

Image Quality Measurement of Independent Linear Matrix-Based Decomposition Results and Attenuation Coefficients

Article History:

Received
7 November 2025

Revised
6 January 2026
Accepted
20 January 2026

TOTO AMINOTO, R TRIOCLARISE

Fisioterapi, Politeknik Kesehatan Kemenkes Jakarta, Bekasi, Indonesia
Email : lisefauzi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mendiagnosa jenis suatu penyakit adalah dengan melihat citra. Untuk menampilkan satu citra pada komponen tertentu digunakan metode teknik dekomposisi algoritma berbasis invers matrix. Jika persamaan Hukum Lambert Beer dilakukan operasi logaritmik natural maka akan dihasilkan hubungan linier antara tingkat intensitas dengan ketebalan. Selanjutnya dapat ditampilkan suatu citra berdasarkan fungsi ketebalan. Dengan memvariasi tiga panjang gelombang yang berbeda dan tiga material yang berbeda didapatkan tiga macam persamaan linier. Variasi panjang gelombang ini berpengaruh terhadap tingkat dekomposisi. Hasil menunjukkan Kombinasi Panjang gelombang 780 nm-808 nm-980 nm lebih baik kualitasnya dibandingkan variasi Panjang gelombang yang lainnya. Dalam penelitian ini digunakan phantom yang tersusun dari bahan silicone rubber, margarine dan gelatine. Bahan phantom ini merupakan representative dari bahan tubuh manusia.

Kata kunci: tomography, citra transmitan, citra rekonstruksi, linier independent, koefisien atenuasi

ABSTRACT

One way to diagnosing a disease is by examining an image. To display an image on a specific component, an inverse matrix-based algorithmic decomposition technique is used. If the Lambert-Beer Law equation is subjected to a natural logarithmic operation, a linear relationship between intensity level and thickness will be produced. Furthermore, an image can be displayed based on the thickness function. By varying three different wavelengths and three different materials, three types of linear equations are obtained. This variation in wavelength affects the level of decomposition. The results show that the combination of 780 nm-808 nm-980 nm wavelengths is better in quality than other wavelength variations. In this study, a phantom composed of silicone rubber, margarine, and gelatin was used. This phantom material is representative of the human body material.

Keywords: tomography, transmittance image, reconstructed image, linear independent, attenuation coefficient

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license 

1. PENDAHULUAN

Secara umum organ manusia terbentuk dari berbagai macam komponen jaringan. Komponen jaringan tersebut terdiri dari darah, otot, tulang, daging dan kulit (**SVD, 2019**). Beberapa penyakit dapat mengenai tiap komponen jaringan tersebut. Untuk mengetahui jenis suatu penyakit yang mengenai jaringan salah satunya dengan menggunakan citra. Teknik yang umum digunakan untuk mendapatkan *imaging* komponen tersebut adalah tomografi *near infrared* yang bersifat non kontak (**Hayashi, dkk, 2023**). Tomografi non kontak ini anatara bahan dengan near infrared tidak diletakkan berimpit sehingga memudahkan pencitraan. *Near infrared* memiliki sifat-sifat optik jaringan jika dilewatkan pada suatu obyek maka terjadi interaksi salah satunya adalah transmisi (**Aminoto, dkk, 2019**). Kelemahan dari tomografi near infrared adalah seluruh komponen jaringan organ tersebut akan tertangkap dalam satu citra (**Shourav, dkk, 2021**). Hal ini menyulitkan dalam mendiagnosa suatu penyakit yang hanya mengenai satu komponen tertentu saja seperti mendiagnosa tingkat spasme pada otot. Untuk mendiagnosa ini tentunya harus ditampilkan hanya citra bagian otot saja yang diduga mengalami spasme. Untuk maksud tersebut maka dikembangkan suatu metode khusus untuk melakukan dekomposisi jaringan tubuh. Metode tersebut dapat dikembangkan dengan membuat citra rekonstruksi berbasis ketebalan suatu obyek (**Aminoto, dkk, 2022**).

Pada mode transmitan sinar yang keluar dari obyek akan memberikan nilai intensitas tertentu berdasarkan panjang gelombang. Dengan demikian jika panjang gelombang yang dilewatkan pada suatu obyek pada mode transmitan divariasi maka tiap panjang gelombang akan memberikan nilai intensitas tertentu sesuai dengan karakteristik panjang gelombangnya. Intensitas yang keluar dari material mempunyai ketebalan tertentu maka intensitas keluarannya mengalami atenuasi eksponensial sesuai dengan perumusan Lambert Beer (**Oshina and Spigulis, 2021**). Berdasarkan perumusan tersebut apabila sinar infrared dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada beberapa organ akan menghasilkan suatu nilai koefisien atenuasi yang berbeda-beda tergantung bahan penyusun organ tersebut.

