

## NANOENKAPSULASI ASAM STEARAT DENGAN MODIFIKASI GRAFENA *mG/SA WALL-CORE* SEBAGAI KOMPOSIT PERUBAHAN FASA

Saharman Gea<sup>1\*</sup>, Vivi Purwandari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, USU

Email: s.gea@usu.ac.id

### ABSTRACT

The fabrication of phase-changed composite (PCC) utilized to store thermal energy through encapsulation has been performed by utilizing the stearate acid (SA) and modified graphene (mG) with sentrimoinum bromide (CTAB). The composite was fabricated via latex method, while the liquid SA was able to be encapsulated and stabilized due to the presence of mG. The active phase of SA altered to be a thermal storing site obtained from latent heat, while the mG wall has protective features which can prevent the leakage of SA core during transition phase. The active phase itself increased the thermal conductivity from 4.93 W/mK to 7.65 W/mK with maximum storing energy for 84.8%. The stable form of mG was measured extremely low for 2 phr with average particle size of 13.68 nm. Thus, mG wall has excellent thermal stability and effective protection in shielding the SA core which improves the thermal properties of composite.

**Keywords:** Nanoencapsulation, Graphene, Active Site Phase, Phase-changed Composite, Nanoemulsion.

### PENDAHULUAN

Enkapsulasi adalah sebuah proses dimana partikel kecil material ini dikemas dalam material dinding untuk membentuk kapsul. Nanoencapsulation didefinisikan sebagai teknologi yang mengenkapsulasi atau merangkul substrat dalam miniatur dan mengacu pada inti aktif yang dikelilingi oleh membrane polimer sebagai dinding guna melindungi inti aktif. Mikrokapsul adalah partikel yang berdiameter antara 3-800 $\mu$ m dan nanokapsul merupakan koloid dengan ukuran partikel berdiameter antara 10-1.000 nm. Secara umum, sifat fisiko kimia seperti ukuran partikel, distribusi ukuran, luas permukaan, bentuk, kelarutan dan efisiensi enkapsulasi, dan mekanisme pelepasan dapat diubah dengan teknik enkapsulasi dan *delivery system*. Oleh karena itu, penting sekali memilih teknik enkapsulasi yang sesuai berdasarkan ukuran yang diinginkan, sifat fisiko kimia, sifat material inti, dan material dinding. Teknik yang digunakan untuk mendapatkan nanoencapsulation lebih kompleks dibandingkan mikroencapsulation. Berbagai teknik telah dikembangkan dan digunakan untuk tujuan mikroencapsulation. Namun emulsifikasi,

*coacervation*, inklusi kompleks, penguapan pelarut-emulsifikasi, nanopresipitasi dan teknik fluida *supercritical* dianggap sebagai teknik nanoenkapsulasi karena dapat menghasilkan kapsul dalam rentang 10-1.000 nm. Teknik Nanoenkapsulasi dapat digunakan untuk enkapsulasi berbagai senyawa bioaktif hidrofilik dan lipofilik. Teknik Emulsifikasi, konservasi, dan superkritikal larutan digunakan untuk enkapsulasi senyawa hidrofilik dan lipofilik (Assadpour, dkk, 2019). Tehnik lateks merupakan salah satu bentuk dari teknik emulsifikasi berbasis air. Dikatakan teknik atau metode pencampuran lateks disebabkan pada proses disperse asam stearat cair menggunakan sodium dodeksil sulfat (SDS), campuran berwarna putih susu seperti warna lateks dan juga koloid stabil seperti lateks.

Komposit perubahanan fasa (PCC) menyimpan dan melepaskan energi termal sebagai panas laten bersamaan dengan perubahan fasa, menyediakan suatu mekanisme pengaturan dan penyimpanan energi termal yang cepat dan lancar (Liu, dkk, 2010) (Bhagyalakshmi, dkk, 2018). PCC yang memiliki panas laten tinggi menjadi material yang menjanjikan untuk mengumpulkan energi bersih dan murah dari sumber panas dan energi matahari yang berlimpah untuk penggunaan langsung atau dikonversi menjadi listrik. PCC juga potensial untuk mengatur panas yang efektif pada berbagai aplikasi seperti bangunan, industri peralatan elektronik dan ruang angkasa (Sharif, dkk, 2015) (Kalnæs, 2015) (Ling, dkk, 2014).

