

Pengaruh Kandungan Hibrid Partikel CaCO_3 dan Karet dalam Perakatan Epoxy terhadap Kekuatan Geser Sambungan Baja (Effect of Hybrid CaCO_3 and Rubber Particles Content in Epoxy on the Shear Strength of Bonded Steel Joints)

Muhaimin Zikril, Sugiman*, Agus Dwi Catur

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62, Mataram, Indonesia, 83125

*Corresponding author: s.sugiman@unram.ac.id

(Received 18 June 2024; Accepted 29 June 2024; Available online 29 June 2024)

ABSTRACT

The paper investigates the effect of hybrid of CaCO_3 and ground tire rubber in the epoxy adhesive on the shear strength of adhesively bonded steel joints. The content of CaCO_3 was in the range of 1-5 wt%, while the content of ground tire rubber was 0, 5 and 10 wt%. It was found that the shear strength of steel joints did not significantly change when the filler worked independently compared to the neat epoxy. However, the shear strength increased significantly for the hybrid of 3wt% CaCO_3 and 5 wt% ground tire rubber, up to 146% compared to that of the neat epoxy. The failure of the joint was interfacial for each filler working independently, but it was mixed failure (interfacial and cohesive) for the epoxy filled with the hybrid of CaCO_3 and ground tire rubber.

ABSTRAK

Makalah ini menyelidiki pengaruh hibrid CaCO_3 dan partikel karet ban dalam perekat epoksi terhadap kekuatan geser sambungan baja yang direkatkan secara perekat. Kandungan CaCO_3 berada pada kisaran 1-5 wt%, sedangkan kandungan partikel karet ban adalah 0, 5 dan 10 wt%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan geser sambungan baja tidak berubah secara signifikan ketika pengisi bekerja secara independen dibandingkan dengan epoksi murni. Namun, kekuatan geser meningkat secara signifikan untuk hibrida 3% CaCO_3 dan partikel karet ban 5% berat, hingga 146% dibandingkan dengan epoksi murni. Kegagalan sambungan adalah interfacial untuk masing-masing *filler* yang bekerja secara independen, tetapi merupakan kegagalan campuran (interfacial dan kohesif) untuk epoksi yang diisi dengan campuran CaCO_3 dan karet ban.

Keywords:

CaCO_3 particles;
Ground tire rubber;
Epoxy adhesive;
Shear strength;
Steel joints

Kata kunci:

Partikel CaCO_3 ;
Partikel karet;
Perekat epoxy;
Kekuatan geser;
Sambungan baja

1. Pendahuluan

Perekat epoxy banyak dipakai untuk penyambungan komponen teknik seperti metal ke metal, metal ke komposit, metal ke keramik dan dan komposit ke komposit. Namun perekat epoxy bersifat getas dan tidak cocok untuk pembebanan dinamis. Untuk itu perekat epoxy perlu ditingkatkan ketangguhannya untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi.

Beberapa cara untuk meningkatkan ketangguhan perekat epoxy adalah dengan menambah bahan isian (*filler*) dari partikel keras dan juga dengan partikel lunak. Partikel keras dapat berasal dari *filler* anorganik, sedangkan partikel lunak dapat berasal dari karet. Beberapa partikel keras yang pernah dilaporkan adalah silika (Chruściel & Leśniak, 2015), mika (Poh et al., 2014; Ziadeh et al., 2014), fly ash (Setyawan et al., 2019), dan CaCO_3 (Setyawan et al., 2019). Sedangkan untuk partikel lunak yang pernah dilaporkan adalah dari CTBN (Srivastava et al., 2018; Wang et al., 2018), ATBN (Dou et al., 2016), dan *core-shell rubber particle* (CSRP) (Ren et al., 2017; Tsang & Taylor, 2019). Dibandingkan partikel keras, efektifitas partikel lunak lebih baik dibanding partikel keras, namun kekuatan tarik dan modulus elastis perekat dengan *filler* partikel lunak menurun secara signifikan pada kandungan yang optimal dalam meningkatkan ketangguhan retak. Sedangkan penggunaan *filler* keras dapat meningkatkan kekakuan dan tetapi menghasilkan peningkatan ketangguhan yang moderat. Sehingga penggabungan (hibrid) partikel keras dan partikel lunak dapat mampu sekaligus

