
Pencitraan Hiperspektral Inframerah Dekat Pada Model Lapisan Acrylic Alkyd

Menik Gustinasari¹, Ferdy S. Rondonuwu^{1,2*}, Jodelin Muninggar¹

¹ *Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana,
Diponegoro 52-60, Salatiga, 50711, Indonesia*

² *Pusat Studi Aplikasi NIR, Universitas Kristen Satya Wacana, Diponegoro 52-60, Salatiga,
50711, Indonesia*

* Corresponding author. Email. : ferdy.rondonuwu@uksw.edu (Ferdy S. Rondonuwu),

Telp: 62813-9000-0149

ABSTRAK

Spektroskopi inframerah dekat (NIRS) memiliki kemampuan identifikasi secara kualitatif dan kuantitatif material padat dan cair tanpa merusak sampel serta memungkinkan pengukuran dalam jumlah besar dalam waktu singkat dengan memanfaatkan rentang energi 1000-2500 nm ($10000-4000\text{ cm}^{-1}$). Penelitian ini menggunakan teknik spektroskopi NIR metode pencitraan hiperspektral yang memungkinkan informasi spasial (posisi) dan spektralnya (identifikasi) diperoleh secara bersamaan sehingga memiliki potensi menggambarkan distribusi konstituen dalam sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi daerah spektrum NIR dan atau bilangan gelombang aktif terhadap material alkyd dan akrilik serta menentukan distribusi lapisan alkyd yang tersembunyi di bawah lapisan akrilik. Sampel dimodelkan dengan membuat lapisan alkyd di atas plat baja yang ditutup dengan lapisan tipis akrilik. Spektrum NIR kemudian diukur pada 64 posisi yang berbeda. Hasil dari penelitian ini mengungkap bahwa distribusi serapan dua dimensi dalam bentuk citra dan transflektans pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} dapat menginformasikan letak atau posisi lapisan alkyd yang tersembunyi di bawah lapisan akrilik. Dapat disimpulkan bahwa spektroskopi NIR dapat memetakan lapisan terselubung di bawah lapisan lain sepanjang material target yang memiliki serapan aktif di daerah inframerah dekat.

Kata kunci : Spektroskopi inframerah dekat (NIRS), pencitraan hiperspektral, lapisan alkyd, lapisan akrilik.

ABSTRACT

Near-infrared spectroscopy (NIRS) has qualitative and quantitative identification capabilities of solid and liquid materials without damaging samples. It allows measurements in large quantities rapidly by utilizing a spectral range of 1000-2500 nm ($10000-4000\text{ cm}^{-1}$). This study used the NIR spectroscopy technique of hyperspectral imaging allowing spatial information (position) and spectral (identification) to be obtained simultaneously to describe the distribution of constituents in the sample. This study aims to identify NIR active wave numbers of alkyd and acrylic and determine the distribution of alkyd hidden under acrylic layers. The sample was modeled by distributing an alkyd layer on top of the steel plate and then entirely covered by an acrylic coating. NIR spectral data were collected at 64 positions. The results of this study revealed that the distribution of two-dimensional absorption in the observed wavenumber of 4708 cm^{-1} could inform the position of the alkyd hidden under the acrylic layer. It concluded that NIR spectroscopy could map a layer veiled beneath another layer as long as the target material has an active absorption in a near-infrared area.

Keywords: near-infrared spectroscopy (NIRS), hyperspectral imaging, alkyd layer, acrylic coating.

1. Pendahuluan

Spektroskopi inframerah dekat (NIRS) telah banyak digunakan saat ini karena kemajuannya dalam hal instrumentasi dan kemudahannya mengintegrasikan teknik analisis data multivariat. Teknik ini juga dimanfaatkan dalam penelitian dasar karena kemudahannya untuk mengidentifikasi konstituen padat dan cair secara cepat tanpa merusak serta memungkinkan pengukuran sampel dalam jumlah besar [1]. NIRS menggunakan panjang gelombang elektromagnetik pada daerah sekitar 800-2500 nm atau setara dengan bilangan gelombang

$12500-4000\text{ cm}^{-1}$. Spektrum NIR akan membawa informasi tentang serapan-serapan spesifik senyawa organik melalui karakteristik vibrasi [2]. Spektroskopi NIR juga dimanfaatkan sebagai alat teknologi analitik proses dan kontrol kualitas diberbagai bidang, seperti pertanian [3], makanan [4], bioaktif [5], farmasi [6], kosmetik [7], aplikasi medis [8] dan bahan kimia seperti polimer [9].

