

ANALISIS KEMAMPUAN MPEG SPATIAL AUDIO OBJECT CODING UNTUK REPRODUKSI AUDIO MULTIKANAL

Amirul Luthfi dan Ikhwana Elfitri*

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

*Corresponding author, e-mail: ikhwana@ft.unand.ac.id

Abstrak— MPEG Spatial Audio Object Coding (MPEG SAOC) merupakan pengkode audio berbasis objek pertama yang telah distandardisasi oleh *International Organization for Standardization* (ISO). MPEG SAOC memiliki kemampuan reproduksi audio multikanal pada sisi *decoder*. Pada paper ini, dianalisis kemampuan reproduksi audio multikanal pada *decoder* MPEG SAOC dan dibandingkan dengan MPEG Surround (MPS). Hasil penelitian menunjukkan, MPEG SAOC dan MPS sama-sama memiliki *Objective Difference Grade* (ODG) pada level *imperceptible*. Namun, *encoder* MPEG SAOC hanya mendukung masukan satu objek audio multikanal saja.

Kata Kunci : Spatial Audio Object Coding, Audio berbasis Objek dan Audio Multikanal

Abstract— MPEG Spatial Audio Object Coding (MPEG SAOC) is the first standard on object-based audio coding released by International Organization for Standardization (ISO). The MPEG SAOC has ability to reproduce multichannel audio at the decoder side. In this paper, performance of the MPEG SAOC on multichannel audio reproduction is analyzed and compared to MPEG Surround (MPS). The results show both MPEG SAOC and MPS have Objective Difference Grade (ODG) at imperceptible level. However, the MPEG SAOC encoder can only supports one multichannel object audio input.

Keywords :Spatial Audio Object Coding, Object-based Audio, and Multichannel Audio

Copyright © 2017 JNTE. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Teknologi informasi dan multimedia berkembang pesat belakangan ini, salah satunya televisi digital. Televisi digital masa depan dilengkapi dengan video dengan resolusi 7680×4320 piksel sehingga menghasilkan detail gambar yang baik [1]–[3]. Video berkualitas tinggi juga didukung oleh audio multikanal untuk menghasilkan audio tiga dimensi (3D Audio) [4]–[10]. Selain itu, televisi masa depan juga dilengkapi dengan audio berbasis objek yang memungkinkan pengguna untuk mengatur volume (level) dari masing-masing objek audio [11]. Contohnya pada tayangan pertandingan sepak bola, dengan teknologi audio berbasis objek, pengguna dapat mengeraskan dan melemahkan level masing-masing objek audio seperti objek suporter, komentator, dan pemain.

Penggunaan teknologi audio pada televisi masa depan akan membutuhkan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan televisi konvensional. Seperti penggunaan audio multikanal 5.1 yang membutuhkan *bitrate* sebesar 320 kbps dengan

pengkode *Advanced Audio Coding* (AAC) [12]–[14], sedangkan teknologi sebelumnya yang menggunakan audio stereo hanya membutuhkan *bitrate* sebesar 128 kbps dengan pengkode yang sama. Demikian juga dengan penggunaan teknologi audio berbasis objek, yang mana setiap objek audio ditransmisikan secara independen, sehingga *bitrate* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah objek audio. Sehingga gabungan teknologi audio audio multikanal dan audio berbasis objek pada televisi masa depan akan membutuhkan *bitrate* yang sangat besar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, lahirnya *spatial audio object coding* (SAOC) yang merupakan gabungan dari *spatial audio coding* [15]–[17] dan *audio object coding* [18]–[21] sehingga memiliki kemampuan untuk mentransmisikan audio berbasis objek multikanal lebih efisien.

