



Analisa Multiwavelet untuk Kompresi Suara

Immanuel Silalahi¹ dan Riko Arlando Saragih²

¹Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha, Bandung

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha, Bandung
 riko_saragih@yahoo.com

Abstrak: Penghematan pita frekuensi dalam dunia komunikasi digital merupakan suatu tantangan yang besar. Salah satu cara untuk melakukan penghematan pita frekuensi adalah dengan melakukan kompresi data. Selain menghemat penggunaan pita frekuensi, keuntungan lain dari kompresi data yaitu perpindahan data menjadi cepat serta media penyimpanannya menjadi lebih kecil. Dalam tulisan ini akan diuraikan teknik kompresi suara dengan menggunakan gabungan beberapa induk wavelet (multi wavelet), yaitu induk wavelet Haar, Daubachies, dan Coiflet. Tujuan dari penggunaan teknik ini adalah untuk mendapatkan kualitas suara terkompresi yang lebih baik daripada hanya menggunakan satu induk wavelet saja. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *compression score* untuk yang menggunakan gabungan beberapa induk wavelet lebih besar dibandingkan dengan hanya menggunakan satu induk wavelet saja. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal suara hasil dekompresi yang menggunakan gabungan beberapa induk wavelet lebih mirip dengan sinyal asli daripada hanya menggunakan satu induk wavelet saja meskipun terdapat penurunan kualitas.

Kata kunci: kompresi data, multiwavelet, SNR, *compression score*

Abstract: In digital telecommunication, the efficiency of bandwidth is a big challenge. Therefore, one way to make it works is by using data compression. Besides its efficiency, the other advantage of data compression is that data transferring can be faster and the storage will be smaller. This paper will describe the speech compression technique by using combination of some mother wavelets (multi wavelets), namely Haar wavelet, Daubachies, and Coiflet. The purpose of this technique is to get the better quality of the compressed speech compared to one that uses only one single wavelet. From the simulations, it was known that the *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) and the *compression score* for using multi wavelets are bigger than using only one single wavelet. This shows that the decompressed speech alike the original one compared to one that using only one single wavelet although it's quality also degrades.

Keywords: data compression, multi wavelet, SNR, *compression score*

I. PENDAHULUAN

Pengiriman data yang cukup besar seperti dari *server* ke *client* bukanlah suatu masalah

baru lagi karena kemajuan teknologi sekarang sudah sangat pesat. Dengan mengkompresi data (dapat berupa gambar, suara maupun video), maka data yang semula besar dapat dimampatkan / ukurannya diperkecil, sehingga penggunaan bandwidth pun lebih kecil dan data dapat sampai di *client* lebih cepat.

Pada tulisan ini akan dijelaskan kompresi sinyal suara dengan menggunakan multiwavelet. Penggunaan multiwavelet bertujuan agar sinyal suara yang telah dikompresi mempunyai hasil yang mendekati dengan sinyal suara aslinya.

Penggunaan multiwavelet ini didasarkan pada bentuk tiap *frame* yang mungkin saja memiliki induk wavelet yang berbeda dengan *frame* yang lainnya sehingga jika suatu sinyal suara dianalisa tiap *frame*, maka nantinya diharapkan akan menghasilkan kualitas suara yang baik.

II. FORMULASI PEMBAHASAN

Masalah yang akan dibahas dalam tulisan ini adalah menganalisa penggunaan multiwavelet pada kompresi suara yang diaplikasikan dengan menggunakan matlab. Hasil dari kompresi (kualitas setelah didekompresi) ini diharapkan akan lebih baik daripada hasil kompresi jika menggunakan *single wavelet*.

III. METODE / TEORI

Transformasi *wavelet* merupakan suatu perhitungan matematis yang digunakan untuk menyajikan data atau fungsi atau operator ke dalam komponen – komponen frekuensi yang berlainan, dan kemudian mengkaji setiap komponen dengan suatu resolusi yang sesuai dengan skalanya.

Kelemahan pada transformasi pendahulunya (Transformasi *Fourier*) adalah adanya kehilangan informasi waktu pada saat proses transformasi dari domain waktu ke dalam domain frekuensi (terutama untuk sinyal yang *non-stasioner*). Atau dengan kata lain, Transformasi *Fourier* hanya dapat memberikan informasi tentang frekuensi suatu sinyal, sedangkan transformasi *wavelet* dapat memberikan informasi tentang kombinasi skala dan frekuensi. Kelebihan lain yang dimiliki oleh transformasi wavelet ini adalah mempunyai kemampuan untuk membawa keluar ciri-ciri (*features*) khusus dari citra yang diteliti.

