



KEMENTERIAN SUMBER MANUSIA
JABATAN KESELAMATAN DAN KESIHATAN PEKERJAAN

PANDUAN MENGENAI KAWALAN KEBISINGAN DI TEMPAT KERJA



2024



KEMENTERIAN SUMBER MANUSIA
JABATAN KESELAMATAN DAN KESIHATAN PEKERJAAN

PANDUAN MENGENAI KAWALAN KEBISINGAN DI TEMPAT KERJA 2024

HAK CIPTA

Pencetakan Pertama

Panduan Mengenai Kawalan Kebisingan di Tempat Kerja 2024

Hak cipta terpelihara. Tiada bahagian daripada penerbitan ini boleh diterbitkan semula atau digunakan dalam apa-apa bentuk atau kaedah, sama ada secara elektronik atau mekanikal, termasuk salinan atau penghantaran melalui internet atau intranet, tanpa kebenaran bertulis terlebih dahulu, kecuali jika dinyatakan sebaliknya, atau diperlukan dalam konteks pelaksanaannya.

Panduan Mengenai Kawalan Kebisingan di Tempat Kerja 2024

e ISBN 978-967-19762 -7-2

Penerbit

Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan Malaysia

Kementerian Sumber Manusia

Aras 1, 3, 4 & 5, Setia Perkasa 4, Kompleks Setia Perkasa,

Pusat Pentadbiran Kerajaan Persekutuan,

62530 Wilayah Persekutuan Putrajaya.

SENARAI KANDUNGAN

1.0	PENGENALAN	6
2.0	OBJEKTIF	6
3.0	KONSEP DAN PRINSIP ASAS	6
3.1	Pengenalan kepada Bunyi	6
3.1.1	Frekuensi Bunyi	7
3.1.2	Panjang Gelombang Bunyi	11
3.1.3	Tekanan Bunyi dan Paras Tekanan Bunyi	12
3.1.4	Keamatan Bunyi dan Paras Keamatan Bunyi	14
3.1.5	Kuasa Bunyi dan Paras Kuasa Bunyi	15
3.1.6	Hubungan antara Kuasa Bunyi, Keamatan Bunyi dan Tekanan Bunyi	20
3.1.7	Pemberat Frekuensi	21
3.2	Kawalan Kebisingan - Konsep dan Prinsip Asas	22
3.3	Strategi Kawalan Kebisingan	23
3.4	Prosedur Menyeluruh Kawalan Kebisingan	25
4.0	KAWALAN PERANCANGAN LOJI	26
4.1	Pengenalan	26
4.2	Pemasangan Sedia Ada dan Kemudahan	26
4.3	Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan Kebisingan	27
4.3.1	Laporan Penilaian	28
4.3.2	Contoh Laporan Penilaian	31
4.4	Pemasangan dan Kemudahan di Peringkat Reka Bentuk	35
4.5	Kawalan Melalui Perancangan Loji	36
4.6	Helaian Data Aras Pelepasan Kebisingan Loji	40
5.0	KAWALAN PENGGANTIAN	42
5.1	Penggunaan Peralatan yang Lebih Senyap	42
5.2	Penggunaan Proses yang Lebih Senyap	44
5.3	Penggunaan Bahan yang Lebih Senyap	46
6.0	KAWALAN KEJURUTERAAN KEBISINGAN	47
6.1	Hierarki Strategi Kawalan Kebisingan	47
6.1.1	Punca	47
6.1.2	Laluan	49
6.1.3	Penerima	51
6.2	Penyerapan	52
6.2.1	Pekali Pengurangan Bising	55
6.3	Penebatan	56
6.3.1	Kehilangan Penghantaran Bunyi	56
6.3.2	Kurungan	59
6.3.3	Bebatan Akustik	61
6.4	Jarak	62
6.4.1	Ketinggian Jatuhan	62
6.4.2	Gelora Bising	63
6.5	Penyenyap	65
6.5.1	Penyenyap Reaktif	65
6.5.2	Penyenyap Penyerapan atau Lesapan	66
6.5.3	Penyenyap Bising Bagi Perpaipan	67
6.5.4	Penyenyap dan Aplikasinya	69
6.6	Pengasingan Getaran	71
6.6.1	Jenis Pengasing dan Aplikasi	78
6.7	Peredam	79
7.0	RUJUKAN	84

PRAKATA

Panduan ini boleh dirujuk sebagai “Panduan Mengenai Kawalan Kebisingan di Tempat Kerja 2024” dan menggantikan “*Guidelines for Control of Occupational Noise, 2005*”.

