

Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika

Yusraini Dian Inayati Siregar¹, Rudi Heryanto², Adi Riyadhi¹, Tri Heny Lestari¹, Nurlela¹

¹Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

²Pusat Studi Biofarmaka Institut Pertanian Bogor

Email : yuskimia@uinjkt.ac.id

Received: October 2015; Revised: November 2015; Accepted: November 2015; Available Online: August 2016

Abstrak

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben pada pemurnian gas, pemurnian pulp dan juga untuk pemurnian produk pangan antara lain penjernihan minyak, pemurnian gula tebu, gula bit, gula jagung, menghilangkan rasa dan bau air minum. Karbon aktif dapat berasal dari tumbuhan dan tulang hewan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan profil spektrum karbon aktif asal tumbuhan dan tulang hewan dengan menggunakan FTIR. Data hasil analisis FTIR dikombinasikan dengan analisis kemometrika untuk mengklasifikasikan serta mengelompokkan data tersebut, sehingga dapat membedakan karbon aktif dari tumbuhan dan tulang hewan. Metode analisis FTIR yang dikombinasikan dengan analisis kemometrika melalui pemodelan PCA (*Principal Component Analysis*) dan PLS-DA (*Partial Least Squares-Discriminant Analysis*) mampu membedakan karbon aktif yang berasal dari tumbuhan (tempurung kelapa) dan tulang hewan (sapi dan babi). PCA dengan total keragaman 89% mampu mengelompokkan sampel karbon aktif tumbuhan dan tulang hewan. Model PLSDA berhasil memprediksi sampel uji berdasarkan kelompok bahan baku sampel karbon aktif. Pembuatan model prediksi karbon aktif dengan PLS menghasilkan R^2 kalibrasi, R^2 prediksi, RMSEC, dan RMSEP masing-masing sebesar 0.9787389; 0.9662152; 0.0687364 dan 0.0928362. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa spektra FTIR dan kemometrik dapat digunakan untuk membedakan karbon aktif yang berasal dari tumbuhan dan tulang hewan.

Kata kunci: FTIR, karbon aktif, kemometrika, PCA, PLS-DA, tulang hewan.

Abstract

Activated carbon is widely used as an adsorbent in gas purification, refining pulp, and also for the purification of food products, among others, oil purification, refining cane sugar, beet sugar, corn sugar, eliminate the taste and odor of drinking water. Carbon active can be derived from plant and animal bone. This study aims to analyze the differences in spectral profile of activated carbon from plants and animal bones by using FTIR. The data combined with the results of FTIR analysis chemometrics to classify and categorize the data, so it is clear where the activated carbon from plants and animal bones. FTIR analysis methods combined with chemometrics analysis through modeling PCA (*Principal Component Analysis*) and PLS-DA (*Partial Least Squares-Discriminant Analysis*) is able to distinguish between activated carbon derived from plants (coconut shell) and animal bones (beef and pork). PCA with total diversity of 89% were able to classify the samples of activated carbon plant and animal bones. PLSDA models successfully predicted the test sample is based on a sample group of activated carbon raw material. Manufacture of activated carbon predictive models with PLS calibration generates R^2 , R^2 predictions, RMSEC, and RMSEP respectively by 0.9787389, 0.9662152, 0.0687364 and 0.0928362. The results showed that FTIR spectra and can be used to distinguish chemometrics activated carbon derived from plant and animal bones

Keywords: FTIR, activated carbon, chemometrics, animal bones, PCA, PLS-DA.

DOI :<http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3146>.

1. PENDAHULUAN

Saat ini diperkirakan konsumsi karbon aktif dunia mencapai 300.000 ton/tahun dan 10.12% bahan bakunya berasal dari arang tempurung kelapa (BPTP Jambi, 2006). Karbon atau arang aktif adalah suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Chand *et al.*, 2005). Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben pada pemurnian gas, pemurnian pulp, penjernihan minyak, katalis, dan juga untuk pemurnian produk pangan antara lain pembersihan larutan gula tebu, gula bit, gula jagung, menghilangkan rasa dan bau air minum, pemurnian minyak nabati, dan minuman alkohol (Wijayanti, 2009).

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan seperti tempurung kelapa, tulang dan batubara (Manocha, 2003), tongkol jagung (Alfiany *et al.*, 2013), sekam padi (Yusuf dan Tjahjani, 2013), tulang ayam (Maftuhin *et al.*, 2014), tulang sapi (Rezaee *et al.*, 2013) dan tulang ikan (Lokapusita *et al.*, 2012). Berdasarkan uraian tersebut perlu dilakukan cara mendekripsi sumber karbon aktif untuk menentukan sumber asal dan kehalalan produk karbon aktif, karena karbon aktif dari sumber yang berbeda memiliki komposisi kimia yang berbeda pula. Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Bledzki *et al.*, 2010), sedangkan pada tulang komposisi kimianya berupa hidroksiapatit, kolagen, glikosaminoglikan, proteoglikan, dan glikoprotein (Zhao *et al.*, 2002).

Gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif tempurung kelapa yaitu gugus C=O pada bilangan gelombang 1751.24 cm^{-1} , gugus C=C pada bilangan gelombang 1542.95 cm^{-1} , gugus C-C pada bilangan gelombang 1155.28 cm^{-1} , dan gugus C-H pada bilangan gelombang 885.27 cm^{-1} (Bani *et al.* 2013). Menurut Rezaee *et al.*, (2013), gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif tulang hewan yaitu O–H stretching vibration pada bilangan gelombang 3431.05 cm^{-1} , C=O stretching vibration antara bilangan gelombang 1800 dan 1650 cm^{-1} , dan C–O stretching vibration diantara bilangan gelombang 1600 dan 1400 cm^{-1} .

Analisis yang sering digunakan dalam identifikasi karakteristik gugus fungsi adalah dengan spektroskopi FTIR (*Fourier Transform*

Infra Red). Spektroskopi FTIR merupakan teknik analisis yang sangat berguna dan banyak dimanfaatkan dalam analisa berbagai produk pangan dikarenakan analisanya relatif cepat, hasil pengukuran yang akurat, preparasinya yang tidak terlalu rumit dan mudah dikerjakan oleh siapa saja tanpa perlu keahlian khusus (Hashim *et al.*, 2010). Spektroskopi FTIR mampu membedakan spektrum dari dua sampel yang berbeda berdasarkan karakteristik struktur intramolekulernya dimana kemampuan menyerap cahaya dari suatu senyawa akan berbeda bergantung pada sifat fisikokimia, ikatan antar atom dalam senyawa dan karakteristik gugus fungsinya (Kumosinski dan Farrell, 1993). Pola spektrum IR yang kompleks menyebabkan interpretasi secara langsung dan visual menjadi tidak mudah. Teknik kemometrika seperti analisis multivariat dapat digunakan untuk memudahkannya (Gad *et al.*, 2012).

Keuntungan dari penggunaan teknik kemometrika untuk interpretasi spektrum IR adalah kemampuannya dalam mengaitkan profil spektrum dengan informasi tersembunyi yang dikandung oleh sampel (Zou *et al.*, 2005). FTIR yang dikombinasikan dengan kemometrika mampu membedakan sumber asal jahe (Purwakusumah *et al.*, 2014), memprediksi kadar flavonoid total tempuyung (Rohaeti *et al.*, 2011), mengidentifikasi keberadaan lemak babi dalam bakso daging sapi (Rohman *et al.*, 2011) dan untuk kendali mutu simpisia kumis kucing (Marlina, 2013).