MPEG Spatial Audio Object Coding (SAOC) merupakan pengkode audio berbasis objek pertama yang telah distandardisasi oleh *International Organization for Standardization* (ISO) [22]–[27]. MPEG SAOC dirancang untuk dapat mengkodekan objek-objek audio lebih

efisien. Selain itu, MPEG SAOC juga memiliki kemampuan *backward compatibility*, sehingga pengaplikasian MPEG SAOC tidak akan menimbulkan permasalahan kompatibilitas yang menyebabkan *decoder* lama tidak dapat digunakan. *Decoder* MPEG SAOC juga mendukung reproduksi audio mono, stereo, *binaural*, dan multikanal, sehingga memberikan fleksibilitas pada sisi penerima.

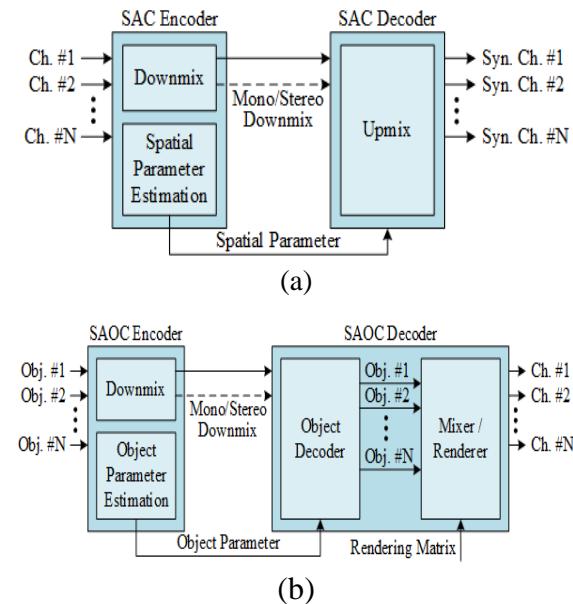
Untuk reproduksi audio multikanal, MPEG SAOC menggunakan *rendering matrix* sebagai parameter untuk mengkonversi objek audio menjadi audio multikanal. *Rendering matrix* berisi infomasi level dan posisi virtual (*spatial parameter*) dari masing-masing objek. Adapun kemampuan *rendering matrix* untuk reproduksi audio multikanal pada MPEG SAOC belum sepenuhnya diketahui. Atas dasar itulah, pada paper ini akan dibahas kemampuan reproduksi audio multikanal MPEG SAOC beserta kelebihan dan kekurangannya.

2. SPATIAL AUDIO OBJECT CODING

Spatial Audio Object Coding (SAOC) dikembangkan dari prinsip kerja *Spatial Audio Coding* (SAC). Gambar 1a menunjukkan arsitektur SAC, yang mana pada sisi *encoder* SAC audio multikanal di-downmix menjadi audio mono atau stereo. SAC *encoder* juga mentransmisikan *spatial parameter* yang menunjukkan karakteristik hubungan antar kanal. Selanjutnya pada sisi *decoder*, audio *downmix* dikonversi kembali menjadi audio multikanal berdasarkan *spatial parameter*-nya. Metode yang digunakan oleh SAC ini dapat menghemat penggunaan *bandwidth* karena audio yang ditransmisikan hanya berupa audio mono atau stereo saja.

Metode yang digunakan pada SAC diadopsi oleh SAOC, sehingga SAOC juga memiliki kemampuan mentransmisikan objek audio lebih efisien. *Encoder* SAOC men-downmix objek audio menjadi audio mono dan stereo seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1b. Selanjutnya, agar objek-objek audio dapat dipisahkan kembali pada sisi *decoder*, *object parameter* juga ditransmisikan ke sisi *decoder* SAOC. Kemudian, objek-objek audio yang telah dipisahkan oleh *object decoder* diumpulkan ke *renderer* untuk dikonversi menjadi kanal audio keluaran. Konversi objek audio menjadi kanal audio ini, diatur berdasarkan *rendering matrix*.

Rendering matrix pada SAOC merupakan representasi dari level (volume) dan posisi virtual dari masing-masing objek audio.



