

DESAIN GEOMETRI OPTIMAL PADA KNALPOT DENGAN RUANG EKSPANSI GANDA MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

SHAPE OPTIMAL DESIGN ON DOUBLE EXPANSION CHAMBER MUFFLERS USING GENETIC ALGORITHM

Lukman Nugraha¹, Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T.², M. Saladin Prawirasasra, S.T., M.T.³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom,

lukmangrh@gmail.com¹, rezafauzii@gmail.com², prawirasasra.bibin@gmail.com³

Abstrak

Knalpot merupakan perangkat yang biasa digunakan untuk mengurangi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh mesin bakar. Namun, kinerja dari knalpot memiliki masalah pada ruang kerja yang sangat terbatas. Nilai rugi transmisi yang dihasilkan oleh knalpot sangat bergantung pada ruang kerja yang disediakan. Algoritma genetika merupakan sebuah *stochastic global search method* yang dapat memprediksi nilai rugi transmisi terbaik dari sebuah desain knalpot dengan cara mengoptimasi desain knalpot tersebut. Pada penelitian ini, metode transfer matriks digunakan untuk mencari persamaan rugi transmisi yang dihasilkan oleh desain knalpot ruang ekspansi ganda. Perangkat lunak MATLAB digunakan untuk melakukan proses optimasi menggunakan metode algoritma genetika dalam mencari desain knalpot yang menghasilkan nilai rugi transmisi paling maksimum. Dari hasil simulasi, desain yang dihasilkan setelah melalui proses optimasi mampu memberikan nilai rugi transmisi sebesar 22.24 dB, dimana nilai tersebut adalah nilai paling maksimum yang mampu dihasilkan oleh knalpot dengan ruang ekspansi ganda.

Kata Kunci: knalpot, transfer matriks, algoritma genetika, rugi transmisi, matlab.

Abstract

Mufflers are commonly used to reduce the level of noise produced by the combustion engine. However, the performance of the muffler has a problem in a very limited work space. The transmission loss value produced by the muffler is very dependent on the work space provided. Genetic algorithm is a stochastic global search method that can predict the best transmission loss value from the muffler design by optimizing the muffler design. In this case, the matrix transfer method is used to find the transmission loss equation produced by the muffler design with a double expansion chamber. MATLAB software is used to perform the optimization process using the genetic algorithm method in finding the muffler design that produces the maximum transmission loss. From the simulation results, the design produced after optimization process is able to provide a transmission loss value of 22.24 dB, where the value is the maximum value that can be produced by the double expansion chamber muffler.

Keywords: muffler, transfer matrix, genetic algorithm, transmission loss, matlab

1. Pendahuluan

Knalpot merupakan perangkat yang biasa digunakan untuk mengurangi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh mesin bakar. Untuk memenuhi standar tingkat kebisingan dan kinerja yang maksimal, sebuah knalpot harus dirancang dengan sebaik-baiknya[1]. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada kinerja knalpot adalah desain geometri knalpot. Namun terdapat masalah saat membuat desain sebuah knalpot yaitu ruang operasi yang disediakan untuk knalpot sangat terbatas. Hal tersebut menjadi kendala untuk sebuah knalpot mencapai nilai rugi transmisi yang maksimal.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan kebisingan tersebut adalah dengan cara memaksimalkan desain knalpot pada ruang operasi yang disediakan. Ada beberapa parameter evaluasi yang digunakan untuk menguji kinerja knalpot antara lain level difference, insertion loss, rugi transmisi suara, dll. Pada penelitian ini parameter evaluasi yang digunakan adalah rugi transmisi karena nilai rugi transmisi dapat merepresentasikan perilaku transmisi akustik pada sebuah bahan. Semakin tinggi nilai rugi transmisi suara maka semakin baik kinerja sebuah knalpot[2]. Metode numerik mengimplementasikan beberapa parameter yang merambat di dalam knalpot. Pada penelitian ini metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan hubungan elemen akustik dari inlet menuju outlet pada knalpot adalah transfer matriks. Hasil dari proses transfer matriks menghasilkan sebuah persamaan yang akan diolah melalui proses komputasi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan proses komputasi yaitu algoritma genetika. Metode ini memiliki kelebihan dapat

digunakan pada optimasi masalah dengan ruang pencarian yang sangat luas dan kompleks. Algoritma genetika nantinya akan menghasilkan desain knalpot dengan nilai rugi transmisi yang optimum.

