

## Efek Ketebalan Membran Nilon terhadap Nilai *Sound Transmission Loss* sebagai Alternatif Material Peredam

Wenny Maulina<sup>\*</sup>, Totok Wicaksono, Agung Tjahjo Nugroho

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember, Indonesia  
Jln. Kalimantan 37 Jember 68121

<sup>\*</sup>Email korespondensi : wenny@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/12810>

Submitted: 22 Februari 2022; Accepted: 13 Juni 2023

**ABSTRAK**-Telah berhasil dilakukan pengukuran *sound transmission loss* (STL) pada berbagai ketebalan membran nilon sebagai alternatif material peredam. Membran nilon dibuat menggunakan hidrogen klorida (HCl) dan asetil aseton dalam *casting solution* dengan metode inversi fasa. Membran nilon dengan ketebalan yang berbeda yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm. Pengukuran STL dilakukan menggunakan ruang dengung pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya ketebalan membran nilon, nilai STL meningkat. Nilai STL pada membran nilon dengan ketebalan 4 mm adalah yang terbaik, dengan nilai STL mencapai 46,39 dB pada frekuensi 4000 Hz. Membran nilon ini cocok untuk penghalang suara ringan dan menjanjikan serta layak untuk dipelajari lebih lanjut.

**KATA KUNCI:** ketebalan; material peredam; membran nilon; *sound transmission loss*

**ABSTRACT**-*Sound transmission loss* (STL) measurements have been successfully carried out on various thicknesses of nylon membrane as an absorbing material. Nylon membranes were prepared using hydrogen chloride (HCl) and acetylacetone in the casting solution by phase inversion. Nylon membranes with different thicknesses used in this research were 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, and 5 mm. STL was measured using a reverberation chamber with sound frequencies of 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, and 4000 Hz. The results show that, with the increase in thickness of the nylon membrane, STL of the nylon membrane was improved. The STL of nylon membrane with a thickness of 4 mm is the best, whose STL was up to 46.39 dB at 4000 Hz. This nylon membrane is suitable for lightweight sound barriers and is promising and worthy of further study.

**KEYWORDS :** absorbing material; nylon membrane; thickness; *sound transmission loss*

### PENDAHULUAN

Peredam merupakan suatu material yang berfungsi untuk mengurangi sebuah kebisingan yang dapat mengganggu dan merusak indera pendengaran manusia. Tujuan dengan adanya material peredam yaitu agar tidak terdapatnya atau berkurangnya efek dengung yang terjadi karena adanya pemantulan bunyi (Kinsler *et al.*, 1999). Penelitian terkait sintesis material baik dari material alam maupun sintesis sebagai alternatif material peredam terus dilakukan, seperti penggunaan pelepah pisang (Suharyani and Mutiari 2015), kertas koran dan gabus (Gloria and Indrani 2014), sekam padi

dan jerami (Rohim *et al.*, 2020) dan sebagainya.

Perkembangan teknologi membran yang begitu pesat saat ini, menyebabkan membran banyak digunakan dalam berbagai aplikasi salah satunya yaitu membran berpotensi sebagai alternatif material peredam. Lapisan membran memiliki potensi untuk bekerja dengan baik sebagai peredam yang tipis dan ringan sehingga biasanya digunakan sebagai material pelapis atau pelindung. Membran sebagai material peredam telah digunakan dalam berbagai bidang seperti pada ruang akustik dan konstruksi, otomotif, transportasi, pesawat terbang dan menariknya lagi saat ini digunakan sebagai solusi untuk mengurangi

kebisingan yang keluar dari *drones* (Al-Sayed & Deri, 2014).

