

Pengenalan Ucapan Kata Sebagai Pengendali Gerakan Robot Lengan Secara Real-Time dengan Metode *Linear Predictive Coding* – *Neuro Fuzzy*

Elsen Ronando dan M. Isa Irawan

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS Keputih- Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail: mii@matematika.its.ac.id

Abstrak— Sejak beberapa dekade terakhir ini, peran robot dalam industri maupun kehidupan sehari-hari semakin meningkat. Hampir tidak ada cabang industri teknologi tinggi yang tidak dibantu robot. Dalam kehidupan sehari-hari, berbagai bentuk robot diciptakan untuk membantu atau memudahkan aktivitas manusia. Namun seiring dengan tingkat kebutuhan manusia terhadap robot, tingkat resiko kesulitan manusia dalam menggunakan teknologi tersebut semakin tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya kecelakaan akibat tidak adanya teknologi yang memudahkan manusia dalam berinteraksi dengan robot secara interaktif. Pada umumnya robot-robot tersebut dikendalikan melalui input keyboard dari Personal Computer (PC) atau remote control analog, dan bukan melalui suara ucapan. Oleh karena itu perlu dirancang suatu robot yang bergerak sesuai perintah suara ucapan. Jika suara ucapan digunakan untuk mengendalikan suatu robot, maka sistem yang dipakai harus berjalan secara realtime sehingga robot dapat dikendalikan secara interaktif. Pada tugas akhir ini akan dikembangkan sebuah suatu perangkat lunak sistem pengenalan suara menggunakan metode *Linear Predictive Coding* (LPC) dan *Neuro-Fuzzy*. Perangkat lunak tersebut akan digunakan untuk mengendalikan robot lengan yang terhubung pada kabel serial RS-232 suatu PC melalui komunikasi serial. Dalam penelitian ini diharapkan dengan menerapkan metode *Linear Predictive Coding* (LPC) dan *Neuro-Fuzzy* pada sistem pengenalan suara dapat digunakan untuk mengidentifikasi perintah suara dengan tingkat keberhasilan yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pengendali robot yang handal. Berdasarkan dari hasil pengujian yang dilakukan pengenalan jaringan untuk data baru lebih rendah terhadap data latihan. Prosentase pengenalan suara dari dalam database sebesar 100 %, dan prosentase untuk pengenalan suara dari luar database 12,5%.

Kata Kunci— Komunikasi Serial, *Linear Predictive Coding*, *Neuro-Fuzzy*, Remote Control, Robot Lengan.

I. PENDAHULUAN

Sejak beberapa dekade terakhir ini, peran robot dalam industri maupun kehidupan sehari-hari semakin meningkat. Hampir tidak ada cabang industri teknologi tinggi yang tidak dibantu robot. Dalam kehidupan sehari-hari, berbagai bentuk robot diciptakan untuk membantu atau memudahkan aktivitas manusia. Namun seiring dengan tingkat kebutuhan manusia terhadap robot, tingkat resiko kesulitan manusia dalam menggunakan teknologi tersebut semakin tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya

kecelakaan akibat tidak adanya teknologi yang memudahkan manusia dalam berinteraksi dengan robot secara interaktif. Pada umumnya robot atau mesin tersebut dikendalikan oleh operator atau dikendalikan PC atau *remote control*. Oleh karena itu untuk lebih memudahkan pengendalian robot tersebut perlu dirancang suatu robot yang bergerak melalui interaksi manusia.

Salah satu penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan *human robot interface*, interaksi manusia dengan robot menggunakan isyarat tangan sebagai bahasa tubuh manusia dengan metode *Fuzzy C-Means* (FCM) dan jaringan syaraf tiruan LVQ sebagai perintah untuk mengendalikan robot [1]. Selain itu, terdapat penelitian lainnya yang berkaitan dengan interaksi manusia dengan robot, yaitu kendali gerak interaktif robot mobil berbasis suara ucapan [2].