Banyak penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh optimasi desain knalpot terhadap kinerja knalpot. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yeh, L.J (2002) menganalisis pada grafik bentuk desain optimal. Kim (2002) melakukan penelitian tentang cek akurasi pada model matematis untuk knalpot dengan ruang ekspansi. Yeh L.J (2004) meneliti tentang optimasi desain knalpot dengan ruang ganda dan menyatakan bahwa optimasi menggunakan algoritma genetika menghasilkan performa akustik yang lebih baik daripada metode simulated annealing. Gerges (2005) meneliti tentang pemodelan knalpot menggunakan metode transfer matriks dan menyatakan bahwa hasil dari metode transfer matriks meramalkan efek memperpanjang tabung dalam ruang ekspansi berdampak pada meningkatnya puncak nilai rugi transmisi. M Ranjbar (2016) meneliti tentang perbandingan optimasi desain knalpot menggunakan metode algoritma genetika dan pencarian acak, hasil dari perbandingan tersebut menyatakan nilai rugi transmisi tertinggi dihasilkan oleh desain dari metode algoritma genetika. Penelitian tentang algoritma genetika sebagai metode untuk mengoptimasi desain telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya. Nurcahyanto (2004) melakukan penelitian tentang penggunaan algoritma genetika untuk sistem suspensi optimal. Purwowibowo (2008) telah melakukan penelitian peningkatan akurasi transducer menggunakan algoritma genetika. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai rugi transmisi yang dihasilkan dari desain geometri knalpot dengan desain ruang ekspansi ganda yang telah dioptimasi oleh algoritma genetika sehingga dapat menjadi referensi pertimbangan desain knalpot yang tepat guna.

2. Dasar Teori

2.1 Propagasi Gelombang Bidang

Gelombang bidang adalah gelombang dimana masing-masing variabel akustik mempunyai amplitudo dan fasa yang tegak lurus terhadap arah propagasi disemua bidang. Gelombang bidang mempunyai persamaan kompleks dari solusi harmonis tekanan akustik yaitu[4],

$$p = Ae^{j(\omega t - kx)} + Be^{j(\omega t + kx)} \quad (1)$$

dan memiliki persamaan kecepatan,

$$u = \frac{1}{Z_0} (Ae^{-jkx} - Be^{jkx})e^{j\omega t} \quad (2)$$

Dengan,

- p : tekanan gelombang suara
- x : sumbu perambatan gelombang
- t : waktu yang dibutuhkan gelombang untuk merambat

dimana Z_0 adalah karakteristik impedansi pada medium. Berikut adalah karakteristik impedansi untuk propagasi gelombang bidang[3],

Untuk propagasi gelombang bidang pada sebuah, tekanan suara dan kecepatan dapat direpresentasikan sebagai jumlah dari gelombang berjalan pada posisi inlet (P_1) dan posisi outlet (P_2). Menggunakan analogi impedansi, tekanan suara, dan kecepatan pada posisi inlet dan outlet dapat nyatakan dengan:

$$P_1 = AP_2 + Bu_2 \quad (4)$$

dan

$$u_1 = Cp_2 + Du_2 \quad (5)$$

di mana A, B, C, dan D biasanya disebut konstanta four-pole. Konstanta tersebut adalah jumlah kompleks yang bergantung pada frekuensi yang mewujudkan sifat akustik dari pipa. konstanta 4 kutub untuk media non-viscous adalah[1]:

$$A = \exp(-jMk_c L) \cos k_c L \quad (6)$$

$$B = j \left(\frac{\rho c}{S} \right) \exp(-jM k_c L) \sin k_c L \quad (7)$$

$$C = j \left(\frac{S}{\rho c} \right) \exp(-jM k_c L) \sin k_c L \quad (8)$$

dan

$$D = \exp(-jMk_c L) \cos k_c L \quad (9)$$

Dengan :

$M = V/c$: rata-rata aliran Mach number ($M < 0.2$)

c : kecepatan suara (m/s)

