

INTISARI

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah lignoselulosa yang melimpah dan kaya akan selulosa, sehingga berpotensi besar sebagai bahan baku nanokristalin selulosa (CNC). Proses isolasi CNC umumnya menggunakan hidrolisis kimiawi, namun metode ini memiliki keterbatasan efisiensi dan dampak lingkungan. Kombinasi hidrolisis enzimatis dan kimiawi menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan efisien karena memanfaatkan keunggulan kedua metode secara sinergis. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengisolasi CNC dari TKKS menggunakan metode kombinasi enzimatis- kimiawi dengan target pencapaian indeks kristalinitas >70%, ukuran partikel <100 nm, dan yield >60%, serta mengevaluasi sifat fungsional CNC untuk aplikasi sebagai bahan penguat biokomposit film. Metode hidrolisis yang digunakan terdiri dari dua tahap, yaitu hidrolisis enzimatis menggunakan enzim endoglukanase dan hidrolisis kimiawi menggunakan asam sulfat.

Tahapan penelitian meliputi: 1) pretreatmen selulosa TKKS; 2) kajian faktor kondisi proses hidrolisis kimiawi dengan variasi suhu (30-80 °C), waktu (15-150 menit), dan konsentrasi asam sulfat (10-50%); 3) kajian faktor kondisi proses hidrolisis enzimatis dengan variasi konsentrasi enzim (20-100 µL) dan lama waktu (12-60 jam) hidrolisis enzimatis. Pada masing-masing tahapan tersebut dilakukan analisis yield kristalin selulosa TKKS dan indeks kristalinitasnya yang digunakan sebagai parameter kondisi optimal hidrolisis; 4) kajian mekanisme hidrolisis kombinasi enzimatis-kimiawi berdasarkan karakteristik CNC dari pengujian XRD, FTIR, Morfologi SEM, dan PSA. Rancangan penelitian menggunakan pola rancangan percobaan faktorial bertahap bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimal dari setiap variabel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses hidrolisis asam secara signifikan dipengaruhi oleh suhu, waktu, dan konsentrasi asam sulfat. Hidrolisis asam pada suhu tinggi (80 °C) dapat meningkatkan indeks kristalinitas, namun menurunkan yield kristalin selulosa. Sementara itu, pada konsentrasi asam sulfat tinggi (50%) juga menghasilkan indeks kristalinitas tinggi, namun menyebabkan penurunan yield kristalin selulosa. Kondisi proses optimum metode hidrolisis kombinasi menggunakan enzim endoglukanase konsentrasi 40 µL selama 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan hidrolisis kimiawi menggunakan asam sulfat 20% pada suhu 40 °C selama 30 menit. Nanokristalin selulosa TKKS yang diperoleh memiliki indeks kristalinitas sebesar 78,13% dan yield kristalin selulosa sebesar 99,10%.

Mekanisme hidrolisis selulosa terkait dengan pemutusan ikatan glikosidik yang menghubungkan unit glukosa dalam rantai selulosa. Hidrolisis asam berlangsung secara agresif memutus ikatan pada daerah amorf, sehingga menghasilkan serat yang lebih pendek dan meningkatkan indeks kristalinitas, namun dapat merusak sebagian struktur kristalin. Sebaliknya, hidrolisis enzimatis lebih selektif, memutus ikatan pada daerah amorf, tetapi tetap mempertahankan struktur kristalin yang lebih teratur dan menghasilkan CNC dengan ukuran partikel yang lebih seragam. serta menghasilkan CNC dengan ukuran yang lebih seragam. Aplikasi CNC TKKS sebagai komposit biopolimer film dengan konsentrasi 1-10% menghasilkan perubahan TS dan elongasi serta perubahan kemampuan menahan uap air (WVP), yang menunjukan bahwa CNC TKKS berpotensi sebagai bahan penguat dalam aplikasi biofilm berbasis biopolimer.

Kata kunci: Biokomposit, CNC, Hidrolisis, Selulosa, TKKS

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) are abundant lignocellulosic waste and rich in cellulose, thus having great potential as a raw material for nanocrystalline cellulose (CNC). The combination of enzymatic and chemical hydrolysis is a more environmentally friendly and efficient alternative because it utilizes the advantages of both methods synergistically. This study generally aims to isolate CNC from OPEFB using a combination of enzymatic-chemical methods with the target of achieving a crystallinity index of >70%, particle size <100 nm, and yield >60%, as well as evaluating the functional properties of CNC for application as a reinforcing material for biocomposite films. The hydrolysis method used consists of two stages, namely enzymatic hydrolysis using endoglucanase enzymes and chemical hydrolysis using sulfuric acid.

The research stages are as follows: 1) pretreatment of OPEFB cellulose; 2) study of sulfuric acid hydrolysis process conditions on crystalline isolation of OPEFB cellulose, with temperature variations (30-80 °C), time (30-150 minutes), and sulfuric acid concentration (10-50%); 3) study of the process conditions of the enzymatic hydrolysis on the combined crystalline isolation of OPEFB cellulose, with variation of enzyme concentration (20-100 µL) and time (12-60 hours) of enzymatic hydrolysis. At this stage, the yield of crystalline OPEFB cellulose and its crystallinity index were analysed, and these were used as parameters for optimal hydrolysis conditions. The subsequent stage of the study involved the investigation of the combination hydrolysis mechanism based on CNC characteristics from XRD, FTIR, SEM morphology, and PSA testing. The research design employs a phased factorial experimental design pattern to obtain the optimal conditions of each variable.

The results showed that temperature, time, and sulfuric acid concentration significantly affected the acid hydrolysis process. Acid hydrolysis at high temperature (80 °C) increased the crystallinity index, but decreased the yield of crystalline cellulose. While the high concentration of sulfuric acid (50%) also resulted in a high crystallinity index, it caused a decrease in crystalline cellulose yield. The optimum process conditions of the combined hydrolysis method used an endoglucanase enzyme concentration of 40 µL for 24 hours, followed by chemical hydrolysis using 20% sulfuric acid at 40 °C for 30 minutes. The nanocrystalline cellulose obtained from OPEFB has a crystallinity index of 78.13% and a crystalline cellulose yield of 99.10%.

The mechanism of cellulose hydrolysis in this study is related to the breaking of glycosidic bonds connecting glucose units in the cellulose chain. Acid hydrolysis aggressively breaks bonds in amorphous regions, resulting in shorter fibres and increased crystallinity index, but can damage some crystalline structures. In contrast, enzymatic hydrolysis is more selective, breaking bonds in amorphous regions while maintaining a more regular crystal structure and producing CNCs with a more uniform particle size. Combining the enzymatic-chemical hydrolysis method effectively increases the crystalline cellulose yield and cellulose crystallinity index of OPEFB and produces CNCs with a more uniform size. Application of OPEFB CNCs as biopolymer film composites with 1-10% concentrations resulted in changes in tensile strength and elongation and changes water vapour permeability (WVP).

Keywords: Biocomposite, Cellulose, CNC, Hydrolysis, OPEFB