

PERANCANGAN DAN ANALISIS KINERJA PENGKODEAN AUDIO MULTICHANNEL DENGAN METODE CLOSED LOOP

Muhammad Sobirin dan Ikhwana Elfitri

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Andalas

Abstrak—*Codec* terbaru yang telah distandardisasi secara internasional adalah MPEG Surround. Namun sistem MPEG Surround *open loop* tidak memiliki kemampuan untuk meminimalkan *error*. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan dan analisis kinerja pengkodean audio dengan metode *closed loop* pada MPEG Surround yang dapat meminimalisasi terjadinya *error* pada kompresi audio *multichannel*. Penerapan metode *closed loop* menyebabkan kenaikan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR). Nilai rata-rata SNR untuk semua *bit rate* yang diperoleh adalah 17.67385 dB untuk metode *open loop* dan 23.82338 dB pada metode *closed loop*. Kenaikan SNR tertinggi mencapai 82.72% dibandingkan dengan metode *open loop*. Nilai rata-rata kenaikan *Objective Difference Grade* (ODG) untuk seluruh sampel audio adalah sebesar 0.143917. Secara *perceptual objective test* maupun *subjective test* menunjukkan bahwa audio hasil kompresi MPEG Surround dengan metode *closed loop* bekerja lebih baik daripada metode *open loop*. Secara keseluruhan, *impairment* pada audio hasil kompresi bersifat *imperceptible* pada *bit rate* 90 kbps atau yang lebih tinggi.

Kata Kunci : *Audio multichannel, MPEG Surround, Closed loop*

Abstract—The latest international standardized codec is MPEG Surround. But the open-loop system of the MPEG Surround not able to minimize errors. In this research, the design and performance analysis of the audio coding in MPEG Surround with closed-loop method which can minimize the occurrence of errors on multichannel audio compression was applied. The implementation of closed-loop method increase the value of Signal to Noise Ratio (SNR). The average value of SNR for all bit rate for open-loop and closed-loop method are 17.67385 dB and 23.82338 dB, respectively. The highest SNR increase reaches 82.72% in comparison with the open-loop method. The average value increase of Objective Difference Grade (ODG) for the entire audio sample is equal to 0.143917. In perceptual objective test and subjective tests indicate that the MPEG Surround with closed-loop method works better than the open-loop method. Overall, the impairment of audio compression is imperceptible at bit rate 90 kbps or higher.

Keywords: *Multichannel Audio, MPEG Surround, Closed loop*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan kualitas audio yang baik merupakan hal yang tak terpisahkan. Salah satunya adalah perkembangan teknologi *multichannel audio coding*. Dalam teknik *audio coding* terjadi proses kompresi dari sinyal audio yang direpresentasikan dengan jumlah bit sekecil mungkin dengan tetap mempertahankan kualitas sinyal audio dengan tujuan pentransmisian maupun penyimpanan.

Audio coding/compression masuk ke dalam bloksource *coding*. Beberapa contoh yang populer diantaranya *Waveform Audio*

(WAV), MPEG-1 layer 3 (MP3) dan MPEG Advance Audio Coding (AAC) atau biasa disebut MP4.

Teknologi *multichannel audio coding* bertujuan menghasilkan reproduksi suara yang lebih berkualitas dan nyata. Teknologi *multichannel* ini mampu memberikan hasil output audio yang membuat pendengar merasakan bahwa audio yang mereka dengar berasal dari sekeliling mereka sendiri sehingga memberikan kesan nyata.

Aplikasi *multichannel audio coding* menggunakan perangkat lunak atau *coder* untuk memproses audio orisinal menjadi audio dengan format *multichannel*. Beberapa jenis

coder tersebut antara lain, DTS (*Digital Theatre Sound*), DD+ (*Dolby Digital Plus*), DD (*Dolby Digital*), AAC (*MPEG 4 Advanced Audio Coding*) dan WMA 9 (*Windows Media Audio 9*).

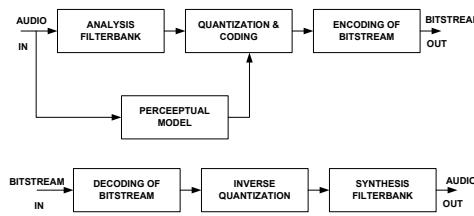
Codec terbaru yang telah distandardisasi secara internasional adalah MPEG Surround. MPEG Surround telah diadopsi oleh berbagai standard aplikasi seperti World DMB (DAB, DAB+, DMB), ISDB-Tmm, DVB, DRM+, AT-DMB, DLNA, OIPTV dan ATIS-IFF. Sistem MPEG Surround *open loop* tidak memiliki kemampuan untuk meminimalkan *error*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perancangan dan analisis kinerja pengkodean audio dengan metode *closed loop* pada MPEG Surround yang diharapkan dapat meminimalisasi terjadinya *error* pada kompresi audio *multichannel*. Pengujian sistem dilakukan dengan melakukan *listening test* berupa tes subjektif kepada pendengar. Kemudian pendengar akan memberikan nilai untuk audio sampel. Hasil pengujian sistem tersebut kemudian di analisis dengan standar internasional.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar *Perceptual Audio Coding*

Tugas utama dari sebuah *coder* adalah merepresentasikan data suatu sumber audio seefektif mungkin dengan tetap mempertahankan kualitas dari audio tersebut setelah dikompresi. Idealnya, Sinyal audio yang dikompresi harus terdengar identik dengan sinyal audio aslinya (*perceptual transparency*). Untuk tujuan ini, fokus *perceptual audio coding* lebih diutamakan untuk mengetahui kualitas dari audio yang optimal secara subjektif daripada pengukuran objektif seperti *mean squared error* (MSE) atau *Signal-to-Noise Ratio* (SNR).