Kemometrika biasa digunakan untuk menemukan korelasi statistik antara data spektrum dan informasi yang telah diketahui dari suatu contoh. Metode kemometrika memungkinkan penggunaan model analisis multivariat dalam penerapannya, yaitu model yang melibatkan lebih dari satu masukan (variabel x) untuk menghasilkan suatu efek tertentu (variabel y). PCA dan PLS-DA merupakan contoh model multivariat. PCA merupakan suatu teknik multivariat untuk mereduksi dimensi variabel dengan tidak kehilangan informasi. Prinsip PCA adalah mencari komponen utama yang merupakan kombinasi linear dari peubah asli (Varmuza, 2002). PCA memudahkan visualisasi pengelompokan data, evaluasi awal kesamaan antarkelompok atau kelas, dan menemukan faktor atau alasan di balik pola yang teramatmelalui korelasi dengan sarana kimia atau

fisika-kimia contoh (Chew *et al.*, 2004). Ide utama PLS adalah menghitung nilai komponen utama (*principal component*) data matriks X dan Y dan membangun model regresi antarnilai (dan dari data perkiraan). X adalah matriks penduga yang berisi data hasil sumber percobaan, sedangkan Y merupakan matriks respons dengan data yang dapat menginformasikan tentang proses percobaan. PLS mampu menganalisis data dengan jumlah yang cukup banyak, memiliki tingkat kolinearitas tinggi, sejumlah besar variable x, dan beberapa variabel respons y (Wold *et al.*, 2001).

Penelitian ini diharapkan mampu membedakan karbon aktif yang berasal dari tumbuhan dan tulang hewan melalui pendekatan metode FTIR yang dikombinasikan dengan analisis kemometrika.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanur Vulcan A-550, oven Memmert, desikator, timbangan analitik Ohaus, spektroskopi FTIR Perkin Elmer, kertas saring Whatman No. 41, ayakan ABM *Test Sieve Analys* 60 mesh, *grinding mill*, pH indikator Merck dan alat-alat gelas.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa, tulang sapi, dan tulang babi (didapatkan dari Pasar Kedoya Jakarta Barat), serta karbon aktif yang ada dipasaran merek Borneo (didapatkan dari toko bahan kimia di daerah Ciledug, Tanggerang). Bahan-bahan lain yang digunakan adalah H_3PO_4 Merck $Na_2S_2O_3$ Merck, I_2 Merck, KBr Merck, $K_2Cr_2O_7$ Merck, , dan CH_3COOH Merck, H_2SO_4 Sigma Aldrich, Amilum dan Akuades

Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Preparasi tempurung kelapa dilakukan dengan cara memisahkan kotoran-kotoran (kerikil, tanah) yang mungkin terikut dibersihkan secara manual dengan cara dicuci. Lalu dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 105 °C. Sampel yang sudah dibersihkan dikarbonisasi menggunakan tanur pada temperatur 400 °C selama 3 jam agar sampel menjadi arang/karbon. Karbon yang sudah terbentuk ditumbuk atau digiling dengan grinder sampai halus kemudian diayak dengan

ayakan 60 mesh, setelah itu direndam dalam larutan H_3PO_4 3 M. Lalu direndam selama 7 jam. Sampel selanjutnya disaring menggunakan kertas whatman, kemudian dicuci menggunakan air panas sampai filtrat mempunyai pH netral (pH 6 sampai 7) diukur menggunakan kertas pH universal. Karbon aktif yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 3 jam sampai berat konstan (Kurniawan *et al.*, 2014).

Pembuatan Karbon Aktif Tulang Sapi dan Tulang Babi

Tulang sapi dan tulang babi masing-masing dipotong menjadi ukuran kecil. Potongan-potongan tulang dicuci dengan akuades bertemperatur 80 °C dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 105 °C selama 4 jam untuk menghilangkan kandungan lemaknya. Sebanyak tulang sapi yang telah dioven ditimbang dan dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu 450 °C selama 4.5 jam. Kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Tulang sapi dan tulang babi yang sudah dikarbonisasi dihaluskan dan diayak menggunakan saringan mesh ukuran 60 mesh. Sebanyak 10 gram tulang sapi dan tulang babi yang sudah dikarbonisasi dicampurkan dengan 100 mL CH_3COOH 0.1 N. Kemudian didiamkan selama 12 jam pada suhu kamar. Setelah itu disaring dan dikeringkan selama 5 jam dalam oven pada suhu 150 °C (Rezaee *et al.*, 2013).

Penetapan Kadar Air (SNI 06-3730-1995)

Sebanyak 1 gram karbon aktif ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui bobot keringnya. Cawan yang berisi sampel dikeringkan dalam oven pada temperatur 105 °C selama 3 jam sampai bobotnya konstan dan didinginkan di dalam deksikator lalu ditimbang. Pengeringan dan penimbangan diulangi setiap satu jam sampai diperoleh bobot konstan. Perhitungan kadar air menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_2} \times 100$$

Keterangan:

W1 = bobot sampel sesudah pemanasan (gram)

W2 = bobot sampel sebelum pemanasan (gram)

Penetapan Kadar Abu (SNI 06-3730-1995)

Sebanyak 2 gram karbon aktif ditempatkan dalam cawan porselin yang telah dikeringkan dalam oven dan diketahui bobot keringnya. Cawan yang berisi sampel ditanur pada temperatur 800 °C selama 3 jam. Didinginkan di dalam deksikator lalu ditimbang. Penimbangan diulangi setiap satu jam sampai diperoleh bobot konstan.

Perhitungan kadar abu menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100$$

Keterangan:

W1 = bobot sampel sesudah pemanasan (gram)

W2 = bobot sampel sebelum pemanasan (gram)

Penetapan Daya Serap Iodin (SNI 06-3730-1995)

Sampel kering sebanyak 0.4 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang ditutup alumunium foil lalu ditambahkan 40 mL larutan I₂ 0.1N dan dikocok selama 15 menit lalu disaring. Filtrat sebanyak 10 mL dititrasi dengan Na₂S₂O₃ 0.1 N hingga berwarna kuning muda, kemudian ditambahkan beberapa tetes amilum 1%, titrasi dilanjutkan sampai warna biru tepat hilang. Hal yang sama dilakukan terhadap blanko.

$$\text{Daya serap iodin (mg/g)} = \frac{(10 - \frac{V \times N}{0.1}) \times 12,69 \times 5}{W}$$

Keterangan:

V : Volume Na₂S₂O₃ yang diperlukan (mL)

N : Normalitas larutan Na₂S₂O₃ (N)

12.69 : Jumlah iod sesuai dengan 1 mL larutan Na₂S₂O₃ 0.1 N

W : Massa sampel (gram)

Bagian yang Hilang pada Pemanasan 950 °C (SNI 06-3730-1995)

Sampel sebanyak 1 gram ditimbang ke dalam cawan porselin yang sudah diketahui bobotnya, di atas cawan tersebut diletakkan lagi cawan lain yang sudah diketahui bobotnya, sehingga sampel berada diantara kedua cawan itu. Cawan dan sampel dipanaskan sampai 950 °C di dalam tanur, setelah suhu tercapai cawan dan isinya didinginkan, dalam desikator kemudian ditimbang.

$$\text{Bagian yang hilang pada pemanasan } 950^{\circ}\text{C} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

Keterangan:

W1= bobot sampel semula

W2= bobot sampel setelah pemanasan

Karbon Aktif Murni (SNI 06-3730-1995)

Prinsipnya dihitung dari contoh dengan mengurangi abu dan yang hilang pada pemanasan 950 °C.

$$\text{Karbon aktif murni (\%)} = 100 - (A + B)$$

Keterangan:

A= yang hilang pada pemanasan 950°C

B= Abu

Pengujian Sampel dengan Spektroskopi FTIR

Penelitian menggunakan kelompok sampel karbon aktif tempurung kelapa (TK), karbon aktif tulang sapi (TS) dan karbon aktif tulang babi (TB) dengan jumlah sampel karbon aktif untuk tiap kelompok sebanyak 5 sampel sehingga total sampel yang digunakan yaitu 15 sampel. Sebanyak 15 sampel ini akan diuji dengan FTIR untuk dijadikan model diskriminasi.