Transformasi wavelet dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu Transformasi Wavelet Kontinu (TWK) dan Transformasi Wavelet *Discrete* (TWD).

III.1. Transformasi Wavelet Kontinu

Cara kerja Transformasi Wavelet Kontinu (TWK) adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu untuk setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet.

Secara umum transformasi wavelet kontinu untuk sinyal $f(x)$ berdimensi 1-D, didefinisikan pada persamaan (1):^[1]

$$W_f(a, b) = \left\langle f, \psi_{a,b} \right\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{a,b}(x) dx \quad (1)$$

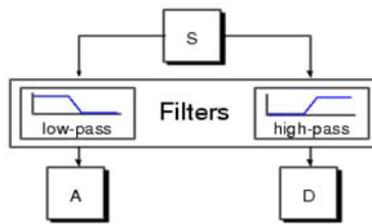
dengan :
$$\Psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \tag{2}$$

Fungsi Ψ disebut dengan induk wavelet $a, b \in R$ dan $a \neq 0$ ($R =$ bilangan nyata). Dalam hal ini, a adalah parameter penskalaan (lebar) dan b adalah parameter penggeseran posisi terhadap sumbu- x .

III.2. Transformasi Wavelet Diskrit

Dibandingkan dengan TWK, Transformasi Wavelet Diskrit (TWD) dianggap relatif lebih mudah pengimplementasiannya. Prinsip dasar dari TWD adalah bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi *sub-sampling*.

Sinyal pertama-tama dilewatkan pada rangkaian *filter high-pass* dan *low-pass*, kemudian setengah dari masing-masing keluaran diambil sebagai sampel melalui operasi *sub-sampling*. Proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari *filter low-pass* digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Gabungan dari keluaran–keluaran *filter high-pass* dan satu keluaran *filter low-pass* yang terakhir, disebut sebagai koefisien wavelet (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Proses Dekomposisi

III.3. Pencarian Induk Wavelet yang Tepat Untuk Proses Kompresi

Untuk mengkompresi suatu sinyal (pada tulisan ini berupa sinyal suara (1D)) dibutuhkan suatu induk wavelet yang serasi (*matching*) dengan sinyal aslinya, sehingga hasil kompresinya pun mirip dengan sinyal aslinya. Permasalahan utama yang akan dihadapi adalah bagaimana cara menemukan induk wavelet yang tepat? Untuk menjawab permasalahan ini terlebih dahulu akan dijelaskan hal–hal apa saja yang membuat suatu induk wavelet dapat serasi dengan sinyal aslinya.

Basis ortonormal wavelet merupakan syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan induk wavelet yang cocok / sesuai dengan sinyal aslinya. Untuk suatu MRA (*Multi Resolution Analysis*) yang *orthonormal* (OMRA), sinyal $f(x) \in V_1$ adalah didekomposisi ke dalam rangkaian tak berhingga dari fungsi detail $\{g_j(x)\}$.^{[2],[3]}

$$f(x) = \sum_{j=0}^{\infty} g_j(x). \tag{3}$$

Level dekomposisi pertama telah dilakukan oleh $f(x)$ ke dalam dua subruang yang orthogonal, yaitu V_0 dan W_0 , dengan $V_1 = V_0 \oplus W_0$ dan \oplus adalah operator penjumlahan langsung (direct sum operator). Hasil proyeksi $f_0 \in V_0$ adalah perkiraan resolusi rendah (low

resolution approximation) dan $g_0 \in W_0$ adalah koefisien detail yang hilang dari $f(x)$ ke $f_0(x)$. Dekomposisi dilanjutkan dengan memproyeksikan $f_0(x)$ ke dalam V_1 dan W_1 , dan seterusnya. Basis ortonormal dari W_j dan V_j dapat dibuat menjadi dua fungsi, yaitu fungsi induk wavelet (ψ) dan fungsi skala (ϕ), yaitu:^[4]

$$\psi_{j,k} = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}x - k) \quad (4)$$