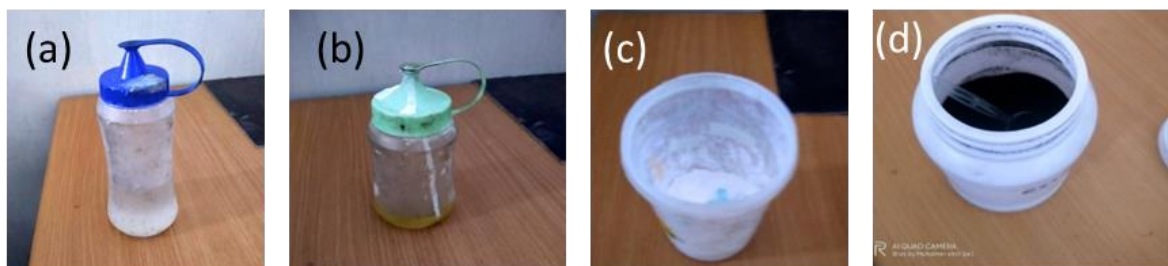
meningkatkan ketangguhan tetapi tidak secara signifikan menurunkan kekakuan perekat epoxy.

Salah satu cara memperoleh partikel lunak untuk *filler* perekat epoxy adalah partikel karet dari ban bekas. Ban bekas tersedia melimpah. Partikel karet dari ban bekas mempunyai kualitas yang baik. Penggunaan partikel karet dari ban bekas dan juga partikel keras telah diteliti oleh Sugiman et al., (2023). Penelitian tersebut melaporkan bahwa hybrid CaCO_3 (2% berat) dan partikel karet ban bekas (10% berat) meningkatkan ketangguhan perekat epoxy sampai 89% pada kondisi kering dibanding epoxy murni dan sedikit meningkat pada kondisi basah dibanding kondisi kering. Berdasarkan keuntungan tersebut, perekat hybrid tersebut diaplikasikan ke sambungan perekat baja-baja. Sehingga tujuan dari paper ini adalah untuk mengetahui pengaruh kandungan hybrid CaCO_3 dan partikel karet dari ban bekas dalam perekat epoxy terhadap kekuatan geser sambungan perekat baja-baja.

2. Metode penelitian

2.1. Bahan

Pada penelitian ini, bahan perekat yang digunakan adalah berbasis epoxy dan hardener *cycloaliphatic amine* EPH 555. *Filler* yang digunakan adalah partikel CaCO_3 , partikel karet dari ban bekas. Partikel ban bekas mempunyai ukuran lolos 200 mesh (0,074 mm). *Filler* CaCO_3 mempunyai ukuran nano 60-80 nm dan telah diperlakukan dengan fatic acid (sesuai sepsifikasi pembuat). Partikel karet diperlakukan dengan asam stearate 1% dalam larutan acetone. Sebagai bahan yang disambung (adherend) adalah baja karbon rendah dengan ketebalan 3 mm.



Gambar 1. (a) Resin epoxy, (b) hardener poliamidoamin, (c) CaCO_3 , (d) partikel karet.

2.2. Pembuatan Spesimen

Baja karbon rendah sebagai adherend dipotong dengan panjang 100 mm dan lebar 15 mm dengan menggunakan gerinda. Selanjutnya baja diratakan bagian-bagian permukaan yang korosi, tidak merata dan kotoran yang masih menempel pada permukaan spesimen. Bagian permukaan baja yang akan direkatkan (kira-kira 20 mm) diampelas dengan menggunakan amplas nomor 360 mesh dan dilanjutkan dengan nomor 150 mesh agar mendapatkan permukaan yang lebih merata. Tahap selanjutnya permukaan disandblast dan kemudian dibersihkan menggunakan aseton dan dilap menggunakan tisu agar menghasilkan daya rekat yang baik.

