

PENGENALAN NADA PIANIKA MENGUNAKAN JENDELA GAUSSIAN, DCT, DAN JARAK KOSINUS

Linggo Sumarno

Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Sanata Dharma
Alamat korespondensi: Kampus III Paingan Maguwaharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
E-mail: lingsum@usd.ac.id

ABSTRACT

Most people do not know what tone is being heard, when a pianica is played. This is because they are not trained to listen to the tone. In order to deal with that problem, a tone recognition system which able to recognize pianica tones, can be used to train people in learning music, especially pianica. This paper discusses the development of a computer-based system for the recognition of pianica tones. In general, the tone recognition system that developed can be described by the following sequence of processes: frame blocking, normalization, windowing using a Gaussian window, feature extraction using a DCT (Discrete Cosine Transform), and a distance calculation using a cosine distance. Based on the test results using 120 test tones, the developed tone recognition system can give recognition rate up to 100%. Minimum parameters to obtain that recognition rate are a Gaussian window with standard deviation 1, a DCT which has 64 points in length, and also 32 DCT coefficients for feature extraction.

Keywords : *Tone recognition, Pianika, Gaussian window, DCT, Cosine distance.*

1. PENDAHULUAN

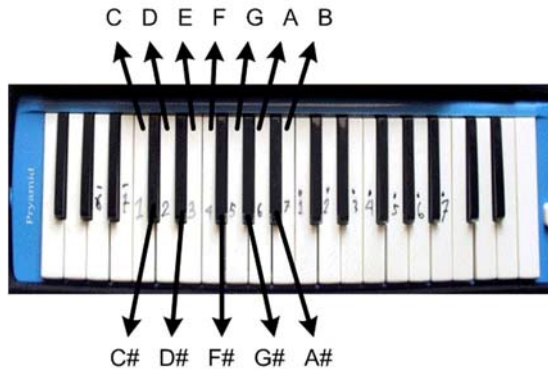
Pianika merupakan bagian dari banyak alat musik apabila ditiup akan menghasilkan sebuah bunyi. Tinggi rendahnya nada ditentukan oleh frekuensi dasar gelombang bunyi (Kurnia, 2011). Semakin besar frekuensi dasar gelombang bunyi, maka semakin tinggi nada yang dihasilkan, demikian pula sebaliknya. Umumnya indera pendengaran manusia tidak dapat mengenali secara pasti nada apa yang didengar olehnya, terkecuali bagi para pemusik profesional (Surya, 2012).

Dengan kemajuan teknologi dewasa ini, suatu komputer dibuat untuk meniru kemampuan pada pemusik profesional dalam mengenali nada alat musik. Dalam meniru ini, umumnya prinsip dasar pengenalan nada dengan komputer adalah dengan membandingkan frekuensi dasar gelombang bunyi alat musik dengan frekuensi dasar nada referensi (Somrealvongkul, 2008; Kurnia, 2011).

Pada penelitian sebelumnya, Hendra (2012) mengembangkan pengenalan nada suling rekorder menggunakan jendela Kaiser, ekstraksi ciri FFT (*Fast Fourier Transform*), dan fungsi jarak Chebyshev. Untuk

mendapatkan tingkat pengenalan 100%, sekurang-kurangnya diperlukan sejumlah 64 koefisien FFT untuk ekstraksi ciriya. Surya (2012) mengembangkan pengenalan nada pianika menggunakan jendela Kaiser, ekstraksi ciri FFT, dan fungsi korelasi. Untuk mendapatkan tingkat pengenalan 100%, sekurang-kurangnya diperlukan sejumlah 128 koefisien FFT untuk ekstraksi cirinya. Dengan melihat besarnya jumlah koefisien yang diperlukan untuk ekstraksi ciri tersebut, dapat dilihat bahwa penelitian pengenalan nada untuk mengurangi jumlah koefisien ekstraksi ciri masih terbuka lebar.

Pada penelitian yang dilaksanakan, dibuat suatu sistem pengenalan nada pianika yang dapat mengenali nada C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, dan B, yang diperlihatkan pada Gambar 1. Sistem yang dibuat tersebut masukannya berupa nada dalam format wav, sedangkan keluarannya berupa teks yang mengindikasikan nada yang dikenali. Dalam tulisan ini, dikaji pengaruh variasi nilai deviasi standar jendela Gaussian pada proses *windowing*, variasi panjang DCT, serta variasi jumlah koefisien DCT yang dipilih pada proses ekstraksi ciri, terhadap tingkat pengenalan nada.



