



STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT PEG (*POLYETHYLENE GLYCOL*) - 4000 PENAMBAHAN 10 WT% SiO₂ QUARTZ DARI PASIR ALAM DENGAN MENGGUNAKAN *DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS* (DMA)

Sefrilita Risqi Adikaning Rani

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

email:sefrilita.rani@uin-alauddin.ac.id

INFO ARTIKEL

Status artikel:

Diterima: 20 Mei 2021

Disetujui: 24 Juni 2021

Tersedia online: 3 Juli 2021

Keywords: PEG4000, DMA, Mechanical properties, SiO₂.

ABSTRACT

The mechanical properties of (Polyethylene glycol) PEG4000 +10wt% SiO₂ have been investigated using DMA (Dynamic Mechanical Analysis). SiO₂ processed from natural sand was added as much as 10wt % SiO₂ as a filler to the composite and PEG-4000 as a matrix. The results show that the addition of SiO₂ filler makes the mechanical properties of the PEG-4000 polymer as a matrix increase when influenced by temperature and frequency including shear modulus (G') and tensile modulus (E'). Composites (PEG4000 + 10wt% SiO₂ quartz) are more resistant to tensile loads when viewed from their tensile modulus.

1. PENDAHULUAN

Komposit material saat ini banyak dikembangkan dalam bidang sains dan teknologi. Bahan komposit yang banyak diaplikasikan saat ini yakni bahan komposit dengan matrik polimer. Dalam hal ini polimer digunakan sering digunakan sebagai matrik diharapkan dapat memperbaiki sifat dari material paduannya termasuk pada sifat kekakuan dan kekuatan dari filler. Ada banyak material yang digunakan sebagai filler yang berbasis material anorganik seperti tipe silica nanopartikel. Material silica dipilih karena sifatnya yang hidrofilik yang mengandung OH pada permukaan dan tidak menunjukkan kecenderungan membentuk agregat dalam matrik polimer, dengan begitu tidak menimbulkan dampak yang dapat melemahkan dari beberapa sifat matrik dari polimer. Bahan polimer sebagai matrik dapat berikatan kimia dengan permukaan silica, membuat lebih hidrofobik dan meningkatkan

kompabilitas dengan matrik polimer (Hassanajili & Sajedi, 2016). Menurut Fauziyah 2015, agar terbentuk bahan komposit maka harus dipenuhi persyaratan yakni Komponen *filler* harus memiliki modulus elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen matriksnya dan harus ada ikatan antar permukaan yang kuat antara komponen *filler* dengan komponen matriks (Nur Aini et al., 2015). Menurut Pinheiro dkk. 2017, polimer matrik merupakan alternative yang baik selain untuk meningkatkan sifat yakni juga dapat kita bisa membuat komposit dengan bahan biodegradable dengan biaya yang murah, berat ringan, luas permukaan yang spesifik, modulus elastisitas yang tinggi dan bahan baku terdapat di alam (Pinheiro et al., 2017). Untuk mengetahui modulus elastis dan perubahan mekanik dari sebuah bahan komposit dapat digunakan pengukuran dengan menggunakan DMA (*Dynamic Mechanical Analysis*).

Dynamic Mechanical Analysis (DMA) digunakan untuk menunjukkan respon material untuk thermal atau respon mekanis. Respon akan bervariasi dengan suhu karena perilaku viskoelastisnya bergantung pada temperatur. Jika mengalami stres, material akan menunjukkan adanya ketegangan atau deformasi (Pratapa et al., 2017). Pengukuran dengan DMA yang menggunakan mode geser menghasilkan data berupa modulus simpan (storage modulus, G'), modulus hilang (loss modulus, G''), dan $\tan \delta$. Modulus simpan mengukur energi yang tersimpan, yang mewakili daerah elastik. Modulus hilang mengukur energi yang hilang sebagai panas, yang mewakili daerah viskos dan redaman yang dialami material. $\tan \delta$ menunjukkan perbandingan antara modulus hilang dengan modulus simpan. Secara umum, gabungan antara G' dan G'' adalah modulus kompleks (complex modulus, G^*) (Menard, K.P, 2008).