Perbedaan tingkat intensitas sinar Near-Infrared karena perbedaan panjang gelombang dan perbedaan koefisien atenuasi masing-masing komponen dapat digunakan untuk mencari nilai ketebalan suatu komponen (**Li, dkk, 2016**). Hubungan antara tingkat intensitas dengan ketebalannya dapat dinyatakan dalam suatu persamaan linier. Dengan memvariasi tiga panjang gelombang yang berbeda dan tiga material yang berbeda akan didapatkan tiga macam persamaan linier. Penyelesaian tiga persamaan linier ini dapat dinyatakan dalam suatu persamaan matriks. Dengan menggunakan metode determinan matrik maka dapat ditentukan nilai ketebalan dari suatu jaringan tertentu pada satu titik pixel. Nilai ketebalan ini dapat digunakan untuk membuat citra rekonstruksi yang mampu melakukan dekomposisi penyusun komponen obyek tersebut. Dalam penelitian ini jaringan biologi diganti menggunakan phantom.

Matrik koefisien atenuasi ini berperan dalam mengeliminasi citra tertentu hasil proses dekomposisi. Nilai koefisien atenuasi ini selain tergantung pada jenis material, tergantung juga pada besarnya nilai panjang gelombang. Kombinasi tiga panjang gelombang yang berbeda sangat mempengaruhi komposisi nilai dari matrik. Tingkat kualitas hasil dekomposisi dipengaruhi oleh sifat independen linier pada matrik koefisien atenuasi. Salah satu indikatornya adalah nilai determinan dari matrik tersebut. Semakin tinggi nilai determinan menunjukkan bahwa matrik tersebut semakin bersifat independen satu sama lain (**Susanti, dkk. 2023**).

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat kualitas citra hasil dekomposisi phantom menggunakan kombinasi tiga panjang gelombang yang berbeda berdasarkan matrik koefisien atenuasi yang bersifat independen linier. Dekomposisi ini menggunakan teori invers matrik. Panjang gelombang near infrared 780 nm, 808 nm, 830 nm dan 980 nm. Dari keempat Panjang gelombang tersebut dilakukan kombinasi terhadap tiga panjang gelombang. Phantom digunakan karena untuk memudahkan **representatif** bahan tubuh manusia.

2. METODE

Persamaan atenuasi dapat ditulis dalam rumus Beer Lambert's law [10]:

$$I = I_0 e^{-\mu_\lambda d} \quad (1)$$

Nilai I_0 merupakan besarnya intensitas *near infrared* yang menembus material, Sedangkan I merupakan nilai intensitas yang keluar dari material yang mempunyai d , dan μ_λ adalah koefisien atenuasi yang mempunyai fungsi Panjang gelombang. Sedangkan rasio output terhadap input intensitas dapat dituliskan:

$$T_\lambda = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu(\lambda)d} \quad (2)$$

Dengan demikian Persamaan (2) di atas dapat diuraikan menjadi:

$$\mu_\lambda = \frac{-\ln T_\lambda}{d} = \frac{\ln T_\lambda^{-1}}{d} \quad (3)$$

Apabila infrared menembus material yang tersusun dari *silicone rubber*, *margarine* dan *gelatine* yang mempunyai ketebalan spesifik maka Persamaan (2) dapat diperluas menjadi:

$$T_\lambda = e^{-\mu_{s\lambda}d_s} \cdot e^{-\mu_{m\lambda}d_m} \cdot e^{-\mu_{g\lambda}d_g} \quad (4)$$

Di mana:

$\mu_{s\lambda}$: koefisien atenuasi Silicone Rubber

$\mu_{m\lambda}$: koefisien atenuasi Margarine

$\mu_{g\lambda}$: koefisien atenuasi Gelatin

Persamaan (4) di atas diubah ke bentuk linear dan dikonversi ke dalam bentuk *logarithmic natural* (\ln) sebagai berikut (**James, dkk, 2023**).

$$\ln T_\lambda = -[\mu_{s\lambda}d_s + \mu_{m\lambda}d_m + \mu_{g\lambda}d_g] \quad (5)$$

Persamaan (5) di atas menjadi persamaan linear dengan masing-masing mempunyai panjang gelombang tertentu. Untuk mendapatkan nilai ketebalan pada masing-masing obyek di titik tertentu maka dibutuhkan tiga citra masing-masing citra diambil oleh tiga panjang gelombang yang berbeda. Dengan demikian terdapat tiga persamaan linear yang berbeda-beda. (**Spigulis, dkk, 2017**)

$$\ln T_{\lambda 1} = -[\mu_{s\lambda 1}d_s + \mu_{m\lambda 1}d_m + \mu_{g\lambda 1}d_g] \quad (6a)$$

$$\ln T_{\lambda 2} = -[\mu_{s\lambda 2}d_s + \mu_{m\lambda 2}d_m + \mu_{g\lambda 2}d_g] \quad (6b)$$

$$\ln T_{\lambda 3} = -[\mu_{s\lambda 3}d_s + \mu_{m\lambda 3}d_m + \mu_{g\lambda 3}d_g] \quad (6c)$$

Selanjutnya persamaan 6a sampai 6c di atas dapat ditulis ke dalam suatu persamaan dalam bentuk matrix:

$$-\begin{bmatrix} \ln T_{\lambda 1} \\ \ln T_{\lambda 2} \\ \ln T_{\lambda 3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{s\lambda 1} & \mu_{m\lambda 1} & \mu_{g\lambda 1} \\ \mu_{s\lambda 2} & \mu_{m\lambda 2} & \mu_{g\lambda 2} \\ \mu_{s\lambda 3} & \mu_{m\lambda 3} & \mu_{g\lambda 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_s \\ d_m \\ d_g \end{bmatrix} \quad (7)$$