Berdasarkan hal tersebut, maka dalam tugas akhir ini dilakukan pengembangan sistem agar komputer bisa berinteraksi dengan manusia berdasarkan sistem pengenalan suara. Sistem pengenalan suara adalah bagian dari biometrika yang merupakan cabang ilmu komputer yang muncul dan berkembang pada era globalisasi. Bidang garap biometrika adalah mengidentifikasi individu berdasarkan ciri-ciri fisiologis dan tingkah laku yang dimiliki oleh individu tersebut. Salah satu ciri yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi individu adalah melalui suara ucapan. Salah satu bidang aplikasi sistem pengenalan suara adalah untuk perkembangan teknologi robot, seperti [2]. Jika suara ucapan digunakan untuk mengendalikan suatu robot, maka sistem yang dipakai harus berjalan secara *realtime* sehingga robot dapat dikendalikan secara interaktif [1][2].

Dalam pengenalan suara terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu akuisisi data suara, ekstraksi ciri sinyal suara, dan pengenalan pola suara [3]. Proses akuisisi sinyal suara yang diperoleh oleh *microphone* akan didigitalisasi oleh *soundcard* pada PC, namun sinyal tersebut belum bisa digunakan untuk proses pengenalan karena belum menunjukkan karakteristik dari sinyal tersebut. Oleh karena itu sinyal perlu diproses untuk mendapatkan suatu karakteristik yang dapat digunakan sebagai pengenalan pola, salah satu metode untuk mengolah sinyal suara adalah metode *linear predictive coding* [3][4][5]. Setelah itu untuk pengenalan pola dari tiap karakteristik sinyal suara yang sudah diolah diperlukan metode *Neuro-Fuzzy* [6][7]. Hasil pengenalan pola menggunakan metode *Neuro-Fuzzy* itulah

yang akan digunakan sebagai input dalam representasi karakteristik sinyal yang diperlukan dalam menggerakkan robot lengan.

Pada tugas akhir ini akan dikembangkan sebuah sistem pengenalan ucapan kata yang memanfaatkan teknik ekstraksi ciri sinyal suara dan pengenalan pola suara. Metode yang akan digunakan, yaitu metode *Linear Predictive Coding* (LPC) dan *Neuro-Fuzzy*. Untuk simulasi, tugas akhir ini menggunakan robot lengan dengan komunikasi serial RS-232 [11]. Diharapkan dengan menerapkan metode *Linear Predictive Coding* (LPC) dan *Neuro-Fuzzy*, dapat digunakan untuk mengidentifikasi pengenalan ucapan kata dengan tingkat keberhasilan yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pengendali robot lengan yang handal.

II. TINJUAN PUSTAKA

A. Suara

Suara adalah sebuah sinyal yang rumit sebagai sebuah hasil dari beberapa transformasi yang terjadi pada beberapa level yang berbeda dari semantik, linguistik, artikulasi (pengucapan) dan akustik. Perbedaan dalam transformasi ini tampak sebagai perbedaan anatomic yang melekat dalam *vocal tract* dan kebiasaan pengucapan yang dipelajari dari individu yang berbeda [8].

Suara yang dikeluarkan manusia dipengaruhi oleh banyak efek suara. Dengan mengubah salah satu dari beberapa komponen suara di bawah ini, maka efek suara dapat berubah dan suara baru akan terbentuk. Komponen suara itu adalah sebagai berikut [8]:

- **Pitch** dari suara dipengaruhi oleh frekwensi dari suara. Frekuensi dibagi menjadi : *low I bass* (membuat suara menjadi kuat), *midrange* (memberi energy pada suara), dan *high I treble* (memberi kualitas pada suara).
- **Timbre** (warna suara) adalah kombinasi yang unik dari frekuensi, harmonisa, dan nada yang memberikan setiap suara, music, dan efek suara suatu warna dan karakter.
- **Harmonisa** (nada), apabila suatu benda bergetar untuk menghasilkan suatu sinyal suara yang mempunyai frekuensi dan sinyal frekuensi inilah yang dinamakan harmonisa.
- **Loudness** dari suara bergantung pada intensitas dari stimulus suara dimana akan mempengaruhi amplitude dari suara.
- **Ritme** adalah suara yang berada di antara elemen yang kuat dan lemah.
- **Attack**, suatu suara timbul dinamakan dengan *attack* yang terbagi menjadi dua yaitu *fast attack* dan *slow attack*.
- **Sustam**, apabila suatu suara mencapai puncak, panjang waktu dari suara akan menahan itu bergantung pada energy dari sumber getaran.
- **Decay** adalah penurunan amplitude pada saat getaran telah dipisahkan.
- **Speed**, dengan mengubah kecepatan dari suatu suara akan menghasilkan efek suara yang berbeda.

