

Received: Agustus 2020

Accepted: November 2020

Published: April 2021

Analisis Pengaruh Perubahan *Pitch* & *Background Noise* pada Suara Rekaman Barang Bukti terhadap Performansi Metode-Metode di Audio Forensik

Mifta Nur Farid^{*}, Dani Dwi Putra, Barokatun Hasanah, Mudeng Vicky
Institut Teknologi Kalimantan

^{*}*miftanurfarid@lecturer.itk.ac.id*

Abstract

The development of technology causes cyber crimes to increase. Statistical data from the Directorate of Cyber Crime shows that the total number of cyber crimes are increase in the last 5 years. Cybercrime generally leaves a digital trail called digital evidence. Based on the Electronic Transaction Information Law (UU ITE), one type of digital evidence is recorded sound evidence. Audio forensics is a branch of forensic science that aims to determine the ownership of these sound recordings. The recorded sound of evidence can experience various disturbances. One of the types of interference is large environmental noise and also the distortion of the pitch. This research will analyze the performance of the methods in audio forensics against these disturbances. These methods include statistical analysis of pitch, formant frequency anova and likelihood ratio analysis. The test was carried out with a total of 70 words for each disturbance. Based on the results obtained, it can be concluded that the statistical analysis of the pitch has an advantage in a noisy environment. The average accuracy of the pitch statistical method in that environment is 21%. However, the performance is poor in low and high pitch conditions with an accuracy of 0%. Meanwhile, the formant frequency ANOVA method and likelihood ratio analysis have a better performance in low and high pitch conditions than the pitch statistical analysis. The accuracy of the formant frequency anova and likelihood ratio is 8% for low pitch and 2% for high pitch.

Keywords : audio forensics, pitch, formant, likelihood.

Abstrak

Perkembangan teknologi menyebabkan kejahatan di dunia maya meningkat. Data statistik Direktorat Tindak Pidana Siber menunjukkan meningkatnya total kejahatan siber dalam 5 tahun terakhir. Kejahatan siber umumnya akan meninggalkan jejak digital yang disebut barang bukti digital. Berdasarkan Undang-Undang Informasi Transaksi Elektronik (UU ITE), salah satu jenis barang bukti digital adalah suara rekaman barang bukti. Audio forensik merupakan cabang dari ilmu forensika. Ilmu audio forensik bertujuan untuk menentukan kepemilikan rekaman suara tersebut. Pada suara rekaman barang bukti bisa mengalami berbagai gangguan. Salah satu jenis gangguannya adalah noise lingkungan yang besar dan juga distorsi dari *pitch*-nya. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terkait performa dari metode-metode dalam audio forensik terhadap gangguan-gangguan tersebut. Metode-metode tersebut antara lain analisis statistik *pitch*, anova frekuensi *formant* dan analisis *likelihood ratio*. Pengujian dilakukan dengan total 70 kata untuk masing-masing gangguan. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa analisis statistik *pitch* memiliki keunggulan di lingkungan yang *noisy*. Rata-rata akurasi dari metode statistik *pitch* pada lingkungan tersebut adalah 21%. Namun performanya buruk saat kondisi *low* dan *high pitch* dengan akurasi 0%. Sedangkan metode anova frekuensi *formant* dan analisis *likelihood ratio* memiliki performa yang lebih baik di kondisi *low* dan *high pitch* daripada analisis statistik *pitch*. Akurasi dari anova frekuensi *formant* dan *likelihood ratio* adalah 8% untuk *low pitch* dan 2% untuk *high pitch*.

Kata kunci : audio forensik, pitch, formant, likelihood.

1. Pendahuluan

Setiap proses yang dilakukan oleh manusia saat ini tidak bisa lepas dari teknologi. Contohnya adalah manusia dapat saling berkomunikasi dengan menggunakan *handphone* dan jaringan internet. Jaringan internet yang dipakai saat ini memungkinkan kita untuk berkomunikasi dengan orang lain di seluruh dunia. Sehingga dengan begitu peluang untuk terjadinya kejahatan, baik itu pada dunia maya maupun dunia nyata, menjadi lebih besar dan lebih bervariasi daripada sebelumnya[1].