Perceptual audio coding memanfaatkan pengetahuan tentang persepsi manusia terhadap suara dalam bidang *Psychoacoustics* yang memungkinkan untuk meneliti batasan yang dapat diterima manusia secara *perceptual* pada *coding distortion* dan pengkodean yang handal yang dapat meminimalkan gangguan subjektif yang ditimbulkan oleh *coding distortion* pada *bitrate* yang rendah.



Gambar 1. Struktur Umum *Coder* dan *Decoder* pada *Perceptual Audio*

Dari Gambar 1 dapat dilihat blok diagram dasar dari perceptual *audio coder* monofonik yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu [1]:

a. Analisis *Filterbank*

Sinyal input dipetakan ke representasi spektral *subsample* menggunakan beragam tipe analisis *filterbank*. Untuk alasan efisiensi pengkodean, skema pengkodean modern memiliki ciri penggunaan *filterbank* dengan sampling kritis (jumlah sampel input sama dengan koefisien spektral) dan *window* analisis yang tumpang-tindih antara *frame* analisis berikutnya. Contohnya terdapat pada *modified discrete cosine transform* (MDCT), *filterbank* fasa jamak (*polyphase*) atau struktur *hybrid* [9] [10].

b. *Perceptual Model*

Waktu dan frekuensi *threshold* sinyal diperkirakan dengan menggunakan *perceptual model*. Nilai ini menggambarkan *error* kuantisasi maksimum yang terdapat pada sinyal audio dengan tetap mempertahankan kualitas sinyal aslinya. *Perceptual model* pada *audio coding* bergantung pada efek *psychoacoustics* seperti *masking* dalam domain frekuensi, efek *temporal masking*, dan *masking* asimetris antara bunyi dan *noise*.

c. Kuantisasi dan Pengkodean

Nilai spektral dikuantisasi dan dikodekan dengan presisi yang sesuai dengan estimasi *masking threshold*. Dengan cara ini, *noise* kuantisasi tersembunyi oleh sinyal yang ditransmisikan sehingga *noise* tidak terlihat setelah di *decoding*. Kuantisasi *uniform* dan

non-uniform digunakan dalam konteks *perceptual audio coding*.

Pengurangan redundansi dapat dilakukan dengan teknik pengkodean entropi, seperti *Huffman coding*. *Codec* sering beroperasi di bawah keterbatasan *bitrate* yang ditetapkan pengguna, karena tidak mungkin untuk memenuhi dua batasan pada saat yang sama. Ketika *masking threshold* yang diestimasi menunjukkan target nilai minimum dari representasi sinyal yang dikodekan, *coder* sering kali beroperasi dibawah batasan *bitrate* yang dipilih *user*. Algoritma *encoding* yang baik harus mampu menghasilkan representasi solusi *encoding* yang dapat diterima untuk melihat kualitas audio di berbagai kasus. Disamping aspek *perceptual model*, aspek alokasi bit/alokasi *noise* merupakan bagian penting untuk optimasi *audio coder*.

d. Bitstream Encoding

Seluruh informasi yang relevan (nilai spektral yang dikodekan dan informasi tambahan) dipaketkan menjadi *bitstream* dan ditransmisikan ke *decoder*.

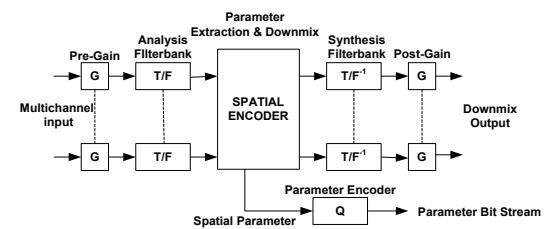
Proses yang sebaliknya berlaku pada *decoder* seperti tampak pada bagian bawah Gambar 2.1. *Bitstream* didekodekan dan diuraikan menjadi data spektral dan informasi tambahan. Kemudian diperoleh invers kuantisasi dari koefisien spektral terkuantisasi. Akhirnya, nilai spektral dipetakan kembali ke representasi domain waktu menggunakan sintesis *filterbank*.

2.2 Struktur Encoder MPEG Surround

Struktur *encoder* MPEG Surround ditunjukkan pada Gambar 2. Sebuah sinyal input *multichannel* diproses pertama kali oleh *channel-dependent pregain*. Penguat ini memungkinkan penyesuaian level pada *channel* tertentu (misalnya, LFE dan *surround*) dalam *downmix* yang ditransmisikan.

Selanjutnya sinyal input diuraikan ke bentuk waktu atau frekuensi menggunakan analisis *filterbank*. *Encoder* spasial menghasilkan sinyal *downmix* dan parameter spasial untuk tiap bagian waktu dan frekuensi. Parameter ini dikuantisasi dan dienkoding menjadi parameter *bitstream* oleh *encoder* parameter Q. *Downmix* dikonversi ke *domain* waktu menggunakan sintesis *filterbank*.

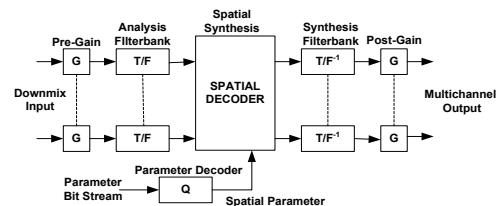
Terakhir, *postgain* diaplikasikan untuk mengatur keseluruhan level sinyal *downmix* [2]-[4][6].



