

ANALISIS KARAKTERISTIK SUARA MANUSIA BERDASARKAN FREKUENSI FUNDAMENTAL DAN TINGKAT USIA PADA PELAJAR SLTP DAN SMA

Aryo Baskoro Utomo¹, Wahyudi², Achmad Hidayatno²

Abstrak - Sinyal ucapan membawa beberapa macam informasi, yang terdiri atas maksud yang ingin disampaikan, informasi siapa yang berucap, dan informasi emosional yang menunjukkan kondisi emosi dari pengucap. Salah satu karakteristik suara manusia adalah frekuensi fundamental. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan suatu analisis mengenai karakteristik suara manusia berdasarkan f_0 (frekuensi fundamental) dan tingkat usia.

Pengambilan data berupa rekaman suara digital dengan mengambil obyek pelajar SLTP dan SMA berusia 13 hingga 18 tahun. Tiap tingkat usia diambil sebanyak 8 responden laki-laki dan 8 responden perempuan, tiap responden memberikan sebanyak 10 sampel dengan kata terucap "kamu". Frekuensi fundamental didapatkan dengan menggunakan metode *cepstrum* dan autokorelasi yang telah terintegrasi di dalam *software* COLEA. Tiap tingkat usia dilakukan pendugaan interval rata-rata f_0 sebagai parameter populasinya serta dilakukan uji hipotesis beda dua rata-rata untuk diketahui kesamaan antar parameter rata-rata f_0 tiap tingkat usia. Hubungan antara f_0 dan usia didapatkan menggunakan analisis regresi.

Tiap tingkat usia memiliki nilai f_0 tersendiri akan tetapi memiliki kesamaan rata-rata f_0 dengan tingkat usia lainnya sehingga dilakukan penggabungan beberapa kelompok usia menjadi satu populasi. Dua usia berdekatan pada laki-laki memiliki kesamaan rata-rata f_0 yaitu usia 13 dan 14, 15 dan 16, serta 17 dan 18 sedangkan pada perempuan usia 13 hingga 18 tahun memiliki kesamaan rata-rata f_0 . Analisis regresi hubungan antara f_0 dan usia pada laki-laki menunjukkan adanya penurunan f_0 seiring bertambahnya usia sedangkan pada perempuan hubungan antara f_0 dan usia meningkat seiring bertambahnya usia. Frekuensi fundamental suara laki-laki lebih rendah dibandingkan frekuensi fundamental suara perempuan yaitu f_0 perempuan diatas 200 Hz sedangkan f_0 laki-laki

dibawah 170 Hz. Terdapat perbedaan hasil ekstraksi f_0 antara pendekatan *cepstrum* dan pendekatan autokorelasi.

Kata kunci : f_0 (frekuensi fundamental), pendekatan *cepstrum*, pendekatan autokorelasi, usia, parameter rata-rata f_0

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Komunikasi merupakan suatu proses pertukaran informasi antara sumber informasi dan penerima. Komunikasi antara manusia dengan sesamanya secara lisan dan tatap muka memberikan nilai lebih dibandingkan dengan cara komunikasi lainnya. Melalui ucapan dan ekspresi seorang penutur, selain pendengar dapat mengetahui siapa yang berucap dan informasi yang diungkapkan, keadaan emosional penutur dapat terlihat dari cara bicara dan ekspresi wajahnya. Pendengar tidak hanya mendapat isi informasi yang disampaikan saja tapi juga bagaimana informasi itu disampaikan.

Manusia memiliki naluri alamiah untuk menerima dan memproses informasi di sekitarnya. Salah satunya adalah bisa membedakan usia manusia hanya dari suara yang didengarnya. Hal ini karena suara manusia dewasa, anak-anak baik laki-laki maupun perempuan memiliki karakteristik yang berbeda salah satunya adalah f_0 (frekuensi fundamental). Banyak metode telah dikembangkan untuk mengekstrak nilai ini, baik dalam kawasan waktu, frekuensi maupun secara statistik. Pada Tugas Akhir ini dengan menggunakan pendekatan *cepstrum* dan autokorelasi untuk mengekstrak f_0 dilakukan penelitian untuk mengetahui hubungan frekuensi fundamental terhadap tingkat usia.

Tujuan

Tujuan Tugas Akhir ini mendapatkan hubungan antara frekuensi fundamental suara manusia terhadap tingkat usia pelajar SLTP dan SMA.

