

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

eac5bb7184b344a86d45bc2a694b020b79f8f4fd8f457464cdc7628e5c2debaa

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.



**SINTESIS NANOKITOSAN TERMODIFIKASI NATRIUM KLORIDA DAN APLIKASINYA SEBAGAI PENGAWET KAYU SENGON (*Falcataria moluccana*) (Synthesis of Nanochitosan Modified with Sodium Chloride and Its Application as Sengon Wood (*Falcataria moluccana*) Preservative)**

Annisa Primaningtyas<sup>1</sup>, Tomy Listyanto<sup>1</sup>, dan Ganis Lukmandaru<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada  
Jalan Agro No. 1 Bulaksumur, Yogyakarta 55281

**ABSTRACT**

Chitosan is a natural biopolymer material derived from chitin which can be used as an environmentally friendly natural preservative. In this study, nanometer-sized chitosan (nanochitosan) modified with NaCl was used as a sengon wood (*Falcataria moluccana*) preservative. The NaCl addition aimed to make the nanoparticle stable by making the particles shrink and compact which was affected by chitosan concentration and the dispersion storage time. This study applied nanochitosan as a wood preservative by observing the concentration of chitosan and the storage time factor of nanochitosan dispersion. The samples were tested its anti-termite properties against dry wood termites (*Cryptotermes cynocephalus* Light), observed the morphology and size of nanochitosan in wood by Scanning Electron Microscopy (SEM) and particle size analyzer (PSA). ANOVA results showed no significant effect of concentration and storage time factors on preservation test parameters, but interesting things were found in this study. The particle size of the preservative affected the distribution on the surface. Samples preserved with nanochitosan with varying sizes had termite bites that were evenly distributed throughout the surface. On the other hand, samples preserved with uniformly sized nanochitosan had centered termite bites in several spots of surfaces. It was due to the particle sizes diversity influenced by storage time which provokes the agglomeration and determines the particles distribution in the preservative dispersion and wood surfaces.

**Keywords:** nanochitosan, stability, termite, wood preservative

**ABSTRAK**

Kitosan merupakan material biopolymer alami turunan dari kitin yang dapat digunakan sebagai pengawet alami yang ramah lingkungan. Pada penelitian ini kitosan (nanochitosan) berukuran nanometer yang dimodifikasi dengan NaCl digunakan sebagai pengawet kayu sengon (*Falcataria moluccana*). Penambahan NaCl bertujuan agar nanopartikel stabil dengan membuat partikel mempunyai ukuran yang lebih kecil dan padat di mana kestabilan dipengaruhi oleh konsentrasi kitosan dan lama penyimpanan dispersi nanochitosan. Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan nanochitosan sebagai pengawet kayu dengan memperhatikan konsentrasi kitosan dan faktor waktu penyimpanan terhadap dispersi nanochitosan. Sampel diuji sifat anti rayapnya terhadap rayap kayu kering (*Cryptotermes cynocephalus* Light), pengamatan morfologi dan ukuran nanochitosan pada kayu dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan particle size analyzer (PSA). Meskipun hasil ANOVA menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan terhadap faktor konsentrasi dan lama penyimpanan terhadap parameter uji pengawetan, terdapat hal menarik yang ditemukan dalam penelitian ini. Ukuran partikel bahan pengawet mempengaruhi distribusi pada permukaan kayu. Sampel yang diawetkan dengan nanochitosan dengan ukuran bervariasi memiliki gigitan rayap yang tersebar merata di seluruh permukaan. Di sisi lain, sampel yang diawetkan dengan nanochitosan berukuran seragam memiliki gigitan rayap terpusat di beberapa titik permukaan. Hal ini disebabkan oleh keragaman ukuran partikel yang dipengaruhi oleh waktu penyimpanan menentukan proses aglomerasi dan persebaran nanochitosan di dalam dispersi dan permukaan kayu.

**Kata kunci:** nanochitosan, stabilitas, rayap, pengawet kayu

**Article Info**

\*Corresponding Author : annisa.p@ugm.ac.id (Annisa Primaningtyas)  
Articel History : Received 9 July 2021; received in revised form 2 September 2021; accepted 7 February 2022; Available online since 30 April 2022  
How to cite this article : Primaningtyas, Annisa; Listyanto, Tomy & Lukmandaru, Ganis. (2022). Sintesis Nanochitosan Termodifikasi Natrium Klorida Dan Aplikasinya Sebagai Pengawet Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*). *Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak*, 6(1):29-44. DOI : <http://doi.org/10.20886/jpkf.2022.6.1.29-43>

Read Online



Scan this QR code by your mobile device to read online



©JPKF-2021. Open access under CC BY-NC-SA license

## I. PENDAHULUAN

Kitosan merupakan senyawa biopolimer alami yang dapat digunakan sebagai bahan pengawet. Kitosan bersifat *non-toxic, biodegradable*, dan *biocompatible* sehingga aman bagi lingkungan (Uragami & Tokura, 2006). Senyawa ini merupakan polisakarida alami turunan dari kitin dan banyak digunakan pada industri pangan, farmasi, kosmetik, dan bioteknologi (Berger *et al.*, 2004). Dalam aplikasi yang lebih luas, senyawa ini dapat digunakan pula sebagai bioinsektisida pada kayu yang ramah lingkungan (Chittenden and Singh, 2009).

Beberapa penelitian mengenai kitosan sebagai bahan pengawet kayu sudah pernah dilakukan sebelumnya. Eikenen *et al.* (2005) dan Alfredsen (2011) meneliti tentang efek berat molekul kitosan terhadap efektivitasnya dalam mencegah serangan jamur pada kayu *Pinus sylvestris* L. Gorgij *et al.* (2014) dan Liibert *et al.* (2012) mencoba memodifikasi kitosan dengan  $KNO_2$  dan *oil treatment* pasca pengaplikasian kitosan pada kayu untuk mengurangi pertumbuhan jamur *Coniophora puteana*, *Trametes versicolor*, dan *Penicillium spp.* Uji coba kitosan sebagai anti rayap pernah dilakukan sebelumnya oleh Arinana dan Rismayadi (2009) menunjukkan kitosan dengan konsentrasi 0,5% mengakibatkan pengaruh yang signifikan terhadap mortalitas rayap tanah *Coptotermes curvignathus*. Gaol *et al.* (2015) membuktikan bahwa pertumbuhan rayap *Coptotermes curvignathus* Holmgren dapat dihambat dengan sempurna oleh perlakuan kitosan. Penelitian yang dilakukan oleh Taufan dan Zulfahmi (2010) kitosan dengan konsentrasi 5% dalam asam asetat 2% dengan pH 6 terbukti dapat digunakan sebagai bio termitisida.