Teknik spektroskopi NIR kemudian diterapkan pada teknik pencitraan hiperspektral. Teknik ini mengintegrasikan pencitraan digital dan spektroskopi NIR untuk mendapatkan informasi spasial dan spektral dari suatu objek. Gambar

hiperspektral terdiri dari ratusan pita gelombang yang berdekatan untuk setiap posisi spasial dari target. Akibatnya, setiap piksel dalam gambar hiperspektral berisi spektrum posisi spesifik. Spektrum yang dihasilkan berfungsi seperti sidik jari yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi komposisi setiap piksel. [10]. Prinsip utama dari pencitraan hiperspektral adalah menghasilkan citra sebagai fungsi panjang gelombang oleh spektroskopi. Citra hiperspektral ini memberikan informasi panjang gelombang lebih banyak dari citra yang diperoleh menggunakan kamera warna. Citra yang dihasilkan disebut juga sebagai *hypercube* di mana terdiri dari sekumpulan gambar yang diwakili oleh masing-masing karakteristik panjang gelombangnya [11]. Karena merupakan metode non-destruktif, teknik pencitraan ini juga telah diterapkan dalam warisan budaya yang menawarkan pandangan alternatif dari karya seni melalui visualisasi lapisan dasar atau permukaan yang tidak terlihat dengan mata telanjang [12]. Jika digabungkan dengan teknik kemometri, memungkinkan untuk mendapatkan informasi kualitatif dan kuantitatif tentang sifat karakteristik fisik-kimiawi dari bahan yang diselidiki [13]. Pencitraan ini juga dimanfaatkan untuk memetakan distribusi bahan pengikat sintetis dalam seni lukis modern [14].

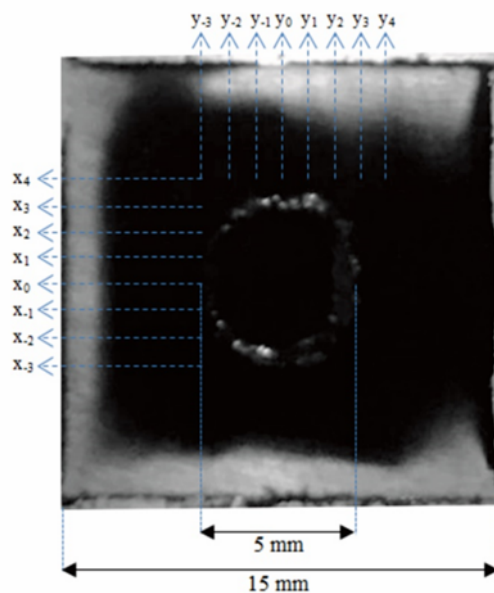
Pada penelitian ini, teknik pencitraan hiperspektral dengan NIRS dilakukan untuk mendemonstrasikan keefektifan sistem pencitraan yang bekerja pada rentang 1000-2500 nm ($10000-4000\text{ cm}^{-1}$). Sampel yang dipindai akan menghasilkan data matriks yang dikonversi untuk mendapatkan bentuk spektrum. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi daerah spektrum dan atau bilangan gelombang aktif terhadap material alkid dan akrilik serta menentukan lapisan alkid yang tersembunyi dengan menganalisis distribusi spektrum NIR serapan dua dimensi pada bilangan gelombang tertentu dalam bentuk citra.

2. METODOLOGI

2.1 Preparasi Sampel

Pada proses pembuatan sampel, bahan yang digunakan terdiri dari material alkid *merk envi* dan material akrilik *merk oxygen spray paint*. Dibuat di atas plat baja sesuai dengan sketsa yang sudah ditentukan.

Gambar 1 menunjukkan hasil preparasi sampel dari lapisan alkid yang ditutup oleh lapisan akrilik di atas plat baja. Lapisan-lapisan tipis tersebut disusun di atas plat baja persegi. Tebal lapisan dibuat kira-kira 0.2 mm sehingga dipastikan sampel dapat menyerap lebih banyak radiasi