Tujuan panduan ini adalah untuk memberikan panduan asas mengenai pelaksanaan kawalan kejuruteraan berkaitan pelepasan bunyi yang dihasilkan di tempat kerja. Menjadi tanggungjawab majikan untuk membangunkan pelan kawalan bunyi dan program tindakan di tempat kerja seperti yang digariskan dalam Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Pendedahan Bising) 2019 dan Tataamalan Industri bagi Pengurusan Pendedahan Bising Pekerjaan dan Pemuliharaan Pendengaran 2019.

Kawalan kejuruteraan pada punca, laluan dan penerima sebagai kaedah penting untuk mengurangkan bising yang berlebihan di tempat kerja diberikan penekanan dalam panduan ini, berbanding kawalan secara pentadbiran dan penggunaan pelindung pendengaran diri.

Semua majikan dan pentadbir pemuliharaan pendengaran diharapkan akan merujuk kepada Panduan ini dalam menentukan kawalan kejuruteraan yang sesuai dan berkesan agar pengurangan bising yang mapan boleh dicapai. Oleh itu, kejadian kes Gangguan Pendengaran Disebabkan Bising Pekerjaan (ONRHD) boleh dicegah.

IR. HJ. MOHD HATTA BIN ZAKARIA **Ketua Pengarah**

Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan
Kementerian Sumber Manusia, Malaysia

2024



PENGHARGAAN

Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan Malaysia ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada individu-individu berikut atas sumbangan mereka yang amat bernilai semasa penyediaan panduan ini. Jawatankuasa yang terlibat dalam penyediaan panduan ini adalah seperti berikut:

Mohd Yunos bin Talib @ Khalid (Pengerusi)

JKKP

Ahmad Nazri bin Abd. Kader

JKKP

Ir. Ahmad Jailani bin Mansor

JKKP

Hajah Habibah binti Supoh

JKKP

Dr. Ishkandar bin Md Yusoff

JKKP

Dr. Hamidi bin Saidin

JKKP

Ts. Elaini binti Wahab

JKKP

Mohd Khairi bin Mohd Yatim

JKKP

Rohaizad bin Mohd Daud

JKKP

Muhamad Hapiz bin Abdullah

JKKP

Mohd D'Azmir bin Kamarudin

JKKP

Suhairi bin Abd. Kadir

JKKP

Musna binti Rappe

JKKP

Dr. Nor Azali bin Azmir

UTHM

Syariful Izam bin A. Hamid

SI Acoustic Sdn. Bhd.

Ts. Yurizman bin Jamil

Kolej Universiti Antarabangsa MAIWP (UCMI)

Jabatan juga ingin merakamkan penghargaan kepada individu-individu yang telah menyumbang secara langsung atau tidak langsung dalam penyediaan panduan ini.

Panduan ini telah diluluskan dalam Mesyuarat Semakan Dasar Jabatan yang dipengerusikan oleh Ketua Pengarah Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan Malaysia.



1.0 PENGENALAN

Panduan ini disediakan bagi memenuhi keperluan kawalan kebisingan di semua tempat kerja yang tertakluk di bawah Akta Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan 1994 (Pindaan) 2022 [Akta A1648]. Panduan ini boleh membantu majikan dan pentadbir pemuliharaan pendengaran dalam melaksanakan langkah kawalan yang berkesan bagi mencegah berlakunya Gangguan Pendengaran Disebabkan Bising Pekerjaan (ONRHD) di semua tempat kerja melalui penerapan prinsip kawalan bising secara kejuruteraan. Selain itu, panduan ini turut membantu penaksir risiko bising dalam memberikan syor langkah kawalan kebisingan di tempat kerja, setakat yang praktik.

