

SIMULASI KARAKTERISTIK AKUSTIK MENGUNAKAN APLIKASI METODE ELEMEN HINGGA PADA MATERIAL KOMPOSIT *HAZELNUT, PINEAPPLE, ALUMINIUM* YANG DIGUNAKAN SEBAGAI KAMPAS REM PADA SEPEDA MOTOR

Rinaldo Dalimunthe¹, Ikhwansyah Isranuri², Rizky Ramadhan³

^{1,2,3} Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara

rinaldodalimunthe96@gmail.com

ikhwansyahisranuriusu@gmail.com

ramadhan.rizky.0912@gmail.com

Abstrak— Kampas rem merupakan faktor penting dalam pengereman, sehingga perlu dilakukannya kajian kebisingan dan karakteristik akustik kampas rem dengan metode simulasi akustik untuk mendapatkan hasil *sound pressure level*, mengetahui karakteristik akustik pada simulasi, membandingkan hasil kebisingan pada simulasi dengan pengujian eksperimental. Material kampas rem komposit yang disimulasikan menggunakan komposisi cangkang kemiri, serat daun nanas, aluminium, poliuretan. Peneliti menggunakan simulasi dengan aplikasi metode elemen hingga dalam bentuk pemodelan 3D untuk menganalisa parameter yang diterapkan. Parameternya yaitu data material, ukuran *mesh*, *acoustic region*, *physics region*, *force*, *mass source*. Hasil simulasi karakteristik akustik kampas rem komposit dengan beban 500 gram didapatkan kebisingan minimum pada putaran 500 rpm dengan jarak 15 cm sebesar 3,88 dB dan kebisingan maksimum terjadi dengan beban 750 gram pada putaran 900 rpm dengan jarak 5 cm sebesar 11,54 dB. Nilai *sound pressure level* rata-rata menggunakan metode simulasi lebih kecil dibandingkan metode eksperimental pada putaran 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, beban 500 gram dan 750 gram, jarak 5 cm, 10 cm, 15 cm. Hal ini bisa disebabkan adanya parameter yang tidak dimasukkan dalam simulasi seperti getaran pada alat uji, temperatur kampas rem, kesalahan *set up* atau kalibrasi alat pengukuran metode eksperimental. Persen ralat keseluruhan hasil simulasi pada putaran 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, beban 500 gram dan 750 gram, jarak 5 cm, 10 cm, 15 cm, diperoleh hasil persen ralat tidak sampai 12%.

Kata Kunci— Akustik; Kampas Rem; Komposit; Simulasi; *Sound Pressure Level*

Abstract— *Brake pads are an important factor in braking, so it is necessary to study the noise and acoustic characteristics of the brake pads using the acoustic simulation method to obtain sound pressure level results, determine the acoustic characteristics of the simulation, compare the noise results in the simulation with experimental testing. The simulated composite brake lining material uses a composition of hazelnut shell, pineapple leaf fiber, aluminum, polyurethane. Researchers used simulations with the application of the finite element method in the form of 3D modeling to analyze the parameters applied. The parameters are material data, mesh size, acoustic region, physics region, force, mass source. The simulation results of the acoustic characteristics of composite brake linings with a load of 500 grams obtained a minimum noise at 500 rpm rotation with a distance of 15 cm of 3.88 dB and the maximum noise occurs with a load of 750 grams at 900 rpm rotation with a distance of 5 cm of 11.54 dB. The average sound pressure level value using the simulation method is smaller than the experimental method at 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, a load of 500 grams and 750 grams, a distance of 5 cm, 10 cm, 15 cm. This could be caused by parameters that were not included in the simulation, such as vibration on the test equipment, brake pad temperature, setup errors or calibration of experimental method measuring devices. The overall percent error of the simulation results at 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, 500 gram and 750 gram loads, distances of 5 cm, 10 cm, 15 cm, the results of the percent error are not up to 12%.*

Keywords— *Acoustics; Brake Pad; Composite; Simulation; Sound Pressure Level*

PENDAHULUAN

Akustik merupakan ilmu interdisipliner yang berkaitan

dengan studi dari semua gelombang mekanik dalam gas, cairan, dan padatan termasuk getaran, suara, dan infrasonik [1]. Material akustik merupakan material yang memiliki kriteria tertentu yang dapat mengurangi kebisingan pada suatu sumber

bunyi [2]. Kebisingan dapat diartikan sebagai bunyi yang tidak dikehendaki yang bersumber dari aktivitas alam seperti bicara dan aktivitas buatan manusia seperti penggunaan mesin [3].

Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material pembentuk melalui campuran yang tidak homogen, yang mana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda [4]. Dari campuran material tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya sehingga kita bisa mengatur komposisi dari material pembentuknya.

Cangkang kemiri (*Hazelnut*) merupakan limbah yang dihasilkan dari tanaman kemiri. Cangkang kemiri memiliki sifat yang keras, cukup tebal, dan berkayu. Cangkang kemiri memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 16,97 N/mm². Pemanfaatan cangkang kemiri dalam bidang teknologi bahan belum banyak dilakukan khususnya mengenai penelitian cangkang kemiri sebagai material penguat komposit [5].

Serat daun nanas (*Pineapple*) adalah jenis serat yang berasal dari tanaman nanas. Serat daun nanas digunakan sebagai pengisi pada bahan komposit disebabkan karena melimpahnya jenis tanaman nanas di Indonesia. Serat daun nanas memiliki kekuatan tarik sebesar 42,33 kg/mm². Penggunaan serat daun nanas sebagai bahan komposit merupakan salah satu alternatif dalam pembuatan komposit secara ilmiah [6].

Aluminium merupakan logam yang sangat luas pemanfaatannya. Pemanfaatan bahan aluminium yang luas tersebut berdasarkan pada sifat aluminium yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan kelenturan yang cukup baik, mudah diproduksi, mudah dibentuk dan ekonomis [7].

