

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kebisingan

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 kebisingan adalah terjadinya bunyi yang tidak dikehendaki sehingga mengganggu atau membahayakan kesehatan dengan tingkat kebisingan di ruang kerja maksimal adalah 85 dBA. Kebisingan dapat didefinisikan sebagai campuran sejumlah gelombang sederhana yang tidak teratur, dan memperlihatkan bentuk yang tidak biasanya. Faktor yang mempengaruhi kebisingan adalah pola intensitas kebisingan, frekuensi dan pembangkitan (Taufik, 2019). Kebisingan (*noise*) dapat juga diartikan sebagai sebuah bentuk getaran yang dapat berpindah melalui medium padat, cair dan gas (Harris, 1991). Manusia dapat terpapar kebisingan di berbagai tempat seperti tempat umum, jalan raya, sekolah, auditorium, bahkan di dalam rumah sendiri. Kebisingan yang berada di tempat umum mempunyai beragam sumber suara, respon, serta perilaku yang komplek.

Nilai Ambang Batas yang selanjutnya disingkat NAB adalah intensitas tertinggi dan merupakan nilai rata-rata yang masih dapat diterima tenaga kerja tanpa mengakibatkan hilangnya daya dengar yang tetap untuk waktu terus menerus, dengan waktu maksimum 8 jam sehari atau 40 jam seminggu (Depnaker, 2011). Baku tingkat kebisingan adalah batas maksimal tingkat kebisingan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Apabila tenaga kerja terpapar bising melebihi kebutuhan tersebut maka harus dilakukan pengurangan waktu pemaparan. Nilai Ambang Batas Faktor Fisika Di Tempat Kerja menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor 13 Tahun 2011 ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Ambang Batas Faktor Fisika Di Tempat Kerja

Batas waktu pemaparan/hari kerja		Intensitas Kebisingan (dBA)
8	Jam	85
4		88
2		91
1		94
30		97
15	Menit	100
7,5		103
3,75		106
1,88		109
0,94		112
28,12	Detik	115
14,06		118
7,03		121
3,52		124
1,76		127
0,88		130
0,44		133
0,22		136
0,11		139

Telinga manusia dapat mendengar suara dari rentang frekuensi 20 Hz hingga 20.000 Hz. Kebisingan suara frekuensi rendah adalah 500 Hz atau lebih rendah dengan suara gemuruh yang didengar oleh telinga manusia. Kebisingan suara frekuensi menengah adalah suara yang berada di antara rentang 500 Hz dan 2000 Hz, di mana sering kali memiliki kualitas nyaring atau seperti klakson. Kebisingan suara

frekuensi tinggi berada di atas 2000 Hz bahwa suara memberikan kehadiran pada ucapan, ucapan terdengar lebih nyata dan otentik.

## 2.2 *Acoustic Metasurface*

Metamaterial atau sering disebut dengan artificial material merupakan suatu struktur periodik yang tersusun atas sel atau elemen satuan yang berjumlah terbatas dan dapat memperlihatkan sifat elektromagnetik tertentu. Metamaterial menawarkan manfaat lebih dari peredam konvensional, seperti miniaturisasi, geometri tipis adaptasi yang lebih luas, dan peningkatan efektivitas (Bhattacharya, 2016). Adapun ukuran, kerapatan, bentuk, dan orientasi inklusi dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Apabila gelombang elektromagnetik mengenai media material, maka akan menginduksi momen dipol listrik dan magnetik yang akan berpengaruh pada efektifitas permeabilitas. Serta saat unsur-unsur individu beresonansi, metamaterial tersebut akan mempunyai nilai negatif untuk relativitas dan permeabilitas. Resonansi mempunyai karakteristik yang respon fasenya terbalik sebagai perubahan frekuensi di sekitar resonansi (Bukhari *et al*, 2019)