$k_c = k/(1 - M^2)$: bilangan gelombang konvektif (rad/m)

$k = \omega/c$: bilangan gelombang akustik (rad/m)

ω : frekuensi angular (rad/s)

ρ : densitas fluida (kg/m^3)

j : square root of -1

2.1.1 Frekuensi Cut-off

Frekuensi cut-off adalah frekuensi yang menjadi batas untuk melewatkan atau menghalangi sinyal masukan yang mempunyai frekuensi yang lebih tinggi maupun frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off. Hanya gelombang bidang yang akan menyebar jika frekuensi dari f lebih kecil dari frekuensi cut-off f_c [2]. Dimana:

$$f_c = \frac{1.84c_0}{\pi D} (1 - M_1^2)^{1/2} \tag{10}$$

Dengan D adalah diameter terbesar pada desain knalpot.

2.2 Metode Transfer Matriks

Transfer matriks merupakan sebuah metode yang diperkenalkan untuk melakukan perkiraan yang masuk akal untuk membuat sebuah geometri kompleks sebagai jaringan dari elemen akustik. Pendekatan ini dapat diaplikasikan untuk mereduksi pantulan bunyi dan/atau transmisi secara efektif[5].

Hubungan elemen akustik pada bagian inlet dan outlet knalpot dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$q_{in} = T q_{out} \tag{11}$$

dimana $q_i = [p_i \ v_i]^T$ adalah sebuah vektor *convective state variable* ($i = 1,2,n$) dan T adalah matriks 2x2 yang didefinisikan berkaitan dengan convective state variable. Matriks tersebut berhubungan dengan total tekanan suara dan kecepatan partikel pada dua titik didalam sebuah elemen knalpot.

Pada knalpot dengan ruang ekspansi ganda terdapat beberapa elemen knalpot seperti pipa lurus, ekspansi, dan kompresi yang dihubungkan secara seri. Maka transfer matriks untuk knalpot tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_{in} = T_0 T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 q_{out} \tag{12}$$

Dan memiliki hasil akhir matriks 2 x 2 sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} P_{in} \\ u_{in} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_{final} & B_{final} \\ C_{final} & D_{final} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P_{out} \\ u_{out} \end{pmatrix}$$

2.2.1 Metode Transfer Matriks Pada Pipa Lurus

Persamaan yang digunakan untuk mencari solusi matriks pada pipa lurus adalah dengan melakukan substitusi pada persamaan. (11). Sehingga persamaan tersebut menjadi:

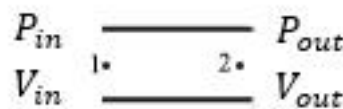
$$\begin{pmatrix} P_{in} \\ u_{in} \end{pmatrix} = [T_1] \begin{pmatrix} P_{out} \\ u_{out} \end{pmatrix} \tag{13}$$

dimana

$$T_1 = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \tag{14}$$

nilai A, B, C, dan D merupakan nilai konstanta four-pole dari persamaan. (6) sampai (9) sehingga transfer matriks untuk pipa lurus menjadi[7]:

$$\begin{pmatrix} P_{in} \\ V_{in} \end{pmatrix} = e^{-jMk_c l} \begin{bmatrix} \cos k_c l & j \sin k_c l \\ j \sin k_c l & \cos k_c l \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P_{out} \\ V_{out} \end{pmatrix} \tag{15}$$



Gambar 2.1 Pipa lurus

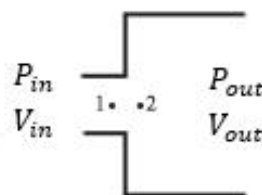
2.2.2 Metode Transfer Matriks Pada Ruang Ekspansi dan Kompresi Sederhana

Untuk sebuah gelombang bidang 1 dimensi, tekanan akustik dan kecepatan partikel tetap sama pada kedua titik. Dengan dimikian,

$$p_2 = p_3; \ u_2 = u_3; \tag{16}$$

Maka transfer matriks untuk ruang ekspansi dan kompresi menjadi[2]:

$$\begin{pmatrix} P_{in} \\ u_{in} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{S_2}{S_1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P_{out} \\ u_{out} \end{pmatrix} \tag{17}$$



