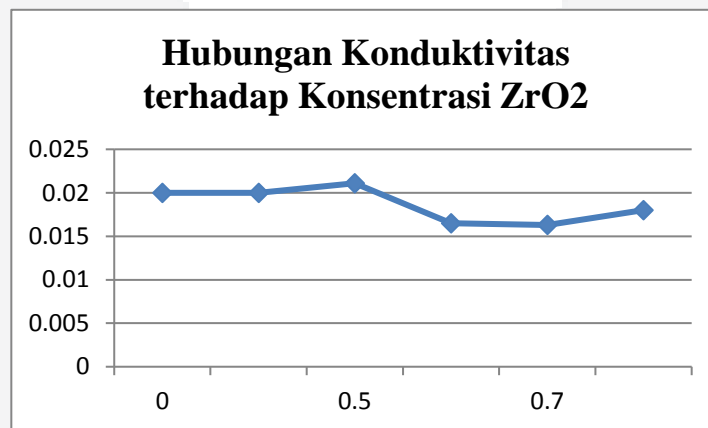
Bahan	$\Delta T/L$ (K/m)	Q/A ( W/m <sup>2</sup> )	k (W/m.K)
PU/ZrO <sub>2</sub> 0,7 gram(L=1 cm)	3833	75	0,0163
	6407	129	
	9567	186	
	12100	214	
	16533	287	

**Tabel 6. Data PU/ZrO<sub>2</sub> 0,7 gram (L=1,5 cm)**

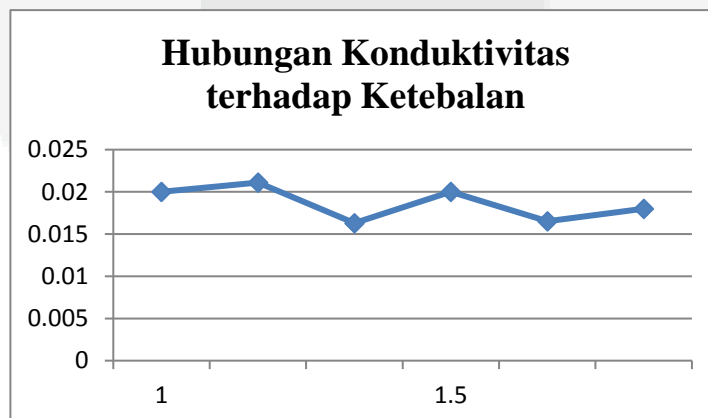
Bahan	$\Delta T/L$ (K/m)	Q/A ( W/m <sup>2</sup> )	k (W/m.K)
PU/ZrO <sub>2</sub> 0,7 gram(t=1,5 cm)	2769	63	0,0180
	4818	105	
	6636	148	
	8889	165	
	11178	221	

Pada tabel 1 sampai 6 merupakan tabel hasil pengolahan data regresi linier menunjukkan hubungan Q/A terhadap  $\Delta T/L$  dalam menentukan nilai konduktivitas termal bahan komposit polimer tanpa ZrO<sub>2</sub> dan dengan ZrO<sub>2</sub> dengan konsentrasi(massa) 0,5 gram dan 0,7 gram pada masing-masing ketebalan 1 cm dan 1,5 cm. Pada tabel 1 dan 2 menunjukkan bahan komposit polimer tanpa ZrO<sub>2</sub> yang nilai konduktivitasnya sebesar 0,02 W/m.K yang diambil dari data *sheet* bahan polimer sebagai data pembandingan dengan bahan yang menggunakan ZrO<sub>2</sub> yang secara insulasi termal cukup baik karena memiliki konduktivitas yang kecil. Kemudian, pada tabel 3 dan 4 menunjukkan bahan komposit polimer dengan ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram yang memiliki nilai konduktivitas pada masing-masing ketebalan 1 dan 1,5 cm yaitu 0,0211 W/m.K dan 0,0165 W/m.K secara insulasi termal lebih baik dibandingkan tanpa ZrO<sub>2</sub> yang menunjukkan nilai konduktivitas yang lebih kecil lagi pada ketebalan 1,5 cm yaitu 0,0165 W/m.K Namun, pada ketebalan 1 cm yaitu 0,0211 W/m.K diatas nilai konduktivitas termal bahan komposit polimer tanpa ZrO<sub>2</sub> karena terdapat ketidakhomogen bahan namun masih dalam rentang nilai konduktivitas termal yang baik. Dan pada tabel 5 dan 6 menunjukkan bahan komposit polimer dengan ZrO<sub>2</sub> 0,7 gram yang memiliki nilai konduktivitas yang lebih baik dibandingkan tanpa ZrO<sub>2</sub> dan dengan ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram karena nilai konduktivitasnya lebih kecil lagi yang secara insulasi termalnya lebih baik dan nilai konduktivitas yang kecil mampu bertahan hingga suhu tinggi.

