

## PEMANFAATAN TEKNOLOGI KERTAS NANO KARBON SEBAGAI PEMBUNGKUS WORTEL (*Utilization of Nano Carbon Paper Technology as Carrot Wrapping*)

Dian Anggraini Indrawan, Novitri Hastuti, Lisna Efiyanti, & Gustan Pari

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan  
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610, Telp. (0251) 8633378; Fax. (0251) 8633413.  
E-mail: elisabeth\_dian@yahoo.com

Diterima 19 Desember 2016, direvisi 23 Maret 2018, disetujui 24 Mei 2018

### ABSTRACT

Indonesia's paper consumption, including food wrapping-paper, might steadily increase in the future. This could someday upset the capability of domestic wrapping-paper production due to dwindling potency of conventional fibers (e.g. natural-forest wood). Alternative fibers are abundantly available and it mostly remains unutilized, than it should be introduced in industry, such as bamboo. This study aims to optimize the utilization of alternative fiber sources through the manufacture of wrapping paper from bamboo fiber using carbon nano technology as a foodstuff protector/ wrapping. Relevantly, manufacturing trial on papers with nano-technology capability for carrot wrapping was conducted from two bamboo species tali (*Gigantochloa apus*) and ampel (*Bambusa vulgaris*) separately. Initially, each species was pulped semi-chemically, and then added with nano-sized activated charcoal particles (20%, w/w). The mixture (bamboo pulp + activated charcoal) was formed into sheets with targeted basic-weight common for wrapping-paper (60 g/m<sup>2</sup>), and then used for carrot wrapping and the physical strength properties was tested. Result shows that charcoal could lower carrot-weight loss, which indicates high effectivity in maintaining the carrot freshness and nutritions. Papers made from ampel-bamboo fibers were more prospective for such wrapping than those made from bamboo tali. The use of any experimented papers for carrot wrapping was still better than without wrapping, as they afforded more in securing carrots.

Keywords: Paper, bamboo, activated charcoal, wrapping, carrot, nutrition

### ABSTRAK

Konsumsi kertas Indonesia, termasuk kertas bungkus makanan, diperkirakan meningkat di masa mendatang. Dikhawatirkan kemampuan produksi kertas bungkus domestik suatu saat tidak dapat mengatasi permintaan, karena potensi bahan baku serat berligno-selulosa konvensional (kayu hutan alam) semakin langka dan terbatas. Bahan serat alternatif yang potensinya berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan perlu diujicoba, diantaranya bambu. Tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber serat alternatif melalui pembuatan kertas bungkus dari serat bambu menggunakan teknologi nano karbon sebagai pelindung/pembungkus wortel. Percobaan pembuatan kertas bungkus berteknologi nano untuk wortel dilakukan menggunakan dua jenis serat bambu, yaitu tali (*Gigantochloa apus*) and ampel (*Bambusa vulgaris*) secara terpisah. Masing-masing jenis diolah menjadi pulp semi-kimia, lalu ditambahkan bahan aditif partikel arang aktif berukuran nano sebanyak 20% (b/b). Campuran (pulp bambu + arang aktif) dibentuk lembaran dengan target gramatur umum untuk kertas bungkus (60 gram/m<sup>2</sup>), lalu digunakan untuk membungkus wortel dan diuji sifat fisis-kekuatannya. Arang mengurangi penurunan berat wortel, sehingga berindikasi dapat lebih menjaga kesegaran dan nutrisinya. Kertas asal serat bambu ampel lebih berprospek untuk pengemasan (pembungkusan) wortel dibandingkan asal bambu tali, dalam menjaga kesegaran dan nutrisinya. Penggunaan kertas hasil percobaan untuk membungkus wortel masih lebih baik dibandingkan tanpa pembungkusan, karena dapat mempertahankan kesegaran dan nutrisinya.

Kata kunci: Kertas, bambu, arang aktif, pembungkus, wortel, nutrisi

## I. PENDAHULUAN

Menurut Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia (2012) industri pulp dan kertas merupakan industri unggulan nasional yang terus berkembang sejalan dengan perkembangan teknologi proses dan tingkat pendidikan. Di Indonesia, di antara berbagai macam kertas yang digunakan adalah kertas bungkus. Konsumsi kertas bungkus Indonesia selama tahun 2009–2012 mencapai 89.940–91.930 ton (Badan Pusat Statistik, 2014). Di sisi lain ketersediaan dan potensi kayu hutan alam semakin langka dan terbatas, sehingga memicu pembalakan liar yang berakibat semakin parahnya degradasi hutan. Saat ini tercatat laju degradasi hutan alam Indonesia mencapai sekitar 2,87 juta hektar/tahun (Kementerian Kehutanan, 2012; Kompas, 2012). Sehubungan dengan hal tersebut maka perlu dicari sumber bahan baku serat alternatif dengan potensi berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan, diantaranya adalah bambu.

Teknologi yang sudah diteliti untuk peningkatan mutu bahan pengemas (*wrapping*) adalah teknologi nano material. Teknologi ini sedang digunakan sebagai sarana untuk memahami bagaimana karakteristik fisiko kimia zat berukuran nano dapat mengubah struktur, tekstur, dan kualitas bahan makanan (Chaudhry et al., 2008). Teknologi nano dapat digunakan untuk meningkatkan rasa dan tekstur makanan dan untuk produksi kemasan yang menjaga produk agar tetap segar. Fungsi utama kemasan adalah untuk menjaga kualitas dan keamanan produk selama transportasi dan masa penyimpanan, serta untuk memperpanjang kesegaran dengan mencegah efek yang tidak diinginkan seperti mikroorganisme, kontaminasi bahan kimia, oksigen, kelembapan dan cahaya (Bratovčić, Odošević, Čatić, & Šestan, 2015). Menurut Stephenson (1972) dan Penniman, Makonin, dan Rankin (2004), untuk keperluan pengemasan bahan biomassa yang umumnya bersifat higroskopis, seperti pangan tertentu dalam keadaan segar dan mentah, diperlukan kertas berkemampuan spesifik agar kesegaran dan nutrisinya tetap terjaga dalam jangka waktu tertentu. Diantara yang diharapkan berkemampuan spesifik tersebut adalah kertas

bungkus berteknologi nano. Prinsip dasar teknologi tersebut adalah menambahkan atau menyisipkan partikel berukuran nano (diameter sekitar 1–100 nanometer; 1 nanometer =  $10^{-9}$  m) seperti tanah liat (*clay*), bentonite, *silica gel*, dan *lime*, umumnya sebelum lembaran kertas terbentuk (masih bentuk terpisah atau pulp).

Penyisipan material nano atau komposit nanopartikel ke dalam lapisan film polimer plastik diharapkan mampu memperkecil laju difusi uap air dan oksigen di dalam kemasan (Duncan, 2011). Material nano yang dapat disisipkan dalam komposit kemasan seperti kertas adalah nano karbon. Karbon sebagai material organik melimpah dapat dihasilkan dari berbagai sumber bahan alam, seperti bahan berlignoselulosa. Biomassa lignoselulosa adalah bahan baku potensial yang dapat digunakan dalam sintesis (pembuatan) karbon (Darmawan, Wistara, Pari, Maddu, & Syafii, 2016). Untuk menghasilkan karbon dari bahan berlignoselulosa dapat dilakukan melalui proses karbonisasi atau pengarang. Karbon (arang) yang dihasilkan kemudian diaktivasi dengan proses fisika (uap air atau panas) maupun secara kimiawi untuk mendapatkan arang aktif dengan karakteristik tertentu. Menurut Jamilatun dan Setyawan (2014) arang aktif merupakan senyawa karbon amorph yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan.

Menurut Sitorus (2014), karbon aktif merupakan adsorben terbaik dalam sistem adsorpsi karena memiliki luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang tinggi sehingga pemanfaatannya dapat optimal. Karbon aktif yang baik harus memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga besar. Sifat jerap inilah yang dapat dimanfaatkan untuk disisipkan ke dalam komposit kertas. Karbon aktif dalam ukuran nano diharapkan mampu menjadi adsorber gas maupun uap air yang terdapat di dalam kertas, sehingga dapat membantu menjaga kualitas produk yang dikemas. Produk

makanan dan buah-buahan merupakan produk yang rentan mengalami penurunan kualitas (pembusukan) jika terkena oksigen dan uap air. Hal ini dikarenakan ketersediaan oksigen dan uap air merupakan media yang baik untuk tumbuhnya mikroorganisme. Sementara itu menurut Karnib, Holail, Olama, Kabbani, dan Hines (2013), karbon aktif diketahui memiliki efektivitas antimikrobia terhadap bakteri *Escherichia coli*.

Pada penelitian ini, bahan pangan yang dibungkus adalah wortel, yang tergolong bahan makanan mudah rusak. Hal ini disebabkan oleh kandungan air yang tinggi yaitu berkisar 85–95%, sehingga sangat baik untuk pertumbuhan mikroorganisme dan mempercepat reaksi metabolisme (Asgar & Musaddad, 2006). Menurut Koswara (2009) kerusakan sayuran dan buah-buahan sering terjadi akibat benturan fisik, kehilangan air (layu), serangan serangga, dan serangan mikroba, terutama pada sayur-sayuran yang mudah rusak seperti kubis, tomat, wortel, dan lain-lain. Menurut Pracaya (2007) kerusakan pada wortel berupa busuk hitam umbi wortel yang disebabkan oleh jamur *Stemphyllum radicinum* dan umumnya serangan terlihat selama penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber serat alternatif melalui pembuatan kertas bungkus dari serat bambu menggunakan teknologi nano karbon sebagai pelindung/pembungkus bahan pangan.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan

Pembuatan kertas bungkus menggunakan bahan baku bambu tali (*Gigantochloa apus*) dan bambu ampel (*Bambusa vulgaris*) yang berasal dari Sukabumi Jawa Barat, bahan aditif yang digunakan adalah arang aktif dari campuran limbah serbuk gergaji, bahan pangan yang dibungkus adalah wortel dan bahan kimia pemasak yang digunakan adalah NaOH.

### B. Metode

#### 1. Pembuatan arang aktif (nano karbon)

Serbuk limbah gergajian dikarbonisasi pada suhu 400–500°C selama 4–5 jam. Arang yang dihasilkan kemudian diaktivasi menggunakan

uap air suhu 800°C selama 70 menit. Arang aktif yang diperoleh dihaluskan kemudian dilakukan penyaringan bertingkat dengan ukuran mesh yang berbeda-beda. Semakin besar mesh maka semakin kecil ukuran lubang, yang lolos paling akhir adalah ukuran nano (diameter sekitar 1–100 nanometer, 1 nanometer =  $10^{-9}$  m). Arang aktif yang lolos saringan 100 mesh, diuji sesuai SNI 06-3730-1995 meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon, kristalinitas, dan daya serap iod.

