

INTISARI

Cellulose nanofiber (CNF) merupakan material serat selulosa berukuran nano meter yang menarik karena sifat-sifat unggulnya antara lain sangat ringan, *high aspect ratio*, memiliki luas permukaan tinggi, sifat mekanis tinggi, ramah lingkungan, dan terbarukan. CNF dapat disintesis dari serat alam seperti serat sisal dengan menggunakan kombinasi perlakuan kimia dan mekanis. CNF memiliki potensi yang besar untuk aplikasi sebagai penguat komposit. Namun demikian, CNF bersifat hidrofilik dan cenderung aglomerasi ketika bercampur dengan matriks polimer yang bersifat hidrofobik seperti resin epoksi, sehingga menyebabkan ikatan CNF dan matriks lemah. Untuk meningkatkan kompatibilitas dengan matriks epoksi maka CNF dimodifikasi menggunakan metode asetilasi, dimana gugus hidroksil pada CNF diganti dengan gugus asetil yang bersifat hidrofobik. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat serat nanoselulosa terasetilasi (*acetylated-cellulose nanofibers*, ACNF) dari serat sisal dan mengaplikasikannya sebagai penguat komposit hibrid epoksi/serat sisal searah/ACNF.

Serat sisal sebagai sumber sintesis CNF diperoleh dari PT. Sumbawa Bangkit Sejahtera, Nusa Tenggara Barat. Resin epoksi dan pengeras jenis EPH 555 digunakan sebagai matriks komposit. Pada tahap pertama, proses asetilasi dilakukan melalui pencampuran serbuk sisal (60 *mesh*) yang telah di *bleaching* dan asetat anhidrida dengan variasi (45, 55, dan 65 mL) dengan menggunakan katalis asam sulfat (0,1 mL) pada suhu 50°C selama 60 menit. Selanjutnya, *pulp* serbuk sisal yang telah terasetilasi di *blending* dengan menggunakan *high-speed blender* (37000 rpm) selama 30 menit dalam media *aquadest* 1 L untuk menghasilkan serat nanoselulosa terasetilasi (ACNF). Tahap kedua, Serat sisal diberikan variasi perlakuan natrium hidroksida dan/atau asetat anhidrida. Selanjutnya, serat hasil perlakuan kimia yang memiliki sifat fisis, mekanis, dan termal terbaik kemudian digunakan untuk membuat komposit epoksi/serat sisal searah. Pada tahap ketiga, ACNF yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai penguat komposit hibrid epoksi/serat sisal searah/ACNF dengan variasi ACNF (0; 0,5; 0,75, dan 1 wt.%). Komposit dibuat menggunakan metode *hot press* pada tekanan 1 MPa, suhu 90°C, dan selama 30 menit. Karakteristik ACNF dan komposit dianalisis menggunakan FT-IR, XRD, dan SEM sedangkan sifat termal dievaluasi menggunakan TGA. Sifat mekanis serat dan komposit ditentukan menggunakan uji tarik, uji *fiber pull-out*, uji lentur, uji impak, dan uji *short beam shear*.

Hasil penelitian tahap pertama menunjukkan volume asetat anhidrida optimum dicapai pada 55 mL yang menghasilkan ACNF dengan nilai DS 0,5; indeks kristalinitas 77%, diameter 87,48 nm, suhu degradasi maksimum 351°C, dan sudut kontak terhadap air 37,7°. Hasil penelitian tahap kedua menunjukkan bahwa perlakuan kimia optimum serat diperoleh dengan metode asetilasi. Diperoleh serat dengan kekuatan tarik 702 MPa, modulus tarik 44,5 GPa dan kekuatan geser antarmuka terhadap resin epoksi 25 MPa, dan suhu degradasi maksimum 348°C. Hasil penelitian tahap ketiga menunjukkan bahwa penambahan ACNF meningkatkan sifat fisis, mekanis, dan termal komposit epoksi/serat sisal searah. Kandungan ACNF optimal pada komposit hibrid epoksi/serat sisal searah/ACNF

dicapai pada 0,5 wt.% yang menghasilkan kekuatan tarik 154,14 MPa, kekuatan lentur 149,95 MPa, kekuatan antarmuka 21,41 MPa, dan ketangguhan impak 20,92 kJ/m². Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa komposit hibrid epoksi/serat sisal searah/ACNF memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan sebagai material dasar komponen semi struktural.