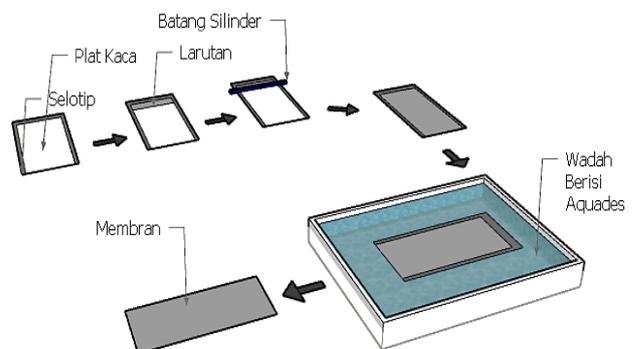
Penelitian terkait potensi membran sebagai alternatif material peredam telah dilakukan diantaranya oleh Li *et al.* (2013) tentang pengaruh *sound transmission loss* (STL) pada lapisan ganda (*double layer*) membran PVC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan ganda membran mampu secara signifikan meningkatkan redaman bunyi. Yao *et al.* (2014) dalam penelitiannya menemukan hasil bahwa peningkatan ketebalan membran akustik metamaterial (*membrane-type acoustic metamaterials*) efisien untuk mencapai reduksi bunyi yang besar. Chen *et al.* (2018) dalam penelitiannya mempelajari sifat redaman bunyi dari membran komposit nilon 66 yang diperkuat dengan PVF (*polyvinyl fluoride*) dan hasilnya menunjukkan bahwa STL dari membran komposit mengalami peningkatan dibandingkan hanya penggunaan membran nilon saja dengan nilai STL mencapai 10 dB pada frekuensi 6,3 kHz. Sedangkan penelitian Ulrich dan Arenas (2020) menyatakan bahwa penggunaan membran berbahan *polyamide 6* (PA6) meningkatkan penyerapan bunyi serta menunjukkan puncak penyerapan bunyi yang luas pada frekuensi 2500 Hz.

Berdasarkan referensi dari beberapa penelitian terkait penggunaan membran sebagai alternatif material peredam, nampak bahwa sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan material baru, teknologi, dan struktur komposit dalam rangka meningkatkan sifat penyerapan bunyi. Beberapa penelitian juga telah menunjukkan hasil bahwa penggunaan *double layer* membran menunjukkan peningkatan penyerapan bunyi dibandingkan penggunaan *single layer* membran (Langfeldt *et al.*, 2016). Pemilihan nilon sebagai material pada proses sintesis membran karena memiliki sifat mekanik, termal dan kimia yang baik (Maulina 2016). Sehingga diharapkan dapat memberikan informasi terkait pemanfaatan membran nilon ditinjau dari ketebalan membran yang baik dalam mereduksi bunyi.

## METODE PENELITIAN

### Sintesis Membran

Langkah pertama diawali dengan pembuatan membran nilon menggunakan teknik inversi fasa, seperti pada Gambar 1. Sebanyak 6 gram benang nilon dilarutkan dengan HCl 25% (v/v) sebanyak 20 ml dan asetil aseton 2 ml, kemudian larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm selama  $\pm 1$  jam sampai larutan benar-benar tercampur dengan merata atau homogen. Larutan selanjutnya dicetak diatas plat kaca menggunakan batang silinder spatula dengan memvariasi ketebalan lapisan sesuai yang diinginkan yaitu sebesar 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Membran nilon yang sudah dicetak pada plat kaca tersebut kemudian direndam ke dalam cairan aquades selama  $\pm 10$  menit. Membran nilon yang terbentuk selanjutnya dikeringkan selama  $\pm 12$  jam untuk selanjutnya dapat digunakan untuk pengukuran STL.