Sehingga Persamaan (7) dapat disederhanakan menjadi:

$$[\ln T_{\lambda}^{-1}] = [\mu_{\lambda}][dm] \quad (8)$$

Di mana $[\mu_{\lambda m}]$ adalah matriks koefisien atenuasi. Matriks ini terdiri dari tiga baris dan tiga kolom. Di mana pada baris menyatakan hasil pengukuran koefisien atenuasi tiga material yang berbeda pada panjang gelombang yang sama sedangkan kolom pengukuran satu material yang sama pada tiga panjang gelombang yang berbeda. Selanjutnya $[dm]$ adalah vektor ketebalan dari masing-masing material di koordinat citra tersebut. Sedangkan $[\ln T_{\lambda}^{-1}]$ disebut sebagai vektor invers *natural logarithmic* perbandingan output dan input dari masing-masing citra di koordinat tersebut. Bentuk matrik 2D dapat diuraikan sebagai berikut (**Feizmohammadi & Oksanen, 2020**):

$$d_d = \det[\mu_{\lambda m}] \quad (9)$$

$$d_m = \begin{bmatrix} \mu_{s\lambda 1} & \ln T_{\lambda 1}^{-1} & \mu_{g\lambda 1} \\ \mu_{s\lambda 2} & \ln T_{\lambda 2}^{-1} & \mu_{g\lambda 2} \\ \mu_{s\lambda 3} & \ln T_{\lambda 3}^{-1} & \mu_{g\lambda 3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dengan demikian ketebalan per titik pixel dapat dituliskan

$$d(x, y)_k = \frac{d_k}{d_d} \quad (11)$$

Di mana k adalah indeks yang menyatakan *tissue layer silicone rubber* (s), *margarine* (m) atau *gelatine* (g).

Selanjutnya Agar matriks koefisien atenuasi di atas dapat dilakukan operasi, maka matriks tersebut harus memenuhi syarat independen linier. Yaitu Jika $S=C_1, C_2, C_3$ adalah himpunan vektor pada matrik koefisien atenuasi $[\mu_{\lambda m}]$, maka persamaan vektornya adalah

$$k_1C_1 + k_2C_2 + k_3C_3 = 0 \quad (12)$$

Pemecahannya adalah :

$$k_1 = 0, k_2 = 0, k_3 = 0 \quad (13)$$

Jika syarat persamaan-12 dan 13 terpenuhi maka himpunan S dinamakan independen linier dalam ruang R^3 , jika terjadi satu vektor merupakan kelipatan skalar dari vektor lainnya atau jika dan hanya jika kedua vektor tidak terletak pada garis yang sama yang melalui titik asalnya (**Sintiari, dkk, 2024**).

Di dalam penelitian ini, metode pengambilan citra dilakukan secara transmitan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Experiment setup

Peralatan yang digunakan menggunakan perangkat Laptop. Merk yang digunakan adalah Lenovo Ideapad 330. Laptop ini sebagai layar untuk melihat hasil dekomposisi bahan silicone rubber, gelatine dan margarine. Selain itu digunakan untuk penghitungan dan pemrosesan data. Sumber infrared digunakan adalah laser dioda 780 nm 120 mW, 808 nm 300 mW, 830 nm 300 mW dan 980 nm 100 mW. Lensa negatif dengan titik fokus 5 cm sebanyak dua buah diletakan berimpit dipakai untuk mendivergen kan sinar *infrared*. Lensa negatif ini juga berfungsi untuk memperlebar diameter laser agar mempunyai diameter yang lebih besar. Kamera *near infrared* Thorlab CMOS CS505MU. Untuk menghasilkan *Field of View* maka diletakan lensa cekung di depan kamera *infrared*. Tujuannya agar bayangan tersebut dapat ditangkap oleh layar. Lensa kamera yang digunakan adalah MVL5M23. Kertas *diffuser* digunakan untuk memperhalus citra *infrared* agar lebih merata penyebaran distribusi sinarnya disamping itu memperbesar diameter laser. Material terdiri dari *silicone rubber*, *gelatine* dan *margarine*. Bahan-bahan tersebut divariasi ketebalannya dari 0,4 cm sampai dengan 0,9 m.

Karena hasil nilai koefisien atenuasi tergantung dari panjang gelombang, maka dalam penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pengukuran koefisien atenuasi menggunakan empat macam panjang gelombang yang berbeda yaitu 780 nm, 808 nm, 830 nm dan 980 nm. Dari empat macam panjang gelombang tersebut akan digunakan kombinasi tiga macam panjang gelombang yang berbeda dalam satu eksperimentnya. Dengan demikian terdapat empat macam variasi yaitu 780 nm-808 nm-980 nm, 780 nm-830 nm-980 nm, 780 nm-808 nm-830 nm dan 808 nm-830 nm-980 nm. Penelitian ini menggunakan phantom yang terdiri dari *silicon rubber*, *margarine* dan *gelatin* (**Liu, dkk, 2020**).