¹Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

²Dosen Teknik Elektro UNDIP

Pembatasan Masalah

Tugas akhir ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Data responden berupa data suara yang direkam secara digital dengan responden adalah pelajar SLTP dan SMA.
2. Tingkat usia responden dihitung berdasarkan waktu pengambilan data pada bulan April 2007 yaitu 13 hingga 18 tahun.
3. Menggunakan *software* COLEA sebagai pengekstrak nilai f_0 dengan dua pendekatan yaitu *cepstrum* dan autokorelasi.
4. Distribusi data f_0 dianggap terdistribusi normal dengan mengacu pada Dalil Batas Memusat sehingga perlakuan statistik pada data f_0 sesuai dengan distribusi normal.
5. Parameter populasi diperoleh dengan melakukan pendugaan interval rata-rata untuk tiap kelompok usia, berdasarkan jenis kelamin dan pendekatan ekstraksi f_0 , menggunakan koefisien kepercayaan sebesar 95 %.
6. Analisis regresi digunakan untuk mengetahui hubungan antara f_0 dan usia.

II. DASAR TEORI

Komunikasi Suara

Manusia dapat berkomunikasi dengan manusia lainnya dengan suara. Pembangkitan ucapan manusia dimulai dengan awal konsep dari gagasan yang ingin disampaikan pada pendengar. Pengucap mengubah gagasan tadi dalam struktur linguistik dengan memilih kata atau frasa yang secara tepat dapat mewakili dan membawakannya dengan tata bahasa yang dimengerti antara pengucap dan pendengar.

Ucapan yang diucapkan memiliki tujuan tertentu dengan asumsi bahwa ucapan tersebut diucapkan secara benar, dapat diterima, dan dipahami oleh pendengar yang dituju. Pembangkitan ucapan pada hakekatnya berhubungan dengan kemampuan mendengar. Sinyal ucapan dibangkitkan oleh organ vokal dan ditransmisikan melalui udara menuju telinga pendengar.

Proses komunikasi antara penutur dan pendengar dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lingkaran komunikasi suara.

Mekanisme dalam produksi suara dan pemahaman suara oleh manusia adalah sebagai berikut :

Produksi suara :

Ide yang akan disampaikan → pemrosesan syaraf → pergerakan otot → gelombang bunyi akustik.

Pemahaman suara :

Gelombang bunyi akustik → indera pendengaran manusia → sinyal syaraf → ide yang disampaikan.

Pengukuran Frekuensi Fundamental^{[1][2][3]}

Bunyi ucapan adalah sebagai hasil bergetarnya pita suara (*vocal cord*) akibat perubahan tekanan arus udara, yang diradiasikan ke udara melalui mulut maupun hidung. Waktu yang diperlukan untuk sekali bergetar pada pita suara disebut sebagai periode fundamental. Fungsi kebalikannya adalah frekuensi fundamental (f_0), yaitu frekuensi saat pita suara bergetar.

Tujuan suatu estimator f_0 adalah untuk menemukan f_0 di tengah-tengah harmonik lain yang merupakan komponen dari bunyi. Kesulitan untuk menemukan f_0 suatu bentuk gelombang tergantung pada bentuk gelombang itu sendiri. Terdapat tiga daerah atau domain algoritma umum estimasi f_0 , mengorganisir dengan jenis masukan dan paradigma pengolahan yaitu dalam domain waktu, frekuensi, dan statistik. Metode autokorelasi adalah salah satu contoh dari domain waktu sedangkan metode *cepstrum* dari domain frekuensi.

Metode Autokorelasi

Korelasi antara dua bentuk gelombang adalah suatu ukuran kesamaan keduanya. Bentuk gelombang dibandingkan pada selang waktu berbeda, dan "kesamaan" dihitung pada selang waktu masing-masing. Hasil suatu korelasi adalah ukuran kesamaan sebagai fungsi penyimpangan waktu antara permulaan kedua bentuk gelombang. Fungsi autokorelasi adalah korelasi suatu bentuk gelombang dengan dirinya sendiri. Kesamaan tepat pada selang waktu nol, sedangkan ketidaksamaan terus meningkat seiring bertambahnya selang waktu. Definisi matematika untuk menggambarkan fungsi autokorelasi ditunjukkan pada persamaan 1 untuk suatu fungsi diskrit tanpa batas $x(n)$ sedangkan definisi matematika autokorelasi suatu fungsi diskrit terbatas $x(n)$ untuk ukuran N ditunjukkan pada persamaan 2.

$$R_x(v) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)x(n+v) \quad (1)$$

$$R_{x'}(v) = \sum_{n=0}^{N-1-v} x'(n)x'(n+v) \quad (2)$$

Korelasi silang antara dua fungsi $x(n)$ dan $y(n)$ dihitung menggunakan persamaan 3.

$$R_{xy}(v) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n+v) \quad (3)$$

Bentuk gelombang periodik memperlihatkan suatu karakteristik autokorelasi menarik yaitu fungsi autokorelasi itu sendiri adalah periodik. Ketika laju perbedaan waktu ditingkatkan hingga separuh periode gelombang, korelasi berkurang menjadi minimum. Hal ini karena gelombang bergeser fasenya terhadap gelombang salinan yang tertunda fasenya. Autokorelasi meningkatkan kembali ke maksimum saat selang waktu meningkat lagi hingga satu periode, sebab bentuk gelombang dan gelombang salinan yang tertunda fasenya berada pada fase yang sama. Puncak pertama dalam autokorelasi menandai periode dari gelombang.