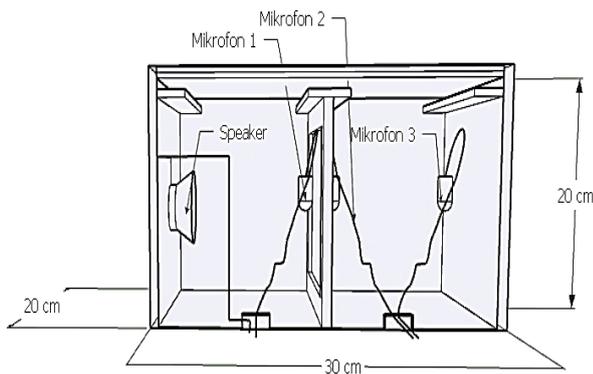


**Gambar 1. Desain sintesis membran**

### Desain dan Kalibrasi Ruang Dengung

Desain set up pengukuran STL seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Desain ruang impedansi atau ruang dengung berbahan dasar dari kayu triplek dengan ukuran keseluruhan adalah panjang 30 cm, lebar dan tinggi 20 cm. Ruang tersebut dibagi menjadi 2 bagian, yaitu ruang sumber dan ruang penerima dengan material peredam dalam hal ini adalah membran nilon diletakkan diantara kedua ruang tersebut. Pada ruang sumber terdapat sebuah *speaker* sebagai sumber inputan suara bunyi dan mikrofon untuk menangkap tekanan bunyi (*sound pressure level*). Sedangkan di ruang penerima terdapat 2

mikrofon untuk menangkap besar tekanan bunyi SPL (*sound pressure level*) dan waktu dengung (*reverberation time*) yang diloloskan oleh membran nilon.



**Gambar 2. Desain alat ruang dengung**

Sebelum dilakukan pengukuran STL terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap alat yang akan digunakan untuk mengukur besarnya tekanan bunyi di dalam ruang pengujian menggunakan alat ukur berupa aplikasi sound level meter yang terdapat pada *handphone* android. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur sound level meter tipe AZ 8922. Kalibrasi sendiri merupakan proses pengaturan akurasi pada sebuah alat ukur, dimana akan dibandingkan dengan alat ukur yang standart. Kalibrasi sangat penting untuk mendapatkan nilai yang akurat dan konsisten. *Handphone* yang digunakan dalam penelitian sudah terinstal aplikasi sound level meter kemudian dikalibrasi dengan alat ukur sound level meter tipe AZ 8922 sebagai alat ukur yang standart.

#### Pengukuran STL

Untuk mendapatkan nilai STL terlebih dahulu dilakukan pengukuran tekanan bunyi SPL dan waktu dengung pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz dan 4000 Hz untuk tiap-tiap variasi ketebalan membran. Set up pengukuran tekanan bunyi dan waktu dengung seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Laptop dihubungkan dengan arduino untuk mengatur frekuensi yang digunakan kemudian disambungkan ke *speaker* dimana *speaker* sebagai sumber bunyi. Mikrofon 1 akan menangkap bunyi yang ditunjukkan dengan besarnya tekanan bunyi sebagai ( $L_{p1}$ ), mikrofon 2 akan menangkap besarnya tekanan bunyi sebagai ( $L_{p2}$ ) dan mikrofon 3 akan

menangkap waktu dengung sebagai ( $RT$ ). Pengukuran dilakukan pada keseluruhan variasi ketebalan membran yang digunakan, yaitu 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Nilai STL diperoleh dengan memasukkan ke dalam Pers. (1), (2) dan (3).

$$STL = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

$$NR = L_{p1} - L_{p2} \quad (2)$$

$$STL = NR + 10 \log \frac{S}{A} \quad (3)$$

dimana

$STL$  = Sound transmission loss (dB)

$L_{p1}$  = SPL rata-rata ruang sumber bunyi (dB)