Rem adalah suatu komponen pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memperlambat kendaraan. Kampas rem merupakan komponen yang berfungsi untuk menghentikan laju kendaraan yang terdapat pada bagian sistem pengereman [8].

Penggunaan rem tromol pada sepeda motor umumnya digunakan pada roda bagian belakang. Karena pentingnya fungsi dari rem tromol pada kendaraan tersebut maka diperlukan pembuatan material baru sebagai bahan perbandingan dari material rem yang sudah ada agar mendapatkan hasil yang maksimal untuk penggunaan rem tromol tersebut. Pembuatan material kampas rem tromol yang baru berasal dari material komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*).

Pengujian kebisingan dan karakteristik akustik menggunakan metode simulasi pada kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) sebelumnya belum pernah dilakukan. Simulasi digunakan karena dapat melakukan analisa yang lebih kompleks dan mendapatkan hasil dengan akurasi yang tinggi.

Dalam hal ini simulasi karakteristik akustik pada kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) menggunakan aplikasi metode elemen hingga yaitu *software* ANSYS. ANSYS merupakan *software* simulasi *engineering* multi-fisik dengan kapabilitas dan reputasi terbaik di pasaran,

yang mana pengguna dari *software* ANSYS adalah perusahaan aviasi, otomotif, dan lain lain.

Peneliti akan melanjutkan penelitian tersebut dengan fokus kajian yang berbeda yaitu mengkaji simulasi karakteristik akustik pada kecepatan putaran 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, jarak pengukuran 5 cm, 10 cm, 15 cm serta beban 500 gram dan 750 gram terhadap kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) untuk mendapatkan nilai *sound pressure level* dari setiap variasi tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti melakukan kajian mengenai karakteristik akustik material komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) yang digunakan sebagai kampas rem pada sepeda motor dengan menggunakan simulasi, dimana proses pengereman itu akan menimbulkan kebisingan. Analisa kebisingan kampas rem yang terbuat dari material komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) menggunakan *software* ANSYS akan digunakan sebagai verifikasi dan komparasi kebisingan yang diperoleh dari simulasi dengan kebisingan yang diperoleh dari pengujian eksperimental oleh peneliti lain yaitu Rizky Ramadhan (2022).

METODE

A. Metode Simulasi

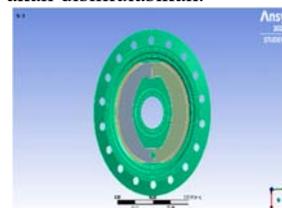
Metode yang digunakan didalam penelitian ini adalah Metode Simulasi. Pada penelitian ini akan didapatkan karakteristik akustik kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) dengan metode simulasi yang menggunakan aplikasi metode elemen hingga yaitu *software* ANSYS *Workbench*. Geometri yang akan disimulasikan adalah kampas rem, tromol, dan *enclosure*. Simulasi yang akan digunakan adalah simulasi akustik.

B. Desain Bahan Simulasi

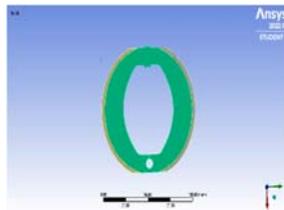
Dimensi dari masing-masing komponen diperoleh dari standar yang telah ada, untuk tromol roda menggunakan alat uji jalan skala laboratorium yang terdapat di Laboratorium *Noise and Vibration Control*, Magister Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara dan untuk sepatu rem menggunakan sepatu rem HGP (*Honda Genuine Parts*) dengan lapisan kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*).

Pada simulasi ini objek didesain menggunakan *software* Solidworks dan kemudian desain tersebut di *import* ke *software* ANSYS *Workbench* agar dapat disimulasikan. Parameter fisik perlu diperhatikan dalam mendesain sebuah tromol dan kampas rem. Tromol yang digunakan terbuat dari material *cast iron*, kampas rem yang digunakan terbuat material komposit HPA.

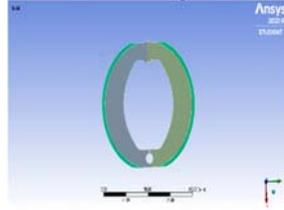
Berikut ini merupakan gambar dari masing-masing komponen yang akan disimulasikan.



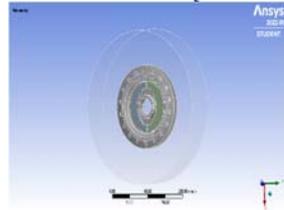
Gbr. 1 Desain Tromol



Gbr. 2 Desain Sepatu Rem



Gbr. 3 Desain Kampas Rem



Gbr. 4 Desain Enclosure

C. Data Material

Material komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) tersebut sebelumnya telah diuji sifat mekaniknya oleh peneliti sebelumnya yaitu Nurul Ikhwan (2018) [9]. Dan *properties* pada material *cast iron* diambil dari peneliti sebelumnya yaitu Suci Nurlia Sandi (2019) [10]. Data material yang digunakan untuk *engineering data* dalam ANSYS Workbench 2022 R1 Student ditunjukkan pada tabel 1. berikut ini.

TABEL I
Data Material Hasil Pengujian

Material	Density (g/cm ³)	Modulus Young (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Yield Strength (Pa)
HPA	1,677	9,9222	0,3	1,6422E+09
Cast Iron	7,2	1,1E+05	0,28	2,4E+08

D. Set Up Simulasi

ANSYS Workbench digunakan untuk mensimulasikan objek dalam bentuk 3D yang sudah didesain di Solidworks. Adapun tahapan dalam simulasi menggunakan ANSYS Workbench yaitu meng-*input* data material pada *Engineering Data*, meng-*import* geometri, membuat *enclosure* (ruang pembatas) pada geometri, Menentukan material pada tiap komponen, Membuat *mesh*, *mesh* yang digunakan berukuran 10 mm, Menentukan beban, gaya, dan *mass source* (*loading model*), dan *Solution*.