2.0 OBJEKTIF

Panduan ini bertujuan untuk digunakan terutamanya oleh majikan, penaksir risiko bising, pereka bentuk, pengilang, pengimport dan pembekal bagi mematuhi Peraturan 6, Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Pendedahan Bising) 2019 dan Tataamalan Industri (ICOP) bagi Pengurusan Pendedahan Bising Pekerjaan dan Pemuliharaan Pendengaran 2019. Objektif panduan ini adalah untuk:

- a) Menerangkan pemahaman konsep mengenai kawalan kebisingan di tempat kerja; dan
- b) Memberikan panduan praktikal dalam membangun dan melaksanakan langkah kawalan kejuruteraan kebisingan di tempat kerja.

3.0 KONSEP DAN PRINSIP ASAS

3.1 Pengenalan kepada Bunyi

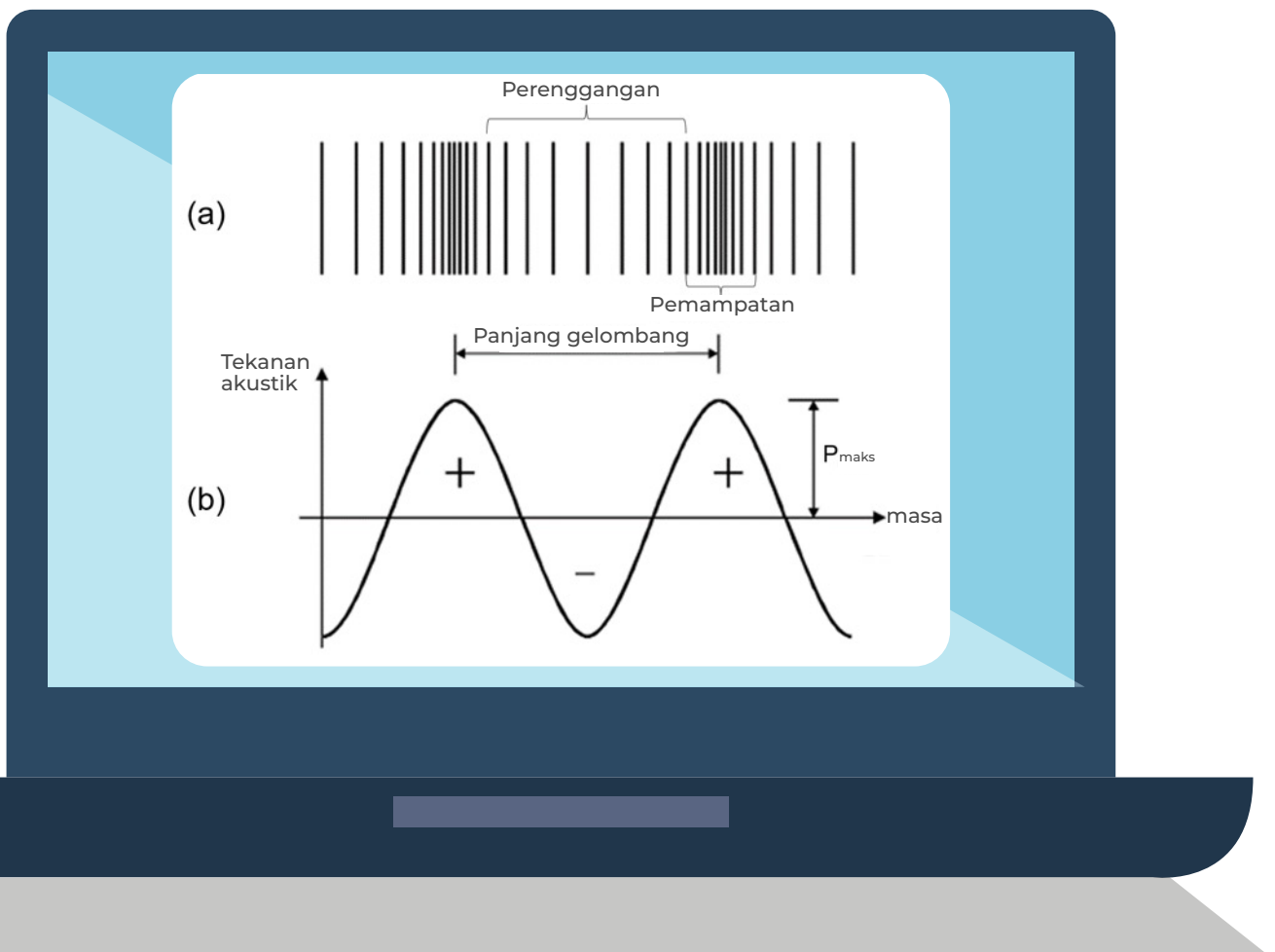
Bunyi merupakan sains berkaitan pergerakan gelombang. Gelombang ialah gangguan atau perubahan pada sifat fizikal sesuatu medium yang dirambat melalui medium tersebut. Ciri-ciri penting yang mesti ada pada medium yang boleh merambat gelombang bunyi ialah keanjalan dan inersia (jisim). Gelombang bunyi boleh merambat melalui pepejal, cecair dan gas, tetapi tidak boleh merambat melalui medium vakum.