PCC memperlihatkan bentuk stabilitas perubahan fasa yang baik. Akan tetapi, matriks polimer yang umum digunakan atau kulit yang memiliki konduktivitas dan stabilitas termal yang rendah, dan sifat mekanik yang buruk. Fraksi berat polimer ini menurunkan kandungan aktif PCC yang menyebabkan menurunnya kapasitas penyimpanan energi spesifik komposit. Akhir-akhir ini beberapa matriks karbon berpori seperti grafit diperluas, busa karbon, dan busa grafena sering digunakan untuk mengimpregnasi PCC, menghasilkan bentuk stabil PCC dengan peningkatan stabilitas dan konduktivitas termal yang signifikan (Wang, dkk, 2014) (Zeng, dkk, 2014) (Samad, dkk, 2014) (Zong, dkk, 2013). Meskipun demikian, kandungan aktif PCC tetap perlu ditingkatkan guna memaksimalkan kapasitas penyimpanan energi.

Grafena dianggap sebagai material yang menjanjikan untuk aplikasi pelindung karena sifatnya yang sangat tipis, rasio aspek sangat rendah, kuat, dan fleksibel (Li, dkk, 2019) (Kwon, dkk, 2017) (Yoo, dkk, 2014). Grafena juga digunakan untuk melapisi film polimer atau didispersikan pada matriks polimer untuk aplikasi pelindung kelembaban dan gas (Pierleoni, dkk, 2016) (Yousefi, dkk, 2013) (Chen, dkk, 2014). Sifat kedap

dikombinasikan dengan tingginya stabilitas dan konduktivitas termal menjadikan grafena material yang luar biasa untuk enkapsulasi PCC dalam hal mencegah kebocoran dan meningkatkan sifat termal (Dao, dkk, 2015).

Penelitian sebelumnya tentang pembuatan nanokomposit modifikasi grafena yang berasal dari batubara Sawahlunto dengan CTAB dan mendispersikan dalam karet alam siklik (KAS) mG/KAS (Purwandari, dkk, 2019) dengan metode pencampuran larutan (*solution mixing*). Guna meningkatkan sifat termal dan reologi material, pada penelitian ini asam stearat ditambahkan dengan metode lateks. Pada artikel ini, dilaporkan metode cepat untuk mengenkapsulasi SA dengan mG menggunakan metode lateks, membentuk inti-dinding PCC mG/SA. Metode ini hanya pencampuran sederhana lateks berbasis air terdiri dari partikel SA bermuatan negatif dengan dispersi grafena berair dilapisi surfaktan kationik menginduksi grafena ke permukaan partikel SA oleh interaksi elektrostatik, membentuk komposit mikrokapsul inti-dinding (Gambar 1). Cetak tekan komposit menunjukkan bentuk stabil selama perubahan fasa, meningkatnya stabilitas termal, tingginya panas laten spesifik, kinerja stabil, dan peningkatan konduktivitas termal.

## **METODE PENELITIAN**

### **Preparation Grafena Oksida (GO-Bb)**

Grafena oksida dibuat dari batubara Sawahlunto dengan melalui tahapan proses yaitu karbonisasi (Purwandari, dkk, 2019), dan oksidasi dengan metode modifikasi Hummers (Purwandari, dkk, 2018) dan (Purwandari, dkk, 2020).

### **Fungsionalisasi Grafena (mG)**

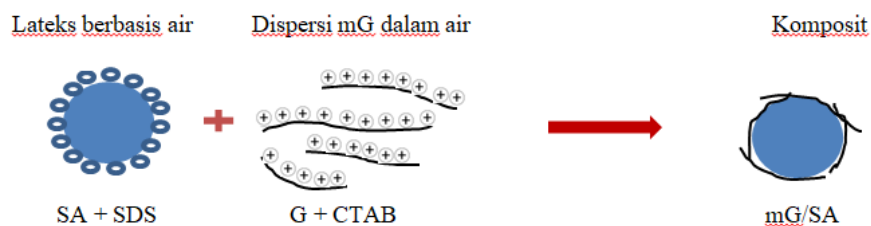
Fungsionalisasi grafena dikerjakan menggunakan GO-Bb yang kemudian direduksi secara *in-situ* dengan  $\text{NaBH}_4$  sebagai reduktor dengan mengikuti prosedur penelitian terdahulu (Purwandari, dkk, 2020).