Pada simulasi akustik ini perlu untuk menentukan *acoustic region* pada *enclosure* dan *physics region* pada tromol, sepatu rem, dan kampas rem. Setelah menentukan *acoustic region* dan *physics region*, maka selanjutnya menentukan gaya (*force*) pada sepatu rem, dan *mass source* pada *enclosure*. Pada gaya

(*force*) diterapkan pada bagian atas sepatu rem merujuk pada buku *Shigley's Mechanical Engineering Design, Ninth Edition*, pada Bab 16.

E. Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini yaitu geometri yang digunakan yaitu tromol, sepatu rem, kampas rem, dan *enclosure*. Data material komposit HPA pada *engineering data* menggunakan data pengujian sifat mekanik yang telah diuji sebelumnya. *Analysis System* yang digunakan yaitu *Harmonic Acoustics*.

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu kecepatan putaran 500 rpm, 700 rpm, dan 900 rpm. Frekuensi simulasi 8,33 Hz, 11,66 Hz, dan 15 Hz. Jarak pengukuran 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Beban 500 gram dan 750 gram.

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu nilai *sound pressure level* pada simulasi. Kontur kebisingan pada model.

HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Analisa dan Data Simulasi

Simulasi akustik dilakukan untuk mendapatkan nilai *sound pressure level* pada kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*) dan mengetahui proses distribusi kontur kebisingan pada kampas rem komposit terhadap arah penyebaran kebisingan seluruh kampas rem komposit dan pada *enclosure* (ruang pembatas). Kontur kebisingan adalah data berupa gambar yang menampilkan warna yang berbeda-beda tergantung pada besar kecilnya *sound pressure level* (dB) yang terjadi.

Analisa simulasi akustik untuk mendapatkan nilai *sound pressure level* pada tromol, kampas rem, dan *enclosure* ini bertujuan untuk melihat bagaimana kebisingan yang paling besar terjadi pada saat tromol berputar dan dilakukan pengereman yang diberi gaya. Adapun hasil simulasi *sound pressure level* pada kampas rem disimulasikan dengan menggunakan 3 variasi kecepatan putaran yaitu 500 rpm, 700 rpm, dan 900 rpm, frekuensi yaitu 8,33 Hz, 11,66 Hz, dan 15 Hz, 3 variasi jarak yaitu 5 cm, 10 cm, dan 15 cm, serta 2 variasi beban yaitu 500 gram dan 750 gram.

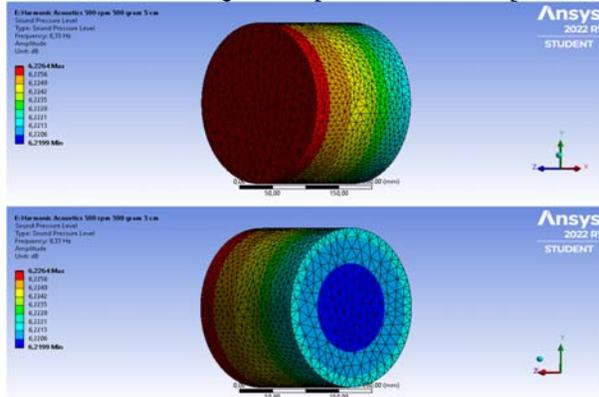
Berikut ini akan ditampilkan hasil simulasi berupa nilai *sound pressure level* pada tromol dan kampas rem komposit dengan kontur kebisingan terlihat pada *enclosure* (ruang pembatas). Dari hasil *sound pressure level* ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian metode eksperimental. Lalu akan didapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Hasil simulasi akan ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, tabel dan penjelasan dari hasil simulasi. Pada hasil simulasi tersebut terdapat beberapa kontur warna, kontur warna yang berbeda menunjukkan besar nilai suatu kondisi mulai dari yang paling rendah sampai nilai tertinggi. Kontur warna merah menunjukkan tingkat maksimum sedangkan warna biru menunjukkan tingkat minimum.

Berikut ini adalah hasil simulasi akustik yang terjadi pada kampas rem, tromol, dan *enclosure*.

1. Hasil Simulasi *Sound Pressure Level* dengan Jarak 5 cm dan Beban 500 gram

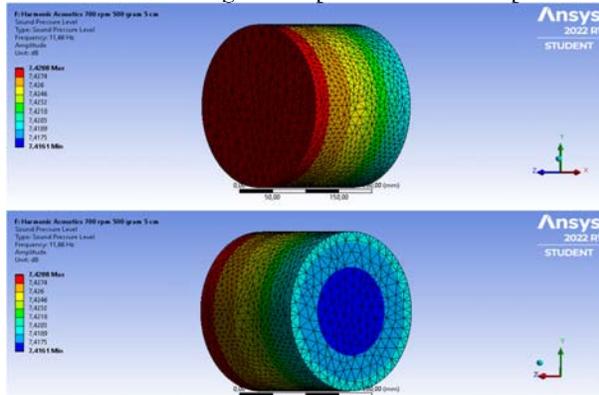
a. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 500 rpm



Gbr. 5 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 500 rpm, Jarak 5 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 5. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 6,219 dB sampai 6,226 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 500 rpm, jarak 5 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 6,224 dB.