Berdasarkan data statistik dari Direktorat Tindak Pidana Siber (Dittipidsiber) Bareskrim Polri, total kejahatan digital di Indonesia meningkat dalam 5 tahun terakhir. Pada tahun 2015, total laporan kejahatan siber sebanyak 2609. Kemudian pada tahun 2016 dan 2017 meningkat menjadi 3110 dan 3109 laporan. Pada tahun 2018, total laporan kejahatan siber meningkat secara signifikan menjadi 4360 dan pada tahun 2019 sebanyak 4586 laporan [2].

Adanya barang bukti digital sangat membantu petugas dalam mengungkapkan tindak pidana. Salah satunya adalah rekaman suara yang dapat menjadi barang bukti digital (*digital evidence*) yang bisa digunakan. Berdasarkan Undang-Undang Informasi Transaksi Elektronik (UU ITE) No. 19 tahun 2016 pada Pasal 1 menyatakan bahwa “Informasi Elektronik adalah salah satu sekumpulan data elektronik, termasuk tetapi tidak terbatas pada tulisan, suara, Gambar, peta, rancangan, foto, electronic data interchange (EDI), surat elektronik (*electronic mail*), telegram, teleks, telecopy atau sejenisnya, huruf, tanda, angka, kode, akses, simbol, atau perforasi yang telah diolah yang memiliki arti atau dapat dipahami oleh orang yang mampu memahaminya” [3].

Suara adalah salah satu cara manusia berkomunikasi. Suara manusia merupakan sesuatu hal yang unik dan memiliki ciri khas pemilik suara sehingga tiap-tiap manusia memiliki suara yang berbeda [4]. Faktor

yang mempengaruhi kekhasan dari masing-masing suara adalah *pitch* dan frekuensi *formant*. *Pitch* adalah frekuensi dasar dari getaran pada pita suara/ *vocal folds* yang berada di atas *trachea*. Sedangkan frekuensi *formant* disebabkan oleh pembentukan frekuensi sinyal dari pita suara/ *vocal folds* oleh saluran suara/ *vocal tract*. Saluran suara meliputi saluran hidung, lidah, gigi, bibir, dan langit-langit. Konfigurasi khusus dari organ-organ di atas, yang disebut artikulator, menciptakan resonansi pada frekuensi tertentu yang kemudian disebut dengan frekuensi *formant*.

Audio forensik adalah bagian dari bidang ilmu yang menganalisis audio seperti rekaman suara. Rekaman suara selalu memiliki informasi berupa ciri frekuensi, frekuensi tersebut dapat diketahui identitasnya [5]. Langkah-langkah yang dilakukan dalam audio forensik adalah uji keaslian/ *authenticity*, peningkatan kualitas audio/ *enhancement*, dan yang terakhir adalah *interpretation* [6].

Peneliti sebelumnya, melakukan penelitian audio forensik yang bertujuan untuk menentukan keidentikan rekaman suara sebagai barang bukti dengan beberapa *suspect* sebagai pemilik suara yang diduga pemilik suara pada rekaman tersebut. Metode yang digunakan adalah analisis statistik *pitch* dan *analysis of variant* (anova) dari *formant*, namun sampel suara yang diidentifikasi terbilang sedikit yaitu hanya 3 sampel dan tidak menunjukkan tingkat keakurasian dari metode tersebut [7].

Pada penelitian ini, dilakukan identifikasi kepemilikan suara berdasarkan hasil analisis *pitch* dan anova antara rekaman suara barang bukti dan rekaman suara pembanding. Suara rekaman yang diambil berupa kalimat berita yang dituturkan oleh 2 *speaker* laki-laki dan perempuan yang mewakili karakteristik suara *high pitch* dan *low pitch*. Suara rekaman barang bukti dilakukan di dalam lingkungan yang *noisy*, yaitu *background noise* rata-rata > 55 dB dan suara rekaman pembanding di lingkungan yang sunyi yaitu *background noise* rata-rata

< 35 dB. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pengaruh dari besarnya *background noise* terhadap hasil identifikasi kepemilikan suara. Selain itu, dilakukan juga modifikasi nilai *pitch* dan frekuensi *formant* dari suara rekaman barang bukti. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian kedua metode di atas dalam mengidentifikasi kepemilikan suara jika nilai *pitch* dan frekuensi *formant*-nya berubah.