Secara teknikal, sensasi bunyi terhasil daripada ayunan tekanan, tegasan, sesaran zarah dan halaju zarah dalam mana-mana medium anjal yang menghubungkan sumber bunyi dengan telinga. Apabila bunyi dihantar melalui udara, ia biasanya diterangkan sebagai perubahan tekanan yang berselang-seli antara paras tinggi dan paras rendah tekanan atmosfera. Perubahan tekanan ini terhasil apabila objek yang bergetar (iaitu sumber bunyi) menghasilkan kawasan tekanan tinggi (mampatan) dan tekanan rendah (perenggangan) secara berselang-seli yang bergerak keluar dari sumber bunyi.

Ciri-ciri sesuatu bunyi bergantung pada kadar getaran sumber bunyi, amplitud getaran tersebut, dan ciri-ciri medium pengalir bunyi. Sesuatu bunyi mungkin mempunyai satu kadar pengulangan mampatan dan pengembangan (frekuensi), namun kebanyakan bunyi mengandungi pelbagai komponen frekuensi. Setiap komponen atau jalur frekuensi bunyi ini mungkin mempunyai amplitud yang berbeza.

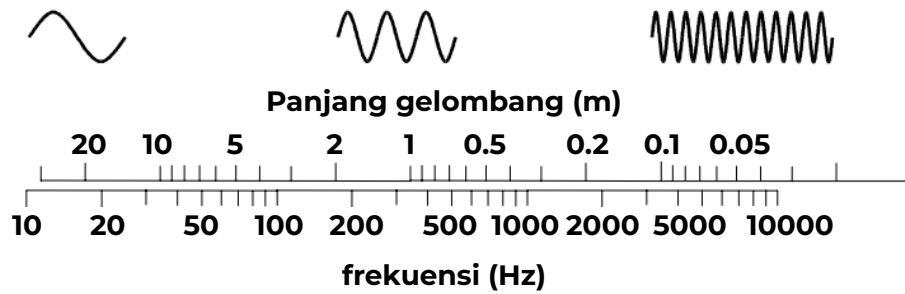
3.1.1 Frekuensi Bunyi

Frekuensi ditakrifkan sebagai kadar gelombang bunyi yang dihasilkan daripada sumbernya. Secara fizikal, frekuensi bunyi diukur dengan bilangan ayunan tekanan sesaat yang berlaku antara paras tinggi dan paras rendah tekanan atmosfera (**Rajah 3.1**). Frekuensi dilambangkan dengan simbol f dan diukur dalam unit Hertz (Hz), dengan $1 \text{ Hz} = 1 \text{ kitaran/saat}$. Frekuensi berkait secara songsang dengan tempoh masa (T), iaitu masa (dalam saat) yang diperlukan oleh gelombang bunyi untuk melengkapkan satu kitaran. Julat frekuensi bunyi yang boleh didengar oleh manusia normal yang masih muda pada paras bunyi sederhana ialah antara 20 Hz hingga 20,000 Hz. 'Pic' atau 'nada' ialah sensasi yang berkait rapat dengan frekuensi.