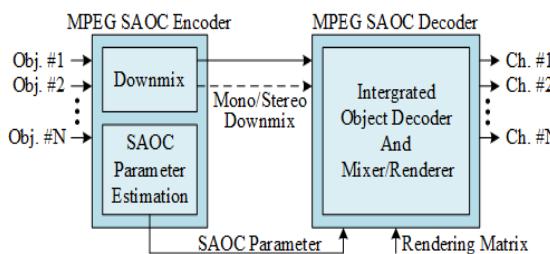
Gambar 1. Arsitektur (a) Spatial Audio Coding
(b) Spatial Audio Object Coding

3. MPEG SPATIAL AUDIO OBJECT CODING (MPEG SAOC)

MPEG *Spatial Audio Object Coding* merupakan standar pengkodean audio yang dikeluarkan oleh ISO/MPEG *Audio Standardization Group* yang memiliki kemampuan untuk mengodekan audio berbasis objek [22]–[27]. Gambar 2 menunjukkan arsitektur *encoder* dan *decoder* MPEG SAOC. Pada sisi *encoder*, MPEG SAOC men-downmix objek audio masukan menjadi audio mono atau stereo. Objek audio masukan pada MPEG SAOC *encoder* dapat berupa audio mono ataupun stereo. Adapun jumlah objek maksimal yang mampu ditransmisikan oleh MPEG SAOC adalah 32 objek. Pada sisi *decoder*, berbeda dengan *spatial audio object coding* pada umumnya, MPEG SAOC menggunakan sistem dengan *object decoder* dan *renderer* yang terintegrasi. Dengan demikian MPEG SAOC tidak lagi mengurai objek-objek audio terlebih dahulu, melainkan langsung memodifikasi sinyal *downmix* dan *me-render*-nya menjadi audio berbasis kanal.

Terdapat dua tipe pendekode pada MPEG SAOC yaitu MPEG SAOC *decoder* dan MPEG

SAOC *transcoder*. SAOC *decoder* digunakan untuk reproduksi audio mono dan stereo, sedangkan SAOC *transcoder* digunakan untuk reproduksi audio multikanal. Karena Paper ini hanya mengulas kemampuan reproduksi multikanal, sehingga hanya ditampilkan SAOC *transcoder* saja.



Gambar 2. Arsitektur MPEG SAOC

3.1. MPEG SAOC Encoder

Encoder MPEG SAOC memiliki 2 fungsi yaitu men-*downmix* objek-objek audio dan mengekstrak *object parameter* (SAOC Parameter). Sinyal *downmix* pada SAOC didefinisikan sebagai hasil perkalian *downmix matrix* (D) dan objek audio (S) [22].

$$X = DS \quad (1)$$

Downmix matrix berisi *gain factor* dari masing-masing objek audio yang nilainya ditentukan pada sisi *encoder* untuk mendapatkan audio *downmix* yang enak terdengar

MPEG SAOC memiliki beberapa *object parameter* yang dianalisis berdasarkan masukan objek audio. Jika $s_i^{n,k}$, merupakan objek audio ke- i pada sampel ke- n dan *hybridband* k , maka *object parameter*-nya adalah sebagai berikut [22]:

1. $nrg_{i,j}^{l,m}$ merupakan penjumlahan energi dari objek i dan objek j untuk *timeslot/frame* ke- l dan *processing/parameter band* m .

$$nrg_{i,j}^{l,m} = \frac{\sum_{n \in l} \sum_{k \in m} s_i^{n,k} (s_j^{n,k})^*}{\sum_{n \in l} \sum_{k \in m} 1} + \epsilon \quad (2)$$

2. *Absolute Object eNeRGy* (NRG) merupakan energi dari objek audio yang memiliki energi tertinggi.

$$NRG^{l,m} = \max_i (nrg_{i,i}^{l,m})$$

3. *Object Level Difference* (OLD) merupakan rasio perbandingan energi antara objek i terhadap objek dengan energi tertinggi.