Metode Cepstrum

Metode *cepstrum* mula-mula dikembangkan untuk penggunaan dengan sinyal ucapan, yang secara spektral mempunyai banyak puncak dan selalu memiliki jeda datar. Ketika logaritma magnitudo spektrum telah dapat diambil, puncak ini dapat dikurangi, amplitudonya dibawa ke dalam suatu skala yang dapat dipakai, dan menghasilkan suatu bentuk gelombang periodik dalam daerah frekuensi, periode (jarak antar puncak) berhubungan dengan frekuensi fundamental sinyal asli. Alihragam Fourier gelombang ini mempunyai satu puncak di periode gelombang asli.

Analisis *cepstrum* merupakan suatu analisis spektral dengan keluaran berupa alihragam Fourier dari fungsi logaritma magnitudo spektrum gelombang masukan. Prosedur ini dikembangkan dalam percobaan untuk membuat suatu sistem tidak linier agar lebih linier. *Cepstrum* atau koefisien cepstral, $c(\tau)$ didefinisikan sebagai balikan alihragam Fourier dari spektrum amplitudo logaritmik waktu-pendek $|X(\omega)|$. Maksud dari *cepstrum* sesungguhnya adalah kebalikan kata termasuk balikan arti dari alihragam spektrum. Nama *cepstrum* berasal dari membalikkan empat huruf pertama kata "spectrum", menandakan suatu spektrum yang dimodifikasi. Parameter independen untuk *cepstrum* disebut *quefrensy*, secara nyata dibentuk dari kata "frequency". *Cepstrum* merupakan balikan alihragam fungsi kawasan

frekuensi maka *quefrensy* menjadi parameter kawasan-waktu. Ciri spesial dari *cepstrum* adalah mengikutkan sebagian gambaran dari spektral pembungkus dan struktur utama.

Berdasarkan padanan linier terpisah dari model rangkaian, bunyi ucapan $x(t)$ bisa dianggap respon padanan filter jalur vokal artikulasi yang dihasilkan oleh sumber periodik semu $g(t)$. Bunyi ucapan $x(t)$ dapat diberikan oleh konvolusi dari $g(t)$ dan impuls respon jalur vokal $h(t)$ sebagai berikut :

$$x(t) = \int_0^t g(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (4)$$

yang sepadan dengan

$$X(\omega) = G(\omega)H(\omega) \quad (5)$$

dengan $X(\omega)$, $G(\omega)$ dan $H(\omega)$ masing-masing adalah alihragam Fourier dari $x(t)$, $g(t)$, dan $h(t)$.

Jika $g(t)$ fungsi periodik, $|X(\omega)|$ digambarkan sebagai spektral garis, interval frekuensi merupakan fungsi balikan periode fundamental $g(t)$. Ketika $|X(\omega)|$ dihitung dengan alihragam Fourier atas runtun waktu sampel untuk periode pendek gelombang ucapan, ini menunjukkan puncak tajam yang sepadan dengan interval sepanjang sumbu frekuensi. Logaritmik $\log|X(\omega)|$ adalah :

$$\log|X(\omega)| = \log|G(\omega)| + \log|H(\omega)| \quad (6)$$

Cepstrum yang merupakan balikan alihragam Fourier dari $\log|X(\omega)|$ adalah :

$$c(\tau) = F^{-1} \log|X(\omega)| = F^{-1} \log|G(\omega)| + F^{-1} \log|H(\omega)| \quad (7)$$

dengan F adalah alihragam Fourier. Maksud bagian pertama dan kedua dari sisi kanan persamaan 6 masing-masing berhubungan dengan struktur utama spektral dan pembungkus spektral. Struktur utama spektral adalah pola periodik sedangkan pembungkus spektral adalah pola global sepanjang sumbu frekuensi maka terjadi perbedaan besar antara balikan fungsi alihragam Fourier dari kedua elemen yang ditunjukkan pada persamaan 7.

