

KARAKTERISASI PARAMETER AKUSTIK PADA SUARA YANG DIPRODUKSI OLEH PITA SUARA BUATAN

Orienta Sebayang¹, Drs. Suwandi., M.Si.², Hertiana Bethaningtyas D.K., M.T.³

Mahasiswa Teknik Fisika, Universitas Telkom, Bandung¹
orientasebayang@yahoo.com

Dosen Teknik Fisika, Universitas Telkom, Bandung²
swi@ittelkom.ac.id

Dosen Teknik Fisika, Universitas Telkom, Bandung³
bethaningtyas23@gmail.com

Abstrak

Model biomekanik merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan suara yang diproduksi oleh pita suara buatan. Rancangan dari model biomekanik dibangun dengan 2 jenis, yaitu: model biomekanik pria dan model biomekanik wanita. Model biomekanik yang dirancang memiliki konsep yang sama seperti sistem produksi suara pada manusia. Proses yang dilakukan untuk membuat model biomekanik meliputi: pembuatan model laring, model pita suara buatan, dan model resonator. Karakterisasi parameter akustik pada suara yang diproduksi oleh pita suara buatan bertujuan untuk menganalisis nilai performansi suara yang dihasilkan oleh pita suara. Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter akustik meliputi normalisasi data suara, *Fast Fourier Transform* (FFT), analisis frekuensi dasar (F_0), *jitter*, *shimmer*, dan *Harmonic-to-Noise Ratio* (HNR). Berdasarkan hasil pengujian pita suara buatan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa rentang nilai frekuensi dasar yang dihasilkan dari model biomekanik pria bernilai 151.2 Hz – 161.2 Hz dengan nilai rata-rata *jitter*, *shimmer*, HNR bernilai 0.8146%, 0.68849 dB, 28.748 dB. Sedangkan pada model biomekanik wanita rentang frekuensi dasar bernilai 195.87 Hz – 230.87 Hz dengan nilai rata-rata *jitter*, *shimmer*, dan HNR bernilai 0.7563%, 0.55521 dB, 37.332 dB.

Kata Kunci : Pita Suara, *Fast Fourier Transform* (FFT), frekuensi dasar (F_0), *jitter*, *shimmer*, *Harmonic-to-Noise Ratio* (HNR)

1. Pendahuluan

Percakapan merupakan proses komunikasi untuk menyampaikan informasi dari pembicara kepada pendengar. Dalam proses komunikasi, suara merupakan bagian yang paling penting. Proses produksi suara manusia terjadi di dalam laring. Pada laring terdapat pita suara yang akan bergetar akibat aliran udara dari paru-paru. Gangguan fisiologis sementara maupun permanen yang terjadi pada fungsi organ penghasil suara manusia dapat mengakibatkan kesulitan berkomunikasi. Gangguan pada fungsi organ penghasil suara manusia umumnya terjadi pada pita suara. Gangguan pada fungsi kerja pita suara manusia dapat dianalisis dengan cara melakukan karakterisasi suara manusia. Hasil dari karakterisasi suara manusia ini digunakan sebagai perbandingan nilai karakterisasi parameter akustik dari suara yang dihasilkan pada percobaan pita suara buatan.

Model biomekanik merupakan salah satu solusi alternatif yang ditawarkan oleh penulis untuk menjawab permasalahan di atas. Model biomekanik digunakan untuk membantu menganalisis karakterisasi parameter akustik pada pita suara. Prinsip kerja dari model biomekanik ini dengan cara memberikan respon aliran udara dari

paru-paru mekanik sehingga pita suara akan bergetar menghasilkan bunyi. Hasil suara yang dihasilkan oleh model biomekanik ini nantinya akan dicocokkan dengan parameter akustik pada suara manusia normal (sehat). Perancangan pada model biomekanik ini terdiri dari model biomekanik dan sistem *software (tool)*. Perancangan sistem model biomekanik berupa model laring, model pita suara buatan, dan model resonator. Pada perancangan sistem *software* berupa *interface* antara *user* yang berfungsi sebagai validasi suara yang dihasilkan oleh pita suara buatan.