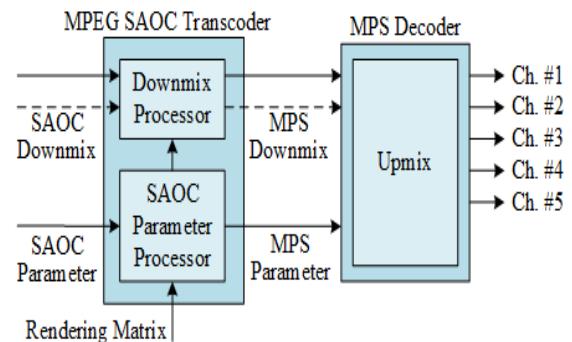
$$OLD_i^{l,m} = \frac{nrg_{i,i}^{l,m}}{NRG^{l,m}} \quad (4)$$

4. *Inter Object Correlation* (IOC) merupakan ukuran kemiripan atau korelasi antara objek audio i dan objek audio j

$$IOC_{i,j}^{l,m} = \text{Re} \left\{ \frac{nrg_{i,j}^{l,m}}{\sqrt{nrg_{i,i}^{l,m} nrg_{j,j}^{l,m}}} \right\} \quad (5)$$

3.2. MPEG SAOC Transcoder

MPEG SAOC *Trancoder* merupakan pendekode MPEG SAOC yang digunakan untuk reproduksi audio multikanal. Dalam me-*render* objek-objek audio menjadi audio multikanal, SAOC *transcoder* melibatkan *decoder* MPEG Surround (MPS). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur MPEG SAOC Transcoder

SAOC Transcoder terdiri atas dua bagian yaitu *downmix preprocessor* yang berfungsi memodifikasi sinyal *downmix* dan SAOC *parameter processor* yang berfungsi mensintesis MPS *parameter* berdasarkan SAOC *parameter* dan *rendering matrix*. Sinyal *downmix* yang dimodifikasi oleh *downmix preprocessor* berupa audio yang di atenuasi atau amplifikasi objek-objeknya berdasarkan *rendering matrix*. Dengan demikian, MPS *Decoder* hanya me-*render* atau mengkonversi audio *downmix* menjadi audio multikanal berdasarkan MPS *parameter*. Adapun proses modifikasi dan sintesis MPS *parameter* pada SAOC *transcoder* dapat dilihat pada [22], dan proses *upmix* pada MPS *decoder* dapat dilihat pada [17].

3.3. Multichannel Background Object (MBO)

MPEG SAOC *encoder* hanya dapat menerima masukan objek audio mono dan stereo. Fitur *Multichannel Background Object* berfungsi agar MPEG SAOC *encoder* memiliki kemampuan untuk menerima masukan objek audio multikanal dengan memanfaatkan MPS *encoder* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan menggunakan fitur MBO, objek audio multikanal di-downmix menggunakan MPS *encoder* untuk menghasilkan audio *downmix* mono atau stereo. Karena telah berupa objek audio mono atau stereo, audio *downmix* dapat menjadi masukan MPEG SAOC *encoder*. Agar objek audio tersebut dapat dikonversi kembali menjadi audio multikanal, MPS parameter yang dihasilkan MPS *encoder* ditransmisikan ke sisi penerima. Penggunaan fitur MBO hanya mendukung masukan satu buah objek audio multikanal saja.

