

LAPORAN AKHIR
HIBAH PENELITIAN INTERNAL



Estimasi Parameter Sinyal Quantitative Ultrasound (QUS)
Menggunakan Algoritma SAGE
pada Pengukuran Kepadatan Tulang

TIM PENELITI

Yosefine Triwidyastuti, M.T. - 130803

Musayyanah, S.ST., M.T. - 160853

Heri Pratikno, M.T. - 930106

INSTITUT BISNIS DAN INFORMATIKA STIKOM SURABAYA

Desember 2016

LAPORAN AKHIR
HIBAH PENELITIAN INTERNAL



Estimasi Parameter Sinyal Quantitative Ultrasound (QUS)
Menggunakan Algoritma SAGE
pada Pengukuran Kepadatan Tulang

TIM PENELITI

Yosefine Triwidyastuti, M.T. - 130803
Musayyanah, S.ST., M.T. - 160853
Heri Pratikno, M.T. - 930106

INSTITUT BISNIS DAN INFORMATIKA STIKOM SURABAYA

Desember 2016

**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN
PROGRAM HIBAH PENELITIAN INTERNAL
TAHUN ANGGARAN 2016
Nomor : 022/ST-PPM/KPJ/VII/2016**

Pada hari ini Jum'at tanggal Lima Belas bulan Juli tahun Dua ribu enam belas, kami yang bertanda tangan dibawah ini:

1. **Tutut Wuriyanto, M.Kom** : Kepala Bagian Penelitian & Pengabdian Masyarakat (PPM) Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya, yang dalam hal ini bertindak sebagai penanggung jawab pelaksanaan Program Hibah Penelitian Internal Tahun Anggaran 2016 yang didanai Lembaga Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya. Untuk selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA.
2. **Yosefine Tri Widyastuti, M.T.** : Peneliti tahun anggaran 2016. Untuk Selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.
PIHAK KEDUA mempunyai anggota peneliti sebagai berikut :
 - Musayyanah, S.ST., M.T.
 - Heri Pratikno, M.T.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA secara bersama-sama telah bersepakat dan bekerjasama untuk menyelesaikan semua kegiatan Program Hibah Penelitian Internal Tahun Anggaran 2016 Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya.

PIHAK PERTAMA memberi kepercayaan dan pekerjaan kepada PIHAK KEDUA, dan PIHAK KEDUA menerima pekerjaan tersebut sebagai ketua pelaksana program Hibah Penelitian Internal dengan judul: **"Estimasi Parameter Sinyal Quantitative Ultrasound (QUS) Menggunakan Algoritma SAGE pada Pengukuran Kepadatan Tulang"**

PIHAK PERTAMA memberikan dana untuk kegiatan Hibah Penelitian Internal kepada PIHAK KEDUA sebesar Rp5,490,000,-. Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggung jawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan ke kas Negara sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

PIHAK PERTAMA melakukan pembayaran secara bertahap kepada PIHAK KEDUA, yaitu termin pertama sebesar 50% Rp. 2,745,000,- diberikan setelah penandatanganan surat perjanjian ini, termin kedua sebesar 20% Rp. 1,098,000,- diberikan setelah laporan kemajuan pelaksanaan dan laporan penggunaan keuangan 70% diterima oleh bagian Penelitian & Pengabdian Masyarakat (PPM), termin ketiga sebesar 30% Rp. 1,647,000,- diberikan setelah laporan akhir, seminar, *log book*, laporan keuangan dan bukti publikasi di jurnal nasional diterima oleh bagian Penelitian & Pengabdian Masyarakat (PPM).

PIHAK KEDUA harus menyelesaikan tugas program Penelitian Hibah Bersaing selambat-lambatnya pada tanggal **2 Desember 2016**. Kelalaian atas kewajiban pengumpulan pada tanggal tersebut menyebabkan gugurnya hak untuk mengajukan usulan Penelitian pada tahun berikutnya.

evaluasi internal, (3) Melakukan audit penggunaan anggaran. Pihak KEDUA wajib memperlancar kegiatan yang dilakukan PIHAK PERTAMA.

PIHAK KEDUA wajib Menyelesaikan:

- Laporan Kemajuan (*Progress Report*) sebanyak 2 (dua) eksemplar, paling lambat **7 September 2016**
- Seminar Laporan Akhir mulai **Oktober 2016** (Jadwal Seminar menyesuaikan).
- Laporan Akhir setelah diseminarkan dikumpulkan sebanyak 2 (dua) eksemplar, paling lambat **2 Desember 2016**
- Laporan Penggunaan Keuangan 100%, sebanyak 2 (dua) eksemplar, paling lambat **2 Desember 2016**
- Catatan Harian (*Log Book*) sebanyak 2 (dua) eksemplar, paling lambat **2 Desember 2016**
- *Softcopy* Laporan Akhir & Laporan Penggunaan Keuangan dalam bentuk *pdf* dikirim ke lppm@stikom.edu, paling lambat **2 Desember 2016**
- **Publikasi** hasil penelitian di **jurnal Nasional & Bukti** pemuatan publikasi Ilmiah, paling lambat **2 Desember 2016**

Demikian surat perjanjian dibuat, dipahami bersama dan dilaksanakan.

Pihak Pertama,

Surabaya, 15 Juli 2016

Pihak Kedua,



Tutut Wuriyanto, M.Kom



Yosefine Tri Widyastuti, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Estimasi Parameter Sinyal Quantitative Ultrasound (QUS) Menggunakan Algoritma SAGE pada Pengukuran Kepadatan Tulang

Peneliti

Nama Lengkap : Yosefine Triwidyastuti, M.T.
NIK : 130803
Jabatan Fungsional : -
Program Studi : S1 Sistem Komputer
Nomor HP : 08123142241
Alamat surel (e-mail) : yosefine@stikom.edu

Anggota (1)

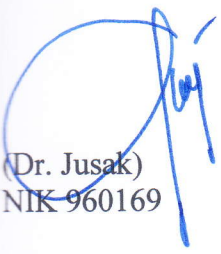
Nama Lengkap : Musayyanah, S.ST., M.T.
NIK : 160853
Perguruan Tinggi : Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya

Anggota (2)

Nama Lengkap : Heri Pratikno, M.T.
NIK : 930106
Perguruan Tinggi : Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya
Biaya Keseluruhan : Rp 5.490.000,00

Surabaya, 2 Desember 2016

Mengetahui,
Dekan FTI


(Dr. Jusak)
NIK 960169

Ketua,


(Yosefine Triwidyastuti, M.T.)
NIK 130803

Menyetujui,
Kepala Bagian Penelitian Pengabdian Masyarakat


(Tutut Wuriyanto, M.Kom.)
NIK 900036

RINGKASAN

Kerapuhan tulang dapat dideteksi dengan menggunakan sinyal ultrasound pada teknik pengukuran QUS (*Quantitative Ultrasound*). Sinyal Utrasound tersebut akan mengalami pergeseran fase akibat berubahnya struktur jaringan tulang, sehingga dibutuhkan estimasi parameter fase dengan menggunakan algoritma tertentu.

Algoritma SAGE digunakan untuk mendeteksi parameter respon phase dan respon amplitude pada gelombang fast dan gelombang slow, yang ditunjukkan dengan nilai MSE dari algoritma SAGE terhadap perubahan SNR. Estimasi parameter phase untuk gelombang phase dan gelombang slow pada SNR 15dB mendapatkan nilai MSE berturut-turut 1.58×10^{-5} dan 1.467×10^{-5} , sedangkan estimasi parameter amplitude berturut-turut 1.405×10^{-5} dan 8.079×10^{-6} .

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Estimasi Parameter Sinyal Quantitative Ultrasound (QUS) Menggunakan Algoritma SAGE pada Pengukuran Kepadatan Tulang”.

Laporan ini dibuat dengan beberapa bantuan dari berbagai pihak untuk menyelesaikan tantangan dan hambatan selama mengerjakan laporan ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd. selaku Rektor Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya serta segenap jajarannya yang telah memberikan kemudahan baik berupa moril maupun berupa materiil selama kegiatan penelitian berlangsung.
2. Bapak Tutut Wuriyanto, M.Kom, selaku Kepala Bagian Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat.
3. dr. Andre Triadi Desnantyo, Sp. OT dan dr. Brian Vicky Faridyan, Sp. OT yang telah memberikan waktu untuk berdiskusi mengenai penelitian ini.
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan dan penulisan laporan penelitian ini.

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang mendasar pada laporan ini. Oleh karena itu saran serta kritik yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan laporan ini.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, 1 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

<u>HALAMAN PENGESAHAN</u>	1
RINGKASAN	2
PRAKATA	3
DAFTAR ISI	4
DAFTAR GAMBAR	5
BAB 1. PENDAHULUAN	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	12
BAB 4. METODE PENELITIAN	14
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	17
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	31

DAFTAR GAMBAR

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah usia lanjut khususnya bagi wanita adalah osteoporosis (kropos tulang) yang terhubungan langsung dengan masalah hormonal pada menopause. Osteoporosis ditandai dengan redahnya masa tulang dan mikrostruktural jaringan tulang memburuk. Perubahan gaya hidup kebanyakan wanita di Indonesia menyebabkan cepat terjadinya kropos pada tulang, salah satunya adalah kurang berolahraga. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan masa tulang di usia dini.

Untuk menghindari terjadinya kerusakan (fraktur) pada tulang, para ahli kesehatan telah mengembangkan alat untuk melihat kondisi masa tulang, salah satu cara yang digunakan adalah menggunakan teknik pengukuran QUS (Quantitative Ultrasound). QUS dianggap teknik yang modern untuk diagnosis osteoporosis, mudah, konsisten dan lebih murah dibandingkan dengan teknik lain (Aqilah, 2013). Pengukuran Tulang Keropos dilakukan dengan mengirimkan sinyal ultrasound dengan menggunakan metode QUS (Quantitative Ultrasound) yang ditunjukkan dengan parameter BUA (Broadband Ultrasound Attenuation), parameter ini digunakan untuk mendeteksi resiko kerusakan tulang akibat osteoporosis.

Pada teknik QUS multipath bisa terjadi akibat pergerakan tulang yang keropos dalam darah. Biot theory menyatakan bahwa pergerakan gelombang pada darah menyebabkan terjadi perubahan phase (Biot, 1956). Gelombang tersebut merupakan sinyal ultrasound, pada (Dencks, 2013) telah mengestimasi parameter phase dengan membandingkan beberapa algoritma dimana estimasi parameter tersebut ditentukan dengan baik asalkan algoritma yang digunakan sesuai.

