

Metode Ekstraksi Karakteristik Optis dari *Solid Tissue Phantom* Menggunakan Data Pengukuran *Diffuse optical spectroscopy*

Surpan, Aulia Siti Aisyah, dan Nasution

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: anasution@ep.its.ac.id

Abstrak—*Diffuse optical spectroscopy* merupakan teknik spektroskopi yang digunakan dalam karakterisasi media melalui pengukuran *spectral diffuse reflectance* pada rentang pita panjang gelombang yang dikenal dengan sebutan *optical windows*, yaitu 600 hingga 1000 nm. Salah satu metode ekstraksi karakteristik *tissue* dari pengukuran DOS adalah dengan menggunakan *backward approach* dimana data percobaan akan di *fitting* dengan pendekatan *diffuse* dari persamaan *radiativ transfer (RTE)* untuk mendapatkan *optical properties* dari media. Pada penelitian ini, dikembangkan metoda ekstraksi (*backward approach*) untuk mendapatkan karakteristik *tissue* berdasarkan pengukuran *multi-distance* DOS. Metoda ekstraksi ini dikembangkan berbasis algoritma *fitting nonlinear Lavenberg-Marquadt*. Data pengukuran DOS yang digunakan merupakan pengukuran reflektansi difus atas tiga jenis *solid phantom tissue* dari ISS®, dengan karakteristik optis yang berbeda.

Kata kunci—*Diffuse, absorbance, reflectance, scattering, optical windows, fitting, phantom.*

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN aplikasi cahaya dalam bidang medis telah menghasilkan berbagai macam teknik diagnose secara non-invasive salah satunya adalah *diffuse optical spectroscopy*. *Diffuse optical spectroscopy* merupakan teknik spektroskopi yang digunakan dalam karakterisasi media yaitu melalui pengukuran *spectral reflectance, absorbance, maupun scattering*. Hasil pengukuran yang didapat bisa digunakan untuk membedakan dan mengenali media berdasarkan karakteristik spektral yang dihasilkan. Dalam penelitian ini media yang dikenali adalah jaringan pada manusia sehingga spektral yang dianalisa merupakan spektral dari komponen penyusun jaringan manusia baik itu berupa kandungan oksihemoglobin, deoksihemoglobin, *oxygen blood saturation*, pigmen, air maupun lemak.

Dalam aplikasinya *Diffuse optical spectroscopy* digunakan dalam kuantisasi dan pengukuran fisiologi yang bersifat *non-invasive* dari jaringan [1]. Kemudian dari pengukuran menggunakan *Diffuse optical spectroscopy* didapatkan data berupa karakteristik spektral dari jaringan yang diukur. Karakteristik spektral tadi dalam aplikasinya banyak digunakan untuk mendapatkan informasi tambahan berupa *optical properties* dari jaringan. Banyak metode yang biasa digunakan untuk mendapatkan *Optical Properties* dari jaringan baik itu *forward approach* maupun *backward*

(inverse) approach [2]. Dalam *backward approach* digunakan data hasil pengukuran dan nilai teoritis kemudian dilakukan proses *fitting* untuk menyesuaikan model dengan data pengukuran yang didapat sehingga didapatkan *Optical Properties* dengan mengekstraksi.

Algoritma yang digunakan dalam *backward approach* untuk menentukan *optical properties* menggunakan *non-linier least square fitting* banyak jenisnya salah satunya adalah optimasi *lavenberg marquardt*. Teknik optimasi ini dikenal lebih cepat dalam menemukan parameter yang diekstrak karena merupakan gabungan metode newton dan *steepest descent* [3]. Dalam penelitian ini akan dibangun algoritma ekstraksi *optical properties* dari jaringan kulit buatan menggunakan algoritma *lavenberg marquardt* dan algoritmanya akan dibangun pada software matlab R2009a.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Algoritma NL fitting L-M

