

OPTIMASI GEOMETRI BAHAN PEREDAM UNTUK RUANG ANTI GEMA SUARA

ABSORBER GEOMETRY OPTIMIZATION FOR ANECHOIC CHAMBER

Ayu Siham Octaviany¹, Suprayogi², Nurwulan Fitriani³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

ayusiham@student.telkomuniversity.ac.id¹, suprayogi@telkomuniversity.ac.id²,

nurwulanf@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Anechoic chamber akustik adalah ruang yang dindingnya dapat menyerap gelombang akustik, sehingga ruangan ini bebas dari noise pantulan. Dengan kata lain, *anechoic chamber* ini adalah ruangan tanpa gema yang dirancang untuk mencegah pantulan gelombang akustik. Kualitas *anechoic chamber* dipengaruhi oleh ukuran dan material *absorber* yang digunakan. Maka dari itu dibutuhkan perencanaan mengenai ukuran dan jenis *absorber* yang digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, optimasi geometri absorber dibutuhkan. Pada penelitian ini, dilakukan Optimasi ukuran geometri absorber dengan metode optimasi *GRG Nonlinier* dan aplikasi *spreadsheet* sebagai programnya. Sudut datang gelombang dan lebar absorber digunakan sebagai parameter input untuk optimasi *absorber*. Hasil optimasi akan menghasilkan sudut puncak dan panjang *absorber* yang optimum. Lebar *absorber* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.2 m. Sudut puncak terbaik yang didapat melalui optimasi adalah 13° dengan panjang 0.8777 m. Koefisien *absorpsi* rata-rata yang diperoleh adalah 0.8802.

Kata kunci : Anechoic Chamber, Absorber, Optimization, GRG Nonlinier, Microsoft Office Excel.

Abstract

An acoustic anechoic chamber is a room whose walls can absorb acoustic waves, so this room is free from reflected noise. In other words, this anechoic chamber is an echoless chamber designed to prevent the reflection of acoustic waves. The quality of the anechoic chamber is influenced by the size and material of the absorber used. Therefore, planning is needed regarding the size and type of absorber used. To overcome this, optimization of absorber geometry is needed. In this research, the size optimization of the absorber geometry is carried out with the Nonlinear GRG optimization method and the spreadsheet application as the program. The angle of incidence of the wave and the width of the absorber are used as input parameters for absorber optimization. Optimization results will produce optimum peak angle and absorber length. The width of the absorber used in this study is 0.2 m. The best peak angle obtained through optimization is 13° with a length of 0.8777 m. The average absorption coefficient obtained is 0.8802.

Keywords: Anechoic Chamber, Absorber, Optimization, GRG Nonlinier, Microsoft Office Excel.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi semakin hari semakin berkembang sehingga perusahaan teknologi terus berusaha meningkatkan kualitas dari produknya, baik dari segi ketahanan maupun fiturnya. Hal ini menyebabkan terciptanya standar ISO (*International Organization for Standardization*) yang merupakan suatu organisasi internasional yang bertugas untuk membuat dokumen penetap standar internasional, setiap produk harus sesuai dengan standar ISO[1]. Untuk membuktikan sebuah produk sesuai dengan klaimnya maka dibutuhkan pengukuran di *anechoic chamber*.

Pada dasarnya *anechoic chamber* sama seperti ruangan biasa, namun yang membedakannya adalah seluruh dinding ruangan tersebut dilapisi dengan material berdaya serap tinggi yang biasa disebut *absorber*, lapisan ini berupa kumpulan dari bahan penyerap yang berbentuk piramida. Dengan ruangan ini pengukuran suara tidak lagi terganggu oleh suara noise pantulan.

Pengukuran dengan *anechoic chamber* banyak digunakan dalam pengembangan teknologi. Contoh implementasinya adalah karakterisasi suara dari mesin peralatan rumah tangga, sumber audio, mobil, pesawat terbang, mikrofon, dan lainnya [2].

