

TINJAUAN METODE POTENSIAL SINTESIS BIONANOKOMPOSIT ANTISTATIS YANG DIPERKUAT DENGAN MONO-DIASILGLISEROL DAN NANOKRISTAL SELULOSA

A REVIEW OF POTENTIAL METHODS OF SYNTHESIS OF ANTISTATIC BIONANOCOMPOSITE REINFORCED WITH MONO-DIACYLGLYCEROL AND CELLULOSE NANOCRYSTAL

Muhammad Syukur Sarfat¹, Dwi Setyaningsih^{1,2)*}, Farah Fahma¹, Nastiti Siswi Indrasti¹, Sudirman³

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB, Bogor, Indonesia, 16680

²Surfactant and Bioenergy Research Center, LPPM IPB, Bogor, Indonesia, 16144

³Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju - Badan Tenaga Nuklir Nasional, Puspitek, Serpong, Indonesia, 15314

*Email: dwisetyaningsih@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 30 Juni 2021; Diperbaiki 18 November 2021; Disetujui 5 Desember 2021

ABSTRACT

In the last 10 years, the research about the technology of bionanocomposite synthesis has increased rapidly, starting from the simple technology to advanced technology of synthesis. From the several technologies of synthesis of bionanocomposite that have been developed, each has its own advantages and disadvantages. Therefore, the selection of the right technology of synthesis of bionanocomposite is one of the indicators of success in its synthesis. This review identified the latest developments in technology of synthesis of bionanocomposite and focuses on methods of synthesis of bionanocomposite was most widely used and a technology that has advantages over other technologies. It is hoped that this review can provide information about methods of synthesis of bionanocomposite in general and specifically can provide information about methods of synthesis of bionanocomposite reinforced with mono-diacylglycerol (M-DAG) and cellulose nanocrystal (CNC). Based on the identification from several result of research, potential method to synthesis of bionanocomposite are combination of two methods, namely twin-screw extrusion method and injection molding method. Those technologies can be an alternative potential methods of synthesis of antistatic bionanocomposite reinforced with M-DAG and CNC.

Keywords: cellulose nanocrystal, injection molding, mono-diacylglycerol, technology of synthesis of antistatic bionanocomposite, twin-screw extrusion

ABSTRAK

Dalam kurung waktu 10 tahun terakhir, penelitian tentang teknologi sintesis bionanokomposit telah meningkat pesat, bermula dari teknologi sintesis yang sederhana hingga teknologi sintesis yang canggih. Dari beberapa teknologi sintesis bionanokomposit yang telah dikembangkan memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Oleh karena itu, pemilihan teknologi sintesis bionanokomposit yang tepat merupakan salah satu indikator keberhasilan dalam melakukan sintesis bionanokomposit. Tinjauan ini mengidentifikasi perkembangan terkini teknologi sintesis bionanokomposit dan berfokus pada metode sintesis bionanokomposit yang paling banyak digunakan dan merupakan metode yang memiliki keunggulan dibandingkan metode lainnya. Harapannya, tinjauan ini dapat memberikan informasi tentang metode sintesis bionanokomposit pada umumnya serta lebih spesifiknya dapat memberika informasi tentang metode potensial sintesis bionanokomposit antistatis yang diperkuat dengan mono-diasilgliserol (M-DAG) dan nanokristal selulosa (NKS). Berdasarkan identifikasi dari beberapa hasil penelitian, metode potensial sintesis bionanokomposit merupakan kombinasi dari dua metode, yaitu metode ekstrusi ulir ganda dan metode pencetakan injeksi. Teknologi tersebut dapat menjadi alternatif metode sintesis bionanokomposit antistatis yang diperkuat dengan M-DAG dan NKS.

Kata kunci: nanokristal selulosa, pencetakan injek, mono-diasilgliserol, teknologi sintesis bionanokomposit antistatis, ekstrusi ulir ganda,

PENDAHULUAN

Penelitian tentang teknologi sintesis bionanokomposit atau biokomposit atau nanokomposit telah meningkat pesat selama 10 tahun terakhir, mulai dari teknologi sintesis sederhana hingga teknologi sintesis yang canggih. Biokomposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih komponen penyusun berbeda (satu berasal dari material alami) yang digabungkan untuk menghasilkan material baru dengan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan masing-masing

komponen (Rudin dan Choy, 2013). Biokomposit terdiri dari komponen matriks polimer dan penguat serat sebagai biomaterial yang tetap terikat bersama oleh interaksi fisik atau kimia, tetapi tetap mempertahankan identitas fisik atau kimia masing-masing komponen. Sifat biokomposit secara umum lebih unggul dalam banyak hal dibandingkan dengan masing-masing komponen penyusunnya (Memcott *et al.*, 2017).

Penelitian mengenai sintesis biokomposit telah menjadi daya tarik bagi para ilmuwan (peneliti)

untuk menghasilkan pengetahuan baru dibidang ilmu material (*materials science*). Salah satu Biokomposit yang telah dihasilkan oleh para ilmuwan (peneliti) adalah material nanokomposit selulosa pada matriks polipropilena yang kemudian disebut sebagai nanokomposit polipropilena. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penambahan nanoselulosa pada matriks polipropilena memberikan dampak positif pada karakteristik mekanik nanokomposit polipropilena yang dihasilkan, seperti produksi nanokomposit polipropilena yang diperkuat dengan nanokristal selulosa (NKS) (Khoshkava dan Kamal, 2014; Yousefian dan Rodrigue, 2015; Grown *et al.*, 2018) dan produksi nanokomposit polipropilena yang diperkuat dengan nanoserat selulosa (NSS) (Lee *et al.*, 2011; Hassan *et al.*, 2014; Peng *et al.*, 2014).

Beberapa peneliti tertarik untuk mengembangkan material biokomposit berbasis polipropilena (PP) karena PP merupakan polimer yang berpotensi untuk digunakan dalam aplikasi industri karena kemudahan produksi, ringan, dan bersifat elastis. Namun, PP dikenal sebagai polimer yang rentan terhadap penggunaan suhu tinggi, mudah terbakar, cenderung dipengaruhi oleh degradasi UV, rentan terhadap oksidasi, sulit untuk dicat, serta dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena sifat PP yang tidak mudah untuk terurai (*non degradable*), namun PP dapat didaur ulang (Meran *et al.*, 2008; Wattanachai *et al.*, 2017). Oleh karena itu, untuk meminimalisasi kekurangan PP, maka perlu dilakukan modifikasi PP menjadi bionanokomposit yang memiliki sifat antistatis, lebih mudah terurai dan memiliki kekuatan mekanis tinggi. Modifikasi PP dilakukan dengan penambahan material alam yaitu mono-diasilgliserol (M-DAG) dari kelapa sawit sebagai agen antistatis (*antistatic agent*) dan pelumas pada proses ekstrusi, serta nanokristal selulosa (NKS) sebagai agen penguat (*reinforcement*) dan peningkat *biodegradability*.

Agen antistatis adalah salah satu aditif terpenting pada plastik yang berfungsi untuk menghindari terjadinya fenomena listrik statis di antara dua material yang berbeda. Listrik statis terjadi akibat berlebihnya atau kurangnya elektron yang terdapat pada permukaan. Ketidakseimbangan ini dapat diciptakan dengan gesekan dari dua material atau melalui proses induksi dengan udara terionisasi (Grob dan Minder, 1999). Oleh karena itu, penggunaan M-DAG harapannya dapat meningkatkan sifat antistatik pada bionanokomposit. M-DAG merupakan salah satu produk diversifikasi minyak dalam bentuk oleokimia yang memiliki potensi cukup besar dan bernilai ekonomis cukup tinggi dan memiliki peluang cukup besar pada pasar global. M-DAG termasuk jenis emulsifier yang paling banyak digunakan dalam industri pangan dengan status *generally recognized as safe* (GRAS) atau aman untuk dikonsumsi (Hans *et al.*, 2004;

Hasenhuettl, 2008; Melwita *et al.*, 2015). M-DAG diproduksi sebagai pengemulsi makanan sekitar 70% di seluruh dunia (Purba *et al.*, 2014) dan aplikasinya sudah digunakan dalam produk *bakery*, margarin, produk susu, dan *confectionary* (Luna dan Nuri, 2013). Saat ini, M-DAG dapat diproduksi dari *palm fatty acid distillate* (PFAD) yang dihasilkan dari proses pemurnian *Crude Palm Oil* (CPO) (Setyaningsih *et al.*, 2018; Setyaningsih *et al.*, 2020a; Setyaningsih *et al.*, 2020b).

Dalam proses esterifikasi, reaksi gliserol dengan asam lemak akan membentuk M-DAG (*sn-1-monoacylglycerol*) dan kemudian menjadi M-DAG (*sn-2-monoacylglycerol*) akibat adanya migrasi asil (Zhong *et al.*, 2014) yang menunjukkan adanya gugus hidroksi (gugus -OH) bebas pada M-DAG (Christie dan Han, 2010). Gugus hidroksi bebas yang terdapat pada M-DAG, menjadikan M-DAG sebagai material yang memiliki sifat antistatis (Bunka *et al.*, 2007). Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Salsabila *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa biokomposit antistatis berbasis polimer plastik yang dihasilkan setelah penambahan M-DAG dari PFAD dan M-DAG komersial menunjukkan adanya sifat antistatis pada permukaan kedua produk biokomposit antistatis yang dihasilkan (resistivitas permukaannya berada pada kisaran antara 10^{11} – 10^{12} ohm). Selain itu, M-DAG juga dapat digunakan sebagai pelumas dan agen plastifikasi (Bunka *et al.*, 2007).

NKS merupakan nanomaterial berbasis selulosa yang memiliki karakteristik mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan nanomaterial berbasis selulosa lainnya. Selain itu, secara teoritis kekuatan tarik NKS ditemukan pada kisaran 7,5 – 7,7 GPa, jauh lebih tinggi daripada kawat baja 4,1 GPa dan Kevlar®-49 3,5 GPa (Moon *et al.*, 2011). NKS memiliki keunikan dibandingkan dengan nanomaterial lainnya serta memiliki sifat yang terbarukan, berkelanjutan, tidak beracun, dan biokompatibel. Selain itu, dimensi nanometrik, rasio aspek besar, sifat mekanik, dan sifat kimia yang sangat baik, menjadikan NKS potensi untuk diaplikasikan di banyak bidang, termasuk ilmu material (George dan Sabapathi, 2015). Saat ini, produksi NKS dari serat kayu telah dilakukan secara komersial, salah satunya adalah merek *CelluForce* yang diproduksi oleh *Fabrique au Canada CelluForce NCC™* dengan kapasitas produksi 1000 kg per hari.