Namun pada Tugas Akhir ini hanya memusatkan pada *pitch* dari suara yang dikeluarkan dan yang siap untuk diproses dalam *speech recognition*.

B. Speech Processing

Speech Processing (pemrosesan lafal/ucapan) adalah metode mengekstrak informasi yang diinginkan dari sebuah sinyal suara. Untuk memproses sebuah sinyal dengan sebuah computer digital, sinyal harus dihadirkan dalam bentuk digital sehingga sinyal tersebut dapat digunakan oleh sebuah computer digital. Awalnya, gelombang suara akustik diubah ke suara sebuah sinyal digital sesuai untuk *voice processing*. Sinyal digital disini adalah sinyal analog yang telah melalui proses *sampling*, *quantization*, dan *encoding* [8].

Sampling adalah proses mengambil nilai-nilai sinyal pada titik-titik diskrit sepanjang variable waktu dari sinyal waktu kontinu. Sehingga didapatkan sinyal waktu diskrit. Jumlah titik-titik yang diambil setiap detik dinamakan sebagai *sampling rate*. Dalam melakukan *sampling*, perlu diperhatikan kriteria *Nyquist* yang menyatakan bahwa sebuah sinyal harus memiliki *sampling rate* yang lebih besar dari $2f_m$ dengan f_m adalah frekuensi paling tinggi yang muncul disebuah sinyal.

Quantization adalah proses memetakan nilai-nilai dari sinyal nilai kontinyu menjadi nilai-nilai diskrit, sehingga didapatkan sinyal nilai diskrit.

Encoding adalah proses mengubah nilai-nilai sinyal ke menjadi bilangan biner.

C. Speech Recognition

Speech recognition (pengenalan lafal/ucapan) adalah suatu proses untuk mengenali seseorang dengan mengenali ucapan dari orang tersebut. *Automatic speaker recogniton* adalah penggunaan sebuah modul untuk mengenali ucapan seseorang dari sebuah frasa yang diucapkan. Empat dasar cara untuk melakukan *speech recognition* adalah sebagai berikut [8]:

- *Template based approaches*, dimana *input speech* yang ada dibandingkan dengan *database* yang ada untuk mendapatkan hasil yang paling cocok.
- *Knowledge based approaches*, untuk mengenali *speech* dengan proses pembelajaran pada sistem.
- *Stochastic approaches*, dimana melihat data statistika dari suatu *individual speech*.
- *Connected approaches* dimana menggunakan jaringan dari sejumlah contoh data, penghubung seluruh *node* yang *training* untuk mengenali *speech*.

Pada tugas akhir ini metode yang digunakan adalah metode *template based approaches* dan *Knowledge based approaches* yaitu dengan cara membandingkan data input *speech* dengan data *speech* yang terdapat pada *database* dan untuk mengenali *speech* dengan proses pembelajaran pada sistem.

D. Metode Linear Predictive Coding

Linear Predictive Coding (LPC) merupakan salah satu metode analisis sinyal suara yang menyatakan ciri-ciri penting dari sinyal suara tersebut dalam bentuk koefisien-koefisien LPC. Enam langkah utama yang digunakan pada bagian ekstraksi ciri berbasis *Linear Predictive Coding* (LPC) adalah [3][4][5]:

- 1) **Preemphasis.** Pada langkah ini, cuplikan kata dalam bentuk *digital* ditapis dengan menggunakan *FIR filter* orde satu untuk meratakan spektral sinyal kata yang telah dicuplik tersebut. Persamaan *preemphasizer* yang paling umum digunakan ialah :

$$\tilde{s}(n) = s(n) - \tilde{a}s(n-1)$$

dimana harga untuk \tilde{a} yang paling sering digunakan ialah 0,95. Sedangkan untuk implementasi *fixed point*, harga \tilde{a} ialah 15/16 atau sama dengan 0,9375.