Penelitian mengenai *anechoic chamber* ini sudah banyak dilakukan mulai dari bentuk geometri yang digunakan, material yang digunakan dan metode yang digunakan[3]. Kualitas *anechoic chamber* dipengaruhi oleh ukuran dan material *absorber* yang digunakan. Maka dari itu dibutuhkanannya perencanaan mengenai ukuran dan jenis *absorber* yang digunakan.

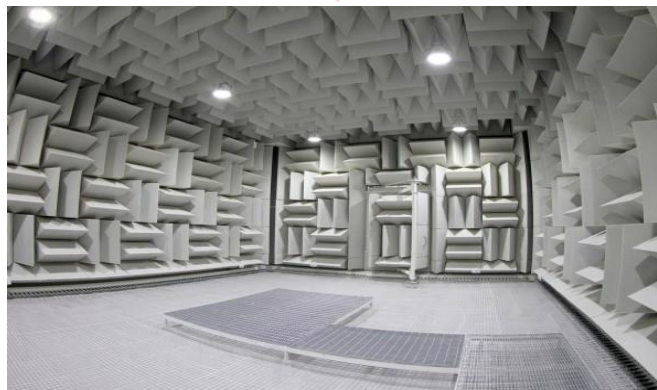
Pada penelitian ini penulis akan membuat optimasi geometri bahan peredam (*Absorber*) untuk ruang anti gema suara dengan mencari ukuran geometri yang optimal menggunakan program aplikasi *spreadsheet* hingga mendapatkan nilai optimum dari ukuran geometri tersebut agar sesuai dengan ruangan yang direncanakan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai referensi untuk pembuatan *anechoic chamber* dengan rentang frekuensi audiosonik (20Hz-20KHz).

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 *Anechoic chamber*

Anechoic chamber akustik adalah ruang yang dindingnya dapat menyerap gelombang akustik, sehingga ruangan ini bebas dari noise pantulan. Dengan kata lain, *anechoic chamber* ini adalah ruangan tanpa gema yang dirancang untuk mencegah pantulan gelombang akustik.

Prinsip dasar membuat ruangan dengan kesunyian yang tinggi ialah memastikan bahwa tidak ada gelombang suara yang memantul, artinya semua suara atau setidaknya 99% suara diserap oleh dinding *anechoic chamber*. Untuk mencapai hal ini, ruangan tersebut harus dilapisi dengan *absorber* yang menutupi seluruh langit-langit, lantai, dan dinding agar gelombang suara tidak dapat dipantulkan[5].



Gambar 2. 1 *Anechoic chamber* [4]

2.2 *Absorber*

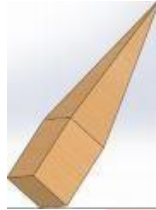
Absorber merupakan lapisan dengan material berdaya serap tinggi yang mana bentuk, jenis, dan ukuran geometrinya sangat berpengaruh pada kinerja sebuah *anechoic chamber*. Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja dari absorber, baik dari tingkat absorpsinya maupun frekuensi *cut-off* nya. *Flow resistivity* dan *porosity* merupakan parameter internal absorber yang mempengaruhi tingkat absorpsi dan frekuensi *cut-off* dari absorber. *Flow resistivity* menunjukkan seberapa mudah udara dapat masuk ke *porous absorber* dan hambatan yang ditemui oleh aliran udara ketika melewati struktur dari bahan. *Porosity* atau porositas adalah jumlah gesekan antara volume udara dengan absorber [9].

