

Karakterisasi Tangis Bayi dengan Multiparameter Berdasarkan Fitur Akustik

Nadhifa Maulida, Dhany Arifianto

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: adhifa.maulida@gmail.com; dhany@ep.its.ac.id

Abstrak— Tangisan adalah media komunikasi bagi bayi untuk mengutarakan keinginannya kepada pengasuh bayi atau ibunya. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengungkapkan, bahwa tangisan bayi mengandung informasi penting yang dapat menunjukkan kondisi fisik atau psikis dari bayi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik tangis bayi berdasarkan fitur akustik, seperti frekuensi dasar, frekuensi formant dan parameter prosody. STRAIGHT merupakan metode estimasi frekuensi dasar yang paling akurat jika dibandingkan dengan metode lainnya. Untuk data suara tangis, dilakukan perekaman pada 10 bayi (1-11 bulan) dengan kondisi lapar, tidak nyaman dan mengantuk menurut prespektif ibunya. Hasil analisa didapatkan nilai F0 pada ketiga kondisi tidak jauh berbeda, tangisan bayi lapar (193Hz-644Hz), tidak nyaman (188Hz-668Hz), dan mengantuk (209Hz-625Hz). Analisa frekuensi formant pada tangisan bayi menggunakan metode LPC berhasil diestimasi berdasarkan tingkat frekuensinya namun nilai ini belum dapat merepresentasikan perbedaan setiap kondisi tangisan. Sedangkan untuk analisa fitur dinamik, pola tangisan setiap kondisi dapat dibedakan melalui hasil estimasi nilai $\Delta F0$ dan $\Delta 2F0$. Kedua parameter tersebut menunjukkan perbedaan pada nilai perubahan frekuensi serta perubahan fasa gelombang yang terjadi pada sinyal tangisan. **Kata Kunci**— Tangis Bayi, Frekuensi Dasar, Frekuensi Formant, Parameter Prosody

I. PENDAHULUAN

Tangisan merupakan media komunikasi utama bayi dalam mempresentasikan keinginannya kepada lingkungan khususnya pada ibu atau pengasuh bayi. Beberapa kondisi yang dapat menyebabkan bayi menangis yaitu pada saat bayi merasa lapar, tidak nyaman, mengantuk, kesakitan dan lain sebagainya. Melalui tangisan itulah bayi menyampaikan keinginannya agar ibu atau pengasuh bayi dapat segera memenuhi keinginannya. Jika ibu atau pengasuh bayi salah dalam memahami keinginan bayi maka bayi akan terus menerus menangis, hingga keinginannya telah terpenuhi. Tangisan bayi merupakan hal alamiah yang terjadi pada setiap bayi karena bayi masih belum dapat menyucapkan kata secara jelas. Setiap tangisan dapat menunjukkan karakteristik tertentu secara sinyal akustik yang diklasifikasikan berdasarkan penyebab bayi

menangis. Perkembangan kemampuan ucap bayi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur dan perkembangan bayi. Kondisi lingkungan dan daya tangkap bayi yang akan membantu dalam proses pembelajaran ucap bayi, misalnya saat bayi berumur kurang dari 1 bulan intensitas tangisan akan lebih tinggi dari pada bayi dengan umur 9 bulan. Hal ini diakibatkan karena kemampuan bayi yang juga bertambah sehingga bayi dapat lebih mudah mengekspresikan keinginannya. Beberapa studi yang pernah dilakukan menyatakan bahwa sinyal suara tangisan bayi dengan rentang 0-1 tahun berada pada frekuensi dasar 250-600 Hz. Secara analisis sinyal akustik, tangisan bayi memberikan informasi penting yang dapat menjadi penunjuk kondisi bayi sebenarnya seperti kesehatan, berat, jenis kelamin hingga kondisi emosi bayi (Cohen, 2012). Tangisan juga dapat menunjukkan kondisi fisik dan psikologi bayi (Saraswathy, 2013). Selain itu, tangis bayi dapat menggambarkan perbedaan fisik, emosional dan psikologi bayi (Lederman, 2002) menunjukkan bahwa berbedanya pemicu tangisan akan menghasilkan pola-pola tangis yang berbeda pula.