2. Metode Penelitian

Skema dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan SOP tentang analisis audio forensik dari Puslabfor DFAT (*Digital Forensic Analysis Team*). Tahapan-tahapannya yaitu pengumpulan data, akuisisi data, *decoding*, variasi nilai *pitch* dan frekuensi *formant* dan *voice recognition*.

2.1 Pengumpulan Data Rekaman Suara

Data yang dikumpulkan merupakan data rekaman suara yang diambil terhadap 2 kondisi yaitu suara rekaman barang bukti dilakukan di dalam lingkungan yang *noisy*, yaitu *background noise* rata-rata > 55 dB dan suara rekaman pembanding di lingkungan yang sunyi, yaitu *background noise* rata-rata < 35 dB. Suara yang digunakan adalah suara dari penutur laki-laki dan perempuan dengan usia 22 tahun dengan kalimat berita yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Daftar kalimat berita yang digunakan dalam rekaman suara

No	Kalimat
1.	Saya suka baju yang berwarna merah tua
2.	Boneka beruang di toko itu lucu sekali
3.	Sepatuku kotor belum aku cuci dari kemarin
4.	Jalan itu ramai sekali setiap pagi hari
5.	Lusa aku akan pergi ke rumah paman

a. Akuisisi Data

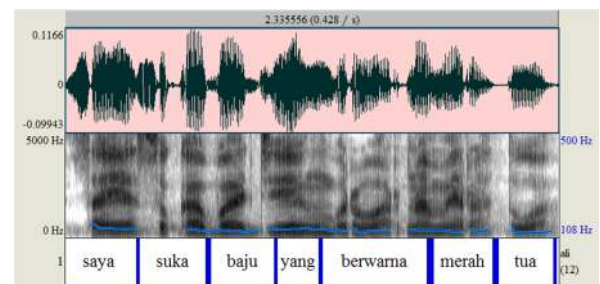
Dalam tahap ini dilakukan pengecekan dan pendataan dari rekaman suara yang diambil serta alat yang digunakan pada proses perekaman suara. Untuk rekaman suara barang bukti maupun rekaman suara pembanding pada penelitian ini diambil dan diubah menggunakan:

- Smartphone android Xiaomi Pocophone F1;
- Aplikasi perekam suara yaitu Easy Voice Recorder.
- Aplikasi pengukur Intensitas suara Sound Meter – Decibel & Noise meter

Dalam perekaman suara digunakan aplikasi android dengan fitur *noise cancelation* tentunya untuk meningkatkan kualitas rekaman suara.

2.2 Decoding

Pada tahapan ini akan dilakukan pengestrakan rekaman suara yang bertujuan untuk mempermudah perolehan nilai *pitch* dan frekuensi *formant* dari beberapa suku kata pada masing-masing rekaman suara tersebut menggunakan aplikasi Praat[8].



Gambar 1. Text grid rekaman suara kalimat 1

Gambar 1 merupakan proses pemotongan suara dari sebuah kalimat menjadi kata-per-kata pada aplikasi Praat[8] dan selanjutnya akan dilakukan ekstraksi nilai *pitch* dan frekuensi *formant*.

2.3 Variasi Nilai Pitch dan Frekuensi Formant

Pada Tahap ini digunakan aplikasi perubah suara rekaman *Voice Changer with Effect* dengan variasi *high effect* dan *low effect*. Nilai *pitch* yang divariasikan naik rata rata 94 Hz, nilai *pitch* yang divariasikan turun rata rata 25 Hz. Kemudian kedua rekaman yang telah divariasikan akan dibandingkan juga dengan rekaman suara pembanding.

2.4 Voice Recognition

Dalam bagian ini dilakukan perbandingan analisis 3 tahap yaitu antara rekaman suara pembanding dengan suara rekaman barang bukti, suara rekaman pembanding dengan *lower pitch* & frekuensi *formant* dan suara rekaman barang bukti dengan *higher pitch* & frekuensi *formant*. Untuk identifikasi suara dilakukan analisis statistik *pitch* dan anova frekuensi *formant*.