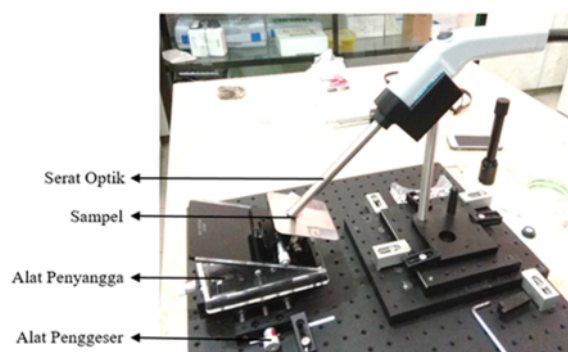
Gambar 1: Hasil preparasi sampel yang terdiri dari lapisan terluar yaitu lapisan akrilik dengan ukuran panjang dan lebar 15 mm dan lapisan yang berbentuk lingkaran kecil atau lapisan terdalam yaitu lapisan alkid dengan diameter 5 mm

pada kisaran panjang gelombang resonansinya. Sampel dengan material alkid dioleskan lebih dahulu sehingga membentuk lapisan lingkaran dengan diameter 5 mm. Setelah lapisan alkid kering, selanjutnya diletakkan material akrilik di atas lapisan alkid dengan cara penyemprotan dengan ukuran panjang dan lebar yang digunakan masing-masing 15 mm.

2.2 Pengukuran spektral dari sampel

Pada bentuk dan ukuran sampel besar respon yang terjadi adalah transmisi (*transmittance*), sedangkan cahaya

tampak yang sampai pada baja tahan karat akan terjadi pantulan (*reflectance*). Dengan konfigurasi ini maka ragam pengukuran spektrum yang paling dominan adalah difuse reflektans [15]. Setelah proses preparasi, sampel diletakkan pada alat penyangga tepat di bawah serat optik di mana ini merupakan detektor pada spektroskopi NIR. Pada tahap ini dibutuhkan perhatian lebih karena hasil spektra dari detektor pada pengujian sampel padat tergantung posisi atau sudut penempatannya, sehingga memungkinkan cahaya tampak diterima dengan baik oleh sampel [16]. Selanjutnya pada bagian bawah alat penyangga terdapat alat bantu penggeser. Alat bantu penggeser berfungsi untuk membantu dalam proses penggeseran sampel ketika proses pengukuran. Setelah sampel diletakkan pada alat penyangga dan penggeser, maka sampel siap untuk dipindai menggunakan spektroskopi NIR, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Representasi skematis dari komponen utama sistem pencitraan hiperspektral pada spektroskopi NIR.

Pemindaian dilakukan menggunakan spektroskopi NIR (Buchi NIRFLEX 500 solid) dihubungkan dengan perangkat serat optik. Pengambilan data spektroskopi NIR dilakukan dengan cara sampel digeser dari kiri ke kanan dengan bantuan alat bantu penggeser. Panjang lintasan pengukuran dalam 1 baris sebesar 7 mm, dalam setengah putaran alat penggeser bergerak setiap 1 mm, terdapat 8 baris dan setiap baris terdapat 8 titik, sehingga dari awal sampai akhir putaran menghasilkan 64 titik. Pada setiap titik akan diambil data spektroskopi. Bentang energi yang dipakai pada pengukuran ini adalah $4000\text{-}10000\text{ cm}^{-1}$ dengan interval 4 cm^{-1} .

2.3. Pra-perlakuan data dan Analisis data

Data matriks dari 64 posisi yang telah didapat dari hasil pemindaian dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dari penelitian. Pra-perlakuan data yang dimaksud meliputi penghalusan (*smoothing*) dan normalisasi. Penghalusan bertujuan untuk menghilangkan derau (*noise*) pada frekuensi tinggi dari grafik dan meningkatkan daya pisah setiap puncak serapan, normalisasi bertujuan untuk meminimalkan perbedaan spektrum akibat pergeseran garis dasar dan hamburan multiplikasi [17]. Sebelum normalisasi setiap spektrum dihaluskan dengan metode Savitsky-Golay menggunakan ukuran bingkai 401 dengan

polinomial orde tiga. Setelah melakukan beberapa langkah tersebut spektrum yang sudah dinormalisasi dan dihaluskan, serta distribusi serapan dua dimensi pada bilangan gelombang tertentu dalam bentuk citra dan distribusi transflektans pada bilangan gelombang tertentu sepanjang penampang lintang sumbu x, dijadikan sebagai acuan dalam menganalisis posisi lapisan yang tersembunyi. Semua langkah pada tahapan ini dilakukan melalui coding dengan Matlab.