Pada prinsipnya fungsi pertama pada sisi kanan persamaan 7 menunjukkan formasi dari puncak pada daerah *high-quefrensy*, dan untuk fungsi yang kedua menggambarkan konsentrasi pada daerah *low-quefrensy* dari 2 atau 4 ms. Periode fundamental dari sumber $g(t)$ kemudian dapat diekstrak dari puncak pada daerah *high-quefrensy*. Alihragam Fourier atas elemen-elemen *low-quefrensy* menghasilkan spektral pembungkus logaritmik dari suatu spektral pembungkus linier yang diperoleh melalui alihragam eksponensial. Semakin banyak elemen-elemen *low-quefrensy* yang digunakan untuk alihragam menjelaskan kehalusan spektral pembungkus. Proses

memisahkan elemen-elemen spektral kedalam dua faktor ini disebut sebagai *liftering*, berasal dari balikan kata *filtering*.

Analisis Regresi

Hubungan antar variabel pada suatu data yang terdiri atas dua atau lebih variabel dapat dipelajari dengan analisis regresi. Hubungan yang didapat dinyatakan dalam bentuk matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel. Ada dua jenis variabel dalam analisis regresi, yaitu variabel bebas atau variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon. Regresi dengan X merupakan variabel bebasnya dan Y sebagai variabel tak bebasnya dinamakan regresi Y atas X, ditulis sebagai $Y = a + bX$.

Persamaan regresi atas hasil pengamatan yang didapat dapat dilakukan dengan metode tangan bebas dan metode kuadrat terkecil. Metode tangan bebas merupakan metode kira-kira menggunakan diagram pencar berdasarkan hasil pengamatan, sumbu tegak untuk variabel tak bebas sedangkan sumbu datar adalah variabel bebas. Bentuk regresi dapat ditentukan dengan memperhatikan letak titik-titik dalam diagram. Jika letak titik-titik tersebut berada di sekitar garis lurus maka cukup beralasan untuk menduga sebagai regresi linier. Jika letak titik-titik disekitar garis lengkung maka dikatakan sebagai regresi nonlinier. Metode kuadrat terkecil berpangkal pada kenyataan bahwa jumlah pangkat dua (kuadrat) dari jarak antara titik-titik dengan garis regresi yang dicari harus sekecil mungkin. Dalam Tugas Akhir ini digunakan analisis regresi menggunakan metode kuadrat terkecil.

III. PENGAMBILAN DATA FREKUENSI FUNDAMENTAL

Pengumpulan Sampel Suara

Sampel suara diperoleh dari pelajar SLTP dan SMA. Pelajar SLTP yang diambil sampel suaranya berasal dari SLTP Negeri 7 Semarang. Pelajar SMA yang diambil sampel suaranya berasal dari SMA Tarcisius Semarang. Jumlah responden sebanyak 96 orang terdiri atas 48 orang laki-laki dan 48 orang perempuan. Responden yang diambil sampel suaranya berusia 13 hingga 18 tahun dihitung saat pengambilan data, tiap usia terdiri atas 8 orang laki-laki dan 8 orang perempuan.

Data berupa sinyal suara diperoleh dengan cara merekam suara melalui mikrofon yang terhubung dengan komputer pribadi. Perekaman suara

dilakukan dengan bantuan program aksesoris *windows*, yaitu *sound recorder* dengan frekuensi *sampling* 22 kHz, 16 bit, mono. Kata yang diucapkan hanya satu buah kata saja, yaitu kamu. Tiap responden mengucapkan kata tersebut sebanyak 10 kali sehingga total berkas suara sebanyak 960 buah.

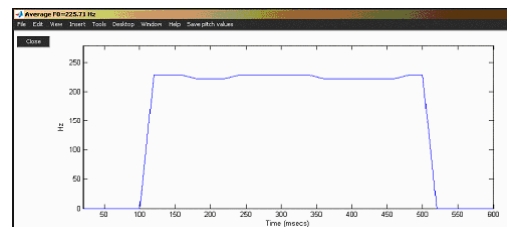
Pra Ekstraksi Frekuensi Fundamental

Berkas suara hasil perekaman oleh *sound recorder* dibuka kembali memakai Cool Edit Pro 2.0 untuk dilakukan proses pra ekstraksi f_0 . Ada dua pekerjaan yang dilakukan yaitu pemotongan pada bagian awal dan akhir sinyal suara yang berlebih serta menurunkan laju *sampling* menjadi sebesar 8 kHz. Pemotongan bagian awal dan akhir sinyal suara dimaksudkan untuk menghilangkan bagian yang tidak termasuk bagian dari sinyal ucapan serta untuk mengurangi cacat sinyal akibat derau ruangan yang ikut terekam.