Namun, terdapat kekurangan dari NKS yaitu stabilitas termal yang rendah yang berkisar antara 205 – 206 °C (Peng *et al.*, 2013) yang menyebabkan NKS sangat rentan terhadap perlakuan panas yang tinggi ketika digunakan sebagai bahan penguat pada matriks polimer. Oleh karena itu, dibutuhkan *stabilitator* yang dapat melindungi NKS dari degradasi termal selama pemrosesan. Salah satu *stabilitator* yang dapat digunakan adalah M-DAG (Sarfat *et al.*, 2021).

Berdasarkan penjelasan di atas, kombinasi penambahan MDAG sebagai agen antistatik dan NKS sebagai penguat pada matriks PP diharapkan menghasilkan efek sinergi untuk meningkatkan kualitas bionanokomposit antistatik berbasis PP serta dapat menjadi pengetahuan baru di bidang ilmu material (*materials science*). Namun, dalam kurung waktu 10 tahun terakhir masih jarang penelitian sintesis bionanokomposit yang secara bersamaan dilakukan penambahan agen antistatik pada bionanokomposit yang dihasilkan. Oleh karena itu, identifikasi metode potensial sintesis bionanokomposit dalam kurung waktu 10 tahun terakhir perlu dilakukan. Harapannya, dari hasil identifikasi tersebut dapat memberikan informasi tentang metode potensial sintesis bionanokomposit antistatis yang diperkuat dengan M-DAG dan NKS.

BAHAN DAN METODE

Mono-diasilgliserol (M-DAG)

M-DAG adalah ester dari gliserol dengan asam lemak bebas yang memiliki gugus hidroksil tidak bereaksi atau bebas (gugus -OH bebas) (Christie dan Han, 2010). M-DAG merupakan gabungan senyawa monogliserida (MAG) yang memiliki satu rantai asil lemak dan diasilgliserida (DAG) yang memiliki dua rantai asil lemak (Igoe dan Hui, 1996; Monteiro *et al.*, 2003; Christie dan Han, 2010; Zhong *et al.*, 2014). MAG memiliki dua gugus hidroksil bebas, sedangkan DAG memiliki satu gugus hidroksil bebas (Monteiro *et al.*, 2003). Gugus hidroksil bebas ini menjadikan M-DAG sebagai surfaktan *non-ionic* yang bersifat *biodegradable* dan *biocompatible* yang umum digunakan pada industri pangan, kosmetik, dan farmasi. Gugus hidroksil bebas ini yang memungkinkan M-DAG juga digunakan sebagai agen antistatis baik pada *biocomposite materials* atau pada plastik.

M-DAG dapat disintesis melalui dua proses yang berbeda, yaitu proses kimia (hidrolisis, gliserolisis, dan esterifikasi) dan proses enzimatik (hidrolisis dan gliserolisis). Cara kimia merupakan cara yang paling banyak digunakan dalam industri. Hidrolisis adalah proses pembentukan gliserol dan asam lemak bebas melalui pemecahan molekul lemak dan penambahan unsur air. Prosedur ini umumnya melibatkan aktivitas enzim dan mikroba. Sedangkan gliserolisis adalah proses transesterifikasi minyak (trigliserida) dengan gliserol, dengan menggunakan bantuan katalis kimia atau enzim. Proses gliserolisis menggunakan katalis alkali anorganik (katalis kimia) berlangsung pada temperatur tinggi, yaitu 220–250 °C (Noureddini *et al.*, 2004).

Gliserolisis telah dilaporkan menjadi efektif hanya bila kandungan asam lemak bebasnya tinggi (5–60 % FFA) (Manosak *et al.*, 2011). Reaksi ini dilakukan dalam kelebihan gliserol untuk menggeser kesetimbangan menuju produk. Adanya air dapat merugikan karena gliserolisis bersifat reversibel dan

air dapat menghidrolisis mono-, di-, dan trigliserida yang terbentuk dan kembali menjadi gliserol (Cai *et al.*, 2015; Yeom dan Go, 2018).

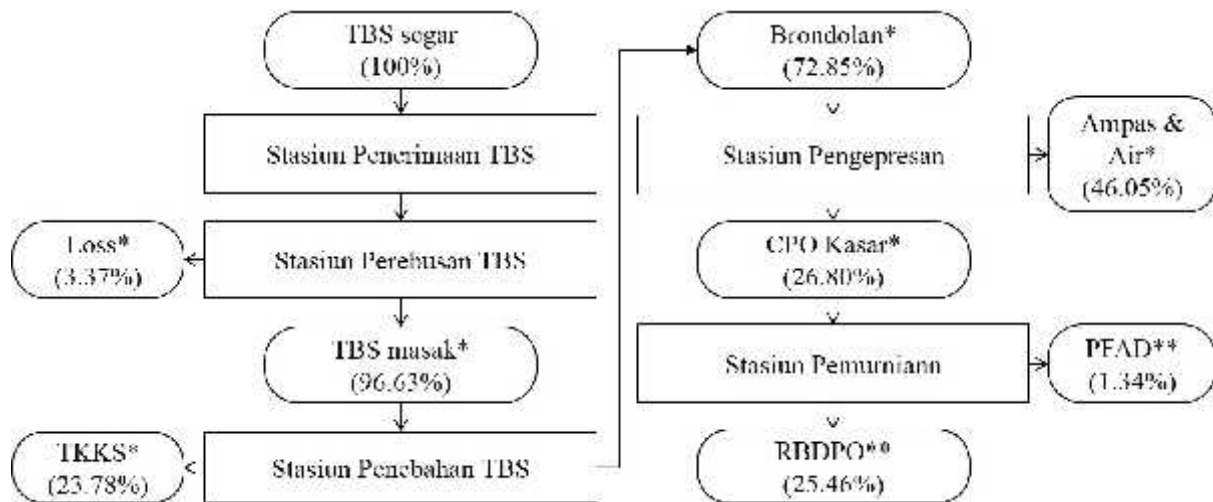
Potensi bahan alami sebagai bahan baku untuk produksi M-DAG adalah PFAD yang merupakan produk samping dari proses pemurnian minyak sawit kasar atau *crud palm oil* (CPO) menjadi *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) (Setyaningsih *et al.*, 2018). Menurut Zulkifli dan Estiasih (2014), rendemen limbah PFAD yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak sawit adalah sebesar 5% dari total minyak kasar atau setara dengan 1,34% dari total tandan buah sawit (TBS) segar (Gambar 1).

Rendemen limbah PFAD yang masih tinggi berpotensi untuk dikembangkan menjadi produk yang memiliki nilai tambah. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, dari 2017 hingga 2020, produksi kelapa sawit di Indonesia meningkat dari 37,97 menjadi 48,30 juta ton per tahun dan diprediksikan mencapai 49,71 juta ton di tahun 2021. Hal ini akan berdampak pada produksi PFAD di Indonesia yang akan terus meningkat. Oleh karena ketersediaan M-DAG dari sawit yang cukup, maka produk tersebut berpotensi sebagai agen antistatis. Dari beberapa literatur, M-DAG yang dihasilkan dari PFAD mengandung FFA 15,69%, abu 1,02%, air 11,02%, pH 7,10, stabilitas emulsi 69,9%, total gliserol 0,35; gliserol bebas 0,04%, dan rendemen 34,21% yang dikristalkan menggunakan glukosa (Setyaningsih *et al.*, 2020a). Kristalisasi pada suhu 2 °C menghasilkan M-DAG dengan kandungan FFA 3,80%, stabilitas emulsi 100%, dan rendemen 16,23% (Setyaningsih *et al.*, 2020b)].

Nanokristal selulosa (NKS)

NKS merupakan material nano yang dihasilkan dari serat selulosa. Beberapa Peneliti telah melakukan penelitian tentang isolasi NKS dari beberapa sumber alam (Thielemans *et al.*, 2009; Kalia *et al.*, 2011; Khalid *et al.*, 2014). Pemilihan sumber-sumber alam bergantung pada ketersediaan serat lokal, komponen kimia, dan kelayakan ekonomi (Kalia *et al.*, 2011). Isolasi NKS dari sumber alam dapat dilakukan dalam dua tahap yaitu pretreatment serat selulosa dan isolasi NKS (Zhang *et al.*, 2011; Khalid *et al.*, 2014; Ashori *et al.*, 2014; Fatah *et al.*, 2014).

Pretreatment serat selulosa sebelum dilakukan isolasi NKS dari serat selulosa perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi isolasi NKS. Selain itu untuk menghasilkan serat selulosa yang sangat murni, mengangkat lignin dan hemiselulosa, permukaan hidrofilik dari serat selulosa berubah menjadi hidrofobik, mengurangi ukuran serat selulosa selama proses isolasi untuk mencegah penyumbatan pada instrumen NKS, dan penurunan konsumsi energi dalam isolasi NKS dari serat selulosa (Zhang *et al.*, 2011; Khalid, 2012; Khalid *et al.*, 2015).



Keterangan: *Bantacut dan Pasaribu (2015); **Zulkifli dan Estiasih (2014)

Gambar 1. Neraca massa produksi RBDPO dari TBS

Hidrolisis asam merupakan salah satu proses dalam melakukan pretreatment serat selulosa. Hidrolisis asam merupakan proses putusnya ikatan glikosidik -1.4 dalam serat selulosa. Telah diketahui bahwa hidrolisis asam merupakan proses yang paling efektif untuk isolasi NKS karena dapat membantu meminimalkan konsumsi energi (Kumar *et al.*, 2009; Cabiac *et al.*, 2011; Lee dan Jeffries, 2011; Zhou *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013; Brinchi *et al.*, 2013). Umumnya, hidrolisis asam dilakukan dengan adanya asam untuk depolimerisasi serat selulosa, dan kepadatan rendah daerah amorf dalam serat selulosa asli akan pecah dan melepaskan selulosa kristalit tunggal ketika mengalami perlakuan asam (Lee *et al.*, 2014a; Lee *et al.*, 2014b).