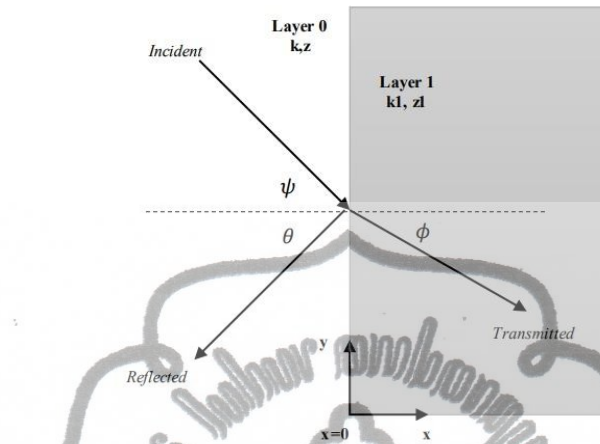
*Metasurface* adalah bagian dari *metamaterial* dua dimensi atau permukaan sehingga *metasurface* melakukan karakterisasi respon melalui polarisasi listrik dan magnet. Metamaterial mengontrol perambatan cahaya karena nilai permeabilitas menggunakan efek propagasi untuk memanipulasi gelombang elektromagnetik (Bukhari *et al*, 2019). *Metasurface* memberikan derajat kebebasan baru untuk mengontrol respons fase, amplitudo, dan polarisasi dengan resolusi sub-gelombang. Serta menyelesaikan pembentukan gelombang di dalam jarak jauh lebih sedikit dari panjang gelombang. Kemajuan terbaru dalam *metasurface* telah diterapkan pada banyak fenomena optik eksotis dan berbagai perangkat optik planar yang berguna. Aplikasi *metasurface* ini terletak pada ultrathin, ringan, dan sifat ultrakompak, yang mampu mengatasi beberapa keterbatasan menuju fungsionalitas yang serba guna.

Selain itu aplikasi berbasis *metasurface* bertujuan untuk kontrol polarisasi dan manipulasi muka gelombang (Hsiao *et al*, 2017).

*Metasurface* akustik, dalam analogi dengan *metasurface* optik adalah jenis metamaterial ultrathin berdasarkan pada “Hukum Snellius”. Metastruktur yang dirancang secara inovatif ini menyediakan cara baru untuk memanipulasi bagian depan gelombang secara bebas dengan memperkenalkan perubahan fase akustik yang tiba-tiba. Ini memecah ketergantungan pada efek propagasi dan memungkinkan membentuk bagian depan gelombang menjadi bentuk bebas dengan resolusi panjang gelombang. Baru-baru ini, sejumlah penelitian telah mengungkapkan *metasurface* akustik sebagai bahan yang cocok untuk mengontrol perambatan suara, yang mengarah ke aplikasi teknik unik dalam akustik. Fungsionalitas yang luar biasa dan unik yang berbeda telah direalisasikan oleh *metasurface* akustik, seperti refraksi atau refleksi yang luar biasa, pemfokusan planar, balok non-pengencang, penyerapan suara, dan seterusnya (Zhu *et al*, 2019)

### **2.3 Interaksi Gelombang Bunyi pada Permukaan Medium**

Menurut Cox *et al* (2004) bahwa pengaruh permukaan terhadap gelombang akustik dapat dikarakterisasi dengan empat besaran akustik yang saling terkait, yaitu : impedansi, admitansi, faktor pantulan tekanan dan koefisien absorpsi. Tiga yang pertama (impedansi, admitansi dan faktor refleksi tekanan) memberikan informasi tentang besaran dan perubahan fasa pada refleksi. Sedangkan koefisien absorpsi tidak memuat data fasa, tetapi hanya memberikan informasi tentang perubahan energi pada refleksi. Ilustrasi gelombang bunyi datang menuju bidang batas antara dua medium akustik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gelombang Bunyi pada Permukaan Medium (Cox *et al*, 2004)

Gelombang bunyi datang  $p_i$ , gelombang bunyi yang dipantulkan  $p_r$  dan gelombang bunyi yang diteruskan  $p_t$ , tekanan gelombang diberikan oleh :

$$p_i = A_i e^{j[\omega t - kx \cos(\psi) - k y \sin(\psi)]} \quad (2.1)$$

$$p_r = A_r e^{j[\omega t + kx \cos(\theta) - k y \sin(\theta)]} \quad (2.2)$$

$$p_t = A_t e^{j[\omega t - k_1 x \cos(\phi) - k_1 y \sin(\phi)]} \quad (2.3)$$

Dimana  $A_i$ ,  $A_r$  dan  $A_t$  masing-masing adalah besarnya gelombang bunyi yang datang, yang dipantulkan dan ditransmisikan, dengan sudutnya ditentukan pada Gambar 3.1.

Penerapan pada kontinuitas tekanan akan memberikan hubungan, sebagai berikut

$$p_i + p_r = p_t \quad (2.4)$$

Sedangkan bentuk lain dalam hubungan antara sudut-sudut propagasi, lebih dikenal sebagai Hukum Snellius:

$$\sin(\psi) = \sin(\theta) \quad (2.5)$$

$$\frac{\sin(\psi)}{c} = \frac{\sin(\theta)}{c_1} \quad (2.6)$$

atau

$$K \sin(\psi) = K_1 \sin(\theta) \quad (2.7)$$

Oleh karena itu, perilaku gelombang bunyi bergantung pada ukuran relatif kecepatan suara pada dua medium.