Senyawa kitosan mempunyai gugus amin

dengan pKa 6.2-7 dan dapat larut pada larutan asam. Kitosan dapat dimodifikasi menjadi bentuk nanopartikel (nanokitosan) untuk meningkatkan sifat fisiknya. Nanokitosan memiliki kelebihan berupa ukuran yang kecil sehingga dapat lebih mudah untuk menembus pori-pori kayu (Lahtela *et al.*, 2013). Sintesis nanokitosan dapat dilakukan dengan metode gelasi ionik yaitu menggunakan *crosslinker* berupa sodium tripolifosfat (TPP). Kitosan dilarutkan pada larutan asam asetat sehingga gugus amino kitosan mendapatkan donor proton sehingga membentuk gugus  $-NH_3^+$  (Xu & Du, 2003) yang merupakan *polyelectrolyte* kationik larut dalam air. Sintesis nanokitosan terjadi karena adanya interaksi elektronik ikatan silang antara gugus amino terprotonasi dari kitosan dengan ion fosfat bermuatan negatif dari TPP. Namun, kekurangan nanokitosan yang dibuat dengan metode gelasi ionik adalah tingkat stabilitasnya yang rendah yaitu mudah teraglomerasi atau menggabung dengan cepat (Rampino *et al.*, 2013). Ion garam NaCl digunakan untuk meningkatkan stabilitas partikel dalam dispersi selama masa penyimpanan (Huang & Lapitsky, 2011). Stabilitas nanokitosan dalam dispersi akan tercapai 7 hari setelah waktu sintesis (Primaningtyas *et al.*, 2017). Faktor yang diamati pada penelitian ini adalah konsentrasi kitosan merupakan faktor yang berpengaruh baik terhadap ukuran partikel (Tsai *et al.*, 2011) maupun dalam pengawetan yang nantinya berpengaruh terhadap stabilitas dispersi partikel dan sifat keterawetan kayu yang diawetkan dengan nanokitosan.

Jenis kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu sengon (*Falcataria moluccana*). Sengon merupakan jenis tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing species*) dan termasuk dalam golongan kelas IV sehingga rentan terhadap serangan organisme perusak

kayu. Salah satu jenis organisme perusak yang sering ditemukan pada kayu di daerah tropis ialah rayap kayu *Cryptotermes cynocephalus* Light (Martawijaya *et al.*, 2005). Dengan melihat kondisi tersebut, maka perlu adanya pengawetan kayu sengon yang ramah lingkungan supaya tahan terhadap serangan rayap. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah aplikasi nanokitosan yang dimodifikasi dengan ion garam NaCl sebagai pengawet kayu sengon dengan faktor waktu simpan nanokitosan dan konsentrasi kitosan.

## II. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan untuk membuat dispersi nanokitosan meliputi bubuk kitosan (derajat deasetilasi 94,88%), asam asetat 99,85% (Sigma Aldrich, USA), dan sodium tripolifosfat atau TPP (Sigma Aldrich, USA) dan NaCl (Sigma Aldrich, USA) sebagai bahan tambahan agar dispersi menjadi lebih stabil. Sampel uji kayu yang digunakan adalah sengon berusia 7 tahun. Rayap kayu kering *C. cynocephalus* pada stadium nimfa yang aktif dan sehat digunakan untuk pengujian sifat pengawetan. Bahan pendukung lainnya meliputi zat pewarna untuk dispersi nanokitosan, lem kayu untuk merekatkan tabung kaca atau akrilik, dan parafin digunakan saat perendaman sampel kayu dengan bahan pengawet nanokitosan.

Alat yang digunakan untuk pembuatan sampel uji meliputi gergaji, amplas, dan kaliper dengan ketelitian 0,001 cm sedangkan alat untuk pembuatan dispersi nanokitosan adalah gelas beker 2L, pengaduk listrik, dan *magnetic stirrer* serta neraca analitis digital, oven, kuas, wadah, tabung kaca, kotak karton, dan pemberat digunakan untuk perendaman dan pengujian sampel kayu.

Adapun tahap penelitian adalah sebagai berikut:

### 1. Persiapan Sampel Kayu

Sampel kayu yang digunakan dibuat dengan mengacu pada *Protocol for Assessment for Wood Preservatives* (Anonim, 2007). Balok kayu yang didapat dibuat pola sampel uji dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Sampel uji diambil secara acak dengan memperhatikan lingkaran tumbuh yang sama. Kemudian sampel uji dilapisi parafin pada permukaan transversal dan radialnya untuk mencegah peresapan ganda oleh bahan pengawet. Sampel uji yang sudah siap kemudian dikeringkan sampai kondisi keringudara. Uji berat jenis dan kadar air dilakukan sebagai data pendukung menggunakan 9 buah sampel berukuran 2 cm x 2 cm x 2 cm dengan mengacu pada *British Standard 373* (Anonim, 1957).

### 2. Penyiapan Dispersi Nanokitosan

Dispersi kitosan dibuat menggunakan konsentrasi 0,2%; 0,4%; 0,6%; dan 0,8% (b/v) yang dilarutkan dalam asam asetat yang telah diencerkan menjadi 1% (v/v). Konsentrasi tersebut dipilih dengan mempertimbangkan referensi yang ada dan hasil dari penelitian pendahuluan. Penggunaan kitosan dalam larutan asam sebagai pengawet kayu juga pernah dilakukan oleh Arinana dan Rismayadi (2009) dengan menggunakan konsentrasi 0,5% pada kayu Pinus merkusii, sedangkan Taufan dan Zulfahmi (2010) menggunakan konsentrasi 5% sebagai pengawet kayu yang diujikan pada rayap *Macrotermes gilvus Hagen*. Menurut Jonassen *et al.* (2012), konsentrasi kitosan yang tinggi dapat meningkatkan kecenderungan partikel untuk teragregasi dan tersedimentasi sehingga menyebabkan ketidakstabilan dalam dispersi nanokitosan. Penelitian oleh Huang dan Lapitsky (2011) dan Primaningtyas *et al.* (2017) menggunakan konsentrasi sebesar 0,1%, dan 0,2% untuk meneliti stabilitas ukuran partikel nanokitosan dalam larutan NaCl. Selain itu, hasil penelitian pendahuluan

menunjukkan bahwa konsentrasi 0,2 sampai dengan 0,8% menghasilkan partikel kitosan berukuran nanometer. Pembuatan dispersi nanokitosan dilakukan dengan menambahkan larutan TPP dengan konsentrasi 0,84 g/L ke dalam dispersi kitosan-asam asetat sehingga terjadi *crosslinking* yang menyebabkan kitosan menjadi berukuran nanometer. Dispersi nanopartikel kitosan ini kemudian diaduk selama 1 jam. Kemudian NaCl dengan konsentrasi 3% (b/v) terhadap volume dispersi nanokitosan ditambahkan ke dalam dispersi tersebut sambil dilakukan pengadukan sampai homogen. Nanokitosan dengan modifikasi NaCl yang terbentuk kemudian disimpan dalam dengan jangka waktu 0 hari, 3 hari, dan 7 hari sebelum diaplikasikan ke kayu sengon.

### 3. Perendaman Sampel Uji

Metode pengawetan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah metode perendaman dingin selama 4 hari. Nanokitosan yang sudah dibuat dan disimpan selama 0 hari, 3 hari, dan 7 hari, dilakukan pewarnaan terlebih dahulu dengan zat pewarna kemudian disiapkan ke dalam wadah khusus. Kayu sebelum pengawetan ditimbang sebagai massa awal kemudian dimensi kayu diukur (panjang, lebar, dan tebal). Setelah itu sampel uji dimasukkan tempat pengawet setelah beratnya konstan sesuai dengan kondisi udara. Sampel dalam wadah yang berisi dispersi nanokitosan disusun dan direndam selama 4 hari di mana sisi tangensial diletakkan menghadap ke atas dan bawah. Bagian atas sampel-sampel tersebut diberi pemberat agar semua bagian sampel terendam seluruhnya oleh nanokitosan.

