

**KARAKTERISTIK SPEKTRA ABSORBANSI NIR (*NEAR INFRA RED*) SPEKTROSKOPI
KAYU *Acacia mangium* WILLD. PADA 3 UMUR BERBEDA****LINA KARLINASARI^{1*}, MERRY SABED², NYOMAN J. WISTARA¹, Y. ARIS PURWANTO³,
HARI WIJAYANTO⁴**¹Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor**E-mail*: karlinasari@ipb.ac.id; l_karlinasari@yahoo.com²Fakultas Kehutanan, Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat³Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor⁴Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor**ABSTRACT**

Research on non-destructive test of near infrared (NIR) spectroscopy method was still limited in Indonesia. The aim of this study was to determine near infrared (NIR) spectroscopy (wavelength range within 780 nm -2500 nm) characteristic of wood species of Acacia mangium. The samples were selected from three different ages e.g. 5 year, 6 years, and 7 years grown in Maribaya area of Parung Panjang Distric. The NIR testing samples used were solid wood and ground wood. This study resulted that there was visually no significant difference of absorbance spectra NIR patterns based on wood ages. NIR absorbance spectra had same trend for both solid and ground wood samples in a range of wavelength, although those were in different values. The NIR absorbance spectra values of solid wood samples seemed higher than ground wood samples. Further research is needed to develop predicting model of NIR spectroscopy to determine wood properties of chemical, physical and mechanical properties using multivariate analysis method.

Keywords: NIR spectroscopy, *Acacia mangium*, solid wood, ground wood

INTISARI

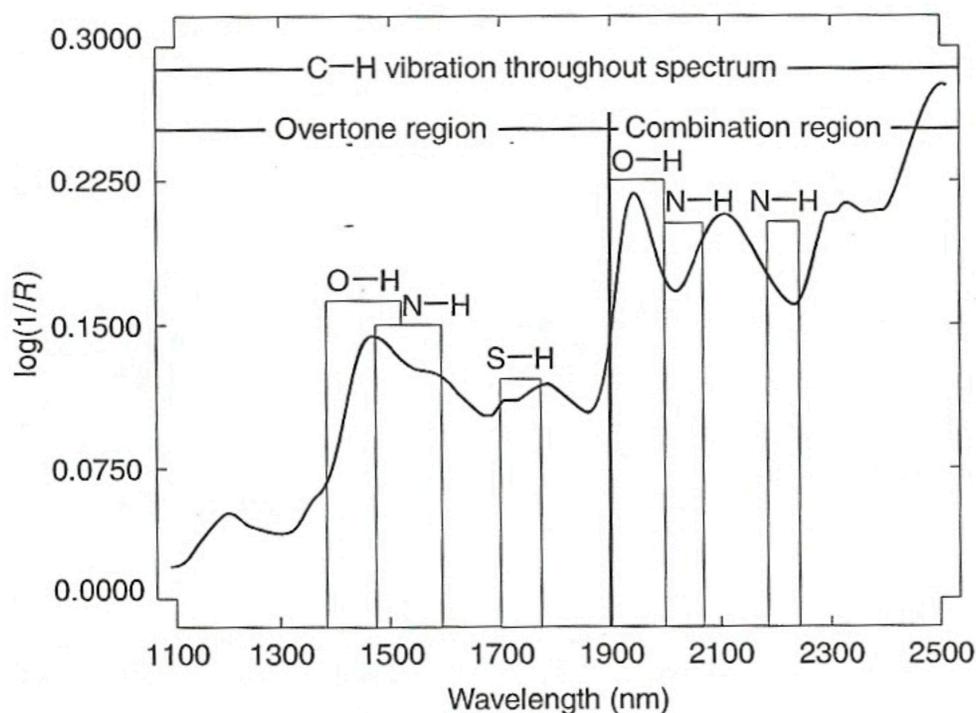
Penelitian mengenai pengujian nondestruktif metode near infrared (NIR) spektroskopi di Indonesia masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik spektra NIR spektroskopi (panjang gelombang 700 nm – 2500 nm) kayu Acacia mangium dari 3 umur yaitu 5, 6, dan, 7 tahun. Kayu mangium diperoleh dari daerah Maribaya, Parung Panjang, Bogor. Sampel contoh uji spektra terdiri dari bentuk solid atau padatan dan bentuk serbuk kayu. Hasil penelitian menunjukkan spektra absorban NIR sampel padatan kayu lebih tinggi dibandingkan bentuk sampel serbuk. Umur pohon untuk jenis kayu yang sama tidak memberikan informasi perbedaan pola spektra absorbansi NIR yang nyata untuk setiap lokasi panjang gelombangnya. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk menentukan model pendugaan sifat kimia, fisis dan mekanis kayu menggunakan analisis statistik metode analisis multivariansi.