#### 2. Pembuatan kertas bungkus

Serpih bambu tali dan bambu ampel yang telah mencapai kadar air kering udara masing-masing dibuat pulp secara terpisah menggunakan proses semi-kimia soda panas terbuka menggunakan ketel pemasak berkapasitas (per *batch*) 1000 gram serpih kering oven, dengan kondisi pemasakan yaitu nilai banding bahan baku serat dengan larutan pemasak sebesar 1:8 (b/v), suhu maksimum pemasakan (100°C) selama 2 jam, dan NaOH 10,5%. Selesai pemasakan, serpih lunak dipisahkan dari sisa larutan pemasak (*spent liquor*) dan dicuci dengan air sampai bebas bahan kimia pemasak, selanjutnya dipisahkan hingga menjadi serat terpisah (pulp) pada alat *Hollander beater* pada konsistensi 3–4% selama satu jam, hingga mencapai derajat kehalusan pulp 250–300 ml CSF (40–45°SR) yaitu nilai yang umum untuk pembentukan lembaran kertas termasuk kertas bungkus (Casey, 1980; Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007).

#### 3. Pembentukan lembaran kertas nano karbon

Sebelum dibentuk menjadi lembaran, pada pulp dari masing-masing jenis bambu secara terpisah ditambahkan bahan aditif berupa arang aktif pada proporsi (persentase) 20% dengan target gramatur (bobot dasar) 60 gram/m<sup>2</sup>. Sebagai pembandingan (kontrol), dibentuk pula kertas bungkus ber-gramatur sama dari pulp asal masing-masing jenis bambu secara terpisah, tanpa aditif. Rincian macam bahan serat untuk pembentukan kertas nano karbon adalah: T1 (pulp bambu tali + aditif), T2 (pulp bambu ampel + aditif), T3 (pulp bambu tali kontrol), dan T4 (pulp bambu ampel kontrol).

#### 4. Pengujian

##### a. Kualitas kertas nano karbon

Pengujian kualitas kertas mencakup ketahanan tarik (SNI ISO 1924.2: 2010), ketahanan sobek (SNI 0436:2009), ketahanan retak (SNI ISO 2756:2011), ketahanan lipat (SNI 0491:2009), dan penyerapan (penetrasi) air (SNI 0499:2008).

##### b. Kinerja kertas nano karbon

Untuk pengujian ini, wortel dibungkus dengan kertas bungkus hasil percobaan dari dua jenis bahan serat (bambu) dikombinasikan dengan/tanpa aditif. Uji tersebut dilakukan dalam ruangan dengan suhu dan kelembapan tertentu (25–28 °C; 75–77%). Selanjutnya setelah dibungkus selama 14 hari, dilakukan pemeriksaan terkait dengan efektivitas dan kinerja kertas nano karbon dengan melihat penurunan berat bahan pangan dan uji nutrisi bahan tersebut. Sebagai pembandingan dilakukan pula pengujian terhadap bahan pangan tersebut tanpa ada perlakuan pembungkusan. Adapun rincian uji nutrisi lengkap terhadap wortel yang dibungkus kertas hasil percobaan mencakup: kandungan mineral (K, Ca, Na), pengamatan mikroskopik, vitamin A, vitamin E, vitamin C, dan beta karoten (SNI 01-2891-1992). Dari pengujian nutrisi ini dapat ditelaah pengaruh bahan baku serat kertas yang berbeda (bambu tali dan bambu ampel) dan kemampuan penambahan aditif berupa arang aktif dalam mempertahankan kualitas bahan pangan tersebut. Disamping uji nutrisi, pengamatan visual juga dilakukan untuk menambah informasi.

### C. Analisis Data

#### 1. Kualitas kertas nano karbon

Data hasil pengujian sifat kekuatan kertas nano karbon ditelaah dengan rancangan percobaan acak lengkap berpola faktorial. Sebagai faktor adalah macam asal bahan serat pembentuk kertas dan penggunaan arang aktif. Macam bahan serat (S) adalah bambu tali (s1) dan bambu ampel (s2). Penggunaan arang (A) terdiri dari tanpa arang aktif sebagai kontrol (a0) dan dengan arang aktif (a1). Ulangan dari masing-masing kombinasi faktor S dan A dilakukan sebanyak 5 kali. Apabila pengaruh faktor secara individu (S dan A), dan interaksinya (S\*A) nyata, maka dilakukan

penelaahan lebih lanjut menggunakan uji beda nyata jujur (BNJ) atau Tukey (Ott, 1994).

Lebih lanjut untuk memperoleh indikasi lebih rinci (*convincing/reliable*) macam bahan serat mana (bambu tali atau bambu ampel) untuk kertas nano karbon yang paling berprospek sebagai kertas bungkus, dan bagaimana peranan arang aktif terhadap mutu kertas tersebut, maka dilanjutkan telaahan menyeluruh dengan mencermati sifat dasar, sifat pengolahan pulp, dan sifat kertas nano karbon sebagai kertas bungkus secara serentak, dengan menggunakan analisis diskriminan berikut koefisien korelasi kanonik (Statistical Analysis System, 1997; Morrison, 2003).

Analisis kualitas kertas nano karbon juga dilakukan dengan mencermati data penurunan berat bahan yang diperoleh dari hasil uji bahan pangan wortel. Data tersebut juga ditelaah dengan rancangan percobaan acak lengkap berpola faktorial. Sebagai faktor adalah macam bahan serat pembentuk kertas (S) dan penggunaan arang aktif (A). Ulangan dari masing-masing kombinasi faktor S dan A dilakukan sebanyak 5 kali. Apabila pengaruh faktor secara individu (S dan A), dan interaksinya (S\*A) nyata terhadap sifat bahan, maka dilakukan penelaahan lebih lanjut menggunakan uji beda BNJ atau Tukey.

#### 2. Kinerja kertas nano karbon

Telaahan efektivitas dan kinerja dilakukan dengan menerapkan analisis keragaman berpola acak lengkap (RAL), yaitu dengan membandingkan data analisis nutrisi wortel yang dibungkus dengan kertas kontrol dan dengan kertas yang diberi aditif berupa arang aktif. Pada RAL yang diterapkan, masing-masing taraf atau kombinasi perlakuan memiliki ulangan sebanyak 5 kali. Selanjutnya, jika pengaruh masing-masing taraf tersebut nyata terhadap hasil uji nutrisi, maka penelaahan dilanjutkan dengan uji BNJ (Tukey).

Selanjutnya, sama halnya dengan pencermatan kualitas kertas nano karbon, untuk memperoleh indikasi lebih rinci yaitu macam bahan serat mana (bambu tali atau bambu ampel) yang paling berprospek, dan juga bagaimana peranan arang aktif terhadap efektivitas kertas nano karbon (bungkus), maka dilanjutkan telaahan terhadap keseluruhan masing-masing uji nutrisi,

menggunakan analisis diskriminan berikut koefisien korelasi kanonik (Statistical Analysis System, 1997; Morrison, 2003).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakteristik Arang Aktif

Arang aktif berperan sebagai bahan aditif yang dicampurkan ke masing-masing pulp bambu tali dan pulp bambu ampel pada proporsi tertentu sebelum pulp tersebut dibentuk menjadi lembaran kertas nano karbon. Sifat arang aktif tersebut disajikan pada Tabel 1.

Proses aktivasi merupakan hal penting untuk diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan dengan tujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul- molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas

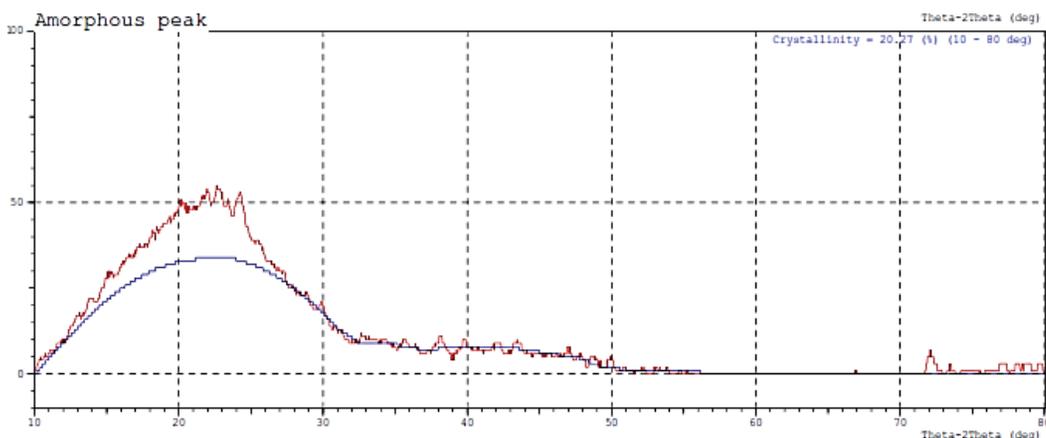
permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Ajayi & Olawale, 2009 dalam Jamilatun & Setyawan, 2014). Dilihat dari Tabel 1, kadar air, zat terbang, karbon terikat dan daya serap iod telah memenuhi persyaratan SNI. Nilai daya serap iod arang aktif telah melampaui SNI dan diperkirakan akan membantu performa kertas nano karbon sebagai kertas bungkus dalam mempertahankan kualitas makanan. Daya serap ini akan membantu adsorpsi terhadap oksigen dan uap air yang dapat mempengaruhi kualitas bahan yang dibungkus.

Disamping karakteristik seperti pada Tabel 1, arang aktif juga diukur nilai kristalinitasnya dengan menggunakan perangkat XRD dan hasilnya disajikan pada Gambar 1. Komponen selulosa yang berderajat polimerisasi rendah memiliki gugus karbonil dan metil sebagai penyusunnya serta lignin yang bersifat amorf, yang merupakan penciri dari lignoselulosa sebagai struktur kristalin kayu (Darmawan, Syafii,

**Tabel 1. Sifat pengolahan dan sifat kimia arang aktif**

**Table 1. Processing and chemical properties of activated charcoal**

No.	Sifat (Properties)	Nilai (Value)	Syarat mutu arang aktif teknis (Quality requirements of technical activated charcoal) (SNI 06-3730-1995)
1.	Rendemen arang ( <i>Charcoal yield</i> , %)	48	-
2.	Kadar air ( <i>Moisture content</i> , %)	1,48	Max. 15
3.	Kadar abu ( <i>Ash content</i> , %)	24,24	Max. 10
4.	Zat terbang ( <i>Volatille matter</i> , %)	4,69	Max. 25
5.	Karbon terikat ( <i>Fixed carbon</i> , %)	71,07	Min. 65
6.	Daya serap iod ( <i>Absorption of iodine</i> , mg/g)	900,35	Min. 750



**Gambar 1. Pola difraksi arang aktif menggunakan X-ray diffractometer**  
**Figure 1. Diffraction pattern of the activated charcoal using X-ray diffractometer**

Wistara, Maddu, & Pari, 2015). Menurut Kartika, Ratnawulan, dan Gusnedi (2016) suatu bahan memiliki derajat kristalinitas yang merupakan perbandingan antara fasa kristal dengan fasa amorf sehingga dapat memberikan gambaran keteraturan struktur kristal, baik itu struktur yang bersifat kristal, semi-kristal maupun amorf.