Gambar 2.2 Ruang Ekspansi

2.3 Rugi transmisi dari metode transfer matriks

Rugi transmisi adalah kemampuan suatu bahan atau sistem untuk mereduksi suara. Rugi transmisi didefinisikan sebagai nilai dari perbedaan tingkat kebisingan pada inlet knalpot dengan yang ditransmisikan oleh knalpot. Rugi transmisi memberikan nilai dalam (dB) yang sesuai dengan kemampuan knalpot untuk meredam kebisingan. Rugi transmisi memiliki keuntungan untuk menemukan perilaku transmisi akustik dari suatu elemen atau serangkaian elemen[3]. Rugi transmisi untuk knalpot dapat dihitung dengan persamaan sebagai:

$$TL = 10 \log \left| \frac{S_i P_i + u_i}{2} \frac{2}{S_o P_o + u_o} \right| \quad (18)$$

Dimana,

S_i, S_o : Luas penampang pada inlet dan outlet knalpot

P_i : Tekanan akustik pada gelombang yang datang

P_o : Tekanan akustik pada gelombang yang ditransmisikan

u_i : Kecepatan partikel pada gelombang yang datang

u_o : Kecepatan partikel pada gelombang yang ditransmisikan

Untuk sistem knalpot dengan ruang ekspansi ganda, rugi transmisi dapat dihitung dengan konstanta 4 kutub dari hasil perkalian matriks yang merepresentasikan hubungan tekanan suara dan kecepatan partikel dari inlet menuju outlet pada sistem knalpot[2]. Dalam bentuk persamaannya dapat ditulis seperti dibawah ini,

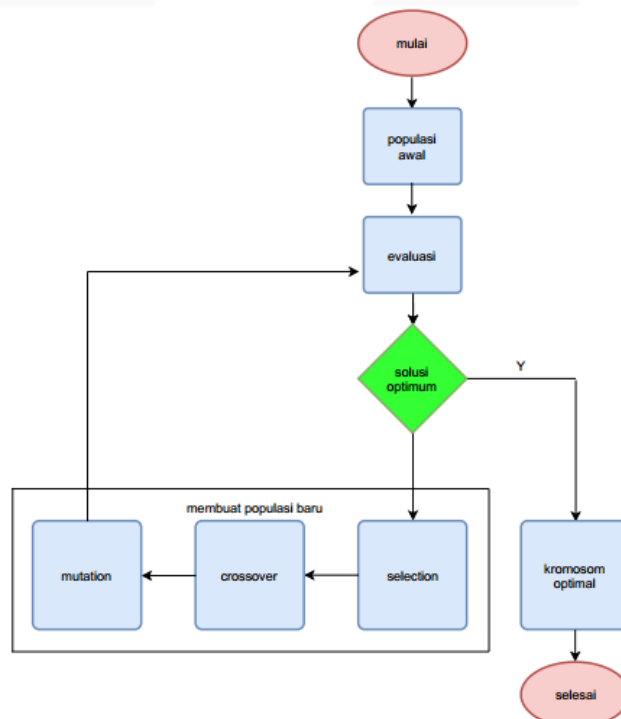
$$TL = 20 \log \left(\frac{|A_{final} + B_{final} + C_{final} + D_{final}|}{2} \right) + 10 \log \left(\frac{S_1}{S_5} \right) \quad (19)$$

Dengan $\left(\frac{S_1}{S_5}\right)$ adalah perbandingan luas penampang 1 dan luas penampang 5, dan $A_{final}, B_{final}, C_{final}, D_{final}$ adalah hasil akhir dari perkalian hubungan transfer matriks antara inlet dan outlet pada knalpot.

2.4 Algoritma Genetika

Algoritma genetika diperkenalkan oleh John H. Holland dari Universitas Michigan pada tahun 1960, Algoritma genetika adalah *stochastic global search method* yang meniru perilaku evolusi ilmiah biologi. Algoritma genetika beroperasi pada populasi yang potensial memberikan solusi dengan prinsip *survival of the fittest* untuk menghasilkan perkiraan solusi terbaik[6].