Pada (Dencks, 2007) telah melakukan pendeteksian error dengan menggunakan parameter BUA, tanpa melakukan pemisahan sinyal terlebih dahulu. Hal ini membuat kesalahan estimasi parameter BUA menjadi besar. Kesalahan tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan algoritma SAGE yang mempunyai akurasi yang tinggi dalam pemisahan sinyal yang akan dikembangkan pada penelitian ini.

Algoritma *Space Alternate Generalized Expectation Maximization* (SAGE) merupakan pendekatan dari algoritma *Maximum Likelihood* (ML) yang berbasis parameter, dimana parameter diestimasi secara sekuensial untuk mendapat hasil estimasi yang akurat. Selain itu kelebihan SAGE bersifat konsisten yang artinya apabila estimasi mendekati

nilai yang sebenarnya untuk jumlah data yang tak berhingga serta SAGE mampu memisahkan sinyal yang berdekatan.

Pada penelitian ini mengestimasi parameter phase akibat kerusakan tulang dengan menggunakan metode pengukuran Quantitative Ultrasound. Parameter phase didapatkan dari algoritma SAGE, dengan mengamati penurunan masa tulang pada remaja, ibu rumah tangga serta wanita usia lanjut (yang telah menopause). Hasil yang diharapkan dapat mengukur persentase kesalahan estimasi menggunakan SAGE pada sinyal multipath akibat kerusakan tulang.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan diteliti adalah bagaimana kinerja SAGE dan LSE dalam mendeteksi parameter phase pada sinyal *Quantitative Ultrasound*.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya ditentukan pada ruang lingkup tertentu di antara lain :

1. Algoritma yang digunakan adalah SAGE dan LSE
2. Parameter yang diestimasi adalah phase
3. Parameter sinyal QUS yang digunakan adalah BUA
4. Noise yang dibangkitkan berdistribusi Normal (AWGN)
5. Sample data pengukuran pada wanita dengan rentang usia 20-29 tahun, 40-49 tahun, dan lebih dari 80 tahun.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Osteoporosis

Osteoporosis merupakan sebuah penyakit penting namun kurang mendapat cukup perhatian yang menjangkiti lebih dari dua ratus juta orang di sleuruh dunia. Satu dari tiga wanita dan satu dari lima laki-laki usia lebih dari lima puluh tahun akan mengalami sebuah fraktur osteoporotik. Osteoporosis didefinisikan sebagai sebuah penyakit yang ditandai oleh rendahnya masa tulang dan merosotnya arsitektur mikro jaringan tulang mengawali kepada menguatnya kerapuhan tulang dan konsekuen meningkatnya risiko patah tulang. Pada Gambar 2.1 merupakan contoh tulang yang mengalami penurunan masa tulang.



Gambar 2.1. A. Tulang Tangan Normal B. Tulang yang mengalami penurunan masa

Gambar 2.1.A menunjukkan tulang yang sehat atau normal, sedangkan Gambar B menunjukkan tulang yang mengalami penurunan masa tulang yang mengakibatkan terjadinya osteoporosis.

2.2 QUS (*Quantitative Ultrasound*)

QUS merupakan salah satu teknik untuk mengetahui masa tulang serta mikrostruktur jaringan tulang yang mengalami kropos dan kerusakan yang dikenalkan pertama kali oleh

Longtan tahun 1984. QUS dianggap mudah, efisien dan murah dalam penggunaannya. QUS tersedia di Indonesia untuk mengukur kepadatan masa tulang / mineral sebagai alat dalam mendiagnosis osteoporosis. Gambar 2.2 menunjukkan peralatan QUS.



Gambar 2.2 Pengukuran QUS

Lokasi pengukuran yang dianalisis oleh QUS adalah : falang, kalkaneus, radius, humerus dan tibia. QUS mentransmisikan suara sinyal ultra dengan frekuensi rentang di antara 200kHz dan 1.5MHz yang melewati jaringan tulang merefleksikan densitas dan strukturnya. QUS terdiri dari dua parameter yaitu *Speed Of Sound* (SOS) dan *Broadband Ultrasound Attenuation* (BUA). Parameter SOS untuk mengukur kelajuan ultrasound dengan satuan m/s sedangkan parameter BUA digunakan untuk mendeteksi kerusakan tulang akibat osteoporosis dalam satuan dB/MHz yang ditunjukkan pada persamaan (2.1).

$$BUA = \frac{10}{\ln 10} 2\pi a \quad (2.1)$$

Keterangan

BUA : Broadband Ultrasound Attenuation (dB/MHz)

a: amplitudo respon (nepers/MHz)

Pada persamaan (2.2) menunjukkan hubungan parameter BUA dengan ketipisan tulang yang disebut sebagai normalisasi BUA (*nBUA*).

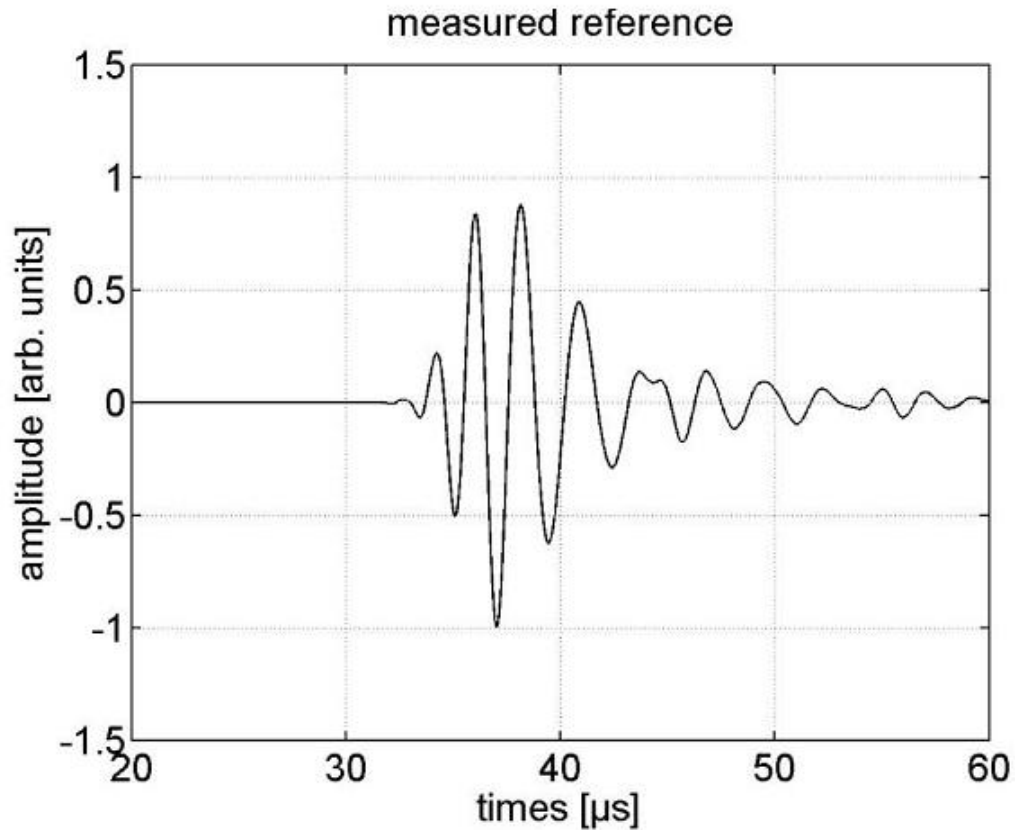
$$nBUA = \frac{BUA}{d} \quad (2.2)$$

Keterangan

BUA : Broadband Ultrasound Attenuation (dB/MHz)

d : ketipisan tulang (m)

Bentuk referensi sinyal dari pengukuran QUS, ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sinyal Referensi dari Pengukuran QUS (Dencks, 2013)

Sinyal Referensi didapatkan dari pengukuran QUS dengan *sampling rate* 100MHz, Sinyal tersebut diasumsikan dari transmisi 2 gelombang ultrasound di sekitar tulang paha, *intertrochanter*, dan *trochanter*. Model sinyal QUS adalah sinyal *superimposed* dalam domain frekuensi yang dituliskan pada persamaan (2.3).

$$S_m(\omega) = R(\omega)H_m(\omega)\dots (2.3)$$

Dimana :

$R(\omega)$: sinyal referensi

$H_m(\omega)$: fungsi propagasi path atau fungsi transfer didefinisikan pada persamaan (2.4)

$$H_m(\omega) = e^{-[(a_{0,m} + a_{1,m} \cdot \omega) + j(b_{0,m} + b_{1,m} \cdot \omega)]} \dots (2.4)$$

Dimana :

$a_{0,m}$: konstanta redaman

$a_{1,m}$: linier slope redaman

$b_{0,m}$: pergeseran phase

$b_{1,m}$: phase linier dari m-path propagasi

2.3 SAGE (*Space Algorithm Generalized Expectation Maximization*)

SAGE merupakan salah satu teknik metode estimasi parameter , yang membutuhkan komputasi kompleks dan waktu yang lama dengan hasil estimasi yang akurat. Parameter diestimasi secara sekuen sampai mendapatkan nilai yang konvergen dari algoritma SAGE. Nilai konvergen artinya hasil estimasi parameter mendekati hasil parameter yang sebenarnya.

Pada algoritma SAGE sinyal yang diterima akibat transmisi multipath dapat dimodelkan pada persamaan (2.5)

$$S(\omega) = \sum_{m=1}^M S_m(\omega) + Z(\omega) \dots (2.5)$$

Dimana :

$S(\omega)$: sinyal yang terukur

$S_m(\omega)$: sinyal komponen tunggal dari M component

$Z(\omega)$: noise Gaussian

Dimana setiap sinyal komponen disimpan dalam sebuah variabel vector yang ditunjukkan sepada persamaan (2.6) :

$$\boldsymbol{\vartheta}_m = [a_{0,m} \quad a_{1,m} \quad b_{0,m} \quad b_{1,m}] \dots (2.6)$$

Vektor $\boldsymbol{\vartheta}_m$ mengandung parameter yang akan diestimasi. Parameter ini akan digunakan sebagai input algoritma untuk mencapai nilai konvergen. Sinyal output dari SAGE ditunjukkan sebagai $\widehat{\boldsymbol{S}}_m^k$ dari sinyal S_m , dimana k menunjukkan step ekspektasi untuk mencapai nilai yang konvergen. Serta $\widehat{\boldsymbol{\vartheta}}_m^k$ adalah vector hasil estimasi. Sehingga sinyal output dari SAGE dituliskan pada persamaan (2.7).

$$\boldsymbol{S}_m^k(\omega) = R(\omega)H(\widehat{\boldsymbol{\vartheta}}_m^k; \omega) + \frac{1}{M} \left(S(\omega) - \sum_{l=1}^M R(\omega)H(\widehat{\boldsymbol{\vartheta}}_l^k; \omega) \right) \dots (2.7)$$

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja algoritma SAGE dalam mengestimasi parameter phase dari sinyal QUS yang akan dijadikan sebagai langkah awal untuk mengetahui kepadatan massa tulang.