2.2.1 Jenis dan Bentuk *Absorber*

Jenis *absorber* akustik yang biasa digunakan umumnya terbagi menjadi 2:

1. *Porous absorbers*
Terbuat dari busa plastik atau serat mineral. Secara luas yang digunakan adalah selimut wol kaca atau batu, yang diproduksi dalam banyak variasi ketebalan dan ukuran.
2. *Resonator absorbers*
Absorber yang berdasarkan prinsip resonator Helmholtz

Menurut penelitian Leo L. Beranek dan Harvey P. Sleeper absorber yang memiliki kinerja yang paling baik adalah wedges dan pyramidal[6]. Pada penelitian kali ini penulis akan menggunakan absorber berbentuk pyramid dengan bahan Polyurethane foam. Pyramid memiliki bentuk yang mudah untuk diukur dan Polyurethane foam lebih sering digunakan sebagai bahan absorber karena mudah dipotong, mudah menempel pada permukaan, dan mengisi ruang kosong (menghindari kebocoran suara). Selain itu, harga bahan lainnya seperti absorber fiberglass lebih mahal dan sulit untuk diproduksi [8].



Gambar 2. 2 Pyramidal Structure [6]

2.2.2 Ukuran Geometri Absorber

Jika material absorpsi dirancang dengan baik, maka frekuensi tengah – atas akan terserap [5]. Untuk absorpsi frekuensi bawah, maka dibutuhkan perlakuan khusus pada bentuk geometrinya. Panjang dari absorber dapat mempengaruhi batas frekuensi cut-off. Semakin panjang absorber, maka batas bawah dari frekuensi cut-off akan semakin rendah. Frekuensi diatas frekuensi cut-off harus mempunyai tingkat absorpsi diatas 99% [7]. Untuk menentukan frekuensi cut-off, digunakan persamaan berikut.

$$f_c = \frac{c}{4l} \quad (2.1)$$

Ket:

c = kecepatan suara (m/s)

l = panjang absorber (m)

Selain ukuran, sudut pada puncak absorber juga mempengaruhi kinerja. Absorber dengan sudut yang kecil akan menghasilkan gradien akustik yang lebih baik. Kekurangannya adalah proses produksi dan pemasangan yang lebih sulit jika dibandingkan dengan absorber dengan sudut besar. Jumlah absorber yang dibutuhkan pun lebih banyak [8].

2.3 Optimasi

Optimasi pada dasarnya merupakan sesuatu yang menyatakan sebuah himpunan masalah dalam matematika untuk menjawab pertanyaan tentang ada tidaknya sebuah nilai yang unik dan optimum dalam sebuah himpunan jawaban yang ditawarkan. Akan tetapi sebagai penggunaannya yang berkembang ke berbagai cabang ilmu pengetahuan, terutama dalam ilmu komputer sendiri, optimasi menjadi sebuah persoalan yang dilihat sebagai persoalan komputasi.

2.3.1 Metode Optimasi

Beberapa metode optimasi diantaranya ada 3.

1. Simplex LP

Metode LP Simplex digunakan secara ketat untuk masalah di mana fungsi tujuan dan semua kendala adalah linier. Pada dasarnya, ini memecahkan subset kendala yang berbeda untuk menemukan kombinasi variabel keputusan yang mengoptimalkan fungsi tujuan[13].

2. GRG Nonlinier

Metode GRG Nonlinier akan bekerja pada masalah linier, tetapi dirancang untuk masalah dengan tujuan nonlinier, kendala nonlinier, atau keduanya. Dibutuhkan nilai yang ada dari variabel keputusan

yang berada di spreadsheet sebagai solusi awal dan mempertimbangkan perubahan kecil dalam variabel-variabel yang meningkatkan tujuan[13].

Pada menu metode GRG Nonlinier solver, terdapat opsi pada menu options yang dinamakan multistart. Ide utama dari opsi ini adalah menyebarkan banyak titik start diberbagai nilai secara random yang dimana setiap titik itu mengeluarkan satu nilai optimum lokal, kemudian secara otomatis solver mencari nilai optimum lokal yang terbaik (optimum global). Semakin banyak titik yang disebar maka semakin besar juga kemungkinan ditemukannya nilai optimum global atau semakin akurat juga hasilnya[11].