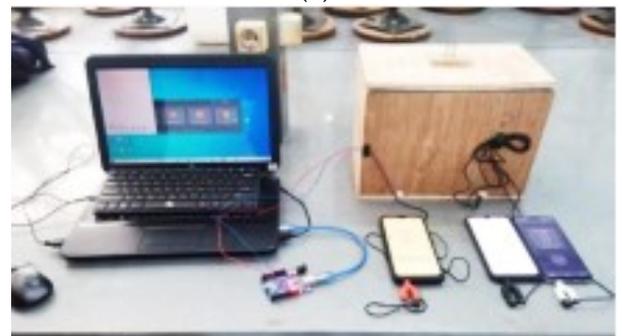
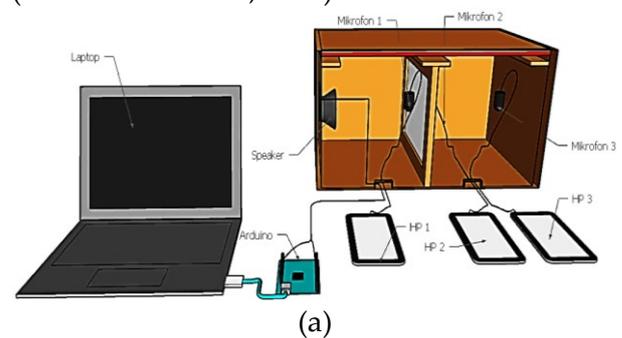
$L_{p2}$  = SPL rata-rata ruang penerima bunyi (dB)

$S$  = Luas sampel bahan peredam ( $m^2$ )

$A$  = Total penyerapan bunyi pada ruang penerima ( $m^2$  sabine)

$NR$  = Noise reduction (dB)

(Rachmawati *et al.*, 2013)



(b)

**Gambar 3. Desain pengukuran STL (a) Sketsa pengukuran, dan (b) Set up alat pengukur tekanan bunyi dan waktu dengung**

Pengukuran SPL juga dilakukan dengan menggunakan material kayu triplek pada media ruang dengung, hal tersebut dilakukan untuk mengukur keakuratan media kayu triplek dalam menahan bunyi yang bocor. Nilai SPL yang terukur pada ruang penerima dengan penyekat kayu triplek merupakan nilai kebocoran pada ruang dengung yang digunakan, sehingga setiap hasil dari

pengukuran SPL pada membran akan dikurangi dengan nilai kebocoran pada kayu triplek dan nilai hasil pengurangan tersebut dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai STL.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi Ruang Dengung

Hasil sintesis membran nilon seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *handphone* yang terkoneksi dengan mikrofon eksternal yang sebelumnya telah dikalibrasi dengan alat *sound level meter* tipe AZ 8922. Grafik kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 5. Kalibrasi merupakan suatu proses untuk pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur dengan cara membandingkan dengan alat yang standar. Kalibrasi dilakukan untuk memastikan hasil pengukuran yang dilakukan mendapatkan nilai yang akurat dan konsisten dengan alat ukur yang standar. Proses kalibrasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan *handphone* dan kemudian dibandingkan selisihnya dari nilai alat ukur yang standar yaitu *sound level meter* AZ 8922. Kalibrasi tersebut dilakukan dari suatu sumber bunyi dengan skala nilai SPL terendah hingga skala SPL tertinggi kemudian dimasukkan dalam persamaan linieritasnya, sehingga didapatkan persamaan  $Y = aX + b$ , dimana variabel Y yang digambarkan pada sumbu Y adalah nilai SPL yang ditunjukkan pada alat ukur *sound level meter* AZ 8922 yang berfungsi sebagai nilai acuan yang digunakan saat proses pengukuran, sedangkan variabel X yang digambarkan pada sumbu X adalah nilai SPL yang ditunjukkan pada alat ukur yang terdapat pada aplikasi android atau *handphone*, sedangkan variabel a dan b merupakan nilai konstanta hasil regresi. Berdasarkan hasil kalibrasi didapatkan konstanta variabel a bernilai 0,9308 dan konstanta variabel b bernilai 12,158, persamaan linieritas tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai SPL yang sebenarnya.