### 4. Pengujian keawetan terhadap serangan rayap

Sampel uji yang sudah direndam dengan nanokitosan kemudian diseka dengan kain basah dan ditimbang sebagai massa setelah diawetkan. Selanjutnya, sampel kayu sengon

tersebut dikeringkan sampai kondisi kering udara. Apabila kadar air sampel sudah setimbang dengan kelembaban ruangan, sampel uji tersebut dipasang tabung kaca pada bagian atas. Tabung kaca tersebut kemudian diisi dengan rayap kayu kering *C. cynocephalus* pada stadium nimfa sebanyak 50 ekor dan disimpan dan diamati selama 28 hari pada suhu kamar di dalam kotak karton ukuran 32,5 x 22 x 11,5 cmdan ditempatkan dalam ruang gelap. Sampel-sampel uji tersebut dijaga dari berbagai pemangsa rayap, seperti semut, cicak, laba-laba, dan sebagainya. Sampel kontrol digunakan sebagai pembanding yang merupakan sampel tanpa perlakuan bahan pengawet. Sampel tersebut kemudian diumpankan ke rayap kayu kering dan diamati parameter kematian rayapnya.

Desain eksperimen yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial menggunakan dua faktor yaitu konsentrasi kitosan (K) dan waktu penyimpanan dispersi nanokitosan (T). Konsentrasi kitosan yang digunakan terdiri dari empat (4) level yakni 0,2% b/b; 0,4% b/b; 0,6% b/b; dan 0,8% b/b terhadap total bahan; sedangkan faktor waktu penyimpanan terdiri dari tiga (3) level yaitu 0, 3, dan 7 hari dengan tiga (3) kali pengulangan untuk tiap perlakuan.

Parameter keterawetan kayu yang diamati adalah absorpsi dan retensi sedangkan parameter sifat anti-rayap meliputi mortalitas rayap dan pengurangan berat. Data dari hasil dianalisis dengan uji ANOVA ( $\alpha = 5\%$ ) dan pengujian lanjutan menggunakan uji Tukey HSD untuk mengetahui perlakuan yang menunjukkan perbedaan yang signifikan untuk masing-masing faktor.

Sebagai data pendukung, dilakukan analisis ukuran partikel menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan untuk mengetahui jari-jari rerata dan distribusi

ukuran nanopartikel. Analisis dilakukan menggunakan alat PSA Horiba SZ-100 dengan prinsip kerja pengukuran adalah *dynamic light scattering* (DLS). Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menggunakan JEOL JSM-6510LA juga dilakukan untuk mengetahui morfologi partikel nanokitosan yang terbentuk.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Morfologi dan Ukuran Nanokitosan

Hasil analisis ukuran nanopartikel

**Tabel 1. Ukuran nanokitosan rata-rata (nm)**  
*Table 1. The average sizes of nanochitosan (nm)*

Waktu penyimpanan (hari) ( <i>Storage times(day)</i> )	Konsentrasi kitosan ( <i>Chitosan concentration</i> )			
	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%
0	468,1	970,6	2.430,2	4.683,1
3	334,4	877,8	1.021,3	3.109,6
7	395,8	800,2	1.131,9	2.844,6

Pembentukan mikropartikel ini dapat menyebabkan partikel mengalami flokulasi atau aglomerasi sehingga terjadi pengendapan. Gaya tolak-menolak elektrostatis antar partikel yang lemah menyebabkan ketidakstabilan pada dispersi sehingga terjadi pengendapan nanokitosan (Fan *et al.*, 2012). Pengendapan ini terlihat pada dispersi nanokitosan dengan konsentrasi 0,6 dan 0,8% yang menghasilkan mikropartikel dengan ukuran lebih dari 1.000 nm.

Gambar 1 menunjukkan distribusi ukuran partikel nanokitosan yang digunakan sebagai bahan pengawet pada berbagai level konsentrasi dan waktu simpan dispersi. Hampir seluruh nanokitosan tanpa penyimpanan memiliki rentang ukuran partikel yang lebar yakni berukuran 1-10.000 nm. Secara keseluruhan, semakin lama waktu penyimpanan dispersi nanokitosan, maka persebaran ukuran partikel semakin sempit. Hal

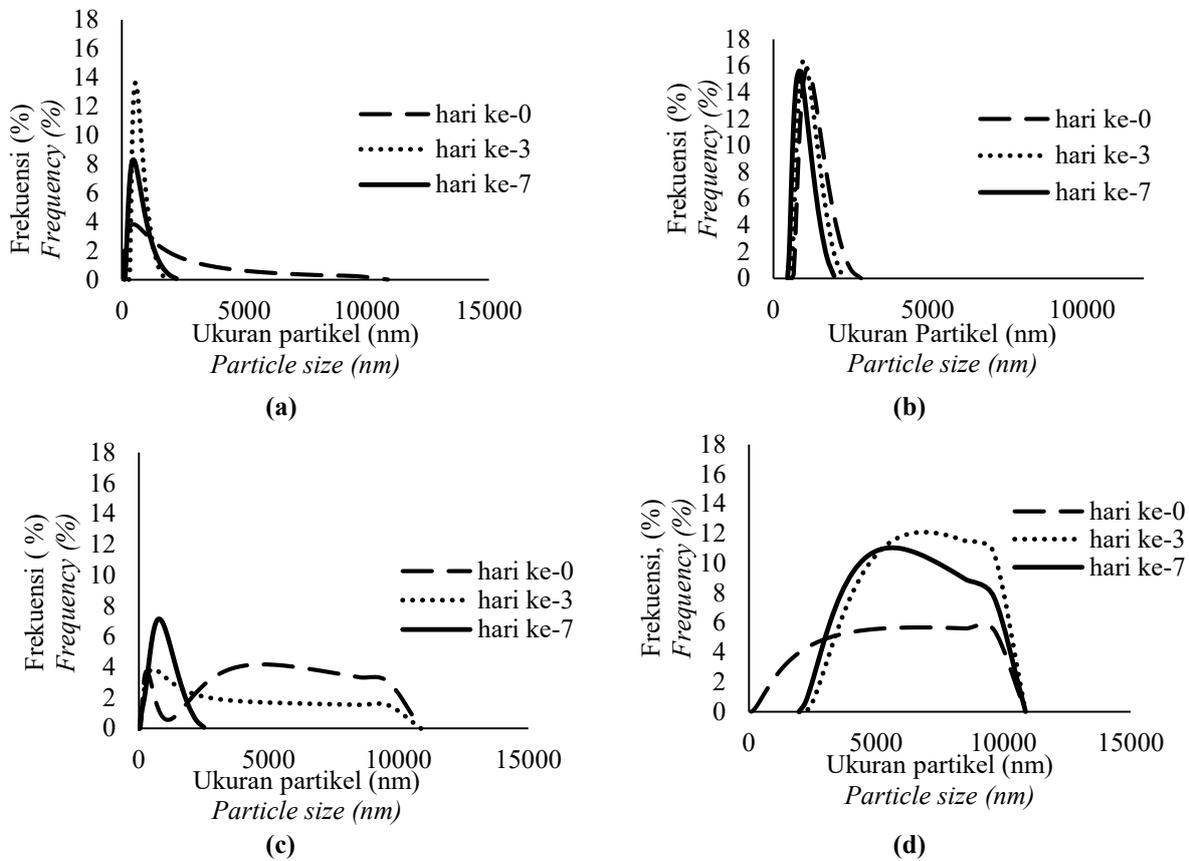
kitosan rata-rata disajikan pada Tabel 1. Konsentrasi kitosan yang semakin besar menghasilkan ukuran partikel nanokitosan yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan Tsai *et al.* (2011) dan Fan *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa konsentrasi kitosan yang tinggi mengakibatkan molekul kitosan berdekatan yang cenderung menyebabkan terjadinya tautan silang antar molekul sehingga dapat membentuk partikel yang lebih besar (mikropartikel).