2. Metode Perancangan Sistem

Perancangan dan implementasi sistem dari model biomekanik yang dibuat merupakan sebuah rancangan yang berfungsi untuk menampilkan bentuk pita suara pada saat bergetar dan menampilkan spektrum frekuensi dari sinyal suara yang dihasilkan. Implementasi dari sistem bersifat *real time*, sehingga setiap masukan yang diterima langsung diproses oleh PC untuk menghasilkan spektrum warna, nilai *jitter*, nilai *shimmer*, dan nilai *Harmonic-to-Noise Ratio* (HNR). Selanjutnya, hasil dari nilai parameter akustik tersebut ditampilkan pada *Graphical User*

Interface (GUI). Proses pengolahan sinyal suara membutuhkan alat bantu, yaitu *soundcard* yang berfungsi sebagai *Analog/Digital Converter (A/D Converter)*.

2.1 Perancangan dan Pembuatan Model Mekanik

Proses perancangan dan pembuatan model biomekanik terbagi menjadi 3 bagian, yaitu: suplai udara, proses mekanik (model laring, pita suara buatan, resonator), dan pengambilan data/sinyal suara. Pada penelitian yang dilakukan, suplai udara berasal dari kompresor yang dapat mensuplai udara sesuai dengan tekanan udara yang dibutuhkan.

2.2.1 Suplai Udara

Suplai udara pada model biomekanik berasal dari kompresor yang berfungsi sebagai paru-paru. Udara dari kompresor dialirkan agar pita suara dapat bergetar dan menghasilkan bunyi. Pada model biomekanik, bunyi yang dihasilkan dapat diatur sesuai dengan tekanan udara yang melewati *valve*. Tekanan udara paru-paru manusia untuk menghasilkan bunyi pada pita suara berkisar antara 0,3 kPa-1,2 kPa.^[8] Nilai tekanan udara yang diberikan akan mengubah besar volume suara yang didengar oleh manusia. Suplai udara model biomekanik diberikan secara berkala dengan rentang waktu 10 detik. Bagian input dari model biomekanik terhubung dengan pipa PVC yang mempunyai diameter dalam 1,25 inch.

2.2.2 Model Laring

Model laring merupakan salah satu bagian yang berfungsi sebagai proses pembentukan suara. Bentuk dan ukuran laring yang digunakan menentukan karakteristik suara yang akan dihasilkan. Pembuatan model laring terbagi menjadi 2 jenis, yaitu: model laring pria dan model laring wanita. Dimensi laring yang digunakan pada model mekanik sama seperti dimensi laring pada manusia. Ukuran model laring pria mempunyai panjang 15,4 cm dengan diameter 4,1 cm. Sedangkan ukuran model laring wanita mempunyai panjang 14,6 cm dengan diameter 4,1 cm. Pada Gambar 1 menunjukkan model laring yang digunakan pada model mekanik.



Gambar 1. Model Laring pada Model Mekanik

2.2.3 Model Pita Suara Buatan

Pita suara merupakan komponen utama untuk menghasilkan suara pada model biomekanik. Model pita suara buatan ini nantinya akan bergetar pada saat diberikan aliran udara dari kompresor. Komponen bahan pita suara yang digunakan akan menentukan frekuensi suara yang dihasilkan. Tingkat kekerasan dari bahan yang digunakan sebagai pita suara buatan ini berkisar antara 25-40.^[7]

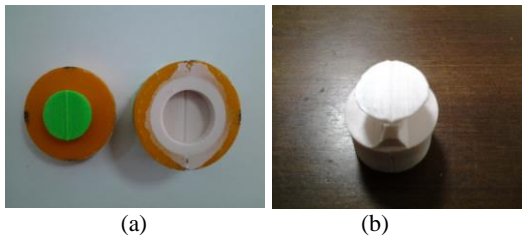
Tabel 1: Nilai Karakteristik Bahan Silicone Rubber RTV 586

Bahan	Hardness	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Elongation (%)
RTV-586	25	37	≥ 510

Pada perancangan model pita suara buatan, bahan yang akan digunakan untuk membuat pita suara terbuat dari karet silikon RTV 586. Bahan karet silikon RTV 586 merupakan material yang mempunyai tingkat kekerasan yang paling sesuai (Tabel 1) dan banyak dijual di Indonesia.