Analisa karakteristik tangis bayi dapat menjadi bahan dasar pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam berbagai hal, misalnya pada penelitian pernah dilakukan yaitu untuk mendeteksi kondisi bayi pada saat sakit dan pada kondisi normal, dalam bidang neurologi dapat menunjukkan kondisi kesehatan bayi yang baru lahir pada bayi *premature* dan bayi normal khususnya pada kondisi keseimbangan pendengaran dan pengembangan fungsi otak (Fort, dan Manfredi, 1998), serta penelitian ini dapat dikembangkan sebagai data untuk pengembangan robot asuh bayi. Tangisan bayi dapat sebagai alat deteksi kondisi fisik tanpa sentuhan (Orlandi, 2015). Parameter-parameter dalam tangisan ini dapat sebagai data pengembangan dalam bidang *auditory neuroscience*, misalnya dalam riset sinyal tangisan pada seorang ibu atau non ibu dalam pemrosesan sinyal di otak. Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai karakterisasi tangis bayi secara fisis dengan meninjau multiparameter berdasarkan fitur akustik. Parameter-parameter yang dapat ditinjau yaitu berdasarkan analisa harmonik

seperti frekuensi dasar dan nilai *Formant* yang dapat mewakili dari jenis tangisan bayi tersebut.

II. DASAR TEORI

A. Sinyal Suara

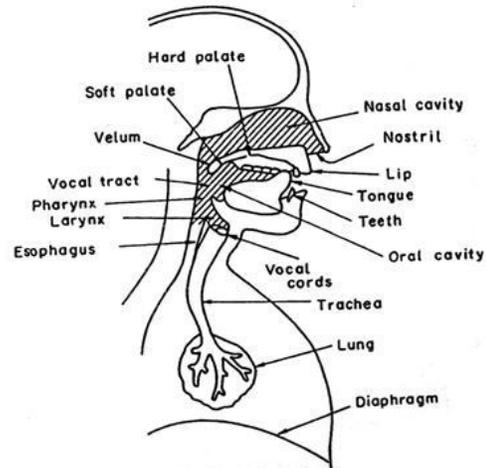
Menangis merupakan gerak refleks yang terjadi ketika udara masuk ke dalam pita suara yang menyebabkan pita suara bergetar dimana udara tersebut bekerja dalam proses pernafasan. Ostwald dan Peltzman menjelaskan tentang nilai sosial dari tangisan bayi bahwa tangisan bayi merupakan perilaku pertama yang mempunyai nilai sosial, yang menandakan ketergantungan total pada satu makhluk hidup yaitu ibu atau memungkinkan bentuk komunikasi dengan sekelompok manusia di dalam lingkungan. Menangis dapat terjadi setiap saat, namun paling sering dan paling kuat terjadi ketika dari pukul enam sore hingga tengah malam ketika bayi masih berumur dengan rentang 0-2 minggu (Herlina, 2010). Pada saat bayi berumur 2 minggu hingga 2 tahun, perkembangan bahasa bayi meliputi :

- Terdapat kesenjangan reseptif dan ekspresif. Kemampuan mengerti apa yang disampaikan orang lain sudah mulai berkembang pada tahun pertama bayi. Sedangkan untuk mengutarakan pikiran/ perasaan baru berkembang setelah itu.
- Ekspresi muka berbicara, nada suara dan isyarat tangan mulai membantu bayi untuk mengerti apa yang dikatakan. Ketika usia 3 bulan, bayi mengerti ungkapan rasa marah, takut dan senang.
- Pada usia 6 bulan, sebagian besar bayi dapat mengucapkan kata yang berulang, seperti -“ma-ma, da-da, na-na, ta-ta” (*babbling*).
- Pada usia 12-18 bulan, bayi sudah mengerti kata-kata
- Pada usia 18 bulan, bayi memasuki tahapan dua kata dimana mulai mampu mengucapkan dua kata, tetapi masih terpotong yang tergolong pada *open class words* dan *pivot words* (Hetherington, 2000 dalam Herlina, 2010).