3. Evolutionary

Metode Evolutionary menggunakan pendekatan algoritma genetika untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal. Dalam pendekatan ini, sekelompok (atau populasi) solusi dihasilkan dan populasi ini kemudian mengalami mutasi acak dan seleksi alam. Solusi yang baik dengan nilai tujuan yang tinggi jika tujuannya adalah untuk memaksimalkan atau nilai yang rendah jika tujuannya adalah untuk meminimalkan dan pertahankan dari generasi ke generasi, sedangkan solusi yang buruk dihilangkan. Dengan cara ini, kebugaran populasi meningkat dari waktu ke waktu dan akhirnya solusi terbaik yang tersisa akan optimal atau mendekati optimal[13].

Simplex LP adalah sebuah method yang dapat menyelesaikan masalah linear, sementara pada kasus penelitian ini masalah yang dihasilkan berbentuk non linear sehingga method ini bisa dibilang tidak cocok dengan kasus saat ini dan tidak digunakan. Sementara untuk GRG Nonlinear dan Evolutionary dapat mengatasi permasalahan fungsi non linear.

GRG Nonlinear mencari nilai optimal dengan melakukan pemeriksaan pada nilai gradient. Sementara itu, method Evolutionary menggunakan pendekatan 'natural selection'. Perbedaan yang paling menonjol diantara 2 method tersebut adalah method Evolutionary tidak mengetahui apakah nilai tersebut optimal atau tidak, method tersebut hanya mengetahui jika nilai yang didapatkan saat ini apakah lebih baik dari nilai sebelumnya atau tidak[12]. Disisi lain, method GRG Nonlinear karena melakukan pemeriksaan terhadap nilai gradient method ini dapat mengetahui dimana letak nilai optimal, sehingga proses pencarian bisa lebih terfokus dan lebih cepat. Sehubungan dengan pertimbangan ini pada penelitian kali ini akan digunakan metode GRG Nonlinear sebagai metode optimasi pada solver excel. Jika disederhanakan beberapa hal yang menjadi pertimbangan pemilihan dapat dilihat pada tabel.

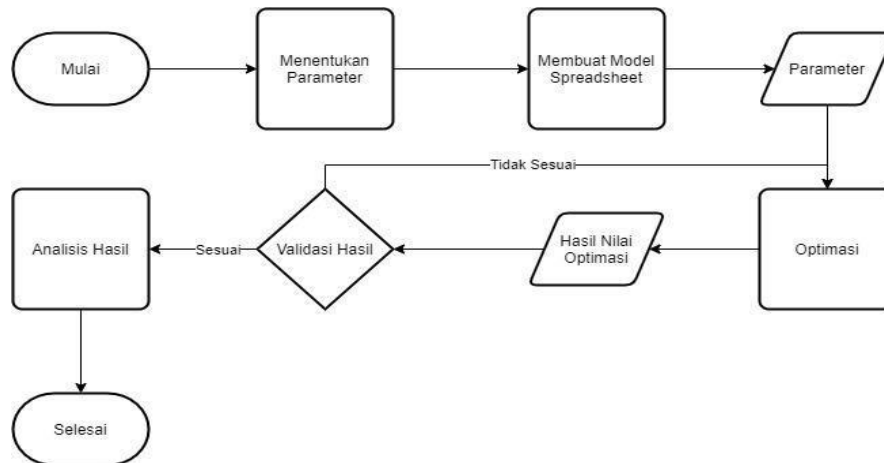
	Kasus Optimasi	Dapat menemukan nilai optimal	Relatif cepat
Simplex LP	<i>Linear</i>	v	v
GRG Nonlinear	<i>Linear/ Non Linear</i>	V	v
Evolutionary	<i>Non Linear</i>	v	

Ket. v = Sesuai

Table 2. 1 Matrik Perbandingan Metode

2.4 Diagram Alir

Berikut merupakan tahapan yang dikerjakan pada penelitian ini, yang terdiri dari menentukan variabel, membuat model spreadsheet, proses pencarian nilai optimum menggunakan fungsi optimasi yang sudah ditentukan, memvalidasi hasil yang dimana jika hasilnya tidak sesuai akan dikembalikan lagi ke model spreadsheet dan jika sesuai maka akan dilakukan analisis hasil untuk menghasilkan suatu kesimpulan dari penelitiannya.