Desain yang digunakan pada pita suara buatan terdiri dari 2 jenis, yaitu: pita suara buatan pria dan pita suara buatan wanita. Perbedaan dimensi pita suara pria dan pita suara wanita terletak pada ukuran membran atas pita suara. Panjang membran atas pita suara pria mempunyai ukuran yang lebih besar dari pita suara wanita. Pada panjang membran atas dari pita suara buatan dapat ditentukan besarnya frekuensi suara yang dihasilkan akibat getaran dari pita suara. Tahap pertama yang dilakukan untuk membuat pita suara buatan yaitu dengan terlebih dahulu membuat cetakan pita suara. Desain cetakan pita suara dibentuk melalui program 3D. Selanjutnya, desain cetakan pita suara dicetak dengan menggunakan printer 3D dengan material dari plastik ABS.

Pada tahap kedua, pita suara dicetak dengan menggunakan *silicone rubber* dengan jenis RTV 586. *Silicone rubber* jenis RTV 586 merupakan silikon berbentuk cair yang dicampur dengan menggunakan katalis. Sebelum mencetak pita suara buatan, pertama-tama *silicone rubber* dimasukkan ke dalam wadah kosong sebanyak 56 ml kemudian ditambahkan katalis sebanyak 3 ml. Setelah itu, *silicone rubber* dan katalis diaduk dengan rata. Penambahan katalis digunakan agar *silicone rubber* menjadi keras. Setelah semuanya tercampur, *silicone rubber* dimasukkan ke dalam cetakan yang telah disediakan. Proses pengeringan *silicone rubber* menjadi keras membutuhkan waktu pengeringan selama 1 hari. Pada Gambar 2 menunjukkan hasil pita suara buatan yang telah dicetak.



Gambar 2. Hasil Pita Suara Buatan (a) Sebelum dipotong, (b) Sesudah dipotong

2.2.4 Model Resonator

Model resonator merupakan bagian yang berfungsi untuk menguatkan suara yang dihasilkan oleh getaran pita suara. Pada manusia bagian resonator terdiri dari saluran *vocal tract* (tenggorokan, rongga hidung, dan rongga mulut). Resonator pada sistem model mekanik mempunyai prinsip kerja sama seperti sistem pipa organa terbuka. Penentuan nilai frekuensi yang dihasilkan oleh resonansi dari model mekanik ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pipa organa terbuka.

$$f_r = n \times \frac{v}{2 \times L}$$

Dengan f_r merupakan frekuensi resonansi (Hz), v merupakan kecepatan aliran udara dalam pipa (m/s), L merupakan panjang pipa resonator (m), n bernilai 1,2,3,..

Jenis pipa yang digunakan pada model resonator merupakan pipa PVC. Penentuan ukuran pada model resonator yang digunakan pada model mekanik berdasarkan ukuran dari saluran *vocal tract* pada manusia. Ukuran model resonator yang digunakan memiliki panjang masing-masing 16,9 cm (pria) dan 14,1 cm (wanita) dengan diameter 3,81 cm. Pada Gambar 3 menunjukkan model resonator yang digunakan.