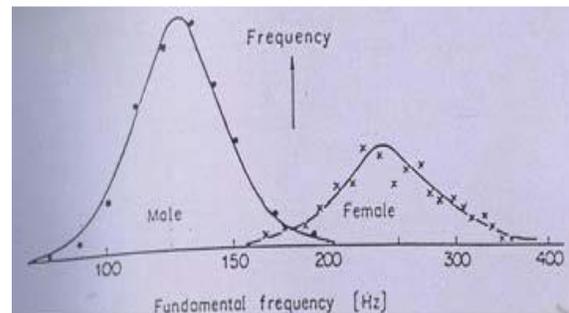
Adapun mekanisme terjadinya tangisan, tahap pertama adanya pengaruh yang menyebabkan tangisan baik dari eksternal maupun internal (lapar, kesakitan, dll) yang di olah oleh otak bayi.

Kemudian otak menerjemahkan kedalam serangkaian perintah melalui sistem saraf ucapan dan anggota badan, dimana sistem saraf ucap yang akan menciptakan suara akustik secara fisiologis. Otak memerintahkan sistem-sistem saraf untuk penghembusan udara dari paru-paru ke saluran vocal (*vocal tract*). Saluran vocal diawali dari pita suara dan berakhir pada bibir, saluran terdapat pada faring, yang menjadi penghubung antar mulut ke kerongkongan, rongga mulut dan rongga hidung. Ketika suara terucap maka terjadi saluran vocal dan posisi bagian internal

organ akan berubah, sehingga terbentuklah karakteristik akustik seperti frekuensi *Formant* (Lederman, 2002).



Gambar 1. Organ Tubuh Pembentuk Suara (Jamazy, 2015)



Gambar 1. Distribusi Frekuensi Dasar (Utomo, 2007)

Organ tubuh yang terlibat pada proses produksi suara adalah paru-paru, tenggorokan (*trachea*), laring (*larynx*), faring (*pharynx*), pita suara (*vocal cord*), rongga mulut (*oral cavity*), rongga hidung (*nasal cavity*), lidah (*tongue*), dan bibir (*lips*). Organ tubuh ini dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian utama, yaitu : *vocal tract* (berawal di awal bukaan pita suara atau *glottis*, dan berakhir di bibir), *nasal tract* (dari *velum* sampai *nostril*), dan *source generator* (terdiri dari paru-paru, tenggorokan, dan laring) dengan ilustrasi organ seperti pada **Error! Reference source not found.** (Jamazy, 2015).

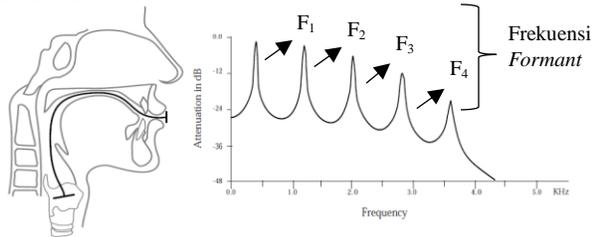
Proses pembentukan suara seperti halnya pada manusia dewasa umumnya, proses pembentukan ini dapat dibagi menjadi tiga proses fisiologis, yaitu pembentukan aliran udara dari paru-paru, perubahan aliran udara menjadi *voiced* ataupun *unvoiced* (*phonation*) yang disebut dengan proses *generation*, serta pembentukan artikulasi sebagai proses pengaturan suara menjadi bunyi spesifik yang disebut dengan proses *filtering* (Al-Azhar, 2011)

B. Frekuensi Dasar

Proses pembentukan suara berawal dari bergetarnya pita suara (vocal cord dan vocal fold) di laring akibat aliran udara yang lewat. Aliran udara tersebut dipotong-potong oleh gerakan pita suara menjadi sinyal pulsa yang bersifat quasi-periodik, sehingga menghasilkan frekuensi getar yang disebut dengan frekuensi dasar (fundamental). Frekuensi khas ini dipengaruhi oleh kondisi fisiologis laring manusia. Pada kondisi pembicaraan normal, level habitual pitch berkisar pada 50Hz s/d 250Hz untuk laki-laki dan 120Hz s/d 500Hz untuk perempuan, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Frekuensi ini berubah secara konstan dan memberikan informasi linguistik seseorang seperti pembeda antara intonasi dan emosi (Al-Azhar, 2011).