- 2) **Frame Blocking.** Pada tahap ini sinyal kata yang telah teremphasi, $\tilde{s}(n)$ dibagi menjadi frame-frame dengan masing-masing frame memuat N cuplikan kata dan frame-frame yang berdekatan dipisahkan sejauh M cuplikan, semakin $M \ll N$ semakin baik perkiraan spektral LPC dari frame ke frame.

$$x_l(n) = \tilde{s}(Ml + n) \tag{1}$$

dimana $n=0,1,\dots,N-1$ dan $l = 0,1,\dots,L-1$

- 3) **Windowing.** Pada langkah ini dilakukan fungsi *weighting* pada setiap frame yang telah dibentuk pada langkah sebelumnya dengan tujuan untuk meminimalkan *discontinuities* pada ujung awal dan ujung akhir setiap frame yaitu dengan men-*taper* sinyal menuju nol pada ujung-ujungnya. Tipikal *window* yang digunakan pada metode autokorelasi LPC adalah *Hamming window* yang memiliki bentuk :

$$w_l(n) = x_l(n)w(n) \tag{2}$$

dimana $0 \leq n \leq N-1$

$$w(n) = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1$$

- 4) **Analisa Autokorelasi.** Pada tahap ini masing-masing frame yang telah di *windowing* diautokorelasikan untuk mendapatkan :

$$r_l(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} \tilde{x}_l(n)\tilde{x}_l(n+m) \tag{3}$$

dimana nilai autokorelasi yang tertinggi pada $m=p$ adalah orde dari analisa LPC, biasanya orde LPC tersebut 8 sampai 16. Autokorelasi ke-0 melambangkan energi dari frame yang bersangkutan dan ini merupakan salah satu keuntungan dari metode autokorelasi.

- 5) **Analisa LPC.** Langkah selanjutnya adalah analisa LPC, dimana pada tahap ini $p+1$ autokorelasi pada setiap frame diubah menjadi satu set LPC parameter yaitu koefisien LPC, koefisien pantulan (*reflection coefficient*), koefisien perbandingan daerah logaritmis (*log area ratio coefficient*) Salah satu metode untuk melakukan hal ini ialah metode Durbin yang dinyatakan dalam algoritma dibawah ini :

$$E^{(0)} = r(0)$$

$$k_i = \left\{ r(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j^{(i-1)} r(i-j) \right\} / E^{(i-1)} \quad 1 \leq i \leq p$$

$$\alpha_i^{(i)} = k_i$$

$$\alpha_j^{(i)} = \alpha_j^{(i-1)} - k_i \alpha_{i-j}^{(i-1)}, 1 \leq j \leq i-1$$

$$E^{(i)} = (1 - k_i^2) E^{(i-1)} \tag{4}$$

Persamaan diatas direkursi untuk $i=1,2,\dots,p$ dan penyelesaian akhirnya berupa:

$$a_m = \text{koefisien LPC} = \alpha_m^{(p)}, 1 \leq m \leq p$$

$$k_m = \text{koefisien PARCOR (koefisien pantulan)}$$

$$g_m = \text{koefisien perbandingan daerah logaritmis}$$

$$= \log \left(\frac{1 - k_m}{1 + k_m} \right)$$

- 6) **Mengubah LPC Parameter ke Koefisien Cepstral.** Sekelompok LPC parameter yang sangat penting yang dapat diperoleh dari penurunan koefisien LPC adalah koefisien cepstral $c(m)$. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien cepstral ini ialah :

$$c_m = a_m + \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m} \right) c_k a_{m-k}, 1 \leq m \leq p$$