Gambar 2.3 Diagram alir

2.5 Desain Sistem

Absorber yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *absorber* berjenis *porous absorber*. Bentuk absorber yang digunakan adalah *pyramid*. Material absorber yang akan digunakan adalah *polyurethane foam*. Jumlah absorber yang digunakan adalah 2, sehingga membentuk pola 2 bukit dan satu lembah.



Gambar 2.4 Penampang dua dimensi absorber

2.6 Parameter yang Digunakan

Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi koefisien absorpsi material. Parameter input yang akan digunakan untuk optimasi adalah sebagai berikut:

No.	Parameter		Niai Parameter	Satuan
1.	Z_1	Impedansi Udara	413,430	rayls
2.	Z_2	Impedansi Absorber	5196,152	rayls
3.	C_1	Cepat Rambat di udara	343,380	m/s
4.	C_2	Cepat Rambat di absorber	57,735	m/s
5.	ρ_1	Massa jenis udara	1,204	kg/m ³
6.	ρ_2	Massa jenis absorber	90,000	kg/m ³
7.	ϵ_1	Modulus Young Absorber	0,300	mpa
8.	l	Lebar Absorber	0,2	m

Table 2.2 Parameter yang digunakan

2.7 Persamaan Analitik

Amplitudo setelah refleksi didapatkan dengan mempertimbangkan nilai faktor refleksi, dimana faktor refleksi itu menunjukkan seberapa besar gelombang yang akan di refleksikan. Dengan kata lain pada saat terjadi refleksi, besaran gelombang sudah tidak seperti aslinya dan sudah terkena pengurangan.

Persamaan faktor refleksi ke-n:

$$R_{(n)} = \frac{Z_2 \cos \theta_{(n)} - Z_1 \cos \theta_{(n)}}{Z_2 \cos \theta_{(n)} + Z_1 \cos \theta_{(n)}} \quad (2.2)$$

Persamaan sudut datang ke-n :

$$\theta_{in} = \theta_{r(n-1)} - (n-1)\theta_p \quad (2.3)$$

Ket

- θ_i = Sudut gelombang datang
- θ_r = Sudut gelombang pantul
- θ_t = Sudut gelombang transmisi
- Z_1 = impedansi medium pertama (Pa. s/m)
- Z_2 = impedansi medium kedua (Pa. s/m)

Faktor refleksi yang sudah diketahui kemudian dikalikan dengan Amplitudo untuk mendapatkan besar gelombang yang terjadi setelah refleksi. Sehingga rumus untuk mencari Amplitudo setelah refleksi (A_r) adalah :

$$A_r = R \cdot A_i \quad (2.4)$$

Di asumsikan nilai amplitudo awal nya bernilai 1, maka :

$$\begin{aligned} A_i &= 1 \\ A_r &= R \cdot 1 \\ A_r &= R \end{aligned}$$

(2.5)

Setelah itu dapat menggunakan persamaan (2.7) nilai koefisien absorpsinya :

$$\alpha_T = 1 - R^2$$

$$\alpha_T = 1 - A_r^2$$

(2.6)

A_i = amplitudo gelombang datang (m)
 A_r = amplitudo gelombang refleksi (m)
 A_t = amplitudo gelombang transmisi (m)
 α_T = Koefisien Absorpsi

Gelombang yang datang dan masuk kedalam absorber pantulannya tidak akan selalu mengarah kedalam, namun ada kemungkinan keluar. Cara untuk mengetahui pantulan tersebut adalah dengan persamaan [10]:

$$n_{total} = \left[\frac{\theta_i}{\frac{\theta_p}{2} + x} \right] + 2$$

(2.7)