Sebanyak 2 g GO (GO-Bb) didispersikan ke dalam 100 ml deionized water menggunakan ultrasonikasi. Kemudian ditambahkan 2 g CTAB yang telah dilarutkan dalam 100 ml etanol. Kedua larutan dicampur dan diaduk selama 24 jam pada suhu kamar, kemudian ditambahkan dengan 10 ml  $\text{NaBH}_4$  1% berat dalam  $\text{NaOH}$  2% berat dan diaduk selama 24 jam. Diperoleh bubuk hitam (mG) yang telah dicuci beberapa kali dengan *deionized water* dan alkohol dengan perbandingan 1:1, bubuk yang diperoleh dikeringkan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  sampai diperoleh berat tetap.

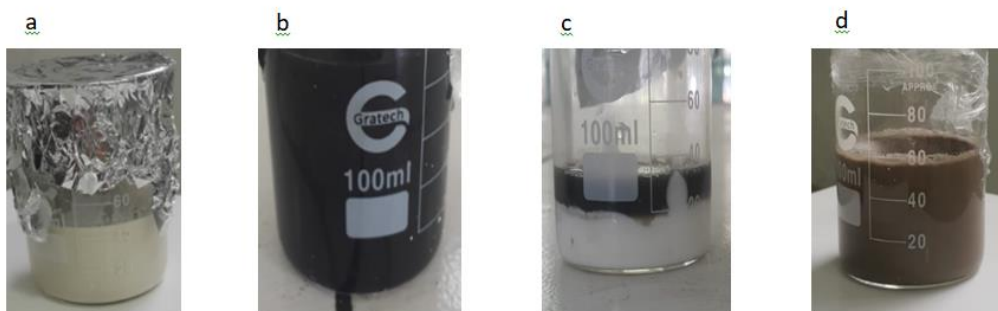
## Preparasi Komposit

Nanokapsul komposit dinding dan inti mG/SA dibuat dengan menggunakan metode pencampuran lateks (Gambar 1). Sejumlah 3 phr SDS dilarutkan dalam 100 ml air destilat, kemudian ditambahkan 15 g SA pada suhu kamar. Suhu campuran kemudian dinaikkan menjadi 90°C (SA cair), diikuti dengan pengadukan 800 rpm selama 3 jam sampai terbentuk SA cair terdispersi dalam air distabilkan oleh SDS. Dispersi SA kemudian didinginkan sampai suhu kamar membentuk lateks berbasis air mengandung partikel SA padat dilapisi SDS (Gambar 2a).

Pretreatment grafena (mG) sebanyak 1 phr didispersikan ke dalam 100 ml dengan ultrasonikasi selama 1 jam kemudian dituangkan ke dalam larutan lateks SA dan dilakukan pengadukan selama 1 jam. Dilanjutkan dengan penyaringan, pencucian dengan *deionized water*, kemudian dikeringkan pada suhu 50°C selama 24 jam sampai diperoleh komposit mG1/SA. Hal yang sama dilakukan pada mG sebanyak 2 phr yang disebut dengan komposit mG2/SA.