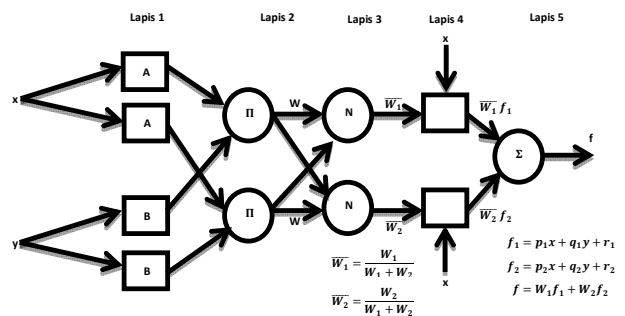
$$c_m = \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m} \right) c_k a_{m-k} \tag{5}$$

E. Pengenalan Pola dengan Metode Neuro Fuzzy

ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* atau *Adaptive Network-based Fuzzy Inference System*) adalah arsitektur yang secara fungsional sama dengan *fuzzy rule base* model sugeno. Arsitektur ANFIS juga sama dengan jaringan syaraf dengan fungsi radial dengan sedikit batasan tertentu. Bisa dikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi [7].

III. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Hasil Implementasi Proses Pra-Pengolahan dan Proses Ekstraksi Ciri



Gambar. 1. Arsitektur Neuro Fuzzy

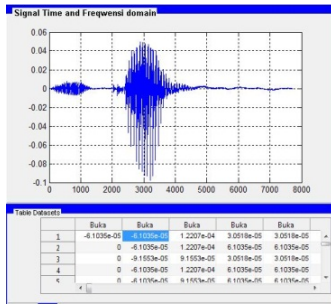
Tujuan dari pengujian hasil implementasi proses ekstraksi ciri adalah untuk mengetahui apakah proses ekstraksi ciri yang telah diimplementasikan menjadi kode-kode program matlab

dapat dijalankan sesuai dengan algoritma yang telah dirancang sebelumnya. Di samping itu pengujian ini juga dimaksudkan

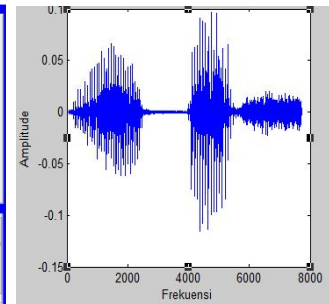
Gambar 2-9 menjelaskan tahapan proses pengolahan ekstraksi ciri *linear predictive coding* pada pencuplikan suatu sinyal ucapan kata, sehingga didapat perbedaan antara karakteristik dari suatu sinyal ucapan kata.

B. Pengujian Pengenalan Suara

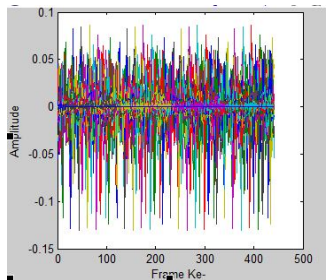
Pengujian proses pengenalan suara, iterasi ditentukan sebesar 500. Penentuan ini dilakukan berdasarkan penelitian [6] yang menyatakan pada waktu iterasi ke-500 pengenalan suara dengan *neuro-fuzzy* dapat dikenali. Selain itu,