Perekat *epoxy* disiapkan dengan menambahkan partikel karet dari ban bekas dan nano- CaCO_3 . Kandungan partikel karet adalah 0, 5 dan 10% dari berat epoxy, sedangkan kandungan nano CaCO_3 adalah 1, 3 dan 5% dari berat resin epoxy. Campuran diaduk dengan menggunakan pengaduk selama 1 jam. Setelah itu, campuran divakum selama 2 menit untuk mengangkat gelembung udara yang terjebak dalam campuran tersebut. Setelah itu campuran ditambahkan hardener dan kemudian diaduk menggunakan sendok selama 1 menit. Rasio resin epoxy dan hardener adalah 2:1 (dalam berat). Setelah *hardener* tercampur kemudian dilakukan

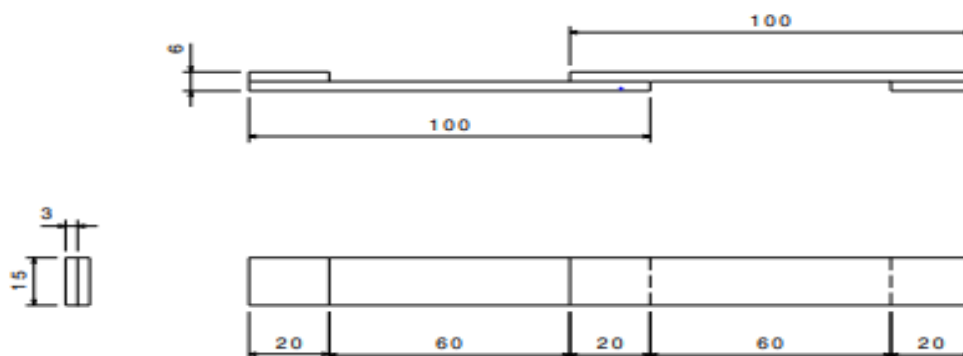
pemvakuman agar gelembung udara yang terjebak hilang. Setelah perekat disiapkan, penyambungan baja dilakukan. Ketebalan perekat dijaga 0,2 mm, dengan menyisipkan 1 lembar plastik mika dengan ketebalan 0,2 mm yang sudah di potong dengan panjang 10 cm di dalam sambungan (di ujung sambung yang tidak terkena perekat). Kemudian perekat dioleskan di permukaan baja secara merata dan kedua adherend baja direkatkan. Panjang perekat yang akan direkatkan 20 mm. Sambungan dijepit dengan menggunakan alat yang dimodifikasi dengan menggunakan baut sebagai penjepit/pengikat dan dibiarkan mengeras selama 24 jam pada suhu kamar (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Jig dan fixture sambungan.

2.3. Pengujian

Pengujian kekuatan sambungan dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dalam kondisi suhu kamar lingkungan laboratorium. Sebelum diuji dua tab direkatkan pada kedua ujung sambungan seperti terlihat pada Gambar 3. Kecepatan pengujian adalah 1 mm/menit. Dari pengujian data yang diperoleh adalah beban gagal dari spesimen.



Gambar 3. Standar spesimen pengujian ASTM D1002 (ASTM D1002, 2005)

Untuk menghitung kekuatan geser sambungan menggunakan Pers. (1).

$$\tau_f = \frac{F_f}{A} \quad (1)$$

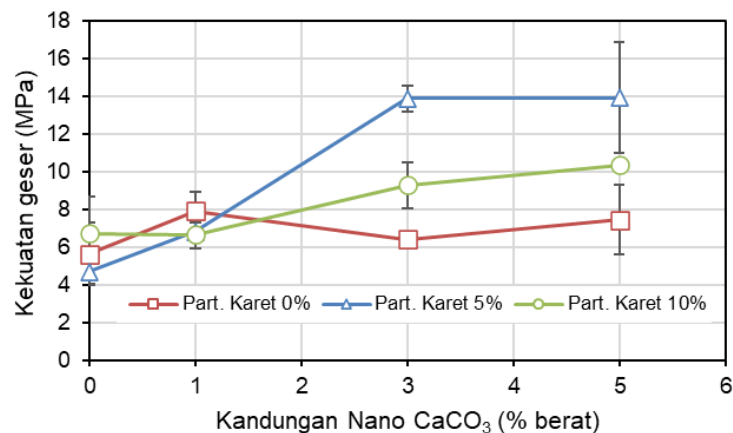
Dengan :

τ_f = Kekuatan geser (MPa), F_f = Gaya geser saat gagal (N), $A = b \times c$ = Luas daerah perekatan (mm^2), b = Lebar lap (mm), dan c = Panjang lap (mm).