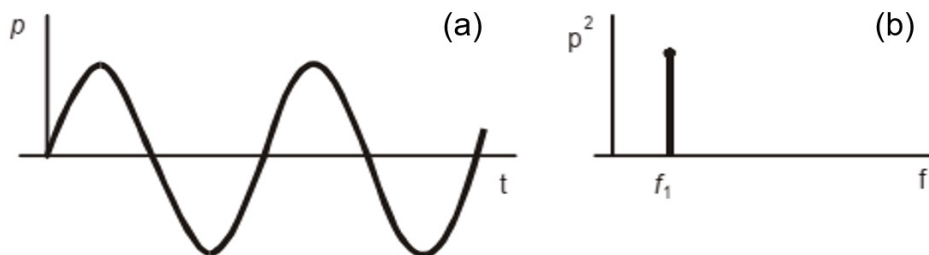
Rajah 3.1: Gambaran gelombang bunyi, (a) Pemampatan dan perenggangan gelombang bunyi dalam udara; (b) Gambaran grafik bagi variasi tekanan melebihi dan di bawah tekanan atmosfera.

Sesuatu bunyi mungkin terdiri daripada satu frekuensi tunggal (iaitu nada tulen). Bagaimana pun, kebanyakan bunyi biasa mengandungi pelbagai komponen frekuensi. Secara umumnya, adalah mustahil untuk melaporkan ciri-ciri bagi semua frekuensi yang dihasilkan daripada sumber bunyi. Oleh itu, pengukuran dilakukan dengan mengambil kira tenaga bunyi daripada julat frekuensi yang luas. Panjang gelombang bunyi adalah berkadar songsang dengan frekuensi bunyi (**Rajah 3.2**). Frekuensi tinggi mewakili panjang gelombang yang pendek, manakala frekuensi rendah mewakili panjang gelombang yang besar.



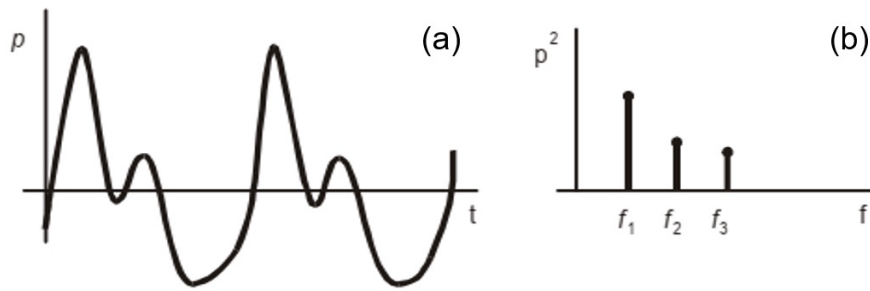
Rajah 3.2: Panjang gelombang udara berbanding frekuensi

Gelombang sinus tulen dihasilkan apabila gelombang bunyi bergerak secara gerakan harmonik ringkas. Perambatan seperti ini dicirikan oleh satu frekuensi tunggal. Gerakan tersebut serta spektrum yang sepadan digambarkan dalam **Rajah 3.3 (a)** dan **Rajah 3.3 (b)**.



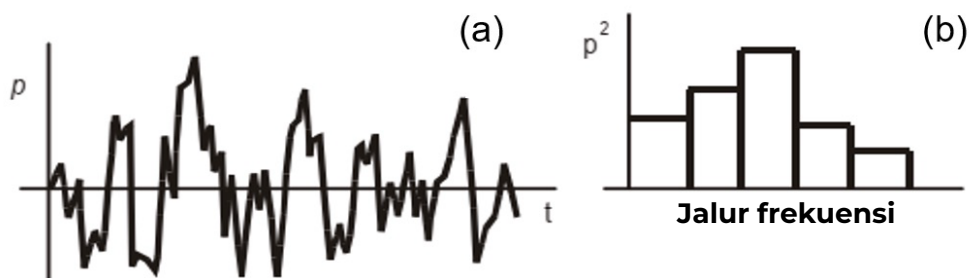
Rajah 3.3: (a) Gelombang tekanan, p berubah secara sinus dengan masa; **(b)** t pada frekuensi tunggal, f_1