ini terlihat dari dispersi nanokitosan dengan waktu penyimpanan selama 3 hari yang menunjukkan distribusi ukuran partikel yang lebih sempit dari nanokitosan tanpa penyimpanan, sedangkan rentang ukuran partikel paling sempit ditunjukkan oleh nanokitosan dengan penyimpanan 7 hari. Ini menunjukkan bahwa penambahan NaCl dapat memperbesar homogenitas ukuran partikel hingga penyimpanan hari ke-7 sesuai dengan penelitian Primaningtyas *et al.* (2017) yang membuktikan bahwa NaCl dapat memperkecil variasi ukuran partikel di hari ke-7 dan konstan hingga hari ke-141.

Berdasarkan Gambar 1, distribusi ukuran partikel nanokitosan dengan konsentrasi 0,4% menghasilkan distribusi ukuran partikel paling sempit yaitu 513-2837 nm. Hasil ini diduga karena adanya interaksi gaya tolak menolak antar partikel yang setimbang berlangsung di dalam dispersi sehingga

nanopartikel dalam dispersi cenderung stabil selama periode penyimpanan (Fan *et al.*, 2012). Nanokitosan dengan variasi waktu penyimpanan dan level konsentrasi kemudian digunakan untuk merendam sampel kayu sengon sehingga menyebabkan nanopartikel yang berada dalam dispersi menempel di

permukaan. Distribusi ukuran partikel nanokitosan tanpa waktu penyimpanan (0 hari) sangat lebar. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel yang sangat beragam dan cenderung teraglomerasi atau menggumpal di beberapa bagian dispersi nanokitosan.

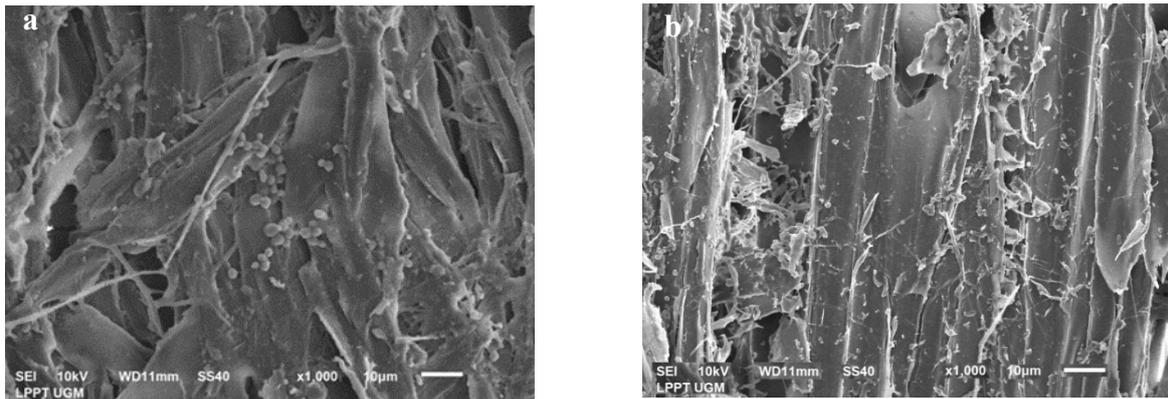


**Gambar 1. Distribusi ukuran partikel dengan konsentrasi kitosan (a) 0,2% (b) 0,4% (c) 0,6% (d) 0,8%**

**Figure 1. Particle size distribution at various concentrations of chitosan (a) 0.2% (b) 0.4% (c) 0.6% (d) 0.8%**

Gambar 2 merupakan analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang menunjukkan morfologi nanokitosan pada kayu sengon. Berdasarkan kedua gambar tersebut dapat diamati partikel nanokitosan yang terlihat menutupi permukaan pada penampang tangensial dari kayu. Nanopartikel dengan waktu penyimpanan 0 hari terlihat menempel di permukaan tetapi ada beberapa tempat yang tidak tertutupi partikel

(Gambar 2a). Hal ini disebabkan oleh aglomerasi partikel di beberapa titik karena ukuran yang tidak seragam. Di sisi lain, permukaan kayu hampir seluruhnya tertutupi partikel nanokitosan dengan penyimpanan 7 hari yang berukuran seragam (Gambar 2b). Hal ini terjadi karena dispersi nanokitosan memiliki cukup waktu untuk menstabilkan ukuran partikel sehingga dapat tersebar di seluruh bagian dengan ukuran yang seragam.



**Gambar 2. Analisis SEM nanokitosan 0,4% waktu penyimpanan (a) 0 hari (b) 7 hari**  
*Figure 2. SEM analysis of 0.4% nanochitosan with the storage time of (a) 0 days (b) 7 days*

Perendaman kayu menggunakan nanokitosan ini juga berpengaruh terhadap tekstur permukaan dari kayu yang diawetkan. Hasil pengamatan berupa sentuhan menunjukkan bahwa kayu yang diawetkan dengan nanokitosan memiliki permukaan yang lebih halus. Hal tersebut disebabkan oleh adanya lapisan transparan nanokitosan yang menutupi permukaan. Ornum (1992) menyatakan bahwa pengaplikasian lapisan

kitosan pada permukaan kayu dapat menutupi pori dan serat kayu. partikel-partikel nanokitosan pada bahan pengawet menempel dan menutupi lubang kosong pada dinding sel kayu. Setelah perendaman, sampel kayu tersebut diuji sifat anti rayapnya dengan cara pengumpulan ke rayap kayu kering selama 28 hari waktu pengamatan. Bentuk gigitan rayap pada sampel tersaji pada Gambar 3.



**Gambar 3. Uji serangan rayap pada sampel uji berpengawet nanokitosan dengan waktu penyimpanan (a) 0 hari (b) 7 hari**  
*Figure 3. Termite attack test on samples treated by nanochitosan with the storage time of (a) 0 days (b) 7 days*

Dari hasil pengamatan, terdapat hubungan antara distribusi ukuran partikel dan waktu penyimpanan terhadap pola gigitan rayap kayu kering yang diumpankan pada sampel kayu sengon. Nanokitosan tanpa waktu penyimpanan menghasilkan bekas gigitan rayap yang cenderung merata di area pengumpanan. Hal ini diduga oleh adanya nanopartikel kitosan yang terdapat pada permukaan tidak merata karena adanya variasi ukuran partikel yang sangat beragam sehingga rayap makan hampir merata di seluruh permukaan kayu.