$$G^* = G' + i G'' \quad (1)$$

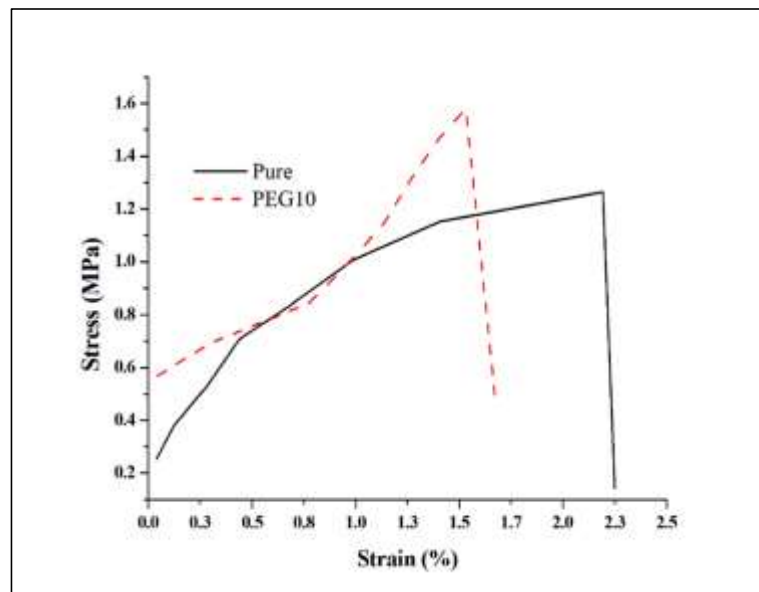
Material yang akan diuji pada praktikum ini adalah PEG4000 dengan filler atau pengisi 10%wt Silica quartz yang telah berhasil disintesis oleh Fauziyah 2015 (Nur Aini et al., 2015).

2. METODE PENELITIAN

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah PEG4000 (*polyethylene glycol* 4000 Merck Schuchardt OHG 85662 Hohenbrunn, Germany) yang digunakan sebagai matrik. Kemudian dijadikan komposit dengan filler SiO_2 Quartz yang dibuat dari pasir alam. Pencampuran dilakukan dengan komposisi 90 wt% PEG 4000 ditambah dengan 10% SiO_2 Quartz yang dalam praktikum kita namakan PEG10. Untuk pembandingan maka juga dilakukan pengujian dengan menggunakan PEG murni tanpa penambahan SiO_2 yang dalam praktikum kita sebut Pure. Pengukuran modulus dilakukan menggunakan alat uji DMA. Untuk pengukuran sampel diatur dengan ukuran dimensi 5 mm x 1,2 mm x 2 mm. Kondisi pengukuran dengan DMA meliputi: menggunakan software Mettler Toledo instrument, STARE software untuk data akuisisi, range frekuensi 1 Hz-150 Hz, dan suhu berkisar 25°C-80°C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan komposit dengan matrik polimer mempunyai sifat mekanik yang berbeda dari bahan lain. Sifat dari matrik polimer itu sendiri mempunyai sifat mekanik yang khas pada kelakuan viskoelastik bahan yang dominan, yakni sifat yang terletak antara bahan fluida dan bahan elastik. Pada bahan polimer itu sendiri apabila diamati dari perilaku mekaniknya yakni mengikuti hukum Hooke dimana tegangan (*stress* σ) berbanding lurus dengan regangan (*strain* ϵ) dengan konstanta kesebandingan yang merupakan modulus dari bahan. Gambar 1 menggambarkan hubungan tegangan (*stress* σ) dan regangan (*strain* ϵ) antara PEG4000 murni sebagai matrik dan dengan penambahan 10%wt SiO₂ quartz sebagai filler. Kurva menunjukkan dengan penambahan silika sebanyak 10% wt dalam matrik PEG4000 dapat meningkatkan nilai modulus dan elongasi yang rendah pada PEG4000. Hal ini jika dilihat dari nilai stress yang rendah pada PEG murni menyebabkan adanya batas gerakan rantai, namun jika dibandingkan dengan PEG10 menunjukkan stress yang meningkat sehingga titik lemah menjadi lebih besar yang menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata, jadi sampelnya menjadi sangat rapuh dan regangan berkurang (Hassanajili & Sajedi, 2016).