Derajat kristalinitas arang aktif limbah campuran serbuk gergaji dalam penelitian ini adalah sebesar 20,27%, nilai ini menunjukkan proporsi daerah amorf dan daerah kristalin dari arang aktif. Penelitian yang dilakukan oleh Darmawan et al. (2015) yaitu serpih kayu mangium (*Acacia mangium* Willd.) dikarbonisasi pada suhu 200°C dan 300°C secara terpisah selama 6 jam, hasil analisis XRD menunjukkan perubahan pola difraksi prekursor setelah diaktivasi. Pada karbon aktif dari arang-pirolisis suhu 200°C memiliki kristalinitas lebih tinggi (27,74%) daripada karbon aktif dari arang-hidro pada suhu yang sama (26,19%), dengan kadar karbon terikat lebih rendah dan zat menguap lebih tinggi. Selanjutnya pada karbon aktif dari arang-pirolisis suhu 300°C memiliki kristalinitas lebih tinggi (25,90%) dibandingkan karbon aktif dari arang-hidro pada suhu yang sama (23,74%), dengan kadar karbon terikat lebih tinggi dan zat menguap lebih rendah. Derajat kristalinitas arang aktif limbah campuran serbuk gergaji dalam penelitian ini (karbonisasi pada suhu 400–500°C selama 4–5 jam) lebih rendah dibandingkan arang aktif kayu mangium. Hasil ini sama dengan penelitian Kartika et al. (2016) yaitu derajat kristalinitas tertinggi terdapat pada suhu karbonisasi 300°C, sedangkan derajat kristalinitas terendah terdapat pada suhu karbonisasi 400°C. Dengan melihat nilai kristalinitasnya, dapat diidentifikasi bahwa daerah amorf arang aktif lebih besar dibandingkan daerah kristalinitasnya. Daerah amorf semakin banyak setelah aktivasi dikarenakan panas dari uap air membuat adanya penataan struktur karbon dan menyebabkan ruang pori (amorf) semakin banyak.

## B. Kualitas Kertas Nano Karbon

Berdasarkan analisis keragaman (Tabel 2) dan uji BNJ (Tabel 3), kertas nano karbon yang digunakan sebagai kertas bungkus asal serat

bambu tali menunjukkan nilai sifat kekuatan (ketahanan tarik, ketahanan sobek, ketahanan retak, dan ketahanan lipat); dan daya serap air (baik permukaan atas ataupun permukaan bawah) yang lebih tinggi dibandingkan nilai-nilai untuk kertas asal serat bambu ampel. Untuk kasus sifat kekuatan tersebut, diduga terkait dengan serat bambu tali yang memiliki dinding serat lebih tipis; daya tenun dan koefisien fleksibilitas serat lebih tinggi; dan bilangan Muhlstep, bilangan Runkel, dan koefisien kekakuan serat lebih rendah, dibandingkan nilai-nilai untuk bambu ampel (Sulastiningsih et al., 2015). Hal tersebut menyebabkan lebih intensifnya kontak antar serat dan ikatan/anyaman serat selama pembentukan kertas nano karbon sehingga berpengaruh positif terhadap sifat kekuatan kertas tersebut (Casey, 1980). Kemungkinan penyebab lain adalah fibrilisasi serat pulp bambu tali yang lebih intensif sebagaimana diindikasikan oleh lebih rendahnya derajat kehalusan serat pulp tersebut (Sulastiningsih et al., 2015). Fibrilisasi yang lebih intensif memungkinkan lebih intensifnya kontak/ikatan/anyaman antar serat selama pembentukan kertas, termasuk jenis kertas bungkus. Lebih rendahnya derajat kehalusan serat bambu tali berindikasi lebih mudah digiling sehingga lebih sedikit porsi kerusakan serat yang terjadi selama pengerjaan mekanis (termasuk penggilingan), dan akibatnya berperan positif terhadap sifat kekuatan hasil kertas (Smook, 2002).

Penyerapan (penetrasi) air ke dalam kertas nano karbon asal bambu tali lebih tinggi dibanding bambu ampel. Hal ini diduga terkait dengan lebih tingginya kadar pentosan bambu tali tersebut dibanding bambu ampel dan lebih rendahnya bilangan kappa pulp bambu tali dari pada pulp bambu ampel (Sulastiningsih et al., 2015). Kadar pentosan yang lebih tinggi berakibat fibrilisasi serat pulp bambu tali lebih intensif. Selanjutnya, bilangan kappa yang lebih rendah berindikasi sisa kadar lignin (terutama) dan zat ekstraktif pada pulp bambu tali lebih rendah pula. Lignin bersifat kurang polar dibandingkan selulosa dan hemiselulosa, dan fenomena ini berakibat peningkatan polaritas pulp bambu tali. Fibrilisasi yang lebih intensif dan peningkatan polaritas mengakibatkan sifat higroskopis kertas nano karbon asal bambu tali meningkat, dengan

**Tabel 2. Analisis keragaman terhadap sifat kekuatan kertas nano karbon untuk kertas bungkus**

**Table 2. Analysis of variance on strength properties of the nano carbon wrapping paper**

Sumber Keragaman (Sources of variation)	db (df)	Kekuatan kertas ( <i>Strength properties</i> )					
		Ketahanan tarik (Tensile strength)	Ketahanan sobek (Tearing strength)	Ketahanan retak (Bursting strength)	Ketahanan lipat (Folding endurance)	Penyerapan air (Water absorption)	
		F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	Muka atas (Top side)	Muka bawah (Bottom side)
Total	19						
S	1	38,47**	14,46**	51,75**	25,14**	22,08**	51,71**
A	1	2,01 <sup>tn</sup>	5,91*	23,03**	8,29**	7,97*	56,40**
Interaksi (Interaction)							
S*A	1	13,35**	1,65*	2,07*	13,46**	2,48 <sup>tn</sup>	9,27**
Galat ( <i>Error</i> )	16						
Rata-rata (Means)	-	1,8201	225,95	110,47	20,50	334,075	354,821
Satuan (Units)	-	kN/m	mN	kPa	df	(g/m <sup>2</sup> )/60 menit ( <i>minutes</i> )	(g/m <sup>2</sup> )/60 menit ( <i>minutes</i> )
KK, %	-	12,113	12,941	12,253	11,748	11,748	10,152
D 0,05	-	0,3989	52,909	21,949	4,571	71,014	65,183

Keterangan (*Remarks*): S = jenis serat bambu (*Type of bamboo fibers*); A = arang aktif (*Activated charcoal*); db = derajat bebas (*Degree of freedom*); \* = nyata pada taraf (*Significant at level*) 5%; \*\* = nyata pada taraf (*Significant at level*) 1%; <sup>tn</sup> = tak nyata (*Not significant*); KK = koefisien keragaman (*Coeff. of variation*), P = peluang (*Probability*); D0,05 = nilai kritis uji beda nyata jujur (BNJ) Tukey pada taraf (*Critical value of honestly significant difference (HSD)/Tukey test at level*) 5%

**Tabel 3. Data sifat kekuatan kertas nano karbon, yang diikuti dengan hasil uji beda nyata jujur (Tukey)**

**Table 3. Nano carbon paper strength properties, followed with results of HSD (Tukey) test**

Kombinasi perlakuan (Treatment combinations) (T)											Penyerapan air (Water absorption) (g/m <sup>2</sup> )/60 menit ( <i>minutes</i> )		Nilai diskriminan (Discriminant value)
	Ketahanan tarik (Tensile strength)		Ketahanan sobek (Tearing strength)		Ketahanan retak (Bursting strength)		Ketahanan lipat (Folding endurance)		Muka atas (Top side)	Muka bawah (Bottom side)			
	Y1	G	Y2	G	Y3	G	Y4	G	Y5	G	Y6	G	
S A T	Y1	G	Y2	G	Y3	G	Y4	G	Y5	G	Y6	G	(Y-diskr)
1 1 1	2,510	A	297,4	A	118,5	B	45	A	352,4	B	369,1	B	568,043
2 1 2	0,990	C	122,7	B	73,4	C	3	C	266,2	C	302,3	C	122,059
1 0 3	2,290	A	346,0	A	146,0	A	29	B	429,6	A	456,4	A	499,213
2 0 4	1,490	B	137,7	B	104,0	B	5	C	288,1	BC	291,5	C	184,110
+ / -	+		+		+		+		+		-		-
Koefisien diskriminan (Discriminant coeff.) (bi)	b1 =		b2 =		b3 =		b4 =		b5 =		b6 =		
	+29,1581		+79,3246		+18,4971		+102,4512		-11,4917		-9,3511		

Keterangan (*Remarks*): G = mutu (*Grade*); S1 = bambu tali (*Tali bamboo*), S2 = bambu ampel (*Ampel bamboo*); A0 = Kontrol (*Control*), A1 = + arang aktif (+ *Activated charcoal*); T = kombinasi perlakuan faktor S dan A (*Treatment combinations of S & A factors*); Y diskriminasi = nilai diskriminan (*Discriminant values*), bi = koefisien determinan (*Determinant coeff.*), dan Yi = sifat kertas nano karbon ke-i yang sudah dibakukan menjadi nilai tanpa satuan, dengan koef. korelasi kanonik nyata (*Properties of nano carbon paper at i which each have been standardized into unitless value, with significant canonic determination coeff.*) R<sup>2</sup>=0,9885\*\*

demikian mengintensifkan sifat asosiasinya terhadap air atau cairan polar lainnya (Casey, 1980; Haygreen & Bowyer, 1999).

Penggunaan arang aktif sebagai aditif pada pembentukan kertas nano karbon tidak berpengaruh nyata terhadap ketahanan tariknya, akan tetapi menurunkan ketahanan sobek, ketahanan retak, dan penyerapan air kertas tersebut (baik muka atas ataupun muka bawah) dan sebaliknya meningkatkan ketahanan lipat (Tabel 2 dan 3). Diduga penggunaan arang aktif mengganggu kontak/ikatan/anyaman antar serat sehingga berpengaruh negatif terhadap kekuatan sobek dan ketahanan retak (Stephenson, 1972; Casey, 1980).