Ketika gelombang akustik secara kebetulan mengenai objek, sebagian energi akustik dipantulkan, dan sebagian lagi diubah menjadi panas dan dilemahkan karena gesekan dan tahanan kental, yang didefinisikan sebagai penyerapan suara. Dan beberapa ditransmisikan melalui objek dan menggetarkan udara di sisi lain. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad (2.8)$$

Dimana  $E_i$ ,  $E_r$ ,  $E_a$ , dan  $E_t$  masing-masing adalah energi akustik, energi pantulan, dan energi yang diserap.

Penyerapan suara adalah cara utama untuk meredam kebisingan, namun tidak efektif di seluruh spektrum kebisingan. Bahan penyerap suara klasik mempunyai spektrum serapan yang konstan dengan menyesuaikan ketebalan. Sehingga diinginkan untuk menciptakan peredam suara yang dapat disesuaikan dengan spektrum kebisingan. Penyerapan dan pelemahan akustik dalam frekuensi rendah (50-500 Hz) telah menjadi tantangan ilmiah dan teknologi karena disipasi intrinsik material yang lemah dalam frekuensi rendah. Peredam konvensional mempunyai dimensi yang sebanding dengan panjang gelombang gelombang frekuensi rendah yang lebih besar, sehingga tidak praktis untuk implementasi frekuensi rendah. Bidang metamaterial akustik telah diperluas untuk mencakup berbagai sifat dan fungsi material serta aplikasi baru, termasuk penyerapan, redaman dan mitigasi gelombang akustik. *Metasurface* akustik yang menyerap suara untuk frekuensi rendah berdasarkan *metasurface* yang cocok dengan mekanisme fisik dan sifat penyerapan.

*Metasurface* akustik mampu memodulasi muka gelombang yang ditransmisikan untuk mencapai sifat yang menarik, seperti pemfokusan, dan konversi gelombang propagasi menjadi gelombang permukaan. Dalam cara yang mirip dengan kasus refleksi, modulasi fase halus memainkan peran kunci dalam desain *metasurface* akustik transmisi. Fitur lain dari kasus transmisi yang mungkin tidak diperlukan



untuk kasus refleksi adalah pencocokan impedansi antara permukaan *metasurface* dan lingkungan sekitarnya. Padatan alami biasanya buram untuk suara di udara karena ketidakcocokan impedansi besar antara padatan dan udara, yang secara signifikan menekan efisiensi transmisi perangkat akustik. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja *metasurface* akustik transmisi, unitnya harus dirancang untuk meminimalkan ketidaksesuaian impedansi sehubungan dengan material di sekitarnya seperti udara (Assouar *et al*, 2018).

#### 2.4 Transmission Loss

*Transmission loss* (TL) menggambarkan akumulasi penurunan intensitas energi bentuk gelombang bunyi saat gelombang bunyi melalui jenis struktur tertentu. Koefisien transmisi adalah rasio energi yang ditransmisikan dengan energi datang dan disajikan oleh  $t$ . Kapasitas insulasi suara dari material atau elemen bangunan diwakili oleh indeks reduksi suara, yang juga disebut *sound transmission loss* (STL) dan dinyatakan dalam desibel (dB). STL objek tertentu bervariasi dengan frekuensinya (Peng, 2017). *Acoustic metamaterial* tipe pelat pada penelitian Wang *et al* (2017) menggunakan perhitungan secara numerik untuk memperoleh nilai STL. Tekanan suara yang dipantulkan  $p_r$  dan tekanan yang ditransmisikan  $p_t$  dapat diperoleh ketika gelombang bidang dengan  $p_i$  datang dari satu sisi ke yang sisi lain, sehingga untuk menghitung STL normal pada panel adalah :

$$STL = 10 \log \frac{W_{in}}{W_{out}} \quad (2.9)$$

Dimana  $W_{in}$  adalah energi suara datang sedangkan  $W_{out}$  adalah energi suara yang ditransmisikan.

$$W_{in} = \frac{|p_i|^2}{2\rho_0 c_0} \quad (2.10)$$

$$W_{out} = \frac{|p_t|^2}{2\rho_0 c_0} \quad (2.11)$$

## 2.5 Insertion Loss

*Insertion Loss* (IL) merupakan parameter pengurangan tingkat kebisingan di lokasi tertentu karena suatu penghalang kontrol kebisingan di jalur suara di antara sumber suara. Penghalang tersebut diperiksa dengan membandingkan kinerja kebisingan pada titik penerima tertentu. Secara khusus, IL ini menurut Yu *et al* (2019) didefinisikan sebagai perbedaan antara *sound pressure level* (SPL) dalam konfigurasi simulasi tanpa adanya penghalang ( $SPL_{open}$ ) dan SPL dengan penghalang ( $SPL_{barrier}$ ), yaitu :