Jika gelombang bunyi bergerak secara tidak sekata tetapi berkala, contohnya menghasilkan bentuk gelombang seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 3.4 (a)**, medan bunyi yang terhasil akan terdiri daripada gabungan gelombang sinusoid pada beberapa frekuensi. Taburan spektrum (frekuensi) bagi tenaga dalam gelombang bunyi ini ditunjukkan oleh spektrum frekuensi dalam **Rajah 3.4 (b)**. Oleh kerana gelombang berkalar, spektrum tersebut terdiri daripada satu set frekuensi diskret.



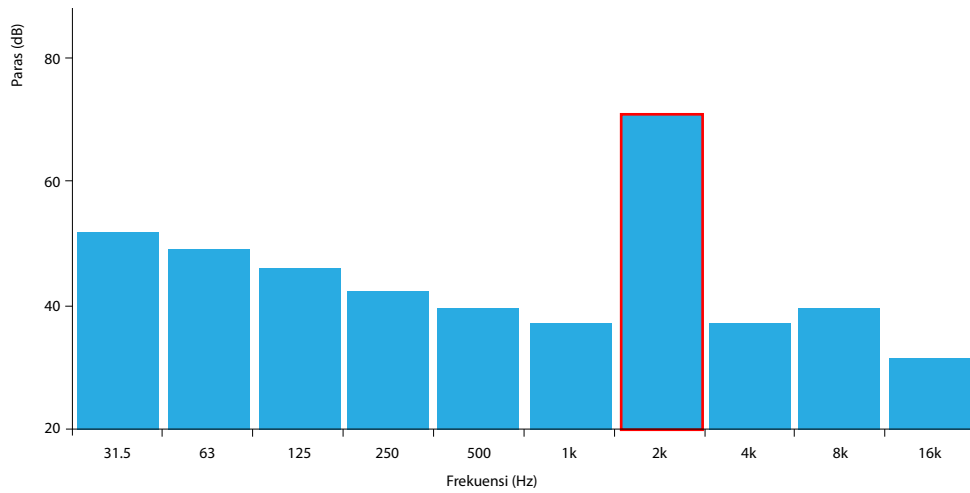
Rajah 3.4: (a) Gelombang tekanan, p berubah secara berkala dengan masa; (b) t sebagai gabungan tiga gelombang sinusoidal dengan amplitud dan fasa relatif yang tetap; spektrum yang berkaitan mengandungi tiga komponen frekuensi tunggal f_1 , f_2 dan f_3

Walaupun sesetengah sumber bunyi mempunyai komponen frekuensi tunggal, kebanyakan sumber bunyi menghasilkan bentuk gelombang tekanan mengikut masa yang sangat tidak teratur dan rawak, seperti yang digambarkan dalam **Rajah 3.5 (a)**. Gelombang seperti ini tidak mempunyai komponen berkala, namun melalui analisis Fourier, bentuk gelombang yang terhasil dapat diwakili sebagai himpunan gelombang pada semua frekuensi. Bagi gelombang tekanan bunyi jenis rawak, nilai kuasa dua dalam jalur frekuensi tertentu akan diplotkan seperti yang ditunjukkan dalam spektrum frekuensi **Rajah 3.5 (b)**.