Algoritma genetika dimulai dari kumpulan solusi acak disebut populasi. Individu populasi disebut kromosom yang merepresentasikan solusi permasalahan, sedangkan kromosom adalah string dari simbol yang umumnya berupa bilangan biner. Kromosom berevolusi melalui iterasi yang disebut generasi. Setiap generasi dievaluasi tingkat kelayakannya. Proses algoritma genetika pada umumnya bekerja dengan diagram alir seperti berikut[6],



Gambar 2.4 Diagram alir Algoritma Genetika

Ketika akan menggunakan genetika algoritma, terdapat beberapa hal yang harus dilakukan terlebih dahulu (Goldberg, 1989), yaitu[8]:

1. menentukan kromosom, representasi solusi dari permasalahan yang akan diselesaikan.
2. Mencari nilai fitness, nilai ini menjadi patokan ukuran baik-tidaknya sebuah individu atau solusi yang didapatkan.
3. Pembentukan populasi awal.
4. Menentukan proses seleksi yang digunakan.
5. Menentukan proses perkawinan silang (*crossover*).
6. Menentukan mutasi gen yang digunakan.

2.4.1 Populasi dan Kromosom

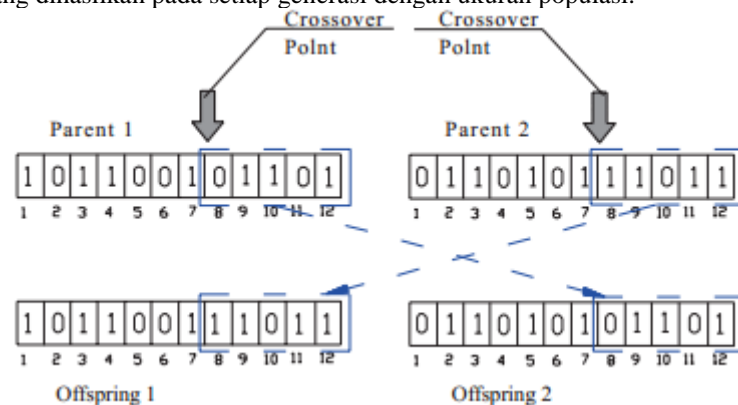
Pada awalnya populasi berisi kromosom yang dibangkitkan secara acak agar diperoleh kemungkinan solusi terbaik secara luas. Kemudian setiap generasi kromosom di dalam populasi diurut berdasarkan ranking kesesuaian dengan solusi yang diselesaikan. Setiap generasi, populasi yang berisi kromosom baru yang dihasilkan dari proses seleksi, *crossover*, dan mutasi, disisipkan kromosom elit dari generasi sebelumnya. Dengan metode ini maka konvergensi Algoritma Genetika dalam proses pencarian solusi dapat lebih cepat dan terarah menuju solusi yang semakin baik[6].

2.4.2 Seleksi

Seleksi dilakukan untuk memilih individu dari himpunan populasi dan yang dipertahankan hidup pada generasi berikutnya. Semakin besar nilai *fitness* sebuah kromosom maka semakin besar peluangnya untuk terpilih. Hal ini dilakukan agar terbentuk generasi berikutnya yang lebih baik dari generasi sekarang. Metode seleksi yang sering digunakan adalah *roulette wheel*, *binary tournament*, dan *elitism*[10].

2.4.3 Crossover

Crossover adalah proses pertukaran individu sehingga diperoleh kromosom baru yang masih mengandung sifat genetik induknya. Pada *crossover* terdapat parameter laju *crossover* yaitu perbandingan antara jumlah kromosom baru yang dihasilkan pada setiap generasi dengan ukuran populasi.



Gambar 2.5 Contoh crossover [2]

2.4.4 Mutasi

Mutasi adalah proses membalikkan bit pada kromosom. Tujuan adanya mutasi adalah untuk mencegah terjadinya terlalu miripnya kromosom satu dan lainnya pada populasi untuk mencegah kemungkinan terjadi local optima. Cara kerja mutasi adalah dengan mengubah bit 0 menjadi 1 atau sebaliknya. Laju mutasi adalah persentase total dari jumlah genes (bit) dalam populasi[6].