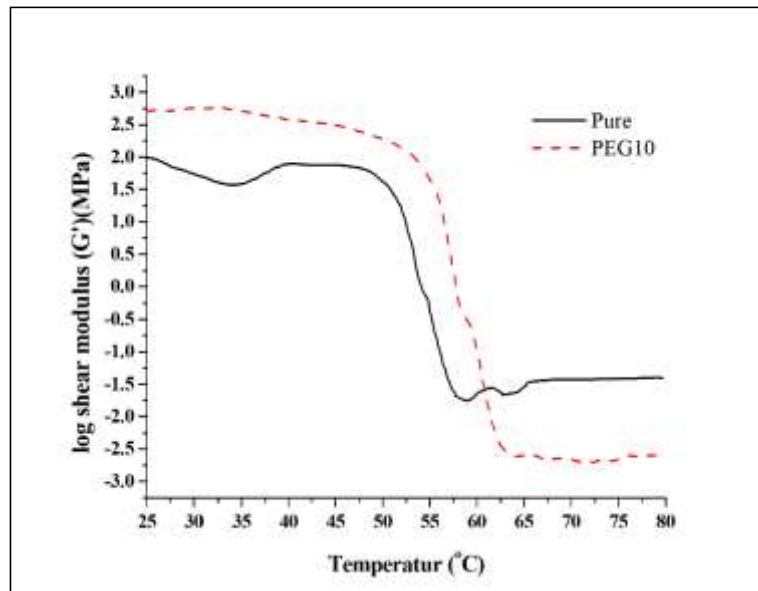


Gambar 1. Grafik stress-strain pada Pure PEG4000 dan PEG10

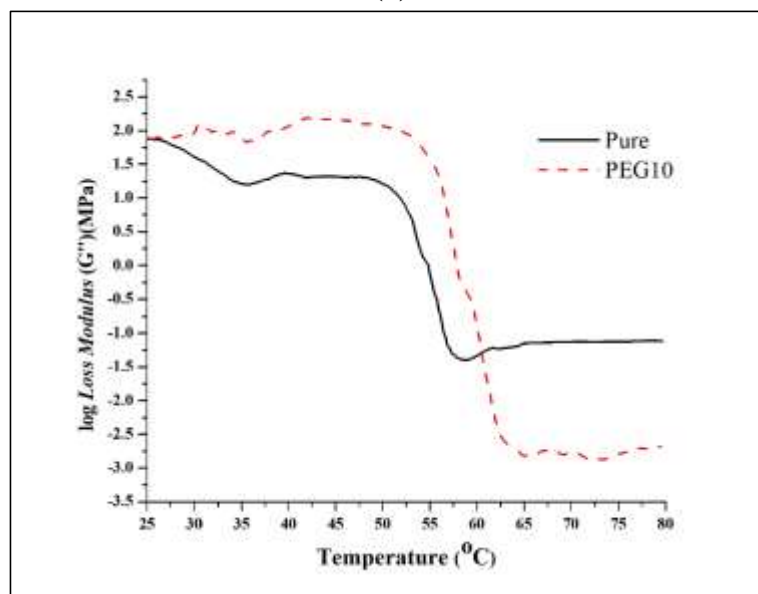
Dimana modulus merupakan perbandingan antara *stress* dan *strain*. Kekuatan tarik dari material merupakan kekuatan maksimum dari bahan untuk menerima suatu tegangan. Dari gambar 1 dapat kita lihat bahwa kuat tarik maksimum untuk PEG10 sebesar 1,6 MPa dengan elongasi 1,5 % dan PEG murni sebesar 1,2 MPa dengan elongasi 2,1 %. Artinya sampai elongasi 1,5 % PEG10 sudah tidak elastis lagi dan PEG murni daerah elastisitasnya lebih besar yang ditandai dengan elongasi pada *strain* 2,1%. Pada gambar 1 terlihat bahwa daerah elastis pada komposit PEG10 lebih pendek dari pada elastisitas pada pure PEG. Kenaikan

kuat tarik ini bisa dikaitkan dengan orientasi atau arah morfologi kristal, selama penambahan filler pada polimer dapat mengakibatkan kristalisasi yang menyebabkan kuat tarik dari material meningkat. Matrik mengalami kristalisasi disekitar filler, apabila matriks cair mengandung filler padat dengan cepat didinginkan maka filler dapat mempromosikan pelurusan rantai matrik dan memfasilitasi pengkristalan di sekitar matrik sehingga memperbaiki transfer tegangan dari matrik ke filler (Rizvi et al., 2017).