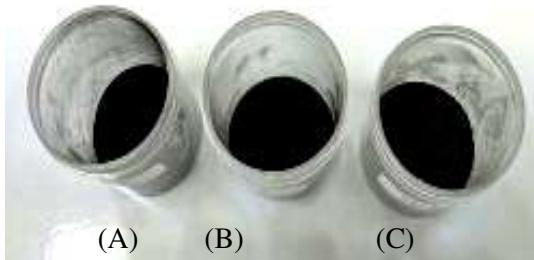
Model merupakan representasi dari eksperimen dengan menggunakan variabel matematis. Sampel uji yang digunakan adalah satu sampel dengan 3 kali pengulangan uji FTIR. Sampel uji ini akan digunakan sebagai *unknown* sampel untuk menguji model diskriminasi dari hasil PCA tersebut. Cara pengujian sampel dengan FTIR yaitu sebanyak 2 mg karbon aktif dicampur dengan 200 mg KBr untuk dijadikan pelet. Pelet dibuat menggunakan *hand press*. Pengukuran spektrum FTIR dilakukan pada daerah IR tengah (4000-450 cm⁻¹) dengan melibatkan pengontrol kerja berupa personal komputer. Spektrum dihasilkan dengan kecepatan 32 kali dan resolusi 4 cm⁻¹. Tampilan data spektrum yang mengandung 3551 titik serapan kemudian diubah ke dalam format JCAMP-DX untuk keperluan pengolahan data.

Analisis Kemometrika

Data absorbansi dari uji FTIR dalam format JCAMP-DX diolah dengan program The Unscrambler versi 10.2 yang dijalankan dengan sistem operasi Microsoft Windows 7.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon aktif yang dibuat berasal dari tumbuhan (tempurung kelapa) dan tulang hewan (sapi dan babi). Pembuatan karbon aktif dilakukan melalui tiga tahap, yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi (Juliandini, 2008). Karbon aktif yang dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Karbon aktif tempurung kelapa (A), tulang sapi (B), dan tulang babi (C)

Secara visual karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa memiliki warna hitam yang lebih pekat dan tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan karbon aktif yang berasal dari tulang hewan. Hal ini diduga disebabkan oleh komposisi kimia yang dikandung oleh masing-masing sampel sehingga berpengaruh terhadap warna dan tekstur karbon aktif yang dihasilkan.

Sampel tempurung kelapa dan tulang hewan dibersihkan dengan cara dicuci dengan akuades. Proses pencucian pada tempurung kelapa bertujuan untuk memisahkan kotoran, seperti tanah dan kerikil yang mungkin menempel pada permukaan tempurung kelapa, sedangkan pada sampel tulang sapi dan babi, proses pencucian ini menggunakan akuades panas bertujuan untuk menghilangkan kandungan lemak dan potongan sisa protein. Proses dehidrasi dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan kandungan air pada sampel. Sampel yang sudah didehidrasi dipotong kecil-kecil untuk menyempurnakan dan meratakan proses pirolisis (Pujiarti dan Sutapa, 2005). Perbedaan temperatur karbonisasi yang digunakan pada sampel dikarenakan jenis dan kandungan sampel yang berbeda.

Proses aktivasi karbon aktif dilakukan dengan metode kimia. Metode ini berfungsi untuk mendegradasi molekul organik selama

proses karbonisasi, membantu pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan serta melindungi permukaan karbon (Alfiany *et al.*, 2013). Sifat-sifat dari bahan yang diaktivasi secara kimia dipengaruhi juga oleh jumlah bahan aktif yang ditambahkan dan jenis bahan pengaktif yang digunakan (Jankowska *et al.*, 1991).

Aktivator yang ditambahkan pada karbon aktif tempurung kelapa adalah larutan H_3PO_4 3 M, sedangkan pada karbon aktif tulang sapi dan babi, aktivator yang digunakan adalah larutan CH_3COOH 1 N. Unsur-unsur mineral dari persenyawaan kimia yang ditambahkan tersebut akan meresap ke dalam karbon dan membuka permukaan yang semula tertutup oleh komponen kimia sehingga volume dan diameter pori bertambah besar. Pemilihan jenis aktivator akan berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif. Masing-masing jenis aktivator akan memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap luas permukaan maupun volume pori-pori karbon aktif yang dihasilkan (Kurniawan *et al.*, 2014).

Karakteristik Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif bertujuan untuk mengetahui bahwa karbon aktif yang dibuat untuk penelitian sesuai dengan karbon aktif yang ada dipasaran, dengan mengacu pada SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Karakterisasi yang diujikan pada penelitian ini yaitu kadar air, kadar abu, daya serap terhadap iodin, bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C, dan karbon aktif murni. Hasil uji karakterisasi karbon aktif secara umum ditunjukkan pada tabel 1.

Penetapan kadar air dan abu pada penelitian ini dilakukan dengan metode gravimetri. Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis karbon aktif. Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar air yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995, yaitu maksimal 15% untuk karbon aktif bentuk serbuk. Kadar air yang dihasilkan dari tempurung kelapa sebesar 0.382-1.619% (Pambayun *et al.*, 2013). Kadar air yang dihasilkan dari tulang sapi sebesar 7.99% (Syamberah *et al.*, 2015). Kadar air karbon aktif sekam padi yang dihasilkan rata-rata 5.022% (Yusuf dan Tjahjani, 2013).

Secara keseluruhan kadar air hasil penelitian ini relatif kecil, hal ini menunjukkan bahwa kandungan air terikat pada bahan baku yang dikarbonisasi lebih dahulu keluar sebelum diaktivasi. Kandungan air karbon aktif yang besar dapat menurunkan kualitas dari daya adsorpsi yang dimilikinya (Suhendarwati *et al.*, 2013). Menurut Pari, 1996, kadar air yang tinggi akan mengurangi daya serap karbon aktif terhadap gas maupun cairan gas.

Penetapan kadar abu karbon aktif dilakukan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam karbon aktif. Oksida logam merupakan persenyawaan antara logam dengan oksigen. Kadar abu diasumsikan sebagai sisa mineral yang tertinggal pada saat dibakar, karena bahan alam sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif tidak hanya mengandung senyawa karbon tetapi juga mengandung beberapa mineral, dimana sebagian dari mineral ini telah hilang pada saat karbonisasi dan aktivasi, sebagian lagi diperkirakan masih tertinggal dalam karbon aktif (Suhendarwati *et al.*, 2013).

Kadar abu yang dihasilkan dari penelitian ini berdasarkan tabel 1 memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-95, yaitu maksimal 10% untuk karbon aktif bentuk serbuk. Kadar abu yang dihasilkan dari tempurung kelapa sebesar 2.28-7.79% (Pambayun *et al.*, 2013). Kadar abu yang dihasilkan dari tulang sapi sebesar 13.33% (Syamberah *et al.*, 2015). Kadar abu dari karbon aktif sekam padi yang dihasilkan rata-rata 34.042% (Yusuf dan Tjahjani, 2013).