**Gambar 1.** Ilustrasi Pembuatan Nanoenkapsulasi



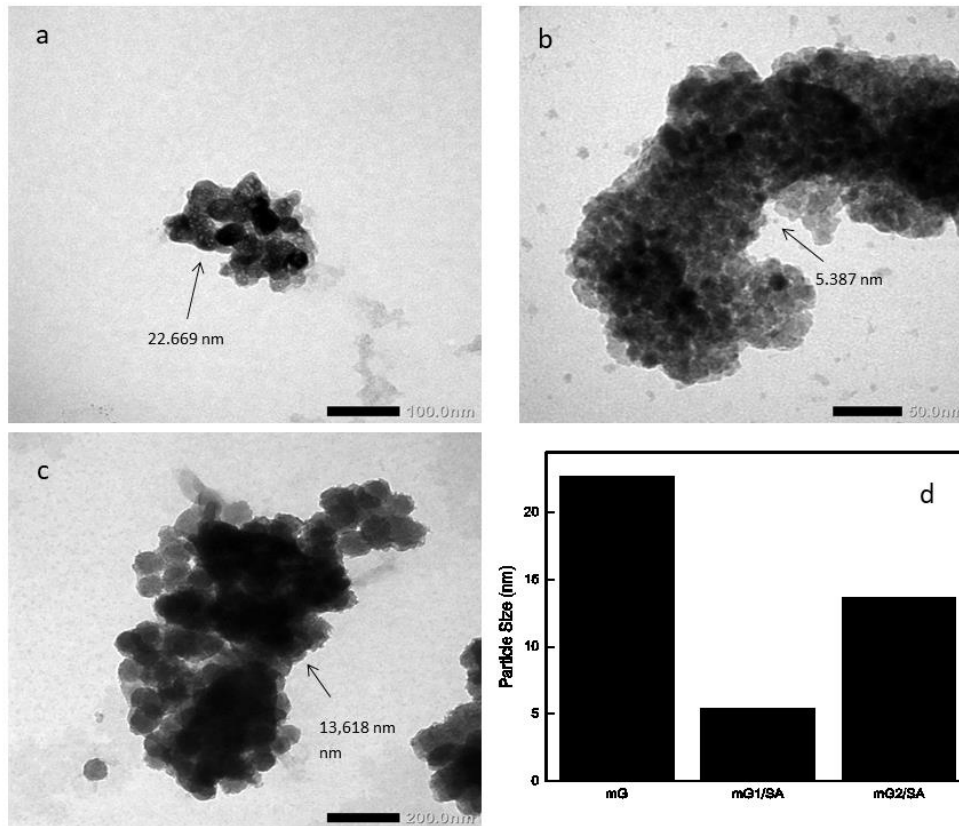
**Gambar 2.** (a) Lateks SAberbasis air (b) Dispersi mG dalam air (c) Dispersi mG dituang ke lateks SA, (d) Setelah pengadukan larutan (b) dalam larutan (a)



**Gambar 3.** Komposit mG/SA setelah dikeringkan dan dicetak tekan

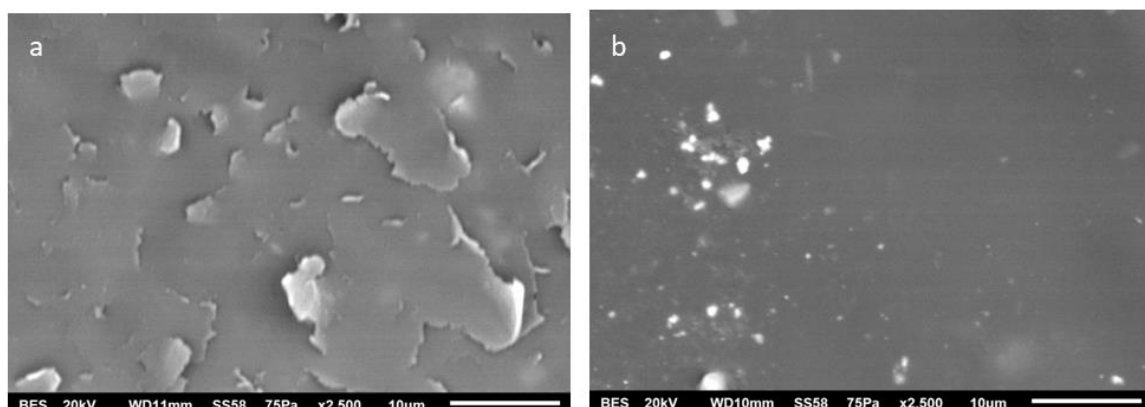
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Lateks SA dibuat dengan cara disperse sederhana SA cair dalam air dengan bantuan SDS sebagai stabilizer, diikuti pemadatan droplet SA dispersi dengan pendinginan. Metode ini memungkinkan terbentuknya partikel SA bermuatan negatif pada permukaan disebabkan SDS teradsorpsi pada permukaan partikel, sehingga mudah terdispersi dalam air. Pada Gambar 4 (a) dan Gambar 4 (b) memperlihatkan gambar dari partikel mG dan nanokapsul dengan SA.