C. Frekuensi Formant

Setelah pita suara berkontraksi getar yang menghasilkan sinyal pulsa kemudian sinyal pulsa mengalami modulasi frekuensi ketika melewati faring, rongga mulut ataupun pada rongga hidung. Sinyal suara yang dihasilkan pada proses ini disebut sinyal voiced. Namun, apabila pita suara dalam keadaan relaksasi, maka aliran udara melewati celah sempit pada permukaan vocal tract sehingga alirannya menjadi turbulen, proses ini akan menghasilkan sinyal unvoiced. Ketika sumber suara melalui vocal tract, kandungan frekuensinya mengalami modulasi dimana proses ini disebut dengan proses filtering sehingga terjadi resonansi suara (artikulasi) pada vocal tract. Hasil resonansi suara menghasilkan frekuensi yang disebut frekuensi Formant yang dapat menghasilkan bunyi keluaran berupa bunyi vokal dan atau bunyi konsonan yang membentuk kata-kata yang memiliki arti untuk dianalisa. Karakteristik suara tiap individu bersifat unik karena terdapat perbedaan dalam hal panjang maupun bentuk vocal tract (Furui, 1985).



Gambar 3. Frekuensi Formant saat terjadi bunyi (Fitch, 1986)

Ukuran vocal tract setiap individu bervariasi, biasanya untuk laki-laki dewasa memiliki rata-rata panjang sekitar 17cm, sedangkan untuk luas vocal tract juga bervariasi antara 0 (ketika seluruhnya tertutup) hingga sekitar 20 cm². Kondisi vocal tract pada bayi jelas memiliki panjang yang lebih pendek dari ukuran vocal tract orang dewasa, sehingga hal ini menyebabkan nilai frekuensi Formant yang dihasilkan lebih besar dari frekuensi formant manusia dewasa (Subali, 2014). Hal ini dapat dilihat dari hasil model

vocal tract yang dianalogikan sebagai tabung resonator seperti pada Gambar 3.

D. Bunyi Segmentasi

Bunyi segmentasi adalah bunyi yang dihasilkan oleh pernafasan, alat ucap dan pita suara (Masnur dalam Cahyaningtyas, 2015). Bunyi segmental dapat berarti juga bunyi-bunyi Bahasa yang ketika diucapkan dapat diruas-ruaskan atau dipisah-pisahkan. Klasifikasi bunyi segmental didasarkan pada berbagai kriteria, yaitu ada tidanya gangguan, mekanisme udara, arah udara, pita suara, mekanisme artikulasi dan lainnya. Bunyi segmental disebut juga prosodi yang terdiri dari beberapa bagian, yaitu Nada, tekanan, durasi yang berkaitan dengan panjang pendeknya bunyi, jeda dalam pengucapakan, intonasi (Cahyaningtyas, 2015). Dalam penelitian ini dilakukan analisa *prosody* dengan menentukan nilai parameter berupa *delta cepstrum* (perbedaan jarak puncak dari *cepstrum* sebagai kecepatan frekuensi sinyal suara) dan *delta-delta cepstrum* (turunan delta cepstrum sebagai percepatan frekuensi sinyal suara) (Gunawan, 2014), dimana dengan nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk menganalisa *spectrum* sinyal suara. Untuk mendapatkan *spectrum* sinyal dilakukan bantuan dengan merubah sinyal ke dalam domain frekuensi melalui FFT (*Fast Fourier Transform*), dan dilakukan penambahan filter sinyal seperti hamming filter.