4. PENGUJIAN KEMAMPUAN RENDERING SYSTEM MULTIKANAL MPEG SAOC

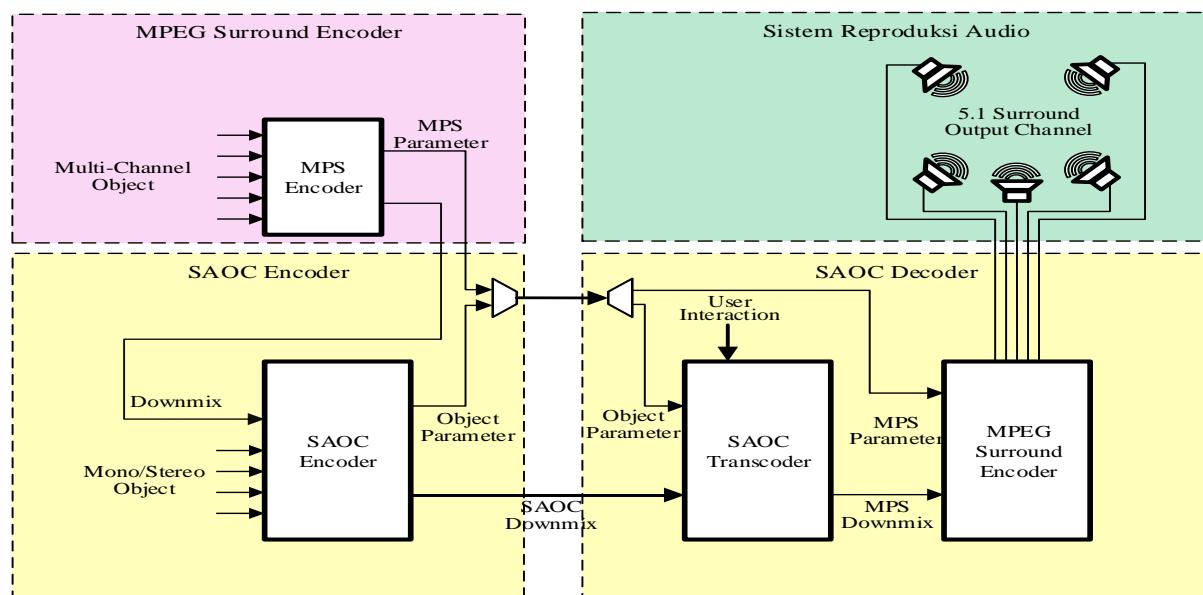
Rendering System MPEG SAOC memiliki kemampuan untuk reproduksi audio multikanal menggunakan *rendering matrix* sebagai *spatial parameter*-nya. Pada paper ini, dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan *rendering matrix* untuk reproduksi audio multikanal. Sebanyak 5 buah audio yang akan

digunakan pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Penggunaan *rendering matrix* sebagai *spatial parameter* akan dibandingkan dengan MPS *parameter* yang digunakan pada MPEG Surround (MPS) yang telah teruji kemampuannya dalam reproduksi audio multikanal.

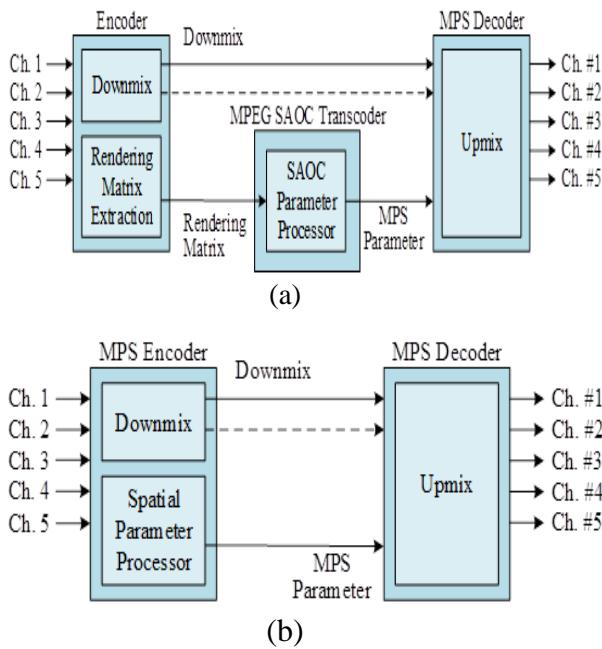
Tabel 1. Audio yang Diujikan

Audio	Deskripsi
Tepuk Tangan	Audio orang bertepuk tangan
Tertawa	Audio beberapa orang tertawa
Band Akustik	Bunyi gendang diiringi suara pria
Berita	Pria dan wanita membaca berita
Musik Klasik	Musik klasik dengan vokal wanita