Gambar 2. Struktur *Encoder* MPEG Surround

2.3 Struktur Decoder MPEG Surround

Struktur *decoder* MPEG Surround ditunjukkan pada Gambar 3. Proses *downmix* pertama kali dilakukan *pregain*, yang merupakan kebalikan *postgain* pada *encoder* MPEG Surround. Kemudian sinyal input diproses dengan analisis *filterbank* yang identik dengan *filterbank* di *encoder*.



Gambar 3. Struktur *Decoder* MPEG Surround

Decoder spasial menghasilkan audio *multichannel* dengan mengatur sifat spasial pada parameter yang didekoding. Akhirnya, dengan menerapkan sintesis *filterbank* dan *postgain* (kebalikan *encoder* *pregain*) menghasilkan sinyal output *multichannel* dalam *domain* waktu [2][13][15].

III. METODOLOGI

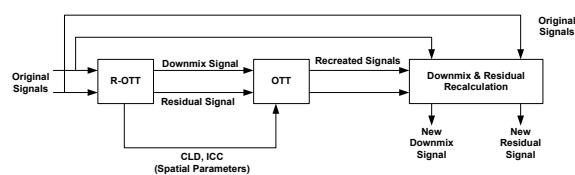
3.1 Proses dan Jenis Penelitian

Berdasarkan tujuan dan manfaat penelitian, maka penelitian ini termasuk penelitian analisis. Maksudnya bahwa penelitian ini merupakan perancangan, pengujian dan analisa terhadap suatu aplikasi, dalam hal ini pengkodean audio *multichannel*.

Proses penelitian perancangan dan analisis kinerja pengkodean audio *multichannel* dengan metode *closed loop* dapat dilihat pada Gambar 4.

3.2 Metode *Closed Loop* pada Pengkodean Audio *Multichannel*

Gambar 5 mengilustrasikan prinsip kerja metode *closed loop* yang akan dirancang. Model sistem yang dapat mensintesis sinyal dengan sejumlah set parameternya ditentukan[16]. Model sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah MPEG Surround[17].



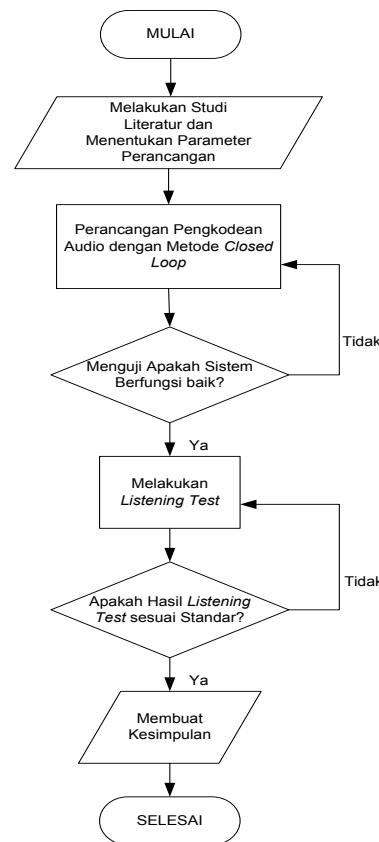
Gambar 5.Blok Diagram Metode *Closed Loop*

Perbedaan antara sinyal yang diobservasi dan sinyal hasil sintesis digunakan pada blok *error minimization* untuk menentukan parameter sistem yang optimal[16].

Konfigurasi *spatial encoder* yang diterapkan pada metode *closed loop* ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Penggunaan metode *closed loop* bertujuan untuk mengurangi *error* yang terjadi pada proses kuantisasi. Pada penelitian sebelumnya digunakan metode *closed loop R-OTT module*. Penggunaan metode *closed loop R-OTT* ini menyebabkan akumulasi *error* yang besar karena sinyal audio diproses per blok R-OTT. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan metode *closed loop* pada *coding tree R-OTT* yang telah diintegrasikan agar *error* tersebut dapat lebih diminimalkan.

Hybrid QMF tidak sesuai untuk digunakan pada metode *closed loop*, karena respon impuls dari analisis dan sintesis filterbanknya berbeda, sehingga menyebabkan *delay*. Namun hal ini tidak terjadi jika digunakan MDCT. Selain itu, penggunaan MDCT pada metode *closed loop* adalah karena kemampuannya dalam merekonstruksi sinyal dengan sempurna[14].



Gambar 4.Flow Chart Penelitian

Setiap blok R-OTT menghasilkan sinyal *downmix*, residual, dan *spatial parameter* (CLD dan ICC) seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Sinyal *downmix* dan residual pada blok R-OTT secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan berikut ini:

$$dm_2 = \frac{xr_1 + xr_2}{g_a + g_b} \quad (1)$$

$$res_2 = xr_1 - g_a \cdot dm_2 = g_b \cdot dm_2 - xr_2 \quad (2)$$

$$dm_3 = \frac{xr_3 + xr_4}{g_a + g_b} \quad (3)$$

$$res_3 = xr_3 - g_a \cdot dm_3 = g_b \cdot dm_3 - xr_4 \quad (4)$$

$$dm_1 = \frac{dm_2 + dm_3}{g_a + g_b} \quad (5)$$

$$res_1 = dm_2 - g_a \cdot dm_1 = g_b \cdot dm_1 - dm_3 \quad (6)$$

$$mix = \frac{dm_1 + xr_5}{g_a + g_b} \quad (7)$$

$$res_0 = dm_1 - g_a \cdot mix = g_b \cdot mix - xr_5 \quad (8)$$

Untuk mengaplikasikan sistem *closed loop*, maka blok OTT ditempatkan di *encoder* untuk merekonstruksi sinyal audio. Output dari