Nanopartikel dengan penyimpanan 7 hari dengan distribusi ukuran partikel paling sempit menutupi hampir di seluruh permukaan sampel kayu dan lebih dapat meresap ke dalam kayu karena ukurannya yang kecil dan seragam. Selama periode waktu pengumpanan, rayap kayu kering memakan sampel kayu tersebut hanya pada beberapa titik hingga posisi yang lebih dalam dari permukaan. Hal ini sesuai dengan Sumarni (1988) yang menyatakan bahwa kerusakan kayu oleh bekas gigitan rayap yang agak dalam dan tidak meluas disebabkan oleh pola serangan rayap yang memakan kayu dengan bergantian di tempat yang sama. Menurut Gaol *et al.* (2015), rayap dapat mendeteksi keberadaan kitosan yang melimpah yang terdapat pada permukaan kayu. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengamatan di mana bekas gigitan rayap terdapat di beberapa titik saja. Ini menunjukkan bahwa rayap menghindari nanokitosan pada kayu umpan dan memakan kayu di beberapa tempat yang

tidak tertutupi partikel nanokitosan.

### **B. Absorpsi dan Retensi Bahan Pengawet Serta Mortalitas Rayap**

Pengujian sifat keterawetan kayu yang diawetkan meliputi parameter absorpsi dan retensi bahan pengawet. Absorpsi bahan pengawet adalah jumlah bahan pengawet yang meresap ke dalam kayu dan diekspresikan dengan satuan  $\text{kg/m}^3$ . Nilai absorpsi merupakan pengurangan berat basah setelah pengawetan dengan berat kering udara sebelum pengawetan dan membaginya dengan volume kayu (Hadikusumo, 2004). Retensi yang merupakan jumlah bahan pengawet yang terserap ke dalam sampel uji yang dinyatakan dengan satuan  $\text{kg/m}^3$ . Nilai retensi merupakan selisih nilai antara berat sampel uji setelah proses pengawetan dengan berat sampel sebelum pengawetan pada kondisi kering udara dibagi dengan volume sampel uji (Hadikusumo, 2004).

Mortalitas rayap merupakan parameter untuk mengukur sifat anti rayap dari bahan pengawet. Kematian rayap yang dihitung sebagai persentase antara jumlah rayap yang mati dengan jumlah rayap yang diumpankan ke sampel uji. Parameter ini digunakan untuk menguji tingkat efektivitas dan daya racun bahan pengawet terhadap rayap. Data mortalitas rayap disajikan pada Gambar 4. Hasil pengamatan untuk ketiga parameter tersebut pada berbagai level konsentrasi bahan pengawet dan waktu penyimpanan disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2. Nilai absorpsi dan retensi rata-rata pada variasi konsentrasi ( $\text{kg/m}^3$ )**  
**Table 2. Absorption and retention average values at various concentrations ( $\text{kg/m}^3$ )**

Parameter(Parameters)	Konsentrasi(Concentrations)			
	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%
Absorpsi rerata	69,16	78,27	52,29	60,51
Retensi rerata	8,95	8,88	9,13	8,78

**Tabel 3. Nilai absorpsi dan retensi rata-rata pada berbagai waktu penyimpanan ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )**  
**Table 3. Average absorption and retention values at various storage times ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )**

Parameter(Parameters)	waktu simpan(storage time)		
	0 hari(0 day)	3 hari(3 days)	7 hari(7 days)
Absorpsi rerata	66,99	67,14	61,04
Retensi rerata	9,23	7,85	9,72

Absorpsi bahan pengawet didapatkan setelah kayu yang telah melewati proses perendaman bahan pengawet selama 4 hari kemudian ditimbang beratnya dan dihitung nilai absorpsinya. Nilai rata-rata absorpsi tertinggi untuk perlakuan variasi konsentrasi kitosan dihasilkan pada konsentrasi kitosan 0,4% dengan nilai sebesar  $78,27 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Nilai absorpsi tertinggi yang didapatkan pada konsentrasi 0,4% ini berkaitan dengan hasil pengamatan distribusi ukuran partikel. Nanokitosan berkonsentrasi 0,4% cukup stabil selama 7 hari penyimpanan dan memiliki ukuran partikel yang seragam. Hal ini mengakibatkan partikel yang masuk ke dalam badan kayu semakin banyak sehingga menghasilkan nilai absorpsi rata-rata yang tinggi.

Tren data menunjukkan adanya fluktuasi nilai absorpsi pada variasi konsentrasi yang digunakan di mana rentang nilai absorpsi rata-rata sebesar  $52-78 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Penelitian lain tentang pengawetan kayu dengan kitosan oleh Prayoga (2015) menghasilkan nilai absorpsi sebesar  $56-77 \text{ kg}/\text{m}^3$  dengan variasi konsentrasi kitosan 10%, 20%, dan 30%. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi kitosan yang dipakai pada penelitian ini yaitu dengan kisaran 0,2-0,8% menghasilkan absorpsi hampir sama dengan penelitian Prayoga (2015) yang menggunakan konsentrasi kitosan 12-50 kali lebih besar. Hal ini disebabkan oleh pelarut yang meresap ke dalam kayu lebih banyak dibandingkan dengan nanokitosan saat proses perendaman. Hasil ini sesuai dengan penelitian

oleh Khademibami *et al.* (2020) yang menggunakan nanokitosan sebagai pengawet kayu *southern yellow pine*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan massa sampel kayu hanya dengan perlakuan pelarut asam asetat 1% adalah sebesar 0,974% sedangkan untuk perlakuan dengan nanokitosan-TPP dengan pelarut asam asetat dan NaCl 0,2M sebesar 1,66% dengan penambahan volume sebesar 2,89% sehingga terdapat 0,686% nanokitosan terdapat dalam sampel kayu. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa pelarut asam asetat lebih banyak meresap dibandingkan nanokitosan-garam dalam dispersi bahan pengawet tersebut.

Pada variasi waktu penyimpanan, nilai rata-rata absorpsi diperoleh stabil pada kisaran  $61-67 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Secara umum, tidak tampak perbedaan nilai dari variasi periode penyimpanan yang diteliti. Oleh karena itu, dilakukan ANOVA untuk menganalisis pengaruh level yang diteliti terhadap absorpsi. Hasil menunjukkan bahwa kedua perlakuan yaitu konsentrasi dan lama penyimpanan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai absorpsi bahan pengawet.

Parameter retensi selanjutnya diuji setelah sampel kayu yang direndam bahan pengawet kemudian dikeringkan hingga mencapai berat kering udara. Berdasarkan SNI 03-5010.1-1999 (SNI 03-5010.1, 1999), prasyarat retensi bahan pengawet minimum sebesar  $8,0 \text{ kg}/\text{m}^3$  sedangkan Abdurrohm dan Martono (2002) juga menyatakan retensi bahan pengawet yang dianjurkan bernilai  $5-8 \text{ kg}/\text{m}^3$

dengan metode rendaman dingin supaya dapat mencegah serangan rayap, jamur, dan organisme pemakan kayu lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa retensi nanokitosan pada kayu sengon hampir seluruhnya bernilai di atas  $8 \text{ kg/m}^3$  sehingga telah sesuai dengan standar. Namun, perlu dilakukan ANOVA untuk mengetahui signifikansi dari perlakuan yang diberikan. Berdasarkan hasil yang didapatkan, variasi perlakuan konsentrasi dan waktu penyimpanan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai retensi. Hasil ANOVA dua arah menunjukkan tidak adanya signifikansi nilai retensi terhadap faktor konsentrasi kitosan maupun waktu simpan. Hal ini diduga bahwa pada level kedua faktor yang diamati belum cukup memberikan variasi nilai absorpsi dan retensi. Menurut Hunt dan Garrat (1986), nilai absorpsi berbanding lurus dengan nilai retensi. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini kontras dengan pernyataan dari Hunt dan Garrat (1986) di mana terdapat fluktuasi nilai absorpsi dan retensi. Nanopartikel yang dihasilkan memiliki distribusi ukuran yang relatif beragam. Adanya variasi ukuran partikel tersebut diduga mempengaruhi bahan pengawet yang masuk ke dalam kayu dan menyebabkan fluktuasi nilai absorpsi dan retensi. Parameter absorpsi paling tinggi dihasilkan oleh konsentrasi kitosan 0,4% yang memiliki ukuran rata-rata 800,2-970 nm sedangkan retensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0,6% dan 7 hari penyimpanan dengan ukuran rata-rata partikel 1021–2430 nm.