III. METODE EKSPERIMEN

Sebelum dilakukannya penelitian ini, tentu diawali dengan studi literature dahulu. Studi literatur bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan penulis pada topik penelitian ini agar tetap mengikuti perkembangan penelitian. Literatur yang digunakan pada penelitian ini dirujuk jurnal, buku, laporan tugas akhir sebelumnya, dan website.

Pengumpulan data naracoba sejumlah 10 bayi (laki-laki dan perempuan) dengan rentang umur naracoba 1-11 bulan.

Kemudian dilakukan proses perekaman dengan menggunakan alat rekam dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Type Alat : *Voice Recorder Zoom H4N*
- Unidirectional Condenser Microphone dengan sudut 90⁰ dan 120⁰
- Tipe data : Wav Format 16/24 bit; 44,1/48/96Hz

Adapun mekanisme pengambilan data dalam penelitian ini, yaitu :

- Merekam suara tangis bayi menggunakan perangkat recording Zoom H4n
- Recorder diletakkan 10-15 cm dari mulut bayi, dikondisikan agar tidak terjadi clipping signal. Clipping signal adalah kondisi dimana sinyal suara yang ditangkap mengalami overlap pada amplitud di daerah analisa sinyal suara, kondisi ini terjadi ketika alat rekam terlalu dekat dengan sumber suara dan sumber suara memiliki energi yang tinggi sehingga jika data ini terjadi hasil rekaman tidak dapat digunakan karena akan terjadi kehilangan beberapa informasi penting saat analisa sinyal suara.
- Perekaman akan dilakukan selama 15-20 detik setiap tangisan.
- Perekaman dikondisikan dalam frekuensi sampling sebesar 44100 Hz dan 24 bits rate.
- Pengambilan data dilakukan saat bayi dalam kondisi hipotesa tangisan :
Lapar
Mengantuk
Tidak nyaman
- Analisa F_0 menggunakan metode MBFT, STRAIGHT, YAAPT dan YIN.
- Analisa frekuensi *formant* menggunakan metode LPC.
- Analisa *prosody* menggunakan metode MFCC.

Beberapa yang harus diperhatikan saat prakondisi hasil rekaman, yaitu :

- *Background noise* dan reverberation yang tidak besar
- Tidak terjadi *Clipping Data*
- Durasi rekaman
- Pemotongan per *Voice Segment*
- Dilakukan *Downsampling* frekuensi hingga 8000Hz

IV. DISKUSI DAN PEMBAHASAN

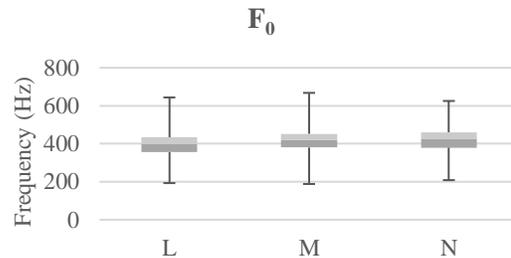
A. Analisa Frekuensi Dasar (F_0)

Analisa frekuensi dasar dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dasar tangisan bayi yang menjadi ciri sinyal suara tersebut, seperti pada rata-rata frekuensi dasar suara manusia dewasa berdasarkan jenis kelamin yaitu laki-laki (50Hz - 200Hz) lebih rendah dari pada frekuensi dasar perempuan (150Hz - 400Hz).

Frekuensi dasar ketiga kondisi tangisan tidak dapat memunculkan karakteristik tangisannya, pada frekuensi dasar ini hanya menunjukkan frekuensi ciri bahwa tangisan bayi berada di daerah 188Hz hingga 667Hz. Nilai Rata-rata frekuensi dasar ketika lapar (392,746Hz) menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi ketika tidak nyaman

(415,710Hz) dan mengantuk (416,515Hz). Sedangkan nilai rata-rata frekuensi dasar ketika tidak nyaman dan mengantuk memiliki selisih yang kecil sehingga dari nilai frekuensi dasar masih belum dapat ditentukan karakter setiap tangisan.

