



## INTISARI

Saat ini, teknologi manufaktur aditif (*additive manufacturing*) disebut pencetakan tiga dimensi (*3D printing*), banyak digunakan karena tidak memerlukan cetakan, murah, prosesnya mudah, dan sedikit material sisa. Salah satu jenis 3D printing yang paling banyak digunakan adalah FDM (*fused deposition modelling*). Di dalam proses FDM, produk tiga dimensi dibentuk dengan cara penempelan material secara lapis per lapis (*layer by layer*) dari suatu filamen yang diekstrusi melewati *nozzle* yang panas. Filamen yang banyak terdapat dipasaran saat ini terbuat dari polimer termoplastik, seperti *polylactic acid* (PLA). PLA memiliki beberapa keunggulan antara lain ramah lingkungan, biokompatibel, dan mudah diproses. Namun demikian, PLA juga memiliki beberapa kelemahan antara lain sifat mekanis yang rendah dan nilai kristalinitas yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanis matriks polimer adalah dengan cara menambah material penguat yang selanjutnya dikenal sebagai filamen komposit. CNC (*cellulose nanocrystals*) merupakan material selulosa berbentuk jarum yang memiliki diameter (1-100 nm), panjang (10-100 nm) yang memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, koefisien termal rendah, biodegradable, dan biokompatibel yang baik. Pengaruh penambahan CNC terhadap karakteristik filamen PLA dan produk hasil pencetakan tiga dimensi dipelajari dalam penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan bahan penguat CNC (*cellulose nanocrystal*) dan pelet PLA sebagai matriks. Sebelum digunakan, pelet PLA dan serbuk CNC dikeringkan untuk menghilangkan air yang diserap. Selanjutnya, pelet PLA dan serbuk CNC dicampur menggunakan mesin *planetary ball mill* dengan variasi konsentrasi CNC yang ditambahkan yaitu 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1 dan 2% wt. Hasil pencampuran tersebut kemudian dibuat menjadi bentuk filamen dengan menggunakan mesin *extruder single screw* dengan suhu ekstrusi 159°C dan kecepatan konstan. Filamen komposit PLA/CNC selanjutnya digunakan untuk membuat sampel uji tarik untuk dievaluasi pengaruh CNC terhadap sifat tarik dari sampel hasil pencetakan tiga dimensi. Karakteristik filamen PLA dan filamen komposit PLA/CNC dipelajari melalui pengukuran diameter filamen, perhitungan porositas, analisis FT-IR, TGA, dan sifat penyerapan air. Selain itu, sifat tarik dari filament PLA dan produk hasil 3 dimensi ditentukan dengan uji tarik.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa untuk sampel filamen, penambahan CNC sampai 1% wt pada matriks PLA meningkatkan kekuatan tarik dari filamen PLA/CNC tetapi penambahan lebih dari 1% wt menurunkan kekuatan tarik. Di sisi lain untuk sampel *3D printing*, kekuatan tarik tertinggi dicapai pada kandungan CNC 0,75% wt dan penambahan CNC lebih dari 0,75% wt menyebabkan penurunan kekuatan tarik. Penambahan CNC pada sampel filamen dan sampel *3D printing* tidak mempengaruhi sifat termal secara signifikan. Untuk sampel filamen, penyerapan air meningkat seiring dengan kenaikan kandungan CNC. Untuk sampel *3D printing*, penyerapan air sangat dipengaruhi oleh kandungan porositas yang ada.

**Kata kunci :** *polylactic acid* (PLA); *cellulose nanocrystal* (CNC); filamen komposit; sifat tarik; penyerapan air

## ***ABSTRACT***

Currently, additive manufacturing technology, also called three-dimensional printing (3D printing), is widely used because it does not require a mold, cheap, ease to process, and little waste of material. One of the most widely used types of 3D printing is FDM (fused deposition modeling). In the FDM process, a three-dimensional product is formed by layer-by-layer attachment of an extruded filament through a hot nozzle. Most filaments on the market today are made of thermoplastic polymers, such as polylactic acid (PLA). PLA has several advantages, including being environmentally friendly, biocompatible, and easy to process. However, PLA also has several weaknesses, including low mechanical properties and low crystallinity values. One way to improve the mechanical properties of the polymer matrix is by adding reinforcing materials, hereinafter referred to as composite filaments. CNC (cellulose nanocrystals) is a needle-shaped cellulose material that has a diameter (1-100 nm), a length (10-100 nm) that has high strength and stiffness, low thermal coefficient, biodegradability, and good biocompatibility. The effect of the addition of CNC on the characteristics of the PLA filament and the resulting three-dimensional printed product was investigated in this study.

Materials used in this study were PLA pellets as a matrix materials and CNC (cellulose nanocrystal) reinforcement. Prior to use, the PLA pellets and CNC powder were dried to remove the absorbed water. Furthermore, PLA pellets and CNC powder were then mixed using a planetary ball mill machine with different CNC concentrations of 0; 0.25; 0.50; 0.75; 1 and 2 wt%. The results of the mixing were then extruded to become the filaments using a single screw extruder machine with a extrusion temperature of 159°C and constant speed. The PLA/CNC composite filaments were then used to prepare tensile test samples and the effect of CNC addition on the tensile properties of the three-dimensional printed samples was evaluated. The characteristics of PLA filaments and PLA/CNC composite filaments were investigated through measuring filament diameter, porosity content, FT-IR analysis, TGA, and water absorption properties. In addition, the tensile properties of the PLA filament and the 3D printing product were determined by tensile test.

Results indicate that for the filament sample, the addition of CNC up to 1% wt to the PLA matrix increases the tensile strength of the PLA/CNC filament but the addition of more than 1% wt decreases the tensile strength. On the other hand, for 3D printing samples, the highest tensile strength was achieved at 0.75% wt CNC content and the addition of more than 0.75% wt CNC causes a decrease in tensile strength. The addition of CNC on filament samples and 3D printing samples did not significantly affect the thermal properties. For filament samples, the water absorption increases with increasing CNC content. For 3D printing samples, the water absorption is strongly influenced by the existing porosity content.

**Keywords :** polylactic acid (PLA); cellulose nanocrystal (CNC); composite filament; tensile properties; water absorption