Gambar 1. Nada-nada C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, dan B yang Dikenali pada Pianika (Surya, 2012).

2. DASAR TEORI

2.1 Pianika

Pianika adalah alat musik tiup kecil sejenis harmonika, yang mempunyai bilah-bilah *keyboard* yang luasnya sekitar tiga oktaf. Pianika dimainkan dengan ditiup langsung, atau memakai pipa lentur yang dihubungkan ke mulut (Senturi, 2010).

Alat musik pianika biasanya digunakan untuk memainkan melodi pokok, kontra melodi, dan bila memungkinkan dapat juga untuk mengiringi lagu. Pianika mempunyai dua bilahan warna tuts yaitu warna putih dan hitam. Bilahan-bilahan yang berwarna putih untuk nada-nada asli (natural) dan yang berwarna hitam untuk memainkan nada-nada kromatis (lihat Gambar 1). Dalam memainkan alat musik pianika, tangan kiri memegang pianika dan tangan kanan menekan untuk memainkan melodi lagu, sedangkan mulut meniupnya (Surya, 2012).

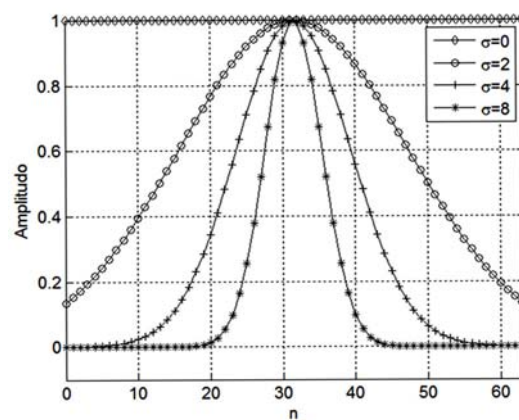
2.2 Windowing

Pada suatu proses perekaman sinyal, biasanya pada tepi-tepi sinyal dijumpai adanya diskontinuitas. Hal ini akan menghasilkan munculnya banyak sinyal-

sinyal frekuensi tinggi pada proses ekstraksi ciri DCT. Munculnya sinyal-sinyal frekuensi tinggi tersebut, akan dapat mempengaruhi keakuratan hasil ekstraksi ciri DCT. Untuk mengurangi munculnya sinyal-sinyal frekuensi tinggi tersebut, maka tepi-tepi sinyal masukan perlu dikurangi kontinuitasnya dengan menggunakan *windowing* (Meseguer, 2009).

Jendela Gaussian

Jendela Gaussian adalah suatu jendela yang dapat digunakan untuk keperluan *windowing*. Jendela ini merupakan suatu jendela yang dapat diatur keruncingannya dengan mengatur nilai standar deviasi (σ), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.

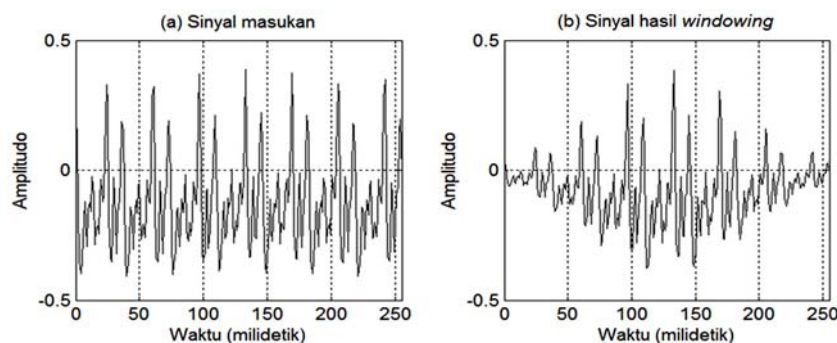


Gambar 2. Contoh Jendela Gaussian 64 Titik dengan Nilai Standar Deviasi (σ) yang Beragam

Jendela Gaussian $w(n)$ dengan panjang N titik, dirumuskan secara matematis sebagai berikut (Harris, 1978):

$$w(n) = e^{-\frac{1}{2} \left(\sigma \frac{n}{N/2} \right)^2} \quad (1)$$

dengan σ adalah deviasi standar, dan $n = \{-(N-1)/2, \dots, (N-1)/2\}$. Gambar 3 memperlihatkan contoh penerapan *windowing* pada suatu sinyal.



Gambar 3. Contoh *Windowing* pada Suatu Sinyal.