Berkas suara hasil pra ekstraksi f_0 disimpan menggunakan format penamaan A_B_C.wav. Huruf A menunjukkan nama si pengucap atau responden, huruf B menunjukkan usia responden, dan huruf C menunjukkan suara responden (1 sampai dengan 10). Format penamaan ini untuk mempermudah mengenali berkas suara tersebut.

Ekstraksi Frekuensi Fundamental Menggunakan COLEA

Untuk mendapatkan nilai f_0 dari suatu berkas suara digunakan bantuan *software* COLEA yang dijalankan dengan Matlab. Secara umum program ini dapat memberikan gambaran isi informasi yang dikandung oleh suatu sinyal suara. Menu COLEA **display contour f_0** dengan dua pendekatan yaitu *cepstrum* dan autokorelasi digunakan untuk mengekstraksi f_0 dari berkas suara. Hasil ekstraksi f_0 menggunakan COLEA ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Tampilan f_0 contour pendekatan *cepstrum* untuk file suara Dwi_18_1.wav.

Gambar 2 menunjukkan besarnya nilai rata-rata dan bentuk grafik f_0 dari sinyal Dwi_18_1.wav. Nilai rata-rata f_0 ditunjukkan pada bagian kiri atas sedangkan bentuk grafik merupakan suatu urutan nilai f_0 untuk keseluruhan interval waktu sinyal. Berkas suara Dwi_18_1.wav menunjukkan nilai rata-rata f_0 sebesar 225,71 Hz saat diekstraksi menggunakan pendekatan *cepstrum*.

Pengorganisasian Data Frekuensi Fundamental

Nilai rata-rata f_0 yang didapat kemudian dicatat dan diorganisir dalam suatu tabel untuk memudahkan dalam mengamati data yang didapat. Data inilah yang digunakan dalam analisis.

IV. ANALISIS FREKUENSI FUNDAMENTAL DAN TINGKAT USIA

Nilai Frekuensi Fundamental Berdasarkan Pendekatan *Cepstrum* Dan Autokorelasi

COLEA memberikan dua pendekatan dalam ekstraksi nilai f_0 dari berkas suara yang dianalisis, yaitu pendekatan *cepstrum* dan pendekatan autokorelasi. Dalam prakteknya kedua pendekatan ini memberikan hasil yang berbeda. Belum ada metode standard untuk mengekstrak nilai f_0 . Pendekatan *cepstrum* dan pendekatan autokorelasi adalah merupakan bagian dari metode ekstraksi f_0 yang telah ditemukan dan dikembangkan para peneliti sinyal ucapan. Perbedaan mendasar dari kedua pendekatan ini adalah pada cara pandang sinyal dilihat pada kawasan waktu untuk pendekatan autokorelasi dan sebagai kawasan frekuensi pada pendekatan *cepstrum*.

Penggunaan *frame bloking* yang tepat juga mempengaruhi nilai f_0 yang didapat. Secara khusus interval sekitar 20 ms dan 40 ms, masing-masing memberikan hasil yang lebih baik untuk analisis bunyi pada wanita dan pria.^[1] Dalam *frame bloking* inilah frekuensi fundamental sinyal ucapan dianalisis.

Pengelompokan Frekuensi Fundamental Berdasarkan Usia

Pengelompokan f_0 untuk tiap usia dilakukan dengan penaksiran interval rata-rata populasi. Hasil pengelompokan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 3. Tabel 2 dan Tabel 4 adalah hasil penaksiran interval rata-rata f_0 setelah dilakukan uji hipotesis beda dua rata-rata, kelompok usia yang memiliki

kesamaan rata-rata f_0 dikelompokkan dalam satu populasi.

Tabel 1 Hasil penaksiran interval rata-rata f_0 untuk laki-laki.

Usia	Interval rata-rata f_0 (Hz)	
	Pendekatan Cepstrum	Pendekatan Autokorelasi
13	$162,34 < \mu < 177,23$	$167,95 < \mu < 183,34$
14	$151,04 < \mu < 169,22$	$155,20 < \mu < 174,71$
15	$128,34 < \mu < 133,77$	$131,70 < \mu < 138,50$
16	$122,12 < \mu < 127,04$	$127,26 < \mu < 133,80$
17	$115,98 < \mu < 122,54$	$120,92 < \mu < 132,42$
18	$116,13 < \mu < 120,68$	$121,87 < \mu < 128,19$

Tabel 2 Hasil penaksiran interval rata-rata f_0 untuk laki-laki setelah dilakukan uji hipotesis beda dua rata-rata.