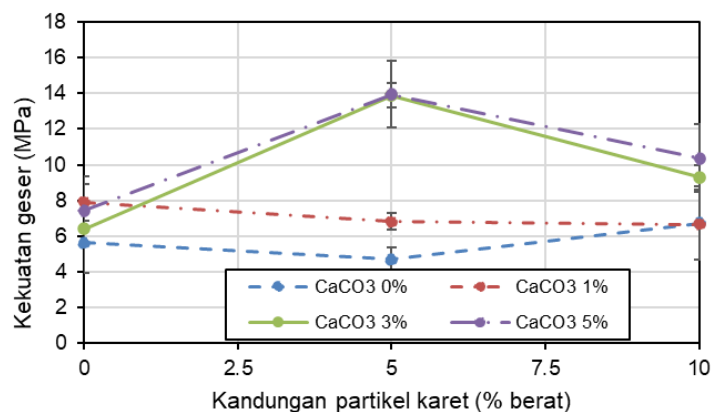
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kekuatan geser sambungan

Grafik di Gambar 4 dan 5 menunjukkan nilai kekuatan rata-rata kekuatan geser sambungan baja pada berbagai kandungan nano CaCO_3 dan partikel karet. Untuk perekat epoxy tanpa partikel karet, kekuatan geser sambungan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan meningkatnya kandungan CaCO_3 . Sama halnya dengan pengaruh kandungan CaCO_3 , untuk perekat tanpa partikel CaCO_3 dan hanya mengandung partikel karet, kekuatan geser tidak berubah secara signifikan dengan bertambahnya partikel karet sampai 10%. Hasil yang lebih baik ditunjukkan dengan hibrid partikel CaCO_3 dan partikel karet. Dengan menambahkan partikel karet 5%, kekuatan geser cenderung meningkat dengan bertambahnya partikel CaCO_3 dan mencapai optimum pada kandungan CaCO_3 3%. Pada kandungan CaCO_3 3% dan partikel karet 5% tersebut, kekuatan geser meningkat 146% dibanding perekat tanpa *filler* atau meningkat 117% dibanding dengan perekat epoxy kandungan CaCO_3 3% dan tanpa partikel karet. Kemudian pada kandungan partikel karet 10%, kekuatan geser juga cenderung meningkat dengan meningkatnya kandungan CaCO_3 sampai 5%, namun kekuatannya lebih rendah dibanding pada kandungan partikel karet 5%. Kekuatan geser sambungan meningkat sekitar 65 dan 84% masing-masing pada kandungan CaCO_3 3 dan 5% dibanding perekat epoxy tanpa *filler*.



Gambar 4. Kekuatan geser sambungan baja-baja dengan kandungan variasi CaCO_3 .



Gambar 5. Kekuatan geser sambungan baja-baja dengan kandungan variasi Karet.

Dengan melihat hasil tersebut jelas bahwa partikel CaCO_3 atau partikel karet saja dalam epoxy kurang dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kekuatan