#### 4.2 Grafik



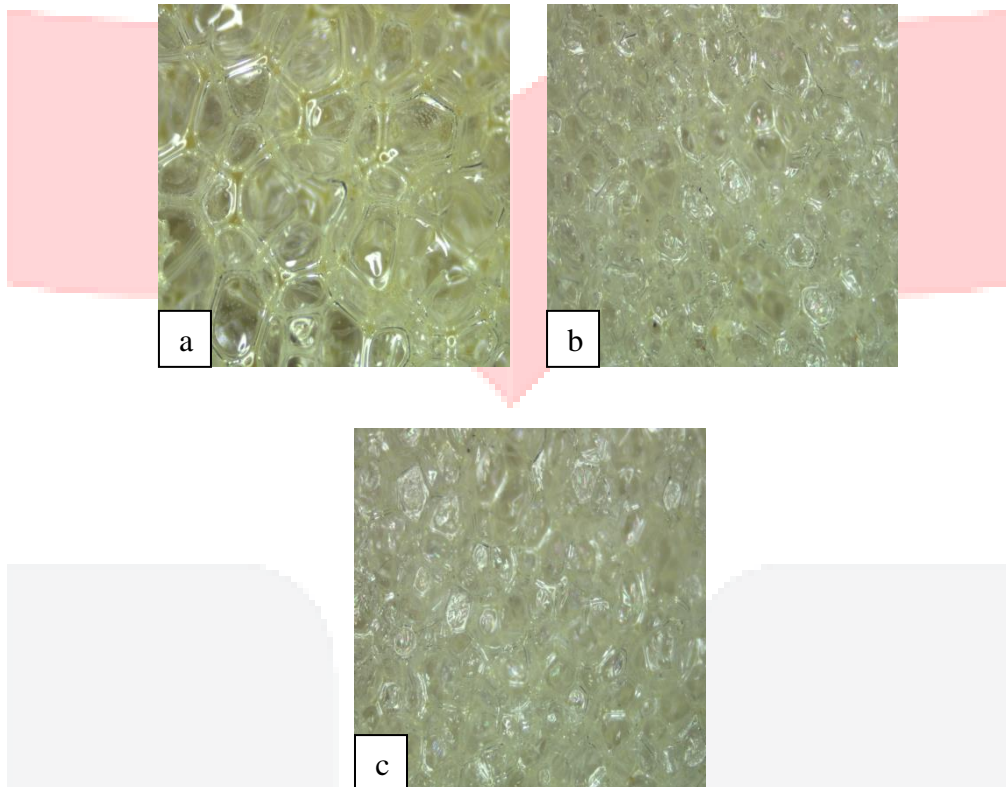
Gambar 4. Grafik Hubungan Konduktivitas terhadap Konsentrasi ZrO<sub>2</sub>



Gambar 5. Grafik Hubungan Konduktivitas terhadap Ketebalan

Pada gambar 4 dan 5 merupakan grafik hubungan konduktivitas terhadap konsentrasi  $ZrO_2$  dan grafik hubungan konduktivitas terhadap ketebalan yang menunjukkan kedua grafik tersebut belum linier antara konduktivitas terhadap konsentrasi dan ketebalan bahan.