Usia	Interval rata-rata f_0 (Hz)	
	Pendekatan Cepstrum	Pendekatan Autokorelasi
13	$159,05 < \mu < 170,86$	$164,05 < \mu < 176,55$
14	$159,05 < \mu < 170,86$	$164,05 < \mu < 176,55$
15	$128,34 < \mu < 133,77$	$130,44 < \mu < 135,19$
16	$122,12 < \mu < 127,04$	$130,44 < \mu < 135,19$
17	$116,84 < \mu < 120,83$	$122,58 < \mu < 129,12$
18	$116,84 < \mu < 120,83$	$122,58 < \mu < 129,12$

Tabel 3 Hasil penaksiran interval rata-rata f_0 untuk perempuan.

Usia	Interval rata-rata f_0 (Hz)	
	Pendekatan Cepstrum	Pendekatan Autokorelasi
13	$197,10 < \mu < 207,01$	$217,52 < \mu < 230,97$
14	$207,77 < \mu < 215,29$	$223,23 < \mu < 229,66$
15	$208,02 < \mu < 213,42$	$226,47 < \mu < 234,15$
16	$208,78 < \mu < 216,40$	$223,28 < \mu < 232,09$
17	$212,52 < \mu < 216,46$	$222,17 < \mu < 229,75$
18	$210,25 < \mu < 216,63$	$222,25 < \mu < 230,26$

Tabel 4 Hasil penaksiran interval rata-rata f_0 untuk perempuan setelah dilakukan uji hipotesis beda dua rata-rata.

Usia	Interval rata-rata f_0 (Hz)	
	Pendekatan Cepstrum	Pendekatan Autokorelasi
13	$197,10 < \mu < 207,01$	$224,99 < \mu < 228,64$
14	$211,14 < \mu < 213,97$	$224,99 < \mu < 228,64$
15	$211,14 < \mu < 213,97$	$224,99 < \mu < 228,64$
16	$211,14 < \mu < 213,97$	$224,99 < \mu < 228,64$
17	$211,14 < \mu < 213,97$	$224,99 < \mu < 228,64$
18	$211,14 < \mu < 213,97$	$224,99 < \mu < 228,64$

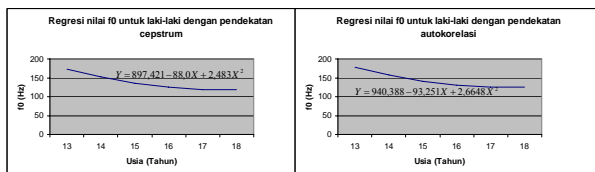
Tabel 2 menunjukkan bahwa pada laki-laki dua umur berdekatan memiliki kesamaan rata-rata f_0 yaitu usia 13 dan 14, 15 dan 16, serta 17 dan 18. Hal ini terlihat jelas pada pendekatan autokorelasi, dua populasi usia dapat digabung menjadi satu sedangkan pada pendekatan *cepstrum* usia 15 tahun

dan 16 tahun menunjukkan interval rata-rata f_0 tersendiri. Tabel 4 menunjukkan bahwa pada pendekatan autokorelasi, setelah dilakukan uji hipotesis perbedaan dua rata-rata, nilai f_0 perempuan usia 13 hingga 18 tahun memiliki kesamaan rata-rata f_0 akan tetapi pada pendekatan *cepstrum* perempuan usia 13 tahun memiliki interval rata-rata f_0 tersendiri.

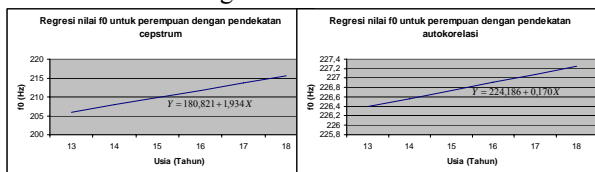
Hubungan Antara Frekuensi Fundamental Dan Usia

Hubungan antara f_0 dan usia dapat diketahui dari persamaan regresi, usia sebagai variabel bebas (X) dan f_0 sebagai variabel tak bebas (Y). Mula-mula persamaan regresi dianggap linier, kemudian dilakukan uji kelinieran regresi untuk mengetahui kebenarannya, linier atau tidak. Jika model regresi linier ditolak maka digunakan model regresi nonlinier.

Model regresi yang sesuai untuk menggambarkan hubungan antara f_0 dan usia adalah model regresi nonlinier pada laki-laki sedangkan pada perempuan model regresi linier. Persamaan regresinya adalah $Y = 897,421 - 88,0X + 2,483X^2$ dan $Y = 940,388 - 93,251X + 2,6648X^2$ untuk laki-laki sedangkan pada perempuan adalah $Y = 180,821 + 1,934X$ dan $Y = 224,186 + 0,170X$, masing-masing untuk pendekatan cepstrum dan autokorelasi. Grafik regresinya ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



(a).Cepstrum (b).Autokorelasi.
Gambar 3 Regresi nilai f_0 untuk laki-laki.