dan

$$\phi_{j,k} = 2^{-j/2} \phi(2^{-j}x - k) \quad (5)$$

Sehingga persamaan proyeksinya menjadi:^[4]

$$\begin{aligned} g_j(x) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k^j 2^{-(j/2)} \psi(2^{-j}x - k) \\ d_k^j &= \langle f_{j-1}(x), \psi_{j,k} \rangle \\ f_j(x) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k^j 2^{-(j/2)} \phi(2^{-j}x - k) \\ c_k^j &= \langle f_{j-1}(x), \phi_{j,k} \rangle \end{aligned} \quad (6)$$

dengan d_k^j adalah koefisien detail, c_k^j adalah koefisien aproksimasi dan $\langle \cdot, \cdot \rangle$ merupakan perkalian dalam (*inner product*).

Syarat agar Multi Resolusi Analisis (MRA) menjadi *orthonormal* maka harus sesuai dengan kondisi – kondisi / rumus di bawah ini:^[4]

1) Memenuhi prinsip ortogonalitas

$$\begin{aligned} \langle \phi_{j,k}, \phi_{j,m} \rangle &= \delta_{k,m} \\ \langle \phi_{j,k}, \psi_{j,m} \rangle &= 0 \\ \langle \psi_{j,k}, \psi_{j,m} \rangle &= \delta_{j,\ell} \cdot \delta_{k,m} \end{aligned} \quad (7)$$

2) Masing – masing vektor merupakan vektor satuan

Saat $\phi(x) \in V_0 \subset V_{-1}$ dan $\psi(x) \in W_0 \subset V_{-1}$ dapat direpresentasikan sebagai kombinasi linear dari basis V_{-1} , yaitu :

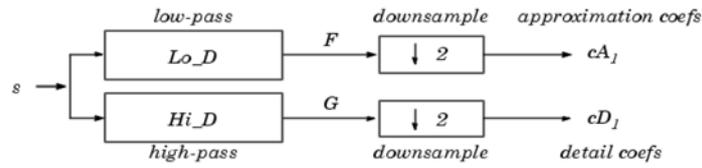
$$\begin{aligned} \phi(x) &= 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_k \phi(2x - k) \\ \psi(x) &= 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_k \phi(2x - k) \end{aligned} \quad (8)$$

III.4. Proses Kompresi Dengan Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit

Kompresi wavelet adalah salah satu cara kompresi data yang cocok digunakan untuk kompresi image, audio, dan video. Tujuannya adalah untuk menyimpan data dalam “ruang” yang sekecil mungkin dalam sebuah file, karenanya hilangnya informasi tertentu memang sudah diharapkan akan terjadi. Kompresi ini merupakan contoh *lossy compression*.

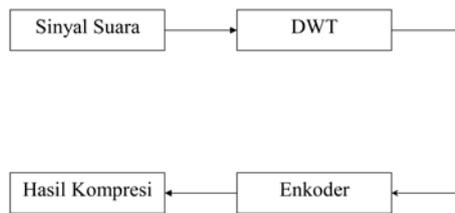
Metode yang dilakukan pada kompresi wavelet akan dijelaskan sebagai berikut: Pertama–tama, sinyal suara didekomposisi dengan tujuan untuk mendapatkan nilai koefisien wavelet (*approximation coefficient* (c_k^j) dan koefisien detail (d_k^j)). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat

Gambar 2.



Gambar 2. Proses Dekomposisi Level 1

Berikut blok diagram proses kompresi per *frame* dari satu sinyal suara.



Gambar 3. Blok Diagram Proses Kompresi per *Frame* dari Satu Sinyal Suara

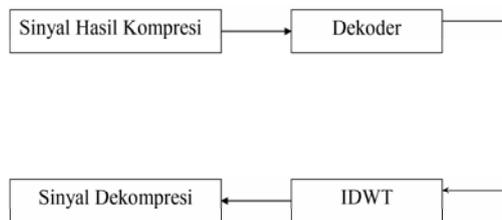
Penjelasan blok diagram proses kompresi per *frame* dari satu sinyal suara :

Input dari sistem ini berupa sinyal suara yang berekstensi *.wav (yang dipecah menjadi 8 *frame*).