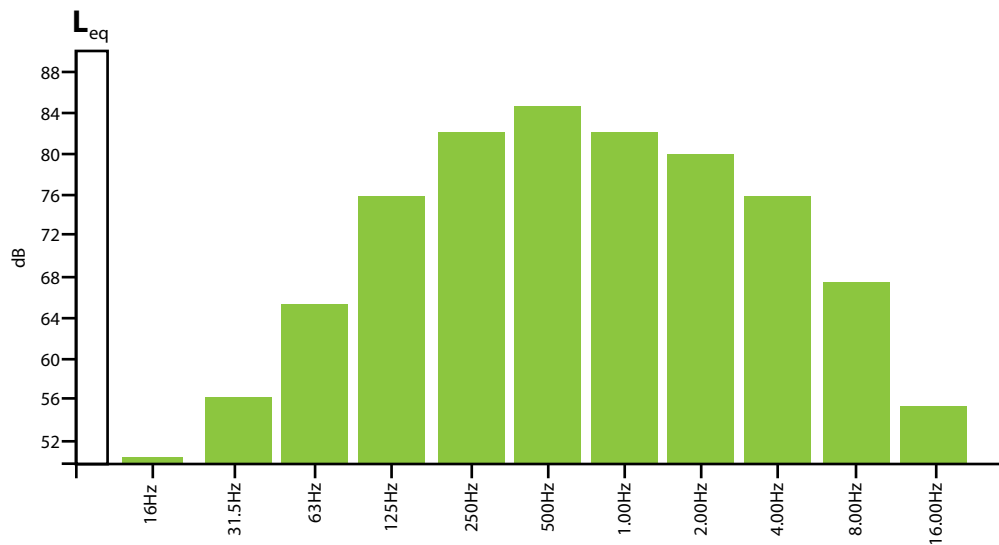


Rajah 3.5 (a) Gelombang tekanan, p berubah secara tidak menentu mengikut masa; (b) t dengan spektrum jalur frekuensi

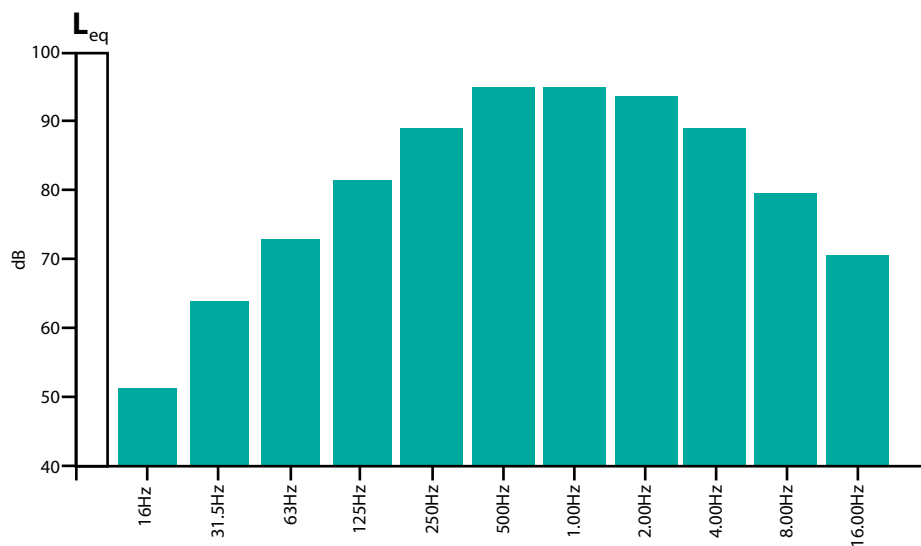
Rangkaian pemberat frekuensi telah diseragamkan untuk penilaian tunggal bunyi yang mempunyai ciri-ciri serupa dengan tindak balas telinga manusia. Selain daripada pemberat jalur lebar ini, julat frekuensi dalam akustik sering dibahagikan kepada julat yang lebih kecil. Julat frekuensi piawai ialah jalur oktaf satu per satu, di mana sempadan atas jalur tersebut adalah dua kali ganda frekuensi sempadan bawahnya (**Rajah 3.6 (a-c)**). Jalur satu per tiga oktaf (iaitu, tiga jalur digunakan untuk mengukur satu oktaf) dan jalur sempit juga digunakan.



Rajah 3.6 (a): Contoh jalur 1/1 oktaf bermula pada 31.5 Hz hingga 16 kHz dengan paras bunyi yang berbeza pada setiap jalur oktaf. Jalur oktaf 2 kHz menunjukkan amplitud paras bunyi yang dominan.



Rajah 3.6 (b): Contoh jalur oktaf 1/1 bagi generator diesel.