Selanjutnya, penggunaan arang aktif berukuran nano diduga mengisi rongga antar serat dan selanjutnya mengakibatkan sebagian gugusan OH bebas dan polar lain pada selulosa (di permukaan serat) tertutup oleh partikel tersebut sehingga mengakibatkan sifat higroskopis serat menurun. Meskipun arang aktif memiliki kemampuan adsorpsi terhadap cairan (termasuk air), seperti pada kertas nano karbon yang ditambahkan arang aktif, total banyaknya air yang teradsorpsi oleh arang aktif dan terikat oleh gugusan OH bebas selulosa/hemiselulosa serat masih lebih rendah dibandingkan banyaknya air yang terikat oleh gugusan OH serat saja pada kertas kontrol. Fenomena ini menjelaskan lebih rendahnya penyerapan air oleh kertas nano karbon yang melibatkan arang aktif atau dengan perkataan lain keberadaan arang aktif menurunkan sifat higroskopis kertas.

Secara keseluruhan penyerapan air oleh kertas nano karbon pada permukaan atas (*top side*) lebih rendah dibandingkan penyerapan pada permukaan bawah (*bottom/wire side*) (Tabel 3). Hal ini diduga ada kaitannya dengan fenomena pembentukan lembaran kertas secara *handsheet*. Pembentukan tersebut melibatkan gaya gravitasi yang menyebabkan suspensi pulp-air mengalir ke bawah. Pada saat aliran tersebut tertahan oleh saringan pada alat *handsheet wire*, sebagian besar serat-serat terakumulasi pada muka bawah kertas (*wire side*) atau dengan perkataan lain kerapatan/kekompakan serat lebih tinggi; sedangkan pada muka atas (*top side*) lebih sedikit serat-serat yang terakumulasi atau kerapatan/kekompakan serat lebih rendah. Lebih tingginya kerapatan/

kekompakan serat pada *wire side* tersebut berakibat lebih banyak gugus OH (terutama dari selulosa dan hemiselulosa) yang tersedia terutama di permukaan serat. Akibatnya sifat higroskopis kertas pada *wire side* lebih tinggi dibandingkan pada *top side* (Smook, 2002).

Lebih tingginya ketahanan lipat lembaran kertas nano karbon yang ditambahkan arang aktif dibandingkan dengan kertas kontrol (Tabel 3) diduga arang aktif tersebut berperan sebagai *filler* yang terakumulasi pada rongga-rongga antar serat selama pembentukan kertas. Fenomena tersebut mungkin berakibat pada pemakaian energi untuk melipat-lipat kertas nano karbon (sewaktu pengujian ketahanan lipat) menjadi kecil karena sebagian energi tersebut terpakai juga untuk melipat akumulasi arang, dan sisanya untuk ikatan/anyaman serat. Akibatnya intensitas energi sisa tersebut lebih rendah dibandingkan energi keseluruhan (utuh) yang dipakai untuk melipat-lipat kertas kontrol (tanpa arang) (Stephenson, 1972; Smook, 2002). Hal ini berakibat ketahanan lipat kertas nano karbon yang ditambahkan arang meningkat.

Secara umum, sifat kertas bungkus yang dikehendaki konsumen adalah berkekuatan tinggi, fleksibel (*pliable*), dan tahan terhadap penetrasi cairan (termasuk air) tinggi pula. Dalam hal ini yang lebih disukai adalah kertas dengan ketahanan tarik, ketahanan sobek, ketahanan retak, dan ketahanan lipat yang tinggi; dan daya serap air rendah. Sifat tersebut diterapkan dalam analisis diskriminan (Tabel 3), di mana diperoleh persamaan diskriminan  $Y\text{-diskr} = \sum b_i \cdot Y_i = +29,16 Y_1$  (ketahanan tarik)  $+ 79,32 Y_2$  (ketahanan sobek)  $+ 18,5 Y_3$  (ketahanan retak)  $+ 102,45 Y_4$  (ketahanan lipat)  $- 11,49 Y_5$  (penyerapan air pada *top side*)  $- 9,35 Y_6$  (penyerapan pada *bottom/wire side*); di mana nilai  $Y_i$  merupakan nilai sifat/mutu kertas nano karbon (secara kuantitatif) yang sudah dibakukan (*standardized*) menjadi nilai tanpa satuan (Tabel 3).

Nilai mutu ( $Y\text{-diskr}$ ) yang terbesar dari persamaan tersebut mengindikasikan bahwa kombinasi tertentu antara jenis bahan serat (bambu tali atau bambu ampel) dengan/tanpa penambahan arang aktif (Tabel 3) adalah paling prospektif untuk pembuatan kertas nano karbon sebagai kertas bungkus dengan mutu paling baik (tinggi). Persamaan diskriminan tersebut ( $Y\text{-diskr}$

$= \sum b_i \cdot Y_i$ ) dianggap memadai (*representative*) karena memiliki nilai koefisien korelasi kanonik nyata ( $R = 0,9885^{**}$ ). Selanjutnya, berdasarkan nilai mutlak koefisien persamaan tersebut ( $|b_i|$ ), maka peranan masing-masing sifat kertas nano karbon ( $Y_i$ ) ternyata tak sama satu sama lainnya terhadap nilai mutu kertas bungkus ( $Y_{diskr}$ ) yaitu berturut-turut:  $Y_4$  (ketahanan lipat)  $>$   $Y_2$  (ketahanan sobek)  $>$   $Y_1$  (ketahanan tarik)  $>$   $Y_3$  (ketahanan retak)  $>$   $Y_5$  (penyerapan air pada *top side*)  $>$   $Y_6$  (penyerapan air pada *wire side*) (Tabel 3).

Dari persamaan diskriminan tersebut diperoleh indikasi serat pulp bambu tali dengan penambahan arang aktif (Tabel 3) adalah paling berprospek untuk pembuatan kertas nano karbon sebagai kertas bungkus, karena nilai diskriminan produk kertas tersebut paling tinggi ( $Y_{diskr} = 568,04$ ). Ini mengisyaratkan bahwa aspek positif sifat dasar dari bambu tali dan pengolahan pulpnya seperti daya tenun dan kelemasan/fleksibilitas serat lebih tinggi, kekakuan serat, bilangan Runkel, bilangan Muhlstep lebih rendah, dinding serat lebih tipis, dan pulpnya lebih mudah digiling, mendominasi/mengalahkan aspek negatif bambu tersebut seperti kandungan abu/silika lebih tinggi, porsi ekstraktif terlarut dalam air panas lebih tinggi, serat lebih pendek, dan diameter serat, lumen, dan pembuluh lebih kecil (Sulastiningsih et al., 2015).

Persamaan diskriminan mengisyaratkan bahwa pulp bambu ampel yang ditambahkan arang aktif berprospek paling rendah untuk kertas nano karbon sebagai kertas bungkus (Tabel 3), karena nilai diskriminan produk kertasnya paling rendah ( $Y_{diskr} = 122,06$ ). Ini mengindikasikan bahwa aspek negatif sifat dasar/pengolahan pulp bambu ampel dan sifat pengolahan pulp bambu tersebut seperti porsi ekstraktif yang larut dalam alkohol-benzen, air dingin, dan NaOH 1% lebih tinggi, daya tenun, dan kelemasan serat lebih rendah, kekakuan serat, bilangan Runkel, bilangan Muhlstep lebih tinggi, dinding serat lebih tebal, dan pulpnya lebih sukar digiling mengalahkan aspek positifnya antara lain kandungan abu/silika rendah, serat lebih panjang, dan diameter serat, lumen, dan pembuluh lebih besar (Sulastiningsih et al., 2015).

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa performa produk kertas nano karbon dari pulp bambu tali (tanpa ditambahkan arang aktif) menduduki urutan kedua ( $Y_{diskr} = 499,21$ ), sedangkan performa kertas dari bambu ampel (juga tanpa arang) pada urutan ketiga ( $Y_{diskr} = 184,11$ ). Nilai diskriminan produk kertas nano karbon yang ditambahkan arang aktif ( $Y_{diskr} = 122,05-568,04$ ) cenderung lebih tinggi dari pada nilai diskriminan produk tanpa arang aktif ( $Y_{diskr} = 184,11-499,21$ ). Ini mengisyaratkan bahwa penggunaan arang aktif berperan positif terhadap sifat/mutu produk kertas. Ini berindikasi pula aspek positif arang aktif yang berperan menurunkan penyerapan air dan meningkatkan ketahanan lipat mengalahkan aspek negatif arang tersebut seperti menurunkan nilai ketahanan tarik, kekuatan sobek, dan ketahanan retak (Tabel 3).

### C. Kinerja Kertas Nano Karbon

#### 1. Penurunan berat bahan pangan yang dibungkus

Kinerja kertas nano karbon berupa penambahan arang aktif ditelaah dengan pendekatan data penurunan berat wortel yang dibungkus. Penelaahan dengan analisis keragaman (Tabel 4) menunjukkan bahwa macam serat bambu untuk pembuatan kertas nano karbon sebagai kertas bungkus dan penggunaan arang aktif berpengaruh nyata terhadap penurunan berat bahan. Penelaahan lanjutan dengan uji BNJ (Tabel 5) mengindikasikan bahwa penurunan berat bahan menggunakan kertas bungkus yang terbuat dari serat bambu tali cenderung lebih tinggi dibandingkan dari serat bambu ampel. Ini mengisyaratkan bahwa sifat higroskopis kertas bungkus asal bambu tali lebih tinggi dari pada asal bambu ampel. Hal ini memperkuat indikasi sebelumnya berikut fenomena kemungkinan penyebabnya yaitu penyerapan (penetrasi) air pada kertas bungkus dari bambu tali lebih tinggi dibandingkan dari bambu ampel, terutama bagian *bottom/wire side* kertas tersebut (Tabel 3). Seperti diketahui bagian *wire side* kertas bungkus adalah yang berkontak langsung pada penggunaannya untuk pembungkusan wortel.

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa perbedaan jenis bahan baku serat pulp (ampel dan tali) berpengaruh nyata pada taraf 5% terhadap penurunan berat bahan pangan yang dibungkus. Penambahan arang aktif juga berpengaruh nyata pada penurunan berat bahan pangan pada taraf 1%. Jika melihat analisis interaksi antara jenis bahan baku pulp dan penambahan aditif, terlihat tidak ada interaksi dan tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan berat bahan pangan. Begitu pula analisis interaksi antara penambahan arang aktif terhadap jenis bahan pangan yang dibungkus. Untuk melihat lebih jauh pengaruh penambahan arang aktif dan bahan baku pulp kertas dilakukan uji BNJ seperti pada Tabel 5.