Sinyal suara yang diset sebagai masukan, diproses oleh *Discrete Wavelet Transform* (DWT) untuk diambil nilai-nilai koefisiennya (*Feature Extraction*) lalu dicari nilai *threshold*-nya. Setelah koefisien wavelet dan nilai *threshold* didapatkan, maka kedua nilai ini dibandingkan dengan menggunakan metoda *hard / soft thresholding*.

Pada blok ini terdapat dua proses, yaitu proses kuantisasi dan *encode*. *Encoder* berfungsi untuk mengkodekan sinyal suara yang sebelumnya telah dikuantisasi terlebih dahulu. Setelah melalui *encoder* maka diperoleh sinyal suara yang sudah dikompresi.

Berikut blok diagram proses dekomposisi per *frame* dari satu sinyal suara.



Gambar 4. Blok Diagram Proses Dekomposisi per *Frame* dari Satu Sinyal Suara

Penjelasan blok diagram proses dekomposisi per *frame* dari satu sinyal suara :

Setelah sinyal hasil kompresi diterima, maka langkah pertama yang akan dilakukan yaitu melakukan proses *decoding* sehingga didapatkan nilai-nilai koefisien wavelet.

Setelah nilai-nilai koefisien wavelet didapatkan, maka nilai-nilai koefisien ini akan direkonstruksi dengan menggunakan *Inverse Discrete Wavelet Transform* (IDWT). Sinyal suara hasil proses dekomposisi telah didapatkan

III.5. Paramter yang Dianalisa

Dalam tulisan ini terdapat dua parameter yang dihitung untuk menentukan induk wavelet yang dipilih untuk merepresentasikan tiap *frame* dari sinyal suara, yaitu SNR dan *compression score*.

a) SNR (Signal to Noise Ratio)

SNR yang diukur adalah SNR sinyal sesudah rekonstruksi yang dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$SNR = 10 \log \left(\frac{P_x}{P_e} \right) = 10 \log \left(\frac{\sum |x|^2}{\sum |(x-y)|^2} \right) \quad (9)$$

P_x adalah energi sinyal asli, P_e adalah daya sinyal *error* yang didapat dari selisih atau nilai *error* antara sinyal asli dengan sinyal rekonstruksi dan x adalah sinyal asli serta y adalah sinyal keluaran atau sinyal rekonstruksi.

b) Compression Score (%)

Compression Score (%) dapat dirumuskan sebagai berikut (sumber dari *help* Matlab) :

Compression Score (%) = $100 * (\text{panjang vektor CXC} / \text{panjang vektor C})^2$, jika [c,l] merupakan struktur wavelet dekomposisi dari X

panjang vektor CXC = Panjang vektor dari nilai – nilai koefisien wavelet setelah dikompresi.

panjang vektor C = Panjang vektor dari nilai – nilai koefisien wavelet setelah melalui proses dekomposisi.

Jika X adalah sinyal berdimensi satu (1D) dan '*wname*' adalah sebuah wavelet orthogonal, maka *compression score* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\frac{100 \|XC\|^2}{\|X\|^2} \quad (10)$$

dengan :

$\|XC\|^2$ = Nilai-nilai koefisien wavelet (approximation dan detail coefisien)

$\|X\|^2$ = Amplituda sinyal suara asli

III.6. Proses Kompresi Dengan Menggunakan Multiwavelet

Pada prinsipnya mirip dengan kompresi *single wavelet*. Proses kompresi ini disebut dengan kompresi multiwavelet karena pada saat mengkompresi tiap *frame* menggunakan lebih dari satu jenis wavelet. Jadi sinyal dibagi-bagi menjadi beberapa *frame*, lalu tiap *frame* ini dianalisa menggunakan beberapa induk wavelet sehingga menghasilkan nilai SNR yang paling besar. Induk wavelet yang menghasilkan nilai SNR yang paling besar disebut induk wavelet yang terbaik / sesuai (*matching*) untuk *frame* tersebut. Setelah mendapatkan nilai SNR yang terbesar untuk tiap *frame* maka otomatis didapatkan induk wavelet yang terbaik untuk tiap *frame*. Tujuan dari mencari induk wavelet yang terbaik untuk tiap *frame* adalah agar hasil SNR-nya lebih bagus daripada hanya mencari induk wavelet terbaik untuk satu sinyal lalu memprosesnya untuk tiap *frame*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan jumlah induk wavelet yang dicoba serta level dekomposisi yang beragam akan mempengaruhi kualitas suara (SNR) setelah didekompresi. Untuk program *single mother wavelet*, parameter inputnya berupa induk wavelet, level dekomposisi, jenis thresholding, parameter penentuan nilai threshold (ALPHA) sedangkan pada multi mother wavelet, parameter inputnya yaitu jumlah dekomposisi, level dekomposisi, jenis thresholding, parameter penentuan nilai threshold (ALPHA). Sedangkan SNR dan *compression score* merupakan *output*-nya.