Berikut merupakan hasil box plot dengan nilai box = nilai terendah dan tertinggi kuartil, garis tengah box = nilai median kuartil, whisker top = nilai maximum - kuartil 3, dan whisker bottom = kuartil 2 - nilai minimum :



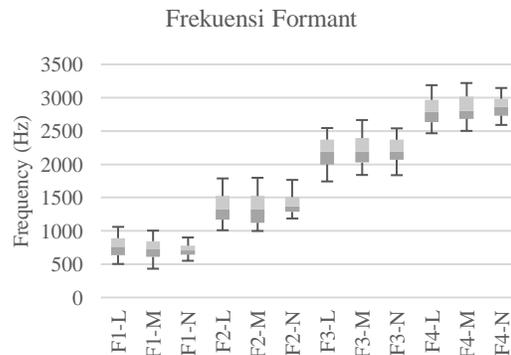
Gambar 4. Box Plot F_0 tangisan ketika Lapar

B. Analisa Frekuensi Formant dan Delta Cepstral

Analisa frekuensi formant ini merupakan tahap analisa lanjutan dari frekuensi dasar, dimana untuk melihat pola frekuensi di atas frekuensi dasar dari suatu spectral sinyal. Berikut merupakan hasil estimasi frekuensi formant menggunakan metode LPC (Linear Prediction Coefficient) :

1. Analisa Frekuensi Formant

Berikut merupakan hasil *box plot Formant* semua kondisi tangisan dengan nilai box = nilai terendah dan tertinggi kuartil, garis tengah box = nilai median kuartil, whisker top = nilai maximum - kuartil 3, dan whisker bottom = kuartil 2 - nilai minimum :

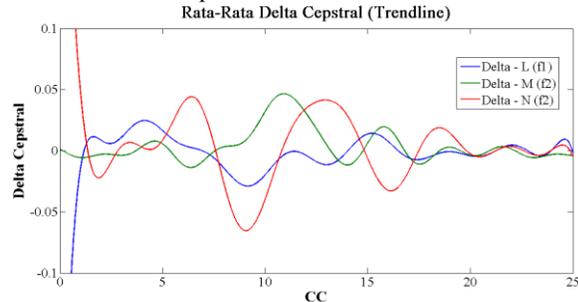


Gambar 5. Estimasi Frekuensi Formant Tangisan Bayi semua kondisi

Jika dilihat secara keseluruhan *box plot* pada gambar 8 nilai frekuensi *formant* pada tangisan ketika mengantuk menunjukkan nilai frekuensi minimum yang paling tinggi dari ketiga kondisi, sedangkan nilai minimum F1 dan F2 yang paling rendah di tunjukkan frekuensi tangisan pada kondisi tidak nyaman serta

untuk nilai minimum F3 dan F4 yang paling rendah pada frekuensi tangisan kondisi lapar. Nilai frekuensi *formant* didapatkan nilai rata-rata F1 hingga F4 secara berturut-turut yaitu untuk tangisan saat lapar sebesar 769Hz, 1358Hz, 2173Hz, 2795Hz, tangisan saat tidak nyaman sebesar 723Hz, 1339Hz, 2214Hz, 2849Hz, serta tangisan saat mengantuk sebesar 715Hz, 1415Hz, 2205Hz, 2864Hz.