Jendela yang Digunakan adalah Jendela Gaussian 256 Titik, dengan Deviasi Standar $\sigma = 2$

2.3 DCT (Discrete Cosine Transform)

DCT merupakan suatu jenis transformasi yang banyak digunakan untuk pemampatan sinyal. DCT dari suatu runtun $u(n)$ dengan panjang N titik, dirumuskan secara matematis sebagai berikut (Jain, 1989).

$$y(k) = \alpha(k) \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cos \left[\frac{\pi(2n+1)k}{2N} \right],$$

$$0 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

dengan

$$\alpha(k) \triangleq \sqrt{\frac{1}{N}}, \quad \alpha(k) \triangleq \sqrt{\frac{2}{N}} \text{ untuk}$$

$$0 \leq n \leq N-1 \quad (3)$$

Gambar 4 memperlihatkan contoh DCT dari sinyal yang diperlihatkan pada Gambar 3. Terlihat DCT sinyal hasil *windowing* terlihat lebih bersih, karena sinyal-sinyal frekuensi tinggi tidak tampak.

2.4 Jarak kosinus

Dasar dari jarak kosinus adalah perkalian skalar. Perkalian skalar antara dua vektor selalu menghasilkan suatu skalar. Perkalian skalar pada dimensi- d diperlihatkan pada persamaan

$$A \cdot B = |A||B|\cos(\theta) \quad (4)$$

dengan $|A|$ dan $|B|$ adalah besaran dari vektor A dan B , dan (θ) adalah sudut antara dua vektor tersebut. Untuk vektor dimensi- d , besarnya adalah

$$|A| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_d^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^d a_i^2} \quad (5)$$

Jika vektor A dan B direpresentasikan bersama komponen-komponennya, maka vektor-vektor tersebut dapat dituliskan dengan

$$A = a_1 \hat{i} + a_2 \hat{j} + a_3 \hat{k} \dots a_d \hat{d}$$

dan

$$B = b_1 \hat{i} + b_2 \hat{j} + b_3 \hat{k} \dots b_d \hat{d}.$$

Dengan demikian, perkalian skalarnya menjadi

$$A \cdot B = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 + \dots + a_d b_d +$$

$$= \sum_{i=1}^d a_i b_i. \quad (6)$$

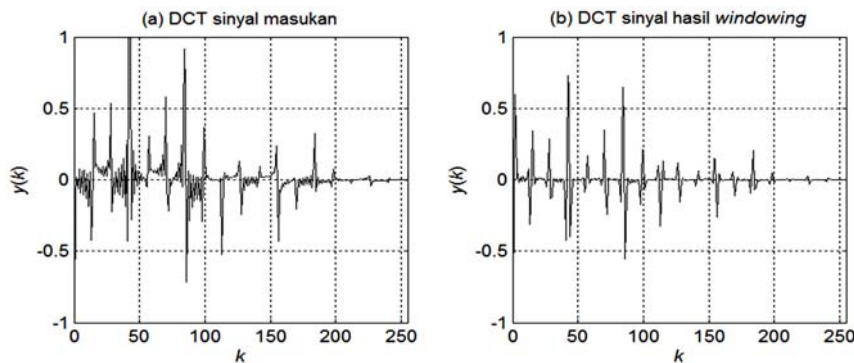
Jarak kosinus adalah suatu fungsi untuk mengukur sudut antara dua vektor pada suatu ruang dimensi- d . Dari persamaan (4), (5), dan (6), jarak kosinus dihitung dengan (Martinez, 2013)

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^d a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^d a_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^d b_i^2}} \right). \quad (7)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat

Bahan penelitian berupa suara pianika dalam format wav, yang diperoleh dengan merekam suara pianika dengan sampling rate 4800 Hz. Besaran sampling rate ini dipilih karena sesuai dengan kriteria Nyquist yaitu besarnya sampling rate minimum adalah dua kali frekuensi tertinggi sebesar 2050 Hz (untuk



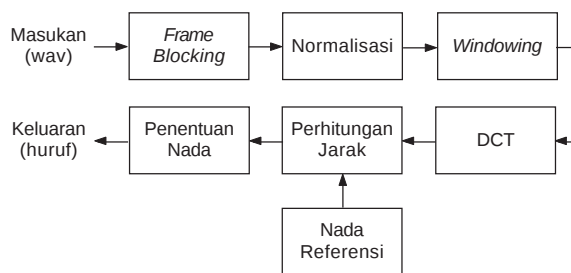
Gambar 4. Contoh DCT dari Sinyal yang Diperlihatkan pada Gambar 3.
DCT yang Digunakan adalah DCT 256 Titik

nada B). Berdasarkan hasil evaluasi secara subyektif, durasi perekaman selama 2 detik sudah memadai, karena suara yang dihasilkan sudah stabil, terutama di daerah deretan data tengah, yang dipilih untuk keperluan *frame blocking* (Surya, 2012).