Daya serap terhadap iodin ditentukan dengan tujuan mengetahui kemampuan adsorpsi dari adsorben yang dihasilkan terhadap larutan berbau. Menurut (Tutik dan Faizah, 2001), daya serap karbon aktif semakin kuat bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi dari aktivator yang ditambahkan. Penambahan aktivator memberikan pengaruh yang kuat untuk mengikat senyawa-senyawa tar keluar melalui mikro pori-pori dari karbon aktif sehingga permukaan dari karbon aktif tersebut semakin lebar atau luas yang mengakibatkan semakin besar pula daya serap karbon aktif tersebut. Semakin besar angka iod yang dihasilkan maka semakin besar kemampuan dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut.

Tabel 1 menunjukkan bahwa daya serap terhadap iodin yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-95, yaitu minimal 750 mg/g untuk karbon aktif bentuk serbuk. Daya serap iodium yang dihasilkan dari tempurung kelapa sebesar 448.02-1599.72 mg/g (Pambayun, *et al.*, 2013). Daya serap iod yang dihasilkan dari tulang sapi sebesar 184.6947 mg/g (Syamberah *et al.*, 2015). Daya serap iodium yang dihasilkan oleh karbon aktif tongkol jagung yaitu 773.85 mg/g (Alfiany *et al.*, 2013).

Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C disebut juga dengan kadar zat menguap. Kadar zat menguap merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun karbon aktif akibat proses pemanasan selama karbonisasi dan bukan komponen penyusun karbon aktif (Pari, 2004). Karbon aktif dengan kadar zat menguap yang tinggi akan menghasilkan asap pembakaran yang tinggi pula pada saat karbon aktif tersebut digunakan. Penurunan kadar zat menguap seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis disebabkan ketidak sempurnaan penguraian senyawa non karbon selama proses pirolisis. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hendra dan Darmawan (2000) bahwa besarnya kadar zat menguap ditentukan oleh waktu dan temperatur pengarangan. Jika proses pirolisis lama dan temperaturnya ditingkatkan maka semakin banyak zat menguap yang terbuang, sehingga akan diperoleh kadar zat menguap yang semakin rendah.

Novicio (1998) yang diacu dalam Pari (2004) melaporkan bahwa meningkatnya temperatur karbonisasi akan menguapkan senyawa volatil yang masih tertinggal terutama ter, hal ini akan menyebabkan jumlah pori yang terbentuk bertambah banyak. Kadar zat menguap yang dihasilkan dari penelitian berdasarkan Tabel 1 ini memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-95, yaitu maksimal 25% untuk karbon aktif bentuk serbuk. Nilai kadar zat mudah hilang pada pemanasan 950 °C dari karbon aktif sekam padi yang dihasilkan rata-rata 19.734% (Yusuf dan Tjahjani, 2013). Nilai kadar zat mudah hilang pada pemanasan 950 °C dari karbon aktif pelepas kelapa sebesar 18.89% (Ramdja *et al.*, 2008).

Tabel 1. Hasil uji karakterisasi karbon aktif

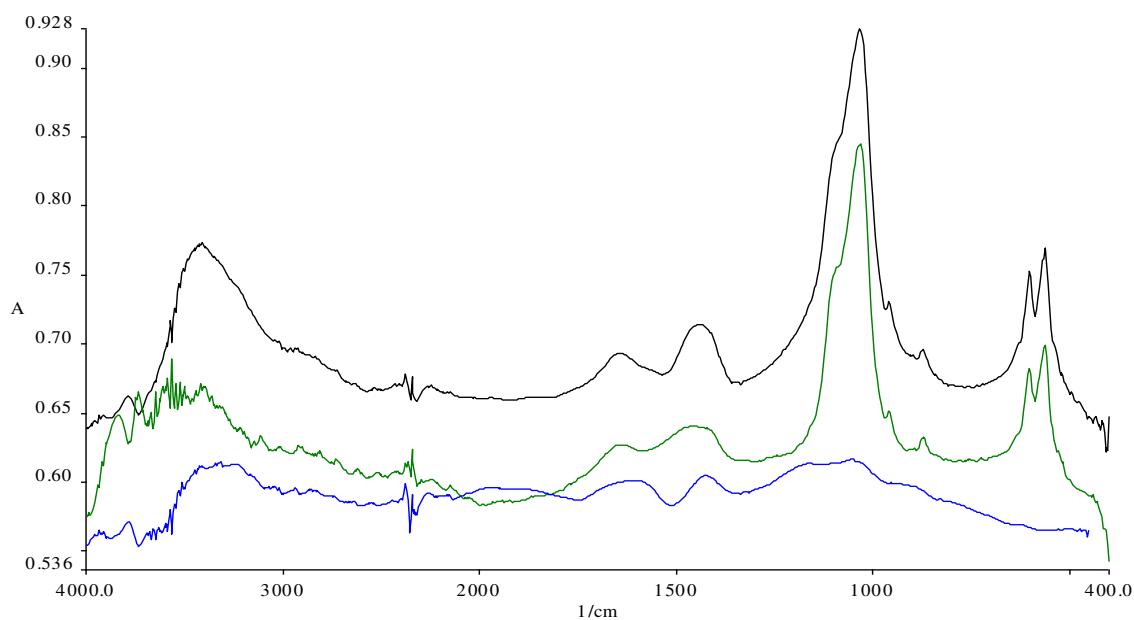
Karakterisasi	KA TK	KA TS	KA TB	SNI 06-3730-1995
Kadar Air	2.4	2.2	1.2	Maks. 15 %
Kadar Abu	2.4	3.2	3.6	Maks. 10 %
Pemanasan 950°C	18.80	16.46	17.40	Maks. 25 %
Karbon Aktif Murni	78.80	80.34	79.00	Min. 65 %
Daya Serap Terhadap Iodin	1701.876	1788.832	1468.596	Min. 750 mg/g