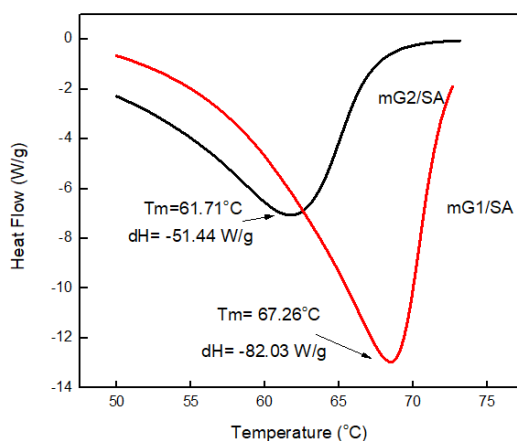
**Gambar 4.** Analisa Ukuran Partikel Nanoenkapsulasi. Foto TEM (a) mG , (b) mG1/SA, (c) mG2/SA, (d) Histogram Ukuran Partikel Nanoenkapsulasi

Gambar 4 memperlihatkan gambar TEM nanokapsul komposit. Komposit ini, dienkapsulasi atau dibungkus 1 phr grafena (mG1) dengan mencampurkan SA lateks berbasis air dengan disperse berair grafena dilanjutkan dengan penyaringan, pencucian dan pengeringan. Gambar TEM memperlihatkan bahwa ukuran partikel setelah terjadi pencampuran dengan metode lateks menjadi jauh lebih kecil. Ukuran partikel Grafena atau grafena oksida batubara (GO-Bb) direduksi secara *in-situ* saat ditambahkan CTAB yang disebut dengan mG adalah 22.669 nm, setelah 1 phr mG ditambahkan dengan SA lateks ukuran partikel menjadi 5,387 nm. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi partikel menjadi jauh lebih baik. Ukuran partikel 2 phr mG yang ditambahkan pada SA lateks ada kenaikan menjadi 13.68 nm. Terlihat bahwa proses enkapsulasi dimana grafena yang dimodifikasi terlebih dahulu dengan CTAB mampu membungkus asam stearat sebagai inti. Dengan penambahan jumlah grafena sebagai dinding mikrokapsul, ukuran partikel menjadi lebih besar. Dari Gambar 5 (b) juga menunjukkan bahwa grafena telah membungkus asam stearat membentuk komposit nanokapsul. Juga tidak terlihat lagi grafena dalam keadaan bebas yang berarti grafena secara efektif membungkus partikel-partikel SA. Gambar SEM nanokapsul komposit 5 (b) menunjukkan lembar 2 grafena yang mengerut membungkus kuat partikel SA membentuk struktur dinding inti. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran sederhana dengan metode lateks mengandung partikel SA bermuatan negatif dan disperse berair grafena bermuatan positif memungkinkan untuk terjadinya *self-assembly* grafena pada permukaan partikel SA oleh interaksi elektrostatik. Metode lateks merupakan cara yang mudah dan sederhana untuk membuat PCC enkapsulasi berukuran nanometer dengan grafena.