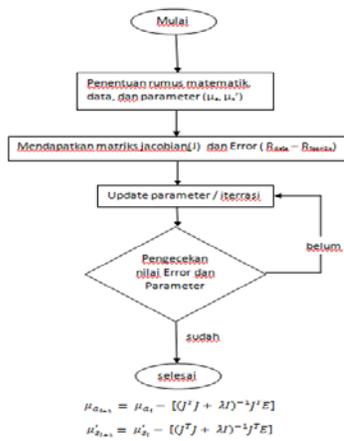
Ekstraksi parameter optik dari data pengukuran DOS dilakukan menggunakan algoritma *Lavenberg Marquardt*. Dalam algoritma ini proses *fitting* antara fungsi parameter terhadap data pengukuran dilakukan dengan meminimalkan fungsi kuadrat *error* antara parameter dengan data. Fungsi parameter merupakan nilai teoritis reflektansi. Secara umum algoritma *lavenberg marquardt* dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Validasi program LM

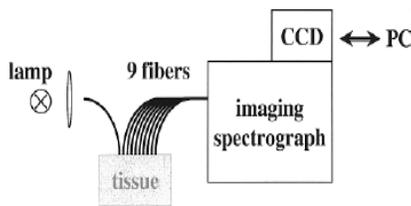
Sebelum proses ekstraksi dilakukan menggunakan program LM, sebelumnya dilakukan validasi terlebih dahulu. Validasi dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat program LM dapat digunakan untuk proses ekstraksi. Validasi dilakukan dengan menyelesaikan persamaan non-linier. Persamaan ini diambil dari buku *non-linier least square programming*.

C. Pengukuran *Spatially-Resolved DOS*

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas data reflektansi yang merupakan fungsi jarak dan panjang gelombang. Data tersebut merupakan data yang didapatkan pada pengukuran *diffuse optical spectroscopy* menggunakan *phantom solid tissue*. Data reflektansi didapatkan menggunakan pengukuran DOS dengan metode *continous wave* dengan mengukur intensitas *broadband wavelength* sebelum dan setelah melewati *phantom solid tissue* di



Gambar. 1. Flowchart algoritma Lavenberg Marquardt secara umum.



Gambar. 2. Konfigurasi pengukuran DOS pada Doornbos [12].

berbagai jarak dari sumber cahaya dengan sumber cahaya yang memiliki intensitas tetap tiap waktunya. Berikut merupakan konfigurasi pengukuran DOS secara umum menggunakan metode *continous wave* yang diambil dari doornbos et al [12].

Konfigurasi yang dilakukan pada pengukuran DOS pada penelitian ini sama dengan milik doornbos hanya saja dilakukan pada *phantom* dan dengan tujuh jarak pisah antara sumber cahaya dengan detektor. Terdapat tiga *phantom* yang dilakukan pengukuran DOS. *Phantom* pertama dilakukan lima kali pengukuran dengan jarak source-detector adalah 0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 cm. Pengukuran dilakukan menggunakan Jaz mini spectrometer dari Ocean Optics yang sudah dikalibrasi dengan menggunakan *Integrating Sphere*, sehingga segala pengaruh dari sistem pengukuran yang digunakan telah diminimalkan.

D. Proses Persiapan Data

Data awal merupakan data intensitas sebelum dan setelah melewati *phantom* sehingga perlu dicari reflektansi melalui rumus berikut:

$$R = \frac{I_{phantom} - I_{Dark current}}{I_{reference} - I_{Dark current}} \quad (1)$$

Data awal merupakan *raw data* langsung dari pengukuran sehingga harus dipersiapkan terlebih dahulu agar dapat dilakukan *fitting*. Proses persiapan meliputi proses *smoothing* dan konversi data. *Smoothing* dilakukan dengan teknik *moving average* dengan tujuan menghilangkan noise yang tidak diinginkan tanpa menghilangkan ciri dari data yang ada.

Proses pengerjaan persiapan data dilakukan pada Microsoft Excel 2007 terlebih dahulu. Data reflektansi yang telah dilakukan *smoothing* dikelompokkan menurut jarak pengukurannya kemudian dilanjutkan dengan melakukan konversi data dari format excel menjadi data dalam matlab dengan ekstensi .dat.