1. Analisis statistik *pitch*

Untuk melakukan analisis statistik *pitch* akan melihat 5 nilai *pitch* yaitu *pitch max*, *pitch min*, *pitch median*, *pitch mean*, dan *pitch standard deviation*. Langkah pertama yaitu menganalisis nilai *mean* dilanjutkan dengan nilai statistik lainnya apabila jarak perbedaan diantara keduanya > 5 Hz maka dinyatakan memiliki perbedaan nilai yang lebar dan kedua suara rekaman tersebut tidak identik. Untuk nilai standar deviasi tidak boleh terlalu dekat dan terlalu tinggi perbedaannya dengan nilai *mean* [8].

2. Anova frekuensi *formant*

Analysis of variance (anova) mengkalkulasi secara statistik nilai-nilai *formant* 1, *formant* 2 dan *formant* 3 dari suara rekaman barang bukti dan suara rekaman pembanding. Analisis anova dapat dihasilkan dengan membedakan dua kelompok data pada masing-masing frekuensi *formant* yang ditandai dengan perbandingan *ratio F* dan *F critical*, dan nilai *P value* dari hipotesis yang akan diujikan. Jika nilai *ratio F* lebih kecil dari *F critical*, dan nilai *P value* lebih besar dari 0,5 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kedua kelompok kata yang dianalisa antara suara rekaman barang bukti dengan suara rekaman pembanding memiliki kemiripan atau *accepted*, kesimpulan ini memiliki tingkat konfidensi sebesar 95% [8].

3. Likelihood ratio

Analisis *Likelihood ratio* bertujuan untuk menguatkan analisis *statistic* nilai *formant* secara mendetail. Analisis *Likelihood ratio* merupakan lanjutan dari

analisis *anova formant*. Berikut ini adalah rumus LR sebagai berikut

$$LR = \frac{p(E | H_p)}{p(E | H_d)} \quad (1)$$

dimana $p(E | H_p)$ adalah hipotesis tuntutan (*prosecution*), yaitu suara rekaman pembanding dan suara rekaman barang bukti yang berasal dari orang yang sama. Sedangkan $p(E | H_d)$ adalah hipotesis perlawanan (*defense*), yaitu suara rekaman pembanding dan suara rekaman barang bukti yang berasal dari orang yang berbeda. Nilai $p(E | H_p)$ berasal dari *P value* dan $p(E | H_d) = 1 - p(E | H_p)$. Jika $LR > 1$ maka hasilnya mendukung hipotesis tuntutan dan jika $LR < 1$ maka hasilnya mendukung hipotesis perlawanan. Sehingga nilai $p(E | H_p)$ harus lebih besar daripada 0,5 agar suara rekaman barang bukti dan suara rekaman pembanding berasal dari orang yang sama atau disebut identik [9].

Tabel 2 dan Tabel 3 adalah tabel yang menunjukkan verbal statement sebagai penjelas dari nilai *likelihood ratio*.

Tabel 2. Nilai likelihood ratio pendukung hipotesis tuntutan $p(E|H_p)$ [10]

LR	Verbal Statement	Keterangan
>10,000	Very strong evidence to support	
1000 – 10,000	Strong evidence to support	
100 – 1000	Moderately strong evidence to support	Mendukung hipotesis tuntutan $p(E H_p)$
10 – 100	Moderate evidence to support	
1 – 10	Limited evidence to support	

Tabel 3. Nilai likelihood ratio pendukung hipotesis perlawanan $p(E|H_d)$ [10]

LR	Verbal Statement	Keterangan
1-0.1	Limited evidence to against	
0.1-0.01	Moderate evidence to against	
0.01-0.001	Moderately strong	Mendukung

	evidence to against	hipotesis perlawanan $p(E H_p)$
0.001-	Strong evidence	
0.0001	against	
<0.0001	Very strong evidence against	

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Statistik *Pitch*

Berikut ini adalah salah satu hasil analisis statistik *pitch* dari kata “saya” dengan penutur laki-laki “ali”. Hasil tersebut didapatkan dari aplikasi Praat[8] dan ditunjukkan oleh Tabel 4. Pada tabel tersebut dapat dilihat perbedaan nilai statistik *pitch minimum*, *maximum*, *quantile*, *mean* dan *standard deviation* antara suara rekaman barang bukti dengan suara rekaman pembandingan. Perbedaan yang dimaksud bernilai lebih dari 5 Hz.