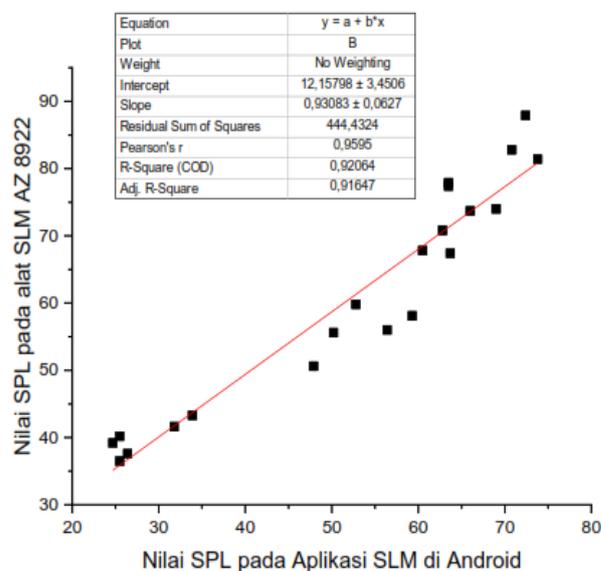
### Pengukuran STL

*Sound transmission loss* atau biasa disingkat dengan STL merupakan suatu kekuatan

material dalam menghalangi atau menahan suatu sumber bunyi yang melewati suatu material pada rentang frekuensi tertentu. Menurut Wang *et al.* (2011) nilai STL adalah faktor utama dari efektivitasnya material dalam meredam suara, sehingga nilai STL yang semakin tinggi maka material tersebut semakin baik dalam mereduksi suatu sumber bunyi yang melewatinya.



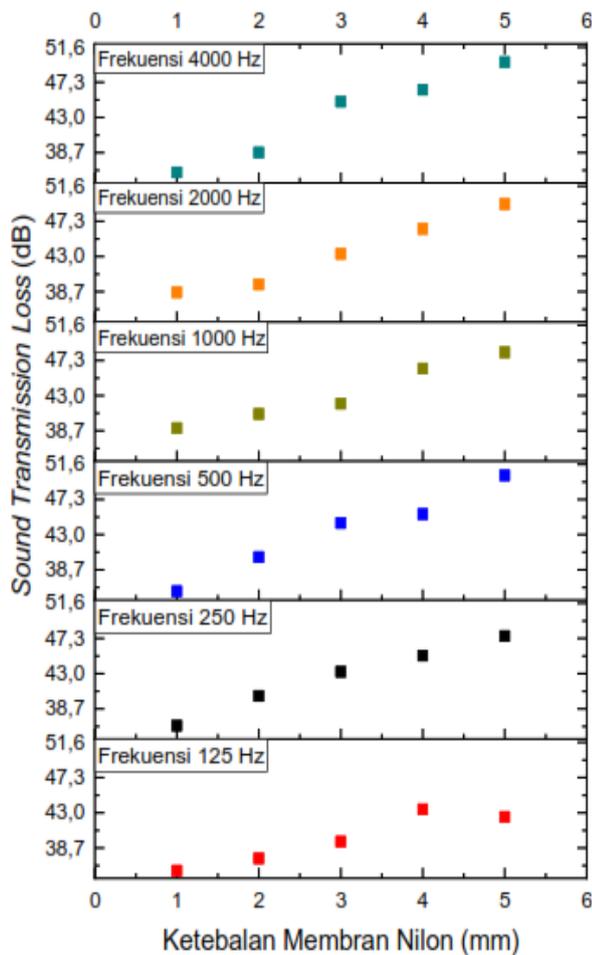
Gambar 4 Membran nilon



Gambar 5. Kalibrasi pengukuran desain ruang dengung

Grafik hubungan ketebalan membran nilon terhadap nilai STL ditunjukkan pada Gambar 6 dimana semakin besar ketebalan membran nilon maka semakin besar pula nilai STL yang terukur. Berdasarkan Tabel 1 terkait dengan nilai frekuensi terhadap nilai STL pada membran nilon menunjukkan bahwasanya semakin besar nilai frekuensi maka semakin besar nilai STL yang terukur pada masing-masing ketebalan membran nilon dengan nilai STL optimum yang berbeda pada masing-masing frekuensi pada setiap ketebalan

membran nilon. Pada ketebalan membrane nilon sebesar 4 mm didapatkan peningkatan nilai STL yang paling linier seiring dengan peningkatan frekuensi yang digunakan dalam pengukuran dengan nilai STL pada frekuensi 125 Hz sebesar 43 dB hingga frekuensi 4000 Hz dengan nilai STL sebesar 46 dB, sehingga membran dengan ketebalan 4 mm merupakan membran yang paling baik dalam penelitian ini.