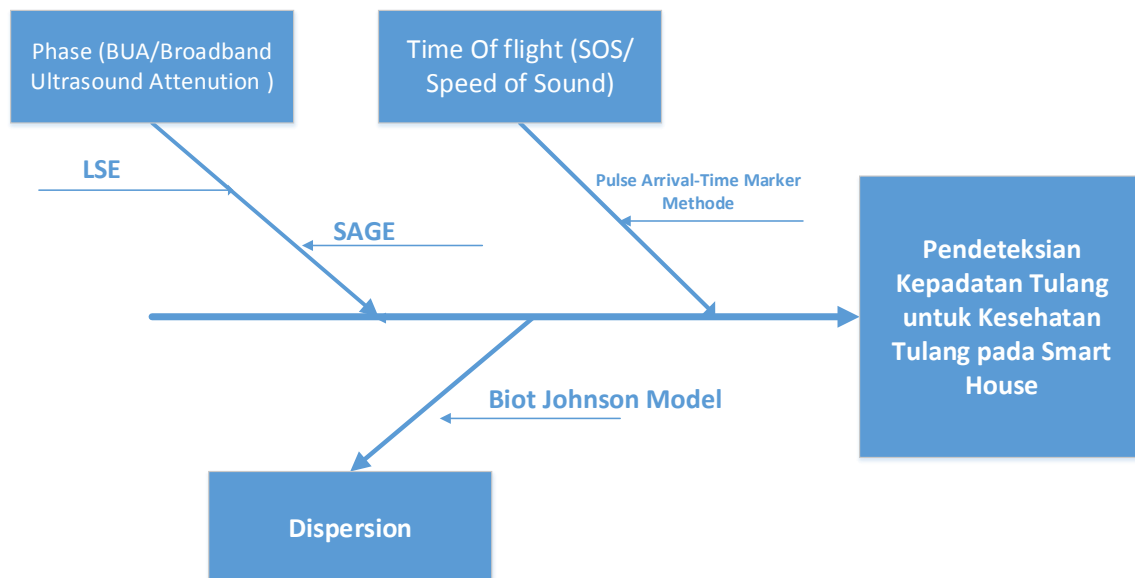
3.2 Target Luaran

Luaran yang ditargetkan dalam penelitian ini adalah publikasi ilmiah dalam jurnal lokal yang mempunyai ISSN serta model penelitian parameter phase yang digunakan untuk pendeteksian tulang tertulis dalam jurnal.

3.3 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini ditargetkan dapat memberi kontribusi bagi pengembangan sistem pengukuran kepadatan tulang khususnya menggunakan teknik pengukuran QUS (Quantitative Ultrasound), sehingga terjadinya kerusakan pada tulang dapat diatasi segera.

3.4 Roadmap Penelitian



Gambar 3.1 Roadmap Penelitian

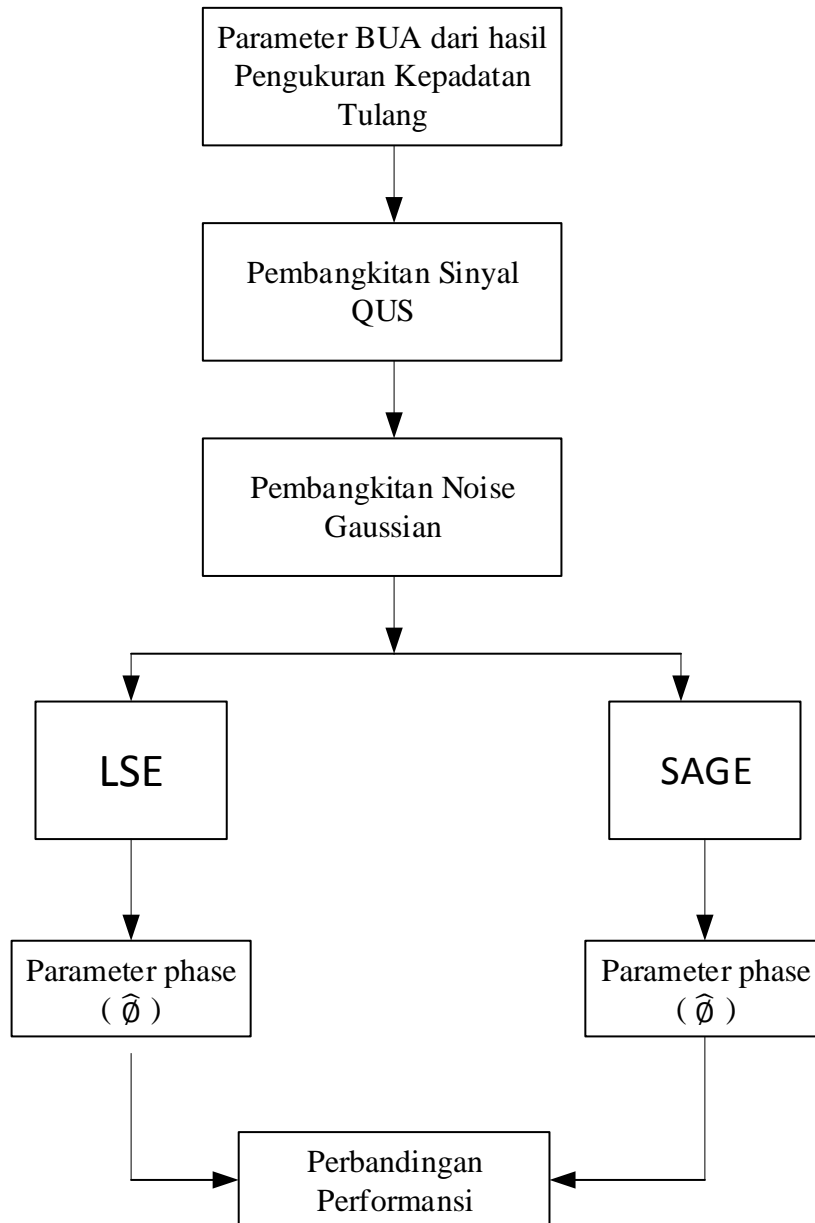
Roadmap penelitian menjelaskan alur penelitian ini, tujuan akhir dari penelitian ini adalah dapat mendeteksi tulang untuk kesehatan pada *Smart House* yang dimulai dari

mendeteksi parameter-parameter penting seperti Phase pada parameter BUA, *Time Of Flight* pada parameter SOS serta parameter dispersion.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada gambar 4.1



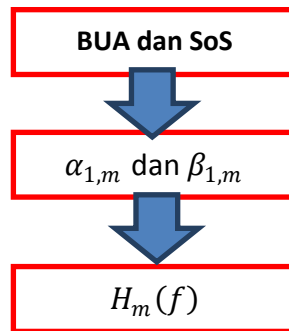
Gambar 4.1 Tahapan Penelitian

Pada Gambar 4.1 menunjukkan tahapan penelitian yang diuraikan di bawah ini :

1. Pembangkitan Sinyal QUS

Sinyal QUS yang dibangkitkan dalam domain frekuensi yang terdiri dari bilangan parameter phase dan amplitudo response. Pembangkitan ini dilakukan secara simulasi dengan menggunakan Matlab, Model sinyal diasumsikan 2 gelombang ultrasound di

sekitar tulang paha, *intertrochanter*, dan *trochanter*. yang dituliskan pada persamaan (2.3). Proses pembangkitan sinyal QUS ditunjukkan pada gambar blok diagram di bawah ini,



Gambar 4.2 Proses Pembangkitan Sinyal QUS

Parameter $\alpha_{1,m}$ menunjukkan respon amplitude sedangkan $\beta_{1,m}$ menunjukkan respon phase, sedangkan $H_m(f)$ menunjukkan transfer fungsi dari sinyal QUS, sinyal inilah yang merupakan sinyal QUS yang selanjutnya akan diproses dengan algoritma SAGE untuk membandingkan referensi parameter phase dan respon amplitude hasil pengukuran dengan hasil estimasi.

2. Pembangkitan Noise Gaussian

Noise yang dibangkitkan dengan matlab berdistribusi normal sesuai dengan persamaan (3.1)

$$Z(\omega) = \sqrt{\frac{N_0}{2}} \mathbf{Z}(\omega) \dots (4.1)$$

Dimana $\mathbf{Z}(\omega)$ didefinisikan sebagai vektor $\mathbf{Z}(\omega) = [\mathbf{Z}_1(\omega) \mathbf{Z}_2(\omega) \dots \mathbf{Z}_M(\omega)]$.

- Setelah sinyal QUS ditambahkan dengan noise AWGN, langkah berikutnya adalah mendeteksi parameter phase dari sinyal tersebut dengan algoritma LSE dan SAGE, berikut step atau langkah untuk mendeteksinya.

Algoritma *Least Square Estimation* (LSE)

- Setiap komponen sinyal masukan pada persamaan 2.3 diproses menggunakan algoritma LSE untuk mencapai puncak optimisasi dari algoritma ini.
- Kriteria optimasi ditunjukkan pada rumus (3.2)

$$J(\boldsymbol{\vartheta}_m) = \sum_{n=1}^N S_m(n\Delta\omega) - R(n\Delta\omega)H_m(\boldsymbol{\vartheta}_m; n\Delta\omega)^2 \dots (4.2)$$

Dimana parameter $\Delta\omega$ merupakan frekuensi interval dan N merupakan titik sampling diskrit, yang didapatkan dari standart pengukuran sinyal QUS.