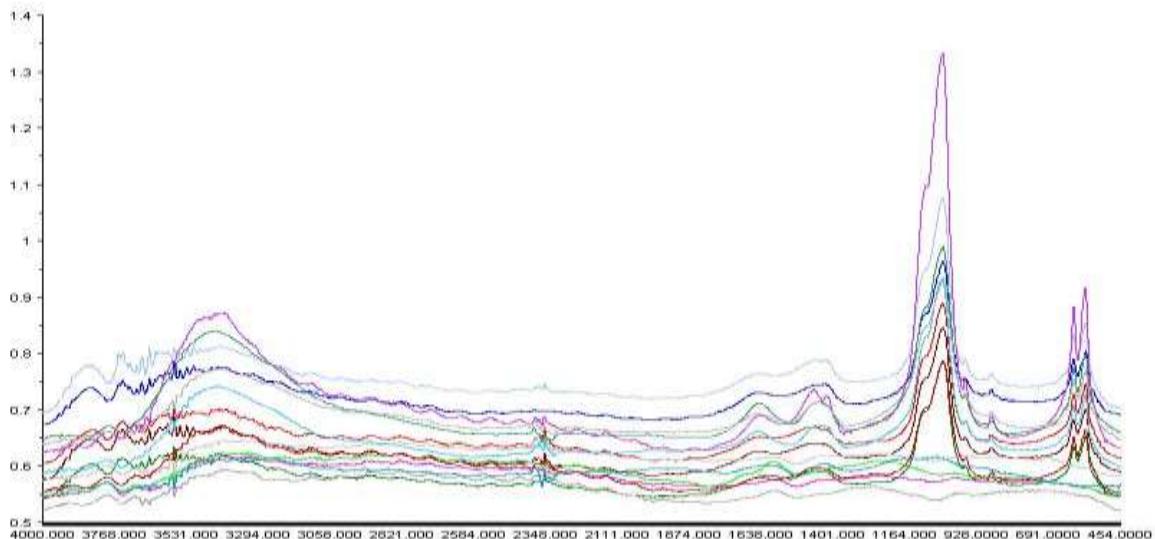
Karbon aktif murni disebut juga dengan karbon terikat. Menurut Hendra dan Winarni (2003), kadar karbon terikat adalah fraksi karbon (C) yang terikat di dalam karbon aktif selain fraksi air, zat menguap dan abu. Berdasarkan data dan hasil pengamatan, kadar karbon aktif murni yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-95, yaitu minimal 80% untuk karbon aktif bentuk serbuk. Kadar karbon aktif murni yang dihasilkan dari pelepasan kelapa sebesar 73.33% (Ramdja *et al.*, 2008). Menurut Pari (1996), tinggi rendahnya kadar karbon aktif murni dipengaruhi oleh nilai kadar abu, kadar zat menguap dan senyawa hidrokarbon yang masih menempel pada permukaan karbon aktif. Tingginya kadar karbon tersebut menunjukkan bahwa fraksi karbon yang terikat di dalam karbon aktif semakin tinggi. Kondisi tersebut diduga mengakibatkan luas

permukaan karbon semakin besar dan jumlah pori arang semakin banyak sehingga diduga mempunyai kemampuan menyerap cairan atau gas.

Deskripsi Spektra IR dari Karbon Aktif

Karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa, tulang sapi dan tulang babi diuji dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam masing-masing karbon aktif berdasarkan puncak serapan yang dihasilkan (gambar 2). Pola spektrum yang dihasilkan merupakan hasil serapan vibrasi dari seluruh konstituen yang ada dalam sel, seperti pada tempurung kelapa yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Bledzki *et al.*, 2010). Senyawa yang terkandung dalam tulang, berupa senyawa hidroksipapatit, kolagen glikosaminoglikans, proteoglikans, dan glikoprotein (Zhao *et al.*, 2002).

**Gambar 2.** Spektra IR karbon aktif tempurung kelapa (biru), tulang sapi (hijau), dan tulang babi (hitam)



Gambar 3. *Plot Line* pektra IR karbon aktif tempurung kelapa, tulang sapi dan tulang babi

Gugus fungsi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai penciri dari karbon aktif tersebut. Menurut Bani *et al.*, 2013, gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif tempurung kelapa adalah gugus C=O pada bilangan gelombang 1751.24 cm⁻¹, gugus C=C pada bilangan gelombang 1542.95 cm⁻¹, gugus C-C pada bilangan gelombang 1155.28 cm⁻¹, dan gugus C-H pada bilangan gelombang 885.27 cm⁻¹. Gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif tulang hewan yaitu O-H *stretching vibration* pada bilangan gelombang 3431.05 cm⁻¹, C=O *stretching vibration* antara bilangan gelombang 1800 dan 1650 cm⁻¹, dan C-O *stretching vibration* diantara bilangan gelombang 1600 dan 1400 cm⁻¹ (Rezaee *et al.*, 2013).

Bilangan gelombang 3431-3420 cm⁻¹ diduga terdapat gugus O-H *stretching vibration* yang biasa ditemukan pada senyawa hidroksiapatit yang terdapat pada tulang hewan. Diperkirakan terdapat gugus C-O *stretching vibration* pada bilangan gelombang antara 1600-1400 cm⁻¹ (Rezaee *et al.*, 2013). Pada bilangan gelombang 1036 cm⁻¹ diduga terdapat gugus fosfat (PO₄) *stretching vibration* dan 602-564 cm⁻¹ terdapat gugus fosfat (PO₄) *bending vibration* (Dahlan *et al.*, 2006).

Eksploratori Data Analisis dengan PCA dan PLS-DA dari Spektra IR Karbon Aktif

Spektrum yang dihasilkan oleh karbon aktif menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan puncak serapan yang

dihasilkan oleh tumbuhan (tempurung kelapa) dan tulang hewan (sapi dan babi) (gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa instrumentasi FTIR sudah mampu membedakan spektrum karbon aktif antara tumbuhan dan tulang hewan, tetapi tidak mampu membedakan spektrum antara karbon aktif tulang sapi dan tulang babi, sehingga diperlukan metode yang mampu membedakan spektrum karbon aktif tulang sapi dan tulang babi tersebut.

Gambar 3 merupakan *Plot Line* dari seluruh sampel karbon aktif yang berjumlah 15 sampel. *Plot Line* digunakan untuk evaluasi secara visual untuk melihat spektrum pada bilangan gelombang yang manakah yang dapat dijadikan penciri untuk pembuatan model diskriminasi. Spektra IR karbon aktif dikelompokan berdasarkan sumber asalnya (tumbuhan dan tulang hewan) dengan metode PCA. PCA mereduksi variabel-variabel yang dimiliki oleh spektrum menjadi beberapa variabel utama saja. Proses reduksi ini dapat menyebabkan karbon aktif terkelompokkan berdasarkan korelasi informasi variabel yang dimiliki dalam grup. Semakin dekat sampel dengan sampel lain maka akan semakin besar kemiripan di antara sampel-sampel tersebut. Metode ini belum dapat mengelompokkan spektra sampel awal atau tanpa prapemrosesan (gambar 4). Hal ini disebabkan karena pada spektra awal masih dipengaruhi oleh pergeseran garis dasar dan derau (*noise*) yang dihasilkan detektor. Pengaruh tersebut dapat diatasi dengan melakukan prapemrosesan spektra yang meliputi koreksi garis dasar