Modulus penyimpanan shear (*shear modulus*) berkaitan dengan modulus elastis dari suatu material (G') dan Modulus hilang (*loss modulus*) yang berhubungan dengan energi yang hilang akibat gerakan rantai polimer. Gambar 2(a) menunjukkan nilai storage modulus geser (modulus simpan shear) dari material komposit lebih meningkat dibandingkan polimer murni PEG4000 jika dilihat secara keseluruhan. Dalam hal ini berarti bahwa dengan penambahan SiO_2 sebagai filler dalam polimer dapat meningkatkan nilai modulus simpan geser. Apabila ditinjau dari fungsi temperatur dapat dikatakan bahwa nilai G' (modulus penyimpanan shear) semakin menurun dengan bertambahnya temperature. Adanya gaya dorong temperatur mengakibatkan terjadinya pergerakan lokal pada PEG10 dimana terjadi interaksi matrik polimer dengan fillernya yakni SiO_2 quartz. Interaksi tersebut mengakibatkan berkurangnya pergerakan rantai polimer yang membuat kekuatan mekanik pada komposit meningkat dari matrik polimernya. Dari gambar 2(a) diketahui temperatur melting (T_m) pada PEG murni adalah disekitar 50°C , dibawah temperatur melting (T_m) modulus shearnya konstan artinya kekakuannya tetap antara kedua bahan namun lebih kaku yang dengan penambahan silika quartz, dan setelah temperature melting modulus mengalami penurunan secara drastis, hal ini dikarenakan terjadinya slip pada rantai polimernya. Penambahan silika 10% dapat meningkatkan temperatur melting, peningkatan ini juga diindikasikan adanya penurunan mobilitas atau pergerakan molekul rantai polimer yang mungkin disebabkan oleh mobilisasi pada permukaan matrik polimer. Titik melting atau temperature melting pada polimer timbul akibat adanya keseragaman filler, bersama hancurnya jaringan filler dan putusnya rantai polimer matrik yang menyebabkan viskositasnya menurun dengan adanya filler (Motaung et al., 2012) (Ahmed et al., 2017).



(a)

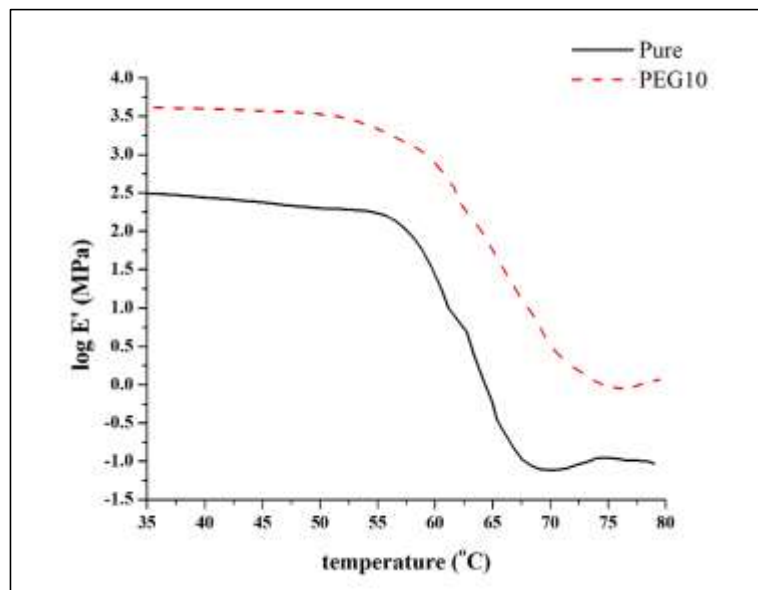


(b)

Gambar 2. (a) Grafik storage modulus (G') dan (b) loss modulus (G'') pada Pure PEG4000 dan PEG10 dengan variasi temperatur

Pada gambar 2(a) dimana pada temperatur kurang dari temperatur meting (T_m) bahan komposit PEG10 mempunyai modulus simpan yang tinggi yakni pada temperature sekitar 50°C yang diperbaiki dengan memasukkan filler silika quartz yang sifatnya kaku. Kekakuan pada partikel silika terkait dengan dispersi serbuk silika yang dimodifikasi dalam matrik polimer PEG4000. Dispersi serbuk dalam matrik mengakibatkan modulus elastisitas

meningkat pada material (Hu et al., 2004). Gambar 2(b) menunjukkan *loss modulus* (G'') pada PEG4000 meningkat dengan penambahan silika sebanyak 10%wt pada temperatur 50°C. Hal ini dikarenakan adanya gesekan antara partikel silika yang dimodifikasi dalam matrik PEG4000, dimana silika terdispersi secara menyeluruh didalam matrik sehingga hasil yang ditunjukkan sangat baik untuk memperkuat sifat mekanik dari matrik (Nur Aini et al., 2015). Hal ini pernah dilakukan oleh Hu 2004 dimana penambahan SiO_2 pada matrik polimer mengakibatkan kenaikan *loss modulus* akibat adanya gesekan SiO_2 dengan matriknya, gesekan inilah yang menyebabkan adanya hilangnya energy (Hu et al., 2004).