Algoritma SAGE

1. Setiap komponen sinyal pada persamaan 2.3 diproses menggunakan algoritma SAGE yang diawali dengan langkah ekspektasi untuk mendapatkan variabel iterasi ke k dari proses SAGE yang menghasilkan komponen sinyal yang dimisalkan dengan variabel $\widehat{\boldsymbol{\vartheta}}_l^k$. Sehingga sinyal untuk proses ini dirumuskan seperti persamaan (2.7)
2. Hasil dari algoritma LSE dan SAGE adalah parameter phase dari sinyal QUS.
4. Setelah mendapatkan parameter phase dari algoritma SAGE dan LSE langkah berikutnya adalah membandingkan kinerja antara SAGE dan LSE. Perbandingan tersebut diberi nilai variasi SNR terhadap selisih error hasil estimasi parameter phase dengan parameter yang didapatkan dari pengukuran real QUS (dimana pengukuran ini menggunakan standart dari pengukuran QUS untuk kepadatan tulang).

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Pengukuran Data QUS

Parameter umum yang digunakan pada QUS (Quantitative Ultrasound) adalah *Speed of Sound* (SoS) dan *Broadband Ultrasound Attenuation* (BUA). BUA dapat disebut dengan Redaman/Attenuasi yang disebabkan oleh *scattering*, *absorption* serta *beam spreading* dari transmisi gelombang ultrasound. Sedangkan SoS adalah kecepatan dari gelombang ultrasound yang terdiri dari fastwave untuk frekuensi rendah serta slow wave untuk frekuensi tinggi.

Pada penelitian kali ini dilampirkan kumpulan data BUA dan SOS dari data QUS, data tersebut terdiri dari 3 gelombang yang diamati yaitu sinyal lengkap, *fast wave* dan *slow wave*. Namun pada penelitian ini yang dua jenis gelombang yang akan diamati yaitu *fast wave* pada frekuensi rendah 200KHz – 1MHz dan *slow wave* pada frekuensi tinggi 1MHZ- 2MHz. Pada Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran Data Acuan dengan menggunakan **QUS Achilles Express** (salah satu contoh pengambilan sampel pengukuran kaki tumit dengan menggunakan alat QUS Achilles Express ditunjukkan pada gambar 5.1).



Gambar 5.1 Pengukuran Kepadatan Tulang Tumit Kaki dengan *QUS Achilles Express*

Data pengukuran diambil dari sampel 16 orang sukarelawan dengan rentang usia 20-27 tahun. Sedangkan pada tabel 5.2 dan tabel 5.3 menunjukkan hasil perhitungan BUA untuk *slow wave* dan *fast wave*. Pada penelitian ini mengadopsi konsep pengukuran kepadatan tulang dengan metode QUS yang telah dilakukan pada [Budhysulistiyani, 2007].

Tabel 5.1 Data Hasil Perhitungan BUA untuk Sinyal Lengkap

Sample	Tebal Objek (cm)	BUA (dB/MHz)	nBUA (dB/cm*MHz)
1	4.1	30.068	7.334
2	4.1	30.068	7.334
3	4.3	44.358	10.316
4	4.3	60.042	13.963
5	4	51.006	12.752
6	4	58.481	14.62
7	4.1	45.749	11.158
8	4.1	44.251	10.793
9	3.8	49.495	13.025
10	3.8	46.663	12.28
11	4	74.92	18.73
12	4	74.92	18.73
13	4.25	53.829	12.666
14	4.25	59.583	14.02
15	3.6	77.174	21.437
16	3.6	77.174	21.437
17	4.2	53.829	12.816
18	4.2	59.583	14.186
19	4.5	66.28	14.729
20	4.5	75.53	16.744
21	4.1	40.839	9.961
22	4.1	64.281	15.678
23	4	69.788	17.447
24	4	75.992	18.998
25	3.6	72.94	20.261
26	3.6	76.566	21.268
27	4.3	80.357	18.688
28	4.3	80.357	18.688
29	3.5	74.73	21.351
30	3.5	75.316	21.519
31	3.5	75.316	21.519
32	3.5	74.73	21.351

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Parameter Phase dan Amplitudo untuk *Fast wave*

Sampel	Tebal Objek	BUA	nBUA	SOS	Alfa	Beta
1	4.1	56.534	13.789	1524	1.036419949	-7.6243E-05
2	4.1	56.534	13.789	1524	1.036419949	-7.6243E-05
3	4.3	23.14	5.381	1686	0.424218305	-0.000351069
4	4.3	55.922	13.005	2077	1.025200347	-0.000831191
5	4	47.96	11.99	1606	0.879235518	-0.000208395
6	4	33.385	8.346	1653	0.612036651	-0.000279213
7	4.1	42.727	10.421	1444	0.783300583	7.28035E-05
8	4.1	33.512	8.174	1454	0.614364902	5.32757E-05
9	3.8	31.085	8.18	1275	0.569871478	0.00041629
10	3.8	26.525	6.98	1293	0.486274439	0.000374799
11	4	72.734	18.184	1325	1.333409428	0.000319813
12	4	72.734	18.184	1325	1.333409428	0.000319813
13	4.25	55.961	13.167	1285	1.025915322	0.000439647
14	4.25	61.278	14.418	1310	1.123390202	0.000376529
15	3.6	81.28	22.578	1379	1.490080544	0.000181438
16	3.6	81.28	22.578	1379	1.490080544	0.000181438
17	4.2	61.261	14.586	1317	1.123078546	0.000355058
18	4.2	67.885	16.163	1342	1.244514244	0.000295649
19	4.5	54.771	12.171	1631	1.004099428	-0.000277394
20	4.5	82.385	18.308	1631	1.51033816	-0.000277394
21	4.1	80.471	19.627	1498	1.475249403	-2.95491E-05
22	4.1	68.718	16.76	1600	1.25978537	-0.000204032
23	4	83.923	20.981	1449	1.538533828	6.14692E-05
24	4	68.882	17.221	1379	1.26279193	0.000201597
25	3.6	66.041	18.345	1358	1.210708775	0.000221807
26	3.6	71.848	19.958	1379	1.31716667	0.000181438
27	4.3	80.653	18.757	1409	1.478585951	0.000150325

28	4.3	80.653	18.757	1409	1.478585951	0.000150325
29	3.5	64.022	18.292	1522	1.173695086	-6.20676E-05
30	3.5	85.297	24.371	1522	1.563722935	-6.20676E-05
31	3.5	85.297	24.371	1515	1.563722935	-5.14424E-05
32	3.5	64.022	18.292	866	1.173695086	0.001679897

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Parameter Alfa dan Beta untuk *Slow wave*

Sampel	Tebal Objek	BUA	nBUA	SOS	Alfa	Beta
1	4.1	12.799	3.122	1470	0.234640021	2.25839E-05
2	4.1	12.799	3.122	1470	0.234640021	2.25839E-05
3	4.3	-86.634	-20.147	1693	-1.588233734	-0.000361614
4	4.3	42.023	9.773	2098	0.770394374	-0.000851913
5	4	-18.49	-4.623	1587	-0.338971325	-0.000178576
6	4	54.663	13.666	1639	1.002119498	-0.000258543
7	4.1	58.978	14.385	1419	1.081225029	0.000122827
8	4.1	-29.73	-7.251	1429	-0.545030691	0.000102608
9	3.8	60.16	15.832	1310	1.102894261	0.000336661
10	3.8	21.275	5.599	1324	0.390027849	0.000305988
11	4	81.515	20.379	1316	1.494388725	0.000340458
12	4	81.515	20.379	1316	1.494388725	0.000340458
13	4.25	64.412	15.156	1385	1.180844833	0.000200846
14	4.25	81.684	19.22	1353	1.497486949	0.000273421
15	3.6	63.742	17.706	1401	1.168561935	0.000140443
16	3.6	63.742	17.706	1401	1.168561935	0.000140443
17	4.2	64.412	15.336	1438	1.180844833	8.67151E-05
18	4.2	81.684	19.449	1386	1.497486949	0.000196295
19	4.5	-35.464	-7.881	1649	-0.6501503	-0.000307511
20	4.5	18.486	4.108	1130	0.338897994	0.000945864
21	4.1	42.709	10.417	1471	0.782970595	2.06879E-05

22	4.1	83.261	20.308	1569	1.526397591	-0.000153402
23	4	3.098	0.775	1481	0.056794655	1.82245E-06
24	4	49.823	12.456	1394	0.913389308	0.000170385
25	3.6	79.231	22.009	1374	1.452516875	0.000190938
26	3.6	44.347	12.319	1115	0.812999531	0.00079955
27	4.3	42.163	9.805	1419	0.77296095	0.000128819
28	4.3	42.163	9.805	1419	0.77296095	0.000128819
29	3.5	65.593	17.884	1471	1.202495733	1.76604E-05
30	3.5	82.464	23.561	1471	1.511786442	1.76604E-05
31	3.5	82.464	23.561	1477	1.511786442	7.99483E-06
32	3.5	65.593	17.884	926	1.202495733	0.001418024

5.2. Pembangkitan Sinyal QUS

Pembangkitan sinyal QUS didapatkan dari data pengukuran BUA dan SoS pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 yang terdiri dari nilai $\alpha_{1,m}$ (*linier attenuation slope*) dan $\beta_{1,m}$ (*linier phase propagation path*). Nilai kedua parameter tersebut ditunjukkan pada persamaan di (5.2) dan (5.4).

$$BUA = \frac{20}{\ln 10} \cdot 2\pi \cdot \alpha_{1,m} \dots (5.1)$$

$$\alpha_{1,m} = \frac{BUA (\ln 10)}{20(2\pi)} \dots (5.2)$$

$$SOS_m = \frac{d}{\frac{d}{v_m} + \beta_{1,m}} \dots (5.3)$$

$$\beta_{1,m} = \frac{d}{SOS_m} - \left(\frac{d}{v_m}\right) \dots (5.4)$$

Penelitian ini telah membangkitkan sinyal QUS dengan menggunakan data *slow wave* dan *fast wave*. Berdasarkan persamaan di bawah ini :

$$S_m(f) = R(f)H_m(f) \dots (5.5)$$

Dimana :

$R(f)$: Sinyal referensi (dalam domain frekuensi) yang didefinisikan pada persamaan (5.5)

$H_m(f)$: Transfer function QUS

$$R(f) = e^{-(\alpha_{1,m} \cdot f)} e^{-j(\beta_{1,m} f)} \dots (5.6)$$

Dimana :

$\alpha_{1,m} = 1.38 \cdot 10^{-6}$ sec untuk slow wave sedangkan fast wave $2.45 \cdot 10^{-6}$ sec

$\beta_{1,m} = -12.6 \cdot 10^{-6}$ untuk slow wave sedangkan fast wave $-31.4 \cdot 10^{-6}$ sec

F = 500 KHz (frekuensi ultrasonik untuk karakteristik tulang antara 0.5MH - 2.25 MHz).