Keterangan:

n_{total} = Jumlah pantulan
 θ_i = Sudut datang
 θ_p = Sudut puncak
 x = Jarak antara Gelombang dengan Puncak yang berlawanan

2.8 Solver Optimization

Solver optimization adalah sebuah alat optimasi yang akan mengolah seluruh sel dari setiap tabel dan berguna menghasilkan nilai yang optimal. Pada tahap ini solver menjadi alat dalam pencarian nilai optimum dengan memasukan variabel objektif, variabel yang diubah dan batasan-batasan yang telah dimasukan dalam spreadsheet.

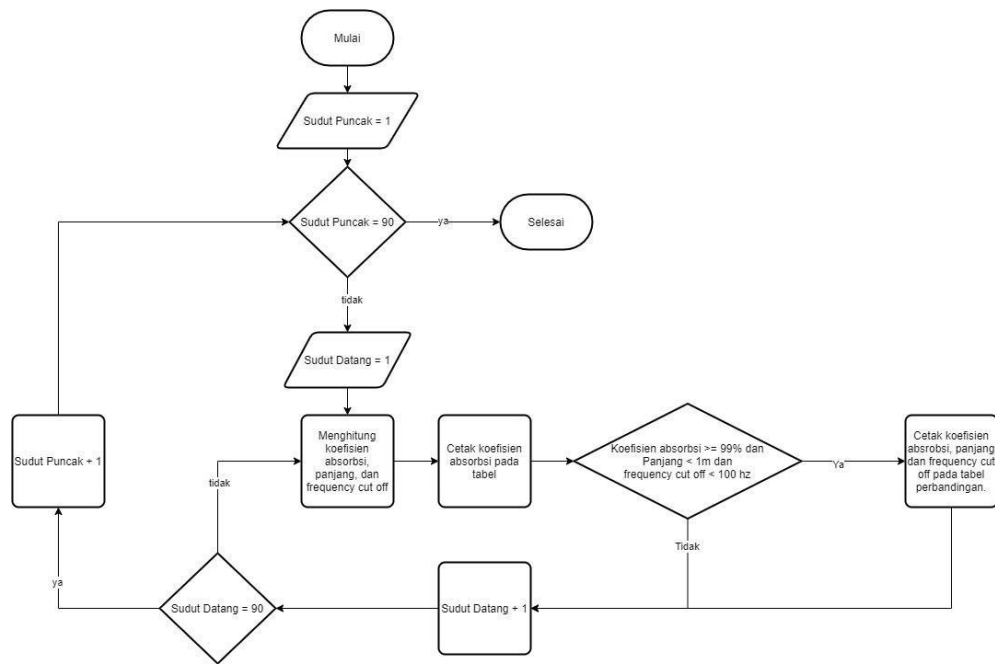
2.9 Visual Basic

Visual Basic disini menjadi alat untuk membuat tabel validasi hasil dari solver yang memiliki ukuran 89x89, dimana tabel ini berisikan data hasil perhitungan semua pasangan sudut datang dan sudut puncak dari 1° sampai 89° menggunakan fungsi looping bersarang (nested looping). Setelah dibuat tabel tersebut, visual basic juga mencetak pasangan sudut terbaik yang di urutkan dan disaring sesuai dengan batasan yang ditentukan, yaitu:

Koefisien Absorpsi $\geq 0,99$

Panjang Absorber ≤ 1 m

Frekuensi cut off ≤ 100 Hz



Gambar 2.5 Flowchart Visual Basic

2.10 Validasi Hasil Optimasi Ukuran Geometri Pada Absorber

Hasil optimasi divalidasi dengan membandingkan antara hasil optimasi Solver dengan data sort and filter visual basic dan juga jurnal referensi. Jika sudut puncak yang dihasilkan solver mendekati sudut puncak yang dihasilkan visual basic dan jurnal referensi, maka hasil optimasi ukuran geometri absorber dapat dikatakan valid. Jika perbedaan terlalu jauh, maka program optimasi harus ditinjau dan proses optimasi perlu dilakukan kembali.