Citra hasil dekomposisi dinyatakan memenuhi harapan jika mampu menampilkan citra material tertentu sedangkan yang lainnya tereliminasi. Pada saat menampilkan citra margarine, maka citra silicone rubber dan gelatin akan tereliminasi, begitu seterusnya. Dalam penelitian ini indikator yang menunjukkan tingkat keberhasilan dekomposisi dinyatakan dengan satuan nilai determinan. Persamaan di atas dapat dilakukan jika matrik koefisien atenuasinya bersifat independen linier.

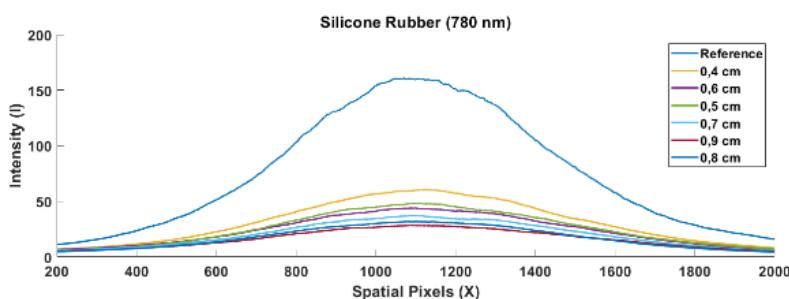
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi

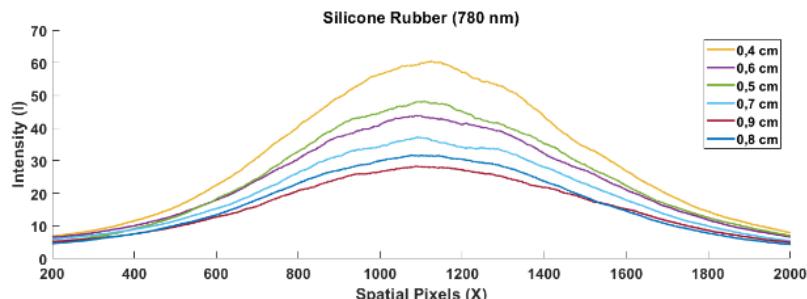
Sebelum dilakukan dekomposisi, terlebih dahulu dilakukan karakterisasi material. Parameter karakterisasi ini adalah hasil pengukuran nilai koefisien atenuasi. Ketebalan semua Material yang akan diukur divariasi masing-masing 0.4-cm, 0.5-cm, 0.6-cm, 0.7-cm, 0.8-cm dan 0.9-cm. Khusus untuk material margarine menggunakan *glass box*. Variasi ketebalan ini dilakukan

karena diperkirakan dengan semakin tebalnya material akan semakin mengeliminasi pengaruh reflektan sehingga yang dominan adalah transmitanya. Jika material semakin tebal maka nilai koefisien atenuasi semakin stabil. Sehingga penghitungan koefisien atenuasi semakin akurat.

Langkah pertama yang dilakukan adalah pengukuran *profile beam* pada beberapa material dengan panjang gelombang yang tidak sama. Pada Gambar-2 di bawah adalah salah satu contoh hasil pengukuran *profile beam* silicone rubber pada panjang gelombang 780-nm yang diterima oleh kamera sebagai citra referensi. Hasil keluaran intensitas laser diatur agar tidak ada saturasi pada sensor kamera. Intensitas yang diambil berupa garis lurus vertikal dari gambar referensi. Terlihat *beam profile* mendekati bentuk distribusi *Gaussian* yang sempurna dan *speckled on light beam* diminimalkan dengan kertas *diffuser* (**Sun, dkk, 2020**). Distribusi intensitas di Gambar 2 adalah $I_0(x,y)$ sebagai citra referensi. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan pengukuran objek berupa *silicone rubber* setebal 0,4 cm sampai 0,9 cm, output intensitas digunakan adalah sama sewaktu pengukuran citra referensi.



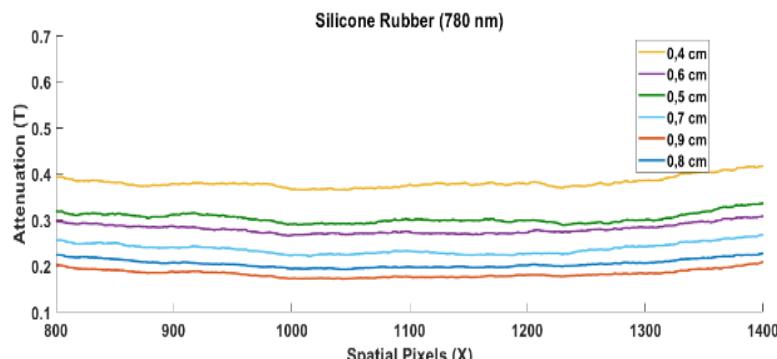
Gambar 2. Beam profile pada citra referensi



Gambar 3. Beam profile citra pada ketebalan 0,4-0,9-cm

Untuk menentukan atenuasi (γ) dari hasil pengukuran *silicone rubber* diatas, didapat dengan membagi citra Gambar 2 dengan Gambar-3, mengikuti Persamaan (3).