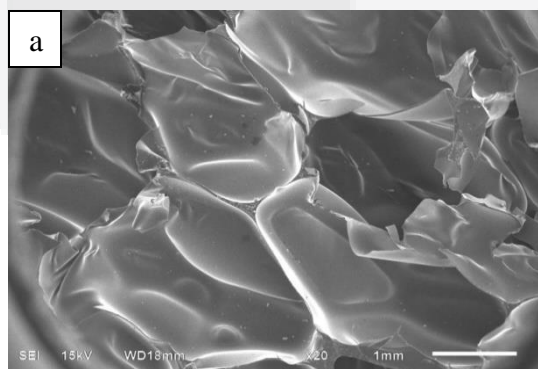
### 4.3 Hasil Uji Metalografi



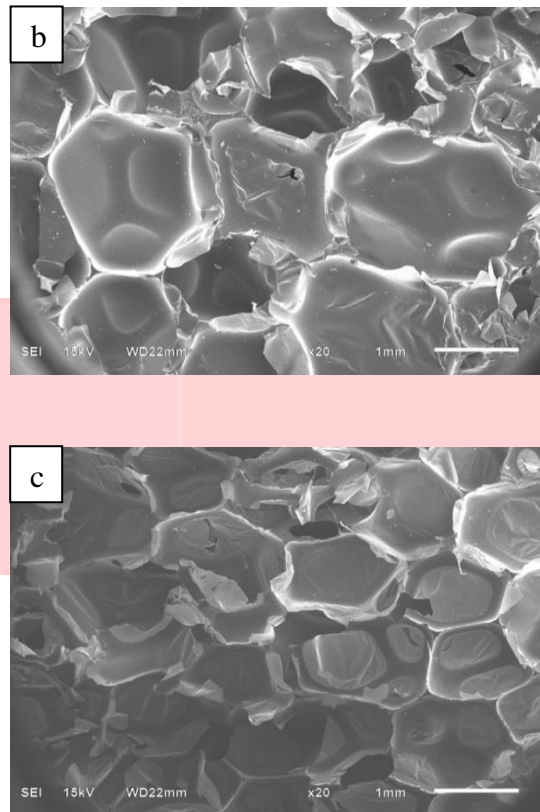
Gambar 6. (a) PU Murni, (b) PU/ $ZrO_2$  0,5 gram, (c) PU/ $ZrO_2$  0,7 gram  
(perbesaran 5x)

Pada gambar 6 merupakan citra morfologi bahan dengan perbesaran 5x yang menunjukkan komposit tanpa bahan  $ZrO_2$  dan dengan  $ZrO_2$  dengan konsentrasi(massa) 0,5 gram dan 0,7 gram. Pada bagian (a) merupakan morfologi PU Murni yang secara morfologinya lebih besar dan berwarna kuning. Kemudian, pada bagian (b) dan (c) merupakan bahan PU/ $ZrO_2$  0,5 dan 0,7 gram yang secara morfologinya lebih rapat dan porinya lebih kecil dan warna kombinasi antara kuning dan putih. Berdasarkan hal tersebut dari morfologi yang lebih besar dan lebih kecil menunjukkan morfologi permukaan yang lebih rapat dan pori yang lebih kecil yang memiliki insulasi termal yang lebih baik berdasarkan nilai konduktivitas sesuai tabel 1 sampai 6.