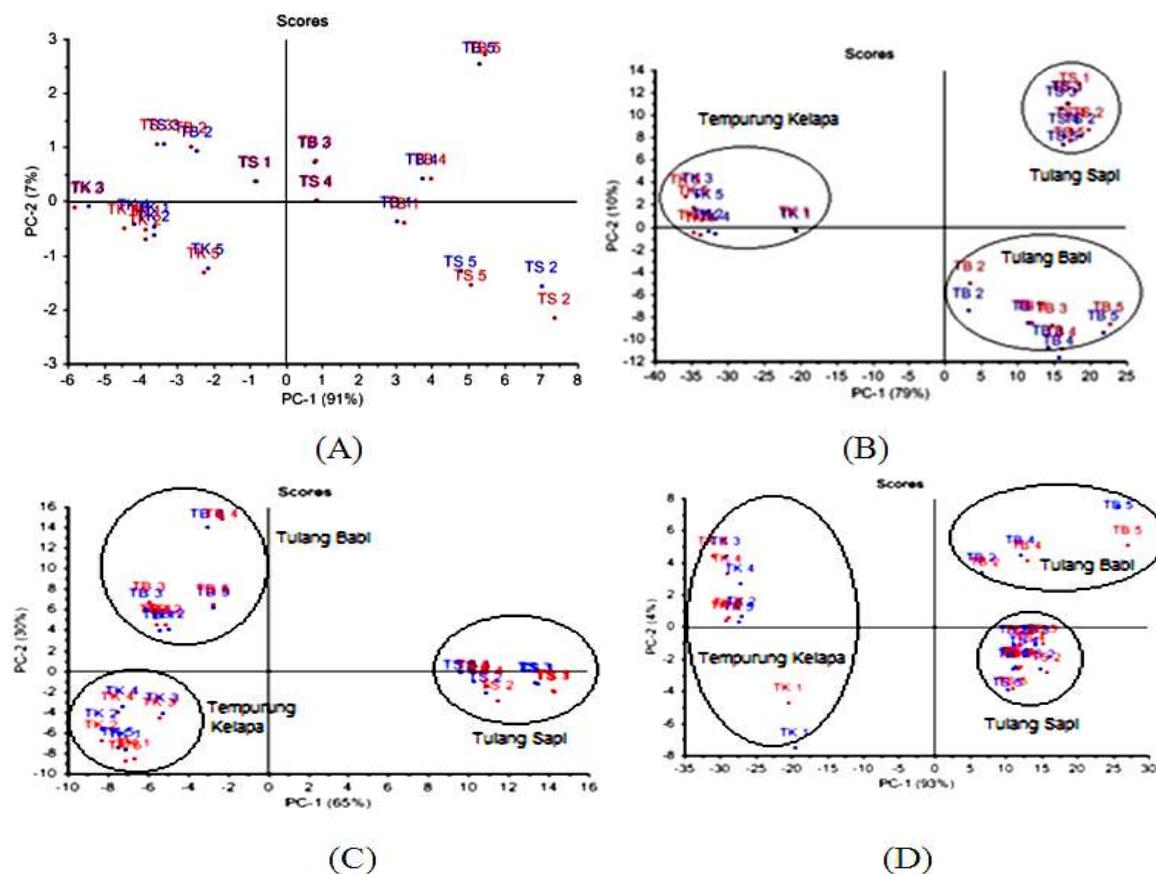
(baseline), normalisasi, dan penghalusan (*smoothing*). Teknik prapemrosesan ini dapat meningkatkan kemampuan PCA untuk mengelompokkan sampel tanpa kehilangan informasi yang besar dengan total variasi (jumlah PC1 dan PC2) yang diperoleh adalah 89%.

Score plot pada gambar 4 (A) dan (B) merupakan *score plot* yang menggunakan seluruh data absorbansi dari seluruh sampel karbon aktif. Tetapi pada gambar (A) tanpa melalui prapemrosesan, sedangkan pada gambar (B) melalui prapemrosesan. Gambar (B) menunjukkan total variasi yang cukup tinggi yaitu sebesar 98%, tetapi tidak terjadi pemisahan antar kelompok sampel karbon aktif tempurung kelapa, tulang sapi dan tulang babi. Gambar (B) menunjukkan total variasi sebesar 89% serta pemisahan yang cukup baik karena karbon aktif terpisah menjadi tiga kelompok berdasarkan sumber asal sampelnya.

Analisis PCA juga dilakukan terhadap spektrum pada kisaran bilangan gelombang tertentu (segmentasi), baik pada spektrum asli

(spektrum tanpa prapemrosesan) maupun spektrum dengan prapemrosesan. Segmentasi ini dilakukan untuk melihat keberadaan konstituen-konstituen kunci yang berperan secara signifikan dalam analisis kemometrik.

Hasil analisis PCA dikatakan baik bila dengan jumlah komponen utama yang sedikit mampu menggambarkan total variasi yang besar. *Score plot* pada gambar 4 (C) dan (D) merupakan *score plot* yang menggunakan daerah segmentasi 3900-3000 cm^{-1} dan 1500-450 cm^{-1} serta keduanya melalui prapemrosesan terlebih dahulu. Gambar (C) dan (D) menunjukkan total variasi yang cukup besar yaitu 95% dan 97% tetapi pemisahan yang kurang baik karena pada gambar (C) ada beberapa sampel pengulangan karbon aktif tulang babi yang tidak mengelompok sehingga menghasilkan pemisahan yang kurang sempurna. Hal yang sama juga terjadi pada gambar (D) yaitu sampel karbon aktif tempurung kelapa tidak mengelompok berdasarkan sumber asalnya.



Gambar 4. *Score Plot* PCA (A) spektra asli (tanpa prapemrosesan), (B) spektra dengan prapemrosesan (data seluruh bilangan gelombang), (C) spektra dengan prapemrosesan dan segmentasi 3900-3000 cm^{-1} , (D) spektra dengan prapemrosesan dan segmentasi 1500-400 cm^{-1}

Gambar 4 menunjukkan pengelompokan karbon aktif berdasarkan perbedaan sumber asalnya dapat dilakukan dengan baik menggunakan data spektrum prapemrosesan. Pengelompokan karbon aktif dengan data spektrum asli dan data spektrum hasil prapemrosesan juga memperlihatkan pengaruh segmentasi spektrum dalam analisis PCA. Zou *et al.*, (2005) menyatakan bahwa segmentasi selain meningkatkan mutu analisis spektrum IR melalui pengurangan wilayah spektrum yang banyak mengandung derau (*noise*) juga dapat menurunkan hasil analisis melalui eliminasi informasi penting yang dimiliki spektrum. Pengelompokan karbon aktif dapat terjadi sebagai hasil identifikasi PCA terhadap variasi komposisi konstituen kimia sampel yang dapat disebabkan adanya perbedaan sumber bahan baku (asal sampel).

Pemisahan yang paling baik dan total variasi yang tinggi dari analisis PCA yang akan digunakan sebagai model PLS-DA. Hasil dari *score plot* pada Gambar 4(B) yang akan dijadikan model PLS-DA. Pengelompokan sampel dengan PLS-DA dilakukan terhadap 2 matriks, yaitu data absorbansi hasil analisis FTIR sebagai matriks X dan matriks respon untuk setiap sampel sebagai matriks Y. Respon 1 untuk sampel anggota kelompok dan 0 untuk sampel bukan anggota kelompok.

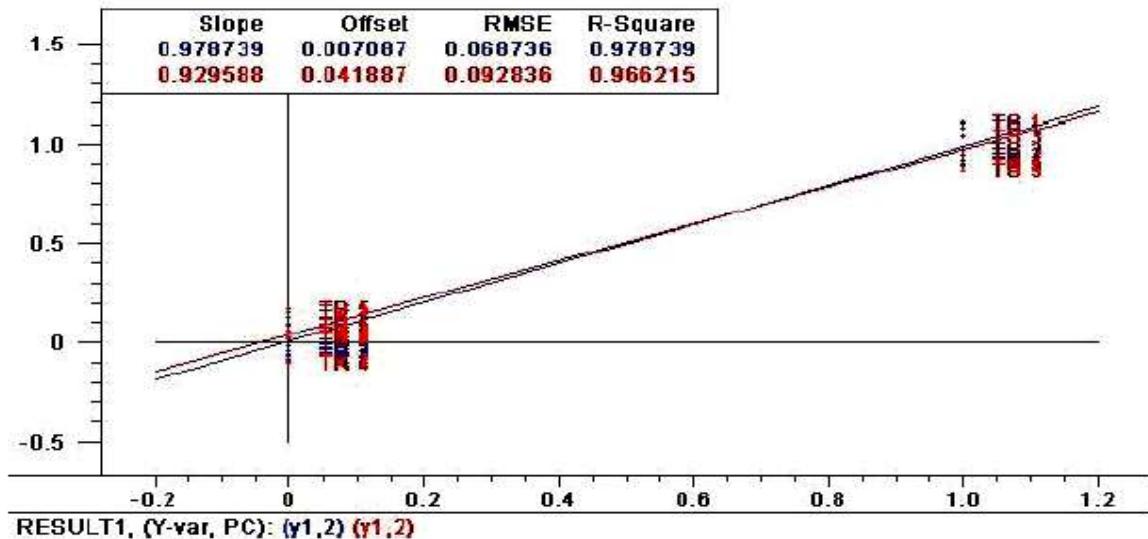
Keabsahan model kalibrasi yang terbentuk diuji dengan pendekatan statistik secara internal melalui validasi silang dengan menghapus satu standar pada suatu waktu. Validasi silang adalah pengamatan yang dibagi menjadi dua set data, salah satu sampel kalibrasi diambil dari model kalibrasi PLS dan sampel sisa yang digunakan untuk membangun PLS Model. Sampel kemudian dihitung menggunakan regresi PLS baru. Cara ini diulang, sehingga setiap sampel mendapat gilirannya (Miller dan Miller, 2005). Teknik validasi silang bermanfaat untuk menentukan jumlah komponen yang optimal dari jumlah