coding tree R-OTT berupa sinyal *downmix*, residual, dan *spatial parameter* (CLD dan ICC) kemudian diproses di blok OTT. Sinyal *downmix* dan residual pada blok OTT secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan berikut ini:

$$rdm_1 = g_a \cdot mix + res_0 \quad (9)$$

$$rdm_2 = g_a \cdot rdm_1 + res_{1new} \quad (10)$$

$$rdm_3 = g_b \cdot rdm_1 - res_{1new} \quad (11)$$

$$res_{2new} = xr_1 - g_a \cdot rdm_2 \quad (12a)$$

$$res_{2new} = g_b \cdot rdm_2 - xr_2 \quad (12b)$$

$$res_{3new} = xr_3 - g_a \cdot rdm_3 \quad (13a)$$

$$res_{3new} = g_b \cdot rdm_3 - xr_4 \quad (13b)$$

$$res_{1new} = dm_2 - g_a \cdot rdm_1 \quad (14a)$$

$$res_{1new} = g_b \cdot rdm_1 - dm_3 \quad (14b)$$

Konstanta energi kedua sinyal (g_a dan g_b) dinyatakan oleh persamaan 15a dan 15b.

$$g_a = \lambda_1 \cos(\alpha + \beta) \quad (15a)$$

$$g_b = \lambda_2 \cos(\alpha - \beta) \quad (15b)$$

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 = 1 \quad (16)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{10^{CLD/10}}{1+10^{CLD/10}}} \quad (17a)$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{1}{1+10^{CLD/10}}} \quad (17b)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arccos(ICC) \quad (18)$$

$$\beta = \tan\left[\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1}\right] \operatorname{arc tan}(\alpha) \quad (19)$$

$$CLD_b = 10 \log_{10} \frac{\sigma_{X_{1,b}}^2}{\sigma_{X_{2,b}}^2} \quad (20)$$

Dengan $\sigma_{X_{1,b}}^2$ adalah energi sinyal X_i pada parameter *band b*,

$$\sigma_{X_{1,b}}^2 = \sum_k \sum_{m=m_b}^{m_b+1-1} X_{i,m}[k] X_{i,m}^*[k] \quad (21)$$

$$ICC_b = \operatorname{Re} \left\{ \frac{\sum_k \sum_{m=m_b}^{m_b+1-1} X_{1,m}[k] X_{2,m}^*[k]}{\sigma_{X_{1,b}} \sigma_{X_{2,b}}} \right\} \quad (22)$$

Jika kita lakukan substitusi persamaan 14 ke persamaan 10 dan 11, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$res_{1new} = dm_2 - g_a \cdot rdm_1$$

$$rdm_2 = g_a \cdot rdm_1 + res_{1new}$$

$$rdm_2 = g_a \cdot rdm_1 + dm_2 - g_a \cdot rdm_1$$

$$rdm_2 = dm_2$$

$$res_{1new} = g_b \cdot rdm_1 - dm_3$$

$$rdm_3 = g_b \cdot rdm_1 - res_{1new}$$

$$rdm_3 = g_a \cdot rdm_1 - (g_b \cdot rdm_1 - dm_3)$$

$$rdm_3 = dm_3$$

Berdasarkan analisis secara matematis tersebut, dapat dilihat bahwa sinyal *downmix* pada blok R-OTT sama dengan OTT. Sehingga dapat dikatakan bahwa tidak terdapat *error* pada output *encoder*.

Hasil output *encoder* adalah sinyal *downmix*, sinyal residual, dan *spatial parameter* (CLD dan ICC) yang kemudian dikirimkan ke *decoder* untuk direkonstruksi kembali menjadi audio *multichannel*.

3.3 Sampel Audio dan Subjek *Listening Test*

Sampel *audio* yang digunakan adalah *audio digital* dengan format *waveform* (.wav). Jenis *audio* yang digunakan sebagai sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel Audio yang digunakan

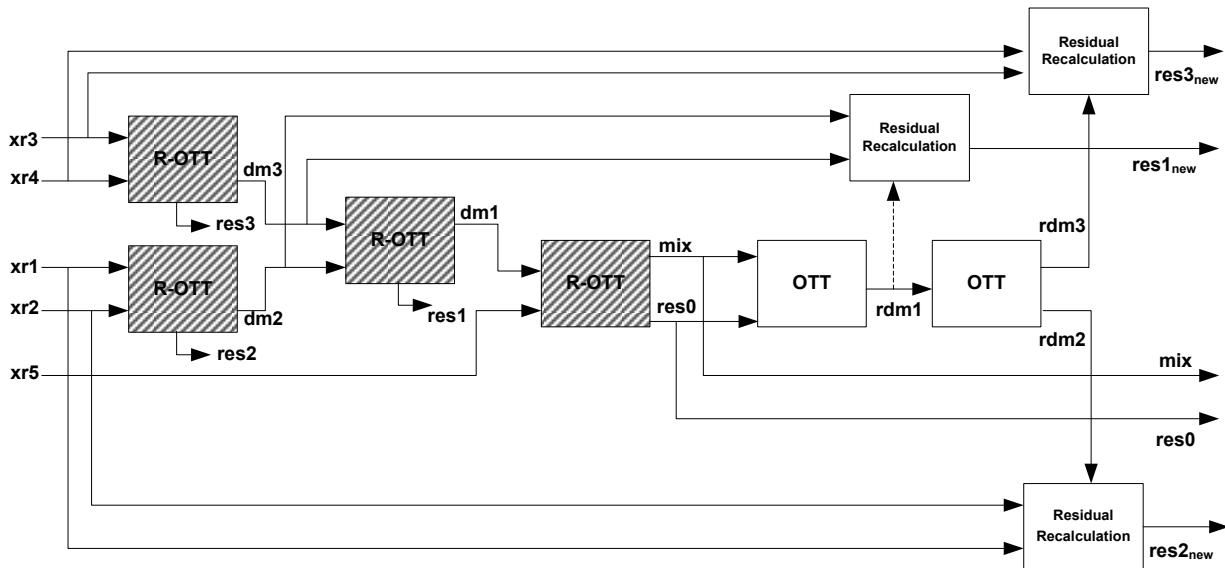
Jenis Audio	Codec	Channel Mode	Bit Rate/ Channel (kbps)
Tertawa	MPEG Surround	5.1 channel	40, 60, 80, 100, 120, 140, 160.
Musik Klasik			
Musik Akustik			
Suara Manusia			
Tepuk tangan			