Alat penelitian berupa pianika merek Pyramid seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 di atas. Mikrofon Genius MIC-01A. Seperangkat komputer dengan prosesor Intel Core 2 Duo E7500, dengan RAM 3GB, yang dilengkapi dengan perangkat lunak MATLAB.

3.2 Perancangan Sistem Pengenalan Nada

Proses pengenalan nada diperlihatkan blok diagramnya pada Gambar 5. Masukan berupa *wav file* dan keluaran berupa huruf yang menandakan nada yang dikenali.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem Pengenalan Nada Pianika

Frame blocking adalah pengambilan suatu *frame* sinyal dari suatu deretan sinyal yang panjang (Kartikasari, 2006). *Frame blocking* bertujuan untuk mengurangi jumlah data sinyal yang akan diproses, yang efeknya adalah untuk pengurangan waktu komputasi. Pada penelitian ini *frame* sinyal yang diambil adalah *frame* yang ada di tengah-tengah deretan sinyal. Lebar *frame* yang dievaluasi pada penelitian ini, disesuaikan dengan titik DCT yang dievaluasi, yaitu 16, 32, 64, 128, dan 256 titik.

Normalisasi adalah pengesetan nilai maksimum pada deretan sinyal supaya bernilai satu. Normalisasi ini bertujuan untuk menghilangkan perbedaan nilai maksimum pada sejumlah deretan data hasil perekaman (Surya, 2012).

Windowing menggunakan jendela Gaussian. Standar deviasi dari jendela Gaussian yang dievaluasi pada penelitian yaitu 0, 1, 2, 3, 4, dan 5.

DCT adalah pengubahan deretan sinyal dari ranah waktu menjadi ranah DCT. Sebagian sinyal yang

diambil dalam ranah DCT ini, dapat digunakan sebagai ekstraksi ciri dari sinyal dari ranah waktu tersebut. Sebagian sinyal ini dapat diambil dari koefisien DCT ke-1 hingga (yang maksimum) ke- n , dengan n adalah panjang DCT yang digunakan. Dalam penelitian ini dievaluasi sejumlah c koefisien yang dirumuskan dengan

$$c = \lfloor pxn \rfloor \quad (8)$$

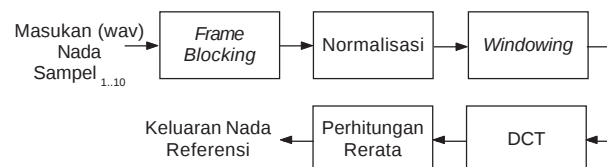
dengan $p = 10\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%, 60\%$, dan 70% , dan n adalah panjang DCT.

Perhitungan Jarak adalah menghitung jarak antara sebuah hasil ekstraksi ciri data masukan dengan sejumlah 12 nada hasil ekstraksi ciri pada nada referensi. Sejumlah 12 nada pada data referensi ini adalah sebagai referensi untuk nada-nada C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, dan B.

Penentuan nada adalah untuk menentukan nada hasil pengenalan. Penentuan nada ini dilakukan dengan cara mencari nilai minimum dari sejumlah 12 nilai perhitungan jarak. Suatu nada yang mempunyai nilai jarak minimum, ditentukan sebagai nada keluaran.

3.3 Nada Referensi

Nada referensi diperlukan pada proses perhitungan jarak. Untuk membuat nada referensi, penulis mengambil sejumlah 10 sampel untuk nada-nada C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, dan B. Secara subyektif penulis menganggap, dengan pengambilan 10 sampel untuk setiap nada, semua variasi spektrum untuk setiap nada sudah didapatkan. Karena dari 12 nada tersebut ada 10 sampel untuk setiap nada, maka secara total diperlukan sejumlah 120 nada untuk membuat nada referensi (Surya, 2012). Gambar 6 memperlihatkan blok diagram proses pembuatan nada referensi.