**Gambar 5.** Foto SEM Bubuk mG dan Nanoenkapsulasi, Magnification 2.500x (a) mG, (b) mG/SA

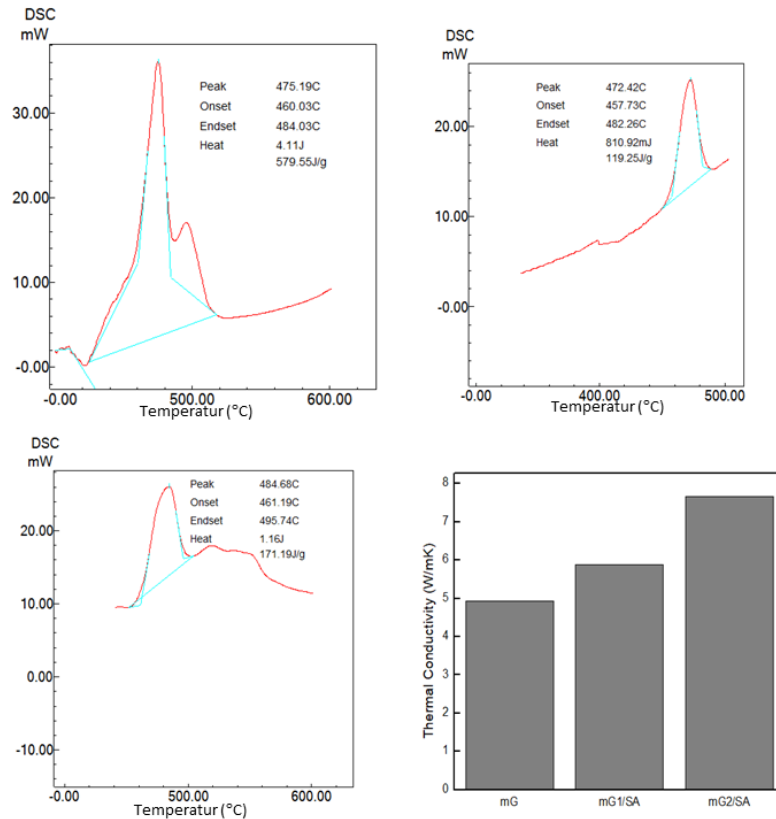
Metode ini menarik bahwa struktur dinding-inti tetap stabil meskipun surfaktan telah dicuci. Seperti terjadi bersamaan dengan *self-assembly* membentuk struktur dinding – inti antara dinding grafena dan inti SA melalui interaksi elektrostatik dengan bantuan surfaktan, struktur dijaga tetap stabil dari interaksi lain, termasuk interaksi antara tumpang tindihnya lembaran grafena di dinding seperti tumpukan  $\pi - \pi$  dan saling kunci lipatan pada lembaran, dan interaksi antara grafena dan permukaan partikel SA seperti interaksi hidrofobik-hidrofobik, gaya van der Waals, ikatan hydrogen antara gugus karboksilat SA dan gugus fungsi grafena oksigen (Jing, dkk, 2018) (Wang, dkk, 2016)



**Gambar 6.** Melting Point ( $T_m$ ) Nanoenkapsulasi mG1/SA dan mG2/SA

Gambar 6. menunjukkan sifat termal komposit mG/SA yang dikarakterisasi menggunakan DSC. Tingginya panas laten penting untuk tingginya kinerja PCC, sepanjang hal ini berhubungan dengan kapasitas PCC dalam hal menyimpan energi. Untuk PCC padat-cair, panas laten bergantung pada kristalinitas material aktif. Kristalisasi material matriks dapat ditingkatkan dengan adanya bahan pengisi yang berbeda karena efek nukleasi (Abuibaid, dkk, 2020). Sedangkan karakteristik struktural bahan pengisi atau kuatnya interaksi antarmuka antara bahan pengisi dan matriks dapat menghambat kristalisasi material matriks (Azizi, dkk, 2018). Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, panas pencairan ( $\Delta H_m$ ) seluruh komposit menurun saat bertambahnya kandungan grafena. Satu alasan turunnya panas laten komposit ini adalah kurangnya kandungan SA pada komposit, yang merupakan bahan aktif PCC, penurunan sampai 84,8% dan 83,5%. Penurunan yang signifikan ini dapat menyebabkan terhambatnya efek kristalisasi permukaan lembar grafena terdispersi pada matriks SA. Hal ini menunjukkan bahwa pada struktur dinding-inti komposit yang dibuat dengan metode pencampuran lateks, lembar grafena hanya

membungkus inti SA dan tidak terdispersi pada matriks SA sehingga meminimalkan efek kristalisasi SA aktif.



**Gambar 7.** Analisa Konduktivitas Termal (a) mG; (b) mG1/SA; (c) mG2/SA; (d) Grafik Konduktivitas Termal Nanoenkapsulasi

Gambar 7 juga memperlihatkan bahwa komposit yang dibuat menggunakan kandungan mG lebih kecil (1phr) terlihat konduktivitas lebih rendah dibandingkan kandungan mG yang lebih besar (2 phr). Hal ini disebabkan grafena memiliki konduktivitas termal yang sangat baik. Nanoenkapsulasi mG/SA memiliki konduktivitas termal PCC yang lebih tinggi dibandingkan mG itu sendiri. Peningkatan konduktivitas ini terkait dengan kerangka tiga dimensi grafena yang memiliki konduktivitas termal tinggi. Dinding grafena yang dalam hal ini sering disebut dengan cangkang grafena dari komposit nanokapsul mampu menutup rapat inti aktif SA sehingga meningkatkan konduktivitas termal PCC.