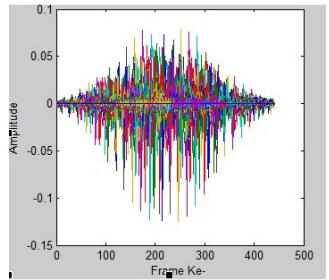
Gambar 2. Pencuplikan Sinyal



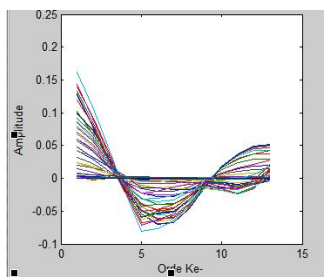
Gambar 3. Proses *Preemphasis*



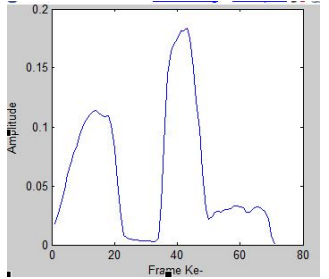
Gambar 4. Proses *Frame Blocking*



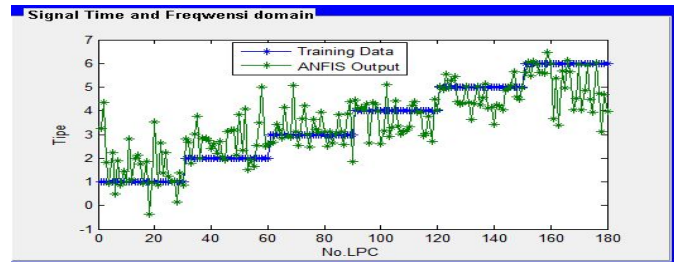
Gambar 5. Proses *Windowing*



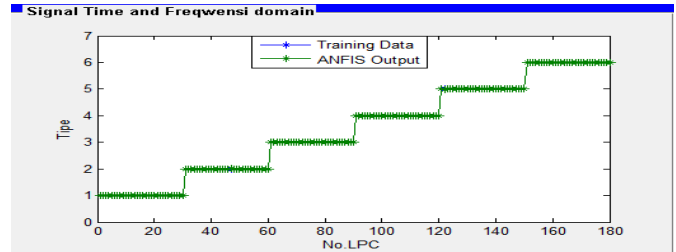
Gambar 6. Proses *Autokorelasi*



Gambar 7. Proses Analisa LPC



Gambar 10. Hasil Training dengan 4 Titik Koefisien Cepstral



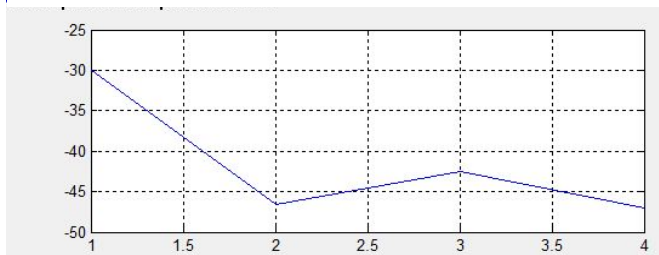
Gambar 11. Hasil Training dengan 8 Titik Koefisien Cepstral

Tabel 1.
Data Hasil Percobaan

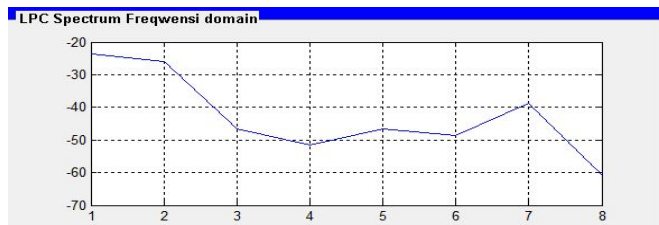
Koefisien Cepstral	Iterasi	Nilai MSE
4 titik	500	0.956015
8 titik	500	$9,36 \times 10^{-6}$

pengamatan terhadap nilai mse yang dihasilkan pada saat percobaan 500 iterasi proses pengenalan suara, baik saat menggunakan koefisien cepstral dengan 4 titik dan 8 titik berpengaruh terhadap penentuan parameter ini. Gambar 10 dan 11 merupakan proses hasil training data sinyal suara.