Gambar 3. Hasil Model Resonator pada Model Mekanik

2.2.5 Pengambilan Data/Sinyal Suara

Proses pengambilan data / sinyal suara yang dihasilkan oleh model biomekanik dilakukan pada model resonator. Suara yang dihasilkan oleh pita suara buatan mengalami resonansi terlebih dahulu. Pada ujung resonator terdapat mikrofon yang berfungsi untuk merekam suara yang

dihasilkan. Selanjutnya, mikrofon terlebih dahulu dikoneksikan ke *soundcard*.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Pengujian Model Mekanik

Proses pengujian mekanik dilakukan untuk membandingkan suara yang dihasilkan oleh pita suara buatan dengan hasil suara pita suara manusia. Prosedur pengujian model mekanik ini meliputi teknik perekaman suara, pengolahan data suara, dan pengecekan data suara yang dihasilkan.

3.1.1 Teknik Perekaman Suara

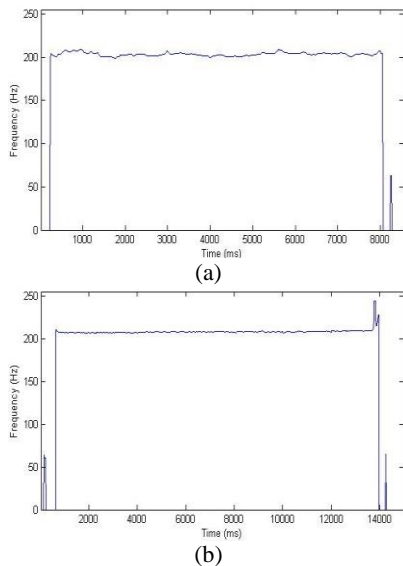
Prosedur perekaman suara dilakukan untuk menguji hasil suara yang dihasilkan dari model biomekanik. Teknik perekaman dilakukan secara langsung yaitu dengan menggunakan *microphone* dan *Analog Digital Converter (ADC)*. Suara yang dihasilkan dari model biomekanik direkam menggunakan *software* Goldwave dan disimpan dalam format *.wav. Proses perekaman data suara berlangsung selama 10 detik pada frekuensi sampling 44100 Hz dan resolusi 16 bit. Jumlah data suara yang direkam dari model biomekanik sebanyak 500 data suara yang terdiri dari 250 data suara model biomekanik pria dan 250 data suara model biomekanik wanita.

3.1.2 Pengolahan Data Suara

Proses pengolahan data suara dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter-parameter sinyal suara yang diinginkan. Proses awal dari pengolahan data suara yaitu normalisasi sinyal suara. Normalisasi sinyal suara dilakukan untuk menyamakan rentang amplitudo suara dengan cara membagi nilai-nilai amplitudo dengan nilai amplitudo tertinggi sehingga diperoleh nilai hasil harmonisasi suara dengan rentang nilai maksimum 1 dan nilai minimum -1. Selanjutnya hasil normalisasi sinyal suara diproses dengan FFT untuk mendapatkan nilai dari parameter akustik yang diinginkan. Hasil akhir dari tampilan data suara yang ditampilkan pada GUI meliputi grafik sinyal suara, grafik *frequency power spectrum*, spektogram, serta parameter akustik seperti frekuensi dasar, nilai *jitter*, nilai *shimmer*, dan HNR.

3.1.3 Pengecekan Data Suara

Proses pengecekan data suara bertujuan untuk memastikan hasil sinyal suara yang dihasilkan oleh model biomekanik dalam kondisi normal. Untuk mengetahui kualitas sinyal suara yang dihasilkan dari model biomekanik, terlebih dahulu dilihat bentuk grafik frekuensi dasar dan karakteristik suara yang dihasilkan. Pada Gambar 4 menunjukkan grafik frekuensi dasar sinyal suara dari model biomekanik dan manusia normal.



Gambar 4. Frekuensi Dasar Sinyal Suara
(a) Manusia, (b) Model Biomekanik

Dari grafik sinyal suara yang dihasilkan pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa grafik frekuensi dasar pada manusia normal mempunyai bentuk yang cenderung datar.