## KESIMPULAN

Metode lateks sangat efektif digunakan dalam pembuatan PCC nanoenkapsulasi. Dispersi berair mG berfungsi sebagai *stabilizer* pada enkapsulasi dengan asam stearat sebagai inti aktif. Fase berminyak SA cair dengan mudah dienkapsulasi dan distabilkan



oleh dinding grafena dalam medium berair. Solidifikasi inti SA memungkinkan terbentuknya PCC nanokapsul stabil dengan dinding ultra tipis untuk aplikasi penyimpanan energi. Dinding grafena sangat efektif menjerap dan mencegah bocornya inti aktif SA pada keadaan cair selama fase transisi. Meningkatnya konduktivitas termal komposit disebabkan dinding grafena memiliki stabilitas termal dan sifat pelindung yang luar biasa, dan secara efektif bertindak sebagai pelindung inti SA untuk meningkatkan stabilitas termal komposit. Metode lateks ini merupakan cara enkapsulasi sederhana yang dapat dilakukan untuk melindungi material inti aktif lainnya dengan fungsionalisasi grafena sebagai dinding atau cangkang.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terimakasih kepada Kepala laboratorium Kimia Pascasarjana Kimia dan Kepala Laboratorium Polimer Departemen Kimia FMIPA USU atas penyediaan fasilitas selama penelitian ini berlangsung.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Abuibaid, A. Z., & Iqbal, M. Z. (2020). Thermally reduced graphene/polyethylene nanocomposites: effects of graphene on isothermal and nonisothermal crystallization of polyethylene. *Heliyon*, 6(3), e03589.
- Azizi, M., & Honarvar, B. (2018). Investigation of thermophysical properties of nanofluids containing poly (vinyl alcohol)-functionalized graphene. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133(3), 1259-1269.
- Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Nanoencapsulation: Techniques and Developments for Food Applications. In *Nanomaterials for food applications* (pp. 35-61). Elsevier.
- Bhagyalakshmi, P., Rajan, K., & Kumar, K. S. (2018). Experimental study on solar energy storage using phase change materials in spherical shell storage system. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1), 507-512.
- Chen, J.-T. Fu, Y.-J. An, Q.-F. Lo, S.-C. Zhong, Y.-Z. Hu, C.-C. et al., (2014), Enhancing polymer/ graphene oxide gas barrier film properties by introducing new crystals, *Carbon* 75 443-451.
- Dao, T.D. Jeong, H.M. (2015), Novel stearic acid/graphene core-shell composite microcapsule as a phase change material exhibiting high shape stability and performance, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 137 227-234.
- Dao, T.D. Lee, H.-i. Jeong, H.M. Kim, B.K., (2013), Direct covalent modification of thermally exfoliated graphene forming functionalized graphene stably dispersible in water and poly(vinyl alcohol), *Colloid Polym. Sci.* 291 2365–2374.