Keywords: NIR spektroskopi, *Acacia mangium*, kayu solid, serbuk kayu

PENDAHULUAN

Teknologi infra merah dekat (*near infrared*, NIR) dikembangkan sebagai salah satu metode yang non destruktif, dapat menganalisis dengan kecepatan tinggi, tidak menimbulkan polusi, penggunaan preparat contoh yang sederhana dan tidak memerlukan bahan kimia. NIR Spektroskopi menggunakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 780 nm - 2500 nm atau jumlah gelombang per cm 12.800 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹ (Schwanninger *et al.*, 2011). Penyerapan radiasi gelombang inframerah oleh molekul penyusun bahan menyebabkan ikatan tunggalnya bergetar (vibrasi). Getaran ini menyebabkan pita penyerapan naik sesuai kombinasi gugus fungsi kimianya. Spektra NIR dapat menjadi kompleks karena sering-

kali pita spektra yang dihasilkan memunculkan puncak yang tumpang tindih sehingga penentuan pita spektra tunggalnya menjadi sulit. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan penghalusan atau penyaringan data spektra. Spektra NIR membaca senyawa organik maupun an-organik kimia yang memiliki pola serapan yang khas dan berbeda satu dengan lainnya pada setiap panjang gelombang infra merah yang diberikan. Prinsip teori NIR spektroskopi adalah teori absorpsi atau penyerapan dan adanya an-harmoni dari pergerakan ikatan kimia yang menyebabkan vibrasi molekul dengan energy transisi penyerapan elektronik yang rendah, penguatan (*overtone*), dan kombinasi pita (melalui *stretching* dan *deformation*). Pada kayu, vibrasi molekul melibatkan gugus hidroksil dengan keragaman atom seperti C-H, O-H, dll (Gambar 1).



Gambar 1. Informasi vibrasi molekul gugus hidroksil X-H pada spektra absorbansi NIR produk hasil pertanian. (Sumber: Burns dan Ciurczak 2008)

Penelitian dan aplikasi NIR spektroskopi pada produk hasil hutan mulai berkembang akhir tahun 1980-an melalui industri pulp dan kertas. Selanjutnya, metode NIR berkembang untuk pendugaan dan analisis sifat-sifat kayu lainnya (anatomi, kimia, fisis-mekanis) (So *et al.*, 2004). Beberapa alat komersial NIR selanjutnya berkembang dan ada yang sudah dapat digunakan di lapangan karena beratnya ringan, mudah dibawa, dan dapat dioperasikan dengan baterai (Kelley *et al.*, 2004). Metode NIR ini menguntungkan karena menawarkan teknik pengujian secara nondestruktif (*nondestructive testing*, NDT) untuk mengevaluasi sifat fisis, mekanis, dan kimia dari kayu utuh dan produk komposit kayu (Kludt, 2003; So *et al.*, 2004, Kelley *et al.*, 2004; Schimleck *et al.*, 2005; Raymond dan Poke, 2006, Hein *et al.*, 2009; Hein, 2010). NIR dapat mengukur secara akurat sifat fisis- mekanis dan kimia kayu melalui pendugaan berdasarkan hubungan spektra NIR dengan sifat-sifat tersebut, yang diuji di laboratorium, melalui teknik pemodelan analisis statistika multivariasi (*multivariate analysis method*) seperti *Partial Least Square* (PLS) dan *Principal Component Analysis* (PCA).