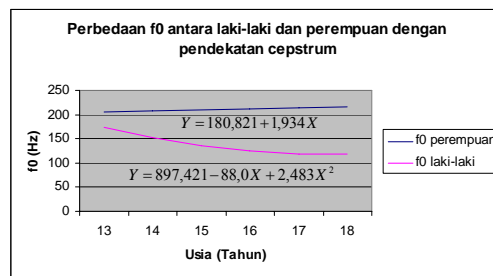
(a).Cepstrum (b).Autokorelasi.
Gambar 4 Regresi nilai f_0 untuk perempuan.

Gambar 3 menunjukkan adanya penurunan nilai f_0 . Pada usia 13 hingga 18 tahun pada laki-laki terjadi penurunan besarnya f_0 seiring bertambahnya usia.

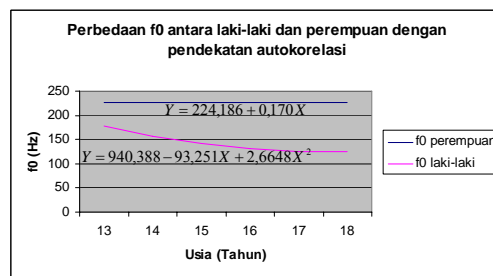
Koefisien X yang bernilai negatif dan besar menunjukkan terjadinya penurunan. Gambar 4 menunjukkan adanya kenaikan nilai f_0 . Pada usia 13 hingga 18 tahun pada perempuan terjadi kenaikan besarnya f_0 . Ditunjukkan dengan koefisien positif sebesar 1,934 untuk pendekatan *cepstrum* dan 0,170 untuk pendekatan autokorelasi. Koefisien arah kenaikan kecil karena terdapat kesamaan rata-rata f_0 pada perempuan usia 13 hingga 18 tahun.

Perbedaan Frekuensi Fundamental Laki-Laki Dan Perempuan

Perbedaan nilai f_0 antara laki-laki dan perempuan dapat dilihat dengan membandingkan Tabel 1 dan Tabel 3 ataupun dengan perbandingan persamaan regresi dari kedua jenis kelamin tersebut. Grafik perbedaan f_0 laki-laki dan perempuan ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



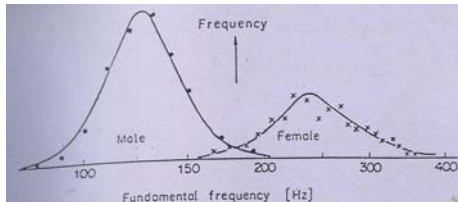
Gambar 5 Perbedan f_0 antara laki-laki dan perempuan dengan pendekatan *cepstrum*.



Gambar 6 Perbedan f_0 antara laki-laki dan perempuan dengan pendekatan autokorelasi.

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan adanya perbedaan f_0 antara laki-laki dan perempuan secara jelas. Baik untuk pendekatan *cepstrum* maupun autokorelasi, nilai f_0 perempuan lebih besar dibanding f_0 laki-laki. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan Furui dalam bukunya bahwa frekuensi fundamental suara manusia untuk laki-laki dan perempuan adalah merupakan dua buah kurva terdistribusi normal dengan sedikit *overlapping*,

yang berasal dari nilai rata-rata dan simpangan baku, dari banyak populasi berbeda. Kurva tersebut menunjukkan perbedaan antara f_0 laki-laki dan perempuan dari segala usia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Distribusi frekuensi fundamental.

Gambar 7 menunjukkan dua buah kurva terdistribusi normal antara f_0 laki-laki dan f_0 perempuan. Terjadi sedikit *overlapping* pada interval frekuensi 150 Hz hingga 200 Hz. Nilai f_0 perempuan lebih besar dibanding f_0 laki-laki, ini sesuai dengan hasil penelitian pada Tugas Akhir ini.

Bila mengacu pada Gambar 7 maka sebenarnya f_0 kelompok usia 13 hingga 18 tahun berada pada sekitar daerah *overlapping*. Nilai f_0 usia 13 dan 14 tahun laki-laki berada di daerah *overlapping* karena parameter rata-rata f_0 lebih dari 150 Hz, sedangkan f_0 untuk usia 15 hingga 18 tahun laki-laki berada di luar daerah *overlapping*. Nilai f_0 perempuan usia 13 hingga 18 tahun berada di atas daerah *overlapping* karena parameter rata-rata f_0 di atas 200 Hz.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil penelitian mengenai karakteristik suara manusia berdasarkan frekuensi fundamental dan tingkat usia pada Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Kondisi lingkungan saat perekaman

Kondisi ruangan saat perekaman tidak kedap suara, sehingga memungkinkan adanya suara-suara lain yang ikut terekam oleh komputer. Derau ini mengganggu suara asli siswa yang direkam, dibutuhkan ruangan perekaman yang seminimal mungkin bebas derau.

