

PERANCANGAN DAN ANALISIS COMPRESSIVE SAMPLING DAN SINKRONISASI PADA AUDIO WATERMARKING STEREO BERBASIS STATIONARY WAVELET TRANSFORM DENGAN METODE AUDIO CENTROID

Refika Oktaviani¹, Gelar Budiman², Sofia Sa'idah³

Electrical Engineering Faculty, Telkom University¹²³

Jl. Telekomunikasi 1, telp/fax : 022-7566123, Bandung, Indonesia

refika.oktaviani@yahoo.com¹, gelar.budiman@gmail.com², sofiasaidah@telkomuniversity.ac.id³

ABSTRAK

Saat ini, duplikasi data atau pembajakan dalam teknologi digital makin sering terjadi, salah satu solusi mengatasi itu dengan teknik *Watermarking*. *Watermarking* adalah suatu cara menyembunyikan atau penanaman data/info pada suatu media tertentu ke dalam suatu data digital lainnya dan harus tahan terhadap serangan. Audio *watermarking* merupakan pengimplementasian dari *watermarking* untuk melindungi keaslian dan hak cipta multimedia pada file audio. Pada penelitian ini penulis menggabungkan Stationary Wavelet Transform (SWT) dan metode audio centroid untuk menyisipkan watermark ke audio host. Compressive Sampling (CS) memiliki fungsi untuk mengkompresi watermark sebelum proses embedding. Pertama, audio host tersegmentasi menjadi frame dengan ukuran sampel yang sama. Setelah itu masuk ke proses SWT untuk pemilihan subband. Selanjutnya, hitung lokasi embedding dengan prosedur centroid, dan sisipkan dulu watermark yang dikompres dengan metode QIM. Berdasarkan hasil penelitian ini menghasilkan $ODG > 0$, $SNR > 20$, dan BER yang mendekati 0. Audio watermarking yang diuji dengan serangan delay mendapatkan watermark yang baik karena memiliki BER=0.

Keywords : *Watermarking*, *Stationary Wavelet Transform* (SWT), *Compressive Sampling* (CS), *Audio Centroid*.

1. Pendahuluan

Saat ini perkembangan teknologi yang semakin cepat di bidang internet, membuat penyebaran informasi semakin cepat. Salah satu kemudahan penyebaran media digital (gambar, suara, video) melalui internet membuat masyarakat dengan mudah mengakses semua media digital tersebut. Semakin majunya teknologi pasti memiliki dampak negatif, seperti penduplikasian data atau pembajakan dalam teknologi digital sangatlah mudah. Untuk mengatasi hal itu, teknik *watermarking* dapat digunakan sebagai salah satu solusi. *Digital watermarking* adalah proses penyisipan sebuah data watermark ke dalam data host digital (image, video, audio) sehingga hasil penyisipan tersebut bisa di ekstrak dan teknik ini berguna untuk pencegahan dan pengendalian penyebaran data digital yang dilindungi hak cipta. Impersibilitas (*imperceptibility*), ketahanan (*robustness*), kapasitas (*capacity*), dan keamanan (*security*) [1].

Pada penelitian C.U.I. Delong, L. Qirui, Y.U. Guilan, and X. Jianbin, *watermarking audio* dengan metode *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dan *Normed Centre of Gravity* (NCG) menunjukkan jika metode ini tahan terhadap serangan pemrosesan sinyal umum, yang lebih penting, algoritma yang diusulkan memiliki kemampuan untuk menahan serangan de-sinkronisasi [1]. Menurut penelitian M. Patil and J. S. Chitode dengan metode SWT tahan terhadap sinyal audio umum mengolah dan distorsi sinkronisasi [2]. Pada penelitian G. Valenzise, G. Prandi, M. Tagliasacchi, and A. Sarti menjelaskan *Compressive Sampling* adalah sebuah paradigma baru di proses sampling data dan yang memungkinkan untuk menyempurnakan sinyal dari sejumlah koheren [3]. Penelitian H. Wang, M. Fan, and Q. Qian menjelaskan tentang ketahanan audio centroid terhadap pengambilan kembali serangan, karena audio

centroid mewakili pusat distribusi energi dari bingkai audio, ini adalah karakteristik yang relatif stabil, dan penyimpangan akan berpusat pada sedikit setelah tingkat pengembalian sampel tertentu [4].