Metode isolasi NKS dari serat selulosa menggunakan berbagai metode, seperti metode mekanis dan kimiawi, termasuk metode homogenisasi tekanan tinggi (Li *et al.*, 2012; Fatah *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015a; Davoudpour *et al.*, 2015; Savadekar *et al.*, 2015), metode mikrofluidasi (Ferrer *et al.*, 2012; Hassan *et al.*, 2012; Tanpichai *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2015b; Liu *et al.*, 2017), metode penggilingan mikro (Vartiainen *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2011; Jonoobi *et al.*, 2012; Karimi *et al.*, 2014; Nair *et al.*, 2014), metode ultrasonication intensitas tinggi (Tischer *et al.*, 2010; Rattaz *et al.*, 2011; Uetani dan Yano, 2011; Chen dan Yada, 2011; Tanpichai *et al.*, 2012; Charani *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014; Xie *et al.*, 2016; Aditiawati *et al.*, 2018; Syafri *et al.*, 2018), metode *electrospinning* (Martinez-Sanz *et al.*, 2013; Cao *et al.*, 2013; He *et al.*, 2014), dan metode ledakan uap (Deepa *et al.*, 2011; Abraham *et al.*, 2012; Sutka *et al.*, 2013). Setiap teknologi metode Isolasi NKS memiliki kelebihan dan kekurangan

Beberapa serat selulosa alami potensial telah ditransformasi menjadi NKS melalui hidrolisis asam, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (Fahma

et al., 2010), cangkang kelapa (Fahma *et al.*, 2011), kulit anggur chardonnay (Lu dan Hsieh, 2012a), jerami (Lu dan Hsieh, 2012b), dan sekam kedelai (Flauzino Neto *et al.*, 2016) yang belum diproduksi secara komersil. Namun, saat ini produksi NKS telah dilakukan secara komersil oleh beberapa produsen, diantaranya NKS (*CelluForce*) yang diproduksi oleh *Fabrique au Canada CelluForce NCC™* dengan kapasitas 1000 kg per hari, NKS yang diproduksi oleh *University of Maine-USA* dengan kapasitas 1000 kg per hari, dan NKS yang diproduksi oleh *American process-USA* dengan kapasitas 500 – 1000 kg per hari (Based on TAPPI Nano outlook).

NKS memiliki keunikan dibandingkan dengan nanomaterial lainnya serta memiliki sifat yang terbarukan, berkelanjutan, tidak beracun, dan biokompatibel. Selain itu, dimensi nanometrik, rasio aspek besar, sifat mekanik, dan sifat kimia yang sangat baik, menjadikan NKS potensial untuk diaplikasikan di banyak bidang, termasuk ilmu material (George dan Sabapathi, 2015). NKS memiliki luas permukaan yang besar yaitu 250–500 m²/g dan banyak gugus hidroksil permukaan. Selain itu, mereka juga memiliki kekuatan tarik tinggi 7,5 GPa dan modulus Young 100–140 GPa (Tang *et al.*, 2017). Sifat-sifat NKS seperti itu membuatnya menjadi nanofiller penguat yang cocok untuk nanokomposit polimer. Selain itu, gugus hidroksil permukaan memberikan kesempatan untuk modifikasi permukaan oleh molekul kecil dan polimer. Modifikasi permukaan dengan mencangkok ke atau dari permukaan NKS tidak hanya meningkatkan kompatibilitasnya dalam matriks polimer, tetapi juga memberikan fungsionalitas khusus untuk aplikasinya di bidang biomedis, pengolahan air, elektronik, dan energi (Grishkewich *et al.*, 2017).

Polipropilena (PP)

PP merupakan polimer kedua setelah polietilena (PE) yang banyak digunakan saat ini dalam produksi plastik non-serat. Proporsi polimer yang digunakan dalam produksi plastik non-serat global adalah PE 36%, PP 21%, PVC 12% (*polivinilclorida*), dan masing-masing <10% PUR (poliuretan), PET (polietilen tereftalat), dan PS (polistiren) (Geyer *et al.*, 2017). PP memiliki kelebihan yaitu biaya produksi rendah, densitas rendah, stabilitas termal tinggi, peredam suara yang baik, serbaguna (banyak cara pemrosesan), mudah diwarnai, mudah dimodifikasi, penghalang uap air yang baik, ketahanan kimia yang sangat baik, tahan terhadap korosi. Meskipun penggunaan PP dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena sifatnya yang tidak mudah terurai (*non degradable*), namun PP dapat didaur ulang (Meran *et al.*, 2008; Wattanachai *et al.*, 2017). Modifikasi PP menjadi bionanokomposit antistatis berkekuatan tinggi merupakan salah satu strategi dalam meningkatkan performa dan karakteristik mekanik PP dengan memperbaiki sifat mekaniknya sehingga penggunaannya dalam produksi plastik non-serat global meningkat dan cakupan penggunaannya lebih luas.

TEKNOLOGI SINTESIS BIONANOKOMPOSIT ANTISTATIS

Metode potensial teknologi sintesis bionanokomposit yang telah digunakan adalah metode ekstrusi ulir ganda atau *twin-screw extrusion method* (Hassan *et al.*, 2014; Peng *et al.*, 2014; Yousefian dan Rodrigue, 2015), metode pencetakan pelarut atau *solvent casting method* (Bahar *et al.*, 2012; Khoshkava *et al.*, 2015), dan metode cetakan injeksi atau *injection moulding method* (Yakkan *et al.*, 2018; Al-Haik *et al.*, 2020). Metode sintesis bionanokomposit antistatis yang telah digunakan adalah metode ekstrusi ulir ganda atau *twin-screw extrusion method* (Salsabila *et al.*, 2021) dan metode cetakan injeksi atau *injection moulding method* (Salsabila *et al.*, 2021). Tabel 1 menunjukkan beberapa hasil penelitian sintesis bionanokomposit dan bionanokomposit antistatis.

Metode Ekstrusi Ulir Ganda (*Twin-Screw Extrusion Method*)

Ekstruder ulir ganda, dirancang dengan dua ulir yang ditempatkan berdampingan, telah terbukti serbaguna untuk menangani pekerjaan peracikan yang sulit seperti serat kaca, pengisi muatan tinggi dan plastik heterogen. Susunan ulir dapat disesuaikan

untuk memenuhi persyaratan pemrosesan yang berbeda, memungkinkan peningkatan kontrol parameter operasi kritis seperti waktu tinggal, derajat geser dan suhu pemrosesan. Selain itu, dengan penggunaan ulir tipe *intermeshing* memberikan performa ekstruksi dengan kecepatan aliran bahan yang dapat disesuaikan (Shrivastava, 2018). Hasilnya, ekstruder ulir ganda dapat berfungsi seperti pompa jenis ulir positif untuk menangani bahan yang sulit diumpankan. Opsi dalam konfigurasi ulir selanjutnya dapat meningkatkan keserbagunaan melalui penambahan perangkat pencampuran dan distribusi partikel yang intens, zona ventilasi, atau berbagai perangkat khusus lainnya. Menurut Shrivastava (2018), ekstruder diklasifikasikan berdasarkan spesifikasinya menjadi dua tipe ekstruder (Tabel 2), yaitu ekstruder dengan desain *intermeshing* (*Corotating extruders* dan *Counter-rotating extruders*) dan ekstruder dengan desain *non-intermeshing* (*Counter-rotating extruders*, *Corotating extruders*, dan *Coaxial extruders*).

Ekstruder ulir ganda (Gambar 2) digunakan secara luas untuk mencampur, meracik, atau mereaksikan bahan polimer. Fleksibilitas peralatan ekstrusi ulir ganda memungkinkan operasi ini dirancang khusus untuk formulasi yang sedang diproses. Misalnya, dua ulir mungkin *corotating* atau *counterrotating*, *intermeshing* atau *non intermeshing*. Selain itu, konfigurasi ulir itu sendiri dapat bervariasi dengan menggunakan elemen pengangkut maju, elemen pengangkut terbalik, blok pengaduk, dan desain lainnya untuk mencapai karakteristik pencampuran tertentu (White, 1991).

Ekstruder ulir ganda lebih efisien dalam pencampuran yang homogen berbagai bahan seperti aditif, pengisi, dan cairan. Variasi yang lebih besar dari ekstruder ulir ganda tersedia yang dapat bervariasi dalam konstruksi, dapat memiliki ulir paralel atau kerucut yang dapat berputar ke arah yang sama (*corotating*) atau arah berlawanan (*counter-rotating*), dan memiliki tingkat *intermeshing* yang berbeda (Shrivastava, 2018).

Ekstruder ulir ganda memiliki desain modular yang fleksibel, dan konfigurasi ulir dapat diubah dari pencampuran lelehan lembut bahan sensitif menjadi pencampuran dispersif dengan gaya geser tinggi. Bahan dapat diproses secara terus-menerus menggunakan sistem pengumpanan gravimetri dan merupakan metode yang menjanjikan dan telah terbukti menjadi cara yang efektif untuk menghasilkan nanokomposit (Peng *et al.*, 2014, Yousefian and Rodrigue, 2015, Hassan *et al.*, 2014, Lee *et al.*, 2011).