Sedangkan untuk *transfer function* untuk transmisi propagasi ditunjukkan oleh persamaan (5.7)

$$H_m(f) = e^{-(\alpha_{1,m} \cdot f)} e^{-j(\beta_{1,m} f)} \dots (5.7)$$

Dimana :

$\alpha_{1,m}$: linier attenuation slope

$\beta_{1,m}$: linier phase propagation path

Pada persamaan (5.7) merupakan transfer function untuk sinyal QUS, dimana nilai respon amplitudo dan respon phase didapatkan dari hasil pengukuran BUA dan SoS.

Sinyal QUS yang terdefinisi pada persamaan (5.7) diubah dalam bentuk domain waktu dengan IFFT yang kemudian dilakukan penambahan white Gaussian noise, yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :

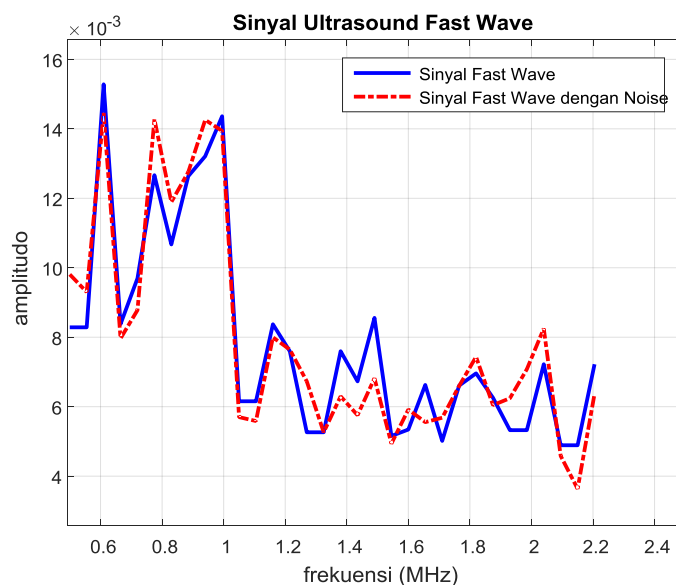
$$H_t(t) = \sum_{m=1}^M ((H_m(f))) + Z(t) \dots (5.8)$$

Dimana :

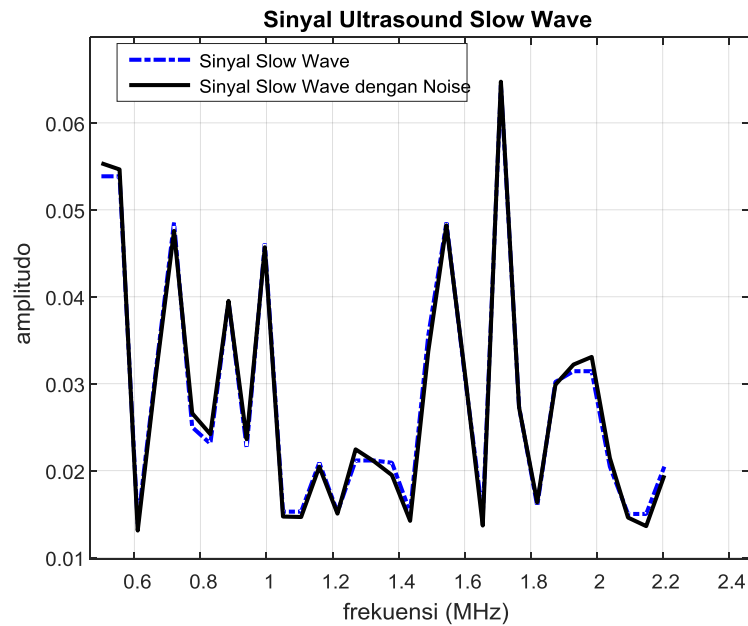
$(H_m(f))$: fungsi transfer $H_m(f)$

$Z(t)$: White Noise Gaussian

$H_t(t)$ hasil dari perubahan transfer fungsi sinyal QUS $H_m(f)$ domain frekuensi, Sinyal QUS ditunjukkan pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3



Gambar 5.2 Sinyal Fast Wave dengan Noise



Gambar 5.3 Sinyal Slow Wave dengan Noise

Pembangkitan Noise Gaussian dibangkitkan dengan SNR = 30 dB baik fast wave maupun slow wave.

Sinyal $H_m(t)$ yang telah dibangkitkan akan diuraikan untuk mendapatkan parameter respon phase dan respon amplitudo dari sinyal QUS. Parameter tersebut didapatkan dengan membandingkan parameter hasil dari pengukuran dengan nilai parameter sinyal referensi QUS dari penelitian S.Dencks. Perbandingan tersebut ditunjukkan dengan nilai MSE (*Mean Square Error*) yang ditunjukkan pada rumus (5.9). Nilai MSE menunjukkan kinerja dari sebuah Algoritma SAGE, dimana kinerja tersebut pada penelitian ini ditunjukkan dengan perubahan SNR.

$$MSE = \frac{\left(\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L v_l^k - \hat{v}_l^k\right)^2}{iterasi} \dots (5.9)$$

dimana

v_l^k : parameter dari sinyal referensi

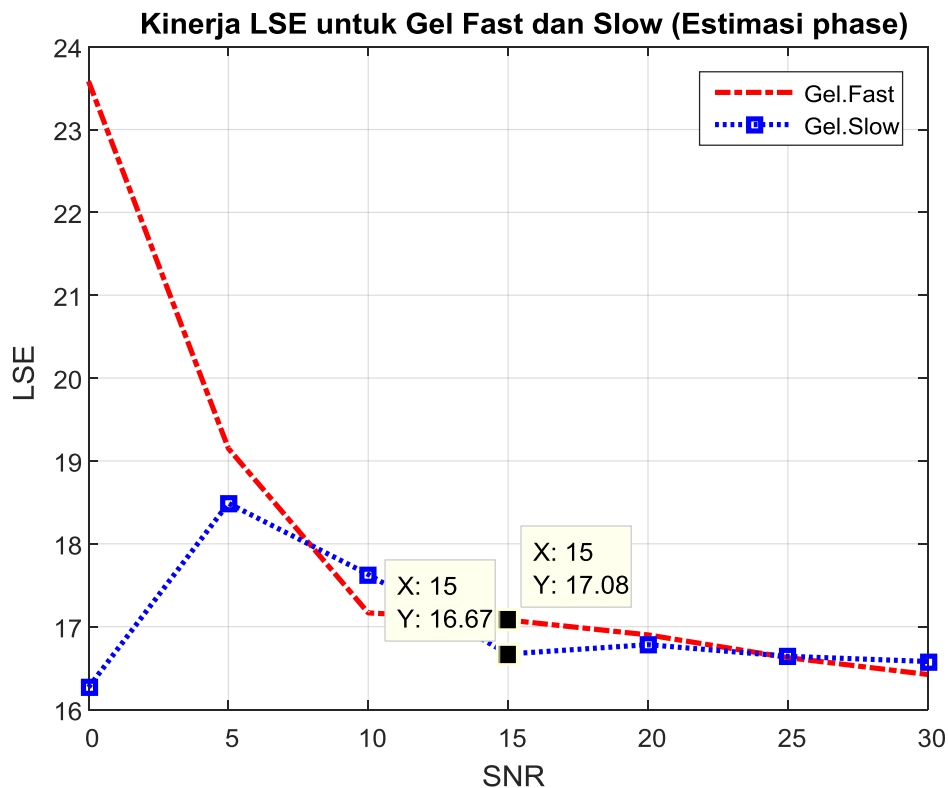
\hat{v}_l^k : parameter hasil dari estimasi SAGE

L : jumlah path

Iterasi : 10000 perulangan agar hasil lebih akurat.

5.3 Hasil Estimasi Parameter Menggunakan LSE

Pengamatan kinerja LSE untuk 2 jumlah path sinyal QUS ditunjukkan pada grafik di bawah ini baik untuk gelombang fast maupun gelombang slow.

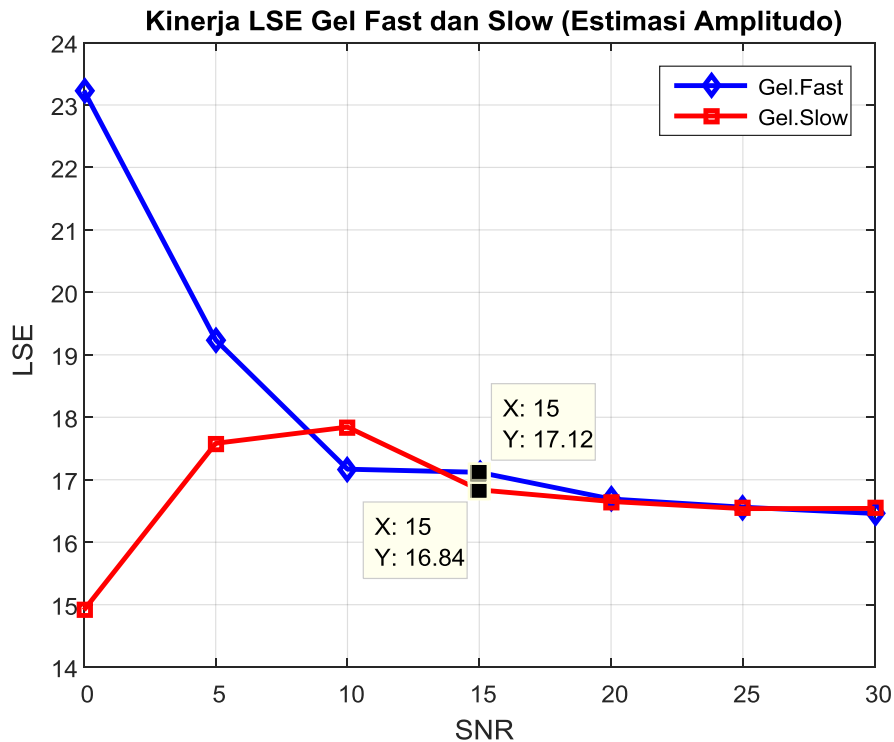


Gambar 5.4. Kinerja LSE dalam Estimasi Parameter Phase

Kinerja LSE dalam mengestimasi parameter respon phase dan respon amplitude menunjukkan bahwa LSE tidak dapat memisahkan antara sinyal QUS dengan noise, dimana semakin besar nilai SNR yang diberikan tingkat kesalahan antara estimasi parameter phase dengan sinyal referensi semakin kecil ditunjukkan dengan nilai 17^0

Kinerja LSE dalam estimasi gelombang slow mempunyai nilai erorsekitar $16,67^0$ sedangkan gelombang fast mempunyai eror sekitar $17,08^0$ pada SNR 15 dB, sedangkan untuk SNR 0 dB, hasil LSE untuk gelombang slow sekitar $16,67^0$ sedangkan untuk gelombang fast hasil LSE sekitar $23,08^0$. Hal ini membuktikan bawah untuk gelombang slow dengan nilai LSE pada SNR 15 dB sama dengan SNR 0 dB, hal ini membuktikan gelombang slow maupun gelombang fast untuk SNR tinggi masih bisa terdeteksi dengan error yang cukup besar (hasil LSE yang besar). Karena eror yang besar, maka dibutuhkan sebuah metode agar mendapatkan parameter respon phase dan respon amplitude dengan benar.