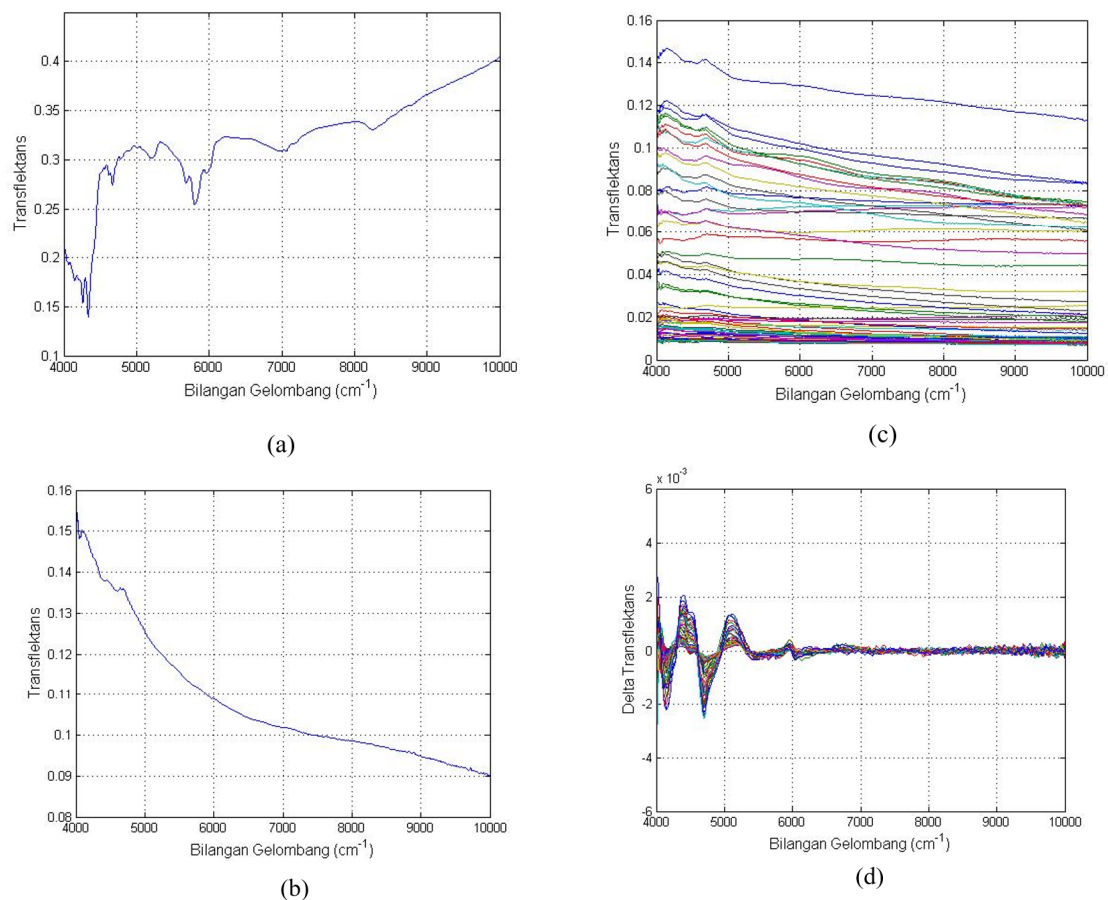
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencitraan NIR dimulai dengan pengukuran spektrum pada berbagai posisi di permukaan sampel. Gambar 3(a) adalah spektrum transflektans untuk lapisan alkid, sedangkan Gambar 3(b) untuk lapisan akrilik. Alkid memiliki serapan yang dominan pada bilangan gelombang $4000\text{-}4500\text{ cm}^{-1}$ dan $5500\text{-}6000\text{ cm}^{-1}$, sedangkan akrilik memiliki serapan yang sangat lebar dan monotonik dari $5500\text{-}10000\text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada daerah $4000\text{-}5500\text{ cm}^{-1}$ relatif rendah dibandingkan dengan alkid. Spektrum alkid dengan struktur yang sama dengan Gambar 3(a) sudah diamati dan dijelaskan lebih khusus oleh Vagnini dan kawan-kawan [18] dengan penanda spesifik pada bilangan gelombang $4220\text{-}5840\text{ cm}^{-1}$. Spektrum akrilik juga telah diamati oleh Rosi dan kawan-kawan [19] dengan penanda berupa struktur serapan

lemah pada bilangan gelombang sekitar 4030 cm^{-1} . Dengan demikian dari hasil ini dapat diduga bahwa serapan alkid yang tersembunyi di bawah akrilik memiliki peluang besar diamati pada daerah $4000\text{--}6000\text{ cm}^{-1}$.