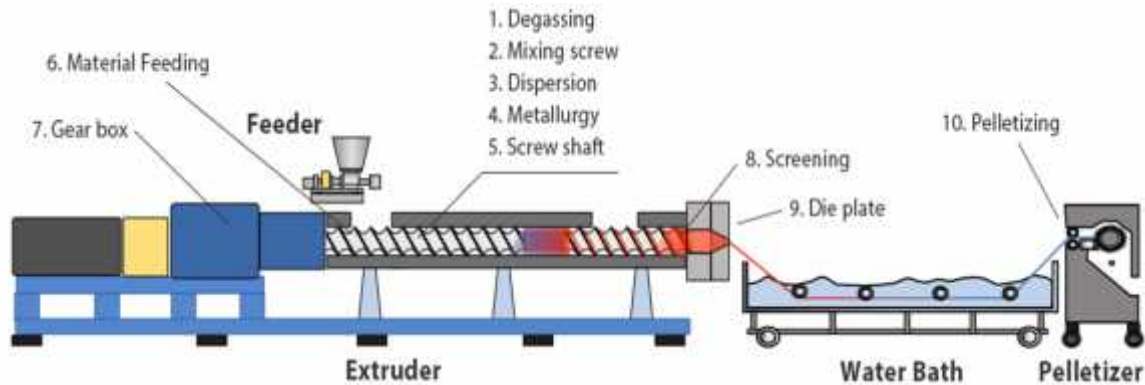
Tabel 1. Hasil penelitian sintesis bionanokomposit dan bionanokomposit antistatis

No	Subjek Penelitian	Metode	Karakteristik bionanokomposit dan bionanokomposit antistatis	Sumber
1	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NKS	Ekstrusi ulir enam	) Modulus elastisitas bionanokomposit meningkat dengan penambahan hanya 1% NKS	Lee <i>et al.</i> , 2011
2	Produksi PPNK yang diperkuat dengan <i>Nanowhisker</i> Selulosa (NWS) dari <i>Microcrystalline cellulose</i> (MCC)	Cetakan pelarut	) Transparansi film yang baik) Sedikit aglomerasi NWS dalam film PPNK) Kekuatan tarik PPNK meningkat 70–80% jika dibandingkan dengan PP komersial) Kristalinitas meningkat 50%) Peningkatan kandungan NWS, dapat menyebabkan hidrofilitas yang lebih tinggi, suhu degradasi termal yang lebih tinggi, dan konduktivitas termal yang lebih tinggi	Bahar <i>et al.</i> , 2012
3	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NSS dari <i>bagasse</i>	Ekstruksi ulir ganda	) Kristalinitas bionanokomposit lebih rendah dari polipropilena komersial) Sifat termal mekanis di atas suhu transisi kaca) Kemampuan penyerapan air melemah	Hassan <i>et al.</i> , 2014
4	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NKS	Cetakan pelarut	) Hasil mikroskop menunjukkan peningkatan substansial dalam besaran parameter kunci reologi bionanokomposit) Hasil geser-mantap menunjukkan perilaku penipisan geser yang kuat dari bionanokomposit) Bionanokomposit menunjukkan tegangan luluh.) Peningkatan yang cukup besar dalam modulus bionanokomposit	Khoshkava dan Kamal, 2014
5	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NSS	Ekstrusi ulir ganda	) Penambahan NSS meningkatkan modulus tarik (36%), kekuatan tarik (11%), modulus lentur (21%), kekuatan lentur (7%), kekuatan impak (23%) jika dibandingkan dengan polipropilena komersial	Peng <i>et al.</i> , 2014
6	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NKS	Cetakan pelarut	) Laju kristalisasi bionanokomposit lebih cepat dibandingkan dengan polipropilena komersial) Energi aktivasi, titik leleh kesetimbangan, dan ketebalan lamellae awal selama kristalisasi isothermal bionanokomposit lebih tinggi dibandingkan dengan polipropilena komersial	Khoshkaa <i>et al.</i> , 2015
7	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NKS	Ekstrusi ulir ganda	) Penambahan NKS meningkatkan kekuatan tarik (1–14%), modulus tarik (15–22%), modulus lentur (13–26%) dan menurunkan perpanjangan putus (50–96%), kekuatan benturan (10–20%) jika dibandingkan dengan polipropilena komersial	Yousefian dan Rodrigue, 2015

No	Subjek Penelitian	Metode	Karakteristik bionanokomposit dan bionanokomposit antistatis	Sumber
8	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NKS	Ekstrusi leleh	<p>) Properti tarik dan stabilitas termal bionanokomposit dengan NKS cangkok <i>maleic anhydride grafted polypropylene</i> lebih tinggi daripada sistem NKS cangkok murni dan <i>toluene diisocyanate</i> (TDI)</p> <p>) Proses ekstrusi lelehan dengan pemrosesan predispersi menunjukkan efek yang lebih positif pada sifat bionanokomposit dibandingkan dengan sistem tanpa predispersi</p>	Grown <i>et al.</i> , 2018
9	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NSS	Cetakan injeksi	<p>) Penambahan 2 % NSS meningkatkan sifat mekanik bionanokomposit 19,99 MPa (kekuatan tarik) dan 1,067 GPa (Young's Modulus), yang masing-masing mewakili sekitar 87% peningkatan, dibandingkan dengan polipropilena murni 14,45 MPa (kekuatan tarik) dan 0,570 GPa (Young's Modulus)</p> <p>) Hasil TGA menunjukkan bahwa stabilitas termal bionanokomposit tidak banyak berubah tetapi sedikit meningkat dibandingkan dengan PP murni</p>	Yakkan <i>et al.</i> , 2018
10	Produksi bionanokomposit yang diperkuat dengan NKS dari <i>CelluForce NCC™</i>	Cetakan injeksi	<p>) Penambahan NKS 4 dan 5 % dapat meningkatkan <i>melting temperature</i> (T_m) bionanokomposit 166,71 dan 166,44 °C jika dibandingkan dengan PP murni 166,11 °C</p> <p>) Tingkat kekerasan, elastisitas modulus, tegangan puncak, dan tegangan luluh bionanokomposit dengan penambahan NKS 1 – 4 % lebih besar jika dibandingkan dengan PP murni</p>	Al-Haik <i>et al.</i> , 2020
11	Produksi bionanokomposit antistatis yang dimodifikasi dengan penambahan M-DAG dari PFAD dan NKS dari <i>CelluForce NCC™</i>	Cetakan injeksi	<p>) Formulasi 1: Tidak ada sifat antistatis pada bionanokomposit antistatis setelah penambahan M-DAG dari PFAD (kandungan FFA 3,80%). Sedangkan pada bionanokomposit antistatis setelah penambahan M-DAG komersial menunjukkan adanya sifat antistatis pada permukaannya</p> <p>) Formulasi 2: bionanokomposit antistatis setelah penambahan M-DAG dari PFAD dan M-DAG komersial menunjukkan adanya sifat antistatis pada permukaan kedua produk bionanokomposit antistatis yang dihasilkan (resistivitas permukaan $1,0 \times 10^{12}$ ohm)</p> <p>) Formulasi 3: bionanokomposit antistatis setelah penambahan M-DAG dari PFAD dan M-DAG komersial menunjukkan adanya sifat antistatis pada permukaan kedua produk bionanokomposit antistatis yang dihasilkan (resistivitas permukaannya berada pada kisaran antara 10^{11}–10^{12} ohm).</p>	Salsabila <i>et al.</i> , 2021

Tabel 2. Klasifikasi ekstruder ulir ganda.

Tipe ekstruder		Spesifikasi
Intermeshing	<i>Corotating extruders</i>	Pengekstrusi kecepatan rendah untuk ekstrusi profil
	<i>Counter-rotating extruders</i>	Pengekstrusi berkecepatan tinggi untuk peracikan
Non-intermeshing	<i>Counter-rotating extruders</i>	Pengekstrusi berbentuk kerucut untuk ekstrusi profil
	<i>Corotating extruders</i>	Pengekstrusi paralel untuk ekstrusi profil
	<i>Coaxial extruders</i>	Pengekstrusi berkecepatan tinggi untuk peracikan
		Panjang ulir yang sama
	<i>Corotating extruders</i>	Panjang ulir tidak sama
	<i>Coaxial extruders</i>	Tidak digunakan dalam praktik
		Transportasi lelehan batin ke depan
		Transportasi lelehan batin ke belakang
		Padatan dalam diangkut ke belakang
		Pelapisan bagian dalam dengan pengangkutan ke belakang



Gambar 2. Alat ekstrusi ulir ganda (Hak Cipta 2020, Japan Steel Work)

Ulir *co-rotating* biasanya digunakan dalam pemrosesan nilon, poliester termoplastik, polipropilena, dan *styrenics*. Ulir *co-rotating*, bagaimanapun, terbatas untuk membawa material melalui mekanisme aliran yang mengikuti pola ulir, sedangkan desain *intermeshing counterrotating* dapat beroperasi sebagai pompa tipe positif, sehingga memperluas jangkauan aplikasinya. Pengaturan *intermeshing counter-rotating* juga dapat memberikan kontrol yang lebih besar terhadap properti pencampuran, penggeseran dan pengangkutan dengan mengatur jumlah jarak bebas antara ulir.

Kelebihan metode ekstrusi ulir ganda menurut Patel (1995), yaitu: 1) kemampuan pencampuran lebih efisien dan serbaguna, 2) tingkat fleksibilitas proses (konfigurasi modular fleksibel dari ulir dan laras) yang tinggi, 3) kontrol yang lebih baik atas parameter proses, 4) produktivitas proses yang lebih tinggi, proses produksi berkelanjutan, efisiensi pemompaan lebih baik, dan tidak terlalu bergantung pada sifat aliran material (dapat menangani bahan yang sangat lembab dan lengket serta memungkinkan beberapa zona umpan hilir), 5) Nilai tukar panas dari permukaan laras ke material lebih cepat dan seragam, 6) waktu tinggal didistribusikan lebih seragam dan mengurangi resiko penumpukan residu. Adapun kekurangannya ialah: 1) biaya modal, operasional, dan perawatan yang tinggi, 2) masih memerlukan perlakuan awal untuk bahan-bahan seperti limbah organik maupun anorganik, 3) mesin secara mekanis lebih kompleks dan kurang kuat (lebih sensitif terhadap penyalahgunaan mekanis seperti torsi tinggi).