3.2 Analisis Karakterisasi Data Suara Berdasarkan Parameter Akustik

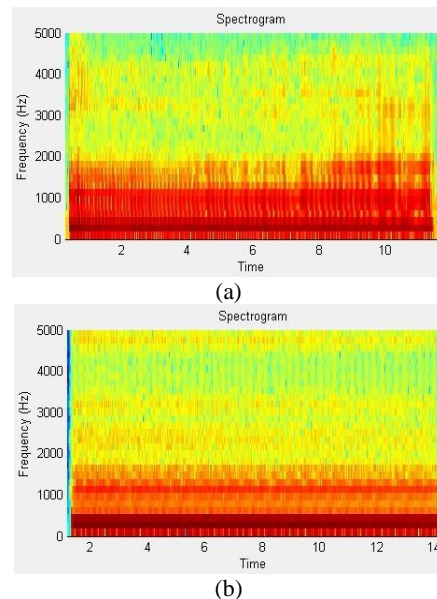
Proses karakterisasi parameter akustik bertujuan untuk menentukan kualitas suara yang dihasilkan oleh model biomekanik. Analisis karakteristik parameter akustik yang dihitung meliputi: frekuensi dasar, nilai *jitter* (%), nilai *shimmer* (dB), dan HNR.

3.2.1 Analisis Spektrogram

Spektrogram merupakan suatu bentuk representasi visual dari analisis suara dalam bentuk dua dimensi yang menggambarkan hubungan dari frekuensi terhadap waktu. Spektrogram digunakan untuk melihat suatu gambaran pola dari perubahan spektrum sinyal suara dalam rentang waktu yang singkat. Proses yang digunakan untuk menghasilkan spektrogram adalah dengan proses *Fast Fourier Transform* (FFT). Proses ini digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi.

Dalam sebuah spektrogram, sumbu horisontal mempresentasikan waktu sedangkan sumbu vertikal mempresentasikan nilai frekuensi. Untuk mengidentifikasi nilai spektrogram dapat menggunakan warna atau nilai skala. Warna yang terdapat dalam spektrogram mempresentasikan amplitudo sesuai dengan frekuensi yang dihasilkan.

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil spektrogram dari data suara model biomekanik dan data suara manusia.



Gambar 5. Hasil Spektrogram Suara
(a) Manusia, (b) Model Biomekanik

Gambar 5 merupakan diagram perubahan spektrum suara dalam rentang waktu tertentu. Pada gambar 5 juga dapat dilihat bahwa nilai frekuensi dasar yang dihasilkan dari masing-masing sumber berada pada daerah yang berwarna merah tua. Daerah yang berwarna gelap merupakan daerah yang mempunyai nilai amplitudo paling besar.

3.2.2 Frekuensi Dasar Pada Model Biomekanik dan Manusia

Proses pembentukan suara pada model biomekanik dimulai dari aliran udara kompresor yang mengetarkan pita suara. Getaran yang dihasilkan dari pita suara tersebut menghasilkan gelombang periodik. Frekuensi dasar merupakan nilai frekuensi terendah dari suatu gelombang periodik. Nilai frekuensi dasar yang dihasilkan mempunyai nilai yang berbeda. Pada manusia, frekuensi dasar dibedakan berdasarkan jenis kelamin dan usia. Rata-rata nilai frekuensi dasar pada wanita memiliki nilai frekuensi yang lebih besar daripada pria. Perbedaan nilai frekuensi ini disebabkan oleh banyak faktor, yaitu mulai dari ukuran pita suara sampai dengan ukuran *vocal tract* yang berbeda. Dimensi pita suara pada pria memiliki ukuran 20% lebih besar daripada pita suara wanita. Sedangkan ukuran *vocal tract* pada wanita memiliki panjang yang lebih pendek dari pria. Hal ini mengakibatkan frekuensi suara yang dihasilkan pada wanita memiliki nilai frekuensi yang lebih besar dari pria.