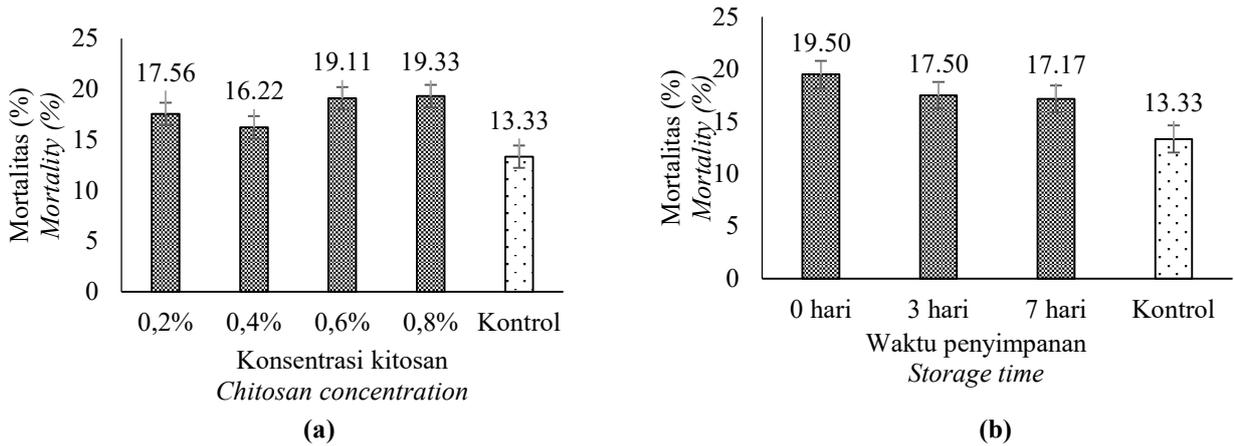
Berdasarkan hasil yang diperoleh, dispersi nanokitosan dengan absorpsi tertinggi yaitu konsentrasi 0,4% memiliki homogenitas ukuran partikel paling tinggi yang berarti memiliki ukuran partikel yang seragam. Konsentrasi kitosan 0,4% menghasilkan absorpsi yang paling tinggi yaitu  $78,27 \text{ kg/m}^3$  tetapi menghasilkan nilai retensi yang rendah

yakni sebesar  $8,88 \text{ kg/m}^3$ . Hal tersebut diduga karena bahan pelarut lebih banyak masuk ke dalam kayu dibandingkan partikel nanokitosan dalam dispersi pengawet.

Nilai retensi rata-rata tertinggi diperoleh pada hari ke-7 yang memiliki homogenitas ukuran partikel tertinggi. Nanokitosan dengan ukuran bervariasi yang dihasilkan dengan waktu simpan 0 hari memiliki absorpsi yang tinggi dan retensi yang rendah. Waktu penyimpanan dispersi bahan pengawet yang semakin lama mengakibatkan ukuran partikel semakin seragam dan ukuran rata-rata yang semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa nanokitosan dengan ukuran yang bervariasi lebih mudah meninggalkan kayu, sebaliknya nanopartikel berukuran seragam lebih mudah tertinggal di dalam kayu.

Konsentrasi 0,6 dan 0,8% menghasilkan nilai absorpsi yang rendah yaitu 52,29 dan  $60,51 \text{ kg/m}^3$  tetapi menghasilkan nilai retensi yang relatif tinggi sebesar 9,13 dan  $8,78 \text{ kg/m}^3$ . Nilai retensi yang tinggi ini diduga disebabkan oleh adanya nanopartikel yang masuk ke dalam kayu lebih banyak dengan ukuran yang sangat beragam karena homogenitas ukurannya yang rendah. Selain itu, adanya sedikit pengendapan partikel pada dispersi nanokitosan yang digunakan selama proses perendaman. Pengendapan tersebut mengakibatkan banyak mikropartikel kitosan yang menempel pada permukaan sampel sehingga menyebabkan nilai retensi tinggi.

Dalam penelitian ini juga diteliti sifat anti rayap dari suatu bahan pengawet, yaitu dengan pengumpanan kayu yang sudah diawetkan ke rayap. Sifat anti rayap yang diamati meliputi mortalitas rayap dan pengurangan berat dari sampel kayu umpan. Pada pengamatan ini terdapat kontrol yang berupa sampel uji tanpa perendaman bahan pengawet juga diumpankan ke rayap.

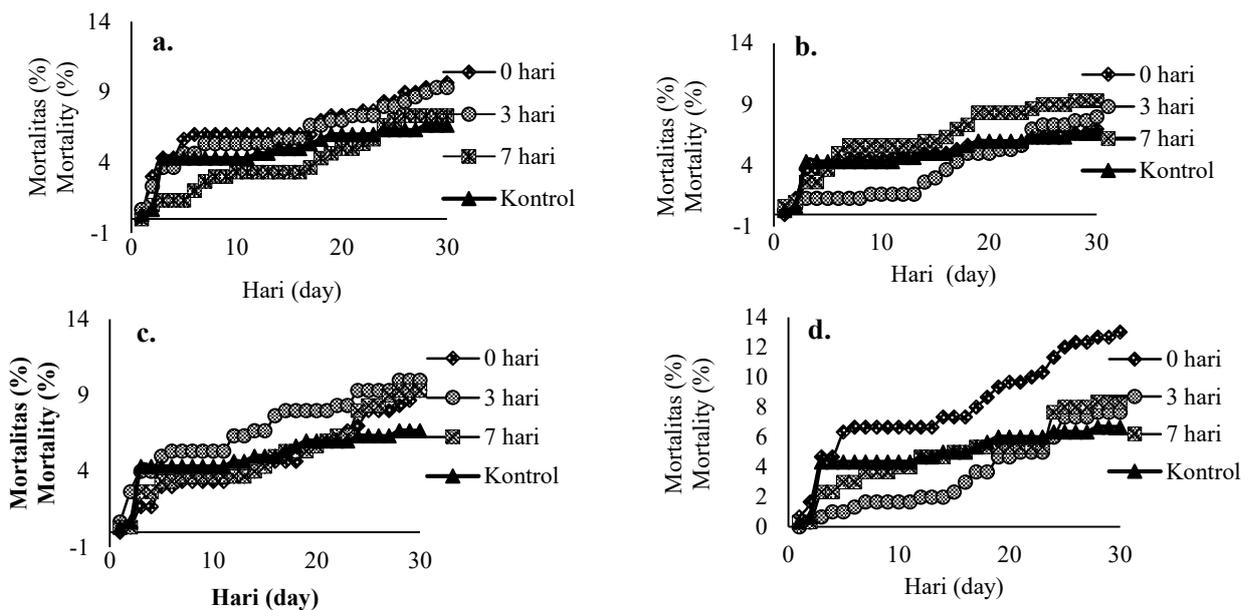


**Gambar 4. Mortalitas rayap rerata berdasarkan (a) variasi konsentrasi (b) dan lama penyimpanan nanokitosan**

**Figure 4. Average termite mortality based on (a) variation in concentration (b) and storage time of nanochitosan**

Pada Gambar 4 terlihat bahwa sampel uji dengan perendaman bahan pengawet dengan semua variasi konsentrasi dan waktu penyimpanan memberikan mortalitas yang lebih tinggi daripada sampel kontrol tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan nanokitosan