Gambar 6. Blok Diagram Proses Pengambilan Nada Referensi

Berdasarkan pada Gambar 6, untuk setiap nada, dilakukan perhitungan ekstraksi ciri DCT dari sejumlah 10 sampel. Selanjutnya, dilakukan perhitungan rerata atas sejumlah ekstraksi ciri DCT

tersebut. Perhitungan rerata ini diperlihatkan pada persamaan berikut

$$\text{Nada referensi}_k = \frac{\sum_{i=1}^{10} (\text{Ekstraksi ciri DCT nada sampel } k)_i}{10} \quad (6)$$

dengan k adalah nada C, C#, D, D#, E, F, F# G, G#, A, A#, dan B. Dengan demikian, untuk pemrosesan 12 nada yang berdasarkan Gambar 5 di atas, akan didapatkan satu set nada referensi yang terdiri atas 12 nada yaitu C, C#, D, D#, E, F, F# G, G#, A, A# dan B.

Dalam penelitian ini, terdapat sejumlah 210 set nada referensi, yang dibuat dengan berdasarkan kombinasi nilai-nilai yang dievaluasi yang telah dideskripsikan di atas. Nilai-nilai yang dievaluasi tersebut adalah sebagai berikut

- Standar deviasi jendela Gaussian: 0, 1, 2, 3, 4, 5.
- Panjang DCT (titik): 16, 32, 64, 128, 256.
- Persen koefisien DCT: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% .

3.4 Nada Uji

Nada uji diperlukan untuk mengetahui sampai seberapa jauh kinerja sistem pengenalan pada berbagai kombinasi nilai-nilai yang dievaluasi. Pada penelitian ini, penulis mengambil 10 sampel untuk setiap nada (C, C#, D, D#, E, F, F# G, G#, A, A# dan B), sehingga dengan demikian terdapat sejumlah 120 nada uji.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sistem pengenalan nada pada berbagai kombinasi standar deviasi jendela Gaussian, panjang DCT, dan persen koefisien DCT, diperlihatkan pada Tabel 1. Sebagai catatan, jumlah koefisien DCT pada tabel tersebut dihitung berdasarkan persamaan (7), sedangkan tingkat pengenalan dihitung dengan persamaan berikut

$$\text{Tingkat pengenalan} = \frac{\text{Jumlah nada yang dikenali}}{\text{Jumlah nada uji}} \times 100\% \quad (7)$$

dengan jumlah nada uji, seperti yang telah dideskripsikan di atas, adalah 120 nada.

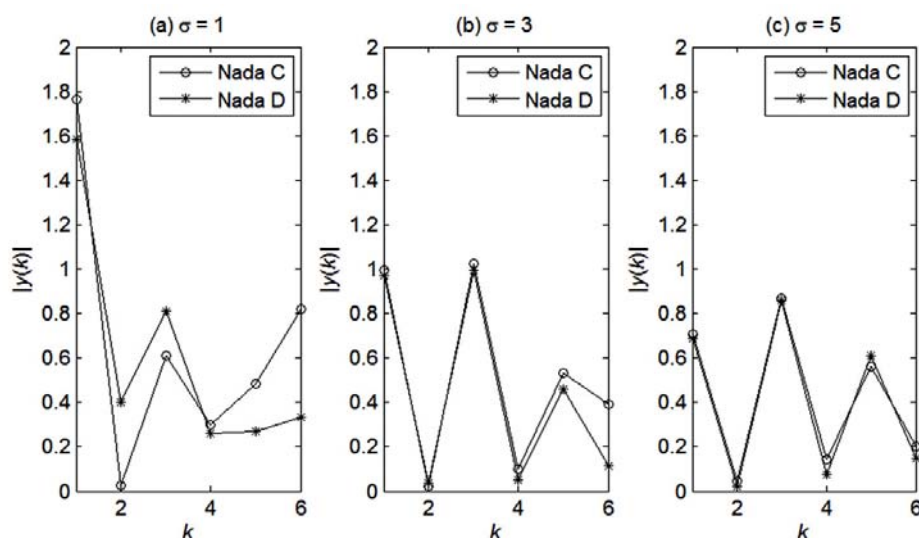
Tabel 1: Hasil Pengujian Sistem Pengenalan Nada pada Berbagai Kombinasi Standar Deviasi Jendela Gaussian, Panjang DCT, dan Persen Koefisien DCT.
Hasil yang Ditampilkan adalah: Tingkat pengenalan (%) / Jumlah Koefisien DCT