### 4.4 Hasil Uji SEM







Gambar 7. (a) PU Murni x20, (b) PU/ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram x20,  
(c) PU/ZrO<sub>2</sub> 0,7 gram x20

Pada gambar 7 merupakan citra morfologi bahan dengan perbesaran 20x yang menunjukkan komposit tanpa bahan ZrO<sub>2</sub> dan dengan ZrO<sub>2</sub> dengan konsentrasi(massa) 0,5 gram dan 0,7 gram. Pada bagian (a) merupakan morfologi PU Murni yang secara morfologinya lebih besar dan pori yang dihasilkan lebih banyak. Secara insulasi termalnya cukup baik berdasarkan nilai konduktivitas sesuai tabel 1 dan 2. Kemudian, pada bagian (b) dan (c) merupakan bahan PU/ZrO<sub>2</sub> 0,5 dan 0,7 gram yang secara morfologinya lebih rapat dan porinya lebih kecil. Pada bagian (b) pori-porinya mulai menyatu dengan pori yang lainnya. Dan, pada bagian (c) menunjukkan pori-porinya yang lebih rapat dibandingkan (a) dan (b). Secara insulasi termal dengan penambahan ZrO<sub>2</sub> masing –masing 0,5 gram sesuai tabel 3 dan 4 serta 0,7 gram sesuai tabel 5 dan 6 mampu memperkecil pori pada bahan bahan komposit polimer menjadi lebih baik berdasarkan nilai konduktivitasnya.

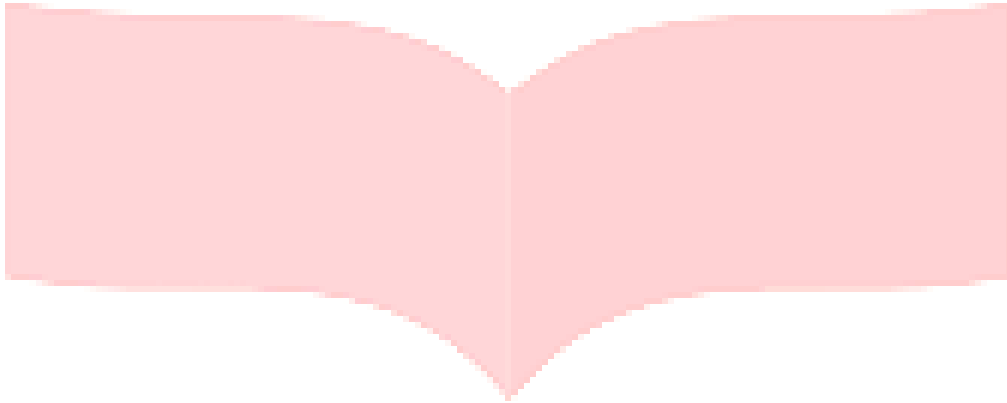
## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Pembuatan Komposit Polimer Nanokeramik(ZrO<sub>2</sub>) untuk Insulasi Termal dapat disimpulkan sebagai berikut bahwa efek konsentrasi dan ketebalan berpengaruh terhadap insulasi termalnya berdasarkan nilai konduktivitasnya;

1. Efek konsentrasi bahan berpengaruh terhadap nilai konduktivitas bahan komposit tanpa ZrO<sub>2</sub> dan dengan ZrO<sub>2</sub> 0,5 dan 0,7 gram. Hal tersebut ditunjukkan dari data pengolahan regresi linier pada bahan yang ditambahkan ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram memiliki nilai konduktivitas yang kecil secara insulasi termal cukup baik. Selain itu, penambahan 0,7 gram ZrO<sub>2</sub> mampu memperkecil lebih lagi nilai konduktivitas termal bahan komposit polimer dan secara insulasi termal lebih baik dibandingkan tanpa ZrO<sub>2</sub> dan dengan ZrO<sub>2</sub> 0,5 gram. Data penambahan ZrO<sub>2</sub> pada bahan komposit polimer 0,5 gram yang awal nilai konduktivitas poliuretan murni 0,02 W/m.K menjadi 0,0211 W/m.K dan 0,0165 W/m.K serta 0,7 gram sebesar 0,0163 W/m.K dan 0,0180 W/m.K pada masing-masing ketebalan 1 dan 1,5 cm.