Uji BNJ mengindikasikan (Tabel 5) bahwa penurunan berat bahan yang dibungkus dengan kertas yang melibatkan penggunaan arang aktif lebih rendah dibandingkan dengan kertas kontrol. Ini mengisyaratkan pula bahwa melibatkan arang aktif pada kertas bungkus cenderung menurunkan sifat higroskopis kertas tersebut (Tabel 3). Hal ini memperkuat indikasi sebelumnya (berikut kemungkinan penyebabnya) yaitu penyerapan air kertas nano karbon yang ditambahkan arang aktif dari bambu tali lebih rendah dibandingkan dengan kertas kontrol (Tabel 3).

Kertas bungkus yang dikehendaki konsumen dalam kaitan ini adalah diantaranya dapat menjaga tingkat kesegaran (kebasahan) bahan yang

**Tabel 4. Analisis keragaman terhadap penurunan berat bahan pangan**  
**Table 4. Analysis of variance on food weight loss**

Sumber Keragaman (Sources of variation)	Db (df)	F-hitung (F-calc.)	Penurunan berat (Weight loss) P
Total	47		
S	1	4,63	*
A	1	7,38	**
Interaksi (Interaction)			
S*A	1	3,27	tn
Galat (Error)	40		
Rata-rata (Means)	-	-23,35	
Satuan (Units)	-	%	
KK, %	-	16,22	
D 0,05	-	18,93	

Keterangan (Remarks): Sama seperti Tabel 2 (Similar to those in Table 2)

**Tabel 5. Uji BNJ penurunan berat wortel yang dibungkus kertas nano karbon**  
**Table 5. HSD Test of carrots weight loss wrapped with nano carbon paper**

Kombinasi perlakuan (Treatment combinations)				Penurunan berat (Weight loss, %)	
(I)					
S	A	T	Y	G	Sk
Wortel yang dibungkus (Wrapped carrots)					
1	0	1	-22,97	AB	3,5
2	0	2	-24,21	B	3
1	1	3	-23,57	B	3
2	1	4	-22,65	AB	3,5
Wortel tidak dibungkus (kontrol) (Unwrapped carrots)					
-	-	1	-	(-28,16) - (-72,77) (selang)	
				-50,47 (rata-rata)	

Keterangan (Remarks): Y = penurunan berat (Weight loss); G = mutu/grade; Sk = skor (Score); G = mutu (Grade); S1 = bambu tali (Tali bamboo), S2 = bambu ampel (Ampel bamboo); A0 = Kontrol (Control), A1 = + arang aktif (+ Activated charcoal); T = kombinasi perlakuan faktor S dan A (Treatment combinations of S & A factors)

dibungkusnya selama jangka waktu tertentu, atau kertas bungkus tersebut bisa berfungsi sebagai pelindung efektif agar tingkat penurunan berat bahan seminimal mungkin. Atas dasar itu untuk bahan pangan yang dibungkus berupa wortel, berdasarkan uji BNJ (Tabel 5), penurunan berat wortel yang paling rendah (minimal) adalah dengan menggunakan kertas nano karbon asal serat pulp bambu ampel (ditambahkan arang) atau serat pulp bambu tali (tidak ditambahkan arang). Atas dasar ini, terindikasi bahwa peran serat bambu ampel lebih efektif dibandingkan serat bambu tali. Fenomena ini memperkuat indikasi sebelumnya yaitu kertas nano karbon asal serat pulp bambu ampel kurang higroskopis dibandingkan asal serat pulp bambu tali (Tabel 3).

Meski kertas nano karbon asal bambu ampel lebih efektif menjaga kesegaran bahan yang dibungkus dibandingkan asal bambu tali, terdapat kekurangannya yaitu sifat kekuatannya lebih rendah. Untuk memperbaiki hal tersebut, salah satunya adalah dengan meningkatkan gramatur kertas nano karbon asal bambu ampel dari 60 gram/m<sup>2</sup> menjadi 120 gram/m<sup>2</sup> (maksimum), di mana nilai maksimum tersebut sudah merupakan ketentuan untuk kertas bungkus. Cara lain memperbaikinya adalah dengan menambahkan bahan aditif yang berfungsi sebagai bahan perekat antar serat pulp/kertas seperti pati, dekstrin, dan gum (Casey, 1980; Smook, 2002).

Secara umum, penggunaan kertas nano karbon baik asal bambu tali ataupun bambu ampel (dengan atau tanpa penambahan arang aktif) dapat memperkecil penurunan berat bahan yang dibungkus dibandingkan penurunan berat bahan tanpa dibungkus, selama jangka waktu yang sama. Hal ini diindikasikan bahwa wortel yang dibungkus dengan kertas dari bambu (baik asal jenis tali atau ampel, dengan atau tanpa arang) menunjukkan variasi nilai yaitu (-22,653%)–(24,215%). Ternyata nilai tersebut masih jauh lebih rendah dibandingkan nilai penurunan berat wortel kontrol (tidak dibungkus sama sekali) yaitu (-28,164%)–(-72,767%) atau dengan rata-rata -50,466% (Tabel 5).

## 2. Pencermatan nutrisi bahan pangan wortel yang dibungkus

Menurut USDA Food Composition Database (2017), nutrisi kandungan wortel adalah sebagai berikut: kalium (320 mg), kalsium (33 mg), natrium (69 mg), vitamin A (835 µg), vitamin E (0,66 mg), vitamin C (5,9 mg), dan beta karotene (8285 µg).

### a. Kandungan mineral

Mineral (logam) dibagi menjadi dua golongan, yaitu mineral logam esensial dan non-esensial. Logam esensial diperlukan dalam proses fisiologis, sehingga logam golongan ini merupakan unsur nutrisi penting yang jika kekurangan dapat menyebabkan kelainan proses fisiologis atau disebut penyakit defisiensi mineral. Mineral ini biasanya terikat dengan protein, termasuk enzim untuk proses metabolisme tubuh, yaitu kalsium (Ca), fosforus (P), kalium (K), natrium (Na), klorin (Cl), sulfur (S), magnesium (Mg), besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), mangan (Mn), kobalt (Co), iodin (I), dan selenium (Se) (Arifin, 2008).

#### 1). Kalium

Berdasarkan analisis keragaman (Tabel 6), perbedaan kombinasi perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar kalium. Penelaahan lebih lanjut dengan uji BNJ (Tabel 7) mengindikasikan bahwa kadar kalium (K) wortel yang tidak dibungkus lebih tinggi dibandingkan pada wortel segar. Diduga wortel yang tanpa pembungkusan mengalami dehidrasi yang lebih intensif, sehingga kadar unsur K meningkat. Kadar unsur K pada wortel yang dibungkus dengan kertas asal bambu tali sedikit lebih rendah dari pada asal bambu ampel. Ini diduga ada kaitannya dengan kertas nano karbon asal bambu ampel yang sifatnya kurang higroskopis dibandingkan asal bambu tali (Tabel 3). Akibatnya lebih banyak air yang teradsorpsi oleh kertas asal bambu tali dan lebih sedikit air teradsorpsi oleh kertas asal bambu ampel, dan diduga kuat air tersebut dalam bentuk cair (bukan uap) sehingga ikut membawa unsur/ion K yang terlarut memasuki struktur kertas tersebut. Dengan demikian lebih sedikit kadar K tersisa dalam wortel yang dibungkus

dengan kertas asal bambu tali, dan sebaliknya untuk asal bambu ampel. Lebih lanjut kadar K pada wortel yang dibungkus kertas nano karbon dengan melibatkan penggunaan arang aktif lebih rendah dibandingkan dengan yang tanpa arang. Ini berindikasi bahwa intensitas dehidrasi air (bentuk cair atau uap) pada wortel lebih rendah pada kertas nano karbon dengan melibatkan arang aktif. Ini memperkuat indikasi sebelumnya bahwa penggunaan arang aktif mengurangi sifat higroskopis kertas nano karbon (Tabel 3).

Secara keseluruhan, kadar unsur K pada wortel baik yang dibungkus atau tidak dibungkus masih memenuhi USDA Food Composition Database (2017) kecuali untuk wortel segar. Unsur K pada wortel yang dibungkus lebih tinggi dibandingkan dengan kadar K pada wortel segar, akan tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan kadar K pada wortel yang tidak dibungkus (Tabel 7). Ini berindikasi bahwa pembungkusan tidak dapat mencegah dehidrasi (uap air), akan tetapi pembungkusan tersebut dapat mengurangi dehidrasi yang berlebihan (intensif). Kadar unsur K yang tinggi hingga batas tertentu pada wortel untuk tubuh manusia dikehendaki, karena unsur K secara fisiologis diperlukan untuk menjaga keseimbangan asam-basa, keseimbangan banyaknya air tubuh, dan

juga fungsi sel-sel syaraf. Kondisi kekurangan unsur K dapat mengakibatkan kelemahan otot dan akhirnya menyebabkan kematian (Ege, 1994; Starr & Taggart, 1999).

## 2). Kalsium

Perbedaan kombinasi perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar kalsium (Ca) pada wortel (Tabel 6). Telaahan uji BNJ mengindikasikan bahwa kadar Ca pada wortel segar paling rendah, sedangkan kadar Ca pada wortel baik dengan pembungkusan atau tidak dibungkus lebih tinggi. Ini mengisyaratkan bahwa pada wortel baik yang dibungkus atau tidak dibungkus, terjadi proses dehidrasi (bentuk uap air) sehingga kadar Ca meningkat. Lebih lanjut, tidak terdapat perbedaan nyata antara kadar Ca pada wortel baik dibungkus dengan kertas asal serat pulp bambu tali ataupun asal pulp bambu ampel, dan juga baik menggunakan bahan aditif arang aktif ataupun tanpa aditif (kontrol), Ini mengisyaratkan bahwa perbedaan pola dehidrasi yang terjadi pada wortel baik dibungkus (asal serat bambu yang berbeda, dan dengan atau tanpa arang) ataupun tanpa pembungkusan tak banyak mempengaruhi kadar Ca pada wortel. Secara keseluruhan, kadar unsur Ca pada wortel baik yang dibungkus atau tidak dibungkus dan wortel segar masih memenuhi USDA Food Composition Database (2017).