Jika kita perhatikan grafik spektrum dari *pitch* antara suara rekaman barang bukti dengan suara rekaman pembandingan, yang ditunjukkan oleh Gambar 2, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua suara rekaman tersebut, yaitu suara rekaman barang bukti dan suara rekaman pembandingan, adalah tidak identik, artinya kedua suara tersebut berasal dari dua orang yang berbeda.

Tabel 4. Hasil analisis statistik *pitch* dari kata "saya" dengan penutur laki-laki "ali"

Analisis Statistik	Suara Rekaman Barang Bukti	Suara Rekaman Pembandingan
<i>Pitch Minimum</i>	106.60	111.49
<i>Pitch Maximum</i>	111.66	136.47
<i>Pitch Quantile</i>	108.50	115.15
<i>Pitch Mean</i>	109.06	116.87
<i>Pitch Standard Deviation</i>	1.75	6.13

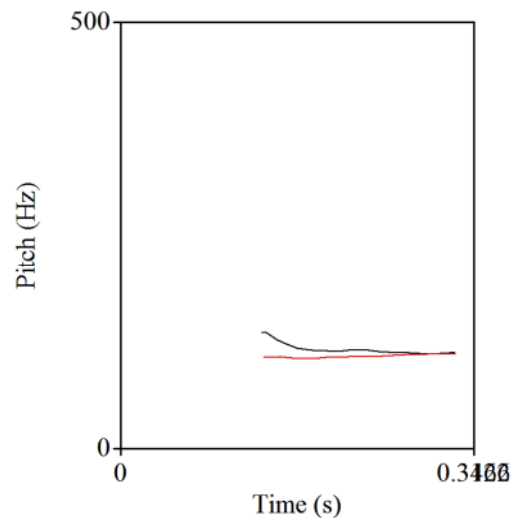
3.2 Hasil Anova Frekuensi *Formant*

Sama dengan hasil analisis statistik *pitch*, nilai frekuensi *formant* juga didapatkan dari aplikasi Praat[8]. Hasil yang didapatkan berupa nilai list tabulasi *formant* pada masing-masing kata setiap rekaman, kemudian digunakan aplikasi *gnumeric* analisis *one way anova*. Berikut ini adalah hasil analisis *Anova formant* pada suara

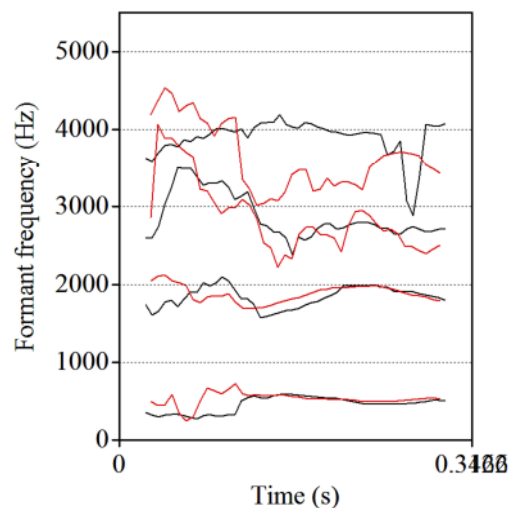
rekaman barang bukti dan suara rekaman pembandingan dari kata “saya” dengan penutur laki-laki “ali”.

Tabel 5. Hasil anova frekuensi *formant* dari kata "saya" dengan penutur laki-laki "ali".

Formant	Ratio F	P value	F Critical	Conclusion
F 1	13.17212	0.00048	3.94932	Rejected
F 2	2.66855	0.10592	3.94932	Rejected
F 3	0.00015	0.99025	3.94932	Accepted



Gambar 2. Perbandingan nilai *pitch* dari kata "saya" dengan penutur laki-laki "ali".