Acacia mangium merupakan salah satu jenis kayu cepat tumbuh (*fast growing species*) yang merupakan bahan baku pulp dan kertas yang baik serta memiliki kemampuan mekanis struktural karena termasuk kelas kuat II-III. Pohon jenis kayu ini telah berkembang menjadi hutan tanaman baik pada skala hutan tanaman industri maupun hutan tanaman rakyat. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik spektra NIR kayu *Acacia mangium* dari 3 umur pohon berdasarkan bentuk sampel pada pengujian NIR spektroskopi.

BAHAN DAN METODE

Bahan penelitian berupa kayu *Acacia mangium* Willd. diperoleh dari hutan tanaman A. mangium di Resort Pemangkuan Hutan (RPH) Maribaya, Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Parung Panjang, Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Bogor, Unit III Perum Perhutani Jawa Barat Banten. Kayu yang digunakan untuk penelitian berasal dari tegakan pohon tahun tanam 2005, 2006, dan 2007; atau saat dilakukan penebangan pada tahun 2012 umur masing-masing tanaman adalah 7 tahun, 6 tahun, dan 5 tahun. Batang pohon berupa log yang diambil untuk sampel uji adalah sepanjang ± 8 m.

Total sampel kayu yang digunakan untuk pengujian NIR adalah sebanyak 50 sampel kayu solid yang berasal dari 4 pohon untuk masing-masing umur. Sampel kayu solid yang digunakan berukuran tebal, lebar, panjang (3 x 10 x 25) cm dan telah dihaluskan permukaannya atau diampelas. Sampel serbuk serbuk adalah sampel yang sama dengan kayu solid yang setelah pengujian nondestruktif NIR spektroskopi dikonversi menjadi serbuk lolos saringan 40 mesh menggunakan Wiley®mill. Baik sampel kayu solid maupun serbuk mengabaikan adanya variasi kayu teras dan gubal serta abnormalitas kayu. Kadar air sampel solid berada dalam kondisi kering udara 15%-18%, sementara itu kadar air serbuk kayu seragam berkisar 7% sampai 9%.

Pengujian spectra NIR dilakukan dengan mengukur reflektan dari bahan menggunakan NIRFlex N-500 fiber optik dari Buchi® pada panjang gelombang 1000-2500 nm dengan interval 0,4 nm. Alat ini dilengkapi dengan perangkat komputer dan software NIRWare operator dan

NIRWare *management console* untuk pengolahan hasil spektra. Sebelum dilakukan pengukuran spektra NIR, alat yang telah dinyalakan diberi jeda untuk selanjutnya alat melakukan pengukuran reflektan dimana secara otomatis perangkat akan melakukan referensi panjang gelombang. Referensi panjang gelombang terdiri dari dua kelompok yaitu referensi internal dan referensi eksternal (Zainal, 2012).

Pengukuran contoh uji solid dilakukan dengan menempelkan sensor pada bahan. Sensor tersebut menembakkan cahaya dari lampu halogen ke bahan. Energi yang diterima bahan selanjutnya dipantulkan kembali dan akan diterima oleh detektor sebagai data frekuensi getaran yang kemudian ditransformasikan dengan metode fourier menjadi grafik dan reflektan (Zainal, 2012). Pengukuran spektra reflektan dilakukan pada tiga titik yang berbeda. Pengujian contoh uji serbuk dilakukan dari sampel yang sama, pada mesin yang sama hanya contoh uji serbuk ditempatkan pada *sample holder*. Berat serbuk yang ditempatkan pada *sample holder* ± 20 gram. Output spektra berupa reflektansi (R) yang kemudian dikonversi menjadi nilai penyerapan atau absorbansi spektra NIR menggunakan rumus $\log_{10}(1/R)$.