cukup dapat mematikan rayap kayu kering. Untuk melihat lebih detail tentang keefektifan nanokitosan dalam menahan serangan rayap kayu kering yang dilihat dari pengamatan mortalitas rayap tiap hari selama 28 hari yang disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5. Mortalitas rayap selama 30 hari pengamatan pada konsentrasi (a) 0,2% (b) 0,4% (c) 0,6% (d) 0,8%**

**Figure 5. Termite mortality for 30 days of observation at a concentration of (a) 0.2% (b) 0.4% (c) 0.6% (d) 0.8%**

Berdasarkan hasil pengamatan, setelah pengaplikasian bahan pengawet ke sampel kayu kematian rayap sangat rendah sampai hari ke-5 selanjutnya baru terlihat peningkatan kematian rayap pada minggu kedua. Hal ini sesuai dengan Taufan dan Zufahmi (2010) yang menyatakan bahwa pergerakan rayap kurang efektif pada minggu pertama pasca aplikasi kitosan dan setelah minggu pertama, beberapa rayap yang tidak dapat bertahan hidup kemudian mati. Kematian rayap ditandai dengan perubahan warna tubuh menjadi lebih gelap dan kehitaman sedangkan sebagian rayap masih aktif bergerak tetapi terjadi pengurangan aktivitas.

Secara umum, angka kematian rayap mengalami kenaikan selama 30 hari pengamatan yang mencapai persentase mortalitas sebesar 16-19%. Menurut Prasetyo dan Yusuf (2005), mekanisme kitosan dalam membunuh rayap dengan *slow action* yaitu membunuh tidak langsung dengan cara mengganggu kinerja protozoa pada sistem pencernaan rayap. Protozoa berfungsi menghasilkan enzim selulase yang digunakan rayap untuk mencerna kayu. Terganggunya protozoa ini mengakibatkan rayap tidak dapat mencernakayu sehingga perlahan rayap akan mati. Pada sampel kontrol juga terdapat rayap yang mati. Hal ini disebabkan oleh penyesuaian diri rayap pada lingkungan yang baru.

Penelitian Arinana dan Rismayadi (2009) menggunakan kitosan sebagai bahan pengawet kayu *Pinus merkusii* untuk mengurangi serangan rayap tanah *Coptotermes curvignathus*. Konsentrasi kitosan sebesar 0,25–1,00 % menghasilkan persentase kematian rayap sebesar 30,1–70,3 %. Hasil yang kontras didapatkan dari penelitian ini di mana nanokitosan dengan konsentrasi 0,2 – 0,8% dapat membunuh rayap sebanyak 16,2 – 19,5% dari rayap umpan. Adanya perbedaan

persentase mortalitas rayap yang didapatkan dari penelitian ini kemungkinan disebabkan oleh adanya perbedaan faktor eksternal dan internal dari kayu yang cukup ekstrim. Faktor eksternal antara lain meliputi suhu, pH, dan kadar air sedangkan faktor internal mencakup umur pohon dan zat ekstraktif pada kayu (Martawijaya *et al.*, 2005). Jenis pohon yang digunakan pada kedua penelitian ini berbeda sehingga mengakibatkan perbedaan persentase mortalitas rayap yang dihasilkan.

Menurut Arinana (2007) kemungkinan mekanisme senyawa kitosan dalam mematikan rayap adalah melalui gangguan terhadap aktivitas enzim pada protozoa yang terdapat pada sistem pencernaan rayap. Gangguan ini menyebabkan berkurangnya kinerja protozoa dalam mencerna makanan. Akibatnya, rayap tidak dapat memperoleh makanan yang dihasilkan sehingga perlahan rayap pun akan mati. Hal ini sesuai dengan Prasetyo dan Yusuf (2005) yang menyatakan bahwa kitosan bersifat nontoksik sehingga tidak langsung membunuh rayap. Hasil yang sama juga terlihat di mana kitosan bersifat perlahan membunuh rayap dan secara umum menghasilkan mortalitas yang tidak terlalu tinggi. Selanjutnya ANOVA dua arah dilakukan terhadap parameter mortalitas untuk mengetahui signifikansi *treatment* yang dilakukan. Dari analisis tersebut, diketahui bahwa pada variasi konsentrasi dan waktu simpan nanokitosan yang digunakan tidak menghasilkan perbedaan nyata pada mortalitas rayap. Hal tersebut menunjukkan bahwa rayap tetap memakan kayu walaupun telah diawetkan dengan nanokitosan. Variasi ukuran partikel yang didapatkan dari konsentrasi dan waktu penyimpanan hanya berpengaruh terhadap pola gigitan rayap pada kayu tetapi tidak berpengaruh pada ketiga parameter uji yaitu absorpsi dan retensi bahan pengawet, serta mortalitas rayap.

#### IV. KESIMPULAN

Pengaplikasian nanokitosan termodifikasi ion garam NaCl sebagai pengawet kayu sengon dengan metode perendaman dingin dapat melapisi permukaan kayu tetapi belum cukup efektif untuk mencegah serangan rayap kayu kering. Hasil ANOVA terhadap kedua perlakuan yaitu konsentrasi dan waktu simpan bahan pengawet menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan dari level perlakuan yang digunakan terhadap parameter absorpsi, retensi, dan mortalitas rayap. Di sisi lain, terdapat hal menarik yang ditemukan yaitubekas gigitan rayap terpusat di beberapa titik dan di posisi agak dalam pada kayu yang diawetkan menggunakan nanokitosan dengan homogenitas ukuran tinggi yaknidengan waktu penyimpanan 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel yang seragam yakni pada penyimpanan 7 hari, nanopartikel akan terdispersi sempurna dan tidak teraglomerasi sehingga merata menutupi permukaan kayu. Rayap menghindari nanokitosan pada sampel dan memakan kayu di beberapa tempat yang tidak tertutupi partikel nanokitosan. Hasil berbeda didapatkan dari kayu berpengawet nanokitosan tanpa waktu penyimpanan di mana gigitan rayap yang merata ditemukan pada hampir seluruh permukaan. Hal ini diduga disebabkan oleh ukuran partikel yang sangat bervariasi dan cenderung menggumpal di beberapa titik sehingga partikel yang terdapat pada permukaan tidak merata dan membuat rayap makan hampir merata di seluruh permukaan kayu.