Gambar 3(c) menunjukkan spektrum transflektans dari tumpukan lapisan alkid dan akrilik hasil pemindaian spektroskopi NIR terhadap sampel dari 64 posisi. Pada spektrum ini terlihat beberapa komponen penting yang terdapat di dalamnya yaitu alkid dan akrilik. Jika diperhatikan grafik spektrum transflektans ini memiliki

persoalan di mana *baseline* dan intensitas dari setiap spektrum berubah-ubah secara acak. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh efek hamburan dari partikel sampel yang tidak seragam [20]. Untuk mengatasi persoalan tersebut, spektrum transflektans ini dinormalisasi pada bilangan gelombang 10000 cm^{-1} di angka 0 dan bilangan gelombang 4000 cm^{-1} diangka 1. Sebelum normalisasi, setiap spektrum dihaluskan dengan metode Savitsky-Golay menggunakan ukuran bingkai 401 dengan polinomial orde tiga. Spektrum normalisasi yang dihasilkan ditampilkan pada

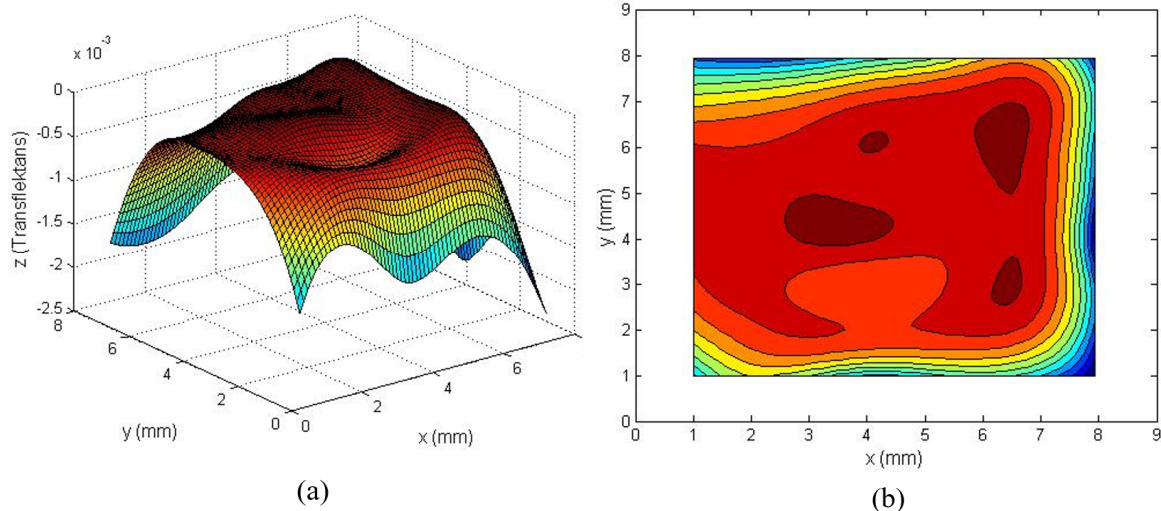


Gambar 3. Spektrum transflektans NIR Spektroskopi dari (a) lapisan alkid, (b) lapisan akrilik, (c) lapisan alkid dan akrilik dari 64 posisi, (d) Normalisasi dan *smoothing* dari gambar c.

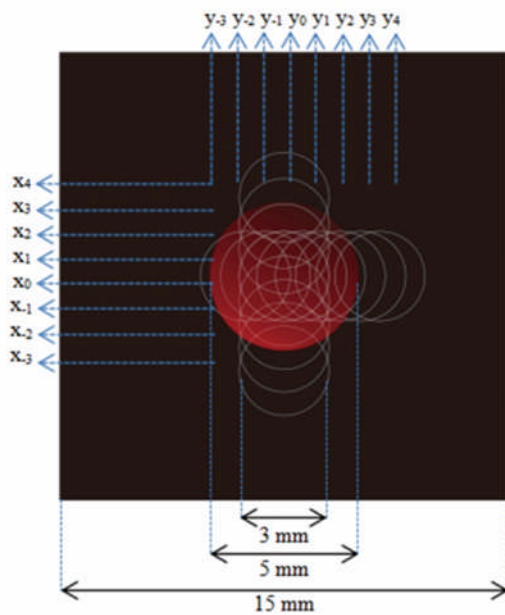
Gambar 3(d). Nampak jelas bahwa terdapat perubahan penyerapan pada daerah bilangan gelombang 4000-4408 cm^{-1} dan 4708-5108 cm^{-1} . Secara spesifik spektrum normalisasi ini memberikan informasi bahwa variasi serapan dapat dibandingkan langsung pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} di mana pada bilangan gelombang ini variasi serapan cukup mencolok pada berbagai koordinat pindai. Variasi serapan ini bergantung pada posisi pindai karena setiap posisi tersebut mewakili keberadaan alkid yang tersembunyi di bawah akrilik. Distribusi serapan spesifik pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} pada 64 posisi dalam bentuk citra seperti ditampilkan pada Gambar 4.