**Tabel 6. Analisis keragaman terhadap sifat nutrisi bahan pangan wortel**

**Table 6. Analysis of variance on nutritional properties of carrots**

Sumber Keragaman (Sources of variation)	Db (df)	Sifat nutrisi				
		Kadar kalium (Kalium's level)	Kadar kalsium (Calcium's level)	Kadar natrium (Natrium's level)	Kadar Vitamin C (Vitamin C's level)	Kadar β-karoten (β-carotene's level)
		F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)
Total	29					
T	5	31,56**	12,09**	38,52**	32,18**	11,84**
Galat (Error)	24					
Rata-rata (Means)	-	352,67	67,50	67,73	0,76	77,77
Satuan (Units)	-	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g	mg/kg	mg/kg
KK, %	-	6,80	7,12	7,38	7,95	6,85
D 0,05	-	46,91	9,40	9,35	0,12	10,41

Keterangan (Remarks): T = perlakuan (Treatments); \* = nyata pada taraf (Significant at level) 5%; \*\* = nyata pada taraf (Significant at level) 1%; tn = tak nyata (Not significant); KK = koefisien keragaman (Coeff. of variation), P = peluang (Probability); D0,05 = nilai kritis uji beda nyata jujur (BNJ) Tukey pada taraf (Critical value of honestly significant difference (HSD) / Tukey test at level) 5%

Kadar Ca pada bahan pangan (termasuk wortel) dikehendaki tinggi hingga batas tertentu untuk tubuh manusia. Kekurangan unsur Ca dapat mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan badan dan organ tubuh lainnya, karena Ca diperlukan untuk pertumbuhan tulang dan gigi. Akan tetapi keberadaan unsur Ca dengan kadar terlalu tinggi dalam tubuh manusia juga tidak dikehendaki, karena dapat memicu penggumpalan darah sehingga menyebabkan tekanan darah tinggi.

### 3). Natrium

Perbedaan kombinasi perlakuan berpengaruh nyata pula terhadap kadar natrium (Na) pada wortel (Tabel 6). Kadar Na pada wortel tanpa pembungkusan terindikasi paling rendah, sedangkan kadar tertinggi pada wortel segar (Tabel 7). Penjelasan yang mungkin adalah unsur Na dalam tanaman (termasuk wortel) umumnya terikat dalam bentuk garam (NaCl). NaCl bersifat mudah larut dalam air; dan sepertinya sewaktu wortel segar dibiarkan beberapa waktu tertentu, akibat perbedaan tekanan uap air antara bagian dalam wortel dan bagian permukaan wortel terjadi gerakan sebagian molekul air ke arah luar permukaan wortel (*dripping*) yang didominasi gerakan ke arah bawah dalam tubuh wortel akibat tambahan pengaruh gravitasi dan selanjutnya membasahi bagian dasar di mana wortel berada (ditempatkan). Gerakan tersebut membawa mineral yang terlarut antara lain unsur Na dalam bentuk NaCl (Meyer, Anderson, & Bohning, 1960). Akibatnya kandungan unsur Na dalam wortel yang tidak dibungkus menurun drastis.

Kadar Na pada wortel yang dibungkus kertas lebih rendah dibandingkan pada wortel segar, akan tetapi keseluruhannya lebih tinggi dari pada wortel yang tanpa dibungkus (Tabel 7). Perlakuan pembungkusan berperan mengurangi efek *dripping* yang terjadi pada wortel yang tidak dibungkus, di mana sebagian air pada wortel tersebut mengalami adsorpsi oleh arang aktif dan gugusan OH (atau polar lain) pada permukaan selulosa (serat kertas). Air yang teradsorpsi tersebut diduga dalam bentuk cair sehingga ikut membawa garam NaCl yang terlarut di dalam air tersebut, sehingga menurunkan kadar unsur Na pada wortel dengan pembungkusan. Kadar Na pada wortel yang dibungkus dengan kertas asal

bambu tali sedikit lebih tinggi dibandingkan asal bambu ampel. Diduga ini terkait dengan kertas asal bambu tali yang higroskopis dari pada asal bambu ampel (Tabel 3). Hal ini berakibat lebih banyak air (dalam bentuk uap air) yang teradsorpsi oleh kertas nano karbon asal bambu tali, tanpa membawa garam NaCl.

Lebih lanjut, kadar Na pada wortel yang dibungkus kertas dengan melibatkan arang aktif lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Diduga ada kaitannya dengan penggunaan arang aktif yang mengurangi sifat higroskopis kertas (Tabel 3). Akibatnya lebih banyak air (bentuk cair dengan membawa unsur Na) pada wortel yang teradsorpsi oleh kertas kontrol (tanpa arang) dibandingkan dengan kertas nano karbon (dengan arang). Dengan demikian kadar sisa unsur Na pada kertas nano karbon masih lebih tinggi (Tabel 7). Secara keseluruhan, hanya kadar unsur Na pada wortel yang dibungkus oleh kertas nano karbon bambu tali dan wortel segar yang masih memenuhi USDA Food Composition Database (2017).

Kadar Na pada bahan pangan dikehendaki tinggi hingga batas tertentu oleh tubuh manusia. Unsur Na pada tubuh diperlukan untuk menjaga keseimbangan asam-basa dan fungsi jaringan syaraf. Kekurangan Na dapat mengakibatkan penurunan nafsu makan dan kram otot. Akan tetapi kelebihan Na juga tidak dikehendaki, karena dapat memicu tekanan darah tinggi.

### b. Vitamin

#### 1). Vitamin A, vitamin E dan vitamin C

Data kadar vitamin A dan E pada bahan pangan wortel hasil pembungkusan dengan 4 macam kertas berikut penggunaan aditif arang aktif menunjukkan nilai di bawah ( $<$ ) 0,50 IU/100 g untuk vitamin A dan ( $<$ ) 0,01 IU/100 g untuk vitamin E (Tabel 7). Dengan demikian tidak dapat ditelaah bagaimana peranan perbedaan macam kertas nano karbon dari serat bambu untuk kertas bungkus, peranan wortel segar dan tanpa dibungkus, dan juga peranan arang aktif dan tanpa arang terhadap vitamin A dan E tersebut (Tabel 6).

Perbedaan kombinasi perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap vitamin C pada wortel, kecuali perlakuan dalam bentuk penggunaan kertas nano karbon asal bambu tali

Tabel 7. Data nutrisi bahan pangan wortel, yang diikuti dengan hasil uji beda nyata jujur (BNJ)  
**Table 7. Data of carrot nutrition followed by HSD (Tukey) test result**

Kombinasi Perlakuan (Treatment combinations)	S	Kadar kalium (K) mg/100 g		Kadar kalsium (Ca) mg/100 g		Kadar natrium (Na) mg/100 g		Kadar vitamin A IU/100 g		Kadar vitamin E IU/100 g		Kadar vitamin C (Vitamin C's level) mg/kg		Kadar β-karoten (β-carotene's level) mg/kg	Nilai Diskriminan (Discriminant value)
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12		
1	0	377	67,3	62,6	<0,50	<0,01	-	<0,70	123,0	A	296,400				
1	1	324	70,7	74,7	<0,50	<0,01	-	1,08	74,6	C	280,068				
2	0	357	70,4	64,9	<0,50	<0,01	-	<0,70	96,6	B	287,055				
2	1	387	74,4	67,5	<0,50	<0,01	-	<0,70	96,4	B	304,417				
Wortel yang dibungkus (Wrapped carrots)		422	A	40,5	D	<0,01	-	<0,70	B	42,6	D	279,578			
Wortel tidak dibungkus (kontrol) (Unwrapped carrots (control))		249	D	53,0	B	78,2	A	<0,01	<0,70	B	33,0	E	220,754		
+/-		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Koefisien diskriminan (Discriminant coeff) (bi)		b1=+22,67174	b2=+9,93944	b3=+9,01940	b5=-	b6=-	b7=+1,58506	b8=+0,27380							

Keterangan (Remarks): G = mutu (Grade); S1 = bambu tali (Tali bambu), S2 = bambu ampel (Ampel bambu); A0 = Kontrol (Control), A1 = + arang aktif (+ Activated charcoal); T = kombinasi perlakuan faktor S dan A (Treatment combinations of S & A factors); Y diskrim = nilai diskriminan (Discriminant values), bi = koefisien determinan (Determinant coeff), dan Yi = sifat kertas nano karbon ke-i yang sudah dibakukan menjadi nilai tanpa satuan, dengan koef. korelasi kanonik nyata (Properties of nano carbon paper at i which each have been standardized into unitless value, with significant canonic determination coeff) R<sup>2</sup>=0,9885\*\*

dengan penggunaan arang, di mana kadar vitamin C tersebut paling tinggi (Tabel 6 dan 7). Diduga ini ada kaitannya dengan kertas asal bambu tali yang lebih higroskopis (Tabel 3), akibatnya wortel yang dibungkus mengalami banyak dehidrasi (uap air), sehingga kadar vitamin C pada wortel tersebut meningkat (paling tinggi).

## 2). $\beta$ -karoten

Perbedaan kombinasi perlakuan mengakibatkan pengaruh nyata terhadap kadar  $\beta$ -karoten pada wortel (Tabel 6). Kadar  $\beta$ -karoten terendah terdapat pada wortel segar (Tabel 7). Kadar  $\beta$ -karoten pada wortel yang tidak dibungkus sedikit lebih tinggi, diduga kuat ini terjadi akibat proses dehidrasi.  $\beta$ -karoten bersifat tidak larut air, sehingga proses dehidrasi (baik bentuk air atau uap air) diindikasikan kuat tidak akan mempengaruhi atau merubah banyaknya  $\beta$ -karoten pada wortel tersebut. Secara keseluruhan, kadar  $\beta$ -karoten pada wortel yang dibungkus kertas lebih tinggi dibandingkan pada wortel segar dan wortel tanpa pembungkusan (Tabel 7). Inipun terjadi akibat proses dehidrasi air, di mana air (bentuk cair ataupun uap air) diadsorpsi oleh gugus OH pada selulosa kertas dan arang aktif, sehingga terjadi peningkatan kadar  $\beta$ -karoten tersebut.

Lebih lanjut, kadar  $\beta$ -karoten pada wortel baik yang dibungkus kertas asal bambu tali ataupun asal bambu ampel tidak berbeda nyata (Tabel 7). Akan tetapi, kadar  $\beta$ -karoten yang dibungkus kertas nano karbon (menggunakan arang) sedikit lebih rendah dibandingkan dengan yang dibungkus kertas kontrol (tanpa arang). Diduga ada kaitannya dengan penggunaan arang yang mengakibatkan penurunan sifat higroskopis kertas (Tabel 3). Higroskopisitas tersebut menarik lebih banyak air dari wortel (bentuk uap) yang dibungkus kertas kontrol, sehingga meningkatkan kadar  $\beta$ -karoten pada kertas tersebut, dan keadaan sebaliknya untuk kertas nano karbon.

Senyawa  $\beta$ -karoten disebut juga pro vitamin A, karena dalam tubuh manusia akan disintesa menjadi vitamin A. Kadar  $\beta$ -karoten pada bahan pangan dikehendaki tinggi oleh tubuh manusia hingga batas tertentu.  $\beta$ -karoten berperan sebagai menjaga fungsi jaringan mata dan menjaga kesegaran jaringan epitel (kulit). Kekurangan  $\beta$ -karoten dapat menyebabkan gangguan penglihatan dan akhirnya kebutaan.