E. Fitting Data Pengukuran DOS dengan Theoretical Diffuse Equation

Salah satu metode pengukuran pada DOS adalah *backward approach* dimana dalam metode ini akan dilakukan *fitting* data terhadap nilai teoritis sehingga diperoleh *optical properties* dari *phantom* yang digunakan pada pengukuran.

Salah satu algoritma yang sering digunakan dalam proses *fitting* ini adalah metode *Lavenberg Marquardt* (LM). Algoritma ini dipakai untuk menyelesaikan permasalahan *non-linear least square* seperti persamaan reflektansi teoritis dari DOS. Dengan algoritma *lavenberg marquardt*(LM)

F. Penyusunan Algoritma Ekstraksi Lavenberg Marquardt pada matlab R2009a

Untuk melakukan ekstraksi menggunakan metode LM maka proses ekstraksi dilakukan pada matlab R2009a untuk kemudahan. Penerapan *Lavenberg Marquardt* untuk pengukuran DOS pada matlab r2009a sendiri dibagi dalam beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah pendefinisian rumus atau model matematik. Dimana *script* program yang akan dibuat merupakan program residual yang berisi pendefinisian rumus matematik dan nilai residual yaitu selisih antara nilai teoritis dan data.

Setelah menyusun program residual maka langkah selanjutnya adalah menyusun program *Lavenberg Marquardt*. Program ini dimulai dengan pendefinisian residual, kemudian pengecekan vektor data dan nilai teoritis, kemudian menurunkan matriks *jacobian* dari residual.

Setelah menyusun program LM, maka langkah terakhir adalah menyusun program ekstraksi dimana program LM akan dipanggil untuk menyelesaikan program residual dengan memasukkan data reflektansi beserta jaraknya.

Proses LM akan berhenti ketika konvergensi telah tercapai maka untuk melihat hasil *fitting* dibuat lagi program yang membandingkan data reflektansi dalam bentuk grafik dengan reflektansi yang dihitung dari hasil ekstraksi *absorbition* dan *scattering coefficient*.

G. Penyusunan Proses Ekstraksi

Pada proses ini dilakukan ekstraksi *optical properties* dari tiga *solid phantom tissue*. Masing-masing *solid phantom tissue* memiliki *optical properties* yang berbeda-beda. Untuk *phantom-1* didapatkan lima kali data pengukuran untuk tiap jarak 0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.3, dan 1.4 cm sementara untuk *phantom-2* dan *phantom-3* hanya didapatkan satu kali data pengukuran untuk jarak yang sama seperti *phantom-1*.

Proses ekstraksi LM pada matlab R2009a dilakukan dengan memasukkan data reflektansi pada panjang gelombang yang sama untuk jarak yang bersesuaian. Sehingga urutan memasukan data sangat penting.

Hasil ekstraksi ini kemudian disimpan dalam Microsoft Excel 2007 dan dilakukan plotting terhadap *absorbtion* dan *scattering coefficient* tersebut.

H. *Repeatability* Hasil Ekstraksi

Pengukuran DOS pada *phantom-1* dilakukan sebanyak lima kali dan untuk kelima pengukuran tersebut maka dihasilkan lima kali proses ekstraksi . Dengan adanya lima proses ekstraksi maka pada *phantom-1* akan didapatkan *absorbtion* dan *scattering coefficient* yang berbeda.

Perbedaan nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* menentukan *repeatability* atau kemampuan keterulangan pada pengukuran maupun proses ekstraksi *phantom-1*. Dari *repeatability* ini lah diketahui seberapa bagus dan akurat hasil ekstraksi.