contoh yang sedikit, selain itu juga mampu melakukan tes secara independen (Stchur *et al.*, 2002). Model dikatakan baik apabila nilai R^2 dari kalibrasi dan validasi silang tidak berjauhan, yaitu 0.978739 dengan 0.966215. Suatu model PLS dikategorikan sebagai model yang dapat dipercaya bila nilai parameter yang dihasilkan, di antaranya berupa nilai korelasi dan nilai galat, serupa untuk setiap tahapan pembuatan model. Korelasinya (R) harus bernilai tinggi sedangkan galatnya bernilai rendah (Baranska *et al.*, 2005).

Hasil PLS-DA menunjukkan bahwa data tersebut sudah mencukupi dengan 15 sampel untuk dijadikan model karena datanya tidak *overfitting*. *Overfitting* adalah suatu keadaan di mana jumlah parameter yang masuk ke dalam model terlalu besar dibandingkan dengan ukuran data yang digunakan untuk membangun model. Model tersebut menghasilkan galat yang sangat kecil untuk data kalibrasi namun galat yang besar untuk data validasi (Naes *et al.*, 2002). Model yang *overfitting* menghasilkan terlalu banyak variasi yang spesifik untuk proses kalibrasi dan melibatkan jumlah komponen yang terlalu tinggi. Kondisi *overfitting* menyebabkan penurunan kemampuan prediksi model. Model regresi yang baik dapat dilihat dari nilai R^2 , RMSE, dan kemiringan garis regresi pada hasil kalibrasi dan prediksi. Model regresi semakin bagus jika nilai R^2 besar, RMSE kecil, dan kemiringan garis (*slope*) mendekati 1 (45°) (Naes *et al.* 2002). Tabel 3 memperlihatkan bahwa model diskriminasi dari karbon aktif tulang sapi (KA TS), tempurung kelapa (KA TK), dan tulang babi (KA TB) dapat dikategorikan baik yaitu karena R^2 mendekati 1, dan RMSE (*Root Mean Square Error*) mendekati 0, kemiringan garis (*slope*) mendekati 1 (45°) dan nilai *offset* yang kecil. Gambar 5 memperlihatkan garis regresi dari salah satu sampel karbon aktif.

Tabel 3. Nilai Parameter Model Kalibrasi dan Validasi Karbon Aktif

Sampel	Kalibrasi				Validasi			
	R^2	RMSE	Offset	Slope	R^2	RMSE	Offset	Slope
KA TS	0.9787	0.0687	0.0071	0.9787	0.9662	0.0928	0.0419	0.9296
KA TK	0.9752	0.0742	0.0082	0.9752	0.9500	0.1129	0.0113	0.9462
KA TB	0.9718	0.0791	0.0093	0.9718	0.9568	0.1048	0.0124	0.9280

**Gambar 5.** Model Kalibrasi dan Prediksi menggunakan PLS-DA Karbon Aktif Tulang Sapi**Tabel 5.** Nilai prediksi pada model PLS-DA karbon aktif pasaran

Sampel	Nilai Prediksi Pada Model PLS-DA					
	Karbon Aktif Tulang Sapi		Karbon Aktif Tempurung Kelapa		Karbon Aktif Tulang Babi	
	Prediksi	Deviasi	Prediksi	Deviasi	Prediksi	Deviasi
Karbon Aktif Pasaran 1	1.8252	0.2622	0.6799	0.2387	-1.5051	0.2502
Karbon Aktif Pasaran 2	1.667	0.2307	0.4072	0.2975	-1.0742	0.3118
Karbon Aktif Pasaran 3	1.9726	0.1851	0.8055	0.3381	-1.7781	0.3544

Model kalibrasi yang dihasilkan digunakan untuk memprediksi sumber asal karbon aktif yang ada dipasaran. y1 adalah karbon aktif tulang sapi akan bernilai satu, sedangkan karbon aktif tempurung kelapa dan tulang babi akan bernilai nol. y2 adalah karbon aktif tempurung kelapa akan bernilai satu, sedangkan karbon aktif tulang sapi dan tulang babi akan bernilai nol. y3 adalah karbon aktif tulang babi akan bernilai satu, sedangkan untuk karbon aktif tulang sapi dan tempurung kelapa akan bernilai nol. Sampel dikatakan berhasil diprediksi ketika nilai prediksi sampel mendekati 1.

Hasil nilai prediksi pada model PLS-DA karbon aktif pasaran ditunjukkan pada Tabel 5 yang memperlihatkan bahwa sampel uji karbon aktif yang ada dipasaran memiliki nilai prediksi mendekati 1 ketika dibandingkan dengan karbon aktif tempurung kelapa. Hal ini dapat disimpulkan bahwa sampel uji karbon aktif yang ada dipasaran tersebut sumber asalnya atau bahan bakunya berasal dari tempurung kelapa. Nilai yang diprediksi jauh dari nilai satu karena mungkin karbon aktif yang biasa ada dipasaran tidak menggunakan proses aktivasi sehingga perbedaan perlakuan yang digunakan untuk model dan prediksi

yang menyebabkan nilai prediksi jauh dari nilai satu.

4. SIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah metode analisis FTIR yang dikombinasikan dengan analisis kemometrika melalui pemodelan PCA dan PLS-DA mampu membedakan karbon aktif yang berasal dari tumbuhan (tempurung kelapa) dan tulang hewan (sapi dan babi). PCA mereduksi variabel-variabel yang dimiliki oleh spektrum menjadi beberapa variabel utama saja. Proses reduksi ini dapat menyebabkan karbon aktif terkelompokkan berdasarkan korelasi informasi variabel yang dimiliki dalam grup.