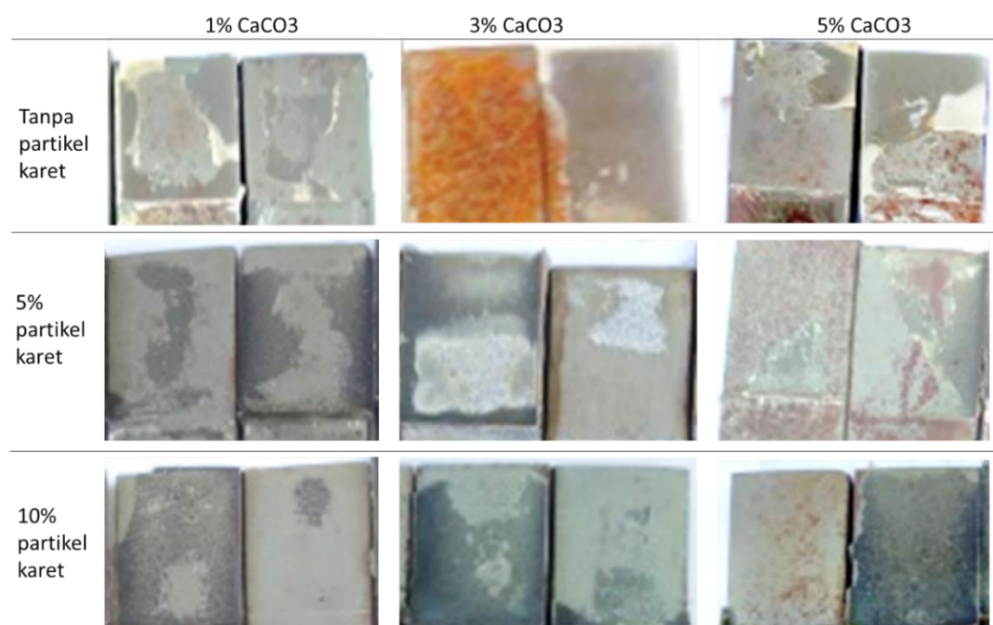
sambungan. Dengan hybrid partikel CaCO_3 dan partikel karet memberikan pengaruh sinergi terhadap kekuatan sambungan. Partikel CaCO_3 bersifat keras pada sehingga penambahan CaCO_3 mampu meningkatkan modulus elastis tetapi menurunkan kekuatannya (Sugiman et al., 2020; Sugiman, Salman, et al., 2021). Sedangkan partikel karet karena sifatnya yang lunak mampu menurunkan modulus elastis dan kekuatan tarik namun meningkatkan regangan saat patah, sehingga meningkatkan energi patah epoxy (Sugiman et al., 2023). Dengan bertambahnya ketangguhan perekat (modulus elastis meningkat tetapi mempunyai ketangguhan juga meningkat) membuat kekuatan sambungan menjadi meningkat seperti ditunjukkan pada perekat hybrid CaCO_3 3% dan partikel karet 5%.

3.2. Analisa Mode Kegagalan

Permukaan spesimen yang patah diamati dengan mata telanjang dan difoto menggunakan kamera untuk menentukan jenis kegagalan patahan pada spesimen setelah diuji geser. Ada 3 jenis kegagalan yang umum ditemui untuk sambungan metal-metal seperti; kegagalan adhesif (antarmuka), kegagalan kohesif dan kegagalan campuran antarmuka dan kohesif. Seperti terlihat pada Gambar 6-7, ada kegagalan adhesi (interfasial) dan kegagalan kohesif (kegagalan dalam perekat). Untuk perekat tanpa *filler*, kegagalan sambungan cenderung kegagalan antarmuka, demikian juga dengan *filler* yang bekerja sendiri-sendiri, baik CaCO_3 dan partikel karet, sehingga kekuatan gesernya juga rendah. Sedangkan untuk perekat hybrid, kegagalan kebanyakan adalah campuran antarmuka dan kohesif (dekat dengan antarmuka). Kenaikan kekuatan geser dihubungkan dengan peningkatan ketangguhan perekat hybrid dan kekuatan geser maksimum terjadi pada hybrid CaCO_3 3% dan partikel karet 5%.



Gambar 6. Kegagalan sambungan untuk perekat (a) tanpa *filler*, dan dengan *filler* partikel karet (b) 5% dan (c) 10%.



Gambar 7. Kegagalan sambungan pada berbagai komposisi hybrid CaCO_3 dan partikel karet.

4. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian tentang kekuatan geser sambungan dengan perekat *epoxy berfiller* hibrid CaCO_3 dan partikel karet dari ban bekas. Dari hasil penelitian dan pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser sambungan perekatan pada baja dengan perekat tanpa atau dengan *filler* CaCO_3 dan partikel karet yang bekerja sendiri-sendiri tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kekuatan geser. Perekat dengan *filler* hibrid CaCO_3 dan partikel karet memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kekuatan geser sambungan perekat baja, dan pengaruh yang optimal diperoleh pada komposisi CaCO_3 3% dan partikel karet 5%, dengan peningkatan mencapai 146% dibanding perekat tanpa *filler*. Hibrid CaCO_3 dan partikel karet memberikan pengaruh yang sinergis terhadap kekuatan sambungan.