Kelima jenis audio ini dikompresi dengan codec MPEG Surround standard dan *closed loop*.

Dalam praktiknya, terdapat dua jenis pendengar dalam pengujian sinyal audio, yaitu:

- Pendengar Ahli

Pendengar ahli merupakan subjek tes yang memiliki kemampuan dalam bidang *audio*. Khususnya dalam pendekripsi gangguan pada sinyal *audio*. Sangat penting dalam pengujian subjektif dengan gangguan kecil untuk mendapatkan data penilaian dari subjek uji yang memiliki kemampuan dalam



Gambar 6. Konfigurasi *Spatial Encoder* Metode *Closed Loop*

mendeteksi gangguan kecil sehingga data yang didapat memiliki kualitas yang tinggi dan akurat.

2. Pendengar Tidak Ahli

Pada rekomendasi ITU-R BS.1116-1 diatur beberapa proses pemilihan subyek tes[18].

a. Pre-screening subjects

Pre-screening subjects merupakan pemilihan subjek dengan mempertimbangkan pengalaman subjek tes dan kinerja dalam pengujian. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pada pengujian yang dilakukan.

b. Post-screening subjects

Proses pemilihan subjek ini didasarkan pada dua faktor utama. Pertama didasarkan pada perbandingan inkonsistensi terhadap hasil rata-rata dari subjek yang bergantung pada kemampuan subjek untuk memberikan identifikasi yang benar. Kedua, faktor statistik dari subjek yang didapat dari faktor pertama. Kedua hal ini dapat memperjelas hasil pengujian yang dilakukan.

Subjek yang terlibat dalam pengujian ini adalah mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas. Seluruh subjek diberi pelatihan atau *training* yang berhubungan dengan pengujian dan sistem *audio*

multichannel. Ke-20 subjek yang dipilih, secara berurutan melakukan pengujian dan memberikan penilaian berdasarkan kualitas audio yang didengar.

3.4 Teknik Analisis Pengujian

Metode pengujian yang digunakan pada pengujian subjektif *small impairment* adalah metode yang disebut *the double-blind triple-stimulus with hidden reference*. Metode ini memiliki kestabilan dan sensitivitas yang baik dan memungkinkan untuk menghasilkan data yang akurat.

Pada metode ini, digunakan tiga stimulus atau materi pengujian. Stimulus pertama atau stimulus A merupakan sinyal audio (sinyal asli) yang diketahui oleh subjek. Stimulus kedua dan ketiga (stimulus B dan stimulus C) merupakan stimulus yang tidak diketahui oleh subjek (pendengar) dan diberikan secara acak kepada subjek pengujian.

Subjek akan diminta membandingkan sinyal *audio* stimulus B dengan sinyal *audio* stimulus A, dan stimulus C dibandingkan dengan stimulus A. Berdasarkan standar yang ada pada rekomendasi ITU-R BS.1116-1 audio B dan C harus dapat dibedakan dengan audio A[5][18]-[25].

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan *grade* terhadap hasil output audio yang dihasilkan dengan metode *closed loop*. Posisi pendengar dan posisi *speaker* diposisikan dalam keadaan tetap atau tidak berpindah.

Dimana pendengar akan berada pada pusat area keluaran *speaker* yang diletakkan mengelilingi pendengar dengan sudut-sudut dan jarak tertentu[20-22].

3.5 Akuisisi Data

Kinerja sistem akan diujikan dan dianalisis dengan menggunakan penilaian subjektif dengan metode *small impairment*. Pendengar memberikan nilai untuk masing-masing audio yang diujikan dengan kriteria audio sesuai pada Tabel 2. Data tersebut diuji validitasnya menggunakan metode *post screening*.

Subjective Difference Grade (SDG) masing-masing subjek dihitung untuk mendapatkan nilai *subject expertise*. SDG merupakan selisih antara *grade* kualitas sinyal *under test* dengan *grade* kualitas sinyal asli[16]. Kedua sinyal diukur dengan menggunakan skala gangguan (1 sampai 5). Skala SDG yang digunakan berada pada rentang 0 hingga (-4).