Pada penelitian G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. H. Shin, modulasi multicarrier pada sistem audio watermarking di proses embedding ada bit sinkronisasi dan kode bit EDC-ECC (Error Detection Code-Error Correction Code) untuk mengatasi masalah sinkronisasi dan kode konvolusional digunakan untuk koreksi kesalahan dan kode CRC (Cyclic Redundancy Check) digunakan untuk EDC [5]. Menurut penelitian G. Budiman, A. B. Suksmono, D. Danudirdjo, K. Usman, and D. H. Shin, di modulasi multicarrier di proses embedding mentransmisikan sumber biner N_c kuat terhadap beberapa serangan dengan laju lebih dari 64 kbps, tapi muatannya masih dibawah 50 bps [6]. Penelitian G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. Danudirdjo, watermarking audio adalah menemukan cara untuk meningkatkan muatan [7]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa muatannya tinggi, namun ketahanannya tidak baik. Dan di penelitian G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. Danudirdjo [8] hasil simulasinya mempunyai kapasitas yang rendah, dan tidak tahan dalam beberapa serangan seperti Time Scale Modulation dan Pitch Shifting.

Pada makalah ini digunakan metode *compressive sampling*(CS) dan sinkronisasi di *audio watermarking* stereo berbasis *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dan metode *audio* centroid. Penggunaan semua metode ini diharapkan dapat menghasilkan kualitas *audio watermarking* yang baik. Dalam proses embedding, host audio di framing. Kemudian, dilakukan penambahan bit sinkronisasi, proses SWT dan menentukan titik berat peletakkan watermark dengan centroid. Berikutnya, penyisipan watermark ke host audio dengan proses QIM. Setelah rekonstruksi frame maka di dapat audio terwatermarked. Setelah itu, dalam proses ekstraksi, langkah pertama adalah membaca file audio yang sudah di watermark. Kemudian mendeteksi letak watermark dengan sinkronisasi, lalu ke proses SWT dan melihat titik berat watermark dengan centroid. Lalu proses QIM modulator dengan memisahkan host audio dan watermark. Lalu melakukan proses rekonstruksi CS, kemudian melakukan pre processing untuk mendapatkan 2 dimensi watermark dan menghitung BER.

Makalah ini dideskripsikan sebagai berikut: pada bagian 1 menjelaskan pendahuluan yang meliputi hasil studi makalah yang menjelaskan penelitian terkait. Pada bagian 2 mendeskripsikan landasan teori mengenai *audio watermarking*. Pada bagian 3 menjelaskan perancangan sistem, seperti tahapan-tahapan dan model sistem yang digunakan pada makalah ini. Kemudian, pada bagian 4 menjelaskan hasil dan analisis beberapa parameter kinerja, sedangkan kesimpulannya adalah pada bagian 5.

2. Landasan Teori

2.1 Stationary Wavelet Transform

Stationary Wavelet Transform (SWT) adalah algoritma transformasi *wavelet* yang di rancang untuk menyempurnakan translasi-invarian dari *Discrete Wavelet Transform*(DWT). Translasi-invarian diperoleh dengan menghilangkan *downsamplers* dan *upsamplers* di DWT dan *upsampling* koefisien *filter* dengan faktor 2^{j-1} di level j th dari algoritma[1].

2.2 Compressive Sampling

Compressed Sampling merupakan teknik baru dalam proses sampling data dan kompresi data. Tujuan dari kompresi citra adalah memperkecil ukuran file citra sehingga lebih efisien dalam penyimpanan pada media storage serta dapat menjaga kualitas citra secara visual manusia setelah proses rekonstruksi citra terkompres dengan memperhatikan nilai *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR)[3].

2.3 Sinkronisasi

Sinkronisasi adalah tanda untuk lokasi watermark yang akan disisipkan di host audio. Tanda ini diperlukan saat audio menghadapi serangan yang berusaha menghilangkan watermark dengan berbagai cara baik itu memotong, menggeser, maupun kompresi pada audio[9].