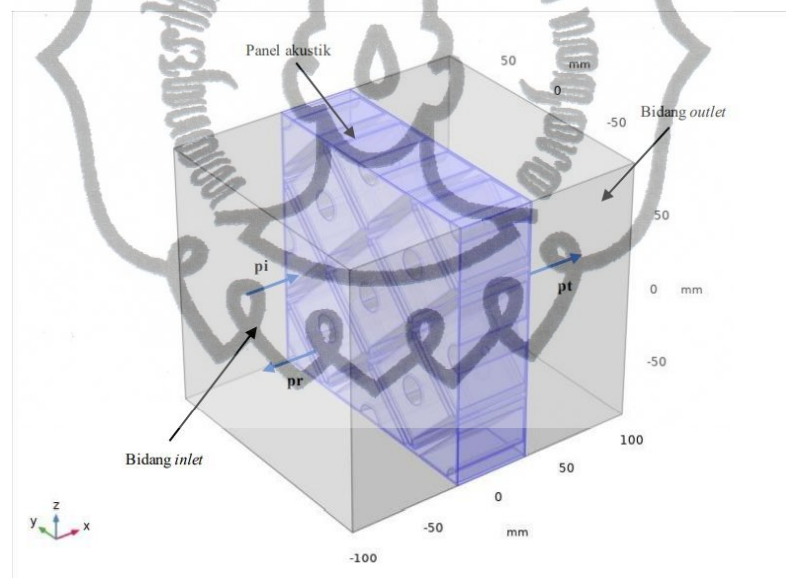
$$IL = SPL_{open} - SPL_{barrier} \quad (2.12)$$

## 2.6 Metode Pengukuran Kebisingan

*Finite element method* (FEM) merupakan metode yang digunakan dalam menganalisis penyelesaian dari suatu masalah melalui proses simulasi. Dasar dari metode ini adalah dengan mengidentifikasi objek yang akan dianalisis menjadi beberapa elemen yang lebih kecil menyerupai jaring-jaring berbentuk heksagonal (*meshing*). Setiap elemen ini akan membuat hubungan dengan model matriks yang interaksinya diukur pada titik tertentu (*node*). FEM kadang-kadang disebut sebagai *finite element analysis* (FEA), adalah teknik komputasi yang digunakan untuk mendapatkan solusi perkiraan dari masalah nilai batas dalam teknik. Masalah nilai batas adalah masalah matematika di mana satu atau lebih variabel *dependent* harus memenuhi persamaan diferensial dalam domain variabel independen yang diketahui dan memenuhi kondisi spesifik pada batas domain tersebut. Masalah nilai batas terkadang juga disebut masalah lapangan. Lapangan adalah domain minat dan paling sering mewakili struktur fisik. Variabel lapangan adalah variabel dependen yang diatur oleh persamaan diferensial. Kondisi batas adalah nilai yang ditentukan dari variabel lapangan (atau variabel terkait seperti turunan) pada batas bidang. Bergantung pada jenis masalah fisik yang dianalisis, variabel medan mungkin termasuk perpindahan fisik, suhu, fluks panas, dan kecepatan fluida (Hutton, 2004).



Skema model perhitungan elemen hingga pada penelitian Wang *et al* (2017) menggunakan *acoustic metamaterial* tipe pelat ditunjukkan pada Gambar 2.2. Modul interaksi struktur akustik pada *software* COMSOL Multiphysics 5.3 digunakan untuk perhitungan secara numerik nilai STL. Tujuannya adalah untuk merepresentasikan properti akustik dari seluruh panel serta untuk menyederhanakan kompleksitas komputasi. Kondisi batas periodik pun diterapkan pada permukaan lateral sel unit untuk karakteristik periodik yang jelas dari panel. Selain itu, domain udara secara akurat mensimulasikan ukuran sebenarnya, dengan membatasi permukaan akhir insiden dan yang ditransmisikan sebagai kondisi batas radiasi gelombang.