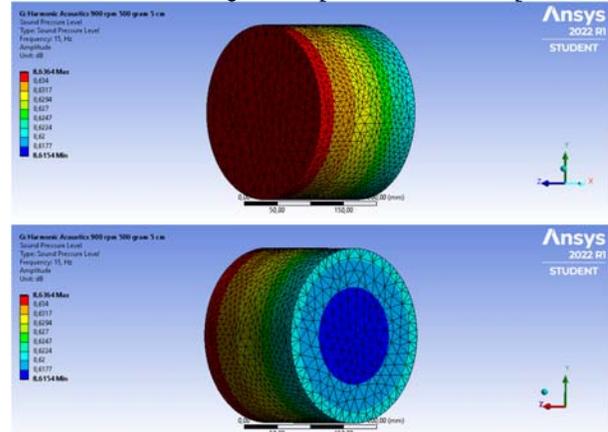
b. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 700 rpm



Gbr. 6 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 700 rpm, Jarak 5 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 6. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 7,416 dB sampai 7,428 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 700 rpm, jarak 5 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 7,424 dB.

c. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 900 rpm

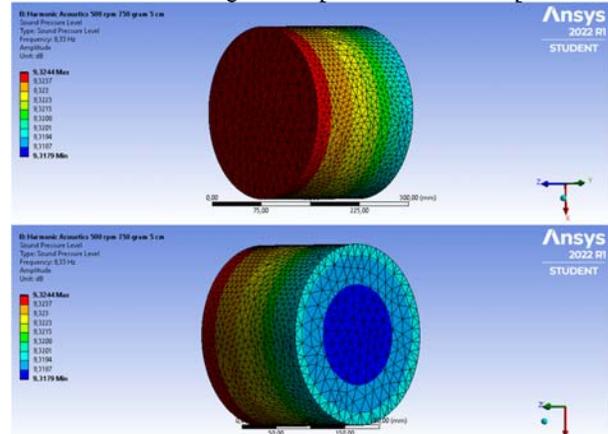


Gbr. 7 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 900 rpm, Jarak 5 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 7. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 8,615 dB sampai 8,636 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 900 rpm, jarak 5 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 8,628 dB.

2. Hasil Simulasi *Sound Pressure Level* dengan Jarak 5 cm dan Beban 750 gram

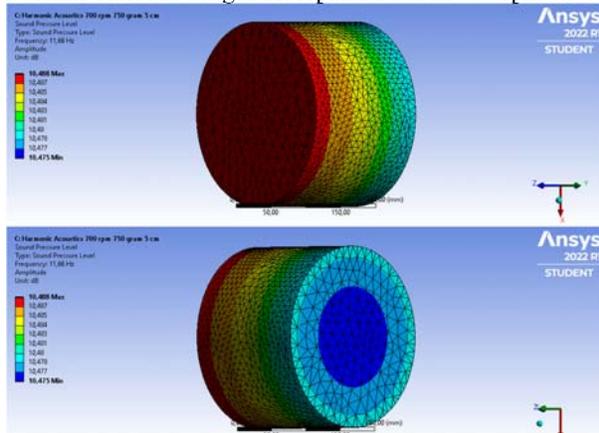
a. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 500 rpm



Gbr. 8 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 500 rpm, Jarak 5 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 8. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 9,317 dB sampai 9,324 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 500 rpm, jarak 5 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 9,322 dB.

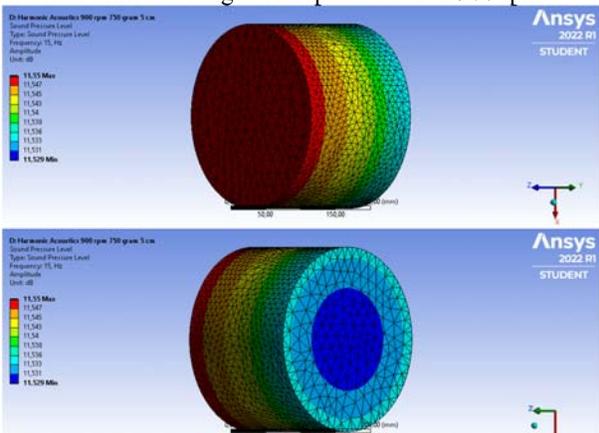
b. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 700 rpm



Gbr. 9 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 700 rpm, Jarak 5 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 9. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 10,475 dB sampai 10,488 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 700 rpm, jarak 5 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 10,483 dB.

c. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 900 rpm

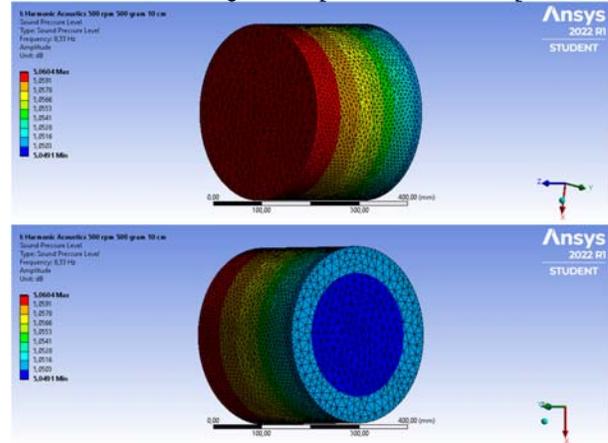


Gbr. 10 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 900 rpm, Jarak 5 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 10. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 11,529 dB sampai 11,550 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 900 rpm, jarak 5 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 11,542 dB.

3. Hasil Simulasi *Sound Pressure Level* dengan Jarak 10 cm dan Beban 500 gram

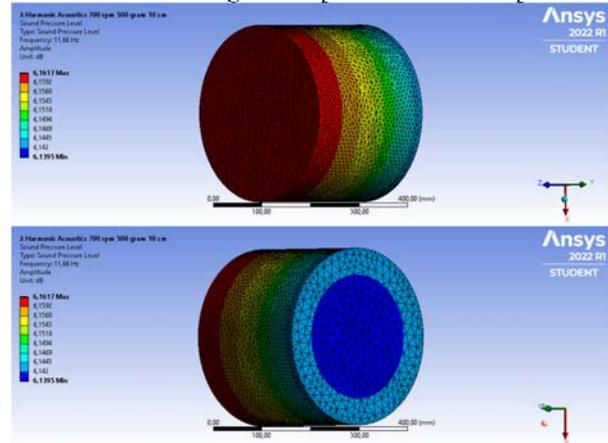
a. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 500 rpm



Gbr. 11 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 500 rpm, Jarak 10 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 11. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 5,049 dB sampai 5,060 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 500 rpm, jarak 10 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 5,056 dB.