Perhitungan menggunakan Persamaan (2) jika diplotkan akan menunjukkan garis lurus horizontal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



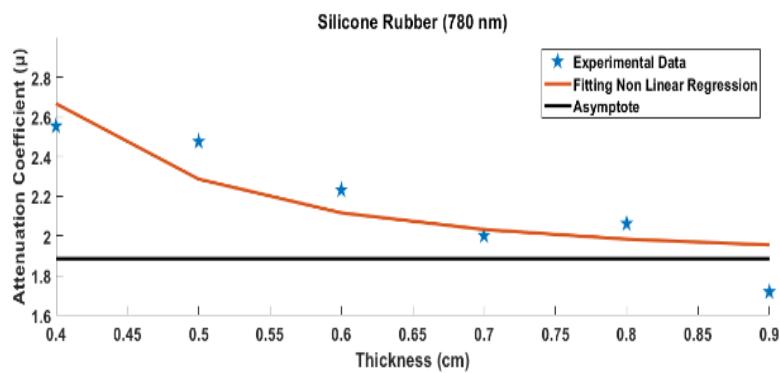
Gambar 4. Garis horizontal koefisien atenuasi material *silicone rubber*

Terlihat Gambar 4 menghasilkan pada tingkat ketebalan material selalu menunjukkan garis horizontal yang lurus. Tingkat kelurusan terlihat tidak sempurna hal ini pengaruh adanya *noise*. *Noise* akan muncul akibat *beam* profil yang tidak merata. Garis horizontal pada Gambar 4 dilakukan *moving average* setelah itu dibagi dengan Tingkat ketebalan material maka akan dihasilkan nilai koefisien atenuasi(**Yang, dkk, 2022**).

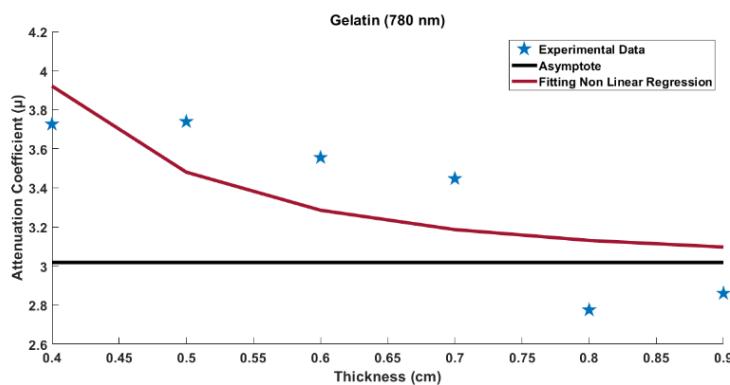
Berdasarkan Persamaan (3) didapatkan angka koefisien atenuasi material *silicone rubber* pada Panjang gelombang 780 nm pada masing-masing ketebalan antara 0,4 cm sampai 0,9 cm. Pada tingkat ketebalan ini pengukuran koefisien atenuasi terjadi beberapa perbedaan angka seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Untuk memperkirakan angka sebenarnya dari angka koefisien atenuasi, maka perlu dibuat pemodelan dari hasil pengukuran yang mempunyai ketebalan yang tidak sama. Jenis pemodelan yang sesuai Adalah jenis *regression nonlinear* sebagai berikut (**Priambodo, dkk, 2024**):

$$\mu_{i@\lambda} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d_i^3} \quad (14)$$

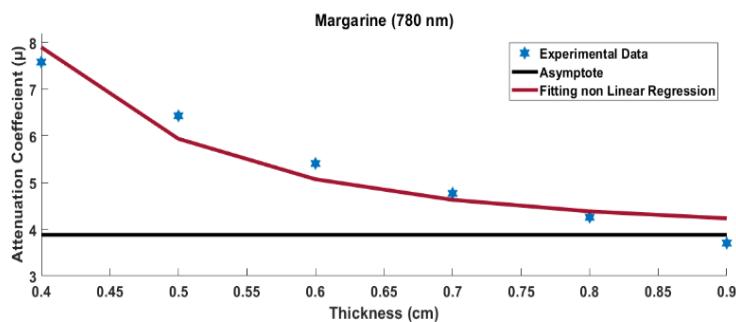
Di mana nilai d_i menunjukan Tingkat ketebalan, β_0 menunjukan predksi asymptot untuk mendapatkan nilai konstanta dan β_1 menunjukan nilai koefisien ketebalan suatu material. Pada Gambar-5 menunjukan nilai koefisien attenuasi memperlihatkan nilai asymptotic apabila ketebalan material semakin naik.



Gambar 5. Hasil Perhitungan nilai koefisien atenuasi *silicone rubber*



Gambar 6. Hasil Perhitungan nilai koefisien atenuasi *Gelatine*

**Gambar 7. Hasil Perhitungan nilai koefisien atenuasi margarine**

Hasil pengukuran menunjukkan jika material semakin tebal, nilai koefisien atenuasi menjadi stabil. Dengan demikian nilai stabil tersebut diambil sebagai asymptotnya.