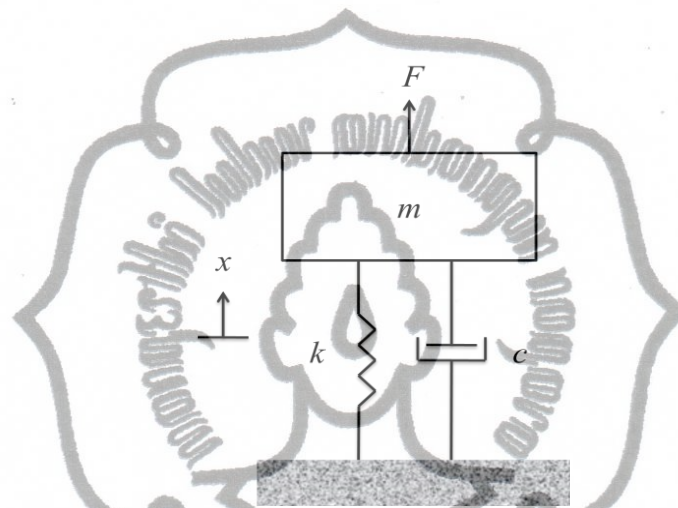
Gambar 2.2 Model perhitungan elemen hingga dari panel *acoustic* (Wang *et al*, 2017)

## 2.7 Sistem *Spring – Mass Damper*

Sistem *Spring – Mass Damper* digunakan untuk mewakili sistem mekanik yang kompleks, *damper* mewakili efek gabungan dari semua mekanisme yang berbeda untuk menghilangkan energi dalam sistem, termasuk gesekan, hambatan udara, kehilangan deformasi, dan sebagainya. Model *Spring – Mass Damper* (SMD) terdiri dari node massa diskrit yang didistribusikan ke seluruh objek dan saling berhubungan

*commit to user*

melalui jaringan *spring* dan peredam. Model ini sangat cocok untuk pemodelan objek dengan sifat material yang kompleks seperti nonlinier dan viskoelastisitas dengan menggunakan simulasi MATLAB (Kaveh *et al*, 2015). Parameter model *Spring Mass Damper Single Degree of Freedom* (SDOF) terdiri dari nilai tunggal massa ( $m$ ), kekakuan ( $k$ ) dan konstanta redaman ( $c$ ) sesuai pada Gambar 2.3 dan Persamaan SMD (2.13).



Gambar 2.3 Model *Spring Mass Damper* (Ortiz et al, 2015)

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) \quad (2.13)$$

## 2.8 Struktur *Metasurface* Akustik

Strategi untuk desain *metasurface* akustik tergantung pada sifat fisik dan aplikasi yang ditargetkan (refleksi, transmisi dan penyerapan). Desain *metasurface* utama didasarkan pada struktur Helmholtz Resonator seperti, struktur tipe membran dan struktur ruang melingkar. *Metasurface* berdasarkan elemen-elemen seperti Helmholtz Resonator yang mempunyai keuntungan karena mudah dibuat dan merdu. *Metasurface* berdasarkan pada elemen mirip Helmholtz Resonator bergantung pada resonansi lokal (Assouar *et al*, 2018). *Acoustic metamaterial* tipe pelat menunjukkan puncak STL yang jelas dalam rentang frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi resonansi sel unit, yang disebabkan oleh getaran kopling antara pelat tipis dan

kerangka pendukung. *Sound transmission loss* sel satuan tetap berada di bawah rentang frekuensi resonansi yang dikendalikan kekakuan. Penelitian isolasi suara frekuensi rendah pada *acoustic metamaterial* tipe pelat menggunakan tabung impedansi terjadi resonan local sel unit. Padahal, dalam aplikasi keteknikan praktis, diperlukan *acoustic metamaterial* tipe pelat skala besar yang berisi sel satuan dalam jumlah yang cukup dan mempunyai efek signifikan pada STL (Wang *et al*, 2019).



Gambar 2.4 Motif Batik Sogan

Sumber : alonabatik.com

Batik Sogan merupakan salah satu jenis batik bernuansa klasik. Motif atau corak warna dari Batik Sogan adalah corak warna gelap dengan gradasi warna coklat tua kehitam-hitaman ke warna putih, kekuningan keemasan, namun bukanlah warna kuning sebenarnya pada batik. Sehingga nuansa warna dan aksen dari Batik Sogan terlihat kelam. Dinamakan dengan Batik Sogan karena pada awal mulanya, proses pewarnaan batik ini menggunakan pewarna alami yang diambil dari batang kayu pohon sogas. Warna klasik batik Sogan sendiri sarat dengan makna sedangkan corak warna tersebut merupakan simbol-simbol yang telah pakem. Motif Batik Sogan yang akan digunakan untuk menjadi struktur dari *metasurface* akustik.