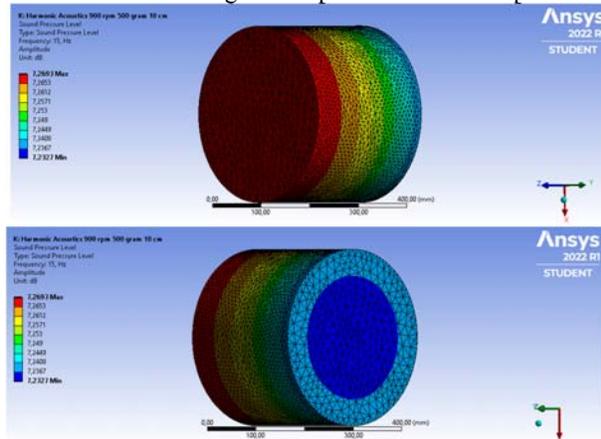
b. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 700 rpm



Gbr. 12 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 700 rpm, Jarak 10 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 12. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 6,139 dB sampai 6,161 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 700 rpm, jarak 10 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 6,153 dB.

c. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 900 rpm

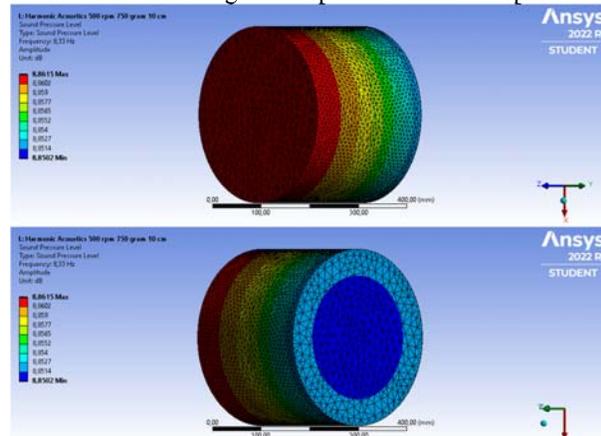


Gbr. 13 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 900 rpm, Jarak 10 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 13. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 7,232 dB sampai 7,269 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 900 rpm, jarak 10 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 7,255 dB.

4. Hasil Simulasi *Sound Pressure Level* dengan Jarak 10 cm dan Beban 750 gram

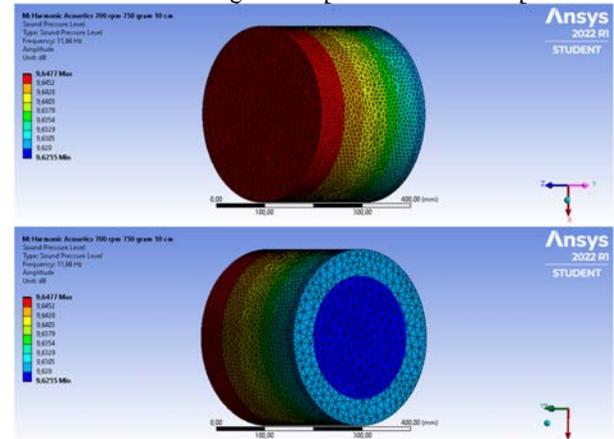
a. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 500 rpm



Gbr. 14 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 500 rpm, Jarak 10 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 14. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 8,850 dB sampai 8,861 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 500 rpm, jarak 10 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 8,857 dB.

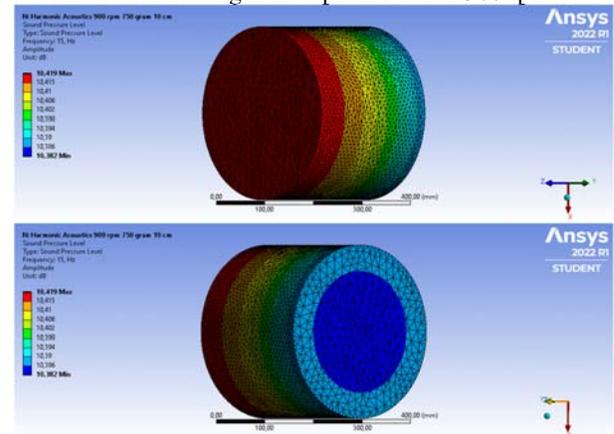
b. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 700 rpm



Gbr. 15 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 700 rpm, Jarak 10 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 15. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 9,625 dB sampai 9,647 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 700 rpm, jarak 10 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 9,639 dB.

c. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 900 rpm

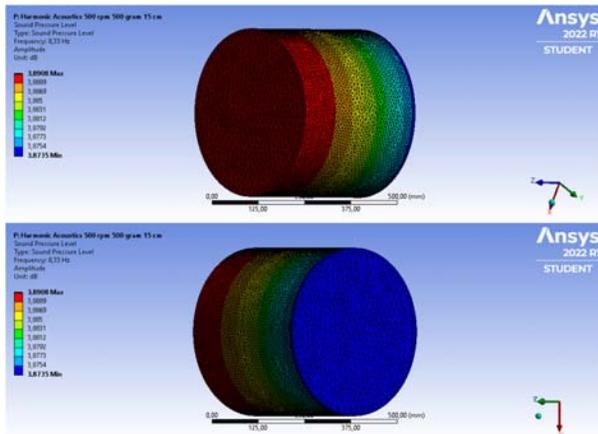


Gbr. 16 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 900 rpm, Jarak 10 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 16. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 10,382 dB sampai 10,419 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 900 rpm, jarak 10 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 10,405 dB.