Dari hasil percobaan diatas, dapat dilihat kecenderungan nilai mse pada 8 titik koefisien cepstral memiliki nilai mse sangat kecil yaitu 0.00000936183. Lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada tabel sebagai berikut:



Gambar 8. Koefisien Cepstral 4 Titik



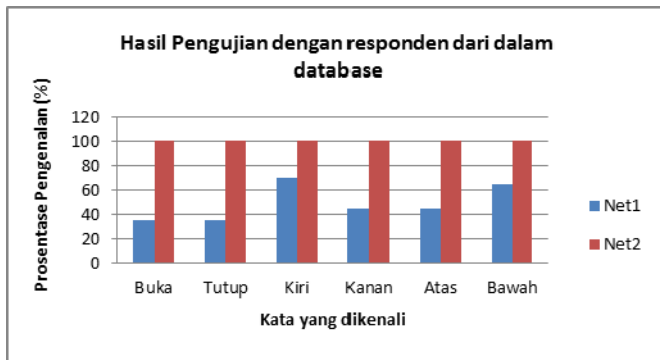
Gambar 9. Koefisien Cepstral 8 Titik

untuk mendeteksi error-error yang kemungkinan terjadi saat program-program hasil impementasi proses ekstraksi ciri diintegrasikan menjadi satu.

Tabel 2.

Hasil pengujian 2 jaringan dengan data uji responden di dalam *database*

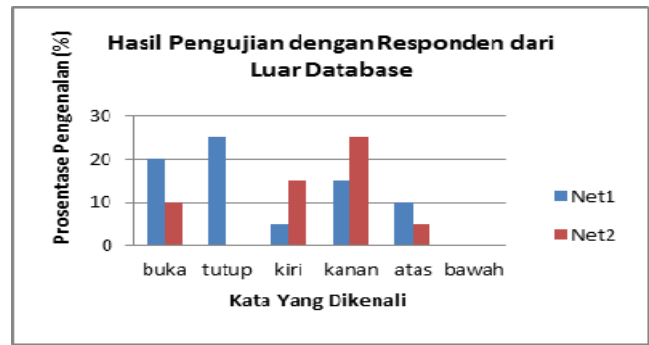
Nama	Kata	Prosentase Pengenalan (%)						
		buka	tutup	kiri	kanan	atas	bawah	tidak dikenali
Net1	buka	35	35	10	10	0	0	10
	tutup	0	35	55	10	0	0	0
	kiri	0	5	70	25	0	0	0
	kanan	0	0	50	45	5	0	0
	atas	0	0	5	45	45	5	0
	bawah	0	0	5	0	30	65	0
Net2	buka	100	0	0	0	0	0	0
	tutup	0	100	0	0	0	0	0
	kiri	0	0	100	0	0	0	0
	kanan	0	0	0	100	0	0	0
	atas	0	0	0	0	100	0	0
	bawah	0	0	0	0	0	100	0



Tabel 2 dan 3 merupakan tabel perbandingan antara net1 dan net2 dalam melakukan proses pengenalan kata. Net 1 merupakan data dengan koefisien cepstral 4 titik, sedangkan net2 merupakan data dengan koefisien cepstral 8 titik.

C. Pengujian dengan Respon Robot

Setelah melakukan pengujian pada sistem pengenalanya saja, selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk dikomunikasikan dengan robot. Untuk pengujian ini yang diutamakan adalah pengukuran waktu delay yang dihasilkan dari pengucapan hingga dijalankan oleh robot, serta *error* dari perintah yang diberikan terhadap robot.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Net dengan responden di luar *database*

Tabel 3.

Hasil pengujian 2 jaringan dengan data uji responden di luar *database*

Nama	Kata	Prosentase Pengenalan (%)						
		buka	tutup	kiri	kanan	atas	bawah	tidak dikenali
Net2	buka	10	0	0	30	5	5	50
	tutup	15	0	5	5	15	5	55
	kiri	25	20	15	5	5	0	30
	kanan	5	25	20	25	10	5	15
	atas	5	5	5	15	5	10	55
	bawah	0	0	10	20	15	0	55

Nama	Kata	Prosentase Pengenalan (%)						
		buka	tutup	kiri	kanan	atas	bawah	tidak dikenali
Net1	buka	20	10	10	5	15	0	40
	tutup	15	25	15	5	5	5	30
	kiri	0	5	5	40	20	5	25
	kanan	5	0	15	15	20	10	35
	atas	5	20	10	15	10	5	35
	bawah	0	0	10	20	15	0	55