Gambar 4(a) menunjukkan distribusi serapan pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} setelah interpolasi pada berbagai koordinat posisi. Perhatikan bahwa sumbu Z masih

menunjukkan nilai transflektans, sedangkan Gambar 4(b) menunjukkan distribusi serapan dua dimensi pada bilangan gelombang yang sama. Pada Gambar 4(b) Warna merah dan jingga menandakan banyak penyerapan pada lapisan alkid, warna kuning sampai dengan warna biru muda menandakan penyerapan pada lapisan alkid dan akrilik, serta warna biru tua menandakan lebih banyak penyerapan pada lapisan akrilik. Untuk daerah dengan posisi citra yang sangat menonjol ke atas terlihat pada Gambar 4(a), seperti yang sudah dijelaskan pada Gambar 3(d) yaitu menunjukkan adanya perbedaan penyerapan. Perubahan penyerapan ini dikarenakan pergeseran posisi pada sampel sehingga spektroskopi NIR mendeteksi letak daerah yang terdapat alkid di bawahnya. Oleh sebab itu, dari Gambar 4(b) sudah dapat dilihat bahwa posisi alkid mulai terbaca dari posisi x_1 dan berakhir pada posisi x_7 .



Gambar 4: (a & b) Distribusi serapan dua dimensi lapisan alkid dan akrilik pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} .

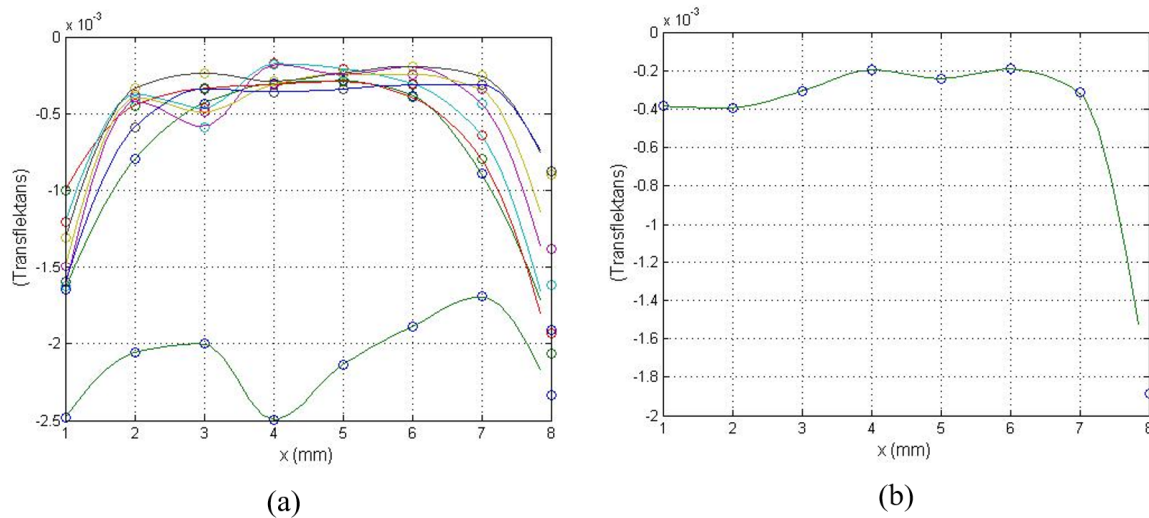


Gambar 5: Posisi sensor serat optik di atas lapisan alkid dan akrilik pada saat pengukuran sampel dengan diameter sensor serat optik sebesar 3 mm.

Gambar 5 menunjukkan posisi sensor serat optik pada sampel saat pengukuran lapisan alkid yang ditutup oleh lapisan akrilik di atas plat baja. Pada distribusi serapan dua dimensi terlihat pada Gambar 4(b) belum menghasilkan citra yang memiliki resolusi yang baik di mana citra yang dihasilkan belum berbentuk bulat. Hal ini disebabkan karena ukuran berkas NIR dari serat optik masih memiliki diameter terlalu besar yaitu 3 mm sedangkan citra target berukuran 5 mm. Konvolusi antara berkas NIR dan target sample menyebabkan citra kurang tajam pada bagian pinggir. Hal ini dapat diperbaiki dengan mengatur

diameter berkas keluaran dari serat optik menjadi sekecil mungkin, menggunakan lensa positif, ketika mengenai sampel target. Selain distribusi serapan dua dimensi, posisi alkid dan akrilik juga dapat dilihat dari distribusi transflektans satu penampang pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} . Hal ini bertujuan untuk mengetahui bahwa pada distribusi transflektans satu penampang pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} yang terjadi perubahan penyerapan akan terlihat ada pemetaan pola yang terbentuk, di mana distribusi transflektans pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} sepanjang penampang lintang sumbu x ditunjukkan pada Gambar 6.