Tabel 2 merupakan hasil perbandingan nilai frekuensi dasar pada manusia dan model biomekanik. Data sinyal suara manusia yang digunakan berasal dari *database* yang diunduh dari *Saarbrucken Voice Database* (SVD). Data yang diambil merupakan data suara manusia dewasa dalam kondisi normal. Pada model

biomekanik data suara yang direkam dilakukan secara langsung dalam format .wav. Suara yang direkam merupakan suara yang dihasilkan oleh getaran pita suara buatan dan melewati tabung resonansi.

Tabel 2: Perbandingan Frekuensi Dasar pada Manusia dan Model Biomekanik

Frekuensi Dasar (Fo)	Mean	Min	Max
Manusia Pria	125.8	77.58	171.4
Manusia Wanita	229.32	173.2	296.32
Biomekanik Pria	154.15	151.2	161.2
Biomekanik Wanita	207.58	195.87	230.87

Dari hasil data suara yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa rentang frekuensi dasar suara yang dihasilkan pada manusia pria berkisar pada nilai 77.58 Hz - 171.4 Hz dan pada manusia wanita berkisar pada nilai 173.2 Hz - 296.32 Hz dengan nilai rata-rata frekuensi dasar pada manusia pria 127.07 Hz dan pada manusia wanita 229.32 Hz. Sedangkan pada model biomekanik pria rata-rata nilai frekuensi dasar yang dihasilkan 154.15 Hz dan pada model biomekanik wanita 207.58 Hz dengan rentang 151.2 Hz - 161.2 Hz pada model biomekanik pria dan 195.87 Hz - 230.87 Hz pada model biomekanik wanita.

Dari hasil nilai rata-rata frekuensi dasar dapat disimpulkan bahwa suara yang dihasilkan dari model biomekanik menunjukkan nilai yang mendekati nilai frekuensi dasar suara manusia.

3.2.3 Nilai Jitter (%)

Jitter (%) merupakan perbedaan rata-rata nilai mutlak dari dua buah periode yang berurutan dibagi dengan amplitudo rata-rata. Nilai *jitter* juga berfungsi sebagai penentuan analisis nilai kualitas suara yang dihasilkan model biomekanik. Tahapan awal yang dilakukan dalam penentuan nilai *jitter* pada program yang digunakan yaitu penginputan sinyal suara, proses normalisasi untuk menentukan rentang amplitudo suara, dan proses FFT. Setelah diFFT langkah selanjutnya menentukan nilai dua frekuensi yang berurutan, menghitung selisih nilai frekuensi berurutan, dan rata-rata selisih frekuensi. Selanjutnya nilai selisih frekuensi dari sinyal suara dibagi dengan nilai rata-rata frekuensi untuk mendapatkan nilai *jitter* dari sinyal suara. Pada Tabel 4.2 ditampilkan hasil perbandingan dari nilai *jitter* (%) pada manusia dan model biomekanik.

Tabel 3: Perbandingan Nilai *Jitter* pada Manusia dan Model Biomekanik

<i>Jitter</i> (%)	Mean	Min	Max
Manusia Pria	0.9203	0.4023	1.4563
Manusia Wanita	0.9215	0.5145	1.3812

Biomekanik Pria	0.8146	0.3731	1.3914
Biomekanik Wanita	0.7563	0.2478	1.5107

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan bahwa nilai rata-rata *jitter* (%) pada manusia pria 0.9203% dan pada manusia wanita 0.9215%. Sedangkan pada model biomekanik pria rata-rata nilai *jitter* (%) 0.8146% dan pada model biomekanik wanita berkisar 0.7563%. Selisih perbedaan nilai rata-rata *jitter* antara model biomekanik pria dengan manusia pria 0.1057 dan selisih model biomekanik wanita dengan manusia wanita 0.1652. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas suara yang dihasilkan oleh model biomekanik sama dengan suara manusia.