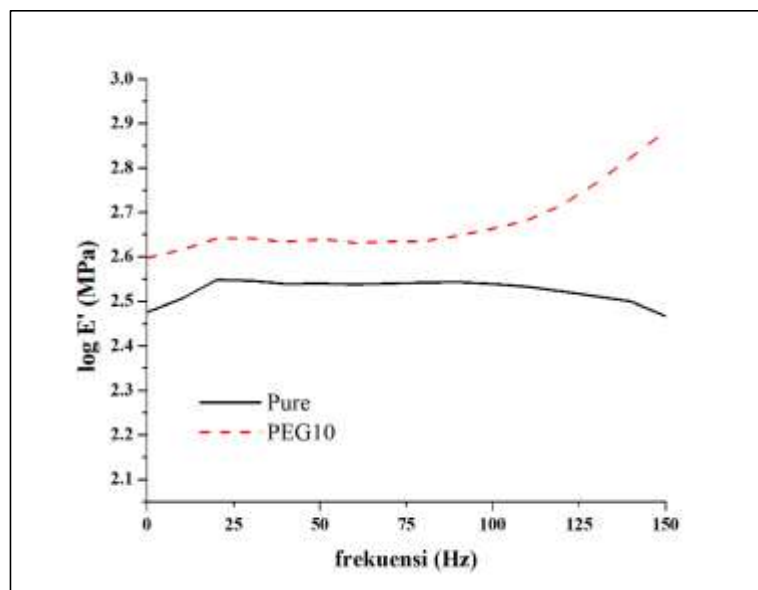


Gambar 3. Grafik *tensile strength* (E') pada Pure PEG4000 dan PEG10 dengan variasi temperatur

Perlakuan panas pada bahan polimer akan dapat mengaktifkan pergerakan molekul menuju transisi aktifitas pergerakan molekul yang berdampak pada kuat tarik (*tensile strenght*) dan kekerasan pada bahan polimer menjadi rendah. Apabila pemanasan dilakukan melebihi temperatur melting (T_m) maka bahan akan melunak sehingga modulus elastisitas akan mengalami perubahan dari fasa kristal akan meleleh yakni dimulai pada temperatur melting (T_m). Pada gambar 3 menunjukkan adanya peningkatan nilai modulus tarik pada PEG4000 dengan penambahan silika quartz jika dilihat secara keseluruhan. Kenaikan nilai modulus tarik (*tensile modulus*) ini dikarenakan adanya silika sebagai filler yang mempunyai sifat yang lebih kaku terdispersi merata didalam matrik polimer. Pada saat dibawah temperatur melting atau bisa dianalisa pada temperatur ruang *tensile modulus* bernilai konstan, artinya pada temperatur rendah, tidak molekul belum mempunyai gaya pendorong yang cukup untuk bertransisi sehingga konstan. Untuk kedua sampel menunjukkan modulus yang konstan, namun jika dibandingkan maka dengan penambahan silika dapat menambah nilai *tensile modulus*, yang menandakan ketahanan bahan terhadap tarikan yang diberikan padanya. Adanya penambahan temperatur menyebabkan nilai *tensile modulus*nya semakin

berkurang sampai dengan temperature melting (T_m) dan menurun drastik setelah (T_m). Hal ini disebabkan adanya gaya dorong temperatur mengakibatkan terjadinya pergerakan lokal antar molekulnya. Pada PEG10 terjadi pergerakan lokal molekulnya yakni interaksi matrik polimer PEG4000 dengan fillernya yakni SiO_2 . Penurunan drastis nilai *tensile modulus* setelah temperature melting mengindikasikan adanya slip yang terjadi pada rantai secara perlahan (Motaung et al., 2012).

Apabila kita bandingkan gambar 2(a) yang menunjukkan nilai shear modulus dan gambar 3 yang menunjukkan nilai shear modulus terhadap bahan komposit PEG10 yakni dengan penambahan silika, maka PEG10 lebih tahan terhadap beban tarikan jika dibandingkan beban geser. Hal ini ditunjukkan pada grafik, yakni pada saat penurunan nilai modulusnya, nilai modulus shearnya turun lebih tajam jika dibandingkan dengan *tensile modulus*nya pada kenaikan temperaturnya.