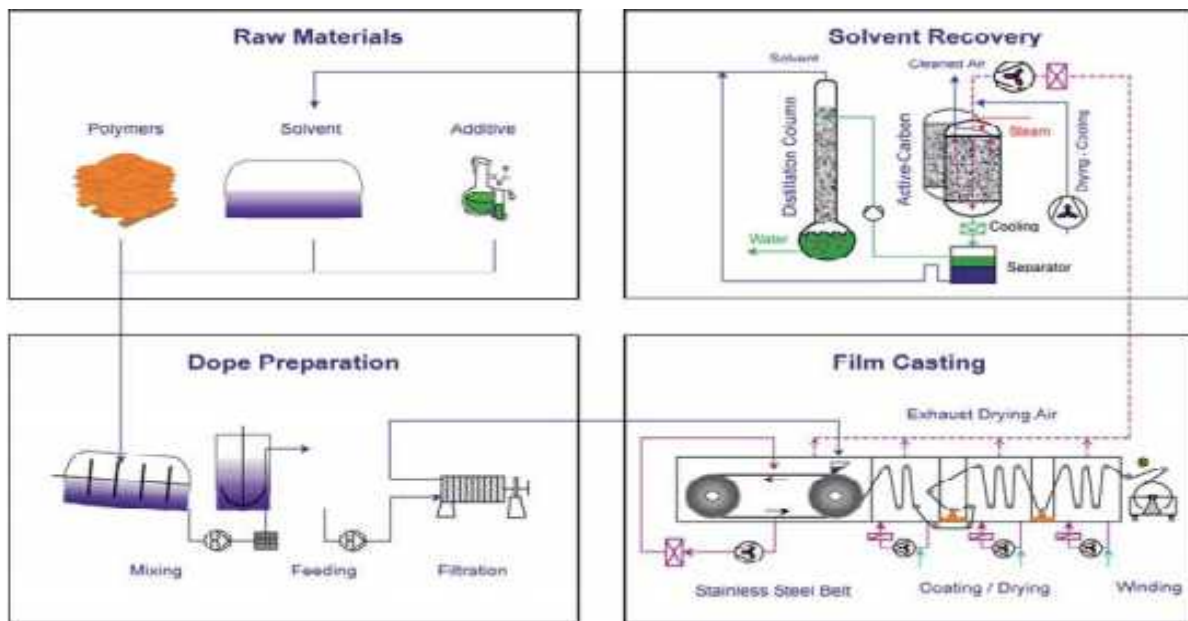
Metode Cetakan Pelarut (*Solvent Casting Method*)

Metode cetakan pelarut (Gambar 3) merupakan metode yang dianggap menarik, sederhana, dan paling umum digunakan dalam produksi film nanokomposit selulosa dengan menyesuaikan persyaratan kualitas film yang dihasilkan. Pencetakan pelarut telah banyak

digunakan untuk memproses nanokomposit berbasis NKS dengan matriks yang berbeda. Terdispersinya NKS dan M-DAG ke dalam matriks PP dengan baik adalah langkah kunci untuk menghasilkan bionanokomposit antistatik. Pencetakan pelarut telah banyak digunakan untuk memproses nanokomposit berbasis NKS dengan matriks PP (Khoshkava *et al.*, 2015, Khoshkava and Kamal, 2014, Bahar *et al.*, 2012). Dalam metode pencetakan pelarut, polimer dan material dilarutkan dalam pelarut dan dipanaskan pada suhu untuk menguapkan pelarut sepenuhnya. Struktur yang dihasilkan adalah material komposit dengan polimer. Bahan tersebut kemudian dicetak dengan kompresi menjadi geometri implan yang diinginkan.

Kelebihan metode pencetakan pelarut menurut Siemann (2005), Mooter (2011), dan Maniruzzaman *et al.* (2012), yaitu: 1) distribusi ketebalan yang seragam, kemurnian optik maksimum, dan kabut asap yang sangat rendah, 2) orientasi optik pada dasarnya bersifat isotropik dan film memiliki kerataan dan stabilitas dimensi yang sangat baik, 3) pencetakan film dapat diproses sejalan dengan desain lapisan optik, 4) wafer memiliki kilap halus dan bebas dari cacat seperti garis mati, 5) wafer memiliki lebih banyak fleksibilitas dan sifat fisik yang lebih baik.

Adapun kekurangannya adalah: 1) polimer harus larut dalam pelarut yang mudah menguap, 2) larutan yang stabil dengan kandungan padatan dan viskositas minimum harus terbentuk, 3) beberapa teknik pencetakan dapat dipilih berdasarkan rheologi fluida dan massa yang ingin diterapkan, 4) keseragaman dosis yang diperlukan, pembentukan film homogen dan pelepasan dari cetakan harus dimungkinkan, 5) tidak ideal untuk skala industri karena prosesnya membutuhkan pelarut organik dalam jumlah besar serta bukanlah proses yang berkelanjutan dan dapat mengakibatkan variabilitas *batch-to-batch*



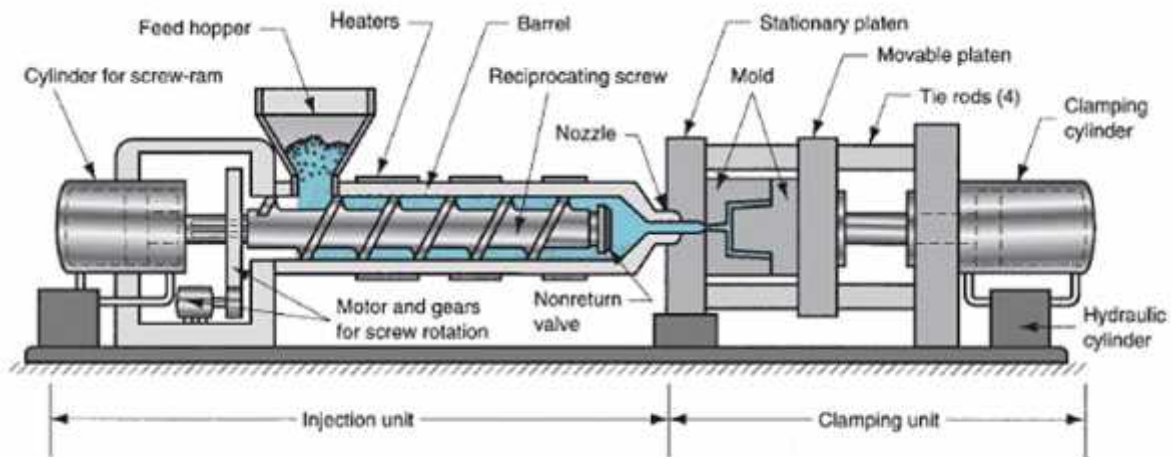
Gambar 3. Metode cetakan pelarut. (Dicitak ulang dari Siemann 2005) (Hak Cipta 2020, Springer)

Metode Cetakan Injeksi (*Injection Molding Method*)

Metode cetakan injeksi (Gambar 4) adalah proses manufaktur yang umum digunakan dimana bagian yang identik diproduksi dalam volume tinggi dengan bahan diinjeksikan ke dalam cetakan tertutup. Melalui penggunaan bahan yang bervariasi, dihasilkan suatu desain untuk memudahkan proses pencetakan. Metode ini cocok untuk produksi plastik dalam jumlah besar dan merupakan metode paling umum untuk pembuatan plastik. Aplikasi metode cetakan injeksi memberikan beberapa tantangan, yaitu biaya tinggi untuk perkakas awal, penghematan energi, daya tahan untuk operasi berkelanjutan, kondisi beban siklus, perlindungan cetakan dan ulir yang mahal, dan mulai kembali yang cepat jika daya mati (Yaskawa, 2010). Pencetakan injeksi telah digunakan untuk memproses nanokomposit NKS dengan matriks PP (Grown *et al.*, 2018; Al-Haik *et al.*, 2020) dan komposit M-DAG dengan matriks PP (Salsabila *et al.*, 2021).

Kelebihan metode pencetakan injeksi menurut CJTM (2017) dan Plastikcity (2019), yaitu 1) produksi cepat dan sangat efisien, cetakan injeksi dapat menghasilkan jumlah produk per jam yang luar biasa. Kecepatan tergantung pada kompleksitas dan ukuran cetakan, antara 15–120 detik per siklus, 2) biaya tenaga kerja rendah, pencetakan injeksi plastik adalah proses otomatis dimana sebagian besar proses dilakukan oleh mesin dan robotika, yang dapat dikontrol dan dikelola oleh satu operator. Otomasi membantu mengurangi biaya produksi, karena biaya tetap berkurang secara signifikan, 3) fleksibilitas

desain, cetakan itu sendiri mengalami tekanan yang sangat tinggi. Akibatnya, plastik di dalam cetakan ditekan lebih keras dan memungkinkan sejumlah besar detail untuk dicetak ke bagian tersebut dan untuk bentuk yang rumit yang akan dibuat, 4) output produksi tinggi, ribuan produk dapat dihasilkan sebelum peralatan perlu dirawat, 5) pilihan material yang beragam, ada banyak pilihan resin polimer untuk dipilih. Berbagai bahan plastik juga dapat digunakan secara bersamaan, misalnya TPE dapat dicetak ke bagian PP, 6) produksi limbah rendah, pencetakan injeksi menghasilkan sangat sedikit limbah pasca-produksi dibandingkan dengan proses manufaktur tradisional. Namun, plastik bekas atau limbah apa pun dapat hancurkan dan didaur ulang untuk digunakan Kembali, 7) kemampuan untuk memasukkan sisipan, misalnya logam atau plastik dapat dimasukkan dengan cetakan, 8) kontrol warna yang baik, warna apa pun dapat dihasilkan menggunakan masterbatch atau peracikan, 9) konsistensi produk, proses injeksi yang berulang, bagian kedua akan sama dengan bagian pertama, toleransi tinggi dan keandalan dalam volume tinggi, 10) mengurangi persyaratan *finishing*, pekerjaan pasca-produksi sedikit karena produk biasanya memiliki tampilan akhir yang baik saat dikeluarkan, 11) peningkatan kekuatan menggunakan pengisi dalam bahan cetakan untuk mengurangi kerapatan plastik saat dicetak dan membantu menambah kekuatan pada bagian yang sudah jadi. Adapun kekurangannya ialah 1) biaya peralatan tinggi dan waktu tunggu lama karena desain, pengujian, dan peralatan yang diperlukan



Gambar 4. Alat pencetakan injeksi (Hak Cipta 2020, XCENTRIC Mold and Engineering)

Ada desain awal dan pembuatan *prototipe* (melalui *computer numerical control printing* atau *3 dimension printing*), kemudian desain alat cetakan prototipe untuk menghasilkan replika bagian dalam volume, 2) batasan desain, dengan mempertimbangkan aturan dasar injeksi, misalnya menghindari di bawah potongan dan tepi tajam sebanyak mungkin, menggunakan ketebalan dinding yang seragam untuk mencegah inkonsistensi dalam proses pendinginan yang mengakibatkan cacat. Selain itu, berat dan ukuran komponen akan menentukan ukuran alat dan perangkatnya yang diperlukan. Semakin besar bagiannya, semakin sulit dan mahal harganya, 3) pengoperasian produk yang kecil akan mahal karena kerumitan cetakan, keharusan membersihkan mesin dari bahan sebelumnya, serta waktu penyetalan yang lama.