2.11 Analisi Data

Solusi berupa sudut puncak absorber dianalisis menggunakan data hasil visual basic yang berisi pasangan sudut puncak dengan sudut datang mulai dari sudut 1° hingga 89°. Masing-masing sudut datang mempunyai nilai koefisien absorpsi yang berbeda-beda. Setelah mendapatkan data dari analisis, maka data diplot ke dalam tabel. Setelah itu dilakukan sorting dan filtering sehingga mendapatkan sudut puncak terbaik dengan Batasan yang dibuat. Nilai rata-rata dari koefisien absorpsi total adalah nilai koefisien absorpsi total dari sudut datang 1° sampai dengan sudut datang 89°

3. Pembahasan

3.1 Hasil Optimasi

Metode ini semakin banyak titik yang disebar maka semakin besar juga kemungkinan ditemukannya nilai optimum global atau semakin akurat juga hasilnya. Namun bersamaan dengan semakin banyaknya titik yang disebar maka semakin lama juga proses yang dilakukannya. Untuk menguji optimasi solver, dilakukan percobaan sebanyak 10 kali dengan nilai input random solver akan mencari hasil terbaik sesuai dengan batasan yang ada.

Disini dilakukan penyebaran pada 30000 titik dan sudah memakan waktu yang lama yakni sekitar 1 menit 50 detik setiap percobaannya. Meski belum benar-benar menemukan optimum global tapi nilai hasilnya tidak berbeda jauh atau cukup konsisten. Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa dengan nilai input lebar absorber

0,2 meter dan beberapa batasan yang ada, solver memilih dua sudut puncak terbaik yaitu sekitar sudut 12° dan sudut 13° .

3.2 Analisis Perbandingan Hasil Optimasi Solver dan Visual Basic dan jurnal

Jika melihat tabel hasil solver dan visual basic kemudian membandingkan dengan tabel jurnal, maka dapat dikatakan bahwa hasil yang dikeluarkan oleh solver dan visual basic adalah valid. Hal itu dikarenakan ketiganya menggunakan lebar yang sama yakni 0,2 meter dan nilai dari tabel hasil solver dan visual basic mendekati nilai pada tabel hasil jurnal referensi, baik itu dalam ukuran sudut puncak, panjang, frekuensi cut off hingga koefisien absorpsi.

Namun dilihat dari hasil panjangnya, sudut puncak 13° memiliki panjang yang jauh lebih baik yakni 0,8777 m sedangkan sudut puncak 12° memiliki Panjang 0,9514 m berbeda 0,0737 m. Meski dilihat dari hasil koefisien absorpsi rata-ratanya, sudut puncak 12° lebih unggul yakni 0,8857 sedangkan sudut puncak 13° memiliki nilai koefisien absorpsi rata-rata 0,8802 berbeda 0,005, terlalu tipis perbedaannya. Maka dari itu sudut puncak 13° lebih direkomendasikan untuk ruangan dengan ukuran 512 m^3 .

- Hasil Optimasi Solver

Sudut Puncak	Lebar	Panjang	Frekuensi Cut Off	Koefisien absorpsi
$12,33^\circ$	0,2 m	0,92 m	92,78Hz	100%
$13,29^\circ$	0,2 m	0,86 m	99,99 Hz	100%
$13,29^\circ$	0,2 m	0,86 m	99,99 Hz	100%
$12,95^\circ$	0,2 m	0,88 m	97,47 Hz	100%
$13,29^\circ$	0,2 m	0,86 m	99,99 Hz	100%
$12,44^\circ$	0,2 m	0,92 m	93,60 Hz	100%
$11,90^\circ$	0,2 m	0,96 m	89,49 Hz	100%
$13,29^\circ$	0,2 m	0,86 m	99,99 Hz	100%
$13,29^\circ$	0,2 m	0,86 m	99,99 Hz	100%
$13,29^\circ$	0,2 m	0,86 m	99,99 Hz	100%