Gambar 3. Perbandingan frekuensi *formant* dari kata "saya" dengan penutur laki-laki "ali"

Pada Tabel 5 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa hasil dari analisis *anova* untuk nilai *formant* 1, 2, 3 kata “saya” pada suara

rekaman barang bukti dan suara rekaman pembandingan adalah tidak identik karena hanya *formant 3* yang dinyatakan *accepted*.

3.3 Hasil Analisis *Likelihood Ratio*

Tabel 6 adalah hasil analisis *likelihood ratio* untuk suara rekaman barang bukti dan suara rekaman pembandingan dari kata “saya” dengan penutur laki-laki “ali”.

Tabel 6. Hasil analisis *likelihood ratio* dari kata “saya” dengan penutur laki-laki “ali”

Formant	p(E Hp)	p (E Hd)	LR	Verbal Statement
F1	0.00048	0.99952	0.00048	Strong evidence against Limited
F2	0.10592	0.89408	0.11847	evidence to against Moderately
F3	0.99025	0.00975	101.55874	strong evidence to support

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai frekuensi *formant 3* yang nilai $LR > 1$, yang artinya mendukung hipotesis penuntutan. Sedangkan nilai frekuensi *formant 1* dan 2 memiliki nilai $LR < 1$, yang artinya mendukung hipotesis perlawanan. Maka dapat dikatakan bahwa suara rekaman barang bukti dengan suara rekaman pembandingan tidak identik atau berasal dari orang yang berbeda.

3.4 Hasil Keseluruhan Analisis

Berikut adalah keseluruhan hasil analisis antara suara rekaman pembandingan dengan suara rekaman barang bukti, suara rekaman barang bukti dengan *low pitch* dan suara rekaman barang bukti dengan *high pitch*.

Tabel 7. Hasil keseluruhan analisis statistik *pitch*

Subjek	Total Kata	Barang Bukti + Noisy	Barang Bukti + Low Pitch	Barang Bukti + High Pitch
Laki-laki	70	22 identik	0 identik	0 identik
Perempuan	70	14 identik	0 identik	0 identik

Tabel 7 merupakan hasil analisis statistik *pitch* dari keseluruhan subjek & kondisi. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa dari total 70 kata ketika suara rekaman barang bukti di lingkungan *noisy*, terdapat total 22 kata yang identik untuk penutur laki-laki dan 14 kata identik untuk penutur perempuan. Sehingga dapat dikatakan bahwa akurasi dari metode ini pada kondisi tersebut adalah 31% untuk penutur laki-laki dan 10% untuk penutur perempuan. Sedangkan ketika barang bukti mengalami distorsi *pitch*, baik yang *low* maupun *high*, akurasi sebesar 0 % untuk kedua jenis penutur.

Tabel 8. Hasil keseluruhan analisis anova frekuensi *formant*

Subjek	Total Kata	Barang Bukti + Noisy	Barang Bukti + Low Pitch	Barang Bukti + High Pitch
Laki-laki	70	10 identik	6 identik	0 identik
Perempuan	70	10 identik	4 identik	2 identik

Tabel 8 merupakan hasil analisis anova frekuensi *formant* dari keseluruhan subjek & kondisi. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa dari total 70 kata ketika suara rekaman barang bukti di lingkungan *noisy*, terdapat 10 kata yang identik untuk penutur laki-laki dan penutur perempuan. Sehingga dapat dikatakan bahwa akurasi dari metode ini pada kondisi tersebut adalah 15% untuk kedua jenis penutur. Ketika barang bukti mengalami distorsi *low pitch*, terdapat 6 kata identik untuk penutur laki-laki dan 4 kata identik untuk penutur perempuan. Sehingga akurasinya adalah 9% untuk penutur laki-laki dan 6% untuk penutur perempuan. Sedangkan ketika barang bukti mengalami distorsi *high pitch*, terdapat 0 kata identik untuk penutur laki-laki dan 2 kata identik untuk penutur perempuan. Sehingga akurasinya adalah 0% untuk penutur laki-laki dan 3% untuk penutur perempuan.