Tabel 2. Skala Nilai Audio pada Pengujian Subjektif

Impairment	Grade
Imperceptible	5
Perceptible, but not annoying	4
Slightly Annoying	3
Annoying	2
Very Annoying	1

Persamaan 23 digunakan untuk normalisasi hasil subjek dengan tetap mempertahankan skala asli[23].

$$Z_i = \frac{(x_i - x_{si})}{s_{si}} \cdot s_s + x_s \quad (23)$$

Keterangan :

Z_i= Hasil normalisasi

X_i= Nilai subjek ke-i

X_{si}= Nilai rata-rata subjek ke-i pada sesi s

X_s= Nilai rata-rata total subjek pada sesi s

S_s= Standar deviasi semua subjek pada sesi s

S_{si}= Standar deviasi subjek ke-i pada sesi s

Setelah nilai normalisasi didapat, kemudian dilanjutkan dengan menentukan nilai SDG atau nilai valid untuk *codec* yang diuji. Nilai SDG dihitung dengan mengurangkan nilai

normalisasi sinyal *undertest* dengan sinyal asli. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 24 untuk menentukan SDG tiap sampel.

$$SDG = Z_{i(\text{undertest})} - Z_{i(\text{original})} \quad (24)$$

Setelah didapat nilai SDG kemudian dapat dilakukan analisa hasil pengujian. Data SDG yang didapat harus disajikan ke dalam nilai selang kepercayaan (*confidence interval*). Nilai ini didapat dari standar deviasi dan besar data sampel yang digunakan dengan besar probabilitas *confidence interval* yang digunakan pada pengujian adalah 90%. Hal ini dilakukan untuk menentukan rentang nilai rata-rata data yang didapat memiliki kemungkinan populasinya nilai yang masuk pada rentang 90%.

$$\delta = \alpha \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (25)$$

$$\alpha = 1 - Prob. \delta \quad (26)$$

Keterangan :

δ = Confidence Interval

α = level signifikan yang digunakan

S = Standar deviasi

N = Besar data sampel

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

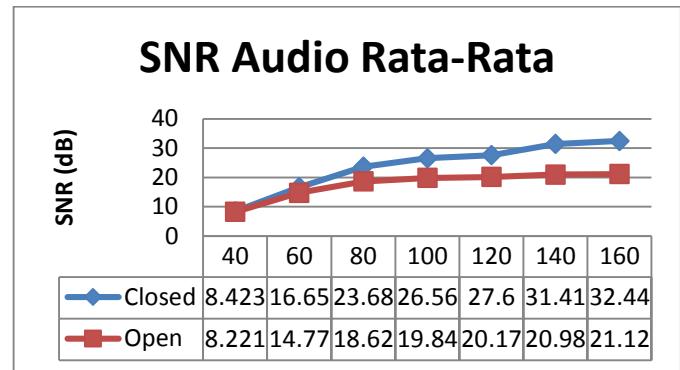
Pengukuran SNR dilakukan untuk mengevaluasi keseluruhan kinerja dari rancangan pengkodean audio multichannel metode *closed loop* dengan *bit rate* yang bervariasi dan membandingkannya dengan kinerja metode *open loop*.

Tabel 3. Perbandingan Kinerja Sistem MPEG Surround dengan Metode berbeda

No.	Audio	Bitrate/ Channel (kbps)	Open Loop		Closed Loop	
			ODG	SNR (dB)	ODG	SNR (dB)
1.	Tepuk Tangan (applause.wav)	40	-3.3646	4.1295	-3.3646	4.1509
		60	-1.9953	10.2972	-1.8574	10.4734
		80	-1.2313	16.3409	-0.9934	17.2262
		100	-0.4987	19.1782	-0.1792	21.0822
		120	-0.1756	19.9438	0.0027	22.3759
		140	-0.034	22.0885	0.0100	27.2019
		160	-0.0458	22.4091	0.0138	28.2889
2.	Musik Klasik (vivaldi.wav)	40	-3.5312	8.6758	-3.5537	9.0449
		60	-2.2654	15.8	-1.9791	18.8109
		80	-0.9274	18.2949	-0.5538	26.5909
		100	-0.3756	18.6255	-0.0529	28.7195
		120	-0.2467	18.7129	-0.0288	29.4535
		140	-0.1287	19.0119	0.0123	33.9172
		160	-0.0821	19.0519	0.0866	34.8112
3.	Musik Akustik (drum.wav)	40	-2.6976	12.2158	-2.6243	12.9610
		60	-1.4606	17.1580	-1.2808	20.3650
		80	-0.6216	19.79	-0.4704	26.2351
		100	-0.2690	20.6121	-0.0664	28.9109
		120	-0.1510	20.9611	0.0236	30.2002
		140	-0.0787	21.3035	0.0206	32.9345
		160	-0.0524	21.3831	0.0653	33.7736
4.	Tertawa (laughter.wav)	40	-3.2689	6.9275	-3.2695	7.0688
		60	-1.9942	14.8932	-1.8274	15.9513
		80	-0.9331	19.0386	-0.7203	22.7019
		100	-0.3176	20.1968	-0.0567	25.6868
		120	-0.1043	20.2782	0.1044	25.8868
		140	0.0187	21.1445	0.0313	30.3651
		160	0.0502	21.2935	0.0667	31.2502
5.	Suara Manusia (talking.wav)	40	-3.0417	9.1586	-3.1776	8.8881
		60	-1.9278	15.6802	-1.7814	17.6299
		80	-0.7610	19.6534	-0.5646	25.5300
		100	-0.2588	20.5830	-0.1058	28.4129
		120	-0.1406	20.9723	-0.0061	30.0771
		140	-0.0776	21.3289	0.0195	32.9858
		160	-0.0537	21.4523	0.0508	34.0868

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data, didapat data SNR yang menyatakan kualitas metode yang diterapkan pada MPEG Surround yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada metode *closed loop* yang diterapkan pada MPEG Surround menyebabkan kenaikan SNR jika dibandingkan dengan metode *open loop*. Persentase kenaikan ini menjadi semakin tinggi jika *bit rate* dinaikkan. Kenaikan SNR terendah pada audio ‘Tepuk Tangan’ dengan *bitrate/channel* 40 kbps, yaitu 0.52%. Sedangkan kenaikan SNR tertinggi pada audio ‘Musik Klasik’ dengan *bitrate/channel* 160 kbps, yaitu 82.72%. Persentase kenaikan SNR rata-rata untuk seluruh sampel audio adalah sebesar 30.90528%.