- Haghdadeh, P., Ghaffari, M., Ramezanzadeh, B., Bahlakeh, G., & Saeb, M. R. (2018). The role of functionalized graphene oxide on the mechanical and anti-corrosion properties of polyurethane coating. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 86, 199-212.
- Jing, X., Mi, H. Y., Peng, X. F., & Turng, L. S. (2018). Biocompatible, self-healing, highly stretchable polyacrylic acid/reduced graphene oxide nanocomposite hydrogel sensors via mussel-inspired chemistry. *Carbon*, 136, 63-72.
- Kalnæs, S.E. Jelle, B.P. (2015), Phase change materials and products for building applications: a state-of-the-art review and future research opportunities, *Energy Build.* 94, 150-176.
- Kwon, S. R., Harris, J., Zhou, T., Loufakis, D., Boyd, J. G., & Lutkenhaus, J. L. (2017). Mechanically strong graphene/aramid nanofiber composite electrodes for structural energy and power. *ACS nano*, 11(7), 6682-6690.
- Ling, Z. Zhang, Z. Shi, G. Fang, X. Wang, L. Gao, X. et al., (2014), Review on thermal management systems using phase change materials for electronic components, lithium batteries and photovoltaic modules, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31, 427-438.
- Liu, C, Li, F. Ma, L.-P. Cheng, H.-M., (2010), Advanced materials for energy storage, *Adv. Mater.* 22 E28-E62.
- Li, Y., Yu, C., Gan, Y., Kong, Y., Jiang, P., Zou, D. F., ... & Gao, C. F. (2019). Elastic properties and intrinsic strength of two-dimensional InSe flakes. *Nanotechnology*, 30(33), 335703.
- Li, Y. Samad, Y.A. Polychronopoulou, K. Alhassan, S.M. Liao, K. (2014), From biomass to high performance solar-thermal and electric-thermal energy conversion and storage materials, *J. Mater. Chem. A* 2 7759-7765.
- Pierleoni, D. Xia, Z.Y. Christian, M. Ligi, S. Minelli, M. Morandi, V. et al., (2016), Graphene-based coatings on polymer films for gas barrier applications, *I* 96, 503-512.
- Purwandari, V, Gea, S, Wirjosentono, B., Haryono, A., (2019), Functionalization of Graphene from Sawahlunto Coal Graphite with Cethyltrimethyl ammonium bromide as a Nanofiller in Cyclic Natural Rubber Matrix, Thesis for: Doctor
- Purwandari, V., Gea, S., Wijosentono, B. (2019), Analisa XRD Terhadap Perubahan Struktur Dan Kristalinitas Karbonisasi Batubara Sawahlunto–Sijunjung Sumatera Barat. In *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)* (Vol. 2, No. 1, pp. 88-91).
- Purwandari, V, Gea, S, Wirjosentono, B, Haryono, A, Rahayu, S, Hutapea, Y, (2020), The Exfoliation Process of Sawahlunto Coal into Graphene through The Modified Hummer Method, *Rasayan Journal of Chemistry* 13 (No.1) 593-600, DOI : 10.31788/RJC.2020.1315473

- Purwandari, V., Gea, S., Wirjosentono, B., & Haryono, A. (2018). Synthesis of graphene oxide from the Sawahlunto-Sijunjung coal via modified hummers method. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2049, No. 1, p. 020065). AIP Publishing LLC.
- Sharif, M.K.A. Al-Abidi, A.A. Mat, S. Sopian, K. Ruslan, M.H. Sulaiman, M.Y., (2015) Review of the application of phase change material for heating and domestic hot water systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 42, 557-568.
- Wang, T., Quinn, M. D., Nguyen, S. H. T., Yu, A., & Notley, S. M. (2016). Graphene films using a thermally curable surfactant. *Advanced Materials Interfaces*, 3(15), 1600182.
- Wang, S. Qin, P. Fang, X. Zhang, Z. Wang, S. Liu, X. (2014), A novel sebacic acid/expanded graphite composite phase change material for solar thermal medium-temperature applications, *Sol. Energy* 99, 283-290.
- Wu, S., Yan, T., Kuai, Z., & Pan, W. (2020). Thermal conductivity enhancement on phase change materials for thermal energy storage: a review. *Energy Storage Materials*, 25, 251-295.
- Yoo, B.M. Shin, H.J. Yoon, H.W. Park, H.B. (2014), Graphene and graphene oxide and their uses in barrier polymers, *J. Appl. Polym. Sci.* 13 39628.
- Yousefi, N. Gudarzi, M.M. Zheng, Q. Lin, X. Shen, X. Jia, J. et al., (2013), Highly aligned, ultralarge-size reduced graphene oxide/polyurethane nanocomposites: mechanical properties and moisture permeability, *Compos. Appl. Sci. Manuf.* 49 42-50.
- Zeng, J.-L. Gan, J. Zhu, F.-R. Yu, S.-B. Xiao, Z.-L. Yan, W.-P. et al., (2014) Tetradecanol/expanded graphite composite form-stable phase change material for thermal energy storage, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 127 122-128.
- Zhong, Y. Zhou, M. Huang, F. Lin, T. Wan, D. (2013), Effect of graphene aerogel on thermal behavior of phase change materials for thermal management, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 113, 195-200.