Selain material silicone rubber, material lainnya yaitu margarine dan gelatin dengan variasi empat panjang gelombang monokromatik yang berbeda yaitu 808-nm, 830 nm and 980-nm. Dengan cara yang sama maka dihasilkan nilai koefisien atenuasi masing-masing. Hasil pemodelan grafik diatas dapat dituliskan nilai koefisien atenuasi sebagai berikut:

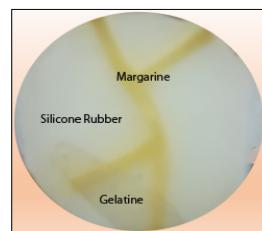
Tabel 1. Matrik Koefisien Atenuasi

Panjang Gelombang (λ)	<i>Silicone Rubber</i>	<i>Margarine</i>	<i>Gelatine</i>
780 nm	$1,886 \pm 0,129$	$3,879 \pm 0,276$	$3,018 \pm 0,205$
808 nm	$1,8018 \pm 0,118$	$3,643 \pm 0,260$	$2,857 \pm 0,212$
830 nm	$1,3972 \pm 0,099$	$2,966 \pm 0,280$	$2,554 \pm 0,187$
980 nm	$1,313 \pm 0,076$	$2,830 \pm 0,263$	$2,496 \pm 0,182$

Dalam penelitian ini dekomposisi phantom terutama untuk mendekomposisi material *margarine* dilakukan dengan menggunakan tiga macam Panjang gelombang yang berbeda. Dengan demikian dihasilkan suatu matrik koefisien atenuasi sebanyak empat buah.

Langkah selanjutnya untuk mendapatkan proses dekomposisi image margarin adalah mendapatkan vektor $[\ln T_{\lambda}^{-1}]$. jika akan mendekomposisi citra atas tiga material, maka dibutuhkan tiga citra yang sama, akan tetapi diambil dengan tiga panjang gelombang monokromatik yang berbeda.

Berikut adalah komposisi phantom yang akan diambil gambarnya seperti pada Gambar 6 dibawah ini :

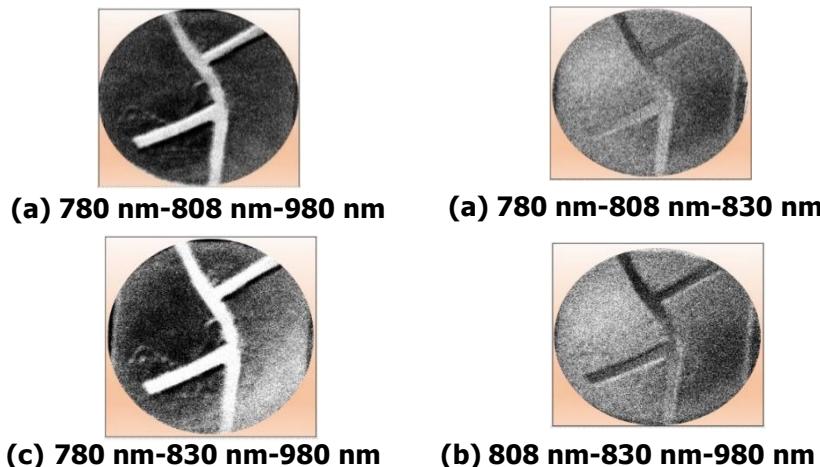
**Gambar 8. Komposisi phantom (Aminoto, dkk, 2022).**

Phantom di atas tersusun dari *silicone rubber*, *margarine* dan *gelatine*. Adapun komposisinya sebagai berikut: tebal total silicone rubber adalah 0,7 cm. Rincianya tebal *silicone rubber* 0,3 cm ditumpuk dengan tebal 0,1 cm dan ditutup lagi dengan ketebalan 0,3 cm. Pada *silicone*

rubber tebal 0,1 cm diisi margarine seperti Nampak pada gambar. Tebal *margarine* adalah 0,1 cm. Kemudian pada bagian belakang diletakan *gelatine* dengan tebal 0,5 cm.

3.2. Dekomposisi Margarine

Dalam penelitian ini dilakukan contoh dekomposisi material *margarine*. Hasil citra variasi Panjang gelombang seperti di bawah ini:

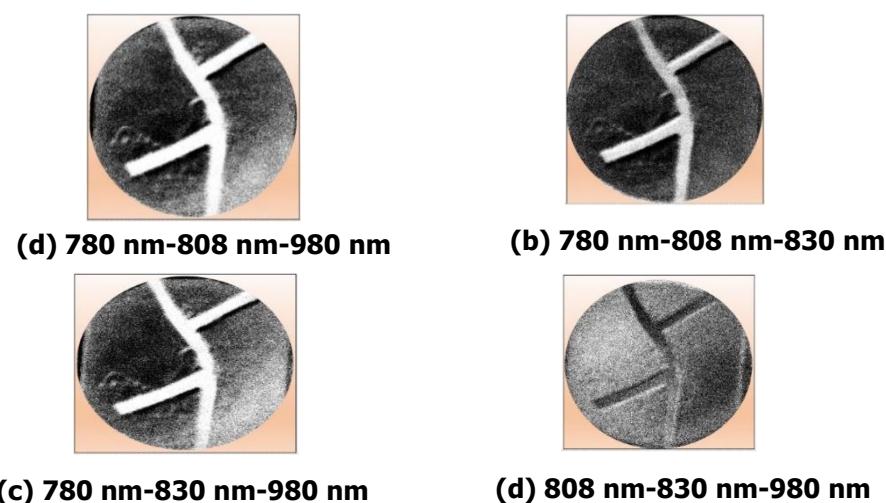


Gambar 9. Hasil dekomposisi image bahan *margarine*

Pada Gambar 7(a-d) mampu ditampilkan hanya citra material *margarine*. Gambar *margarine* direpresentatifkan dengan warna putih sedangkan warna hitam adalah citra yang dihilangkan. Hasil dekomposisi menunjukkan bahwa variasi panjang gelombang 780 nm-808 nm-980 nm dan variasi 780 nm-830 nm-980 nm telah menunjukkan dekomposisi yang lebih baik dan jelas di antara yang lain. Hal ini terlihat warna material margarine yang lebih putih warnanya sedangkan variasi panjang gelombang 780 nm-808 nm-830 nm dan 808 nm-830 nm-980 nm nampak lebih gelap

3.3. Dekomposisi Gelatine

Hasil citra variasi Panjang gelombang seperti dibawah ini:



Gambar 10. Hasil dekomposisi citra bahan *Gelatine*

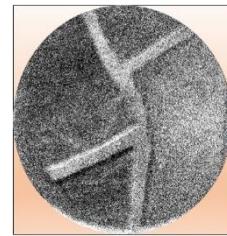
Pada Gambar 10(a-d) mampu ditampilkan hanya citra bahan gelatine. Gambar gelatine direpresentatifkan dengan warna putih sedangkan warna hitam adalah citra yang dihilangkan. Hasil dekomposisi menunjukkan bahwa variasi Panjang gelombang 780 nm-808 nm-980 nm, variasi 780 nm-830 nm-980 nm dan 780 nm-808 nm-830 nm telah menunjukkan dekomposisi yang lebih baik dan Nampak visualisasi gelatin terlihat. Sedangkan 808 nm-830 nm-980 nm gelatine sama sekali tidak Nampak jelas.

3.4.Dekomposisi *Silicone Rubber*

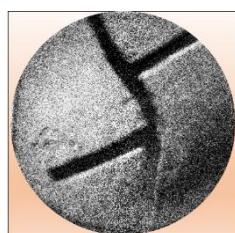
Hasil citra variasi Panjang gelombang seperti dibawah ini:



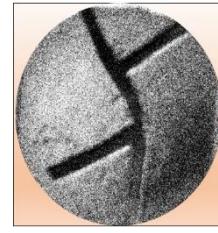
(a) 780 nm-808 nm-980 nm



(b) 780 nm-808 nm-830 nm



(c) 780 nm-830 nm-980 nm



(d) 808 nm-830 nm-980 nm

Gambar 11. Hasil dekomposisi image bahan Silicone Rubber

Pada Gambar 11(a-d) mampu ditampilkan hanya image bahan silicone rubber saja. Gambar silicone rubber direpresentatifkan dengan warna putih sedangkan warna hitam adalah citra yang dihilangkan. Hasil dekomposisi menunjukkan bahwa variasi panjang gelombang 780 nm-830 nm-980 nm dan 808 nm-830 nm-980 nm lebih mendekati karena warna bahan silicone rubber lebih putih dibandingkan dengan variasi yang lainnya.

Sedangkan berdasarkan hasil perhitungan secara kuantitatif maka perhitungan indicator kualitas gambar hasil dekomposisi *margarine*, *gelatine* dan *rubber silicone* ditampilkan Tabel 2 dibawah :

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai Determinan Matriks

Kombinasi (λ)	Determinan Matrik (<i>Margarine</i>)	Determinan Matrik (<i>Gelatine</i>)	Determinan Matrik (<i>Silicone Rubber</i>)
780-808-980	0,0406	0,0208	0,0289
780-808-830	0,0333	0,0215	0,0373
780-830-980	0,0087	0,0077	0,0432
808-830-980	0,0015	0,0025	0,0403

Perhitungan matrik koefisien atenuasi dihasilkan nilai determinan yang tidak sama dengan nol atau $\det[\mu_{i@}\lambda] \neq 0$. Dengan demikian kombinasi tersebut bersifat independent linier. Matrik bersifat invertible sehingga dapat digunakan untuk proses dekomposisi citra.