3.2.4 Nilai Shimmer (dB)

Shimmer (dB) merupakan rata-rata nilai mutlak dari perbedaan amplitudo berurutan dalam bentuk logaritmik. Sama seperti *jitter*, nilai *shimmer* merupakan bagian dari penentuan kualitas suara yang dihasilkan oleh model biomekanik. Tahapan awal dalam penentuan nilai *shimmer* pada program yang digunakan meliputi penginputan sinyal suara, proses normalisasi, dan proses FFT. Setelah diFFT tahap selanjutnya mencari nilai power yang dikonversi ke dB kemudian mencari nilai puncak berurutan untuk menentukan nilai logaritmik dua puncak berurutan tersebut setelah itu dicari nilai rata-rata hasil logaritmik puncak dan diperoleh nilai *shimmer* dari sinyal suara. Pada Tabel 4 dipaparkan perbandingan nilai *shimmer* pada manusia dan model biomekanik.

Tabel 4: Perbandingan Nilai *Shimmer* pada Manusia dan Model Biomekanik

<i>Shimmer</i> (dB)	Mean	Min	Max
Manusia Pria	0.69976	0.37249	1.01754
Manusia Wanita	0.7216	0.39481	0.89587
Biomekanik Pria	0.68849	0.59469	0.82859
Biomekanik Wanita	0.55521	0.45912	0.70517

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh bahwa nilai rata-rata *shimmer* (dB) pada manusia pria 0.69976 dB dan pada manusia wanita 0.7216 dB. Sedangkan hasil rata-rata nilai *shimmer* (dB) dari model biomekanik pria 0.68849 dB dan model biomekanik wanita 0.55521 dB. Selisih perbedaan nilai rata-rata *shimmer* antara data suara manusia pria dengan model biomekanik pria bernilai 0.01127 dan selisih rata-rata nilai *shimmer* pada manusia wanita dengan model biomekanik wanita bernilai 0.16639.

Dari selisih perbedaan nilai rata-rata *shimmer* menunjukkan bahwa kualitas sinyal

suara yang dihasilkan dari model biomekanik terhadap sinyal suara manusia menunjukkan nilai yang mendekati.

3.2.5 Nilai *Harmonic-to-Noise Ratio* (HNR)

Harmonic-to-Noise Ratio (HNR) digunakan untuk mengetahui tingkat kejelasan dari sinyal suara yang diukur, dengan cara mencari nilai harmonisasi amplitudo sinyal suara dalam desibel (dB). Nilai HNR juga menyatakan kualitas suara yang dihasilkan dari model biomekanik. Penentuan nilai HNR pada program yang dilakukan meliputi penginputan sinyal suara, proses normalisasi sinyal suara, dan proses FFT. Setelah diFFT, tahap selanjutnya menentukan *thresholding* sinyal *voiced* dan *unvoiced*. Dari penentuan *thresholding* kemudian dicari nilai *power* dan nilai *mean power* dari sinyal *voiced* dan *unvoiced*. Setelah diperoleh nilai *mean power*, selanjutnya menghitung logaritmik *mean voiced* dan *unvoiced* untuk mendapatkan nilai HNR dari sinyal suara yang diinput. Untuk lebih jelasnya, pada Tabel 5 ditampilkan hasil perbandingan nilai HNR dari sinyal suara yang dihasilkan manusia dan model biomekanik.

Tabel 5: Perbandingan Nilai HNR pada Manusia dan Model Biomekanik

HNR (dB)	Mean	Min	Max
Manusia Pria	23.996	20.154	31.65
Manusia Wanita	23.969	20	30.693
Biomekanik Pria	28.748	25.578	33.993
Biomekanik Wanita	37.332	30.536	41.519

Dari hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai rata-rata HNR pada manusia pria 23.996 dB dan pada manusia wanita 23.969 dB. Sedangkan pada model biomekanik pria nilai rata-rata HNR yang diperoleh 28.748 dB dan pada model biomekanik wanita 37.332 dB.