I. Pengaruh Kelompok Data Pengukuran

Langkah ekstraksi merupakan langkah optimasi dimana akan dipilih kelompok data pengukuran yang akan digunakan dalam proses ekstraksi. Pada proses ekstraksi dengan dua parameter yang tidak diketahui umumnya hanya menggunakan dua kelompok data sudah mampu untuk dilakukan ekstraksi. Pada *phantom-1* , 2 dan 3 sudah tersedia tujuh kelompok data, oleh karena itu dengan mengelompokkan ketujuh data tersebut menjadi *triad data* akan diketahui pengaruh data pengukuran tersebut terhadap proses ekstraksi sehingga data dengan *error* yang tinggi bisa dihilangkan atau tidak digunakan dalam ekstraksi. Kelompok *triad data* tersebut akan dibandingkan dengan melihat *goodness of fit* serta nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* hasil ekstraksi.

J. Ekstraksi untuk *Phantom-2* dan *Phantom-3*

Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa *phantom-2* dan *phantom-3* hanya dilakukan satu kali pengukuran DOS oleh karena itu *repeatability* tidak dapat dilakukan analisa. Sementara untuk proses ekstraksi pada kedua *phantom* tersebut dilakukan dengan menggunakan kelompok data terbaik dimana memiliki *goodness of fit* yang paling tinggi saat dilakukan ekstraksi pada *phantom-1*. Dengan *triad* kelompok data maka ekstraksi pada *phantom-2* maupun *phantom-3* dilakukan.

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Validasi Program LM

Validasi program LM dilakukan dengan menyelesaikan suatu permasalahan *non-linier*. Permasalahan tersebut dapat berupa persamaan orde dua atau lebih, eksponensial, maupun persamaan lainnya yang tidak linier. Persamaan berikut didapatkan dari buku *non-linier least square programming*.

Dengan persen error yang sangat kecil hingga mencapai dibawah 1% untuk setiap parameter sesuai table 4.1 sehingga dapat disimpulkan bahwa program LM dapat digunakan untuk proses ekstraksi.

Tabel 1.

Perbandingan Hasil *Non-Linier Least Square*

Keterangan	LM	Gauss-Newton	%Error
Persamaan 4.1	X ₁ = 2.5463	X ₁ = 2.5411	0.204636
	X ₂ = 0.2589	X ₂ = 0.2595	0.23121
Persamaan 4.2	X ₁ = 16.6399	X ₁ = 16.5319	0.653282
	X ₂ = 0.4633	X ₂ = 0.465955	0.5698
	X ₃ = 10.8523	X ₃ = 10.8305	0.201283
	X ₄ = 76.1909	X ₄ = 76.3247	0.1753

Tabel 2.

Perbandingan Hasil *Non-Linier Least Square*

Kondisi	Jarak Optimasi (cm)
1	0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4
2	0.8, 0.9, 1
3	0.9, 1, 1.1
4	1, 1.1, 1.2
5	1.1, 1.2, 1.3
6	1.2, 1.3, 1.4

Tabel 3.

Hasil Ekstraksi Enam Kondisi

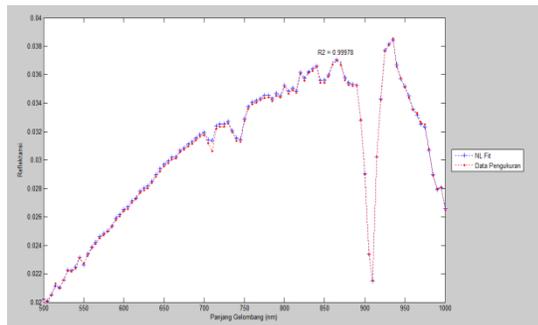
Keterangan	690nm	830nm	R ²
Data Pabrik <i>phantom-1</i>	$\mu_a = 0.103$ $\mu_s' = 10.6$	$\mu_a = 0.101$ $\mu_s' = 9.6$	-
Kondisi 1	$\mu_a = 0.025$ $\mu_s' = 12.06$	$\mu_a = 0.0104$ $\mu_s' = 12.19$	0.83574
Kondisi 2	$\mu_a = 0.0027$ $\mu_s' = 5.2544$	$\mu_a = 0.0085$ $\mu_s' = 2.677$	0.69012
Kondisi 3	$\mu_a = 0.208$ $\mu_s' = 6.1456$	$\mu_a = 0.1412$ $\mu_s' = 6.5983$	0.99891
Kondisi 4	$\mu_a = 0.1285$ $\mu_s' = 7.5743$	$\mu_a = 0.0776$ $\mu_s' = 8.1635$	0.99978
Kondisi 5	$\mu_a = 0.1447$ $\mu_s' = 7.1497$	$\mu_a = 0.0661$ $\mu_s' = 8.5553$	0.98686
Kondisi 6	$\mu_a = 0.00048$ $\mu_s' = 20.263$	$\mu_a = 0.0072$ $\mu_s' = 6.2862$	0.60126