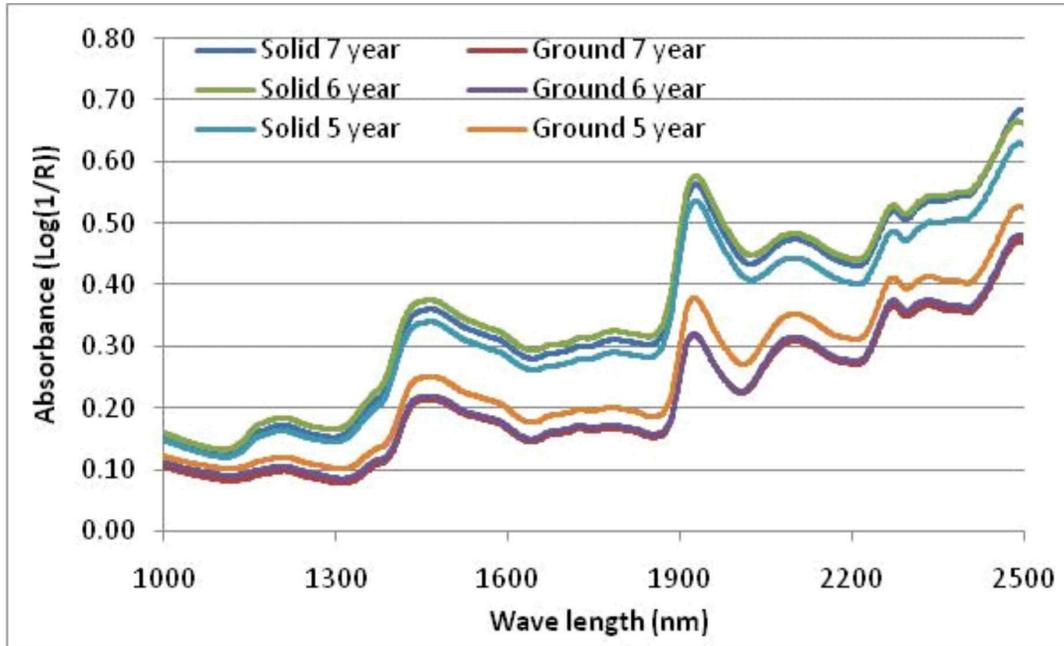
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil spektra absorbansi NIR spektroskopi disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan diketahui bahwa secara visual terdapat perbedaan karakteristik spektra absorbansi antara sampel padatan atau solid dengan serbuk kayu. Sampel padatan kayu memiliki nilai absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sampel serbuk. Umur pohon tampak memberikan pengaruh yang tidak terlalu besar terhadap nilai

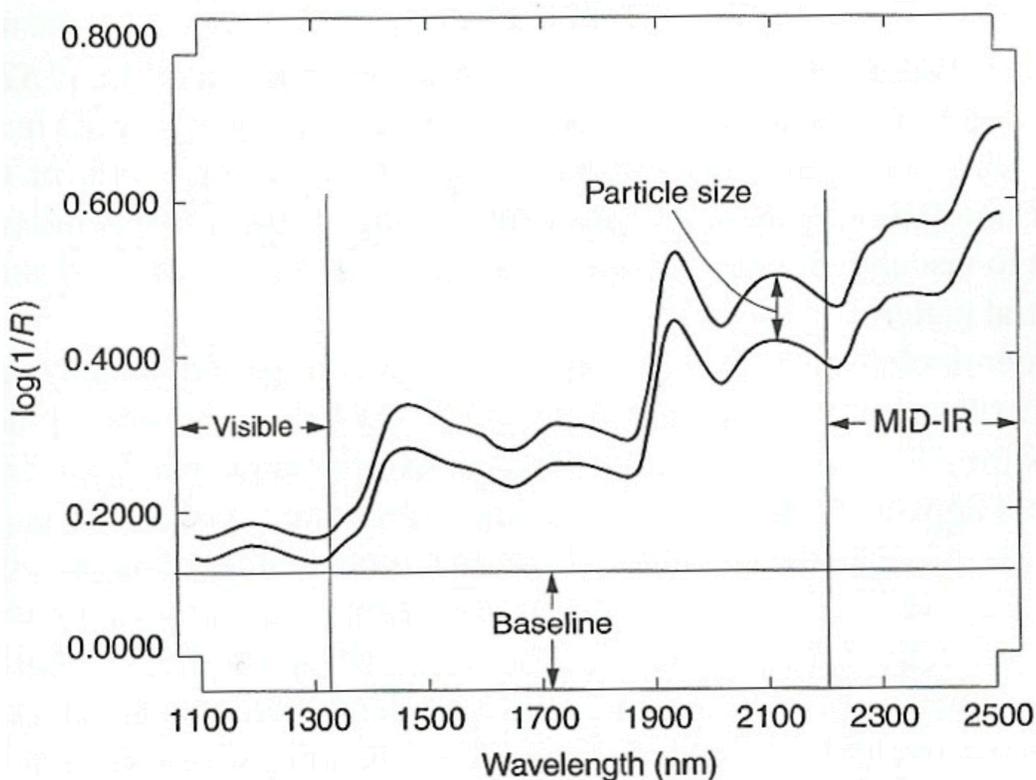
absorbansi seperti ditunjukkan oleh spektra yang hampir sama untuk kisaran panjang gelombang 1000 nm hingga 2500 nm.