Standar deviasi jendela Gaussian, σ	Panjang DCT, n titik	Persen koefisien DCT, p (%)						
		10	20	30	40	50	60	70
0	16	8,33/1	11,67/3	15,00/4	28,33/6	38,33/8	39,17/9	43,33/11
	32	25,00/3	32,50/6	54,17/9	76,67/12	76,67/16	78,33/19	82,50/22
	64	41,67/6	75,00/12	90,83/19	97,50/25	97,50/32	97,50/38	99,17/44
	128	78,33/12	94,17/25	98,33/38	99,17/51	99,17/64	100/76	100/89
	256	97,50/25	100/51	100/76	100/102	100/128	100/153	100/179
1	16	8,33/1	10,00/3	17,50/4	25,83/6	36,67/8	37,67/9	41,67/11
	32	18,33/3	31,67/6	54,17/9	67,50/12	74,67/16	73,33/19	75,00/22
	64	44,17/6	74,17/12	93,33/19	96,67/25	100/32	100/38	100/44
	128	78,00/12	95,00/25	99,17/38	100/51	100/64	100/76	100/89
	256	99,17/25	100/51	100/76	100/102	100/128	100/153	100/179
2	16	8,33/1	10,00/3	14,17/4	23,33/6	21,67/8	22,33/9	25,83/11
	32	14,17/3	29,17/6	29,17/9	52,50/12	56,67/16	61,67/19	63,33/22
	64	49,17/6	66,67/12	92,50/19	91,67/25	98,33/32	99,17/38	100/44
	128	75,83/12	91,67/25	99,17/38	100/51	100/64	100/76	100/89
	256	96,67/25	100/51	100/76	100/102	100/128	100/153	100/179

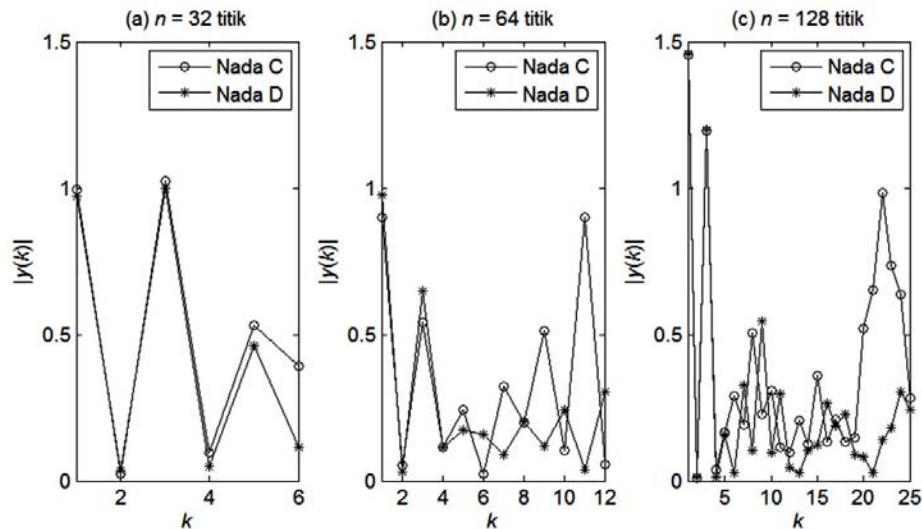
Standar deviasi jendela Gaussian, σ	Panjang DCT, n titik	Persen koefisien DCT, p (%)						
		10	20	30	40	50	60	70
3	16	8,33/1	8,33/3	10,83/4	12,50/6	18,33/8	19,17/9	18,33/11
	32	16,67/3	16,67/6	21,67/9	27,50/12	32,50/16	35,83/19	35,00/22
	64	21,67/6	48,33/12	74,17/19	80,83/25	85,83/32	87,50/38	90,00/44
	128	63,33/12	85,83/25	94,17/38	98,33/51	99,17/64	100/76	100/89
	256	89,17/25	97,50/51	100/76	100/102	100/128	100/153	100/179
4	16	8,33/1	11,67/3	10,00/4	10,00/6	15,83/8	17,5/9	18,33/11
	32	13,33/3	15,00/6	22,50/9	23,33/12	23,33/16	27,00/19	29,17/22
	64	15,83/6	34,17/12	59,17/19	59,17/25	65,00/32	65,83/38	69,17/44
	128	60,00/12	80,83/25	87,50/38	92,50/51	96,67/64	98,33/76	98,33/89
	256	79,17/25	92,50/51	98,33/76	100/102	100/128	100/153	100/179
5	16	8,33/1	9,17/3	7,50/4	8,33/6	11,67/8	14,17/9	15,83/11
	32	12,50/3	10,83/6	16,67/9	20,00/12	22,50/16	24,17/19	27,50/22
	64	15,83/6	23,33/12	50,00/19	50,83/25	56,83/32	56,67/38	57,50/44
	128	43,33/12	72,50/25	80,00/38	83,33/51	88,33/64	93,33/76	94,17/89
	256	70,00/25	83,33/51	95,00/76	100/102	100/128	100/153	100/179