IV.1. Uji Simulasi dengan Mengubah Level Dekomposisi

Berikut ini akan dilakukan uji simulasi dengan mengubah – ubah level dekomposisi, untuk melihat pengaruhnya terhadap SNR dan compression score. Percobaan dilakukan dengan menggunakan induk wavelet Haar, Daubachies, dan Coiflet.

TABEL 1. NILAI SNR PADA TIAP FRAME JIKA MENGGUNAKAN INDUK WAVELET HAAR/DAUBACHIES 1, DAUBACHIES 2 DAN DAUBACHIES 3 (UNTUK N = 2, 3, 4)

Frame	N	Jenis Mother Wavelet					
		Db1		Db2		Db3	
		SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)
1	2	311,7991	100	26,961	99,7994	26,3584	99,7695
	3	17,431	98,1932	18,5189	98,594	19,005	98,7579
	4	13,3143	95,3874	14,8399	96,7647	15,2034	97,0492
2	2	15,8842	97,4202	20,6658	99,1411	22,6944	99,4623
	3	9,9643	89,9176	12,4708	94,3408	13,5973	95,5985
	4	5,5211	71,9872	6,6439	78,5218	7,0808	80,2747
3	2	20,4422	99,0968	23,9946	99,6016	24,7636	99,6678
	3	13,3832	95,4114	16,064	97,5249	17,6568	98,3048
	4	8,0354	84,2799	9,7619	89,4618	10,3095	90,8576
4	2	17,376	98,1702	22,3944	99,4236	23,9675	99,597
	3	11,2372	92,4789	15,0981	96,9211	16,0364	97,5192
	4	6,529	77,779	8,465	85,7534	8,7903	86,6208
5	2	21,5194	99,2952	24,5711	99,6603	24,8627	99,6855
	3	16,3967	97,7074	19,7708	99,0012	20,2157	99,1336
	4	11,701	93,3064	14,5266	96,8596	15,609	97,7161
6	2	19,4512	98,8653	24,4494	99,6441	25,8493	99,743
	3	13,6121	95,647	17,2798	98,1716	18,7552	98,6939
	4	8,6008	86,2195	10,6159	91,7494	10,8055	92,1994
7	2	20,2979	99,0663	22,5912	99,4507	22,5546	99,4471
	3	15,9976	97,4867	18,0993	98,4646	18,3594	98,5658
	4	11,8724	93,5024	14,51	96,5218	15,2292	97,1145
8	2	311,5645	100	24,9728	99,6828	25,792	99,7378
	3	16,7638	97,8932	18,2691	98,5199	17,8995	98,3986
	4	12,7002	94,6472	14,4933	96,5023	14,5382	96,5723

Nama file suara yang dibuka : ukm.wav
N = Level Dekomposisi

TABEL 2. NILAI SNR PADA TIAP FRAME JIKA MENGGUNAKAN INDUK WAVELET DAUBACHIES 4, DAUBACHIES 5, DAN DAUBACHIES 6 (UNTUK N = 2, 3, 4)