2.4.5 Fitness Function

Fitness function digunakan untuk mengukur seberapa jauh setiap kromosom dapat memenuhi kriteria solusi. Kinerja relatif setiap kromosom dihitung dan kemudian mentransformasikan menjadi kesesuaian relatif. Dengan memberikan penilaian ke masing masing kromosom kemudian dibuat ranking, maka dapat ketahui kromosom yang layak diikuti ke generasi dan mengabaikan kromosom lainnya untuk diganti dengan kromosom baru[6].

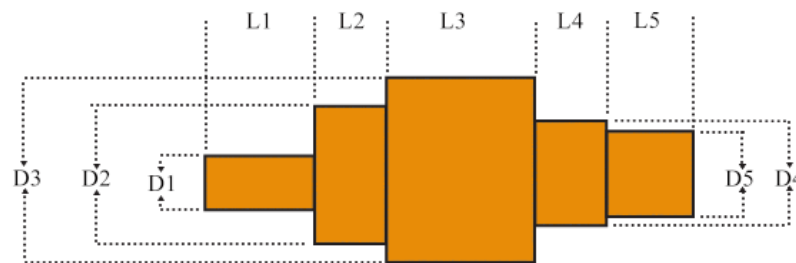
3. Pembahasan

3.1. Hasil Proses Optimasi Algoritma Genetika

Pengujian	Common parameters		Control parameters		
	Pop	Gen	pc	pm	Elite
Pengujian 1	60	500	0.8	0.05	1
Pengujian 2	60	5000	0.8	0.05	1

Pengujian	HASIL				
	D1	D2	D3	D4	D5
Pengujian 1	0.07	0.18	0.25	0.14	0.12
Pengujian 2	0.07	0.19	0.25	0.14	0.12
	L1	L2	L3	L4	L5
Pengujian 1	0.17	0.10	0.20	0.10	0.17
Pengujian 2	0.14	0.10	0.20	0.10	0.17
	STL				
Pengujian 1	21.99				
Pengujian 2	22.23				

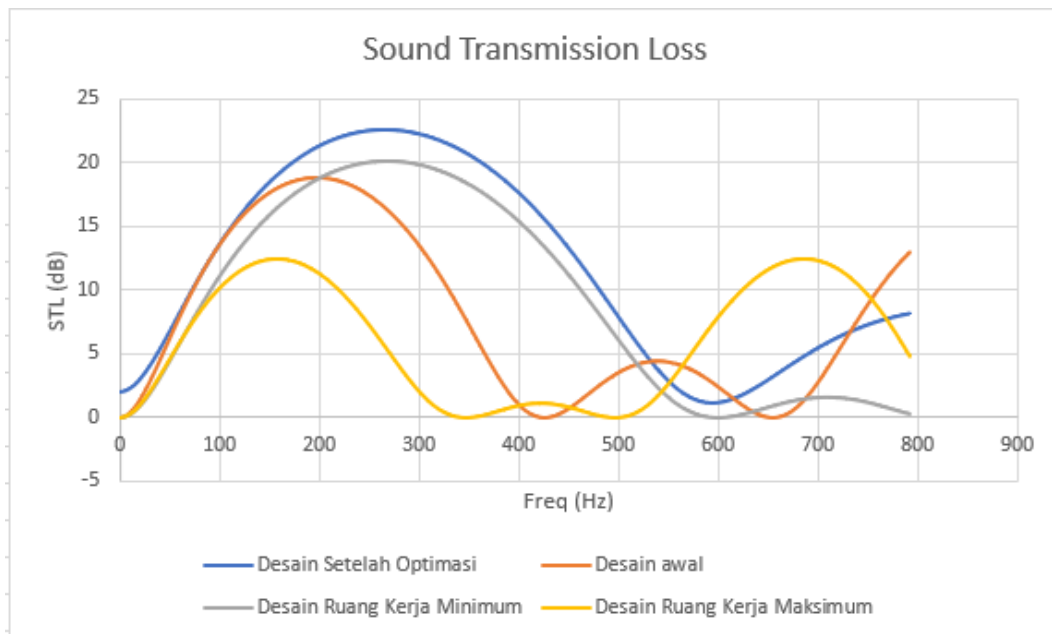
Berdasarkan tabel 4.1 untuk proporsi pengujian menggunakan generasi sebanyak 500 mampu memberikan hasil rugi transmisi sebesar 21.9917 dB. sedangkan, proporsi pengujian dengan menggunakan generasi sebanyak 5000 mampu memberikan hasil yang lebih baik dengan rugi transmisi sebesar 22.2374 dB. Sesuai dengan tabel 4.1 optimasi algoritma genetika mampu menghasilkan desain knalpot dengan ruang ekspansi ganda yang menghasilkan nilai rugi transmisi paling maksimal. Berikut hasil desain geometri yang telah melalui proses optimasi:



Gambar 4.10 Desain knalpot setelah proses optimasi

Dengan:

D1: 0.0762(m); D2: 0.1900(m)
D3: 0.2540(m); D4: 0.1454(m)
D5: 0.1200(m); L1: 0.1406(m)
L2: 0.1000(m); L3: 0.2030(m)
L4: 0.1005(m); L5: 0.1736(m)
STL: 22.2374 dB



Gambar 4.12 Function Plot STL 4 desain

Berdasarkan tabel 4.2 desain knalpot awal dengan desain ruang ekspansi ganda dapat menghasilkan nilai rugi transmisi sebesar 18.0667 dB. Setelah melalui proses optimasi menggunakan metode algoritma genetika, nilai rugi transmisi desain knalpot ruang ekspansi ganda meningkat menjadi 22.2374 dB. Sedangkan nilai rugi transmisi yang dihasilkan dari desain knalpot dengan batas ruang kerja bawah mencapai 19.9963 dB. Nilai terendah dihasilkan oleh desain knalpot dengan batas ruang kerja atas yaitu hanya mencapai 2.1175 dB.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dilakukan proses optimasi pada knalpot dengan desain ruang ekspansi ganda menggunakan proses matematis transfer matriks dan proses komputasi algoritma genetika. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa algoritma genetika mampu melakukan optimasi pada desain knalpot ruang ekspansi ganda dengan nilai rugi transmisi sebesar 22.2374 dB. Nilai tersebut merupakan nilai tertinggi diantara 3 knalpot dengan desain asumsi awal, desain ruang batas kerja bawah, dan desain ruang batas kerja atas.

5. Referensi

- [1] S. N.Y. Gerges, R. Jordan, F. A. Thieme, J. L. Bento Coelho, J. P. Arenas, "Knalpot modeling by transfer matrix method and experimental verification," J. of the Braz. Soc. Of Mech. Sci. & Eng, vol. 27, no. 2, 2005.
- [2] L.J. Yeh, Y.C. Chang and M.C. Chiu, "Shape Optimal Design on Double-Chamber Knalpots Using Simulated Annealing and a Genetic Algorithm," Turkish J. Eng. Environmental Science, no. 29, 207-224, 2005.
- [3] Munjal, M.L., Acoustics of Ducts and Knalpots with Application to Exhaust and Ventilation System Design, New York: John Wiley & Sons, 1987.
- [4] Kinsler. L. E, Fundamentals of Acoustic, New York: Palatino, 1976.
- [5] Sari. N. P., "Pengukuran Karakteristik Akustik Ampas Singkong Sebagai Bahan Penyerap Bunyi Dengan Metode Tabung Impedansi Dua Mikrofon," Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, 2009.
- [6] Purwobowowo, "Peningkatan Akurasi Linear Transducer Menggunakan Genetic Algorithm dan Golden Ratio Segmentation," FT UI, 2008.
- [7] M. Ranjbar, M. Kermani, "A Comparative Study on Design Optimization of Knalpots by Genetic Algorithm and Random Search Method," Journal of Robotic and Mechatronic Systems, vol. 1, No. 2, ISSN 2399-1550, 2016.
- [8] Napitupulu. C, "Implementasi Algoritma Genetika Untuk Penyelesaian Traveling Salesman Problem (TSP) Berbasis Android," Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [9] Nurcahyanto. E, "Penggunaan Algoritma Genetik Untuk Perancangan Sistem Suspensi Optimal Pada Model Kendaraan Seperempat," Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, 2004.
- [10] Mahmudy. W, "Algoritma Evolusi. Modul Kuliah Semester Ganjil 2013-2014," Malang: Universitas Brawijaya, 2013.
- [11] Halliday, D., Resnick, Fundamentals of Physics 3rd Edition, New York, John Wiley & Sons Inc, 1978.