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa bila nilai σ semakin besar, secara umum akan menyebabkan turunnya tingkat pengenalan. Penyebab terjadinya hal ini diperlihatkan pada Gambar 7. Untuk nilai σ yang semakin besar, akan menyebabkan sebaran koefisien DCT antara nada satu dengan yang lainnya semakin berhimpitan (*overlap*). Ini berarti, makin susah dibedakan antara nada satu dengan nada yang lainnya. Kejadian inilah yang menyebabkan makin turunnya tingkat pengenalan.

Berdasarkan Tabel 1 pula, terlihat bahwa bila nilai n yang digunakan semakin besar, secara umum akan menyebabkan naiknya tingkat pengenalan. Penyebab terjadinya hal ini diperlihatkan pada Gambar 8. Untuk nilai n yang semakin besar, akan menyebabkan makin banyaknya koefisien DCT yang digunakan untuk membedakan antara nada yang satu dengan nada yang lainnya. Ini berarti, akan makin mudah dibedakan antara nada yang satu dengan nada yang lainnya. Kejadian inilah yang menyebabkan makin naiknya tingkat pengenalan.



Gambar 7. Pengaruh Standar Deviasi Jendela Gaussian, σ , terhadap Hasil DCT, $|y(k)|$, untuk Penggunaan Panjang DCT, $n = 32$ Titik, dan Persen Koefisien DCT $p = 20\%$

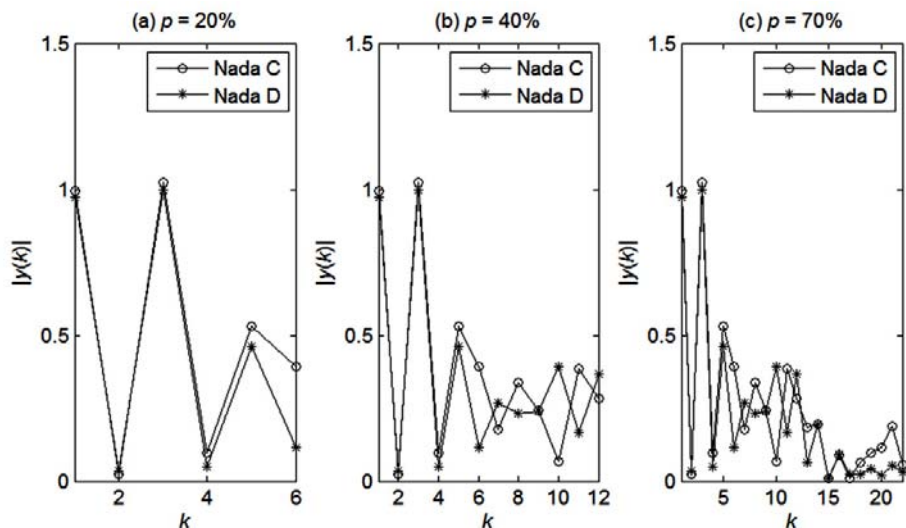


Gambar 8. Pengaruh Panjang DCT, n , terhadap Hasil DCT, $|y(k)|$, untuk Penggunaan Standar Deviasi Jendela Gaussian, $\sigma = 3$, dan Persen Koefisien DCT, $p = 20\%$

Berdasarkan Tabel 1 pula, terlihat bahwa bila nilai p yang digunakan semakin besar, secara umum akan menyebabkan naiknya tingkat pengenalan. Penyebab terjadinya hal ini diperlihatkan pada Gambar 9. Untuk nilai p yang semakin besar, akan menyebabkan makin banyaknya koefisien DCT yang digunakan untuk membedakan antara nada yang satu dengan nada yang lainnya. Ini berarti, akan makin mudah dibedakan antara nada yang satu dengan nada

yang lainnya. Kejadian inilah yang menyebabkan makin naiknya tingkat pengenalan.