Adapun diagram blok pengujian kinerja *rendering matrix* dan MPS *parameter* dalam reproduksi audio multikanal ditunjukkan pada Gambar 5. Kemampuan *rendering matrix* dan MPS *parameter* dalam reproduksi audio multikanal akan diuji menggunakan parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR)[28]. Selain itu, *rendering matrix* dan MPS *parameter* juga diuji menggunakan *Perceptual Evaluation of Audio Quality* (PEAQ) untuk mengetahui kualitas audio yang dihasilkan secara *perceptual* [29]–[31]. Dengan menggunakan PEAQ, kualitas audio dinilai dalam skala *Objective Difference Grade* (ODG) yang menunjukkan skala gangguan atau penurunan kualitas audio yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. MPEG SAOC dengan Multichannel Background Object



Gambar 5. Diagram Blok Pengujian
(a) *Rendering Matrix* dan (b) *MPS Parameter* sebagai *Spatial Parameter*

Tabel 2. Deskripsi Kualitas Audio berdasarkan Nilai ODG

Nilai ODG	Deskripsi
0	Tidak terdengar gangguan, <i>imperceptible</i>
-1	Terdengar gangguan namun tidak mengganggu
-2	Terdengar gangguan dan sedikit mengganggu
-3	terdengar gangguan dan mengganggu
-4	terdengar gangguan yang sangat mengganggu

5. ANALISIS KINERJA

Rendering system pada *decoder* MPEG SAOC menggunakan *rendering matrix* sebagai *spatial parameter* yang menunjukkan posisi virtual dari objek audio. Berdasarkan *signal-to-noise ratio* (SNR) pada Tabel 3, penggunaan *rendering matrix* sebagai *spatial parameter* memiliki SNR yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan *MPS parameter* yang digunakan pada MPEG Surround. Peningkatan nilai SNR ini menunjukkan, penggunaan *rendering matrix* memiliki kemampuan rekonstruksi sinyal audio multikanal yang lebih baik dibandingkan *MPS parameter*. Selain itu, berdasarkan nilai *objective difference Grande* (ODG), penggunaan *rendering matrix* dan *MPS parameter* memiliki

kualitas audio yang sama, yaitu pada level *imperceptible*. Hal ini menunjukkan penggunaan *rendering matrix* sebagai *spatial parameter* menghasilkan kualitas audio multikanal yang baik, sama seperti *MPS parameter* yang telah teruji kemampuannya.

Tabel 3. SNR dan ODG hasil pengujian

Audio	<i>Rendering Matrix</i>		<i>MPS Parameter</i>	
	SNR	ODG	SNR	ODG
Tepuk Tangan	32,47	0,107	21,86	-0,057
Tertawa	32,90	0,105	24,74	0,067
Band Akustik	31,28	-0,027	23,90	-0,138
Berita	31,29	-0,010	24,75	-0,119
Musik Klasik	34,37	0,141	21,85	-0,146

MPEG SAOC juga mendukung objek audio multikanal sebagai masukan pada sisi *encoder* menggunakan fitur *Multichannel Background Object* (MBO). Namun, fitur ini hanya mendukung masukan satu objek audio multikanal saja, sehingga menimbulkan masalah saat MPEG SAOC digunakan untuk aplikasi lain seperti *spatial karaoke* (3D-Karaoke). Pada aplikasi *spatial karaoke* seluruh objek audio harus berupa audio multikanal untuk memberikan efek 3D. Dengan demikian MPEG SAOC masih memiliki kelemahan pada sisi *encoder* dalam reproduksi audio multikanal.