B. Pengaruh Pengelompokan Data

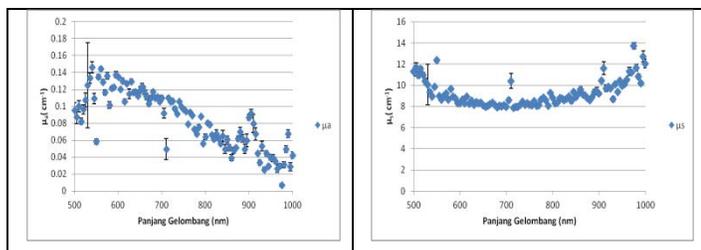
Pada *solid phantom tissue* yang pertama dilakukan lima kali pengambilan data reflektansi pada jarak 0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.3, dan 1.4 cm. Dari kelima pengukuran tersebut maka didapatkan pula lima *absorbtion* dan *reduced scattering coefficient*. Proses ekstraksi yang dilakukan dengan enam kondisi jarak optimasi. Kondisi pertama adalah menggunakan semua data jarak dari 0.8 hingga 1.4 cm sementara kondisi kedua digunakan data tertentu yaitu data dari 0.8 hingga 1 cm selanjutnya untuk kondisi ekstraksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Penggunaan *triad data* untuk keperluan ekstraksi ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi optimal ekstraksi sehingga *error* yang besar pada data tertentu dapat dihindari. Dengan menghindari *error* maka hasil *fitting* untuk *absorbtion* maupun *scattering coefficient* akan semakin mendekati nilai yang sebenarnya.

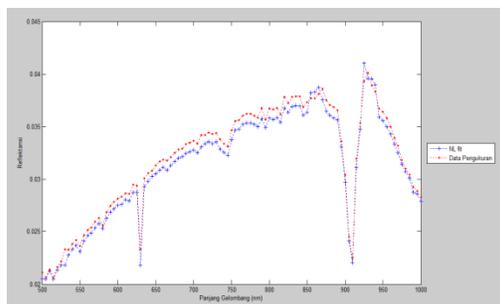
Data pengukuran pada *phantom-1* seperti yang telah disebutkan diawal terdapat lima data pengukuran oleh karena itu sebelum dilakukan ekstraksi dengan kondisi *fitting* yang terbaik maka penggunaan keenam kondisi pada Tabel akan dilakukan pada pengukuran yang pertama.



Gambar. 3. *Fitting* pada kondisi keempat dengan jarak 1 cm.



Gambar. 4 *Absorbtion* dan *scattering coefficient* untuk kelima pengukuran pada phantom-1 dengan kondisi kedua.



Gambar. 5. Proses *fitting* pada phantom-2 jarak 1 cm.

Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa kondisi keempat merupakan kondisi optimal melihat nilai korelasi dan parameter *fitting* yang cukup mendekati data pabrik pada *phantom-1*. Nilai korelasi yang cukup kecil ditunjukkan pada kondisi kedua dan keenam. Hal ini mengindikasikan adanya data *error* yang cukup besar pada data pengukuran jarak 0.8 serta 1.4 cm.

C. Ekstraksi pada phantom-1

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan kondisi optimal dari ekstraksi adalah menggunakan kondisi tersebut untuk mengekstrak *phantom-1* pada lima pengukuran untuk menentukan *repeatability* dari sistem ekstraksi yang dibuat.