2.4 Audio Centroid

Audio Centroid merupakan pusat distribusi energi setiap frame audio dan karekteristik yang relatif stabil, dan deviasi dari centroid akan kecil setelah tingkat tertentu re-sampling misalkan C_0 adalah centroid dari setiap frame audio asli dan C_1 adalah bahwa setiap frame audio setelah re-sampling, kemudian $C_1 - C_0$ menunjukkan deviasi dari pusat centroid [4].

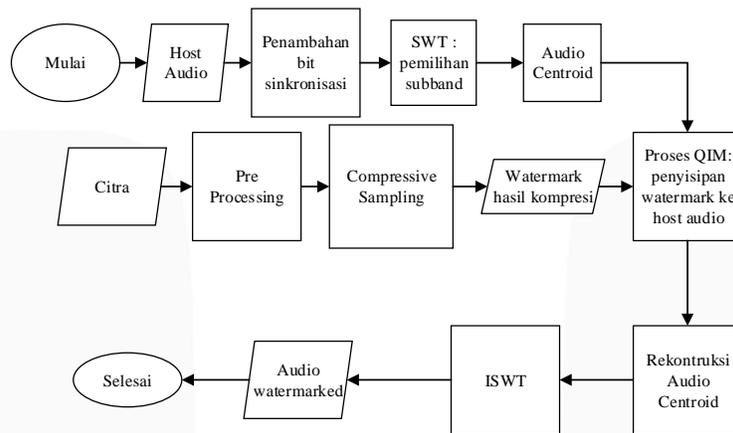
3. Perancangan Sistem

3.1 Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan adalah dengan menghitung nilai BER, SNR dan ODG. Untuk mengetahui nilai-nilai tersebut harus dilakukan proses embedding dan ekstraksi sinyal audio, karena nilai tersebut akan didapatkan saat kami membandingkan hasil dari sinyal sebelum dan sesudah di ekstraksi. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai proses *embedding* dan ekstraksi.

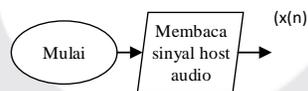
3.1.1 Proses embedding

Embedding adalah proses penyisipan *watermark* ke host sinyal audio. Berikut ini merupakan penjelasan prosesnya:



Gambar 1. Proses *Embedding*

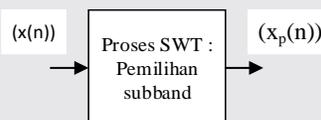
Langkah 1: Membaca sinyal host audio ($x(n)$) kedalam matriks satu dimensi



Gambar 2. Proses membaca sinyal host audio

Langkah 2: Dilakukan penambahan bit untuk proses sync (sinkronisasi)

Langkah 3: Dilakukan proses SWT untuk menentukan subband frekuensi ($(x_p(n))$) subband frekuensi tersebut akan dilakukan proses *embedding*.



Gambar 3. Proses SWT

Dalam watermarking embedding yang menggunakan SWT, pertama menyempurnakan DWT, maka dekomposisi sinyal di sempurnakan dengan cara:

$$y[n] = (x * g) [n] = \sum x [k] g [n - k] ; -\infty < k < \infty$$

Langkah 4: Masuk ke audio centroid ($x_p(k)$) yang merupakan pusat distribusi energi setiap frame audio dan mengubah ukuran otomatis timbre music.

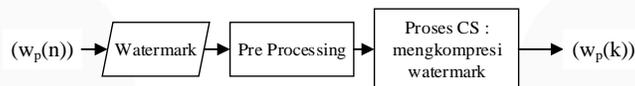


Gambar 4. Proses Audio Centroid

Rumus dari centroid:

$$C = floor \left(\frac{\sum_{p=1}^n p \times M(p)}{\sum_{p=1}^n M(p)} \right)$$

Langkah 5: *Watermark*($w_p(n)$) di ubah dari citra ke dalam bentuk biner dengan *pre processing*. *Watermark* dilakukan proses CS untuk mengkompresi watermark. lalu menjadi($w_p(k)$)



Gambar 5. Proses Pre processing, CS, penambahan bit sync

Langkah 6 : Hasil dari Audio Centroid digabung dengan hasil di step 5 melalui proses QIM

$$\Delta = \frac{1}{2^{(nbits-1)}}$$

$$Ak = (2k + 0.5)\Delta; Bk = (2k - 0.5)\Delta$$

Ket:

L= nilai bit watermark yang disisipkan(ketika 1 menggunakan rumus Ak, ketika 0 menggunakan Bk)

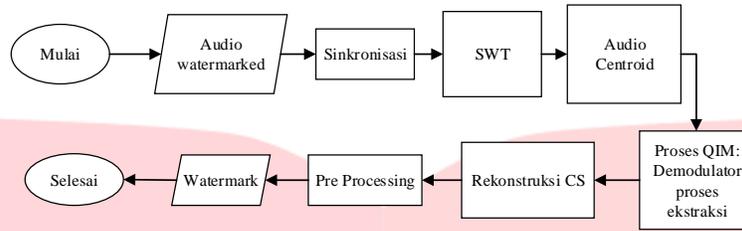
K=0,±1, ±2,...dll

Langkah 7: Dilakukan proses rekonstruksi centroid dan ISWT untuk mengembalikan sinyal menjadi seperti semula sebelum disisipi watermark, hasil dari proses ini adalah watermarked audio ($\widehat{x}(n)$) . Lalu dari watermarked audio kita mendapatkan nilai SNR dan ODG.

3.1.2 Proses Ekstraksi

File yang telah disisipkan watermark hasil dari pada proses embedding tersebut harus dilakukan ekstraksi untuk mengetahui seberapa bagus kualitas yang dapat dihasilkan dari metode yang diusulkan. Proses dari ekstraksi tersebut adalah sebagai berikut :

Catatan : Untuk penggunaan rumus perhitungan sama seperti yang dilakukan dengan proses *embedding*.



Gambar 6. Proses Ekstraksi

Langkah 1: Membaca sinyal *watermarked audio* dalam matriks satu dimensi.

Langkah 2 : Dilakukan kembali penambahan bit sinkronisasi untuk mengetahui letak bit awal dari sinyal tersebut.

Langkah 3: Dilakukan proses SWT untuk menentukan frekuensi yang akan digunakan untuk proses ekstraksi yaitu frekuensi rendah, frekuensi yang digunakan pada proses *embedding* dan *extraction* merupakan frekuensi yang sama. dan menghasilkan matriks

Langkah 4: Dilakukan proses ukuran perhitungan centroid .

Langkah 5: Dilakukan demodulator proses ekstraksi dengan proses QIM:

$$\hat{m} = \text{mod} \left(\text{cell} \left(\frac{f'(0)}{\Delta} \right), 2 \right)$$

Langkah 5: Dilakukan proses CS reconstruction .

Langkah 6: Dilakukan proses konversi dimensi dari matriks satu dimensi ke matriks dua dimensi, dilakukan pada proses pre-processing, lalu ambil *watermark* .

Langkah 7: Dilakukan perhitungan untuk nilai Bit Error Rate (BER).

3.2 Parameter yang digunakan

Dalam makalah ini kami menguji audio dan watermark yang telah diekstraksi dimana parameter yang kami gunakan adalah Signal to Noise Ratio (SNR), Bit Error Rate (BER), Objective Different Grade (ODG).

3.2.1 SNR

Merupakan suatu nilai yang menggambarkan banyaknya *noise* pada suatu sinyal. Pada audio *watermarking*, pengukuran SNR dilakukan untuk mengetahui tingkat *noise* pada suatu audio yang sudah disisipi *watermark*. Semakin rendah nilai SNR, maka *noise* pada file tersebut pun semakin besar, berarti keberadaan data yang disisipkan pun semakin terlihat jelas[10]

$$SNR = 10 * \log_{10} \left[\frac{\sum_{i=0}^{N-1} f^2(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} (g(n) - f(n))^2} \right]$$

Melihat dari persamaan diatas, *N* merupakan panjang audio, *f(n)* merupakan sampel sinyal audio asli, *g(n)* merupakan sampel sinyal *audio watermark* dan *e(n)=g(n)-f(n)*.