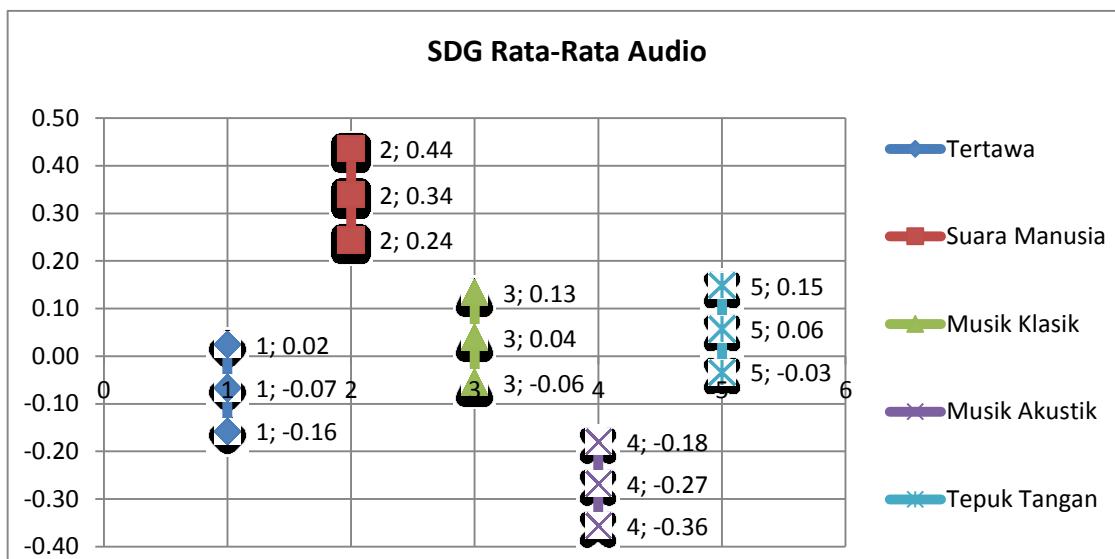


Gambar 7. Perbandingan Nilai SNR

Tujuan dari tes objektif adalah untuk mengestimasi kualitas perceptual dari rancangan pengkodean audio dengan *bit rate* yang bervariasi. Belum ada tes objektif untuk sinyal audio *multichannel* kualitas tinggi. Sehingga dapat disesuaikan dengan *perceptual evaluation of audio quality* (PEAQ)[25], rekomendasi ITU-R BS.1387-1 untuk penilaian sinyal audio mono, dan berdasarkan proses standarisasi yang ada dilakukan untuk penilaian audio *multichannel*[26]. Sebuah *software* yang dikembangkan oleh McGill University[27] digunakan untuk menghitung nilai ODG.

Sama halnya dengan nilai SNR, nilai ODG pada MPEG Surround dengan menggunakan metode *closed loop* secara keseluruhan juga lebih baik daripada dengan menggunakan metode *open loop*. Nilai rata-rata kenaikan ODG untuk seluruh sampel audio adalah sebesar 0.143917.

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa hasil pengujian yang didapat kualitas sampel audio yang paling baik adalah ‘Suara Manusia’ dengan nilai SDG yang didapat sebesar 0.34, dan nilai SDG subjek yang didapat berada pada rentang 0.44 untuk nilai maksimum dan 0.24 untuk nilai minimum. Rentang ini disebut dengan *confidence interval*, *confidence interval* yang ditetapkan pada pengujian ini sebesar 90%. *Confidence interval* menggambarkan bahwa score SDG yang didapat pada pengujian yang dilakukan akan berada pada rentang tersebut.



Gambar 8.Grafik SDG Rata-Rata Audio

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan:

1. Metode *closed loop* pada MPEG Surround memiliki kinerja yang jauh lebih baik dibandingkan dengan metode *open loop*. Hal ini dapat dilihat dari persentase kenaikan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang signifikan, yaitu mencapai 82.72%. Dan persentase kenaikan parameter ini semakin tinggi jika *bit rate channelnya* dinaikkan.
2. Persentase kenaikan SNR rata-rata untuk seluruh sampel audio adalah sebesar 30.90528%.
3. Sama halnya dengan nilai SNR, nilai ODG pada MPEG Surround dengan menggunakan metode *closed loop* secara keseluruhan juga lebih baik daripada dengan menggunakan metode *open loop*. Nilai rata-rata kenaikan ODG untuk seluruh sampel audio adalah sebesar 0.143917.
4. Berdasarkan *listening test* yang dilakukan diperoleh bahwa kualitas sampel audio hasil kompresi yang paling baik adalah 'Suara Manusia' dengan nilai SDG rata-rata dari seluruh subjek sebesar 0.34, dan *confidence interval* nilai SDG subjek yang diperoleh berada pada rentang 0.44 untuk nilai maksimum dan 0.24 untuk nilai minimum.
5. Secara *perceptual objective test* maupun *subjective test* menunjukkan bahwa audio hasil kompresi MPEG Surround dengan metode *closed loop* bekerja dengan baik.