METODE POTENSIAL TEKNOLOGI SINTESIS BIONANOKOMPOSIT ANTISTATIS

Berdasarkan identifikasi dari beberapa hasil penelitian terdahulu yang disesuaikan dengan karakteristik bahan baku yang akan digunakan dalam sintesis bionanokomposit antistatis yang diperkuat dengan M-DAG dan NKS, metode ekstrusi ulir ganda (*twin-screw extrusion method*) dan metode cetakan injeksi (*injection molding method*) dianggap potensial untuk digunakan. Berdasarkan karakteristik bahan baku yang digunakan, metode ekstrusi ulir ganda dianggap lebih cocok digunakan dalam sintesis bionanokomposit antistatis karena memiliki tingkat fleksibilitas proses yang tinggi, kontrol yang lebih baik atas parameter proses, produktivitas proses yang lebih tinggi, dan distribusi partikel lebih seragam dan mengurangi resiko penumpukan residu. Demikian halnya dengan metode cetakan injeksi dianggap lebih cocok digunakan dalam sintesis bionanokomposit

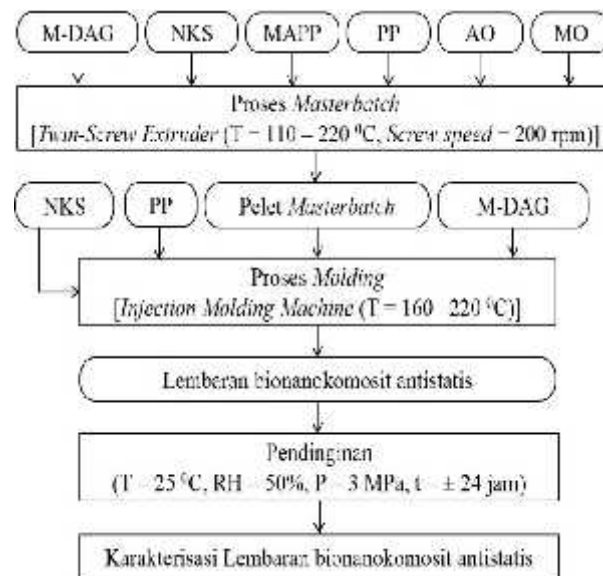
antistatis karena memiliki waktu produksi cepat dan sangat efisien, biaya tenaga kerja rendah, fleksibilitas desain, output produksi tinggi, pilihan material yang beragam, produksi limbah rendah, kemampuan untuk memasukkan sisipan, kontrol warna yang baik, konsistensi produk, dan mengurangi persyaratan *finishing*. Namun, metode cetakan injeksi sangat rentan terhadap penyumbatan akibat karakteristik bahan yang digunakan mudah menggumpal atau tidak terdistribusi merata pada campuran bahan yang akan di injeksi. Oleh karena itu, pengetahuan terhadap karakteristik bahan yang akan di injeksi dianggap perlu untuk di pahami dan penanganan awal terhadap bahan yang akan di injeksi dianggap perlu untuk dilakukan. Gambar 5 menunjukkan tahapan sintesis bionanokomposit antistatis yang terdiri dari 3 tahapan proses, yaitu proses *masterbatch*, proses *molding*, dan proses pendinginan.

Proses *Masterbatch*

Campuran bahan PP, NKS, M-DAG, *maleic anhydride polypropylene*, antioksidan, dan *mineral oil* diekstrusi menggunakan *twin-screw extruder* pada suhu 160–220°C dan kecepatan *screw* 150 rpm hingga dihasilkan produk berupa pelet *masterbatch*. Formulasi bahan baku utama sintesis bionanokomposit antistatis (NKS dan M-DAG) yang masuk proses *masterbatch* ditentukan berdasarkan studi literatur dan *trial and error*. Formulasi bahan baku penunjang (*maleic anhydride polypropylene*, antioksidan, dan *mineral oil*) ditentukan berdasarkan standar penggunaan masing-masing bahan yang terdapat pada *Technical Data Sheet* (TDS).

Proses *Molding*

Campuran bahan PP, NKS, M-DAG, dan pelet *masterbatch* diinjeksi dengan menggunakan *injection molding machine* pada suhu 160–220°C hingga dihasilkan lembaran bionanokomposit antistatis



Gambar 5. Tahapan sintesis bionanokomposit antistatis

Proses Pendinginan

Lembaran bionanokomposit antistatis didinginkan hingga suhunya mencapai suhu ruang 25°C, tekanan 3 MPa selama ± 24 jam pada kelembaban 50%.

Karakterisasi Bionanokomposit Antistatis

Karakterisasi bionanokomposit antistatis meliputi analisis interaksi NKS dan M-DAG dengan matriks polipropilena melalui analisis morfologi menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) (Rahman *et al.*, 2017; Aguayo *et al.*, 2018; Abiaziem *et al.*, 2019), analisis derajat kristalinitas menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) (Rahman *et al.*, 2017; Aguayo *et al.*, 2018; Abiaziem *et al.*, 2019), dan analisis spektra infra merah menggunakan *fourier transform infrared* (FT-IR) (Rahman *et al.*, 2017; Aguayo *et al.*, 2018), analisis sifat termal menggunakan *differential scanning calorimetry* (DSC) (Huang *et al.*, 2017), analisis resistivitas (Salsabila *et al.*, 2021), analisis sifat mekanik (kekuatan tarik, kekuatan lentur, kekuatan dampak, modulus tarik, modulus lentur), serta analisis warna, tekstur, dan bau (Salsabila *et al.*, 2021). Semua metode analisis mengacu pada *American Standard Technical Material* (ASTM).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan identifikasi dari beberapa hasil penelitian terdahulu yang disesuaikan dengan karakteristik bahan baku yang akan digunakan dalam sintesis bionanokomposit antistatis yang diperkuat dengan M-DAG dan NKS, metode ekstrusi ulir ganda (*twin-screw extrusion method*) dan metode cetakan injeksi (*injection molding method*) dianggap potensial untuk digunakan. Metode ekstrusi ulir ganda

memiliki tingkat fleksibilitas proses yang tinggi, kontrol yang lebih baik atas parameter proses, produktivitas proses yang lebih tinggi, dan distribusi partikel lebih seragam dan mengurangi resiko penumpukan residu. Metode cetakan injeksi memiliki waktu produksi cepat dan sangat efisien, biaya tenaga kerja rendah, fleksibilitas desain, output produksi tinggi, pilihan material yang beragam, produksi limbah rendah, kemampuan untuk memasukkan sisipan, kontrol warna yang baik, konsistensi produk, dan mengurangi persyaratan *finishing*.

Metode cetakan injeksi sangat rentan terhadap penyumbatan akibat karakteristik bahan yang digunakan mudah menggumpal atau tidak terdistribusi merata pada campuran bahan yang akan di injeksi. Oleh karena itu, pengetahuan terhadap karakteristik bahan yang akan di injeksi dianggap perlu untuk di pahami dan penanganan awal terhadap bahan yang akan di injeksi dianggap perlu untuk dilakukan.

Saran

Berdasarkan identifikasi, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang aplikasi penggunaan metode potensial (metode ekstrusi ulir ganda dan metode cetakan injeksi) dalam sintesis bionanokomposit antistatis. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performa dan karakteristik bionanokomposit antistatis yang dihasilkan berdasarkan konsentrasi M-DAG dan NKS yang digunakan, serta tingkat efektifitas dan efisiensi proses sintesis bionanokomposit antistatis.

DAFTAR PUSTAKA

Abiaziem CV, Williams AB, Inegbenebor AI, Onwordi CT, Ehi-Eromosele CO, Petrik LF. 2019. Preparation and characterisation of

- cellulose nanocrystal from sugarcane peels by XRD, SEM, and CP/MAS 13C NMR. *Selected Proceedings of the Fourth Covenant International Conference on African Development Issues (CICADA 2018)*. Covenant University, Nigeria. 22-24 Oktober 2018.
- Abraham E, Elbi PA, Deepa B, Parameswaranpillai J, Pothan LA, Narina SS, Thomas S. 2012. X-ray diffraction and biodegradation analysis of green composites of natural rubber/nanocellulose. *Polymer Degradation and Stability*. 97 (11): 2378 – 2387.
- Aditiawati P, Amelia C, Dungani R 2018 Enzymatic production of cellulose nanofibers from oil palm empty fruit bunch (EFB) with crude cellulase of *Trichoderma* sp. *Materials Research Express*. 5 (3): 034005.
- Aguayo MG, Pérez AF, Reyes G, Oviedo C, Gacitúa W, Gonzalez R, Uyarte O. 2018. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from rejected fibers originated in the kraft pulping process. *Polymers*. 10: 1145 – 1156.
- Al-Haik MY, Aldajah S, Siddique W, Kabir MM, Haik Y. 2020. Mechanical and thermal characterization of polypropylene-reinforced nanocrystalline cellulose nanocomposites. *Journal Thermoplastic Composite Materials*. 2020: 1 – 12.
- Ashori A, Babae, Jonoobi M, Hamzeh Y. 2014. Solvent free acetylation of cellulose nanofibers for improving compatibility and dispersion. *Carbohydrate Polymers*. 102 (1): 369 – 375.
- Bahar E, Ucar N, Onen A, Wang Y, Oksüz M, Ayaz O, Ucar M, Demir A. 2012. Thermal and mechanical properties of polypropylene nanocomposite materials reinforced with cellulose nano whiskers. *Journal of Applied Polymers Science*. 125 (4): 2882 – 2889.
- Bantacut T dan Pasaribu H. 2015. Aliran tertutup massa dan potensi mandiri energi pada produksi CPO. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 25 (3): 215 – 226 .
- Brinchi L, Cotana F, Fortunati E, Kenny JM. 2013. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: technology and applications. *Carbohydrate Polymers*. 94 (1): 154 – 169.
- Bunka F, Pavlinek V, Hrabě J, Rop O, Janis R, Krejci J. 2007. Effect of 1-monoglycerides on viscoelastic properties of processed cheese. *Int International Journal of Food Properties*. 10: 819 – 828.
- Cabiac A, Guillon E, Chambon F, Pinel C, Rataboul F, Essayem N. 2011. Cellulose reactivity and glycosidic bond cleavage in aqueous phase by catalytic and non catalytic transformations. *Applied Catalysis A General*. 402 (1-2): 1 – 10.
- Cai ZZ, Wang Y, Teng YL, Chong KM, Wang JW, Zhang JW, Yang DP. 2015. A two-step biodiesel production process from waste cooking oil via recycling crude glycerol esterification catalyzed by alkali catalyst. *Fuel Process Technol*. 137: 186 – 193.
- Cao X, Wang X, Ding B, Yu J, Sun G. 2013. Novel spider-web-like nanoporous networks based on jute cellulose nanowhiskers. *Carbohydr Polym*. 92 (2): 2041 – 2047.
- Charani PR, Firouzabadi MD, Afra E, Blademo Å, Naderi A, Lindstrom T. 2013. Production of microfibrillated cellulose from unbleached kraft pulp of Kenaf and Scotch Pine and its effect on the properties of hard-wood kraft: microfibrillated cellulose paper. *Cellulose*. 20 (5): 2559 – 2567.
- Chen H, Yada R. 2011. Nanotechnologies in agriculture: New tools for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*. 22 (11): 585 – 594.
- Christie WW, Han X, 2010. Lipid analysis: isolation, separation, identification and lipidomic analysis, 4th Edition. Oily Press.
- CJTM. 2017. *The advantages and disadvantages of injection moulding*. United Kingdom: CJ Tool & Mouldings Ltd.
- Davoudpour Y, Hossain S, Khalil HPSA, Haafiz MKM, Ishak ZAM, Hassan A, Sarker ZI. 2015. Optimization of high pressure homogenization parameters for the isolation of cellulosic nanofibers using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*. 74 (C): 381 – 387.
- Deepa B, Abraham E, Cherian BM, Bismarck A, Blaker JJ, Pothan LA, Leao AL, Souza SF, Kottaisamy M. 2011. Structure, morphology and thermal characteristics of banana nanofibers obtained by steam explosion. *Bioresources Technology*. 102 (2): 1988 – 1997.
- European Bioplastics. 2018. *FACT SHEET: What are bioplastics?* Available online: http://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_What_are_bioplastics.pdf. (diakses pada 12 Juli 2021).
- European Bioplastics. 2018. *What are bioplastics?: Material types, terminology, and labels—an introduction*. Berlin: European Bioplastics Marienstraße.
- Fahma F, Hori N, Iwamoto S, Iwata T, Takemura A. 2010. Isolation, preparation, and characterization of nanofibers from oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). *Cellulose*. 17: 977 – 985.
- Fahma F, Iwamoto S, Hori N, Iwata T, Takemura A.