Kata kunci: Serat nanoselulosa terasetilasi, serat sisal, epoksi, komposit hibrid

ABSTRACT

Cellulose nanofiber (CNF) is an attractive nanometer-sized cellulose fiber material because of its superior properties, including being very light, having a high aspect ratio, having a high surface area, having high mechanical properties, being environmentally friendly, and being renewable. CNF can be synthesized from natural fibers such as sisal fibers using a combination of chemical and mechanical treatments. CNF has excellent potential for application as a composite reinforcement. However, CNF is hydrophilic and tends to agglomerate when mixed with a hydrophobic polymer matrix such as epoxy resin, causing the bond between CNF and the matrix to be weak. CNF is modified using the acetylation method to increase compatibility with the epoxy matrix, where the hydroxyl groups in CNF are replaced with hydrophobic acetyl groups. The aim of this research is to make acetylated-cellulose nanofibers (ACNF) from sisal fibers and apply them as reinforcement for unidirectional epoxy/sisal fiber/ACNF hybrid composites.

Sisal fiber, as a source of CNF synthesis, was obtained from PT. Sumbawa Bangkit Sejahtera, West Nusa Tenggara. Epoxy resin and EPH 555 type hardener were used as the composite matrix. In the first stage, the acetylation process is carried out by mixing the bleached sisal powder (60 mesh) and acetic anhydride with variations (45, 55, and 65 mL) using a sulfuric acid catalyst (0.1 mL) at a temperature of 50°C for 60 minutes. Next, the acetylated sisal powder pulp was blended using a high-speed blender (37,000 rpm) for 30 minutes in 1 L of distilled water to produce acetylated nanocellulose fibers (ACNF). In the second stage, Sisal fiber is given various treatments of sodium hydroxide and/or acetic anhydride. Next, the chemically treated fibers with the best physical, mechanical, and thermal properties are used to make unidirectional epoxy/sisal fiber composites. In the third stage, the ACNF obtained was then used to reinforce unidirectional epoxy/sisal fiber/ACNF hybrid composites with ACNF variations (0; 0.5; 0.75, and 1 wt.%). The composite was made using the hot press method at a pressure of 1 MPa, temperature of 90°C, and for 30 minutes. The characteristics of ACNF and composites were analyzed using FT-IR, XRD, and SEM, while the thermal properties were evaluated using TGA. The mechanical properties of fibers and composites are determined using tensile tests, fiber pull-out tests, bending tests, impact tests, and short beam shear tests.

The results of the first stage of research showed that the optimum volume of acetic anhydride was achieved at 55 mL, which produced ACNF with a DS value of 0.5, crystallinity index of 77%, diameter of 87.48 nm, maximum degradation temperature of 351°C, and contact angle with water 37.7°. The results of the second research stage showed that the optimum chemical treatment of the fiber was obtained using the acetylation method. Fibers with a tensile strength of 702 MPa, a tensile modulus of 44.5 GPa, an interfacial shear strength against epoxy resin of 25 MPa, and a maximum degradation temperature of 348°C were obtained. The results of the third research stage showed that adding ACNF improved the physical, mechanical, and thermal properties of unidirectional epoxy/sisal fiber composites. The optimal ACNF content in the unidirectional epoxy/sisal fiber/ACNF hybrid composite was achieved at 0.5 wt.%, which resulted in tensile strength of 154.14

MPa, flexural strength of 149.95 MPa, interfacial strength of 21.41 MPa, and impact toughness of 20.92 kJ/m². Overall, it can be concluded that the unidirectional epoxy/sisal fiber/ACNF hybrid composite has great potential as a base material for semi-structural components.

Keywords: Acetylated cellulose nanofibers, sisal fibers, epoxy, hybrid composites