Untuk mencari jumlah koefisien DCT yang minimum, yang menghasilkan tingkat pengenalan 100%, dapat dilakukan dengan mengekstrak Tabel 1. Hasil dari dari ekstraksi tersebut diperlihatkan pada Tabel 2. Terlihat pada Tabel 2, saat nilai $\sigma = 1$, didapatkan nilai $c = 32$ yang minimum, pada panjang DCT 64 titik.



Gambar 9. Pengaruh Persen Koefisien DCT, p , terhadap Hasil DCT, $|y(k)|$, untuk Penggunaan Standar Deviasi Jendela Gaussian, $\sigma = 3$, dan Panjang DCT, $n = 32$

Tabel 2: Ekstraksi Tabel 1 yang Memperlihatkan Pengaruh Standar Deviasi Jendela Gaussian terhadap Jumlah Koefisien DCT/Panjang DCT, pada Tingkat Pengenalan 100%

Standar deviasi jendela Gaussian, σ	0	1	2	3	4	5
Jumlah koefisien DCT, c /Panjang DCT, n titik	51/256	32/64	44/64	76/12876/256	102/256	102/256

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hal-hal yang telah dideskripsikan di atas, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut.

- a. Nilai standar deviasi pada jendela Gaussian mempengaruhi tingkat pengenalan. Umumnya untuk nilai standar deviasi yang makin besar akan makin menurunkan tingkat pengenalan.
- b. Nilai panjang DCT mempengaruhi tingkat pengenalan. Umumnya untuk nilai panjang DCT yang makin besar akan makin menaikkan tingkat pengenalan.
- c. Nilai persen koefisien DCT mempengaruhi tingkat pengenalan. Umumnya untuk nilai persen koefisien DCT yang makin besar akan makin menaikkan tingkat pengenalan.

- d. Parameter-parameter minimum untuk mendapatkan tingkat pengenalan hingga 100% adalah jendela Gaussian dengan deviasi standar 1, DCT dengan panjang 64 titik, serta sejumlah 32 koefisien DCT.

Berikut ini saran-saran untuk mengembangkan lebih lanjut penelitian ini.

- a. Eksplorasi jenis-jenis ekstraksi ciri yang lain yang dapat memberikan jumlah koefisien ekstraksi ciri yang lebih kecil.
- b. Pengembangan sistem pengenalan nada pianika menjadi sistem yang *real time*, yang dapat dengan segera mengenali nada yang dimainkan.
- c. Pengembangan sistem pengenalan nada pianika menjadi sistem pengenalan nada yang berurutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Harris, F.J. 1978. "On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform". *Proceedings of the IEEE*. Vol. 66, No. 1, hlm. 51-83.
- Hendra, M. dan Sumarno, L. 2012. "Pengenalan Nada Suling Rekorder Menggunakan Fungsi Jarak Chebyshev". *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2012*. Institut Sains dan Teknologi AKPRIND. Yogyakarta, 3 Nopember 2012, hlm. B-82-B-89.
- Jain, A. K. 1989. *Fundamentals of Digital Image Processing*. New Jersey: Prentice-Hall International Inc.
- Kurnia, A., dan Hidayatno, A. 2011. "Penala Nada Alat Musik menggunakan Alihragam Fourier". UNDIP. Semarang. Diunduh dari <http://eprints.undip.ac.id/25444/>, tanggal 3 Juli 2013.
- Kartikasari, Y. E. 2006. "Pembuatan Software Pembuka Program Aplikasi Komputer Berbasis Pengenalan Sinyal Suara". *Tugas Akhir*. Surabaya: PENS-ITS.
- Martinez, A. M. dan Ibarolla, J. A. C. 2013. "A New and Efficient Alignment Technique by Cosine Distance". *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*. Vol. 4, No. 1, hlm. 12-24.
- Meseguer, N.A. 2009. "Speech Analysis for Automatic Speech Recognition". *MSc Thesis*. Trondheim: NTNU.
- Senturi, D. 2010. "LKS Seni Musik Kelas 7 Semester 2 Tahun 2010/2011". Diunduh dari <http://senturi09.wordpress.com/2010/11/06/lkssb72201011/>, tanggal 5 Juli 2013.
- Somrealvongkul, B. 2008. "Musical Instruments Sound Recognition". Diunduh dari <http://www.slideshare.net/mezzoblues/misr>, tanggal 14 Juli 2013.
- Surya, D. E. dan Sumarno, L. 2012. "Pengenalan Nada Pianika Menggunakan Jendela Kaiser, FFT, dan Korelasi". *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (RETII) 2012*. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional. Yogyakarta, 15 Desember 2012. Hal 151-157.