Hasil di atas berbeda dengan hasil estimasi parameter respon amplitude yang ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Kinerja LSE dalam Estimasi Amplitude

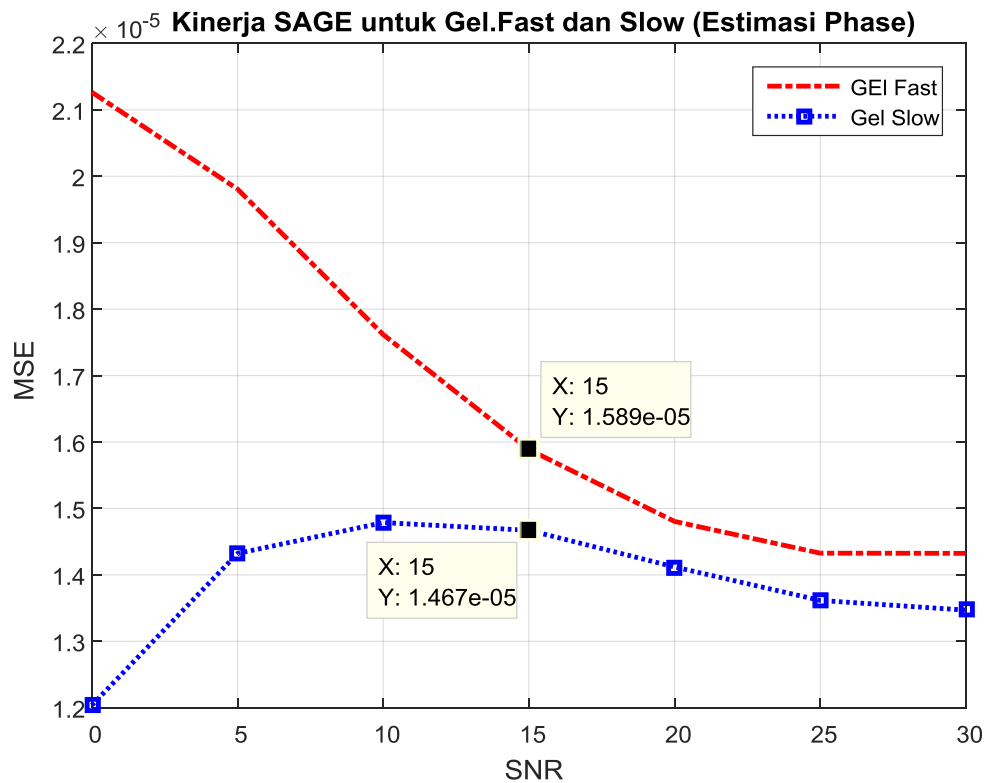
Ketika SNR 15 dB menunjukkan bahwa hasil estimasi dengan LSE gelombang slow menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kinerja gelombang fast dengan nilai eror berturut-turut yaitu 16.84^0 untuk gelombang slow dan 17.72^0 untuk gelombang fast. Hasil kinerja LSE dalam mengestimasi amplitude untuk gelombang slow lebih baik dibandingkan gelombang fast. Hasil ini dikarenakan gelombang slow dengan frekuensi tinggi menyebabkan kecepatan rambat gelombang ultrasonik dalam pengukuran mengecil sehingga pantulan yang terjadi pada ketebalan tulang yang berbeda-beda tidak menyebabkan sinyal ultrasound mengalami fluktuasi, sehingga hasil estimasi respon amplitudonya lebih baik dibandingkan dengan gelombang fast. Berkaitan Kecepatan rambat gelombang ultrasonik digunakan sebagai salah satu parameter kesehatan tulang. Namun, pada penelitian ini bukan membahas bagaimana hasil pengukuran dengan QUS, melainkan menganalisa kinerja algoritma estimasi parameter dari sinyal QUS yaitu SAGE yang selanjutnya bisa dimanfaatkan untuk menganalisa kesehatan tulang dengan cara mengetahui parameter dari sinyal QUS.

5.4 Hasil Estimasi Parameter Menggunakan Algoritma SAGE

Hasil estimasi dengan LSE ternyata tidak bisa memisahkan antara sinyal QUS dengan noise yang ditunjukkan dengan nilai eror yang besar, sehingga dibutuhkan metode yang lebih kompleks dan telah diterapkan di berbagai penelitian untuk mendapatkan parameter dari sinyal akibat multipath yaitu *Space Alternate Generalized Expectations* (SAGE). SAGE dikenal dengan metode kompleks yang membutuhkan iterasi yang besar untuk mencapai

sebuah titik konvergen. Meskipun metode ini membutuhkan komputasi yang lama, namun SAGE dianggap mempunyai kinerja yang cukup baik untuk mendapatkan komponen sinyal akibat multipath (Musayyanah,2016).

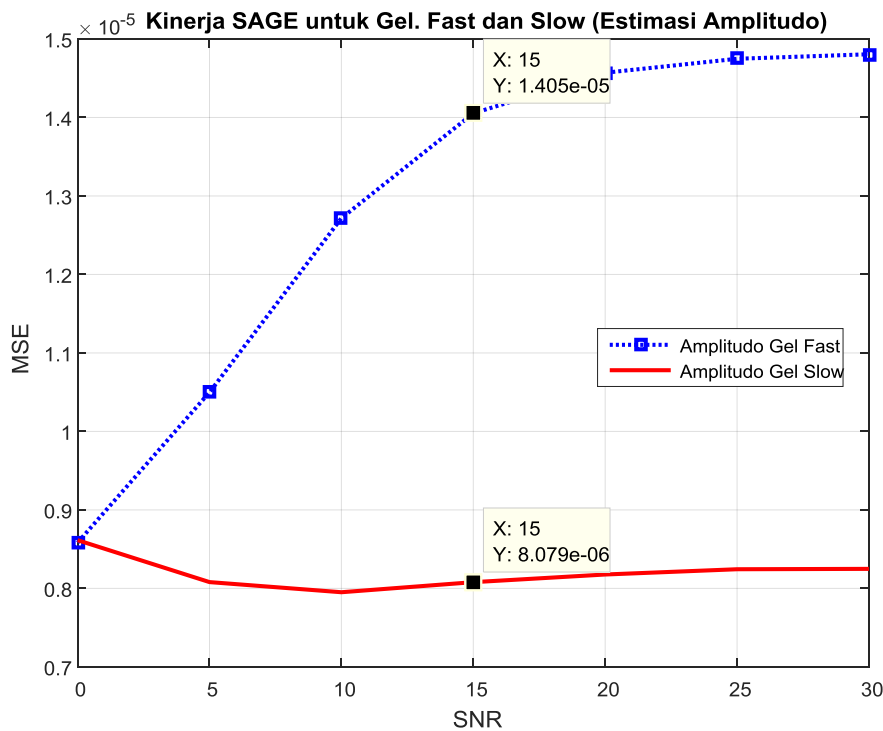
Kinerja SAGE ditunjukkan dengan perubahan SNR untuk gelombang fast dan slow, untuk estimasi phase dan respon yang ditunjukkan pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7.



Gambar 5.6. Kinerja SAGE dalam Estimasi Phase

Hasil estimasi menunjukkan bahwa SAGE dapat memisahkan sinyal dengan noise yaitu semakin besar SNR yang diberikan semakin kecil errornya atau nilai MSEnya. SAGE dapat mengestimasi parameter phase dengan baik untuk gelombang fast ketika SNR 15 dB dengan nilai MSE 1.589×10^{-5} . Begitu halnya juga untuk gelombang slow nilai MSE 1.447×10^{-5} . Hal ini mempunyai nilai selisih sekitar 0.002. Nilai tersebut menunjukkan bahwa SAGE mempunyai kinerja yang baik untuk estimasi parameter dari sinyal yang mengalami fluktuasi akibat multipath. Hasil ini menunjukkan bahwa metode SAGE dapat memperkecil error hasil estimasi, yang nantinya bermanfaat untuk mendapatkan parameter dari suatu sinyal QUS.

Berbeda halnya dengan estimasi respon amplitudo, SAGE tidak bisa mengestimasi respon amplitudo dengan baik, dimana hal ini ditunjukkan bahwa semakin besar nilai SNR, semakin besar pula hasil errornya jika dibandingkan dengan nilai SNR yang kecil. Hal ini masih bisa ditoleransi, karena nilai error masih di bawah 1. Hasil estimasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.7. Kinerja SAGE dalam Estimasi Amplitude

Hasil dari Gambar 5.7 menunjukkan bahwa ketika SNR 15 dB untuk gelombang slow menunjukkan nilai MSE 8.079×10^{-5} sedangkan untuk gelombang fast menunjukkan nilai MSE 1.405×10^{-5} . Pada Gelombang slow menunjukkan bahwa hasil estimasi tersebut bernilai konstan yaitu 8.079×10^{-5} sampai pada SNR terbesar yaitu 30 dB. sedangkan hasil MSE untuk gelombang fast menunjukkan bahwa SNR semakin besar, semakin besar pula nilai MSE nya. Hal ini disebabkan oleh propagasi gelombang fast dalam darah mengalami fluktuasi yang membesar akibat pantulan dari struktur tulang yang berbeda-beda, sehingga sinyal asli dari gelombang fast tersebut teredam dengan SNR yang besar, yang menyebabkan estimasi amplitude pada SNR tinggi terdeteksi sebagai amplitude dari noise. Pendeteksian tersebut menyebabkan nilai respon amplitude gelombang fast dengan nilai referensi gelombang fast mempunyai selisih yang besar.