5. Hasil Simulasi *Sound Pressure Level* dengan Jarak 15 cm dan Beban 500 gram

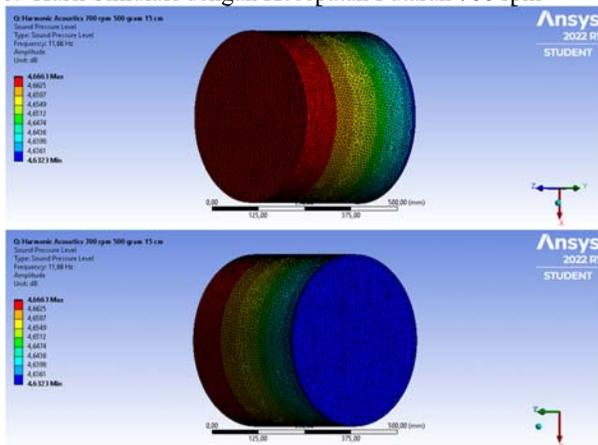
a. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 500 rpm



Gbr. 17 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 500 rpm, Jarak 15 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 17. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 3,873 dB sampai 3,890 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 500 rpm, jarak 15 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 3,884 dB.

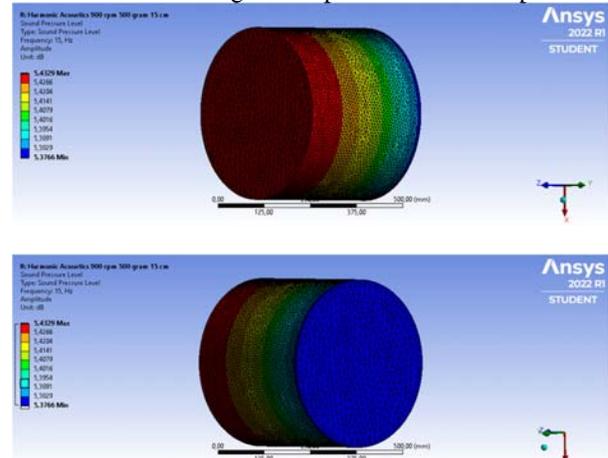
b. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 700 rpm



Gbr. 18 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 700 rpm, Jarak 15 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 18. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 4,632 dB sampai 4,666 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 700 rpm, jarak 15 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 4,654 dB.

c. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 900 rpm

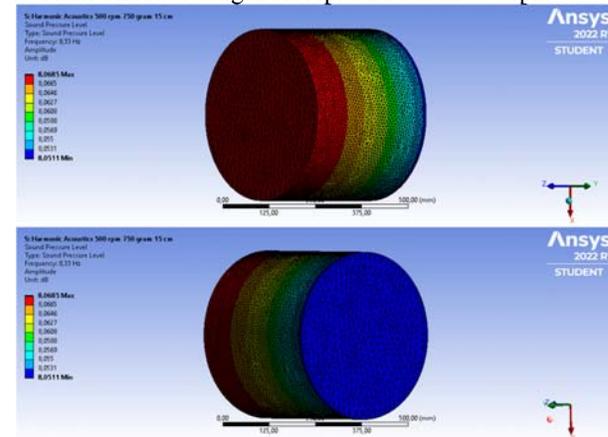


Gbr. 19 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 900 rpm, Jarak 15 cm, dan Beban 500 gram

Dari gambar 19. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 5,376 dB sampai 5,412 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 900 rpm, jarak 15 cm, dan beban 500 gram yaitu sebesar 5,432 dB.

6. Hasil Simulasi *Sound Pressure Level* dengan Jarak 15 cm dan Beban 750 gram

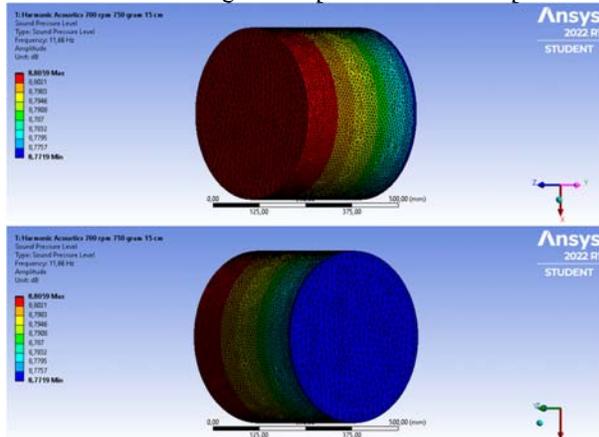
a. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 500 rpm



Gbr. 20 *Sound Pressure Level* dengan Putaran 500 rpm, Jarak 15 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 20. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 8,051 dB sampai 8,068 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 500 rpm, jarak 15 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 8,062 dB.

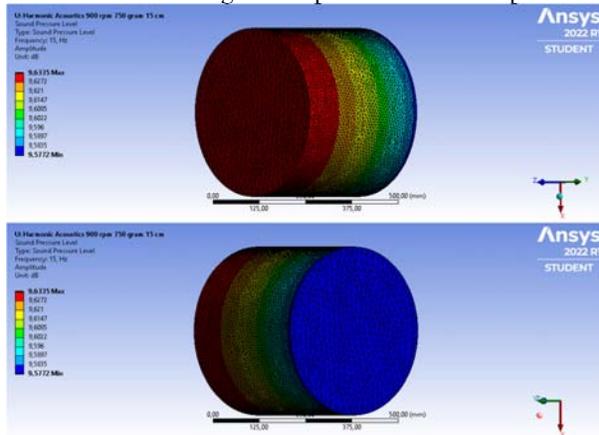
b. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 700 rpm



Gbr. 21 Sound Pressure Level dengan Putaran 700 rpm, Jarak 15 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 21. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 8,771 dB sampai 8,805 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 700 rpm, jarak 15 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 8,793 dB.

c. Hasil Simulasi dengan Kecepatan Putaran 900 rpm



Gbr. 22 Sound Pressure Level dengan Putaran 900 rpm, Jarak 15 cm, dan Beban 750 gram

Dari gambar 22. dapat dilihat bahwa penyebaran kebisingan terjadi antara rentang frekuensi 9,577 dB sampai 9,633 dB dengan kontur kebisingan yang diperlihatkan oleh gradasi warna. Dan kebisingan rata-rata pada putaran 900 rpm, jarak 15 cm, dan beban 750 gram yaitu sebesar 9,613 dB.