Pengelompokan juga dilakukan dengan PLS-DA dan sampel uji (karbon aktif pasaran) dapat diprediksi berdasarkan asalnya (tumbuhan atau tulang hewan). Pembuatan model prediksi karbon aktif dengan PLS menghasilkan model yang sangat baik karena menghasilkan R^2 yang mendekati 1 dan RMSE yang mendekati nol untuk model kalibrasi maupun prediksinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiany H, Bahri S, Nurakhirawati. 2013. Kajian penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai adsorben logam Pb dengan beberapa aktivator asam. *Jurnal Natural Science*. 2(3): 75-86. ISSN: 2338-0950.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Bani M, Santjojo DH, Masruroh. 2013. Pengaruh suhu reaksi reduksi terhadap pemurnian karbon berbahan dasar tempurung kelapa. *Jurnal Natural B*. 2(2).
- Baranska W. 2005. Quality control of harpagophytum procumbens and its related phytopharmaceutical products by means of NIR-FT-Raman spectroscopy. *Biopolymers*. 77:1-8.
- Bledzki AK, Mamun AA, Volk J. 2010. Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*. 70: 840-846.
- Chand, Bansal, Roop, Meenakshi Goyal. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. United States of America (USA): Lewis Publisher.
- Chew OS, Hamdan MR, Ismail Z, Ahmad MN. 2004. Assessment of herbal medicine by chemometrics: Assisted Interpretation of FTIR Spectra. *J Anal Chem Acta*, in press
- Dahlan K, Sari YW, Yuniarti E, Soejoko DS. 2006. Karakterisasi gugus fosfat dan karbonat dalam tulang tikus dengan fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. *Jurnal sains materi Indonesia*.
- Fessenden dan Fessenden. 1986. *Kimia Organik Jilid 1 Ed Ke-3*. Pudjaatmaka AH, penerjemah. Jakarta (ID): Erlangga.
- Gad HA, Ahmady SH, Abou Shoer MI, Al-Azizi MM. 2012. Application of chemometrics in authentication of herbal medicines: A Review. *Phytochemical Analysis*. 24:1-24.
- Hashim DM, Che Man YB, Norakasha R, Shuhaimi M, Salah Y, Syahariza ZA. 2010. Potential use of fourier transform infra red spectroscopy for differentiation of bovine and porcine gelatins. *Food chemistry*. 118: 856-860.
- Hendra, Darmawan, 2000. Pengaruh bahan baku, jenis perekat dan tekanan kempa terhadap kualitas briket arang. Bogor (ID): Puslitbang Hasil Hutan Bogor.
- Hendra D, Winarni I. 2003. Sifat fisis dan kimia briket arang campuran limbah kayu gergajian dan sebetan kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 2(31): 211-226.
- Jankowska H, Swiatkowski A, Choma J. 1991. *Active Carbon 1st Ed*. New York (USA): Ellis Horwood.
- Juliandini F, Trihadiningrum Y. 2008. Uji kemampuan karbon aktif dari limbah kayu dalam sampah kota untuk penyisihan fenol. Surabaya (ID): Seminar Nasional Manajemen Teknologi VII. ISBN: 9798-979-99735-4-2.
- Kumosinski TF, Farrell JrHM. 1993. Determination of the global secondary structure of proteins by fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Trends in Food Sci. dan Technol.* 6(4): 169- 175.

- Kurniawan R, Lutfi M, Agung WN. 2014. Karakterisasi luas permukaan bet (braunanear, emmelt dan teller) karbon aktif dari tempurung kelapa dan tandan kosong kelapa sawit dengan aktivasi asam fosfat (H_3PO_4). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 2(1): 15-20.
- Lokapusita G, Hayati M, Purwanto. 2012. Pemanfaatan limbah ikan nila sebagai fishbone hydroxyapatite pada proses adsorpsi logam berat krom pada limbah cair. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*. 1(1): 379-388.
- Maftuhin TA, Hanifah, Anita S. 2014. Potensi pemanfaatan tulang ayam sebagai adsorben kation timbal dalam larutan. *Jurnal Fakultas MIPA*. Universitas Riau.
- Manocha SM. 2003. Porous carbons. *Journal Sadhana*. 28:1-2.
- Marlina Elin. 2013. Aplikasi kemometrik untuk kendali mutu simplisia kumis kucing (*Orthosiphon aristatus*). [skripsi]. Bogor (ID): Departemen Kimia. Institut Pertanian Bogor.
- Naes T, Isaksson T, Fearn T, Davies T. 2002. *A user friendly guide to multivariate calibration and classification*. Chichester (UK): NIR Publication
- Novicio LP, Hata, Kajimoto T, Imamura Y, Ishihara S. 1998. Removal of mercury from aqueous solutions of mercuric chloride using wood powder carbonized at high temperature. *Journal of Wood Research*. 85: 48-55.
- Pambayun GS, Yulianto, Remigius YE, Rachimoellah M, Putri, Endah MM. 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik POMITS*. 2(1): ISSN: 2337-3539.
- Pari G. 1996. Kualitas arang aktif dari 5 jenis kayu. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*. 14: 60-68.
- Pari G. 2004. Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben formaldehida kayu lapis. [disertasi]. Bogor (ID): Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Pujiarti P, Sutapa JPG. 2005. Mutu arang aktif dari limbah kayu mahoni (*Swietenia macrophylla* king) sebagai bahan penjernih air. *J Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 3(2).
- Purwakusumah ED, Rafi M, Syafitri UD, Nurcholis W, Adzkiya MAZ. 2014. Identifikasi dan autentikasi jahe merah menggunakan kombinasi spektroskopi FTIR dan kemometrik. *Agritech*. 34(1).
- Ramdja AF, Halim M, Handi Jo. 2008. Pembuatan karbon aktif dari pelepas kelapa (*Cocos nucifera*). *Jurnal Teknik Kimia*. 15(2).
- Rezaee A, Rangkooy H, Jonidi A, Jafari A, Khavanin A. 2013. Surface modification of bone char for removal of formaldehyde from air. *Journal Applied Surface Science*. 286: 235–239.
- Rohman A, Sismindari, Erwanto Y, and Che Man YB. 2011. Analysis of pork adulteration in beef meatball using fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Meat Science*. 88: 91–95.
- Rohaeti E, Heryant R, Rafi M, Wahyuningrum A, dan Darusman LK. 2011. Prediksi kadar flavonoid total tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) menggunakan kombinasi spektroskopi IR dengan regresi kuadrat terkecil parsial. *Jurnal Kimia*. 5(2).
- Stchur P, Cleveland D, Zhou J, Michel RG. 2002. A review of recent applications of near infrared spectroscopy and of the characteristics of novel Pbs CCD array based NIR spectrometers. *App Spect Rev*. 37:383-428
- Suhendarwati L, Suharto B, Susanawati LD. 2013. Pengaruh konsentrasi larutan kalium hidroksida pada abu dasar ampas tebu teraktivasi. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.
- Syamberah, Anita S, Hanifa TA. 2015. Potensi arang aktif dari tulang sapi sebagai adsorben ion besi, tembaga, sulfat dan sianida dalam larutan. *JOM FMIPA*. 2(1).
- Varmuza K. 2002. Applied chemometrics: from chemical data to relevant information. Cairo (EGP): 1st Converence on Chemistry.
- Wijayanti R. 2009. Arang aktif dari ampas tebu sebagai adsorben pada pemurnian minyak goreng bekas. [tesis]. Bogor (ID): Program Pasca Sarjana, Bidang Ilmu Kimia, Institut Pertanian Bogor.

- Wold S, Sjostrom M, Eriksson L. 2001. PLSregression: a basic tool of chemometrics. *Chem Intel Lab Syst.* 58:109-130.
- Yusuf MA, Tjahjani S. 2013. Adsorpsi ion Cr (VI) oleh arang aktif sekam padi. *UNESA Journal of Chemistry.* 2(1).
- Zhao F, Yin Y, Lu WW, Leong JC, Zhang W, Zhang J, Zhang M, Yao K. 2002. Preparation and histological evaluation of biomimetic three dimensional HA/chitosan-gelatin network composite scaffolds. *Biomaterials.* 23: 3227-3234.
- Zou HB, Yang GS, Qin ZR. 2005. Progress in quality control of herbal medicine with IR fingerprint spectra. *Analytical Letters.* 38: 1457-1475.