Pada Burns dan Ciurczak (2008) disebutkan bahwa tiga faktor utama yang diperhatikan dalam sampel pengujian teknik NIR spektroskopi, yaitu ukuran partikel, kadar air, dan suhu bahan yang diuji. Lebih lanjut Naes *et al.* (2004) menyebutkan reflektansi sebar (*diffuse reflectance*) dan transmisi (*transmittance*) dari spektra NIR merupakan hasil dari suatu kondisi perpaduan alat dan sampel atau bahan yang digunakan, yaitu geometri atau bentuk alat, ukuran bahan yang diuji (berupa partikel atau titik pengujian), bentuk dan distribusi bahan saat pengujian, dll. Gambaran bahwa ukuran partikel mempengaruhi bentuk sebaran spektra absorbansi NIR disajikan pada Gambar 3. Ukuran partikel merupakan respon pengadaan alami sehingga terjadi penggeseran hasil spektra berdasarkan ukuran partikel. Pada pengolahan dan analisis data biasanya dilanjutkan dengan koreksi atau pengurangan pengaruh faktor ukuran partikel menggunakan pendekatan matematis. Walaupun demikian seringkali pengaruh ukuran partikel justru menjadi variabel penting dalam pendugaan sifat sampel (Burns dan Ciurczak, 2008).

Hasil penelitian menunjukkan bentuk sampel padat memiliki spektra absorbansi lebih tinggi dibandingkan serbuk (Gambar 2), yang berarti kemampuan komponen kimia pada bentuk sampel tersebut dapat menyerap lebih banyak radiasi gelombang pada kisaran panjang gelombangnya. Bentuk bahan, ruang pori, dan kepadatan bahan (*bulk density*) pada sampel padatan diduga menyebabkan sinar dari radiasi gelombang pada penetrasi terhadap bahan mengalami refraksi dan difraksi sehingga menungkinan sinar terserap oleh



Gambar 2. Rata-rata spektra NIR kasar (raw spectra) dari sampel kayu solid dan serbuk kayu *A. mangium* umur 5, 6, 7 tahun



Gambar 3. Spektra absorbansi NIR pada produk hasil pertanian secara umum (Sumber: Burns dan Ciurzak 2008)

bahan, sementara itu pada bentuk sampel serbuk energi radiasi yang sama akan mengalami juga hamburan (*reflectance*) dan penyebaran (*scattering*) selain refraksi dan difraksi pada saat

berpenetrasi pada bahan. Dengan kata lain pada bentuk dan ukuran bahan yang besar respon yang terjadi adalah transmisi (*transmittance*), sedangkan pada bentuk serbuk halus akan terjadi juga pantulan