2011. Effect of pre-acid-hydrolysis treatment on morphology and properties of cellulose nanowhiskers from coconut husk. *Cellulose*. 18: 443 – 450.
- Fatah IYA, Khalil HPSA, Hossain MS, Aziz AA, Davoudpour Y, Dungani R, Bhat A. 2014. Exploration of a chemo mechanical technique for the isolation of nanofibrillated cellulosic fiber from oil palm empty fruit bunch as a reinforcing agent in composites materials. *Polymers*. 6 (10): 2611 – 2624.
- Ferrer A, Filpponen I, Rodríguez A, Laine J, Rojas OJ. 2012. Valorization of residual empty palm fruit bunch fibers (EPFBF) by microfluidization: production of nanofibrillated cellulose and EPFBF nanopaper. *Bioresour Technol*. 125: 249 – 55.
- Flauzino Neto WP, Mariano M, da Silva ISV, Silvério HA, Putaux J-L, Otaguro H, Pasquini D, Dufresne A. 2016. Mechanical properties of natural rubber nanocomposites reinforced with high aspect ratio cellulose nanocrystals isolated from soy hulls. *Carbohydrate Polymers*. 153: 143 – 152.
- George J, Sabapathi SN. 2015. Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications. *Nanotech Science Applied*. 8: 45 – 54.
- Geyer R, Jambeck JR, Law KL. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 3 (7): e1700782. doi 10.1126/sciadv.1700782.
- Grishkewich N, Mohammed N, Tang J, Tam KC. 2017. Recent advances in the application of cellulose nanocrystals. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. 29: 32 – 45.
- Grob MC, Minder E. 1999. Permanent Antistatic Additives: New Development, Plastic, Additives, and Compounding, 1(3): 20 – 26.
- Grown JG, Cho HJ, Lee D, Choi DH, Lee S, Wu Q, Lee SY. 2018. Physicochemical and mechanical properties of polypropylene-cellulose nanocrystal nanocomposites: effects of manufacturing process and chemical grafting. *BioResources*. 13 (1): 1619 – 1636.
- Hans M, Henny B, Robert J. Whitehurst (Eds). 2004. *Mono and Diglycerides*. dalam *Emulsifier in Food Technology*. Oxford (UK): Blackwell Publishing Ltd.
- Hasenhuettl GL. 2008. *Food Emulsifiers and Their Applications*. Editor Hasenhuettl Hartel. New York (USA): Springer Science.
- Hassan ML, Mathew AP, Hassan EA, El-Wakil NA, Oksman K. 2012. Nanofibers from bagasse and rice straw: process optimization and properties. *Wood Science Technology*. 46 (1-3): 193 – 205.
- Hassan ML, Mathew AP, Hassan EA, Fadel SM, Oksman K. 2014. Improving cellulose/polypropylene nanocomposites properties with chemical modified bagasse nanofibers and maleated polypropylene. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 33 (1): 26 – 36.
- He X, Xiao Q, Lu C, Wang Y, Zhang X, Zhao J, Zhang W, Zhang X, Deng Y. 2014. Uniaxially aligned electrospun all-cellulose nanocomposite nanofibers reinforced with cellulose nanocrystals: scaffold for tissue engineering. *Biomacromolecules*. 15 (2): 618 – 627.
- Huang S, Zhou L, Li M-C, Wu Q, Zhou D. 2017. Cellulose nanocrystals (CNCs) from corn stalk: Activation energy analysis. *Materials*. 10 (1): 80 – 92.
- Igoe RS, Hui YH. 1996. *Dictionary of Food Ingredients*. New York: Chapman and Hall.
- Jin H, Kettunen M, Laiho A, Pynnönen H, Paltakari J, Marmur A, Ikkala O, Ras RHA. 2011. Superhydrophobic and superoleophobic nanocellulose aerogel membranes as bioinspired cargo carriers on water and oil. *Langmuir*. 27 (5): 1930 – 1934.
- Jonoobi M, Mathew AP, Oksman K. 2012. Producing low-cost cellulose nanofiber from sludge as new source of raw materials. *Industrial Crops and Products*. 40 (1): 232 – 238.
- Kalia S, Dufresne A, Cherian BM, Kaith BS, Luc A v'eros, Njuguna J, Nassiopoulous E. 2011. Cellulose-based bio-and nanocomposites: a review. *International Journal of Polymer Science*. 2011 (8): 1 – 35.
- Karimi S, Tahir PMd, Karimi A, Dufresne A, Abdulkhani A. 2014. Kenaf bast cellulosic fibers hierarchy: a comprehensive approach from micro to nano. *Carbohydrate Polymers*. 101: 878 – 885.
- Khalil HPSA, Davoudpour Y, Islam MdN, Mustapha A, Sudesh K, Dungani R, Jawaid M. 2014. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: a review. *Carbohydrate Polymers*. 99: 649 – 65.
- Khalil HPSA, Hossain MdS, Rosamah E, Azli NA, Saddon N, Davoudpour Y, Islam MdN, Dungani R. 2015. The role of soil properties and its interaction towards quality plant fiber: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43: 1006 – 1015.
- Khalil HPSA. 2012. Bamboo fibre reinforced biocomposites: a review. *Mater Des*. 42: 353 – 368.
- Khoshkava V, Kamal MR. 2014. Effect of cellulose nanocrystals (CNC) particle morphology on dispersion and rheological and mechanical properties of polypropylene / CNC nanocomposites. *ACS Applied Mater Interfaces*. 6 (11): 8146 – 8157.

- Khoshkava V, Ghasemi H, Kamal MR. 2015. Effect of cellulose nanocrystals (CNC) on isothermal crystallization kinetics of polypropylene. *Thermochimica Acta*. 608: 30 – 39.
- Kumar P, Barrett DM, Delwiche MJ, Stroeve P. 2009. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial Eng Chemical Research*. 48 (8): 3713 – 3729.
- Lee J, Jeffries TW. 2011. Efficiencies of acid catalysts in the hydrolysis of lignocellulosic biomass over a range of combined severity factors. *Bioresource Technol*. 102 (10): 5884 – 5890.
- Lee KY, Aitomaki Y, Berglund L A, Oksman K, Bismarck A. 2014a. On the use of nanocellulose as reinforcement in polymer matrix composites. *Composites Science and Technology*. 105 (15): 15 – 27.
- Lee SH, Teramoto Y, Endo T. 2011. Cellulose nanofiber-reinforced polycaprolactone / polypropylene hybrid nanocomposite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 42 (2): 151 – 156.
- Lee VH, Hamid SBA, Zain SK. 2014b. Review article conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: Structure and Chemical Process. *The Scientific World Journal*. 2014: 1 – 20.
- Li J, Wei X, Wang Q, Chen J, Chang G, Kong L, Su J, Liu Y. 2012. Homogeneous isolation of nanocellulose from sugarcane bagasse by high pressure homogenization. *Carbohydrate Polymers*. 90 (4): 1609 – 1613.
- Li Y, Zhu H, Xu M, Zhuang Z, Xu M, Dai H. 2014. High yield preparation method of thermally stable cellulose nanofibers. *BioResources*. 9 (2): 1986 – 1997.
- Liu Q, Lu Y, Aguedo M, Jacquet N, Ouyang C, He W, Yan C, Bai W, Guo R, Goffin D, Song J, Richel A. 2017. Isolation of high-purity cellulose nanofibers from wheat straw through the combined environmentally friendly methods of steam explosion, microwave-assisted hydrolysis, and microfluidization. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 5 (7): 6183 – 6191.
- Lu P dan Hsieh Y-L. 2012a. Cellulose isolation and core-shell nanostructures of cellulose nanocrystals from chardonnay grape skins. *Carbohydrate Polymers*. 87 (4): 2546 – 2553.
- Lu P dan Hsieh Y-L. 2012b. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from rice straw. *Carbohydrate Polymers*. 87 (1): 564 – 573.
- Luna P dan Nuri A. 2013. Potensi produk monoasilgliserol sebagai emulsifier nabati. *Buletin Teknol Pascapanen Pertanian*. 9 (2): 108 – 116.
- Maniruzzaman M, Boateng J, Bonnefille M, Aranyos A, Mitchell J, Douroumis D. 2012. Taste masking of paracetamol by hot-melt extrusion: An invitro and in-vivo evaluation, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 80: 433 – 442.
- Manosak CR, Limpattayanate S, dan Hunsom M. 2011. Sequential-refining of crude glycerol derived from waste used-oil methyl ester plant via a combined process of chemical and adsorption. *Fuel Process Technol*. 92 (1): 92 – 99.
- Martínez-Sanz M, Lopez-Rubio A, Lagaron JM. 2013. Nanocomposites of ethylene vinyl alcohol copolymer with thermally resistant cellulose nanowhiskers by melt compounding (I): morphology and thermal properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 128 (5): 2666 – 2678.
- Melwita E, Destia MA, Rahmi P. 2019. Reaksi gliserolisis palm fatty acid distillate (PFAD) menggunakan co-solvent etanol untuk pembuatan emulsifier. *Jurnal Teknik Kimia*. 21 (2): 15 – 23.
- Memmott P, Martin D, dan Amiralian N. 2017. *Nanotechnology and the Dreamtime Knowledge of Spinifex Grass*. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Meran C, Ozturk O, Yuksel M. 2008. Examination of the possibility of recycling and utilizing recycled polyethylene and polypropylene. *Mater Des*. 29 (3): 701 – 705.
- Monteiro JB, Nascimento MG, Ninow JL. 2003. Lipase-catalyzed synthesis of monoacylglycerol in a homogeneous system. *Biotech Letters*. 25 (8): 641 – 644.
- Moon RJ, Martini A, Nairn J, Simonsen J, Youngblood J. 2011. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*. 40: 3941 – 3994.
- Mooter GVD. 2011. The use of amorphous solid dispersions: A formulation strategy to overcome poor solubility and dissolution rate. *Drug Discovery Today: Technologies*. 9: 975 – 981.
- Nair SS, Zhu JY, Deng Y, Ragauskas AJ. 2014. Characterization of cellulose nanofibrillation by microgrinding. *Journal of Nanoparticle Research*. 16 (2349): 1 – 10.
- Noureddini H, Harkey DW, Gutsman MR. 2004. A Continuous Process For The Glycerolysis of Soybean Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 81 (2): 203 – 207.
- Patel BR, Humas Lageraen, dan Kalb PD. 1995. Tinjauan teknik pengolahan potensial untuk encapsulasi sampah pada PT Polimer