Secara garis besar perhitungan nilai determinan matrik berpengaruh terhadap kualitas citra hasil dekomposisi. Semakin tinggi nilainya maka tingkat dekomposisi semakin membaik. Dalam eksperimen dekomposisi margarine nilai determinan yang terbesar adalah kombinasi panjang gelombang 780 nm-808 nm-980 nm. Sehingga kombinasi ini lebih baik dari yang lainnya. Dekomposisi gelatine kombinasi panjang gelombang 780nm-808nm-830nm lebih baik karena menghasilkan nilai determinan matrik 0,0215 lebih tinggi dari yang lainnya. Dekomposisi bahan silicone rubber kombinasi 780 nm-830 nm-980 nm mempunyai nilai determinan matrik 0,0432 lebih tinggi dari yang lainnya. Proses dekomposisi pada kombinasi ini menghasilkan citra yang diharapkan diantaranya mampu mengeliminasi citra yang tidak dikehendaki. Selain itu pemilihan panjang gelombang yang digunakan seharusnya memperhatikan tingkat *absorbance* tiap material sehingga pemilihan variasinya akan lebih tepat.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian berhasil menunjukkan adanya sifat-sifat linear independent. Salah satu sifatnya adalah besarnya nilai determinan matrik koefisien atenuasi hasil pengukuran yang tidak sama dengan nol. Semakin tinggi nilai determinan dibagi Panjang diagonal maka tingkat dekomposisinya semakin baik. Pada penelitian ini kombinasi Panjang gelombang antara 780 nm-808 nm-980 nm berhasil melakukan dekomposisi bahan margarine yang lebih baik dibanding kombinasi Panjang gelombang lainnya karena mempunyai nilai determinan matrik sebesar 0,0406 yang lebih tinggi dari kombinasi lainnya. Sedangkan kombinasi Panjang gelombang 808 nm-830 nm-980 nm hasil dekomposisinya paling lemah karena hanya menghasilkan nilai determinan matrik sebesar 0,0015. Dekomposisi gelatine kombinasi Panjang gelombang antara 780 nm-808 nm-830 nm berhasil melakukan dekomposisi bahan gelatin yang lebih baik karena mempunyai nilai determinan matrik sebesar 0,0215 yang lebih tinggi dari kombinasi lainnya. Sedangkan kombinasi Panjang gelombang 808 nm-830 nm-980 nm hasil dekomposisinya paling lemah. Dekomposisi silicone rubber kombinasi Panjang gelombang antara 780 nm-830 nm-980 nm berhasil melakukan dekomposisi yang lebih baik karena mempunyai nilai determinan matrik sebesar 0,0432 yang lebih tinggi dari kombinasi lainnya. Sedangkan kombinasi Panjang gelombang 780 nm-808 nm-980 nm hasil dekomposisinya paling lemah. Hasil menunjukkan kombinasi berbagai panjang gelombang mempunyai sifat pengaruh terhadap kualitas citra hasil dekomposisi. Untuk penelitian berikutnya perlu dikembangkan suatu metode lain untuk menentukan tingkat kualitas citra dekomposisi yang lebih presisi dan akurat.

DAFTAR RUJUKAN

- Aminoto, T., dkk. (2019). Optical imaging for human body medical analysis using polychromatic infrared LED 700-1100nm. AIP Conference Proceedings, AIP Publishing.
- Aminoto, T., dkk. (2022). Image Decomposition Technique Based on Near-Infrared James Transmission. *Journal of Imaging*, 8(12), 322.
- Feizmohammadi, dkk. Oksanen (2020). An inverse problem for a semi-linear elliptic equation in Riemannian geometries. *Journal of Differential Equations*, 269(6), 4683-4719.

- Hayashi, S., dkk. (2023). Noncontact 2D Temperature Imaging of Metallic Foils Using Electromagnetic Tomography. *IEEE Sensors Journal*.
- James, G., dkk. (2023). Linear regression. An introduction to statistical learning: With applications in python, Springer, 69-134.
- Li, W., dkk. (2016). Measurement of Beer-Lambert Attenuation Coefficient and Curing Kinetics Power Order: A Method Based on Rapid-Scan FTIR During Laser Curing on an ATR. *Macromolecular Symposia*, Wiley Online Library.
- Liu, J., dkk. (2020). Nondestructive detection of sunset yellow in cream based on near- infrared spectroscopy and interval random forest. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 242, 118718.
- Oshina, I. and J. Spigulis (2021). Beer–Lambert law for optical tissue diagnostics: current state of the art and the main limitations. *Journal of biomedical optics*, 26(10), 100901.
- Priambodo, P. S., dkk. (2024). Decomposition Technique for Bio-Transmittance Imaging Based on Attenuation Coefficient Matrix Inverse. *Journal of Imaging*, 10(1), 22.
- Shourav, M. K., dkk. (2021). Visualization of superficial vein dynamics in dorsal hand by near-infrared imaging in response to elevated local temperature. *Journal of biomedical optics*, 26(2), 026003-026003.
- Sintiari, N. L. D., dkk. (2024). Aljabar Linear: Teori dan Aplikasi, CV. Gita Lentera.
- Spigulis, J., dkk. (2017). Smartphone snapshot mapping of skin chromophores under triple-wavelength laser illumination. *Journal of biomedical optics*, 22(9), 091508.
- Sun, X., dkk. (2020). Conditional gaussian distribution learning for open set recognition. Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition.
- Susanti, Y., dkk. (2023). Aljabar Linear Elementer, UGM PRESS.
- SVD, J. G. (2019). Manusia makhluk sosial biologis, Airlangga University Press.
- Yang, J., dkk. (2022). Crack classification of fiber-reinforced backfill based on Gaussian mixed moving average filtering method. *Cement and Concrete Composites*, 134, 104740.