$\beta$ -karoten bersifat tidak larut air (tetapi larut dalam minyak), sehingga dalam jumlah berlebih dapat membahayakan tubuh manusia, seperti rasa pusing, mual, dan kerusakan jaringan liver (Starr & Taggart, 1999).

## c. Telaahan nutrisi wortel secara menyeluruh

Secara umum, mutu nutrisi wortel sebagai bahan pangan yang dikehendaki manusia dalam kaitan ini adalah berkadar mineral (K, Ca, Na) tinggi; berkadar vitamin (A, E, C,  $\beta$ -karoten) tinggi. Atas dasar itu diterapkan analisis diskriminan (Tabel 7), yang selanjutnya menghasilkan persamaan diskriminan  $Y\text{-diskr} = \sum b_i \cdot Y_i = + 22,672 Y_1$  (kadar K) + 9,939  $Y_2$  (kadar Ca) + 9,019  $Y_3$  (kadar Na) + 1,585  $Y_7$  (vitamin C) + 0,274  $Y_8$  (beta-karoten), di mana nilai  $Y_i$  merupakan nilai mutu nutrisi wortel (secara kuantitatif) yang sudah dibakukan (*standardized*) menjadi nilai tanpa satuan.

Nilai mutu ( $Y\text{-diskr}$ ) yang terbesar dari persamaan tersebut mengindikasikan bahwa produk kertas hasil kombinasi tertentu antara jenis bahan serat (bambu tali atau bambu ampel) dengan/tanpa melibatkan arang aktif adalah paling prospektif untuk pembungkusan bahan pangan (wortel), karena dianggap dapat menjaga mutu nutrisi wortel secara maksimal. Sebaliknya, nilai  $Y\text{-diskr}$  terendah mengindikasikan produk kertas hasil kombinasi tertentu lainnya yang paling-tidak-prospektif untuk pembungkusan wortel dengan hasil paling rendah (buruk) karena tidak/kurang dapat menjaga mutu nutrisi wortel. Selanjutnya, nilai  $Y\text{-diskr}$  yang terletak antara nilai  $Y\text{-diskr}$  tertinggi dan nilai  $Y\text{-diskr}$  terendah menunjukkan keprospektifan produk kertas hasil kombinasi tertentu jenis macam bahan serat bambu dengan/tanpa arang yang bisa menempati urutan kedua, ketiga, keempat, dan seterusnya tergantung dari besarnya nilai  $Y\text{-diskr}$  tersebut. Persamaan diskriminan tersebut ( $Y\text{-diskr} = \sum b_i \cdot Y_i$ ) dianggap memadai (*representative*) karena memiliki nilai koefisien korelasi kanonik nyata ( $R = 0,9885^{**}$ ). Selanjutnya, berdasarkan nilai mutlak koefisien persamaan tersebut ( $| b_i |$ ), maka peranan masing-masing aspek nutrisi terhadap mutu wortel ( $Y_i\text{-diskr}$ ) ternyata tak sama satu sama lainnya yaitu berturut-turut:  $b_1$  (kadar K) >  $b_2$  (kadar Ca) >  $b_3$  (kadar Na) >  $b_7$  (kadar vitamin C) >  $b_8$  (kadar  $\beta$ -karoten)

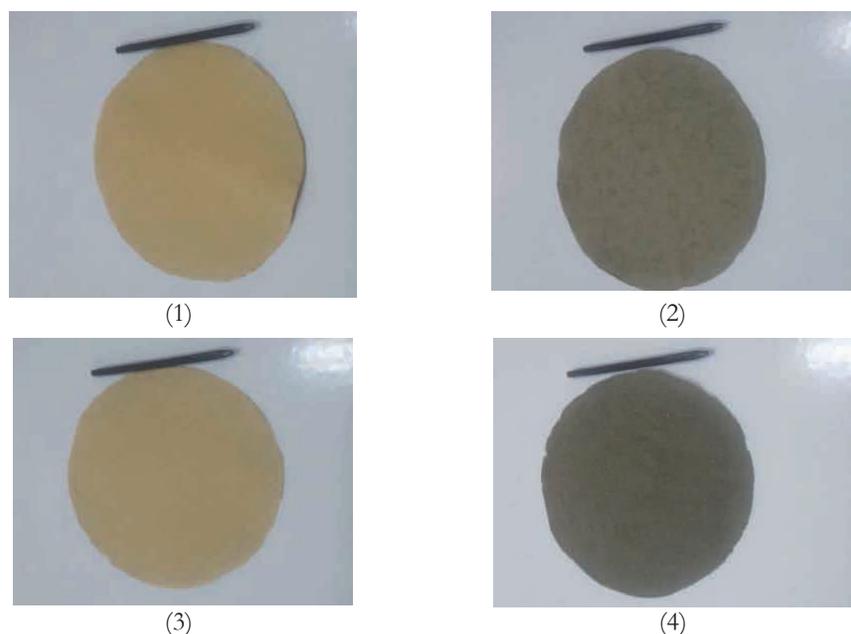
(Tabel 7).

Dari persamaan diskriminan tersebut diperoleh indikasi bahwa produk kertas asal serat pulp bambu ampel dengan melibatkan arang aktif (Tabel 7) adalah paling berprospek untuk pembungkusan wortel, karena nilai diskriminan produk kertas tersebut paling tinggi ( $Y\text{-diskr} = 304,417$ ). Ini mengisyaratkan bahwa aspek positif sifat dasar bambu ampel dan pengolahan pulpnya berikut aspek positif arang aktif mendominir/mengalahkan aspek negatif bambu dan arang tersebut (Sulastiningsih et al., 2015).

Persamaan diskriminan mengisyaratkan pula bahwa produk kertas asal pulp bambu tali (dengan melibatkan arang) berprospek paling rendah untuk pembungkusan wortel (Tabel 7), karena nilai diskriminan produk kertasnya paling rendah pula ( $Y\text{-diskr} = 280,068$ ). Ini mengindikasikan bahwa aspek negatif sifat dasar/pengolahan pulp bambu

tali dan sifat pengolahan pulp bambu tersebut berikut aspek negatif arang mengalahkan aspek positif bambu/arang tersebut (Sulastiningsih et al., 2015).

Diisyaratkan pula bahwa performa produk kertas asal serat pulp bambu tali tanpa melibatkan arang aktif menduduki urutan/*ranking* kedua ( $Y\text{-diskr} = 296,400$ ), sedangkan performa kertas asal serat bambu ampel (juga tanpa arang) pada urutan ketiga ( $Y\text{-diskr} = 287,055$ ) (Tabel 7). Lebih lanjut, nilai diskriminan produk kertas yang melibatkan arang aktif ( $Y\text{-diskr} = 280,068\text{-}304,417$ ) cenderung lebih tinggi dari pada nilai diskriminan produk tanpa arang aktif ( $Y\text{-diskr} = 287,055\text{-}296,400$ ). Ini mengisyaratkan bahwa penggunaan arang aktif berperan positif menjaga mutu nutrisi wortel tersebut. Ini berindikasi pada aspek positif arang yang berperan menurunkan penyerapan air dan meningkatkan ketahanan lipat



**Gambar 3. Penampakan visual kertas yang dibuat dengan bahan baku bambu tali dan ampel murni serta kertas dengan penambahan arang aktif**

**Figure 3. Visual appearance of paper made pure tali and ampel bamboo raw materials and paper with of activated charcoal addition**

Keterangan (*Remarks*):

1. Tali Kontrol (Kertas dari jenis bambu tali tanpa arang aktif/*Paper made from tali bamboo without activated charcoal*)
2. Tali arang (Kertas dari jenis bambu tali dengan arang aktif/*Paper made from tali bamboo with activated charcoal*)
3. Ampel Kontrol (Kertas dari jenis bambu ampel tanpa arang aktif/*Paper made from ampel bamboo without activated chardoal*)
4. Ampel arang (Kertas dari jenis bambu ampel dengan arang aktif/*Paper made from ampel bamboo with activated charcoal*)

mengalahkan aspek negatif arang tersebut seperti menurunkan nilai ketahanan tarik, kekuatan sobek, dan ketahanan retak (Tabel 3).

Secara umum produk kertas asal bambu ampel lebih berprospek dibandingkan asal serat bambu tali untuk pembungkusan bahan pangan wortel. Ini berindikasi bahwa aspek positif serat bambu ampel lebih kuat dari pada aspek positif serat bambu tali.

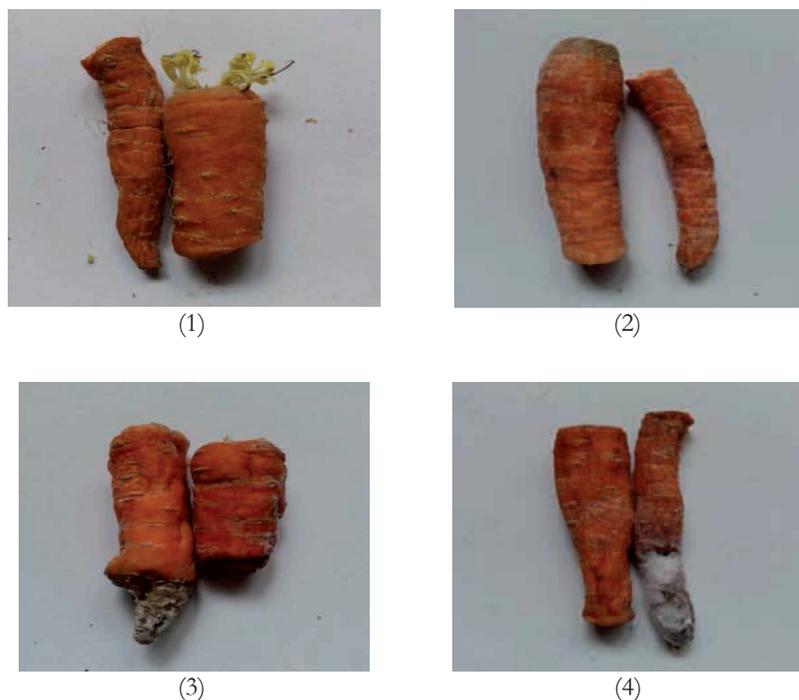
Selanjutnya nilai diskriminan keseluruhan produk kertas untuk pembungkusan wortel ( $Y\text{-diskr} = 280,068\text{-}304,417$ ) yang lebih tinggi dibandingkan nilai diskriminan wortel tanpa pembungkusan ( $Y\text{-diskr} = 279,578$ ) dan nilai untuk wortel segar ( $Y\text{-diskr} = 220,754$ ) (Tabel 7) mengisyaratkan perlunya menggunakan kertas hasil percobaan untuk pembungkusan wortel karena terindikasi dapat menjaga dan bahkan meningkatkan mutu nutrisinya.