**Gambar 6.** Grafik hubungan ketebalan (mm) terhadap nilai STL (dB)

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh (Li *et al.*, 2013) dimana semakin tebal suatu lapisan material, maka semakin besar nilai STL yang dapat diamati, dari hasil penelitiannya pada penggunaan 2 lapis membran didapatkan nilai STL terbesar yaitu 25 dB serta 32 dB saat menggunakan 3 lapis membran pada frekuensi pengukuran 4000 Hz, sedangkan dalam penelitian ini penggunaan membran nilon sebagai bahan peredam diperoleh nilai STL sebesar 39 dB pada ketebalan 2 mm dan 45 dB

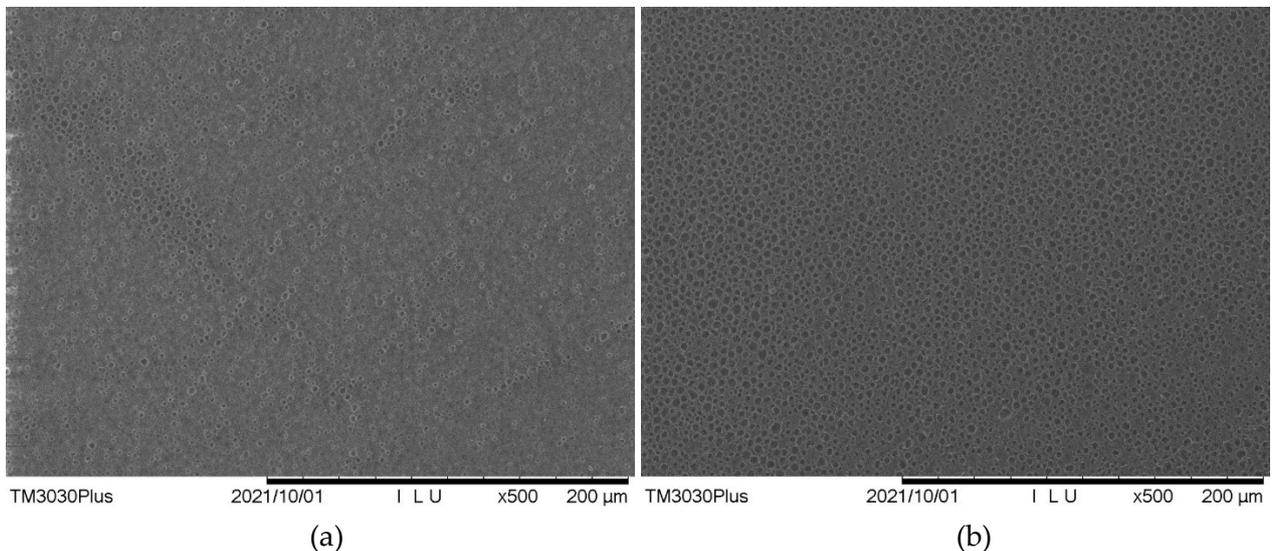
pada ketebalan 3 mm di frekuensi pengukuran 4000 Hz. Berdasarkan hasil tersebut nampak bahwa material dengan ketebalan yang besar dapat memberikan kemampuan peredam yang lebih baik. Hasil dari penelitian Permana (2018) menunjukkan bahwa membran mengubah fluktuasi tekanan menjadi gerak udara, sehingga saat membran bergetar melalui frekuensi rendah maka menghasilkan penyerapan frekuensi yang rendah. Penelitian ini memberikan hasil bahwa membran nilon sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi sebuah material peredam, hal tersebut dapat dilihat dari hasil penelitian ini yang didapatkan nilai STL sebesar 43 dB hingga 46 dB pada ketebalan 4 mm.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terlihat bahwa nilai STL dapat terukur pada semua rentang frekuensi pengukuran yaitu 125 Hz hingga 4000 Hz. Peningkatan nilai STL yang efektif pada penelitian ini berada pada rentang frekuensi pengukuran 125 Hz hingga 1000 Hz pada ketebalan 1 mm dan 2 mm, 125 Hz hingga 500 Hz pada ketebalan 3 mm dan 5 mm, dan rentang frekuensi pengukuran 125 Hz hingga 4000 Hz pada ketebalan 4 mm. Hal ini ditunjukkan dari nilai STL yang meningkat secara linear seiring dengan peningkatan frekuensi yang digunakan dalam pengukuran pada masing-masing ketebalan membran Ulrich and Arenas (2020) dalam penelitiannya mendapatkan peningkatan nilai STL pada rentang frekuensi antara 500 Hz hingga 2500 Hz. Disamping itu, membran yang semakin tebal juga mempengaruhi nilai STL. Menurut Ehrig *et al.* (2020) membran *multilayer* yang dimampatkan mengakibatkan proses penyerapan suara oleh