Hasil estimasi phase dengan SAGE dengan sinyal referensi ditunjukkan pada Tabel 5.4 menunjukkan hasil satu kali iterasi.

Tabel 5.4 Perbandingan Parameter Sinyal Referensi dengan Estimasi SAGE

Gelombang Fast				
Path (L)	Phase Sinyal Referensi	Estimasi Phase dengan SAGE	Amplitude Sinyal Referensi	Estimasi Amplitude

L = 1	2.45	20	31.4	11
L = 2	2.45	20	31.4	11
Gelombang Slow				
L = 1	1.38	2	12.6	10
L = 2	1.38	2	12.6	10

Hasil tabel di atas, menunjukkan bahwa estimasi yang mempunyai nilai eror yang kecil adalah untuk estimasi gelombang slow. sedangkan gelombang fast mempunyai error yang besar, hal ini dikarenakan gelombang fast dengan frekuensi rendah mempunyai kecepatan rambat transmisi yang tinggi sehingga fluktuasi akibat multipath membesar yang menyebabkan hasil estimasi erornya besar. Hasil penelitian ini bisa ditingkatkan kembali dengan menggunakan algoritma yang lebih kompleks untuk menghasilkan estimasi parameter respon phase dan respon amplitud yang mendekati benar.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil estimasi phase dengan menggunakan metode SAGE lebih baik yang ditunjukkan dengan nilai MSE yaitu untuk SNR 15 dB untuk gelombang fast dan gelombang slow berturut-turut yaitu 1.58×10^{-5} dan 1.467×10^{-5} . Sedangkan hasil estimasi amplitude dengan algoritma SAGE pada SNR 15 dB untuk gelombang fast dan gelombang slow berturut-turut adalah 1.405×10^{-5} dan 8.079×10^{-6} .

6.2 Saran

Penelitian ini dapat ditingkatkan dengan mencari parameter lain untuk sinyal QUS yang menggunakan peralatan medis yang diakui tingkat keakuratannya di dunia medi khususnya di bidang arthropedi seperti QCT(Quantitative Computed Tomography) dan DEXA(Dua Energy X-Ray Tomography) serta ditambahkan metode yang lain sebagai pembanding kinerja SAGE.

DAFTAR PUSTAKA

- Budhysulistiyani, I.N, "Pengembangan Metode Analisis Parameter Sinyal Ultrasonik untuk Prediksi Osteoporosis", Tugas Akhir Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Intsitut Teknologi Bandung, 2007.
- Dencks, Stefanie dan Scghmitx George, 2013 "Estimation of Multipath Transmission Parameters for Quantitative Ultrasound Measurement of Bone" IEEE Transaction on Ultrasonic and Frequency Control, Vol. 60, No. 9, September 2013.
- Lim, YW., L.Chan, "Broadband Ultrasound Attenuation Reference Database for Southeast Asian Males and Females", Vol.34 No.9, Oktober 2005.
- M, Biot, "Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. low frequency range" J. Acoust.Soc Am., vol. 28, no.2, pp. 168-178, 1956.
- Musayyanah, dkk "Performance Analysis of the SAGE Algorithm: Changing Update Prosedure", International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, 2016.
- Nugraha C.P, WachjudiRachmat, "BMD-QUS Assessment Result Appropriates to Diagnose Osteoporosis", Folia Medica Indonesia Vol.49 No.2 April-June 2013 : 112-115.
- S.Dencks, R. Barkmann, dkk, "Signal Separation in the frequency domain for quantitative ultrasound measurement of bone", in Proc. 4th Europe Conf. Int. Federation for Medical and Biological Engineering, 2008, vol.22 pp 239-242.
- Smz, Aqilah., Sm-Zulfarina., "Quantitave Ultrasound (QUS) for the Assement of Bone Health", Med &Healt 2014, 9(1):1-10, Lumpur, Malaysia.

LAMPIRAN

1. FOTO SAMPEL PENGUKURAN



Display Pengukuran QUS

Gambar 1. Pengukuran QUS sampel Tumit Kaki



Gambar 2. PENGukuran QUS sampel Tumit Kaki Tampak Atas

2. SOURCES CODE

```
% =====  
%% Penelitian Internal STIKOM %%  
%% Estimasi Parameter Sinyal QUS Menggunakan  
%% Algoritma SAGE pada Pengukuran Kepadatan Tulang %%  
%% =====  
  
clc; clear all; close all;  
  
% Pembangkitan Sinyal  
load alfa_slow.txt% diedit hasilnya krn ifn  
load beta_slow.txt  
  
load alfa_fast.txt  
load beta_fast.txt  
  
% Pembangkitan sinyal reference  
low = [];  
fast = [];  
f=1e6; % fre ultrasonik untuk karakteristik tulang pd fre 0.5MHz sampai  
2.25MHz  
snr = 0:5:30; %dB  
parameter_slowwave = [1.38*10^-6 -12.6*10^-6]; %parameter = [phase  
amplitudo]  
parameter_fastwave = [2.45*10^-6 -31.4*10^-6];  
Ref_Signal_slowwave = exp(-(1+parameter_slowwave(1)*f))*exp(-  
j*(1+parameter_slowwave(2)*f)); % 1x1  
Ref_Signal_fastwave = exp(-(1+parameter_fastwave(1)*f))*exp(-  
j*(1+parameter_fastwave(2)*f)); % 1x1  
  
%Data Transfer Function  
M = 2; % jumlah path  
H_fast = [];  
H_slow = [];  
  
for jj = 1:M  
    H_slow1 = Ref_Signal_slowwave.*exp(-(ones(32,1)+alfa_slow)).*exp(-  
j*(ones(32,1)+beta_slow));  
    H_fast1 = Ref_Signal_fastwave.*exp(-(ones(32,1)+alfa_fast)).*exp(-  
j*(ones(32,1)+beta_fast));  
    H_fast = [H_fast1 H_fast];  
    H_slow = [H_slow1 H_slow];  
  
end  
  
% Pembangkitan Noise  
K = length(H_fast);  
mse1 = [];  
mse2 = [];  
mse3 = [];  
mse4 = [];  
lse1 = [];  
lse2 = [];  
lse3 = [];
```

```

lse4 = [];
for snr = 0:5:30
for iterasi = 1:10000

an = randn(M,K)+j*randn(M,K);
aan = abs(an);
noise = (1/(10^(snr/10)))*(an./aan); % --> noise dimensi (M x K)

% Penambahan Noise
Sinyal_ultrasound_fast = (H_fast.')+noise; % M x K (3x32)
Sinyal_ultrasound_slow = (H_slow.')+noise; % M x K (3x32)

% ----- Proses Optimasi LSE -----
J_LSE_fast = (Sinyal_ultrasound_fast -
Ref_Signal_fastwave.*ones(2,32).*(H_fast.')).^2;
J_LSE_slow = (Sinyal_ultrasound_slow -
Ref_Signal_slowwave.*ones(2,32).*(H_slow.')).^2;

J_LSE_fast_phase = imag(J_LSE_fast);
J_LSE_low_phase = imag(J_LSE_slow);

J_LSE_fast_amp = real(J_LSE_fast);
J_LSE_slow_amp = real(J_LSE_slow);

J_LSE_sum_fast_phase = abs(sum(J_LSE_fast_phase));
J_LSE_sum_slow_phase = abs(sum(J_LSE_low_phase));

J_LSE_sum_fast_amp = abs(sum(J_LSE_fast_amp));
J_LSE_sum_slow_amp = abs(sum(J_LSE_slow_amp));

parameter_slowwave = [1.38*10^-6 -12.6*10^-6]; %parameter = [phase
amplitudo]
parameter_fastwave = [2.45*10^-6 -31.4*10^-6];

% index nilai yang terkecil
J_LSE_sum_fast_phase2(iterasi,:) = (find( J_LSE_sum_fast_phase == min(
J_LSE_sum_fast_phase)));
J_LSE_sum_slow_phase2(iterasi,:) = (find( J_LSE_sum_slow_phase ==
min(J_LSE_sum_slow_phase)));

J_LSE_sum_fast_amp2(iterasi,:) = (find( J_LSE_sum_fast_amp == min(
J_LSE_sum_fast_amp)));
J_LSE_sum_slow_amp2(iterasi,:) = (find( J_LSE_sum_slow_amp == min (
J_LSE_sum_slow_amp)));

% -----
% ===== Proses SAGE =====
for miu = -(M-1):1:0
el = M + miu;

% ===== Proses Ekspektasi =====
% Rata-rata error antara sinyal yang terukur dengan jumlah komponen
% sinyal yang terestimasi
% Pre-Inisialisasi
for n = 1:M
amplitudo(n) = 0;

```

```

        phase(n) = 0;
        fprintf('%d : %d\t', amplitudo(n), phase(n));
end
    fprintf('\n')
    H_fast_est = exp(-1*(1+amplitudo*f)).*exp(-j*(1+phase*f)); % 1 x 3
    H_slow_est = exp(-1*(1+amplitudo*f)).*exp(-j*(1+phase*f)); % 1 x 3

    Ref_Signal_fastwave_K = ones(length(alfa_slow),1)*
Ref_Signal_fastwave;
    Ref_Signal_slowwave_K = ones(length(alfa_slow),1)*
Ref_Signal_slowwave;
    H_fast_est2 = Ref_Signal_fastwave_K * H_fast_est;
    H_slow_est2 = Ref_Signal_slowwave_K * H_slow_est;
    H_FAST = sum (H_fast_est2,2); % K x 1
    H_SLOW = sum (H_slow_est2,2);

    e_fast = 1/M*(H_fast1 - H_FAST); % 32 x 1
    e_slow = 1/M*(H_slow1 - H_SLOW); % 32 x 1

    Eks_fast = H_FAST + e_fast ;
    Eks_slow = H_SLOW + e_slow ;

% Proses Dekomposisi
    H_fast_dekomposisi = (sum(Sinyal_ultrasound_fast)).' - Eks_fast;
    H_slow_dekomposisi = (sum(Sinyal_ultrasound_slow)).' - Eks_slow;

%===== Proses Maksimasi =====
% each signal component this expectation maximization sequence is
% repeated sequentially to get cinvergence criterion.

% untuk mendapatkan argumen tertinggi dari nilai proses dekomposisi
% parameter yang akan diperhatikan adalah amplitudo respon dan phase
% ---- 1. Amplitudo respon .....
    A_fast_real = real (H_fast_dekomposisi);
    A_fast_imag = imag (H_fast_dekomposisi);

% ----- Untuk Gelombang Fast -----
    A_fast_real_max = max(A_fast_real); % untuk amplitudo kompleks
    A_fast_imag_max = max(A_fast_imag); % Untuk phase
    AA_fast_r(e1) = find(A_fast_real == A_fast_real_max );
    AA_fast_i(e1) = find(A_fast_imag == A_fast_imag_max);

% ----- Untuk Gelombang Slow -----
    A_slow_real = real(H_slow_dekomposisi);
    A_slow_imag = imag(H_slow_dekomposisi);
    A_slow_real_max = max(A_slow_real); % untuk amplitudo kompleks
    A_slow_imag_max = max(A_slow_imag); % Untuk phase
    AA_slow_r(e1) = (find( A_slow_real == A_slow_real_max ))-1;
    AA_slow_i(e1) = (find( A_slow_imag == A_slow_imag_max))-1;

end% miu = -(L-1):1:0

for n = 1:M
    fprintf('%d : %d\t', amplitudo(n), phase(n));
end
fprintf('\n')