Dari perbandingan nilai HNR yang diperoleh menunjukkan bahwa model biomekanik mempunyai nilai kualitas sinyal suara yang harmonik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model biomekanik dapat melakukan proses pembentukan suara dengan cukup baik berdasarkan hasil perbandingan nilai frekuensi dasar dan nilai parameter akustik yang dihasilkan dari data suara manusia.
2. Rentang nilai frekuensi dasar yang dihasilkan oleh model biomekanik pria bernilai 155.15 Hz - 161.2 Hz dan pada model biomekanik wanita 195.87 Hz - 230.87 Hz dengan nilai rata-rata frekuensi

dasar yang dihasilkan oleh model biomekanik pria 154.15 Hz dan pada model biomekanik wanita bernilai 207.58 Hz. Sedangkan rentang nilai frekuensi dasar dari data suara manusia pria bernilai 77.58 Hz - 171.4 Hz dan pada data suara manusia wanita bernilai 173.2 Hz - 296.32 Hz dengan nilai rata-rata frekuensi dasar yang dihasilkan oleh data suara manusia pria 125.8 Hz dan pada data suara manusia wanita bernilai 229.32 Hz.

3. Nilai parameter akustik yang digunakan untuk menganalisis performansi pita suara meliputi nilai jitter, shimmer, dan HNR. Pada model biomekanik pria nilai rata-rata jitter (%), shimmer (dB), dan HNR (dB) masing-masing bernilai 0.8146%, 0.68849 dB, 28.748 dB. Pada model biomekanik wanita nilai rata-rata jitter (%), shimmer (dB), dan HNR (dB) bernilai 0.7563%, 0.55521 dB, 37.332 dB. Sedangkan dari hasil data suara pada manusia pria nilai rata-rata jitter (%), shimmer (dB), dan HNR (dB) masing-masing bernilai 0.9203%, 0.69976 dB, 23.996 dB. Hasil data suara dari manusia wanita nilai rata-rata jitter (%), shimmer (dB), dan HNR (dB) masing-masing bernilai 0.9215%, 0.7216 dB, 23.969 dB. Berdasarkan hasil pengujian dari nilai parameter akustik dapat dinyatakan bahwa kualitas suara yang dihasilkan dari model biomekanik sesuai dengan kualitas data suara pada manusia normal.

Daftar Pustaka

- Fukui, Kotaro., dkk. *Development of a Talking Robot with Vocal Cords and Lips Having Human-like Biological Structures*. Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems. Agustus 2005.
- Fukui, Kotaro., dkk. *New Anthropomorphic Talking Robot Having Sensory Feedback Mechanism and Vocal Cords based on Human Biomechanical Structure*. Proc. IEEE Int. Conf. Robots and Automations. Februari 2006.
- Fukui, Kotaro., dkk. *New Anthropomorphic Talking Robot Having a Three-dimensional Articulation Mechanism and Improved Pitch Range*. Proc. IEEE Int. Conf. Robots and Automations. April 2007.
- Gray, Henry. 1918. *Anatomy of the Human Body*. Philadelphia: Lea & Febiger. Bartleby.com, 2000. [online], (www.bartleby.com/107/, diakses 12 Mei 2014).
- Kitani, Mitsuki., dkk. *A Talking Robot and Its Human-like Expressive Speech Production*. Proc. IEEE Int. Conf. Human System Interaction. Mei 2011.

- Martini, F.H., Nath, J.L., Bartholomew, E.F. 2012. *Fundamentals of Anatomy & Physiology*. San Fransisco: Pearson Education, Inc.
- Odoemene, O. 2009. *Functioning Model of the Larynx & Voice Analysis System*. Washington DC: The George Washington University.
- Seikel, J.A., King, D.W., dan Drumright, D.G. 2005. *Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing*. New York: Thomson Delmar Learning.
- Farrus, Mireia., dkk. *Jitter and Shimmer Measurements for Speaker Recognition*. Proc. IEEE Int. Conf. Signal Processing, IET. Juli 2009.
- Susilawati, Indah. 2009. *Sistem Pengolahan Isyarat*. Yogyakarta: Universitas Mercu Buana.
- Titze, I.R. *Physiologic and Acoustic Differences Between Male and Female Voices*. November 1988.