membran semakin luas dan besar, sehingga didapatkan nilai STL yang semakin besar pula. Hasil pengujian SEM yang ditunjukkan pada Gambar 7 menunjukkan distribusi pori yang merata, dimana untuk ketebalan 1 mm ukuran pori membran nilon sebesar 1,23  $\mu\text{m}$  lebih kecil dibandingkan pada ketebalan membran nilon 4 mm yaitu sebesar 1,35  $\mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal membran maka penyerapan bunyi semakin luas dan besar sehingga nilai STL

Tabel 1 Nilai  $STL$  pada berbagai ketebalan membran nilon untuk semua rentang frekuensi pengukuran

Ketebalan Membran Nilon (mm)	Frekuensi (Hz)	Nilai $STL$ (dB) $\pm$ SE
1	125	35,92 $\pm$ 0,08
	250	36,65 $\pm$ 0,16
	500	36,07 $\pm$ 0,20
	1000	39,03 $\pm$ 0,14
	2000	38,62 $\pm$ 0,23
	4000	36,29 $\pm$ 0,36
2	125	37,41 $\pm$ 0,34
	250	40,27 $\pm$ 0,48
	500	40,26 $\pm$ 0,43
	1000	40,75 $\pm$ 0,34
	2000	39,58 $\pm$ 0,36
	4000	38,70 $\pm$ 0,15
3	125	39,47 $\pm$ 0,24
	250	43,22 $\pm$ 0,40
	500	44,42 $\pm$ 0,86
	1000	42,02 $\pm$ 0,57
	2000	43,33 $\pm$ 0,41
	4000	44,94 $\pm$ 0,21
4	125	43,42 $\pm$ 0,18
	250	45,20 $\pm$ 0,46
	500	45,49 $\pm$ 0,33
	1000	46,30 $\pm$ 0,58
	2000	46,37 $\pm$ 0,90
	4000	46,39 $\pm$ 0,15
5	125	42,48 $\pm$ 0,15
	250	47,59 $\pm$ 0,52
	500	50,25 $\pm$ 0,32
	1000	48,29 $\pm$ 0,20
	2000	49,40 $\pm$ 0,23
	4000	49,77 $\pm$ 0,40



Gambar 7. Morfologi permukaan membran nilon pada ketebalan (a) 1 mm dan (b) 4 mm

meningkat. Dengan demikian, ketebalan membran memiliki pengaruh yang besar dalam mendapatkan nilai STL pada berbagai rentang frekuensi.

#### KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai STL yang terukur dipengaruhi oleh ketebalan membran, sehingga nilai STL bervariasi pada berbagai ketebalan. Semakin besar ketebalan membran nilon, maka nilai STL yang terukur juga akan semakin besar. Pada penelitian ini ketebalan membran nilon sebesar 4 mm menunjukkan peningkatan nilai STL terbaik pada semua rentang frekuensi pengukuran 125 Hz hingga 4000 Hz. Kualitas membran nilon berperan penting dalam menentukan nilai STL sebagai parameter dalam menentukan kualitas material peredam. Berdasarkan data pengukuran yang telah dilakukan pada berbagai ketebalan membran nilon memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi material peredam dengan nilai rata-rata STL di atas 35 dB.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Jember melalui Hibah KeRis Tahun Anggaran 2021.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Sayed, M. and Deri, F., 2014. Preparation Of Polyamide Membranes And Studies There Chemical, Physical And Mechanical Properties And Its Application. *International Journal of ChemTech Research*, 6 (5), 3098–3106.
- Chen, L., Chen, Z., Zhang, X., and Wang, W., 2018. Sound Insulation Property Study on Nylon 66 Scrim Reinforced PVF Laminated Membranes and their Composite Sound Proof Structure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 108 (2), 1–7.
- Ehrig, T., Dannemann, M., Luft, R., Adams, C., Modler, N., and Kostka, P., 2020. Sound Transmission Loss Of A Sandwich Plate With Adjustable Core Layer Thickness. *Materials*, 13 (18).
- Gloria, P. and Indrani, H.C., 2014. Potensi Kertas Koran dan Gabus sebagai Alternatif Material Akustik. *Jurnal Intra*, 2 (2), 146–153.
- Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., and Sanders, J.V., 1999. *Fundamentals of Acoustics (4th Edition)*. John Wiley and Sons Inc.
- Langfeldt, F., Gleine, W., and Estorff, O.V.O.N., 2016. Enhancing the Low-Frequency Noise Reduction of A Double Wall with Membrane-Type Acoustic Metamaterials Enhancing the Low-Frequency Noise Reduction of A Double Wall with Membrane-Type Acoustic Metamaterials. *Inter Noise*, (August).
- Li, C., Cazzolato, B., and Zander, A., 2013. Sound Transmission Loss Of Double Layer Impervious Membranes With An Internal Microperforated Membrane. *Annual Conference of the Australian Acoustical Society 2013, Acoustics 2013: Science, Technology and Amenity*, 68–74.
- Maulina, W., 2016. Kajian Membran Komposit Nilon-Arang Melalui Karakterisasi Ftir Dan Sem. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 2 (1), 56.
- Permana, D.Y., 2018. PSIA: Panel Akasia Sebagai Solusi Peningkatan Nilai Akustik Bangunan Menggunakan Bahan Alami Yang Ramah Lingkungan Berdasarkan Nilai Absorpsi Dan *Sound Transmission Class And Sound Transmission*. Skripsi. Surabaya: Departemen Teknik Fisika ITS
- Rachmawati, F., Rahmadiansah, A., and Asmoro, W.A., 2013. Optimasi Kualitas Akustik Room to Room Berdasarkan Nilai Transmission Loss. *Jurnal Teknik ITS*, 2 (2), D175–D180.
- Rohim, A.M., Fianti, F., and Nurbaiti, U., 2020. Potensi Sekam Padi dan Jerami sebagai Alternatif Material Akustik. *Physics Education Research Journal*, 2 (1), 35.
- Suharyani, S. and Mutiari, D., 2015. Limbah Pelepah Pisang Raja Susu Sebagai Alternatif Bahan Dinding Kedap Suara. *Sinektika: Jurnal Arsitektur*, 13 (1), 62–68.
- Ulrich, T. and Arenas, J.P., 2020. Sound Absorption Of Sustainable Polymer Nanofibrous Thin Membranes Bonded To A Bulk Porous Material. *Sustainability (Switzerland)*, 12 (6).

Wang, et al., 2011. Experimental and Theoretic Studies on Sound Transmission Loss of Laminated Mica-Filled Poly (vinyl chloride) Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (5), 2658–2667.

Yao, S., Li, P., Zhou, X., and Hu, G., 2014. Sound Reduction by Metamaterial-Based Acoustic Enclosure Sound Reduction by Metamaterial-Based Acoustic Enclosure. *Aip Advances*, 124306 (4), 0–9.