3.2.2 BER

Merupakan parameter pengukuran objektif yang digunakan untuk mengukur ketepatan data hasil ekstraksi pesan yang telah disisipkan pada suatu file audio dengan menghitung persentase bit yang salah dari hasil ekstraksi dengan bit keseluruhan sebelum dilakukan proses *embedding*. BER memiliki persamaan sebagai berikut[11]:

$$BER = \frac{\text{jumlah karakter yang salah}}{\text{jumlah karakter keseluruhan}} \times 100$$

3.2.3 ODG

Objective Different Grade (ODG) adalah parameter pengukuran objektif yang dihitung dengan evaluasi persepsi dari algoritma kualitas *audio* yang ditentukan dalam ITU-R BS. 1387-1 standar (*International Telecommunication Union-Radio-communication Sector*). Nilai ODG merupakan salah satu output yang didapatkan dari teknik perhitungan *Perceptual Evaluation of Audio Quality* (PEAQ). Penilaian ODG berkisar dari 0 sampai -4 seperti yang tertuang pada tabel

Tabel 3.1 Skala ODG/PEAQ

MOS	Kualitas	Level Distorsi
5	Sangat Baik	<i>Watermark</i> tidak terdengar sama sekali
4	Baik	<i>Watermark</i> terdengar, tapi hanya sedikit dan tidak mengganggu
3	Cukup Baik	<i>Watermark</i> sudah terasa dan sedikit mengganggu
2	Rusak	<i>Watermark</i> mengganggu sekali, tetapi audio masih bisa terdengar
1	Sangat Rusak	<i>Watermark</i> mengganggu sekali, sehingga audio tidak bisa didengar

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Parameter terbaik sebelum diserang dan dioptimasi

Ada beberapa parameter masukan penting untuk membuat sistem ini bekerja, yaitu N, Nframe, nbit, threshold, alfa, nblock, Nbsi. Parameter ini bisa mempengaruhi hasil sistem watermarking ini. Hasilnya tergantung pada nilai SNR dan ODG (imperceptibility), robustness (BER), dan kapasitas. Setelah melakukan beberapa uji coba, berikut parameter terbaik sebelum diserang:

Tabel 4.1 Hasil parameter terbaik sebelum di serang

N	N Frame	nbit	thr	alfa	nblock	Nbsi	ODG	SNR	BER	C
1	512	2	0.1	0.002	8	14	-3.8867	22.0341	0	36.1903

Dari table 4.1 diatas SNR, ODG, BER dan kapasitasnya sangat bagus. Watermark pun dapat terbaca dengan jelas.

4.2 Uji Coba dan Analisis Pengaruh Serangan

Ada 5 genre lagu yang berbeda yang diuji dengan serangan di bawah ini. Serangan tipe adalah LPF, BPF, Noise, Resampling, Time Scale Modification(TSM), Speed Change, Pitch Shifting, Equalizer, Echo, Kompresi Mp3 dan delay.

Tabel 4.2 Hasil rata-rata BER setelah diserang

Rata-rata	BER				
	Host.wav	Piano.wav	Gitar.wav	Drums.wav	Bass.wav
	0.39	0.47	0.39	0.36	0.41

Setelah diserang hasil rata-rata BER terbaik di table 4.3 adalah dari pengujian audio drums.wav, karena host drum memiliki hasil terburuk (setelah serangan, sebelum dioptimasi) dibandingkan host lain, yaitu bass, piano, gitar dan host. Nilai SNR adalah 23.3138 dB dan nilai ODG adalah -3.3625. Karena BER=0, dan watermark masih terbaca jelas.

Tabel 4.3 Hasil optimasi terbaik

N	N Frame	nbit	thr	posisi w	type w	issync	iscs	alfa	nblock	Nbsi	ODG	SNR	BER	C
1	32	3	0.1	0	1	1	1	0.002	9	14	-3.3625	23.3138	0	205.0781

4.3 Pengaruh Optimasi Terhadap Beberapa Jenis Serangan

Parameter di tabel 4.3 yang telah diperoleh akan diuji pada serangan lain dan hanya dilakukan pada host audio yang optimal, yaitu drums.wav. Tabel 3.4 menunjukkan SNR dan ODG semua host dan tabel 3.5 menunjukkan BER setelah optimasi pada semua serangan di drums.wav.