Gambar 4. Grafik *tensile modulus* (E') pada Pure PEG4000 dan PEG10 dengan variasi frekuensi

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara *tensile strength* (E') oleh komposit PEG10. Besarnya E' pada matrik polimer PEG4000 meningkat dengan adanya penambahan silika quartz 10%. Maksudnya disini penambahan silika membuat sifat PEG4000 lebih keras jika dibandingkan dengan PEG murni. Penguatan ini dapat dikaitkan dengan adanya dispersi filler yang baik kedalam matrik, adanya ikatan kovalen rantai polimer dan filler dan ikatan hidrogen antara filler dan matrik. Penguatan oleh filler dapat membatasi pergerakan dari rantai molekul matrik sehingga dapat memperbaiki transfer *stress* dari matrik ke filler saat dikenai beban (Ahmed et al., 2017). Bertambahnya nilai *tensile modulus* menunjukkan kemampuan bahan terhadap deformasi plastis, yang menunjukkan ikatan yang kuat, dalam hal ini silika berikatan membentuk jaringan network dengan matrik PEG. Interaksi ikatan yang kuat inilah menyebabkan dispersi molekul yang baik dan dapat menyebabkan interaksi

antar muka lebih besar sehingga lebih kuat. Semakin kuat filler silica membentuk jaringan network membatu untuk mengatasi tercampurnya fasa dan menambah sifat viskoelastik (Hassanajili & Sajedi, 2016).

4. SIMPULAN

Secara keseluruhan dapat diambil kesimpulan bahwa komposit (PEG4000+10wt% SiO₂ quartz) dengan matrik polimer (PEG4000) dapat meningkatkan sifat mekanik dari matriknya. Sifat mekanik yang ditingkatkan meliputi shear modulus dan tensile modulus dengan fungsi temperature dan frekuensi. Komposit (PEG4000+10wt% SiO₂ quartz) lebih tahan terhadap beban tarikan jika dilihat dari tensile modulus.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, J., Mulla, M., Arfat, Y. A., & Thai T, L. A. (2017). Mechanical, thermal, structural and barrier properties of crab shell chitosan/graphene oxide composite films. *Food Hydrocolloids*, 71(Supplement C), 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.013>.
- Hassanajili, S., & Sajedi, M. T. (2016). Fumed silica/polyurethane nanocomposites: Effect of silica concentration and its surface modification on rheology and mechanical properties. *Iranian Polymer Journal*, 25(8), 697–710. <https://doi.org/10.1007/s13726-016-0458-0>.
- Hu, Y.-H., Chen, C.-Y., & Wang, C.-C. (2004). Viscoelastic properties and thermal degradation kinetics of silica/PMMA nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 84(3), 545–553. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.03.014>.
- Menard, K.P. (2008, May 28). *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction, 888Second Edition*. CRC Press. <https://www.crcpress.com/Dynamic-Mechanical-Analysis-A-Practical-Introduction-Second-Edition/Menard/9781420053128>.
- Motaung, T. E., Saladino, M. L., Luyt, A. S., & Chillura Martino, D. F. (2012). The effect of silica nanoparticles on the morphology, mechanical properties and thermal degradation kinetics of polycarbonate. *Composites Science and Technology*, 73(Supplement C), 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2012.08.014>.
- Nur Aini, F., Musyarofah, Triwikantoro, Mashuri, Firdaus, S., & Pratapa, S. (2015). Dynamic Mechanical Properties of PEG 4000 + Quartz Composites. *Advanced Materials Research*, 1112, 385–388. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1112.385>.
- Pinheiro, I. F., Ferreira, F. V., Souza, D. H. S., Gouveia, R. F., Lona, L. M. F., Morales, A. R., & Mei, L. H. I. (2017). Mechanical, rheological and degradation properties of PBAT nanocomposites reinforced by functionalized cellulose nanocrystals. *European Polymer Journal*, 97 (Supplement C), 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.10.026>.
- Pratapa, S., Wahyuni, T., Fauziyah, N. A., Apriliyana, G. A., Mashuri, M., & Firdaus, S. (2017). Synthesis and thermomechanical characterization of PEG/cristobalite

- composites. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(8), 3653–3656. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-0703-2>.
- Rizvi, A., Andalib, Z. K. M., & Park, C. B. (2017). Fiber-spun polypropylene/polyethylene terephthalate microfibrillar composites with enhanced tensile and rheological properties and foaming ability. *Polymer*, 110(Supplement C), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2016.12.054>.