Frame	N	Jenis Mother Wavelet					
		Db4		Db5		Db6	
		SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)
1	2	27,0401	99,8029	25,9394	99,747	25,5306	99,7213
	3	18,9161	98,7376	19,1548	98,8038	18,8942	98,7412
	4	15,4053	97,2423	15,5042	97,2982	15,349	97,217
2	2	23,885	99,5893	23,8729	99,5877	23,8807	99,589
	3	14,666	96,5797	14,2885	96,2685	14,4051	96,326
	4	7,1922	81,0086	7,4037	81,5659	6,9012	79,6591
3	2	25,6204	99,731	25,9868	99,7528	26,2226	99,7652
	3	17,3572	98,2221	16,8747	98,0531	17,5728	98,3138
	4	10,1653	91,1238	10,1142	90,759	9,8512	89,8584
4	2	24,4553	99,6414	24,9173	99,6769	25,1164	99,6913
	3	16,5812	97,805	17,1778	98,0856	16,9846	97,9556
	4	10,305	90,8684	9,1272	87,941	9,3181	88,1095
5	2	25,1545	99,7084	25,3244	99,7197	25,1831	99,7132
	3	20,6932	99,2323	20,7862	99,2459	20,8761	99,2701
	4	15,5654	97,7083	16,1411	98,0204	15,8859	97,8637
6	2	26,496	99,779	26,5768	99,7834	26,7823	99,793
	3	18,7001	98,6947	19,3774	98,8897	19,3944	98,8927
	4	10,786	92,1381	10,7369	92,0812	10,3614	91,6056
7	2	22,7599	99,4753	23,0669	99,5146	23,2532	99,5377
	3	18,7996	98,7168	18,8642	98,7513	19,0001	98,8012
	4	15,7546	97,5067	15,8241	97,5922	15,8744	97,671
8	2	25,9474	99,7478	24,8163	99,6733	24,1797	99,6229
	3	18,2294	98,5245	18,227	98,5238	18,0908	98,4911
	4	14,6455	96,6863	14,6411	96,6974	14,8465	96,8819

Nama file suara yang dibuka : ukm.wav
N = Level Dekomposisi

TABEL 3. NILAI SNR PADA TIAP FRAME JIKA MENGGUNAKAN INDUK WAVELET COIFLET 1, COIFLET 2, COIFLET 3, DAN COIFLET 4 (UNTUK N = 2, 3, 4)

Frame	N	Jenis Mother Wavelet							
		Coif 1		Coif 2		Coif 3		Coif 4	
		SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)	SNR (db)	Compression Score (%)
1	2	26,1793	99,7604	27,2566	99,8159	26,6557	99,7893	26,6452	99,7868
	3	19,186	98,8078	19,6111	98,9451	19,6772	98,9955	19,6018	99,0053
	4	15,0853	97,0012	15,565	97,4212	15,6849	97,6849	15,6924	97,7856
2	2	21,2027	99,2387	24,2072	99,6194	24,5098	99,6443	24,5784	99,6574
	3	13,0693	95,0094	14,5988	96,5108	15,3525	97,0265	15,0951	96,9709
	4	6,4369	77,2859	7,2936	81,0135	7,2141	81,0779	7,0745	80,5353
3	2	23,8048	99,5809	25,3943	99,7175	26,3863	99,7745	27,0937	99,8093
	3	16,5937	97,8111	17,4222	98,268	17,64	98,3226	17,8337	98,4388
	4	10,4302	91,0085	10,3323	91,3889	10,3985	90,8818	10,3389	91,3193
4	2	22,6195	99,4548	24,5847	99,6529	25,1029	99,691	25,3752	99,7108
	3	14,7247	96,6638	16,4279	97,7571	17,3076	98,1697	17,6286	98,2916
	4	8,1275	84,6067	9,706	89,4722	9,5105	88,917	10,1384	90,3088
5	2	24,4006	99,6531	24,9644	99,703	25,2002	99,72	25,2655	99,7226
	3	19,9553	99,0825	20,592	99,2451	20,7399	99,2754	20,8456	99,2867
	4	15,3489	97,573	15,7081	97,8788	16,2185	98,1641	15,369	97,7052
6	2	24,4265	99,6435	26,2226	99,7633	26,6258	99,7849	26,8446	99,7952
	3	17,4456	98,2463	18,8686	98,7315	19,4447	98,9098	19,3372	98,8961
	4	10,3912	91,3825	10,8119	92,1242	10,7386	92,3412	10,9083	92,7649
7	2	22,8594	99,4839	23,2622	99,534	23,4278	99,5544	23,5433	99,5664
	3	18,574	98,6274	18,9336	98,7517	19,0321	98,8152	19,1275	98,8584
	4	15,2476	97,0931	15,7475	97,5077	16,2287	97,8657	16,2806	97,9896
8	2	24,883	99,6767	24,6104	99,6585	24,4641	99,649	24,3797	99,6445
	3	17,7226	98,332	18,4483	98,6107	18,4109	98,6196	18,5531	98,6778
	4	14,3961	96,4681	14,7339	96,8303	14,8459	96,9861	15,0343	97,2223

Nama file suara yang dibuka : ukm.wav
N = Level Dekomposisi

Setelah memasukkan nilai-nilai parameter yang mempengaruhi SNR dan compression score seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, dapat dilihat bahwa pada saat level dekomposisi (N) = 2, nilai SNR lebih bagus daripada level dekomposisi N = 4.