2. Delta Cepstrum

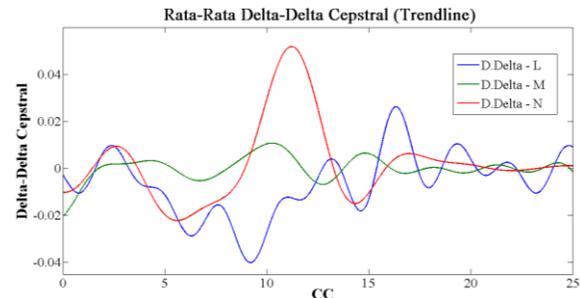


Gambar 6. Pola rata-rata nilai *Delta Cepstral* setiap tipe tangisan

Berdasar plot *scatter* gambar 6 ditunjukkan pola nilai *delta cepstral* yang menandakan nilai kecepatan perubahan nilai *cepstral* setiap *frame* tiap tipe tangisan. Tangisan tipe lapar terlihat memiliki nilai *delta cepstral* yang paling rendah dari dua tipe lainnya. Sedangkan pada tipe tangisan mengantuk cenderung persebaran nilai yang lebih lebar dan lebih tinggi dari ketiga kondisi. Sehingga dapat disimpulkan melalui pola fungsi tangisan sesuai kondisi bayi pada nilai ΔF_0 sebagai berikut : $F_1(x) < F_2(x) < F_3(x)$

3. Double Delta Cepstrum

Nilai $\Delta^2 F_0$ merupakan hasil estimasi perubahan percepatan frekuensi di setiap *frame* tangisan. Hasil analisa estimasi nilai rata-rata $\Delta^2 F_0$ pada tangisan bayi nampak pada Gambar 7, seperti halnya pada analisa nilai ΔF_0 bahwa nilai perubahan percepatan frekuensi pada tangisan lapar (ditandai dengan warna biru (L)) adalah yang paling lambat dari pada kedua tipe tangisan yang ada. Sehingga pada tipe tangisan kondisi mengantuk memiliki nilai perubahan percepatan yang paling tinggi dari kedua tipe tangisan lainnya. Analisa pola perubahan fasa pada nilai $\Delta^2 F_0$ dapat terlihat pada *coefficient cepstral* (CC) ke-6 hingga CC ke-20. Pada data rata-rata $\Delta^2 F_0$ menunjukkan bahwa tangisan lapar memiliki fasa yang berlawanan dengan tangisan mengantuk dan tidak nyaman. Namun untuk tangisan tidak nyaman memiliki perubahan fasa yang lebih cepat dari pada mengantuk, serta pada tangisan tidak nyaman memiliki *amplitude* fasa lebih kecil dari pada tangisan mengantuk. Sehingga dapat disimpulkan melalui pola fungsi tangisan sesuai kondisi bayi pada nilai $\Delta^2 F_0$ sebagai berikut : $d.F_1(x) < d.F_2(x) < d.F_3(x)$



Gambar 7. Pola rata-rata nilai *Double Delta Cepstral* setiap tipe tangisan

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini maka kesimpulan yang dapat diambil adalah metode STRAIGHT dapat mengekstraksi F0 dengan baik walaupun dalam kondisi sinyal suara memiliki waktu periode pendek seperti pada sinyal tangisan bayi. Selain itu, metode LPC mampu mengekstraksi frekuensi *formant* pada tangisan bayi. Hasil ekstraksi F0 dan frekuensi *formant* belum dapat membedakan setiap kondisi tangisan bayi. Namun dengan penambahan analisa fitur dinamik yaitu dari trajektori prosodi (nilai delta dan double delta cepstral) mampu membedakan secara signifikan dari pola setiap kondisi tangisan bayi yang ditinjau dari perubahan fasa gelombang tangisan. Sehingga karakteristik tangisan bayi berhasil dibedakan melalui ketiga parameter tersebut.

B. Saran

Adapun saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian ini, yaitu :

- Perlu dilakukan penambahan *database* dan waktu penelitian yang cukup lama agar mendapatkan karakter tangisan yang benar-benar menggambarkan tiap kondisi.
- Perlu penggunaan metode estimasi yang lebih akurat, cepat dan tepat untuk ekstraksi sinyal tangisan pada parameter akustik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Azhar, M. N., 2011. *Audio Forensic : Theory And Analysis*. Pusat Laboratorium Forensik Polri Bidang Fisika Dan Komputer Forensik, pp. 3-6, 2011.
- Cahyaningtyas, C., 2015. *Speech Synthesis Bahasa Indonesia Berbasis Hidden Markov Model (HMM) pada Intonasi Kalimat Berita dan Kalimat Tanya*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS, Surabaya, Indonesia.
- Cheveigne, A. D., dan Kawahara, H., April 2002. *YIN, a fundamental estimator for speech and music*. *J. Acoust. Soc. Am.* 111(4).