- Termoplastik. Pusat Teknologi Lingkungan & Limbah, Departemen Teknologi Lanjutan, Laboratorium Nasional Brookhaven Upton, New York.
- Peng Y, Gallegos SA, Gardner DJ, Han Y, Cai Z. 2014. Maleic anhydride polypropylene modified cellulose nanofibril polypropylene nanocomposites with enhanced impact strength. *Polimer Composite*. 37 (3): 782 – 793.
- Plastikcity. 2019. *What are the Advantages and Disadvantages of Injection Moulding? Linking Serious Buyers To The Best Suppliers Serving the UK & IE plastics industries*. United Kingdom: PlastikCity, Ltd.
- Purba RDL, Margareth M, dan Yusuf MR. 2014. Pengaruh rasio pelarut tert-butanol terhadap minyak dan suhu reaksi gliserolisis pada pembuatan mono dan diasilgliserol (MDAG) menggunakan katalis abu cangkang telur ayam. *Jurnal Teknik Kimia*. 3 (4): 44 – 50.
- Rahman NHA, Chieng BW, Ibrahim NA, Rahman NA. 2017. Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from tea leaf waste fibers. *Polymers*. 9 (11): 588.
- Rattaz A, Mishra SP, Chabot B, Daneault C. 2011. Cellulose nanofibres by sonocatalysed-TEMPO-oxidation. *Cellulose*. 18 (3): 585 – 93.
- Rudin A dan Choy P. 2013. *The Elements of Polymer Science & Engineering*. 2nd ed. England: Academic Press.
- Salsabila S, Setyaningsih D, Jannah QR, Muna N. 2021. Formulation of mono-diacylglycerol from palm fatty acid distillate and glycerol as antistatic agents on plastics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012069.
- Sarfat MS, Setyaningsih D, Fahma F, Indrasti NS. 2021. Characterization of mono-diacylglycerols, cellulose nanocrystals, polypropylene, and supporting materials as raw materials for synthesis of antistatic bionanocomposites, *International Conference Biomass Bioenergy*, 9 – 10 August 2021, Bogor.
- Savadekar NR, Karande VS, Vigneshwaran N, Kadam PG, Mhaske ST. 2015. Preparation of cotton linter nanowhiskers by high-pressure homogenization process and its application in thermoplastic starch. *Applied Nanoscience*. 5 (3): 281 – 290.
- Setyaningsih D, Suwarna MA, dan Muna N. 2020b. The effect of solvent type and temperature on mono-diacylglycerol purification. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 460: 012037.
- Setyaningsih D, Uju, Muna N, Isroi, Suryawan NB, Nurfauzi AA. 2018. Cellulose nanofiber isolation from palm oil empty fruit bunches (EFB) through strong acid hydrolysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 141: 012027.
- Setyaningsih D, Warsiki E, Ulfa SF, Muna N. 2020a. The effect of sodium carbonate and saccharides on mono-diacylglycerol (M-DAG) purification. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 460: 012038.
- Shrivastava A. 2018. *Plastics Processing*. Di dalam Shrivastava A, *Introduction to Plastics Engineering*. United States: William Andrew Publishing. P143–177.
- Siemann U. 2005. Solvent cast technology – a versatile tool for thin film production. *Progress in Colloid and Polymer Science*. 130: 1 – 14.
- Sutka A, Kukle S, Gravitis J, Grave L. 2013. Characterization of cellulose microfibrils obtained from Hemp. *Conf Papers in Materials Sci*. 1: 1 – 5.
- Syafri E, Kasim A, Abrial H, Asben A. 2018. Cellulose nanofibers isolation and characterization from ramie using a chemical-ultrasonic treatment. *Journal Natural Fibers*. 16: 1145 – 1155.
- Tang J, Sisler J, Grishkewich N, Tam KC. 2017. Functionalization of cellulose nanocrystals for advanced applications. *Journal Colloid Interface Science*. 494: 397 – 409.
- Tanpichai S, Nogi FQM, Yano H, Young RJ, Lindstrom T, Sampson WW, Eichhorn SJ. 2012. Effective Young's modulus of bacterial and microfibrillated cellulose fibrils in fibrous networks. *Biomacromolecules*. 13 (5): 1340 – 1349.
- Thielemans W, Warbey CR, dan Walsh DA. 2009. Permselective nanostructured membranes based on cellulose nanowhiskers. *Green Chem*. 11 (4): 531 – 537.
- Tischer PCSF, Sierakowski MR, Jr HW, Tischer CA. 2010. Nanostructural reorganization of bacterial cellulose by ultrasonic treatment. *Biomacromolecules*. 11 (5): 1217 – 1224.
- Tripathi D. 2002. *Practical guide to polypropylene*. Shawbury U K Rapra Technology Ltd.
- Uetani K dan Yano H. 2011. Zeta potential time dependence reveals the swelling dynamics of wood cellulose nanofibrils. *Langmuir*. 28 (1): 818 – 827.
- Vartiainen J, Pohler T, Sirola K, Pylkkanen L, Alenius H, Hokkinen J, Tapper U, Lahtinen P, Kapanen A, Putkisto K, Hiekkataipale P, Eronen P, Ruokolainen J, Laukkanen A. 2011. Health and environmental safety aspects of frictiongrinding and spray drying of microfibrillated cellulose. *Cellulose*. 18 (3): 775 – 786.
- Wang B, Mozuch MD, Sabo RC, Kersten P, Zhu JY, Jin Y. 2015b. Production of cellulose

- nanofibrils from bleached eucalyptus fibers by hyperthermostable endoglucanase treatment and subsequent microfluidization. *Cellulose*. 22 (1): 351 – 361.
- Wang Y, Wei X, Li J, Wang F, Wang Q, Chen J, Kong L. 2015a. Study on nanocellulose by high pressure homogenization in homogeneous isolation. *Fib Polymers*. 16 (3): 572 – 578.
- Wattanachai P, Buasathain B, Antonio C, Roces S. 2017. Open loop recycling of recycled polypropylene for motorcycle saddle application. *ASEAN Journal Chemical Engineering*. 17 (2): 60 – 76.
- White JL. 1991. *Twin Screw Extrusion: Technology and Principles*. New York: Hanser Publishers.
- Xie J, Hse CY, De Hoop CF, Hu T, Qi J, Shupe TF. 2016. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from bamboo using microwave liquefaction combined with chemical treatment and ultrasonication. *Carbohydrate Polymers*. 151: 725 – 734.
- Yakkan E, Uysalman T, Atagür M, Sever K, Seydibeyo lu MO. 2018. Nanocellulose-polypropylene nanocomposites enhanced with coupling agent. *Journal Bartın Faculty of Forestry*. 20 (3): 491 – 502.
- Yaskawa. 2010. *Application Overview: Injection Molding*. Yaskawa America, Inc. No: AO.AFD.69.
- Yeom SH, Go YW. 2018. Optimization of a Novel Two-step Process Comprising Re-esterification and Transesterification in a Single Reactor for Biodiesel Production Using Waste Cooking Oil. *Biotechnol Bioprocess Eng*. 23: 432 – 441.
- Yousefian H dan Rodrigue D. 2015. Nanocrystalline cellulose, chemical blowing agent, and mold temperature effect on morphological, physical/mechanical properties of polypropylene. *Journal Applied Polymer Science*. 132 (47): 428 – 445.
- Zhang Q, Zhang P, Pei ZJ, Wang D. 2013. Relationships between cellulosic biomass particle size and enzymatic hydrolysis sugar yield: analysis of inconsistent reports in the literature. *Renew Energy*. 60 (C): 127 – 136.
- Zhang X, Tu M, dan Paice MG. 2011. Routes to potential bioproducts from lignocellulosic biomass lignin and hemicelluloses. *BioEnergy Research*. 4 (4): 246 – 57.
- Zhong N, Cheong L-Z, Xu X. 2014. Strategies to obtain high content of monoacylglycerols. *Eur Journal of Lipid Science and Technology's*. 116 (2): 97 – 107.
- Zhou C, Xia X, Lin C, Tong D, Beltrami J 2011. Catalytic conversion of lignocellulosic biomass to fine chemicals and fuels. *Chemical Society Reviews*. 40 (11): 5588 – 5617.
- Zulkifli M dan Estiasih T. 2014. Sabun dari asam lemak sawit: kajian pustaka. *Jurnal Pangan dan Agro Industri*. 2 (4): 170 – 177.