Proses ekstraksi yang dilakukan merupakan proses *fitting* antara data dengan nilai teoritis. Gambar 3 memperlihatkan hasil *fitting* pada jarak 1 cm. Titik warna merah merupakan data pengukuran sementara yang berwarna biru adalah hasil *fitting* pada jarak tersebut. Terlihat bahwa hasil *fitting* yang dilakukan sudah sangat baik karena nilai dari korelasi atau *goodness of fit* sebesar 0,99978. Semakin harga korelasi mendekati nilai 1 maka semakin sempurna *fitting* yang dilakukan.

Selanjutnya untuk ekstraksi *phantom-1* dengan kondisi keempat yaitu dengan menggunakan jarak 1 hingga 1.2 cm menghasilkan *absorbtion* dan *scattering coefficient* pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa *repeatability* dari proses ekstraksi menggunakan kondisi keempat pada lima pengukuran sudah sangat baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai *relative standar deviation* (%SD) mencapai 0.34% yang menunjukkan kekokohan (*robustness*) dari sistem ekstraksi.

Nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* hasil *fitting* yang mendekati nilai asli tidak menjamin keakuratan hasil ekstraksi. Dengan melihat hasil *fitting* berupa *sum square residual* antara data dan nilai teoritis barulah dapat disimpulkan kebenaran proses ekstraksi. Tidak peduli sedekat apa Nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* selama nilai korelasi dan *sum square error* yang didapat adalah rendah maka proses ekstraksi yang dilakukan gagal.

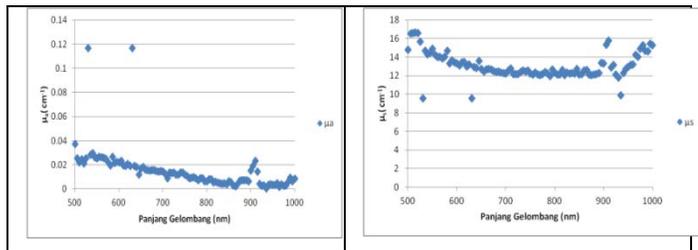
Nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* yang berbeda dengan nilai aslinya dapat disebabkan oleh pembulatan selain itu juga mengacu pada jurnal bahwa nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* mengalami penurunan setiap harinya sehingga harus dilakukan penelitian lebih lanjut pengaruh waktu terhadap perubahan Nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient*. Oleh karena itu pengambilan data reflektansi sebisa mungkin dilakukan saat pertama kali *phantom* dibuat. Selain itu tidak dilakukan kalibrasi terhadap sumber cahaya yang digunakan sehingga dimungkinkan terjadinya *peak intensity shift*.

Baik dari kondisi pertama hingga kondisi ekstraksi keenam, kurva *absorbtion* dan *scattering coefficient* memiliki *trend* atau pola yang sama. Untuk *absorbtion coefficient* memiliki nilai yang semakin mengecil ketika panjang gelombang semakin besar terkecuali pada panjang gelombang tertentu yaitu daerah 900 nm dimana nilai *absorbtion coefficient* menjadi lebih besar. Sementara untuk *scattering coefficient* memiliki nilai yang relatif menurun tetap. Pola *absorbtion coefficient* menunjukkan pola yang sama seperti pada hemoglobin. Pola yang demikian dapat dibentuk dari solid *phantom tissue* dengan absorber berupa *dye epolight* namun untuk besaran konsentrasinya diperlukan ekstraksi lebih jauh lagi.

D. Ekstraksi pada phantom-2

Ekstraksi yang dilakukan pada *phantom-2* dilakukan sama dengan *phantom-1* yaitu dengan satu kondisi. Kondisi tersebut adalah proses ekstraksi dengan menggunakan data jarak reflektansi dari 1 hingga 1.2 cm. Hal ini mengacu pada *phantom-1* yang memiliki hasil *fitting* yang baik dengan semua informasi data pada jarak tersebut. Untuk *phantom-2* hanya tersedia satu kali data pengukuran sehingga tidak diperlukan lagi mencari harga rata-rata maupun simpangan baku dari pengukuran.