2. Pada efek ketebalan pada penambahan ZrO<sub>2</sub> mempengaruhi nilai konduktivitas yang rata-rata pada ketebalan 1 cm lebih kecil nilai konduktivitasnya dan pada ketebalan 1,5 m lebih besar namun masih dalam rentang nilai konduktivitas komposit polimer tanpa ZrO<sub>2</sub> yang kecil dan secara insulasi termal cukup baik yang

artinya ketebalan sebanding dengan nilai konduktivitas sesuai dengan konsep perpindahan panas secara konduksi.





## Referensi

- [1] Subroto, Nurmuntaha and Hartanto, Aris, “Aplikasi Alat Penukar Kalor pada Teknologi Thermal Roofing”, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol.19, no.1, 7-12, Januari 2018.
- [2] Imam Fitriadi, “Analisa Kehilangan Energi Panas (Heat Loss) pada Instalasi Sistem Pemipaan pembangkit Tenaga Uap”, Skripsi, Universitas Medan Area, 2015.
- [3] A. Bahadori, “Thermal Insulation Handbook for the Oil, Gas, and Petrochemical Industries”, Januari 2014. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128000106/thermal-insulation-handbook-for-the-oil-gas-and-petrochemical-industries> Diakses pada 21 Oktober 2020
- [4] Ari Akhabun, Hasan Maksum and Fernandez, Donny, “Analisis Perbandingan Penggunaan bahan Peredam Suara Glass Wool, Stainless Wool dan Fibre Glass Terhadap Tingkat Kebisingan pada Sepeda Motor Empat Langkah”, Automative Engineering Education Journals, Vol.2, 2014.
- [5] Simon Yobanny Reyes Lopez “Review Of The Synthesis, Characterization and Application Zirconia Mixed Metal Oxide Nanoparticles”, International Journal of Research - Granthaalayah, 6(8), 136-145 August 2018.
- [6] Ayutia Zusya Putri dan Ratnawulan, “Analisis Teoristik Nanopartikel Zirkonium Dioksida ( $ZrO_2$ )”, Pillar of Physics, Vol. 12, no.1, 70-76 April 2019.
- [7] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghafar, *Heat and Mass Transfer, fifth edition*, McGraw-Hill Education, 2015.
- [8] Eli Rohaeti, “Kajian tentang Sintesis Poliuretan dan Karakterisasinya”, prosiding Semnas Penelitian, 8 Februari 2005.
- [9] Sri Yatmani, Sri Handayani and Amalia Husnil, Yuni, “Studi Awal Membran Poliuretan”, ISSN: 2654-489X, 2018.
- [10] Atin Nuryadin, “Sintesis  $ZrO_2$  dari Pasir Zirkon Alam Kereng Pangi dengan Metode Alkali Fusion-Kopresipitas”, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [11] Ossama Saleh Abd El-Ghany dan Ahraf Husein S, “Zirconia Based Ceramics, some clinical and biological aspects: Review”, Future Dental Journal 2, 2016.
- [12] Duyeh Setiawan dan Fuji Octa Indah Suciati, “Sintesis dan Karakterisasi Zirkonium Dioksida untuk Digunakan Sebagai Matrik Kolom Generator Radioisotop  $^{113}Sn$ - $^{113m}In$ ”, p-ISSN:1410-6957, e-ISSN: 2503-5029, Januari 2017.
- [13] Jhy-Wen Wu, Wen-Fa Sung, and Hsin-Sen Chu, “Thermal Conductivity of polyurethane foams”, International Journal of Heat and Mass Transfer 42(1999) 2211-2217, 1999.
- [14] Mohsin Raza, “Oxygen Vacancy Stabilized Zirconia (OVSZ); Synthesis and properties”, Thesis, UMONS Universite de Mons, 2017.
- [15] Mardiyati, “Komposit Polimer Sebagai Material tahan Balistik”, Jurnal Inovasi Pertahanan dan Keamanan, Vol.1, no.1, pp.20-28, Penerbit Jurnal ITB, Februari 2018.