Secara keseluruhan, *impairment* pada audio hasil kompresi bersifat *imperceptible* pada bit rate 90 kbps atau yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai, yaitu kompresi audio dengan tetap mempertahankan kualitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Herre, Jurgen. 2002. *Audio Coding-an-All Around Entertainment Technology*. AES 22nd International Conference in Virtual, Synthetic and Entertainment Audio, Finlandia. nt
- [2] Breebaart, Jeroen dkk. 2007. *Background, concept, and Architecture for the Recent MPEG Surround Standard on Multichannel Audio Compression*. J. Audio Eng. Soc., Vol. 55, No. 5.
- [3] Breebaart, Jeroen. 2007. *Analysis and Synthesis of Binaural Parameters for Efficient 3D Audio Rendering in MPEG Surround*. Proceeding IEEE International Conf. on Multimedia Expo.
- [4] Bosi, Marina dan Richard E. Goldberg. 2003. *Introduction to Digital Audio Coding and Standards*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- [5] Erne, Markus. 2001. *Perceptual Audio Coders "What to Listen For"*. AES 111th Convention Paper, New York, USA.
- [6] <http://www.mpegssurround.com/> diakses pada 03/11/2013 5:40 PM
- [7] Hull, Joseph. 1999. *Surround Sound: Past, Present and Future*. San Francisco: Dolby Laboratories Inc.

- [8] Fuchs, Harald., Korte, Okaf., Hilpert, Johannes. 2009. *Digital Broadcasting with MPEG Surround*. Fraunhofer IIS.
- [9] Herre, Jurgen dkk. 2005. *The Reference Model Architecture for MPEG Spatial Audio Coding*. AES 118th Convention Paper, Barcelona, Spain.
- [10] Breebaart, Jeroen dkk. 2005. *MPEG Spatial Audio Coding/ MPEG Surround: Overview and Current Status*. AES 119th Convention Paper, New York, USA.
- [11] Engdegard, Jonas dkk. 2008. *Spatial Audio Object Coding (SAOC) – The Upcoming MPEG Standard on Parametric Object Based Audio Coding*. AES 124th Convention Paper, Amsterdam, The Netherlands.
- [12] Elfitri, Ikhwana. 2009. *Spatial Audio Coding*. TeknikA, No. 32 Vol. 1 Thn XVI
- [13] Herre, Jurgen dkk. 2008. *MPEG Surround – The ISO/ MPEG Standard for Efficient and Compatible Multichannel Audio Coding*. J. Audio Eng. Soc., Vol. 56, No. 11.
- [14] Elfitri, Ikhwana., Shi, Xiyu., Kondoz, Ahmet. 2013. *Analysis by Synthesis Spatial Audio Coding*. IET Signal Process., pp.1-8.
- [15] Breebaart, Jeroen dkk. 2006. *Multichannel goes Mobile MPEG Surround Binaural Rendering*. AES 29th International Conference, Seoul, Korea.
- [16] Elfitri, Ikhwana., Günel, Banu., M. Kondoz., Ahmet. 2011. *Multichannel Audio Coding Based on Analysis by Synthesis*. Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 4.
- [17] ISO/IEC 23003-1. 2007. *Information Technology – MPEG Audio Technologies, Part 1: MPEG Surround*.
- [18] ITU. 1997. Rec ITU-R BS.1116-1: *Methods For The Subjective Assessment Of Small Impairments In Audio Systems Including Multichannel Sound Systems*.
- [19] Saputra, Rio. 2011. Perancangan Sistem Pengenalan Ucapan Tipe Connected Word Dengan Metode MFCC dan Hidden Markov Model (HMM) untuk Mengakses Aplikasi Komputer. Padang : Universitas Andalas.
- [20] Mason, Andrew dkk. 2007. *EBU Test of Multi-Channel Audio Codecs*. AES 122nd Convention Paper, Vienna, Austria.
- [21] Herrero, Carlos. 2007. *Subjective and Objective Assessment of Sound Quality: Solutions and Applications*. HUT, Telecommunications Software and Multimedia Laboratorio.
- [22] Bosi, Marina. 2000. *High-Quality Multichannel Audio Coding Trends and Challenges*. J. Audio Eng. Soc., Vol. 48, No. 6.
- [23] ITU. 2003. Rec. ITU-R BS.1284-1: *General Methods for The Subjective Assessment of Sound Quality*.
- [24] Watanabe, Kaoru. *Objective perceptual audio quality measurement method*. Broadcast Technology no.35, Combined Issue Autumn 2008-Winter 2009
- [25] ITU-R BS.1387-1: 'Method for Objective Measurements of Perceived Audio Quality', 2001.
- [26] 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.
- [27] 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 (URL: <http://www-mmse.ece.mcgill.ca/documents/Software/>)
- [28] Marston, D., Kozamernik, F., Stoll, G., Spikofski, G.: 'Further EBU test of multichannel audio codecs'. Presented at the 126th Convention of the Audio Engineering Society, Munich, Germany, May 2009

Biodata Penulis

Muhammad Sobirin, Lahir di Medan 22 Juli 1989. Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tahun 2011 dari Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Konsentrasi Teknik Telekomunikasi. Saat ini sedang menempuh pendidikan di Magister Teknik Elektro, Universitas Andalas, Konsentrasi Teknik Telekomunikasi dan Multimedia.