Pada Gambar 6(a) menunjukkan distribusi transflektans pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} sepanjang penampang lintang sumbu x lapisan alkid dan lapisan akrilik dari 64 posisi dengan interval 1 mm. Dari pemetaan 64 pola ini terdapat beberapa pemetaan bentuk pola terlihat saling tumpang tindih dengan serapan yang sedikit berbeda-beda. Namun pada beberapa bentuk pola, terlihat adanya pola yang terbentuk dengan serapan yang berbeda pada setiap posisi. Hal ini dikarenakan informasi yang disampaikan pada setiap bilangan gelombang menginformasikan kandungan dari sampel untuk setiap posisi dengan serapannya masing-masing, sehingga dengan kandungan bahan sampel yang sama, akan menghasilkan pemetaan pola yang datar



Gambar 6: Distribusi transfleksans sepanjang penampang lintang sumbu x dari lapisan alkid dan akrilik (a) pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} dari 64 posisi dan (b) pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} dari 8 posisi.

pada setiap posisi, sebaliknya pada kandungan bahan yang berbeda akan ada pola terbentuk dengan serapan yang berbeda pada setiap posisi. Untuk itu 64 posisi ini dipilih 8 posisi yang dianggap paling baik, pada Gambar 5 terletak pada posisi x_0, y_0 . Hal ini untuk menunjukkan distribusi transfleksans pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} sepanjang penampang lintang sumbu x lapisan alkid dan lapisan akrilik yang ditunjukkan oleh Gambar 6(b). Posisi sampel x_1 sampai dengan x_7 menunjukkan perubahan penyerapan yang cukup konstan dikarenakan pada data ini kandungan sampel adalah alkid dan akrilik, pada posisi tersebut terdapat lapisan yang tersembunyi yaitu alkid. Oleh sebab itu, terjadi perubahan

penyerapan dan terlihat sangat jelas bahwa terdapat lapisan alkid di bawah akrilik dan ketebalan pada lapisan tersebut sangat mempengaruhi perubahan penyerapan. Kemudian pada posisi x_7 sampai x_8 penyerapan pada data ini kandungan sampel mulai kembali pada akrilik. Hasil tersebut sesuai dengan posisi pada saat proses pengukuran sampel yaitu terlihat pada Gambar 5.

4. SIMPULAN

Spektroskopi NIR terbukti dapat mengidentifikasi daerah spektrum dan melihat lapisan yang tersembunyi. Spektroskopi NIR menggunakan metode pencitraan hiperspektral dengan beberapa tahap pengolahan spektrum

data sebelum proses menganalisa terbukti dapat menunjukkan daerah bilangan gelombang yang sensitif pada lapisan alkid dan akrilik. Ketebalan sampel dan pergeseran posisi pada saat memindai sampel sangat mempengaruhi perubahan serapan. Bilangan gelombang 4708 cm^{-1} adalah bilangan gelombang terbaik untuk mengidentifikasi lapisan alkid dan lapisan akrilik. Metode pencitraan hiperspektral dari spektroskopi NIR juga terbukti dapat melihat atau menginformasikan posisi lapisan dasar atau permukaan yang tidak terlihat dengan mata telanjang, yaitu lapisan alkid yang ditutup oleh lapisan akrilik di atas plat baja dengan melihat distribusi serapan dua dimensi bilangan gelombang 4708 cm^{-1} dalam bentuk citra dan distribusi transflektans pada bilangan gelombang 4708 cm^{-1} sepanjang penampang lintang sumbu x. Dengan demikian spektroskopi NIR dapat memetakan lapisan terselubung di bawah lapisan lain sepanjang material target yang dimaksud memiliki panjang gelombang aktif di daerah inframerah dekat.