(*reflectance*). Hal ini didukung pula oleh luas penutupan (*covering*) sinar radiasi gelombang. Pada pengujian spektra NIR sensor detektor ditempatkan memenuhi sampel padatan, sementara itu pada sampel serbuk kayu serbuk diletakkan pada suatu wadah (*sample holder*) untuk kemudian diberi sinar radiasi gelombang spektrum NIR. Hasil spektra dari sensor detektor pada pengujian sampel padat tergantung posisi atau sudut penempatannya sehingga memungkinkan radiasi gelombang diterima dengan baik oleh sampel.

Schwanninger et al. (2011); Hein et al. (2009); Tsuchikawa (2007) menyebutkan bahwa kondisi fisik dan kimia kayu berpengaruh terhadap spektra NIR. Pada Schwanninger et al. (2011) disebutkan kondisi fisik yang mempengaruhi spektra NIR antara lain ukuran partikel, porositas, karakteristik permukaan, indeks refraksi, dan kepadatan pengemasan (*packing density*) serbuk untuk sampel serbuk. Kepadatan pengemasan serbuk untuk serbuk hasil penggilingan sangat mempengaruhi bentuk spektra yang dihasilkan. Hal ini berkaitan dengan sensitivitas reflektan NIR terhadap ukuran partikel atau serbuk serta distribusinya. Hamburan reflektansi dari sampel serbuk tergantung dari penyebaran radiasi gelombang pada permukaannya, sementara itu penyerapan (*absorpsi*) oleh serbuk serta koefisien penyebaran (*scattering coefficient*) dipengaruhi oleh ukuran partikel.

Pada sampel padatan, kekasaran permukaan (*surface roughness*) dan respon orientasi serat terhadap arah radiasi gelombang berpengaruh terhadap spektra absorban yang dihasilkan. Pada bentuk sampel ini radiasi dari hamburan reflektan akan sangat ditentukan oleh kondisi iluminasi atau penyinaran dan ketebalan sampel. Karakteristik arah gelombang biasanya bervariasi pada panjang

gelombang tertentu tergantung dari arah datangnya gelombang. Abnormalitas kayu dan bentuk sel penyusun kayu juga sangat berpengaruh pada pola reflektansi dan absorbansi spektra NIR (Schwanninger et al., 2011). Kayu kompres memiliki nilai absorbansi yang lebih rendah dibandingkan kayu normal, hal ini dikaitkan dengan bentuk sel yang bulat dari trakeidanya sehingga dapat merefleksi lebih banyak radiasi gelombang yang datang.

Hasil penelitian Kludt (2003) untuk sampel padatan dari jenis kayu yang sama menunjukkan perbedaan kadar air 6%, 11%, dan 20% menghasilkan pola spektra absorbansi yang sama hampir segaris. Sementara itu Johnson (2003) menyimpulkan sampel padatan kayu basah memiliki nilai absorbansi lebih tinggi dibandingkan sampel kayu kering udara (kadar air 12%). Hasil penelitian menunjukkan sampel padatan dengan kadar air lebih tinggi memiliki absorbansi lebih tinggi dibandingkan sampel serbuk kayu yang memiliki kadar air serbuk di bawah 10%. Sementara itu, untuk umur pohon yang berbeda secara visual tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai absorbansi baik pada sampel padatan maupun serbuk kayu berdasarkan panjang gelombangnya. Hal ini menunjukkan karakteristik sel dan komponen kimia penyusun kayu lebih menentukan kemampuan penyerapan radiasi gelombang oleh kayu. Penelitian Johnson (2003) untuk kayu bekas bangunan jenis Douglas-fir dari gedung berbeda di empat wilayah berbeda menunjukkan pola fluktuasi spektra kasar absorban NIR yang tidak berbeda jauh untuk panjang gelombang 1000 nm hingga 2500 nm. Penelitian Kholik (2007) menunjukkan spektra kasar absorbansi NIR yang hampir segaris untuk jenis kayu jati dari 9

lokasi berbeda di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur pada panjang gelombang 1000 nm sampai 2500 nm. Sementara itu pada Dahlbacka (2010) disajikan informasi rata-rata spektra kasar absorbansi NIR, untuk panjang gelombang 900 nm sampai 1700 nm, memiliki pola fluktuasi yang sama tetapi tidak semuanya berhimpit untuk jenis kayu softwood yaitu spruce, pine, dan birch.