```



```

% standart criteria
for V = 1:M-1
    konvergen(V) = 0;
end

% Proses Update untuk mencapai nilai yang konvergen
for h = 1:M
    el = mod (miu,M) + 1;
% cek konvergensi setiap parameter
for V = 1:M-1
while (konvergen(V) == el)
    AA_slow_r(el) = AA_slow_r(konvergen(V));
    AA_slow_i(el) = AA_slow_i(konvergen(V));
    AA_fast_r(el) = AA_fast_r(konvergen(V));
    AA_fast_i(el) = AA_fast_i(konvergen(V));
if el == M
for n = 1:M
        fprintf('%d : %d :%d : %d\t',
AA_slow_r(n),AA_slow_i(n),...
        AA_fast_r(n),AA_fast_i(n));
end
end
        fprintf ('\n')

        miu = miu +1;
        el = mod(miu,M) + 1;
end%while
end%V
%Lakukan E-Step dan M-Step
for n = 1:M
    amplitudo(n) = 0;
    phase(n) = 0;
    fprintf('%d : %d\t', amplitudo(n),phase(n));
end
    fprintf ('\n')
    H_fast_est = exp(-1*(1+amplitudo*f)).*exp(-j*(1+phase*f)); % 1 x 3
    H_slow_est = exp(-1*(1+amplitudo*f)).*exp(-j*(1+phase*f)); % 1 x 3

    Ref_Signal_fastwave_K = ones(length(alfa_slow),1)*
Ref_Signal_fastwave;
    Ref_Signal_slowwave_K = ones(length(alfa_slow),1)*
Ref_Signal_slowwave;
    H_fast_est2 = Ref_Signal_fastwave_K * H_fast_est;
    H_slow_est2 = Ref_Signal_slowwave_K * H_slow_est;
    H_FAST = sum (H_fast_est2,2); % K x 1
    H_SLOW = sum (H_slow_est2,2);

    e_fast = 1/M*(H_fast1 - H_FAST); % 32 x 1
    e_slow = 1/M*(H_slow1 - H_SLOW); % 32 x 1

    Eks_fast = H_FAST + e_fast ;
    Eks_slow = H_SLOW + e_slow ;

% Proses Dekomposisi
H_fast_dekomposisi = (sum(Sinyal_ultrasound_fast)).' - Eks_fast;
H_slow_dekomposisi = (sum(Sinyal_ultrasound_slow)).' - Eks_slow;

```

```

%===== Proses Maksimasi =====
% each signal component this expectation maximization sequence is
% repeated sequentially to get convergence criterion.

% untuk mendapatkan argumen tertinggi dari nilai proses dekomposisi
% parameter yang akan diperhatikan adalah amplitudo respon dan phase

% ---- 1. Amplitudo respon .....
A_fast_real = real (H_fast_dekomposisi);
A_fast_imag = imag (H_fast_dekomposisi);
A_fast_real_max = max(A_fast_real); % untuk amplitudo kompleks
A_fast_imag_max = max(A_fast_imag); % Untuk phase
AA_fast_r2(e1) = find(A_fast_real == A_fast_real_max );
AA_fast_i2(e1) = find(A_fast_imag == A_fast_imag_max);

A_slow_real = real(H_slow_dekomposisi);
A_slow_imag = imag(H_slow_dekomposisi);
A_slow_real_max = max(A_slow_real); % untuk amplitudo kompleks
A_slow_imag_max = max(A_slow_imag); % Untuk phase
AA_slow_r2(e1) = (find( A_slow_real == A_slow_real_max ))-1;
AA_slow_i2(e1) = (find(A_slow_imag == A_slow_imag_max))-1;

% Menghitung Error
amplitudo_fast = AA_fast_r2(e1)-AA_fast_r(e1);
amplitudo_slow = AA_slow_r2(e1)-AA_slow_r(e1) ;
phase_fast = AA_fast_i2(e1)-AA_fast_i(e1);
phase_slow = AA_slow_i2(e1)-AA_slow_i(e1) ;

%konvergen(v) = e1;
AA_fast_r2(e1) = AA_fast_r(e1);
AA_slow_r2(e1) = AA_slow_r(e1);
AA_fast_i2(e1) = AA_fast_i(e1);
AA_slow_i2(e1) = AA_slow_i(e1);

miu = miu+1;
end%h

for n = 1:M
    fprintf('Nilai amplitudo dari gelombang FAST\n')
    fprintf('%d \n', AA_fast_r2(n));
    fprintf('Nilai amplitudo dari gelombang SLOW\n')
    fprintf('%d \n', AA_slow_r2(n));
    fprintf('Nilai phase dari gelombang FAST\n')
    fprintf('%d \n', AA_fast_i2(n));
    fprintf('Nilai phase dari gelombang SLOW\n')
    fprintf('%d \n', AA_slow_i2(n));
end
fprintf('\n')

% menghitung error
%parameter = [phase amplitudo]
%parameter_fastwave = [2.45*10^-6 -31.4*10^-6];
%parameter_slowwave = [1.38*10^-6 -12.6*10^-6];

% untuk phase
mse_phase_fast(iterasi,:) = sum(abs(2.45*10^-6 - AA_fast_i2.*10^-6))/M;
mse_phase_slow (iterasi,:)= sum(abs(2.45*10^-6- AA_slow_i2.*10^-6))/M;

```

```

% untuk amplitudo
mse_amplitude_fast(iterasi,:) = sum(abs(31.4*10^-6 - AA_fast_r2.*10^-6))/M
;
mse_amplitude_slow(iterasi,:) = sum(abs(12.6*10^-6 - AA_slow_r2 .*10^-
6))/M;
end% iterasi

% ----- Performansi SAGE -----
% untuk gel. FAST
% untuk phase
mse_phase_fast2 = sum(mse_phase_fast)/iterasi;
mse_phase_fix_fast = [mse_phase_fast2 mse1];
mse1 = mse_phase_fix_fast;

% untuk amplitudo
mse_amp_fast = sum(mse_amplitude_fast )/iterasi;
mse_amp_fast2 = [mse_amp_fast mse3];
mse3 = mse_amp_fast2;

% untuk gel.SLOW
% untuk phase
mse_phase_slow2 = sum( mse_phase_slow)/iterasi;
mse_phase_fix_slow = [mse_phase_slow2 mse2];
mse2 = mse_phase_fix_slow;

%untuk amplitudo
mse_amp_slow = sum( mse_amplitude_slow)/iterasi;
mse_amp_slow2 = [mse_amp_slow mse4];
mse4 = mse_amp_slow2;

% ----- Performansi LSE -----
LSE2fast_phase = sum(J_LSE_sum_fast_phase2)/iterasi;
LSE2fast_amp = sum( J_LSE_sum_fast_amp2)/iterasi;
LSE2slow_phase = sum(J_LSE_sum_slow_phase2)/iterasi;
LSE2slow_amp = sum( J_LSE_sum_slow_amp2)/iterasi

lse_fast_phase = [LSE2fast_phase lse1];
lse1 = lse_fast_phase;

lse_slow_phase = [LSE2slow_phase lse2] ;
lse2 = lse_slow_phase;

lse_fast_amp = [LSE2fast_amp lse3];
lse3 = lse_fast_amp ;

lse_slow_amp = [LSE2slow_amp lse4];
lse4 = lse_slow_amp;

end% snr

figure,
% perbandingan kinerja SNR (MSE vs SNR) gel fast dan gel slow dlm deteksi
% phase
plot(0:5:30,mse1,'-.r','linewidth',2)

```

```

hold on
plot(0:5:30,mse2,':bs','linewidth',2)
grid on
legend ('GEL Fast', 'Gel Slow')
xlabel('SNR')
ylabel ('MSE')
title ('Kinerja SAGE untuk Gel.Fast dan Slow (Estimasi Phase)')

% Perbandingan kinerja SNR (MSE vs SNR) Gel.Slow dan Gel.Fast dlm deteksi
% respon amplitudo
figure,
plot(0:5:30,mse3,':bs','linewidth',2)
grid on
hold on
plot (0:5:30,mse4,'-r','linewidth',2)
legend ('Amplitudo Gel Fast', 'Amplitudo Gel Slow')
xlabel('SNR')
ylabel ('MSE')
title('Kinerja SAGE untuk Gel. Fast dan Slow (Estimasi Amplitudo)')
% -----

figure,
plot(0:5:30,lse1,'-r','linewidth',2)
hold on
grid on
plot(0:5:30,lse2,':bs','linewidth',2)
xlabel('SNR')
ylabel('LSE')
legend ('Gel.Fast', 'Gel.Slow')
title ('Kinerja LSE untuk Gel Fast dan Slow (Estimasi phase)')

figure,
plot(0:5:30,lse3,'-db','linewidth',2)
hold on
grid on
plot(0:5:30,lse4,'-rs','linewidth',2)
xlabel('SNR')
ylabel('LSE')
legend('Gel.Fast','Gel.Slow')
title('Kinerja LSE Gel Fast dan Slow (Estimasi Amplitudo)')

```