5. Referensi

1. Ozaki Y, Morisawa Y, Ikehata A, Higashi N. Far-ultraviolet spectroscopy in the solid and liquid states: A review. *Appl Spectrosc*. 2012;66(1):1–25.
2. Prieto N, Roehe R, Lavín P, Batten G, Andrés S. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *Meat Sci* [Internet]. 2009;83(2):175–86. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.04.016>
3. Samiei Fard R, Matinfar HR. Capability of vis-NIR spectroscopy and Landsat 8 spectral data to predict soil heavy metals in polluted agricultural land (Iran). *Arab J Geosci* [Internet]. 2016;9(20). Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-016-2780-4>
4. Dixit Y, Casado-Gavalda MP, Cama-Moncunill R, Cama-Moncunill X, Markiewicz-Keszycka M, Cullen PJ, et al. Developments and challenges in online NIR spectroscopy for meat processing. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2017;16(6):1172–87.
5. Magalhães LM, Machado S, Segundo MA, Lopes JA, Páscoa RNMJ. Rapid assessment of bioactive phenolics and methylxanthines in spent coffee grounds by FT-NIR spectroscopy. *Talanta* [Internet]. 2016;147:460–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.10.022>
6. Zhao P, Gao G, Zhang L, Cai Q, Lu N, Cheng L, et al. Corrigendum to “Drug-protein binding mechanism of juglone for early pharmacokinetic profiling:

- Insights from ultrafiltration, multi-spectroscopic and molecular docking methods". *J Pharm Biomed Anal* [Internet]. 2017;143:311. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2017.06.051>
7. Jentzsch PV, Ramos LA, Ciobotă V. Handheld Raman spectroscopy for the distinction of essential oils used in the cosmetics industry. *Cosmetics*. 2015;2(2):162–76.
 8. Sakudo A. Near-infrared spectroscopy for medical applications: Current status and future perspectives. *Clin Chim Acta* [Internet]. 2016;455:181–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cca.2016.02.009>
 9. Manley M. Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: Non-destructive analysis of biological materials. *Chem Soc Rev* [Internet]. 2014;43(24):8200–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/c4cs00062e>
 10. Lu R. Detection of bruises on apples using near-infrared hyperspectral imaging. *Trans Am Soc Agric Eng*. 2003;46(2):523–30.
 11. Qin J, Chao K, Kim MS, Lu R, Burks TF. Hyperspectral and multispectral imaging for evaluating food safety and quality. *J Food Eng* [Internet]. 2013;118(2):157–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.001>
 12. Ricciardi P, Delaney JK, Facini M, Zeibel JG, Picollo M, Lomax S, et al. Near infrared reflectance imaging spectroscopy to map paint binders in situ on illuminated manuscripts. *Angew Chemie - Int Ed*. 2012;51(23):5607–10.
 13. Cséfalvayová L, Strlič M, Karjalainen H. Quantitative NIR chemical imaging in heritage science. *Anal Chem*. 2011;83(13):5101–6.
 14. Dooley KA, Lomax S, Zeibel JG, Miliani C, Ricciardi P, Hoenigswald A, et al. Mapping of egg yolk and animal skin glue paint binders in early renaissance paintings using near infrared reflectance imaging spectroscopy. *Analyst*. 2013;138(17):4838–48.
 15. Frisenda R, Niu Y, Gant P, Molina-Mendoza AJ, Schmidt R, Bratschitsch R, et al. Micro-reflectance and transmittance spectroscopy: A versatile and powerful tool to characterize 2D materials. *J Phys D Appl Phys*. 2017;50(7).
 16. L. Karlinasari, M. Sabed, N. J Wistara, A. Purwanto, and H. Wijayanto. Karakteristik spektra absorbansi NIR spektroskopi kayu acacia mangium WILLD pada 3 umur berbeda. *J Ilmu Kehutan*. 2014;6(1):45–52.
 17. Rondonuwu FS, Setiawan A, Karwur FF. Determination of glucose concentration in aqueous solution using FT NIR spectroscopy. *J Phys Conf Ser*. 2019;1307(1):0–6.



18. Vagnini M, Miliani C, Cartechini L, Rocchi P, Brunetti BG, Sgamellotti A. FT-NIR spectroscopy for non-invasive identification of natural polymers and resins in easel paintings. *Anal Bioanal Chem.* 2009;395(7):2107–18.
19. Rosi F, Daveri A, Moretti P, Brunetti BG, Miliani C. Interpretation of mid and near-infrared reflection properties of synthetic polymer paints for the non-invasive assessment of binding media in twentieth-century pictorial artworks. *Microchem J* [Internet]. 2016;124:898–908. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2015.08.019>
20. Schwanninger M, Rodrigues JC, Fackler K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. *J Near Infrared Spectrosc.* 2011;19(5):287–308.