Proses ekstraksi yang merupakan proses *fitting* menunjukkan tingkat kecocokan yang bagus antara data dengan hasil *fitting* pada kondisi pertama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Setelah dilakukan *fitting* maka langkah selanjutnya adalah melakukan *plotting* terhadap nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient*. Nilai dari nilai *absorbtion* dan *scattering coefficient* dapat dilihat pada lampiran .



Gambar. 6. Absorbtion dan scattering coefficient hasil ekstraksi phantom-2.

Tabel 4

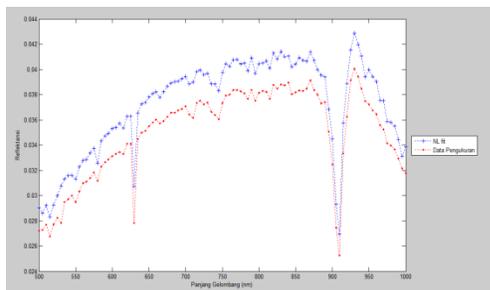
Hasil absorbtion dan scattering coefficient pada 690 dan 830 nm Phantom-2

Keterangan	690nm	830nm
Data Pabrik phantom-2	$\mu_a = 0.103$ $\mu_s = 9.8$	$\mu_a = 0.101$ $\mu_s = 9$
Hasil Ekstraksi	$\mu_a = 0.0071$ $\mu_s = 13.8024$	$\mu_a = 0.0002$ $\mu_s = 13.5017$

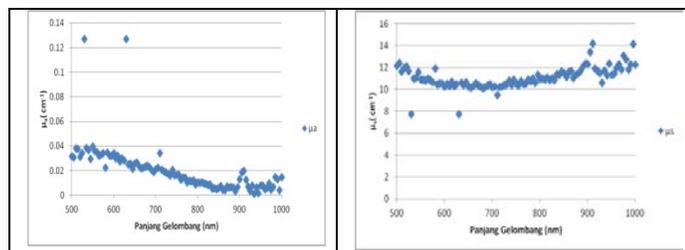
Tabel 5.

Hasil absorbtion dan scattering coefficient pada 690 dan 830 nm

Keterangan	690nm	830nm
Data Pabrik phantom-3	$\mu_a = 0.138$ $\mu_s = 4.9$	$\mu_a = 0.133$ $\mu_s = 4.3$
Hasil Ekstraksi	$\mu_a = 0.027$ $\mu_s = 10.3265$	$\mu_a = 0.0088$ $\mu_s = 10.867$



Gambar. 7. Proses fitting pada phantom-3 dengan jarak 1 cm.



Gambar. 8. Absorbtion dan scattering coefficient hasil ekstraksi phantom-3.

Dari trend atau pola absorbtion dan scattering coefficient tidak jauh berbeda dari phantom-1 hanya saja amplitudonya berbeda. Kemudian untuk nilai absorbtion dan scattering coefficient pada data pabrik memiliki nilai yang cukup berbeda.

Pada phantom-2 analisa yang serupa dapat juga diberikan seperti pada phantom-1 disebabkan pengambilan data yang dan prosedur yang sama. Dengan trend atau pola yang sama seperti phantom-1 dapat dipastikan bahwa phantom-2 memiliki struktur yang sama dengan phantom-1 hanya saja konsentrasi absorber maupun scatterer yang berbeda.

E. Ekstraksi pada phantom-3

Ekstraksi yang dilakukan pada phantom-3 sama seperti yang dilakukan pada phantom-2. Dengan dua kondisi dan hanya satu kali data pengukuran maka dilakukan proses ekstraksi dan mengasihkan fitting data dengan nilai teoritisnya.

Terlihat bahwa hasil fitting yang diperoleh tidak mencapai nilai ssq hingga 10^{-8} . Setelah melakukan beberapa kali iterasi, hasil fitting tidak menunjukkan hal yang berbeda dengan sebelumnya. Nilai sum square error iterasi juga mencapai 10^{-4} dan tidak pernah jatuh ke orde delapan. Hal ini mengindikasikan data yang diperoleh masih menunjukkan error dalam pengambilan datanya namun nilai ssq masih masuk dalam criteria konvergensi yang diberikan pada batasan masalah penelitian ini.