Table 3. 1 Hasil Optimasi Solver

- Hasil Visual Basic

Sudut Puncak	Lebar	Panjang	Frekuensi Cut Off	Koefisien absorpsi
12°	0.2 m	0,95 m	90,22 Hz	99% - 100%
13°	0.2 m	0,87 m	97,81 Hz	99% - 100%

Table 3. 2 Hasil Visual Basic

- Hasil Jurnal Referensi

Sudut Puncak	Lebar	Panjang	Frekuensi Cut Off	Koefisien absorpsi
$12,7^\circ$	0.2 m	1 m	100 Hz	99%

Table 3. 3 Hasil Jurnal Referensi

4. Kesimpulan

4.1 Kesimpulan

1. Telah dilakukan perhitungan optimasi geometri absorber menggunakan metode GRG nolinier pada aplikasi spread sheet excell.
2. Diperoleh hasil perhitungan optimasi adalah sudut terbaik pada 12° dan 13°, sudut yang direkomendasikan adalah 13° dengan panjang 0,8777 m dan koefisien absorpsi rata-rata 0,8802. Ini sesuai dengan sumber pustaka journal yang menyatakan sudut terbaiknya 12,7° untuk ruangan dengan ukuran 512 m³ hasil ini dapat direkomendasikan.

4.2 Saran

1. Agar proses dapat berjalan dengan efisien dan mendapatkan hasil yang lebih baik atau konstan menghasilkan satu nilai terbaik, disarankan untuk menggunakan kualitas laptop yang tinggi setidaknya core i7.

Referensi:

- [1] Lily Cyntia Fauzi 'Analisis Pengaruh Sertifikasi ISO sebagai Sistem Manajemen Mutu terhadap Kinerja Perusahaan', vol.17, no. 1, 2019.
- [2] A. O. González, J. L. E. Cuello, and J. F. P. Ospina, 'Low-cost and easily implemented anechoic acoustic chambers', vol. 23, no. 04, p. 8.
- [3] Pedro Pinho, Hugo Santos, Henrique Salgado "Design of an *Anechoic chamber* for W-Band and mmWave", May. 2020.
- [4] Abdiel Jeremi w, '*Anechoic chamber* ITB: Ruang Tanpa Gema Terbesar di Indonesia', April. 2016.
- [5] R. Ruzs, 'Design of a Fully *Anechoic chamber*', p. 91.
- [6] L. L. Beranek and H. P. Sleeper, 'The Design and Construction of Anechoic Sound Chambers', J. Acoust. Soc. Am., vol. 18, no. 1, pp. 140–150, Jul. 1946, doi: 10.1121/1.1916351.
- [7] W. A. Davern and J. A. E. Hutchinson, 'Polyurethane ether foam wedges for *anechoic chamber*', Appl. Acoust., vol. 4, no. 4, pp. 287–302, Oct. 1971, doi: 10.1016/0003-682X(71)90008-9.
- [8] M. S. Ressler and P. E. Wundes, 'Design of an Acoustic *Anechoic chamber* for Application in Hearing Aid Research', p. 7.
- [9] T. J. Cox and P. D'Antonio, Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application, 2nd ed. London; New York: Taylor & Francis, 2009.
- [10] Joel Christian 'Optimasi Ukuran Geometri Absorber Menggunakan Algoritma Genetika pada Anechoic Chamber' 2021.
- [11] FrontlineSolvers 'Excel Solver- Global Optimization'.
- [12] FrontlineSolvers 'Evolutionary Solving Method Stopping Conditions'.
- [13] Stephen G. Powell & Robert J. Batt 'A Master Class for Business Analysts'.