2. Kondisi suara responden

Kondisi suara responden sangat berpengaruh terhadap nilai frekuensi fundamental yang dicari. Pada saat perekaman, terdapat responden yang sedang sakit batuk atau flu, sehingga sangat mempengaruhi suara aslinya saat tidak sakit. Responden diharapkan dalam kondisi normal saat perekaman sinyal suara.

3. Letak mikrofon

Perekaman suara dilakukan secara bertahap maka dalam peletakan mikrofon tidak selalu sama.

Jarak dan sudut mikrofon sangat mempengaruhi sinyal suara yang dihasilkan. Untuk mengatasi hal ini bisa dilakukan dengan cara mengatur jarak mikrofon dan sudut mikrofon agar relatif sama untuk tiap kali perekaman.

4. Cara perekaman sinyal suara

Perekaman sinyal suara yang tepat juga ikut mempengaruhi akurasi nilai frekuensi fundamental. Cara perekaman yang baik adalah diucapkan secara wajar dan tidak dibuat-buat, suara diucapkan tidak terlalu keras atau terlalu lemah.

V. PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Terjadi *overlapping* antar kelompok usia berdekatan pada penaksiran parameter rata-rata populasi.
2. Frekuensi fundamental suara laki-laki lebih rendah dibandingkan frekuensi fundamental suara perempuan. Frekuensi fundamental suara perempuan di atas 200 Hz sedangkan pada laki-laki dibawah 170 Hz.
3. Analisis regresi yang dilakukan menunjukkan bahwa hubungan antara f_0 dan usia pada laki-laki usia 13 hingga 18 tahun mempunyai model regresi nonlinier yaitu model regresi parabola kuadratik. Grafik regresi menunjukkan adanya penurunan besarnya f_0 seiring bertambahnya usia.
4. Pada perempuan usia 13 hingga 18 tahun memiliki kesamaan rata-rata f_0 sehingga persamaan regresi yang didapatkan linier dengan koefisien arah regresi positif yang kecil.

Saran

Komunikasi antara peneliti dengan responden perlu untuk dilakukan. Peneliti menjelaskan kepada si responden apa yang perlu responden lakukan dan memberikan kesempatan untuk bertanya jika ada sesuatu yang tidak dimengerti sehingga proses pengambilan data dapat berjalan lancar sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Furui, S., *Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1989.
- [2] Gold, B., and N. Morgan, *Speech and Audio Signal Processing: Processing and Perception of Speech and Music*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- [3] Gerhard, D., *Pitch Extraction and Fundamental Frequency: History and Current Techniques*, Department of Computer Science University of Regina, Regina, 2003.
- [4] Hansel, D., B Littlefield, J Edyanto, *Matlab Bahasa Komputasi Teknis*, Andi, Yogyakarta, 2001.
- [5] Harinaldi, *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2005.
- [6] Hidayatno, A. dan Sumardi, *Pengembangan dan Pendikte Otomatis Ucapan Bahasa Indonesia*, Fakultas Teknik UNDIP, Semarang, 2006.
- [7] Ifeachor, E.C., *Digital Signal Processing : A Practical Approach*, Addison-Wesley Publishers Ltd., New York, 1993.
- [8] Proakis, J., G., Manolakis D., G., *Pemrosesan Sinyal Digital: Prinsip, Algoritma, dan Aplikasi, Edisi bahasa Indonesia*, PT Prehallindo, Jakarta, 1997.
- [9] Rabiner, L., Biing-Hwang Juang. *Fundamentals Of Speech Recognition*, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [10] Sudjana, *Metoda Statistika*, Penerbit Tarsito, Bandung, 2002.

BIOGRAFI PENULIS

Aryo Baskoro Utomo, lahir di Semarang, Jawa Tengah, 9 September 1984. Telah menempuh pendidikan di SD Negeri Petompon I, SLTP Negeri 3 Semarang, SMU Negeri 3 Semarang, saat ini sedang menyelesaikan pendidikan program Strata 1 Jurusan Teknik Elektro, mengambil konsentrasi

Elektronika dan Telekomunikasi.

Menyetujui dan mengesahkan,

Pembimbing I,

Wahyudi, S.T., M.T.

NIP. 132 086 662

Tanggal

Pembimbing II,

Achmad Hidayatno, S.T., M.T.

NIP. 132 137 933

Tanggal.....