Trend atau pola yang diberikan dari nilai absorbtion dan scattering coefficient berbeda dengan yang diberikan pada phantom-1 maupun phantom-2. Hal ini sesuai dengan data pabrik untuk nilai standar pada 690 dan 830 nm. Jelas dari pola yang diberikan bahwa bukan lagi epolight yang diberikan sebagai bahan absorber pada phantom.

Dapat dilihat pada table dibawah bahwa selisih yang cukup besar diberikan oleh absorbtion coefficient. Analisa pada phantom-1 dapat diberikan mengingat semua phantom adalah solid phantom tissue sehingga mengacu kepada penelitian sebelumnya maka pengukuran pada phantom harus dilakukan secepatnya agar tidak terjadi perbedaan nilai absorbtion dan scattering coefficient yang significant.

F. Perbandingan Hasil Ekstraksi Ketiga Phantom

Setelah proses ekstraksi dilakukan maka proses plotting hasil ekstraksi dilakukan dalam Microsoft Excel 2007. Trend hasil plotting baik untuk absorbtion dan scattering coefficient untuk ketiga phantom ditunjukkan oleh Gambar 4,6 dan 8.

Untuk pola absorbtion dan scattering coefficient pada phantom 1 dan 2 memiliki pola yang sama hanya saja berbeda nilainya. Perbedaan nilai ini menunjukkan konsentrasi bahan absorber maupun scatterer berbeda namun memiliki jenis yang sama.

Untuk phantom-3 sudah terlihat dari data pabrik dan hasil ekstraksi bahwa phantom-3 memiliki nilai absorbtion dan scattering coefficient yang lebih rendah dari kedua phantom yang lain sehingga disimpulkan baik bahan absorber maupun scatterer berbeda

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dikembangkan algoritma ekstraksi optical properties dari solid tissue phantom pada pengukuran diffuse optical spectroscopy.
2. Phantom-1 dan phantom-2 memiliki trend atau pola absorption coefficient yang mirip dengan yang ditemukan pada hemoglobin yang mengindikasikan terdapat zat epolight pada phantom tersebut sementara phantom-3 memiliki trend koefisien absorpsi yang berbeda dengan phantom yang lain. Sementara untuk trend koefisien hamburan sama untuk ketiga phantom

3. Diperlukan proses ekstraksi lagi untuk mengetahui konsentrasi kandungan *solid phantom tissue*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Janelle E. Bender, Karthik Vishwanath, Laura K. Moore, J. Quincy Brown. (2009). *A Robust Monte Carlo Model for the Extraction of Biological Absorption and Scattering In Vivo*. Ieee Transactions On Biomedical Engineering. hal. 960-968
- [2] Choe ,Regine. *Diffuse Optical Tomography And Spectroscopy Of Breast Cancer And Fetal*. Faculties of the University of Pennsylvania in Partial(2005).
- [3] Nachabé R, Hendriks BH, Desjardins AE, et al. 2010. *Estimation of lipid and water concentrations in scattering media with Diffuse optical spectroscopy from 900 to 1,600 nm*. J Biomed Opt; 15:037015.
- [4] Lise Lyngsnes Randeberg .*Diagnostic applications of diffuse reflectance spectroscopy*. Doctoral Theses at NTNU, 2005:100
- [5] S.W.Jacob. C. A. Francone, and W.J. Lossow . 1985. *Anatomi og fysiologi*. Universitetsforlaget AS.. Til norks ved: E Dietrich og P Hurlen.
- [6] L. O. Svaasand, L. T. Norvang, E. J. Fiskerstrand, et al. 1995. *Tissue Parameters Determining the Visual Appearance of Normal Skin and Port-Wine Stains*. Layer Med Sci, 10:55-65
- [7] BIBLIOGRAPHY \1033 nainggolan, S. (2009). *Perbandingan metode maquardt compromise dan metode gauss newton dalam penaksiran parameter regresi nonlinier*. Medan: FMIPA departemen matematika.