Tabel 9. Hasil keseluruhan analisis *likelihood ratio*

Subjek	Total Kata	Barang Bukti + Noisy	Barang Bukti + Low Pitch	Barang Bukti + High Pitch
Laki-laki	70	13 identik	7 identik	0 identik
Perempuan	70	11 identik	4 identik	2 identik

Tabel 9 merupakan hasil analisis *likelihood ratio* dari keseluruhan subjek & kondisi. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa dari total 70 kata ketika suara rekaman barang bukti di lingkungan *noisy*, terdapat 13 kata yang identik untuk penutur laki-laki dan 11 kata yang identik untuk penutur perempuan. Sehingga dapat dikatakan bahwa akurasi dari metode ini pada kondisi tersebut adalah 19% untuk penutur laki-laki dan 16% penutur perempuan. Ketika barang bukti mengalami distorsi *low pitch*, terdapat 7 kata identik untuk penutur laki-laki dan 4 kata identik untuk penutur perempuan. Sehingga akurasinya adalah 10% untuk penutur laki-laki dan 6% untuk penutur perempuan. Sedangkan ketika barang bukti mengalami distorsi *high pitch*, terdapat 0 kata identik untuk penutur laki-laki dan 2 kata identik untuk penutur perempuan. Sehingga akurasinya adalah 0% untuk penutur laki-laki dan 3% untuk penutur perempuan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa analisis statistik *pitch* memiliki keunggulan di lingkungan yang *noisy*. Rata-rata akurasi dari metode statistik *pitch* pada lingkungan tersebut adalah 21%. Namun performanya buruk saat kondisi *low* dan *high pitch* dengan akurasi 0%. Sedangkan metode anova frekuensi formant dan analisis *likelihood ratio* memiliki performa yang lebih baik di kondisi *low* dan *high pitch* daripada analisis statistik *pitch*. Akurasi dari anova frekuensi formant dan *likelihood ratio* adalah 8% untuk *low pitch* dan 2% untuk *high pitch*.

Daftar Pustaka

- [1] A. Aligarh and B. C. Hidayanto, "Implementasi Metode Forensik dengan Menggunakan Pitch, Formant, dan Spectrogram untuk Analisis Kemiripan Suara Melalui Perekam Suara Telepon Genggam Pada Lingkungan yang Bervariasi," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. A306–A310, Sep. 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16980.
- [2] Direktorat Tindak Pidana Siber Bareskrim Polri, "Data Statistik Kejahatan Siber di Indonesia." <https://patrolisiber.id/statistic> (accessed Oct. 28, 2020).
- [3] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2012, "Peraturan Pemerintah Tentang Penyelenggaraan Sistem Dan Transaksi Elektronik." <https://jdih.kemenkeu.go.id/fullText/2012/82TAHUN2012PP.HTM> (accessed Oct. 28, 2020).
- [4] R. Umar, S. Sunardi, and M. F. Gustafi, "Analisis Statistik Pitch Rekaman Suara Yang Telah Dimanipulasi Menggunakan Audio Forensik Untuk Keperluan Barang Bukti Digital," *Mob. Forensics*, vol. 1, no. 1, p. 1, Sep. 2019, doi: 10.12928/mf.v1i1.702.
- [5] R. R. Huizen, N. K. D. A. Jayanti, and D. P. Hostiadi, "Model Evaluasi Rekaman Percakapan Di Audio Forensik," *J. Sist. dan Inform.*, vol. 11, no. 2, pp. 133–140, 2017.
- [6] R. C. Maher, "Audio forensic examination," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 26, no. 2, pp. 84–94, 2009.
- [7] V. R. C. Putri, □ Sunarno, P. Fisika, F. Matematika, D. Ilmu, and P. Alam, "Unnes Physics Journal Analisis Rekaman Suara Menggunakan Teknik Audio Forensik Untuk Keperluan Barang Bukti Digital," 2014.
- [8] M. N. Al-Azhar, *Digital Forensic: Practical Guidelines for Computer Investigation*. Jakarta: Salemba Infotek, 2012.

- [9] A. Subki, B. Sugiantoro, and Y. Prayudi, "Membandingkan Tingkat Kemiripan Rekaman Voice Changer Menggunakan Analisis Pitch, Formant dan Spectrogram," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 1, p. 17, 2018.
- [10] Rose Philip, *Forensic speaker identification* / Philip Rose. CRC Press, 2002.