6. KESIMPULAN

Decoder MPEG SAOC memiliki kemampuan *rendering system* yang baik untuk reproduksi audio multikanal ditunjukkan dengan *Objective Difference Grade* (ODG) pada level *imperceptible*. Namun, *encoder* MPEG SAOC hanya mendukung masukan satu objek audio multikanal saja. Meningkatkan kemampuan *encoder* MPEG SAOC untuk dapat mendukung banyak masukan objek audio multikanal akan menjadi topik menarik untuk diteliti, sehingga kemampuan *rendering system* MPEG SAOC dapat digunakan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Ito, "Future television - super hi-vision and beyond," in *Proc. IEEE Asian Solid State Circuits Conference*, 2010.
- [2] Y. Shishikui, I. Kazuhiza, S. Sakaida, K. Kazui, and A. Nakagawa, "High

- Performance video-codec for Super Hi-Vision," in *Proceedings of the IEEE*, 2013, pp. 130–139.
- [3] E. Nakasu, "Super Hi-Vision on the horizon: A future TV system that conveys an enhanced sense of reality and presence," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, pp. 36–42, 2012.
- [4] "Multichannel Stereophonic Sound System with and without Accompanying Picture BS Series," ITU-R BS.775-3, 2012.
- [5] S. Kim, Y. Lee, and V. Pulkki, "New 10.2-Channel Vertical Surround System (10.2-VSS): Comparasion Study of Perceived Audio Quality in Various Multichannel Sound Systems with Height Loudspeakers." *Presented at AES 129th AES Convention*, San Fransisco, USA, 2010.
- [6] K. Hamasaki, K. Hiyama, and R. Okumura, "The 22.2 multichannel sound system and its application," *Presented at 118th AES Convention*. Barcelona, Spain, pp. 1–11, 2005.
- [7] K. Hamasaki, T. Nishiguchi, R. Okumura, and Y. Nakayama, "Wide Listening Area with Exceptional Spatial Sound Quality of a 22.2 Multichannel Sound System." Vienna, Austria, 2007.
- [8] T. Sugimoto, Y. Nakayama, and S. Oode, "Bitrate of 22.2 Multichannel Sound Signal Meeting Broadcast Quality," in *Proc. 137th AES Convention*, 2014.
- [9] T. Nishiguchi, T. Sugimoto, Y. Nakayama, and K. Hamasaki, "Production and Live Transmission of 22.2 Multichannel Sound with Ultrahigh-Definition TV," in *Proc. 122nd AES Convention*, 2013.
- [10] K. Matsui and A. Ando, "Binaural Reproduction of 22.2 Multichannel Sound with Loudspeaker Array Frame," in *Proc. 135th AES Convention*, 2013.
- [11] R. Bleidt, A. Borsum, H. Fuchs, and S. M. Weiss, "Object-Based Audio: Opportunities for Improved Listening Experience and Increased Listener Involvement," *Motion Imaging Journal, SMPTE*, vol. 124, no. 5, pp. 1–13, 2015.
- [12] K. Brandenburg and M. Bosi, "ISO/IEC MPEG-2 Advanced Audio Coding: Review and Applications," *AES 103rd Convention*. New York, USA, 1997.
- [13] "Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated audio Information, Part 7 : Advanced Audio Coding," ISO/IEC 13818-7, 2006.
- [14] M. Bosi, K. Brandenburg, S. Quackenbush, L. Fielder, K. Akagiri, H. Fuchs, M. Dietz, J. Herre, G. Davidson, and Y. Oikawa, "ISO/IEC MPEG-2 Advanced Audio Coding," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 45, no. 10, pp. 789–814, 1997.
- [15] J. Herre, J. Breebaart, C. Faller, S. Disch, K. Kjorling, E. Schuijers, J. Hilpert, and F. Myburg, "The Reference Model Architecture for MPEG Spatial Audio Coding." Presented at AES 118th AES Convention, Barcelona, Spain, 2005.
- [16] I. Elfifri, "Spatial Audio Coding," *TeknikA*, vol. 1, no. 32, pp. 14–18, 2009.
- [17] J. Breebaart, G. Hotho, J. Koppens, E. Schuijers, W. Oomen, and S. van de Par, "Background, concept, and architecture for the recent MPEG surround standard on multichannel audio compression," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 55, no. 5, pp. 331–351, 2007.
- [18] M. Jia, Z. Yang, C. Bao, X. Zheng, and C. Ritz, "Encoding multiple audio objects using intra-object sparsity," *IEEE Trans. Audio, Speech Lang. Process.*, vol. 23, no. 6, pp. 1082–1095, 2015.
- [19] K.-L. Huang, T.-M. Chang, and P.-C. Chang, "An Object-Based Audio Rendering System using Spatial Parameters," in *The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics 2012*, 2012, pp. 687–688.
- [20] C. S. Cho, J. W. Kim, H. S. Shin, and B. H. Choi, "Implementation of an object audio system based on MPEG-4 audio lossless coding on DSP," *IEEE Int. Symp. Broadband Multimed. Syst. Broadcast. 2010, BMSB 2010 - Final Program.*, pp. 1–5, 2010.
- [21] S. Gorlow, E. A. P. Habets, and S. Marchand, "Multichannel object-based audio coding with controllable quality," in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2013, pp. 561–565.
- [22] "Spatial Audio Object Coding," ISO/IEC