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan nanokitosan yang digunakan sebagai bahan pengawet kayu sengon dengan faktor konsentrasi dengan level yang digunakan yaitu 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8% serta faktor waktu penyimpanan selama 0, 3, dan 7 hari tidak menghasilkan kerja efektif untuk

membunuh rayap kayu kering periode pengamatan selama 28 hari. Perlakuan dengan konsentrasi 0,4% merupakan *treatment* terbaik yang menunjukkan nilai absorpsi terbesar dan retensi yang sudah memenuhi prasyarat minimum SNI. Waktu penyimpanan bahan nanokitosan dengan modifikasi NaCl yang terbaik adalah 0 hari karena memiliki rerata nilai absorpsi dan retensi yang tinggi. Namun, penelitian mengenai nanokitosan tanpa waktu penyimpanan perlu dikembangkan lebih lanjut agar didapatkan dispersi nanokitosan yang dapat lebih meresap ke dalam kayu

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari skema Hibah Penelitian Dosen Junior tahun 2018 yang dibiayai oleh Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada dan Bima Mahardika Weasa yang telah membantu dalam pelaksanaan jalannya penelitian.

#### KONTRIBUSI PENULIS

Annisa Primaningtyas sebagai kontributor utama. Tomy Listyanto dan Ganis Lukmandaru sebagai kontributor anggota.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohim, S., & Martono, D. (2002). Pengawetan lima jenis kayu untuk perumahan secara rendaman dingin dengan bahan pengawet CCB. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 20(4): 259-331.
- Alfredsen, G. (2011). Proceedings of the 7th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science & Engineering (WSE), *Norwegian Forest and Landscape Institute*. Oslo, October 27-28, 2011.
- Anonim. (1957). British Standard 373: Methods of Testing Small Clear Specimen of Timber, London.

- , (2007). Australian Wood Preservation Committee, Protocol for Assessment of Wood Preservatives.
- Arinana.(2007). Teknologi Umpan Berbahan Aktif Kitosan untuk Pengelolaan Rayap Tanah *Coptotermes Curvignathus Holmgramen* (Isoptera: Rhinotermitidae), *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 12: 1-7.
- Arinana & Rismayadi, Y. (2009). Development of Termite Formulation Baiting for Building Protection, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 2(1), 32–39.
- Berger, J., Reist, M., Mayer, J. M., Felt, O., Peppas, N. a., & Gurny, R. (2004). Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 57(1), 19–34. doi: 10.1016/S0939-6411(03)00161-9.
- Chittenden, C. & Singh, T. (2009). In vitro evaluation of combination of *Trichoderma harzianum* and chitosan for the control of sapstain fungi. *Biological Control*, 50(3), 262–266. doi: 10.1016/j.biocontrol.2009.04.01.
- Eikenes, M., Alfredsen, G., Christensen, B. E., Miltz, H., & Solheim, H. (2005). Comparison of chitosans with different molecular weights as possible wood preservatives, *Journal of Wood Science*, 51(4), 387–394. doi: 10.1016/j.carbpol.2005.02.006.
- Fan, W., Yan, W., Xu, Z., & Ni, H. (2012). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces Formation mechanism of monodisperse, low molecular weight chitosan nanoparticles by ionic gelation technique. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 90, 21–27. doi: 10.1016/j.colsurfb.2011.09.042.
- Gaol M.L., Oemry S., & Pangestiniingsih Y. (2015). Uji suspensi kitosan untuk mengendalkan rayap *Coptotermes curvignathus* Holmgren pada tanaman karet di lapangan, *Jurnal Online Agroekoteknologi*, Vol. 3 No.2: 674-678.
- Gorgij, R., Tarmian, A., Karimi, A., & Professor, A. (2014) Effect of chitosan on the mold resistance of wood and its surface properties. *International Journal of Lignocellulosic Products / International Journal of Lignocellulosic Products*, 1(11), 39–49.
- Hadikusumo, S. A. (2004). Pengawetan Kayu. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Huang, Y. & Lapitsky, Y. (2011). Monovalent Salt Enhances Colloidal Stability during the Formation of Chitosan/Tripolyphosphate Microgels, *Langmuir*, 27, 10392–10399.
- Hunt G.M. and Garrat, G.A.. (1986). Pengawetan Kayu. Jakarta: CV. Akademika Pressindo.
- Jonassen, H., Kjøniksen, A., & Hiorth, M. (2012). Effects of Ionic Strength on the Size and Compactness of Chitosan Nanoparticles. *Colloid and Polymer Science*, 290, 919–929.
- Khademibami, L., Jereniic, D., Slunulsky, R., & Barnes, H. M. (2020). Chitosan Oligomers and Related Nanoparticles as Environmentally Friendly Wood Preservatives. *BioResources*, 15(2):2800–2817.
- Lahtela, V., Hämäläinen, K., & Kärki, T. (2013). The effects of preservatives on the properties of wood after modification (Review paper), *Baltic Forestry*, 20(1), 189–203.
- Liibert, L., Treu, A., Kers, J., & Meier, P. (2012). Potential eco-friendly wood protection systems used in Royal process, *Proceedings of the International Conference of DAAAM Baltic “Industrial Engineering*. Tallinn,

19-21 April 2012.

- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Mandang, Y., Prawira, S.A., & Kadir K. (2005). Atlas Kayu Indonesia Jilid I, Badan penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Departemen Kehutanan Bogor.
- Ornum, V.J. (1992). Shrimp Waste-Must it be Wasted, INFOFISH International 6, 48-52.
- Prasetyo, K.W. & Yusuf, S. (2005). Mencegah dan Membasmi Rayap Secara Ramah Lingkungan dan Kimiawi. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Prayoga, A. (2015) Pengaruh Lama Perendaman dan Konsentrasi Bahan Pengawet Chitosan pada Proses Pengawetan Kayu Sengon untuk Mencegah Serangan Rayap Kayu kering (*Cryptotermes cynocephalus Light*) (Tugas Akhir Sekolah Vokasi). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Primaningtyas, A., Budhijanto, W., Fahrurrozi, M., & Kusumastuti, Y. (2017) The effects of surfactant and electrolyte concentrations on the size of nanochitosan during storage, *AIP Conference Proceedings*, 1840. doi: 10.1063/1.4982302.
- Rampino, A., Borgogna, M., Blasi, P., Bellich, B., & Cesàro, A. (2013). Chitosan nanoparticles: Preparation, size evolution and stability. *International Journal of Pharmaceutics*, 455(1-2), 219-228.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1999). Pengawetan kayu untuk perumahan dan Gedung. (SNI 03-5010.1- 1999). Badan Standarisasi Nasional.
- Sumarni G. (1988). Daya Hidup dan Intensitas Serangan Rayap Kayu Kering *Cryptotermes cynocephalus Light* pada Kayu Kelapa (*Cocos nucifera L.*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. V No.6, Lembaga Penelitian Hasil Hutan, Bogor.
- Taufan, M.R.S & Zulfahmi. (2010). Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Bahan Anti Rayap (Bio-termisida) pada Bangunan Berbahan Kayu (Skripsi Sarjana). Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tsai, M., Chen, R., Bai, S., & Chen, W. (2011). The storage stability of chitosan / tripolyphosphate nanoparticles in a phosphate buffer. *Carbohydrate Polymers*, 84, 756-761. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.04.040.
- Uragami, T. & Tokura, S. (2006). *Material Science of Chitin and Chitosan*, Tokyo: Kodansha, Ltd.
- Xu, Y. & Du, Y. (2003). Effect of molecular structure of chitosan on protein delivery properties of chitosan nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 250, 215-226.