IV.2. Uji Simulasi dengan Menggunakan Induk Wavelet yang Terbaik untuk Satu Sinyal

Berikut ini dilakukan uji simulasi dengan mencari induk wavelet yang paling tepat (*match*) dengan sinyal inputnya. Lalu induk wavelet yang terbaik ini digunakan sebagai input untuk menganalisa tiap *frame* dari sinyal masukan dengan mengubah–ubah besarnya N (level dekomposisi).

TABEL 4. NILAI SNR PADA TIAP FRAME JIKA MENGGUNAKAN INDUK WAVELET YANG MAKSIMUM UNTUK SATU SINYAL

Frame	N	Jenis Mother Wavelet											SNR Max (db)	Compression Score (%)	
		Db1	Db2	Db3	Db4	Db5	Db6	Coif1	Coif2	Coif3	Coif4	Coif5			
1	2												*	26,7004	99,7908
	3												*	19,6365	99,0332
	4												*	15,8439	97,9181
2	2												*	24,5625	99,6591
	3												*	15,1295	97,0306
	4												*	7,0923	81,8245
3	2												*	27,5553	99,8273
	3												*	17,9729	98,4668
	4												*	10,7306	92,0145
4	2												*	25,5038	99,7188
	3												*	18,3653	98,5472
	4												*	10,2853	90,3461
5	2												*	25,2281	99,7214
	3												*	20,6383	99,258
	4												*	15,7655	97,775
6	2												*	26,8136	99,7957
	3												*	20,6383	99,258
	4												*	10,6936	92,1605
7	2												*	23,5681	99,5745
	3												*	19,259	98,9103
	4												*	16,5752	98,2003
8	2												*	24,8193	99,6811
	3												*	18,4802	98,6778
	4												*	15,0806	97,3182

Nama file suara yang dibuka : ukm.wav
N = Level Dekomposisi

Tabel ini memperlihatkan bahwa di antara jenis mother wavelet yang diujikan, diperoleh bahwa kompresi dengan menggunakan satu induk wavelet saja ternyata *Coif5* yang terbaik. Kesimpulan yang hampir sama dengan Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 yaitu nilai SNR yang terbaik didapatkan pada level dekomposisi (N) = 2.

IV.3. Uji Simulasi dengan Mencari Induk Wavelet yang Paling Serasi (Match) untuk Tiap Frame

Berikut ini akan dilakukan uji simulasi dengan mencari induk wavelet yang paling tepat (*matching*) untuk tiap *frame* dengan cara mengubah–ubah besarnya level dekomposisi sehingga dapat melihat pengaruhnya terhadap SNR dan compression score. Percobaan dilakukan dengan menggunakan induk wavelet Haar, Daubachies dan Coiflet.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa untuk tiap *frame* bisa saja memiliki induk wavelet yang berbeda dengan *frame* yang lain. Hal ini dikarenakan tiap *frame* dianalisa dengan menggunakan induk wavelet yang paling sesuai dengan *frame* tersebut. Berbeda dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4, meskipun suatu sinyal itu dicari induk wavelet yang paling sesuai dengan inputnya, bukan berarti induk wavelet ini merupakan induk wavelet yang terbaik untuk semua *frame*. Hal ini tentu saja mempengaruhi hasil outputnya, jika suatu sinyal dianalisa dengan mencari induk wavelet yang terbaik untuk tiap *frame* pasti akan menghasilkan nilai SNR yang lebih baik juga jika hanya menganalisa suatu sinyal dengan mencari induk wavelet yang terbaik untuk satu sinyal saja.