- 23003-2, 2010.
- [23] J. Engdegard, B. Resch, C. Falch, O. Hellmuth, J. Hilpert, A. Hoelzer, J. Breebaart, J. Koppens, E. Schuijers, and W. Oomen, "Spatial Audio Object Coding (SAOC) – The Upcoming MPEG Standard on Parametric Object Based Audio Coding," *Presented at 124th AES Convention*. Amsterdam, The Netherlands, 2008.
- [24] J. Herre and S. Disch, "New Concepts in Parametric Coding of Spatial Audio: From SAC to SAOC," in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2007.
- [25] C. Falch, L. Terentiev, and J. Herre, "Spatial Audio Object Coding With Enhanced Audio Object Separation," in *DAFx-10 : proceedings of the 13th International Conference on Digital Audio Effects DAF*, 2010.
- [26] J. Park, J. Hong, K. Kim, and M. Hahn, "Harmonic elimination structures for Karaoke Mode in Spatial Audio Object Coding Scheme," in *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) Harmonic*, 2011, pp. 813–814.
- [27] O. Hellmuth, H. Purnhagen, J. Koppens, J. Herre, J. Engdegård, J. Hilpert, L. Villemoes, L. Terentiv, C. Falch, A. Höller, M. L. Valero, B. Resch, H. Mundt, and H. O. Oh, "MPEG Spatial Audio Object Coding-The ISO/MPEG Standard for Efficient Coding of Interactive Audio Scenes," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 60, no. 9, pp. 655–673, 2012.
- [28] Aude, Arlo J. 1998. Audio Quality Measurement Primer. AN9789
- [29] ITU-R BS.1387-1: "Method for Objective Measurements of Perceived Audio Quality", 2001.
- [30] Liebetrau, J., Sporer, T., Kampf, S., Schneider, S.: "Standarization of PEAQ-MC: Extension of ITU-R BS.1387 to Multichannel Audio". Presented at AES 40th Int. Conf, Spatial Audio: Sense the Sound of Space, Tokyo, Japan, October 2010.
- [31] Kabal, P.: "An examination and interpretation of ITU-R BS.1387: perceptual evaluation of audio quality", Telecommunication and Signal Processing Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, McGill University.

Biodata Penulis

Amirul Luthfi, lahir pada tanggal 5 Desember 1993 di Kerinci. Penulis merupakan alumni Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas dan sekarang sedang melanjutkan studi pada Program Studi S2 Teknik Elektro Universitas Andalas.

Ikhwana Elfifri, menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister pada bidang Teknik Telekomunikasi di Institut Teknologi Bandung (ITB) dan Doktoral pada *Department of Electronics*, University of Surrey, Inggris. Saat ini Dr. Elfifri bekerja sebagai dosen dengan jabatan akademik Lektor Kepala pada Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas. Sejak tahun 2011, ia telah secara aktif menjadi *reviewer* pada beberapa jurnal ilmiah termasuk *IEEE Transaction on Multimedia* dan *IET Signal Processing*. Dr. Elfifri adalah member *the Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE)* sejak tahun 2012 dan *Audio Engineering Society (AES)* mulai tahun 2015.