- Cohen, Rami. dan Yizhar Lavner. 2012. *Infant Cry Analysis and Detection*. **IEEE 27th Convention of electrical an electronics engineers in Israel**.
- Furui, S., 1985. *Digital Speech Processing Synthesis and Recognition*, **Imarcel Decker Inc**.
- Fort, A., dan Manfredi, C., 1998. *Acoustic Analysis of Newborn Infant Cry Signal*. **Medical Engineering & Physics** **20 (1998) 432-442**.
- Gunawan, E.T., 2014. *Statistical Parametric Synthesis Ujaran Bahasa Indonesia Berbasis Hidden Markov Model (HMM)*. **Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS, Surabaya. Indonesia**.
- Herlina. 2010. *Karakteristik Tahapan Perkembangan. Materi Kuliah Deteksi Dini Dalam Perkembangan*. **Jurusan Psikologi, UPI**.
- Hidayati, R. 2009. *The Extraction of Acoustic Features of Infant Cry for Emotion Detection Based on Pitch and Formants*. **IEEE, ICICI-BME 23-25 Nov 2009, Bandung, Indonesia**.
- Jamazy, A. A., 2015. *Aplikasi Speech Recognition sebagai Sistem Pengendali Gerakan Animasi Pada Computer*. **Jurnal Elektro PENS, Teknik Telekomunikasi Vol. 1 No. 2, 2015**.
- Kawahara, H., Katayose, H., Cheveigné, A., and Patterson, R., 1999. *Fixed Point Analysis of Frequency Mapping for Accurate Estimation of F_0 and Periodicity*, **Proc. Eurospeech, pp. 2781-2784**.
- Lederman, Dror. 2002. *Automatic Classification of Infants' Cry*. **Thesis pada Electrical and Computer Engineering Departement, Ben-Gurion University of The Negev**.
- Maulida, N., Alfiah, W. F., Pawestri, D. A., Zaman, M. Q., Susanto, H., Arifianto, D., Juli 2016. *Fundamental Frequency Evaluation of Infant Crying*. **International Conference ISITIA 2016, Lombok, Indonesia**.
- Mustafa, K., dan Bruce, I. C., Maret 2006. *Robust Formant Tracking for Continuous Speech with Speaker Variability*. **IEEE Transaction on Audio, Speech, and Language Processing, Vol. 14 No. 2**.
- Orlandi, S., dkk. 2015. *Application of Pattern Recognition Techniques to the Classification of Full-Term and Preterm Infant Cry*. **Journal of Voice, Vol. 08, No. 007, pp. 1-8**.
- Saraswathy, J., dkk. 2013. *Infant Cry Classification: Time Frequency Analysis*. **IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, 29 Nov, - 1 Dec. 2013, Penang, Malaysia**.
- Subali, M., Djasri, D., dan Alawiyah, N., 2014. *Frekuensi Forman Sebagai Model Akustik Tabung Sederhana dari Vocal Tract*. **Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST). Yogyakarta, 15 November 2014**.
- Utomo, A. B., Wahyudi, dan Hidayanto, A., 2007. *Analisa Karakteristik Suara Manusia Berdasarkan Frekuensi Fundamental, dan Tingkat usia pada pelajar SLTP dan SMA*. **Makalah Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro**.
- Zahorian, S.A., dan Hongbing Hu. Juni 2008. *A Spectral/temporal method for robust fundamental frequency tracking*. **J. Acoust. Soc. Am. 123(6), pp. 4559-4571**.
- Zen, H., Toda, T., Nakamura, M., dan Tokuda, K., Januari 2007. *“Details of Nitech HMM-Based Speech Synthesis System for the Blizzard Challenge 2005”*. **IEICE Trans. INF & SYST, Vol. E90-D, No. 1**.