Referensi

- ASTM D1002. 2005. *Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)*. www.astm.org,
- Chruściel, J. J., & Leśniak, E. 2015. Modification of epoxy resins with functional silanes, polysiloxanes, silsesquioxanes, silica and silicates. *Progress in Polymer Science*, 14, 67–121. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.08.001>
- Dou, H., Tian, B., Huang, Y., Quan, Y., Chen, Q., & Yin, G. 2016. Improved mechanical properties of ATBN-toughened epoxy networks by controlling the phase separation scale. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30(6), 642–652. <https://doi.org/10.1080/01694243.2015.1117268>
- Poh, C. L., Mariatti, M., Ahmad Fauzi, M. N., Ng, C. H., Chee, C. K., & Chuah, T. P. 2014. Tensile, dielectric, and thermal properties of epoxy composites filled with silica, mica, and calcium carbonate. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(5), 2111–2119. <https://doi.org/10.1007/s10854-014-1847-9>
- Quan, D., & Ivankovic, A. 2015. Effect of core-shell rubber (CSR) nano-particles on mechanical properties and fracture toughness of an epoxy polymer. *Polymer*, 66, 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2015.04.002>
- Ren, X., Tu, Z., Wang, J., Jiang, T., Yang, Y., Shi, D., Mai, Y., Shi, H., Luan, S., & Hu, G. 2017. Critical rubber layer thickness of core-shell particles with a rigid core and a soft shell for toughening of epoxy resins without loss of elastic modulus and strength. *Composites Science and Technology*, 153, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.10.027>
- Setyawan, P. D., Martadinata, W., Sugiman, S., Salman, S., Catur, A. D., & Zainuri, A. 2019. Water absorption and tensile properties of the hybrid of fly ash- CaCO_3 /epoxy composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/694/1/012037>
- Srivastava, K., Rathore, A. K., & Srivastava, D. 2018. Studies on the structural changes during curing of epoxy and its blend with CTBN. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 188, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.06.066>
- Sugiman, S., Firmansyah, L. H., Setyawan, P. D., & Ali, H. T. 2023. Water Absorption and Fracture Toughness of Hybrid Calcium Carbonate/Rubber Particle/Epoxy Composites. In *Proceedings of the First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Mechanical and Electrical)* (pp. 334–342). Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-078-7_31
- Sugiman, S., Salman, S., & Anshari, B. 2021. Hydrothermal ageing of hydrophobic nano-calcium carbonate/epoxy nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109671>

- Sugiman, S., Salman, S., & Maryudi, M. 2020. Effects of volume fraction on water uptake and tensile properties of epoxy filled with inorganic fillers having different reactivity to water. *Materials Today Communications*, 24(March). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101360>
- Sugiman, S., Setyawan, P. D., Maryudi, M., & Madnasri, S. 2021. Water absorption, tensile, flexural and impact properties of aged bamboo fibre/nano CaCO₃-modified unsaturated polyester composites. *Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan)*, 24(2), 239–251. [https://doi.org/10.6180/jase.202104_24\(2\).0013](https://doi.org/10.6180/jase.202104_24(2).0013)
- Tsang, W. L., & Taylor, A. C. 2019. Fracture and toughening mechanisms of silica- and core – shell rubber-toughened epoxy at ambient and low temperature. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03893-y>
- Wang, L., Tan, Y., Wang, H., Gao, L., & Xiao, C. 2018. Investigation on fracture behavior and mechanisms of DGEBF toughened by CTBN. *Chemical Physics Letters*, 699, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2018.03.037>
- Ziadeh, M., Fischer, B., Schmid, J., Altstädt, V., & Breu, J. 2014. On the importance of specific interface area in clay nanocomposites of PMMA filled with synthetic nano-mica. *Polymer*, 55(16), 3770–3781. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2014.05.063>