Tabel 4.4 Hasil SNR dan ODG Optimasi di Semua Serangan pada semua host

Host	SNR	ODG
Host.wav	8.6844	-3.5039
Piano.wav	25.6433	-3.8496
Gitar.wav	9.7604	-3.0061
Drums.wav	23.3138	-3.3625
Bass.wav	31.1732	-1.0133

Tabel 4.5 Hasil BER optimasi di Semua Serangan pada drums.wav

No	Jenis Serangan	BER
1	LPF	0
2	BPF	0
3	Noise	0.45
4	Resampling	0
5	TSM	0.35
6	Speed Change	0

No	Jenis Serangan	BER
7	Pitch Shifting	0.5
8	Equalizer	0.03
9	Echo	0.48
10	Kompresi Mp3	0.06
11	Delay	0

Dari tabel 4.4 dan tabel 4.5, serangan Pitch Shifting belum bisa dioptimasi karena kerusakan watermark yang masih di atas 50%. Selain meningkatkan watermark resistance, ada juga peningkatan ODG dan SNR.

Peningkatan nilai ODG dan SNR menjadi lebih baik, sedangkan pada host.wav dan nilai SNR gitar.wav sangat buruk. Tes subjektif juga dilakukan, dengan menggunakan 33 pendengar ke host audio dengan menggunakan parameter masukan optimal. Dalam pengujian yang didapat rata-rata dengan perhitungan Mean Opinion Score (MOS) pada lima host audio adalah 4.102.

5. Kesimpulan

Sistem ini menggunakan CS, sinkronisasi, SWT dan menggunakan metode QIM sebagai metode penyisipan. Audio watermarking dirancang untuk menahan beberapa serangan. Hasil simulasi setelah dioptimalkan adalah nilai BER semakin kecil atau mendekati 0. Nilai SNR dan ODG semakin baik dari host.wav dan gitar.wav. Hasil uji MOS cukup baik dengan rata-rata 4,102.

Daftar Pustaka

- [1] C. U. I. Delong, L. Qirui, Y. U. Guilan, and X. Jianbin, "Ltmk."
- [2] M. Patil and J. S. Chitode, "Improved Technique for Audio Watermarking Based on Discrete Wavelet Transform," no. 5, pp. 511–516, 2013.
- [3] G. Valenzise, G. Prandi, M. Tagliasacchi, and A. Sarti, "Identification of Sparse Audio Tampering Using Distributed Source Coding and Compressive Sensing Techniques," no. September 2008.
- [4] H. Wang, M. Fan, and Q. Qian, "Efficiently Self-synchronized Audio Watermarking Against Re-sampling Attack," pp. 335–338, 2011.
- [5] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. H. Shin, "A Multicarrier Modulation Audio Watermarking System," *Int. Conf. Electr. Eng. Informatics 2015*, no. 2, pp. 164–171, 2015.
- [6] G. Budiman, A. B. Suksmono, D. Danudirdjo, K. Usman, and D. H. Shin, "A modified multicarrier modulation binary data embedding in audio file," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 8, no. 4, pp. 762–773, 2016.
- [7] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. Danudirdjo, "Fibonacci Sequence Based FFT and DCT Performance Comparison in Audio Watermarking," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [8] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. Danudirdjo, "FFT-Based Audio Watermarking in Adaptive Subband with Spread Spectrum Framework," vol. X, no. X, pp. 3–8, 1843.
- [9] X. Y. Wang and H. Zhao, "A novel synchronization invariant audio watermarking scheme based on DWT and DCT," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 54, no. 12, pp. 4835–4840, 2006.
- [10] S. Chen, H. Huang, and C. Chen, "Adaptive Audio Watermarking via the Optimization Point of View on the Wavelet-Based Entropy," pp. 1–31.
- [11] S. Hussein, "ANALISA AUDIO WATERMARKING BERBASIS TEKNIK REPLICA MODULATIONS MENGGUNAKAN METODE PHASE SHIFTING REPLICA AUDIO WATERMARKING ANALISYS BASED ON REPLICA MODULATIONS TECHNIQUE USING PHASE SHIFTING REPLICA METHOD," vol. 2, no. 2, pp. 3031–3038, 2015.