Analisa dan pengujian ini dilakukan dengan memberikan perintah terhadap robot sebanyak 20 kali secara acak untuk keenam perintah yang telah ditentukan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4.
Hasil Pengujian dengan respon robot

No	Perintah	Gerak Robot	Delay
1	Atas	Atas	30 detik
2	Bawah	Bawah	30 detik
3	Buka	Buka	30 detik
4	Kanan	Kanan	30 detik
5	Kiri	Kiri	30 detik
6	Tutup	Tutup	30 detik
7	Kanan	Kanan	30 detik
8	Kiri	Kiri	30 detik
9	Atas	Atas	30 detik
10	Bawah	Bawah	30 detik
11	Kanan	Kanan	30 detik
12	Tutup	Tutup	30 detik
13	Atas	Atas	30 detik
14	Bawah	Bawah	30 detik
15	Buka	Buka	30 detik
16	Kiri	Tutup	30 detik
17	Tutup	Tak Dikenali	30 detik
18	Tutup	Tak Dikenali	30 detik
19	Atas	Bawah	30 detik
20	Bawah	Tak Dikenali	30 detik

Dari hasil diatas diperoleh waktu rata-rata yang diperlukan mulai dari proses pengenalan suara, pengiriman data hingga diterima oleh robot yaitu \pm 30 detik dengan catatan media transmisi yang digunakan berupa kabel data buka *wireless*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian dengan proses ekstraksi ciri *linear predicitive coding* untuk koefisien cepstral 8 titik memiliki nilai MSE yang lebih baik daripada koefisien cepstral 4 titik.
2. Rata-rata prosentase pengenalan jaringan yang diperoleh dengan data uji dari responden di luar *database* adalah net1= 12,5 % dan net2 = 9,2 %. Sedangkan rata-rata prosentase pengenalan jaringan yang diperoleh dengan data uji dari responden di dalam *database* adalah net1 = 49 % dan net2 = 100%. Hasil ini menunjukkan tingkat keberhasilan sistem pengenalan ucapan kata, sehingga tingkat keberhasilan terbaik dapat digunakan sebagai pengendali gerakan robot lengan.
3. Dari hasil pengujian dengan gerak robot diperoleh waktu rata-rata yang diperlukan mulai dari proses pengenalan suara, pengiriman data hingga diterima oleh robot yaitu 30 detik dengan media transmisi yang digunakan berupa kabel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Isa Irawan dan Edi Satriyanto, "Virtual Pointer untuk Identifikasi Isyarat Tangan sebagai Pengendali Gerakan Robot secara Real-Time," *Jurnal Teknik Informatika*, Vol. 9, No. 1 (2008) 78-85.
- [2] R. Ramdhani, "Kendali Gerak Interaktif Robot Mobil Berbasis Suara Ucapan". Tugas Akhir, Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2009).
- [3] Thiang dan S. Wijoyo, "Speech Recognition Using Linear Predictive Coding and Artificial Neural Network for Controlling Movement of Mobile Robot," in *Proceedings of 2011 International Conference on Information and Electronics Engineering (ICIEE 2011)*, Bangkok (2011).
- [4] Ivana. 2002. "Pengenalan Ucapan Vokal Bahasa Indonesia Dengan Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan Linear Predictive Coding". Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang (2002).
- [5] R. Adipranata dan Resmana. 1999. "Pengenalan Suara Manusia dengan Metode LPC dan Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik," *Prosiding Seminar Nasional I Kecerdasan Komputasional*, Universitas Indonesia, Jakarta (1999).
- [6] Yohannes TDS, Thiang , dan S. Chandra, "Aplikasi Neuro-Fuzzy Untuk Pengenalan Kata". *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 2, No. 2 (2002, Sep.) 73-77.
- [7] S. Kusumadewi dan S. Hartati, *Neuro-Fuzzy : Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, Yogyakarta : Graha Ilmu (2006).
- [8] L. Rabiner dan B. H. Juang, *Fundamental Of Speech Recognition*, New Jersey : Prantice-Hall Inc (1993).