B. Karakteristik Akustik pada Simulasi

Dari simulasi yang dilakukan diperoleh nilai SPL (Sound Pressure Level) rata-rata yang ditunjukkan pada tabel 2. dengan beban 500 gram di bawah ini:

TABEL II
Nilai SPL Rata-rata Kampas Rem Komposit HPA dengan Beban 500 gram

N (RPM)	Jarak (cm)	SPL (dB)
900	5	8,62
	10	7,25
	15	5,41
700	5	7,42
	10	6,15
	15	4,65
500	5	6,22
	10	5,05
	15	3,88

Dari tabel 2. menunjukkan kontur kebisingan maksimum hasil simulasi terletak pada kecepatan putaran 900 rpm dan jarak 5 cm dengan nilai sebesar 8,62 dB.

Dari simulasi yang dilakukan diperoleh nilai SPL (Sound Pressure Level) rata-rata yang ditunjukkan pada tabel 3. dengan beban 750 gram yaitu sebagai berikut:

TABEL III
Nilai SPL Rata-rata Kampas Rem Komposit HPA dengan Beban 750 gram

N (RPM)	Jarak (cm)	SPL (dB)
900	5	11,54
	10	10,40
	15	9,61
700	5	10,48
	10	9,63
	15	8,79
500	5	9,32
	10	8,85
	15	8,06

Dari tabel 3. di atas menunjukkan kontur kebisingan maksimum hasil simulasi terletak pada kecepatan putaran 900 rpm dan jarak 5 cm dengan nilai sebesar 11,54 dB.

C. Validasi Data Hasil Eksperimental dan Simulasi

Sebagai validasi data, peneliti membandingkan hasil yang diperoleh dengan metode eksperimental yang dilakukan oleh peneliti lain (Rizky Ramadhan, 2022) dengan hasil yang diperoleh dengan metode simulasi.

Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai rata-rata SPL (Sound Pressure Level) metode eksperimental dengan nilai rata-rata SPL (Sound Pressure Level) metode simulasi dengan beban 500 gram ditunjukkan pada tabel 4. yaitu sebagai berikut:

TABEL IV
Perbandingan Nilai SPL Rata-rata Eksperimental dan Simulasi dengan Beban 500 gram

N (RPM)	Jarak (cm)	SPL (dB)	
		Eksperimental	Simulasi
900	5	9,06	8,62
	10	7,46	7,25
	15	6,06	5,41
700	5	8,34	7,42
	10	6,56	6,15
	15	4,76	4,65
500	5	6,64	6,22
	10	5,28	5,05
	15	4,3	3,88

Dari tabel 4. di atas dapat dilihat bahwa nilai SPL (*Sound Pressure Level*) hasil pengukuran metode eksperimental lebih besar dibandingkan nilai SPL (*Sound Pressure Level*) yang diperoleh melalui simulasi.

Hal ini bisa disebabkan oleh adanya parameter yang tidak dimasukkan dalam simulasi dan kesalahan *set up* atau kalibrasi alat dalam pengukuran eksperimental juga bisa mempengaruhi hasil data. Adapun parameter yang tidak dimasukkan dalam simulasi tersebut yaitu getaran pada alat uji skala laboratorium dan temperatur pada kampas rem.

Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai rata-rata SPL (*Sound Pressure Level*) metode eksperimental dengan nilai rata-rata SPL (*Sound Pressure Level*) metode simulasi dengan beban 750 gram ditunjukkan pada tabel 5 sebagai berikut:

TABEL V
Perbandingan Nilai SPL Rata-rata Eksperimental dan Simulasi dengan Beban 750 gram

N (RPM)	Jarak (cm)	SPL (dB) Eksperimental	SPL (dB) Simulasi
900	5	11,76	11,54
	10	10,68	10,40
	15	9,92	9,61
700	5	10,94	10,48
	10	9,92	9,63
	15	9,14	8,79
500	5	10,22	9,32
	10	9,14	8,85
	15	8,36	8,06

Dari tabel 5. dapat dilihat bahwa nilai SPL hasil pengukuran metode eksperimental lebih besar dibandingkan nilai SPL yang diperoleh melalui simulasi. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya parameter yang tidak dimasukkan dalam simulasi dan kesalahan *set up* atau kalibrasi alat dalam pengukuran eksperimental juga bisa mempengaruhi hasil data. Adapun parameter yang tidak dimasukkan dalam simulasi tersebut yaitu getaran pada alat uji skala laboratorium dan temperatur kampas rem.

Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan nilai kebisingan dari kampas rem komposit dengan cara simulasi akustik menggunakan aplikasi metode elemen hingga kemudian membandingkan hasil simulasi tersebut dengan hasil pengukuran secara eksperimental menggunakan alat *Sound Level Meter* kemudian menghitung selisih nilai kebisingan dalam bentuk persen ralat.

Berikut ini adalah tabel 6. data persen ralat SPL dengan beban 500 gram yaitu sebagai berikut:

TABEL VI
Data Persen Ralat SPL dengan Beban 500 gram

N (RPM)	Jarak (cm)	SPL (dB) Eksperimental	SPL (dB) Simulasi	Persen Ralat (%)
900	5	9,06	8,62	4,85%
	10	7,46	7,25	2,81%
	15	6,06	5,41	10,72%
700	5	8,34	7,42	11,03%
	10	6,56	6,15	6,25%
	15	4,76	4,65	2,31%
500	5	6,64	6,22	6,32%
	10	5,28	5,05	4,35%
	15	4,3	3,88	10,82%

Nilai persen ralat terbesar dengan beban 500 gram yaitu pada kecepatan putaran 700 rpm dengan jarak 5 cm yaitu sebesar 11,03%. Dan nilai persen ralat terkecil dengan beban 500 gram yaitu pada kecepatan putaran 700 rpm dengan jarak 15 cm yaitu sebesar 2,31%.