TABEL 5. NILAI SNR MAKSIMUM PADA TIAP FRAME

Frame	N	Jenis Mother Wavelet											SNR Max (db)	Compression Score (%)	
		Db1	Db2	Db3	Db4	Db5	Db6	Coif1	Coif2	Coif3	Coif4	Coif5			
1	2	*												311,7991	100
	3									*				19,6772	98,9955
	4											*		15,8439	97,9181
2	2										*			24,5784	99,6574
	3									*	*			15,3525	97,0265
	4					*								7,4037	81,5659
3	2											*		27,5553	99,8273
	3											*		17,9729	98,4668
	4											*		10,7306	92,0145
4	2											*		25,5038	99,7188
	3											*		18,3653	98,5472
	4				*									10,305	90,8684
5	2					*								25,3244	99,7197
	3						*							20,8761	99,2701
	4								*					16,2185	98,1641
6	2										*	*		26,8446	99,7952
	3											*		19,5989	98,9479
	4										*			10,9083	92,7649
7	2											*		23,5681	99,5745
	3											*		19,259	98,9103
	4											*		16,5752	98,2003
8	2	*												311,5645	100
	3											*		18,5531	98,6778
	4											*	*	15,0806	97,3182

Nama file suara yang dibuka : ukm.wav
N = Level Dekomposisi

IV.4. Langkah-langkah Kerja / Penjelasan Tabel

Pada Tabel 1, 2 dan 3, sinyal suara dibagi-bagi / dipecah menjadi 8 *frame*. Tiap *frame* dianalisa dengan induk wavelet (*Haar*, *Daubachies*, *Coiflet*) dan level dekomposisi ($N = 2;3;4$) yang berbeda-beda.

Pada Tabel 4, sinyal suara terlebih dahulu dianalisa sehingga mendapatkan induk wavelet yang tepat (cocok). Induk wavelet yang tepat (cocok) ini digunakan untuk menganalisa sinyal suara yang telah dibagi menjadi 8 *frame* sehingga dihasilkanlah nilai SNR.

Pada Tabel 5, tiap *frame* dianalisa dengan menggunakan induk wavelet (*Haar*, *Daubachies*, *Coiflet*) dan level dekomposisi ($N = 2;3;4$) yang berbeda-beda sehingga menghasilkan nilai SNR yang maksimum untuk tiap *frame*.

IV.5. Analisa Data dari Keseluruhan Data

Untuk membantu menganalisa data, sampel diambil dari Tabel 1 dengan level dekomposisi sebanyak 3 kali dan induk wavelet yang digunakan adalah db1 (*Daubachies 1 / Haar*). Nilai SNR didapatkan dari Persamaan (9), dengan p adalah sinyal asli pada *frame* 1 dan k adalah sinyal keluarannya. Didapatkan $p = [-0,0078; \dots]$ dan $k = [-0,0078; \dots]$. Dilanjutkan dengan proses $(\sum |p|^2)$, didapatkan nilai p baru yaitu $p = 0,1605$. Proses selanjutnya yaitu perhitungan $(\sum (p - k)^2)$. Dimana $(p - k) = [0,0000; \dots -0,0020; \dots]$, maka didapatkanlah nilainya = 0,0029. Dari Persamaan (9) didapatkanlah SNR = 17,4310 dB.

Sedangkan untuk mencari ratio kompresi (*compression score*) terlebih dahulu harus mencari vector-norm dari sinyal sebelum dikompres (C) dan sesudah dikompres (CXC). Didapatkan nilai vektor-norm $C = 0,4006$ sedangkan nilai vektor-norm $CXC = 0,3969$. Berdasarkan Persamaan (10), maka ratio kompresi (*compression score*) dapat dihitung dan hasilnya = 98,1932.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil pengamatan dan percobaan pada penelitian ini adalah:

1. Hasil dekomposisi sinyal suara menggunakan banyak induk wavelet (multiwavelet) lebih baik daripada menggunakan satu induk wavelet (*single wavelet*) dengan memperhatikan nilai SNR.
2. Level dekomposisi (N) dan jenis *threshold* mempengaruhi hasil sinyal setelah didekomposisi.
3. Pemilihan induk wavelet (*Haar*, *Daubachies* dan *Coiflet*) didasarkan pada prinsip orthogonalitas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih untuk para *reviewer* dan *editor* yang telah memberi masukan terhadap penulisan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Minarni, Klasifikasi Sidik Jari Dengan Pemrosesan Awal transformasi Wavelet.
- [2] S. G. Mallet, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 2, no. 7. July 1989.
- [3] W. Guido, *Introduction and basic aspects of wavelets theory*.
- [4] J. O. Chapa and R. M. Rao, "Algorithms for Designing Wavelets to Match a Specified Signal", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 48, no. 12, Dec 2000.