#### D. Penampakan Visual

Untuk menambah informasi kinerja penambahan aditif berupa arang aktif terhadap kertas sebagai pembungkus bahan pangan, penampakan secara visual diamati pada wortel yang dibungkus. Hasil pengamatan seperti pada Gambar 3 dan 4.

Pada Gambar 3 diatas terlihat bahwa sekilas tidak terjadi perbedaan yang nyata antara warna kertas yang dibuat dari bambu tali maupun ampel tanpa penambahan arang aktif (kertas berwarna kecoklatan) namun ketika ditambahkan dengan arang aktif maka kertas yang terbentuk akan berwarna lebih gelap yaitu seperti warna hijau lumut.

Berdasarkan Gambar 4 tampak bahwa kertas nano karbon bambu tali diduga lebih baik dalam mempertahankan kualitas buah wortel



**Gambar 4. Penampakan visual wortel yang dibungkus kertas nano karbon**  
**Figure 4. Visual appearance of the carrots wrapped with nano carbon paper**

Keterangan (*Remarks*):

1. Tali Kontrol (Wortel yang dibungkus kertas dari jenis bambu tali tanpa arang aktif/ *Carrots wrapped with paper made from tali bamboo without activated charcoal*)
2. Tali arang (Wortel yang dibungkus kertas dari jenis bambu tali dengan arang aktif/ *Carrots wrapped with paper made from tali bamboo with activated charcoal*)
3. Ampel Kontrol (Wortel yang dibungkus kertas dari jenis bambu tali tanpa arang aktif/ *Carrots wrapped with paper made from ampel bamboo without activated charcoal*)
4. Ampel arang (Wortel yang dibungkus kertas dari jenis bambu ampel dengan karbon aktif/ *Carrots wrapped with paper made from ampel bamboo with activated charcoal*)

dibandingkan dengan bambu ampel dilihat dari porsi pembusukan dan kekerasan daging buahnya. Hal ini mendukung data Tabel 3 dimana penyerapan air pada muka atas dan bawah kertas aktif bambu tali lebih tinggi dibandingkan dengan bambu ampel. Untuk kontrol dilihat dari tekstur dan kekerasan daging buahnya maka kertas kontrol untuk bambu tali dan bambu ampel lebih rendah dibandingkan dengan yang diberi arang aktif.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan pencermatan sifat kekuatan kertas nano karbon secara serentak, bahan serat untuk kertas nano karbon yang paling berprospek sebagai kertas bungkus adalah serat pulp bambu tali, dikombinasikan dengan penggunaan arang aktif sedangkan prospek terendah atau paling tidak-berprospek adalah serat bambu ampel (dengan kombinasi arang). Penambahan arang aktif yang dicampur dengan pulp (bambu tali ataupun bambu ampel) cenderung menurunkan sifat kekuatan kertas nano karbon, namun mampu menurunkan daya serap (penetrasi) air.

Kertas nano karbon yang paling efektif untuk melindungi bahan pangan wortel adalah asal serat bambu ampel dikombinasikan dengan arang aktif, karena menunjukkan penurunan berat bahan dan menjaga kesegaran bahan yang dibungkus yang paling kecil dan urutan kedua adalah kertas nano karbon asal bambu tali (juga dikombinasikan dengan arang). Akan tetapi seperti sudah disebutkan sebelumnya, sifat kekuatan kertas nano karbon asal bambu ampel di bawah sifat asal bambu tali. Untuk memperbaiki kekurangan (kelemahan tersebut), disarankan gramatur kertas nano karbon yang berasal pulp bambu ampel ditingkatkan maksimal dua kali lipat atau ditambahkan bahan aditif yang berfungsi sebagai perekat antar serat pulp (kertas).

Secara keseluruhan, penurunan berat bahan pangan menggunakan kertas nano karbon hasil percobaan lebih kecil dibandingkan penurunan berat bahan tanpa pembungkus, dan penggunaan arang terindikasi berpengaruh positif terhadap mutu nutrisi wortel, dan secara umum, produk kertas nano karbon asal bambu ampel sebagai

pembungkus bahan pangan wortel, lebih berprospek sebagai pelindung daripada kertas nano karbon asal bambu tali.

##### B. Saran

Pengamatan terhadap laju pembusukan serta pengurangan berat wortel harus dilakukan setiap hari sehingga dapat diketahui kapan tepatnya pembusukan dan pengurangan berat yang signifikan mulai terjadi, serta analisis mikroba terhadap dekomposisi kertas dan makanan dapat dilakukan pada penelitian berikutnya.

##### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih sebesarnya disampaikan pada Bapak Dr. Ir. Han Roliadi, MSc, purna tugas peneliti di Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor, atas segala saran dan informasinya dan juga pengolahan data terkait aspek statistik publikasi ilmiah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Setyani B. Lestari, Ah.T., Ibu Yoswita dan Alm. Bapak Ismat, teknisi di Kelti Pengolahan Kimia dan Energi Hasil Hutan atas segala bantuannya di Laboratorium.

##### DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z. (2008). Beberapa unsur mineral esensial mikro dalam sistem biologi dan metode analisisnya. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(3), 99–105.
- Asgar, A., & Musaddad, D. (2006). Optimalisasi cara, suhu, dan lama blansing sebelum pengeringan pada wortel. *Jurnal Hortikultura*, 16(3), 245–252.
- Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia. (2012). Industri kertas diadang isu dumping. Diakses dari <http://apki.net/?p=2248>, pada 2 Agustus 2016.
- Badan Pusat Statistik. (2014). *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Bratovčić, A., Odošević, A., Čatić, S., & Šestan, I. (2015). Application of polymer nanocomposite materials in food packaging. *Croatian Journal of Food Science and Technol.*, 7(2), 86–94. doi.10.17508/CJFST.2015.7.2.06.

- Casey, J. (1980). *Pulp and paper chemistry and technology. (Third edition, Vol. I)*. New York - Brisbane - Toronto: A Wiley-Interscience Publication.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., ... Watkins, R. (2008). Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 25(3), 241–258. doi.10.1080/02652030701744538.
- Darmawan, S., Syafii, W., Wistara, N. J., Maddu, A., & Pari, G. (2015). Kajian struktur arang-pirolisis, arang-hidro dan karbon aktif dari kayu *Acacia mangium* Willd . menggunakan difraksi sinar-x. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(2), 81–92. doi.10.20886/jphh.2015.33.2.81-92.
- Darmawan, S., Wistara, N. J., Pari, G., Maddu, A., & Syafii, W. (2016). Characterization of lignocellulosic biomass as raw material for the production of porous carbon-based materials. *BioResources*, 11(2), 3561–3574. doi.10.15376/biores.11.2.3561-3574.
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. doi.10.1016/j.jcis.2011.07.017.
- Ege, S. . (1994). *Organic chemistry: Structure and reactivity, (3<sup>rd</sup> ed)*. Lexington, Massachusetts/ Toronto: D.C. Health and Company.
- Haygreen, J., & Bowyer, J. (1999). *Forest products and wood science: An introduction*. Ames. Iowa: Iowa State University.
- Jamilatun, S., & Setyawan, M. (2014). Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair. *Spektrum Industri*, 12(1), 73–86.
- Karnib, M., Holail, H., Olama, Z., Kabbani, a, & Hines, M. (2013). The antibacterial activity of activated carbon , silver , silver impregnated activated carbon and silica sand nanoparticles against pathogenic *E . coli* BL21. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(4), 20–30.
- Kartika, V., Ratnawulan, & Gusnedi. (2016). Karbon aktif kulit singkong sebagai bahan dasar GDL (*Gas Diffussion Layer*). *Pillar of Physics*, 7, 105–112.
- Kementerian Kahutanan. (2012). *Statistik kebutuhan Indonesia*. Kementerian Kehutanan, Jakarta
- Kompas. (2012, May 9). Lingkungan, data hutan: Laju deforestasi hutan 1,5 juta hektar per tahun. Jakarta.
- Koswara, S. (2009). Pengawet alami untuk produk dan bahan pangan. Diakses dari <http://tekpan.unimus.ac.id/wp-content/uploads/2013/07/pengawet-alami-untuk-produk-dan-bahan-pangan.pdf>, pada tanggal 24 Januari 2017.
- Meyer, B. S., Anderson, D. B., & Bohning, R. . (1960). *Introduction to plant physiology*. Toronto – London – New York: D. Van Nostrand Co., Inc. Priceton, NJ.
- Morrison, D. (2003). *Multivariate statistical methods. (2<sup>nd</sup> ed)*. New York – London – Tokyo – Toronto: McGraw-Hill Book Co.
- Ott, R. (1994). *An introduction to statistical methods and data analysis*. Belmont, CA. USA: Duxbury Press.
- Penniman, O., Makonin, A., & Rankin, A. (2004). Alkaline papermaking nanotechnology: the ideal digital imaging and printing. Diakses dari <http://imrise.tappi.org/TAPPI/Products/04/SEP/04SEPOE03.aspx>, pada tanggal 9 September 2013.
- Pracaya. (2007). *Bertanam sayuran organik di kebun, pot & polibag*. Depok: PT. Penebar Swadaya.
- Sitorus, D. O. (2014). *Peningkatan potensi campuran serat sabut kelapa dan serbuk kayu gergaji terkativasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai media adsorben zat warna terhadap limbah kain songket*. (Skripsi sarjana). Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang. Diakses dari [http://eprints.polsri.ac.id/929/3/BAB II.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/929/3/BAB%20II.pdf), pada tanggal 24 Januari 2017.

- Smook, G. (2002). *Handbook for pulp and paper technologists*. Atlanta, Georgia: Joint Text book Committee of the Paper Industry.
- Starr, C., & Taggart, R. (1999). *Biology: The Unity and diversity of life*. (5<sup>th</sup> Ed). Belmont, CA. USA: Wadsworth Publishing Co.
- Statistical Analysis System. (1997). *Guide for personal computers* (6<sup>th</sup> Ed.). Cary, NC. 27512-8000: SAS Institute Inc.
- Stephenson, J. . (1972). *Pulp and paper manufacture: preparation of stock for paper making* (Vol. 2) New York – Toronto – London.: McGraw-Hill Book Co., Inc.
- Sulastiningsih, I. M., Santoso, A., Pari, G., Indrawan, D. A., Hadjib, N., & Iskandar, M. (2015). Teknik pengolahan dan diversifikasi produk serat dan partikel bambu. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2007). *TAPPI test method*. Atlanta, Georgia: TAPPI Press.
- USDA Food Composition Database. (2017). *National nutrient database for standard reference release 28 slightly revised May , 2016 Full Report ( All Nutrients ) 11124 , Carrots , raw*. Diakses dari <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2901?n1=%7BQv%3D1%7D&fgcd=&man=&facet=&count=&max=50&sort=default&qlookup=carrot&offset=&format=Full&new=&measureby=&Qv=1&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>, pada 30 Januari 2017.