Persen ralat *sound pressure level* yang didapat menunjukkan tingkat keakuratan data antara nilai eksperimental dengan nilai simulasi, semakin kecil nilai persen ralat artinya tingkat ralat keakuratan hasil penelitian semakin tepat dan mendekati sempurna.

Berikut ini adalah tabel 7. data persen ralat SPL dengan beban 750 gram yaitu sebagai berikut:

TABEL VII
Data Persen Ralat SPL dengan Beban 750 gram

N (RPM)	Jarak (cm)	SPL (dB) Eksperimental	SPL (dB) Simulasi	Persen Ralat (%)
900	5	11,76	11,54	1,87%
	10	10,68	10,40	2,62%
	15	9,92	9,61	3,12%
700	5	10,94	10,48	4,20%
	10	9,92	9,63	2,92%
	15	9,14	8,79	3,82%
500	5	10,22	9,32	8,80%
	10	9,14	8,85	3,17%
	15	8,36	8,06	3,58%

Nilai persen ralat terbesar dengan beban 750 gram yaitu pada kecepatan putaran 500 rpm dengan jarak 5 cm yaitu sebesar 8,80%. Dan nilai persen ralat terkecil dengan beban 500 gram yaitu pada kecepatan putaran 900 rpm dengan jarak 5 cm yaitu sebesar 1,87%.

Persen ralat *sound pressure level* yang didapat menunjukkan tingkat keakuratan data antara nilai eksperimental dengan nilai simulasi, semakin kecil nilai persen ralat artinya tingkat ralat keakuratan hasil penelitian semakin tepat dan mendekati sempurna.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi karakteristik akustik, peneliti dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi karakteristik akustik pada kampas rem komposit HPA (*Hazelnut, Pineapple, Aluminium*)

- didapatkan kebisingan minimum pada putaran 500 rpm dengan jarak 15 cm sebesar 3,88 dB dan kebisingan maksimum terjadi dengan beban 750 gram pada putaran 900 rpm dengan jarak 5 cm sebesar 11,54 dB. dengan beban 750 gram didapatkan kebisingan minimum terjadi pada putaran 500 rpm dengan jarak 15 cm yaitu sebesar 8,06 dB. Kebisingan maksimum terjadi pada putaran 900 rpm dengan jarak 5 cm didapatkan nilai yaitu sebesar 11,54 dB. Dan kontur kebisingan maksimum terletak pada *enclosure* bagian kampas rem dan tromol berada.
2. Karakteristik akustik yang diperoleh dari hasil simulasi didapatkan bahwa nilai *sound pressure level* hasil metode simulasi lebih kecil dibandingkan nilai *sound pressure level* yang diperoleh melalui metode eksperimental dengan beban 500 gram dan 750 gram pada putaran 500 rpm, 700 rpm, dan 900 rpm, dengan jarak 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.
 3. Hasil perhitungan persen ralat *sound pressure level* yang dilakukan bahwa persen ralat yang didapat menunjukkan tingkat keakuratan data antara nilai eksperimental dengan nilai simulasi, semakin kecil nilai persen ralat artinya tingkat ralat keakuratan hasil penelitian semakin tepat dan mendekati sempurna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Orang Tua dan Keluarga Besar. Bapak Dr.-Ing. Ir. Ikhwansyah Isranuri selaku Dosen Pembimbing. Seluruh staff pengajar dan staff tata usaha di Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara. Keluarga Laboratorium Teknologi Mekanik Universitas Sumatera Utara. Rekan Tim Penelitian Kampas Rem Komposit *Hazelnut, Pineapple, Aluminium*.

REFERENSI

- [1] Doelle, L. L., *Environmental Acoustics*. New York : McGraw-Hill, Inc, 1972.
- [2] Berardi, U. and Iannace, G., *Acoustic Characterization of Natural Fibers for Sound Absorption Applications*. Italy : Building and Environment, 2015, 94, 840-852.
- [3] Marisdayana et al., "Hubungan Intensitas Paparan Bising dan Masa Kerja dengan Gangguan Pendengaran pada Karyawan PT. X", *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 15 (1): 22-27. Semarang. 2016.
- [4] Matthews, F. L. and Rawlings, R. D., *Composite Material Engineering and Science*. London : Imperial College of Science Technology and Medicine, 1993.
- [5] Supriadi, H., "Pemanfaatan Partikel Tempurung Kemiri Sebagai Bahan Penguat pada Komposit Resin Poliester", *Jurnal Mechanical*, Vol. 3, No. 1. Lampung. 2012.
- [6] Supriyatna, A. and Solihin, Y., "Pengembangan Komposit Epoxy Berpenguat Serat Nanas untuk Aplikasi Interior Mobil", *Jurnal Ilmiah Teknobiz* Vol. 8 No. 2. Jakarta. 2018.
- [7] Hanafi, "Studi Sifat Mekanik Komposit Aluminium Berpenguat Nano Silika (Al/SiO₂) Hasil Fabrikasi dengan Metalurgi Serbuk", Thesis, Program Magister, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. Indonesia, 2015.
- [8] Multazam, A., "Analisa Pengaruh Variasi Merek Kampas Rem Tromol Dan Kecepatan Sepeda Motor Honda Supra X 125 R Terhadap Keausan Kampas Rem", *Dinamika Teknik Mesin*,

- Volume 2 No. 2 Juli 2012, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram. 2012.
- [9] Siregar, N. I., "Studi Eksperimental Sifat Mekanis Material Komposit yang Digunakan sebagai Kampas Rem Sepeda Motor Berbahan Cangkang Kemiri, Serat Daun Nanas, Aluminium dengan Matriks Poliuretan", Skripsi, Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan. Indonesia, 2018.
 - [10] Sandi, S. N., "Analisa Performansi Kampas Rem Komposit dengan Variasi Beban Pemodelan Metode Elemen Hingga", Skripsi, Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan. Indonesia, 2019.