Pita spektra absorban NIR kayu pada kisaran panjang gelombang tertentu menunjukkan respon molekul komponen kayu terhadap radiasi gelombang infra-merah berkaitan dengan vibrasi dari ikatan gugus hidroksil molekul X-H. Vibrasi gugus C-H muncul hampir di semua bahan berlignoselulosa. Schwanninger *et al.* (2011) menyampaikan karakteristik pita spektra NIR pada setiap panjang gelombang berdasarkan studi-studi terdahulu dan hasil terbaru. Karakteristik pita tersebut berisi titik-titik lokasi panjang gelombang dengan komponen kimia yang terkandungnya serta struktur ikatan vibrasi yang terbentuk dan informasi lain berkaitan gugus komponen kimianya.

Komponen struktural kimia kayu terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Berdasarkan Schwanninger *et al.* (2011) maka komponen selulosa kayu terindikasi oleh pita spektra absorban NIR pada panjang gelombang 1473 nm hingga 1479 nm, 1515 sampai 1595 nm, 1632 nm, 1703 nm, 1731, nm, 1780 nm sampai dengan 1790 nm, 1793 nm, 1830 nm, 2080 nm hingga 2110 nm, 2170 nm, 2271 nm, 2277 nm, 2291 nm, 2235 nm, 2338 nm sampai 2361, 2491 nm, dan 2506-2519 nm. Hemiselulosa terdeteksi pada panjang gelombang (1471, 1493 1666, 1681, 1705, 1710, 1720, 1724, 1907, 2086, 2134, 2170, 2178, 2271-2272, 2328-2332, 2335) nm. Komponen lignin terindikasi pada lokasi panjang gelombang (1143, 1170, 118-1195, 1410,

1417, 1440, 1447-1448, 1672-1674, 1685, 1698, 1726, 1791, 1811, 2134, 2200, 2267, 2336, 2384) nm.

Pada Burns dan Ciurzak (2008), diketahui karakteristik dasar panjang gelombang pada kisaran wilayah NIR adalah 2270 nm untuk lignin, 2310 nm untuk minyak 2230 nm sebagai referensi, 2230 nm untuk selulosa, 2180 nm untuk protein, 2100 nm untuk karbohidrat, 1940 untuk kadar air, dan 1680 nm sebagai referensi. Mengacu pada Gambar 1, maka pada 1900 nm merupakan batas dimana vibrasi molekul mengalami penguatan (*overtone*) dan kombinasi vibrasi.

Dari studi yang dilakukan diketahui bahwa karakteristik spektra absorbansi bentuk kayu solid lebih tinggi dibandingkan sampel serbuk kayu. Pengolahan data lanjutan menggunakan analisis multivariasi belum tentu menunjukkan hasil analisis pemodelan kalibrasi berdasarkan spektra kayu solid yang terbaik. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pengujian analisis multivariasi kalibrasi antara lain heterogenitas atau kompleksitas kandungan bahan akibat derajat interaksi kimia antar senyawa yang berbeda, tumpang tindihnya spektra dari variabel yang diuji, faktor elektronik dan optik seperti gangguan (*noise*) terhadap gelombang yang menyebabkan pencilan (*outlier*) spektra, akurasi panjang gelombang (*wavelength*), perlakuan (*pre-treatment*) terhadap data spektra yang dihasilkan dalam rangka pengahulusan data (Naes *et al.*, 2004; Burns & Ciurzak, 2008).

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian adalah bahwa hasil pola spektra absorban NIR kayu *A. mangium* sangat dipengaruhi bentuk sampel pengujian NIR. Sampel berupa padatan kayu memiliki nilai absorbansi

lebih tinggi dibandingkan sampel bentuk kayu solid. Umur pohon untuk jenis kayu yang sama tidak memberikan informasi perbedaan pola spektra absorban NIR yang nyata untuk setiap lokasi panjang gelombangnya. Pengolahan data spektra NIR perlu dilanjutkan menggunakan metode analisis multivariasi kalibrasi untuk mengembangkan model pendugaan sifat kimia, fisis dan kimia kayu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh kegiatan Hibah Penelitian Unggulan Strategis “Hibah Bersaing” IPB dengan nomor kontrak: 17/I3.24.4/SPK-PUS/IPB/2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Antti H. 1999 *Multivariate characterization of wood related materials*. Disertasi. Department of Organic Chemistry, Umeå University, Sweden.
- Burns DA and Ciurzak EW. 2008. *Handbook of Near Infrared Analysis*. 3rd Edition. CRC Press. New York, Florida. USA.
- Dahlbacka J. 2010. *Characterisation of Wooden Biofuels Using Near Infrared Spectroscopy: Pre-Study*. Series R: Reports,4/2010. Novia University of Applied Sciences, Tehtaanku1, Vaasa, Finlandia. Tersedia online pada: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26588/NoviaUASR-Charact978-952-5839-08-1.pdf?sequence=1>
- Hein PRG, Campos ACM, Trugilho PF, Lima JT, Chaix G. 2009. Near Infrared Spectroscopy for Estimating Wood Basic Density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. *Cerne, Lavras*, v, 15(2): 133-141.
- Hein PRG. 2010. *Multivariate Regression Methods for Estimating Basic Density in Eucalyptus Wood from Near Infrared Spectroscopic Data*. *Cerne, Lavras*, v. 16. Suplemento. Hlm. 90-96.
- Johnson PR. 2003. *NDE of Clear Wood Subjected to Environmental and Mechanical Loadings Using Near Infrared Spectroscopy*. Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering, Washington University, USA.
- Kelley SS, Rials TG, Groom LH, Sluiter A. 2004. Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. *Wood Sci Technol* (2004) 38: 257-276.
- Kholik A. 2008. *Variasi Genetik, Isotop, dan Spektra Near Infrared (NIR) Kayu Jati di Jawa*. Tesis. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kludt KD. 2003. *Use Near Infrared Spectroscopy Technology for Predicting Bending Properties of Clear Wood Specimen*. Master Thesis in Civil Engineering. Washington State University, USA.
- So LC, Via BK, Groom LH, Schimleck LR, Shupe TF, Kelley SS, Rials TG. 2004. Near infrared spectroscopy in the forest product industry. *Forest Prod. J.* 54(3): 6-16.
- Naes T, Isaksson T, Fearn T, Davies T. 2004. *A User-Friendly Guide to: Multivariate Calibration and Classification*. NIR Publications. Chichester, UK.
- Raymond CA, Poke FS. 2006. Predicting extractives, lignin, and cellulose contents using near infrared spectroscopy on solid wood in *Eucalyptus globulus*. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 26: 187-199.
- Schimleck LR, Jones PD, Ill AC, Daniels RF, Peter GF. 2005 Near infrared spectroscopy for the nondestructive estimation of clear wood properties of *Pinus taeda L.* from the Southern United States. *Forest Prod. J.* 55(12): 21-26.
- Schwanninger M, Rodrigues JC, Fackler K. 2011. A Review of Band Assignments in Near Infrared Spectra of Wood and Wood Components. *J. Near Infrared Spectroscopy*, 19: 287-308.
- Tsuchikawa S. 2007. A Review of Recent Near Infrared Research for Wood and Paper. *Applied Spectroscopy Reviews*, 42: 43-71. DOI: 10.1080/05704920601036707.
- Zainal PW. 2012. *Deteksi Chilling Injury pada Mangga Gedong dengan Menggunakan Near Infrared Spectroscopy*. Tesis. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.