Rajah 3.6 (c): Contoh jalur oktaf 1/1 bagi pendingin udara.

3.1.2 Panjang Gelombang Bunyi

Jarak yang dilalui oleh gelombang bunyi dalam satu kitaran tekanan bunyi dikenali sebagai panjang gelombang (λ). Panjang gelombang berkait dengan laju bunyi (c) dan frekuensinya (f) seperti berikut:

$$\text{Panjang gelombang, } \lambda = \frac{c}{f}$$

Di mana;

- λ : panjang gelombang dalam meter (m)
- c : kelajuan bunyi dalam meter per saat (m/s)
- f : frekuensi dalam Hertz (Hz)

Untuk kebanyakan aplikasi kawalan bising bagi tujuan pemuliharaan pendengaran, adalah mencukupi untuk menganggarkan bahawa bunyi bergerak di udara pada kelajuan lebih kurang 344 m/s pada tekanan atmosfera normal dan pada suhu bilik.

Contoh 1:

Kira panjang gelombang bagi gelombang bunyi dengan frekuensi 20 Hz, 1,000 Hz dan 20,000 Hz.

Jawapan:

- 1 20 Hz, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344 \text{ m/s}}{20/\text{s}} = 17.2 \text{ m}$
- 2 1,000 Hz, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344 \text{ m/s}}{1,000/\text{s}} = 0.344 \text{ m}$
- 3 20,000 Hz, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344 \text{ m/s}}{20,000/\text{s}} = 0.017 \text{ m}$

Apabila mempertimbangkan sifat bunyi, salah satu ciri penting ialah nisbah antara panjang objek yang terkesan oleh bunyi dengan panjang gelombang bunyi tersebut. Keberkesanan sesuatu penghadang dalam melindungi satu bahagian daripada sumber bunyi di bahagian yang lain bergantung kepada perbezaan laluan antara yang mengelilingi penghadang dan jarak garis lurus, dalam bentuk bilangan panjang gelombang.

3.1.3 Tekanan Bunyi dan Paras Tekanan Bunyi

Apabila sesuatu sumber bunyi bergetar, ia menyebabkan perubahan kecil dalam tekanan udara di sekeliling (iaitu, di atas dan di bawah) tekanan atmosfera ambien. Perubahan kecil dalam tekanan udara ini dikenali sebagai 'tekanan bunyi'. Tekanan atmosfera (iaitu 1 atmosfera) = 1.013×10^5 pascal (Pa) atau 1.013×10^5 N/m². Jika dibandingkan secara langsung, magnitud tekanan bunyi berbanding tekanan udara adalah sangat kecil, sehingga boleh diabaikan. Sebagai contoh, tekanan bunyi yang dihasilkan daripada pertuturan biasa pada jarak 1 meter daripada penutur adalah secara purata sekitar 0.1 Pa, iaitu satu per sejuta daripada satu atmosfera.

Julat tekanan bunyi relevan kepada pendengaran manusia dan lazimnya pengukuran adalah sangat luas. Tekanan bunyi yang jauh melebihi ambang kesakitan telinga adalah sekitar 20 Pa dan boleh didapati di sesetengah persekitaran kerja. Sementara itu, tekanan bunyi serendah ambang pendengaran adalah sekitar 20 μ Pa (mikropascal). Oleh itu, julat pendedahan tekanan bunyi biasa melebihi 10^6 Pa. Julat ini tidak dapat diskalakan secara linear menggunakan alat pengukur yang praktikal tanpa menjejaskan ketepatan yang diingini pada hujung julat rendah dan tinggi. Ini kerana untuk menunjukkan "perbezaan yang hampir tidak dapat dikesan" dalam tekanan bunyi oleh pendengaran dalam persekitaran yang bising memerlukan skala yang panjang.

Oleh itu, bagi menampung julat unit tekanan bunyi yang luas ini, satu skala pembahagian logaritma digunakan, yang lebih hampir menyerupai tindak balas telinga manusia. Singkatan dB digunakan dengan gabungan huruf kecil dan besar, iaitu "d" mewakili desi dan "B" mewakili Bell, sebagai penghormatan kepada Alexander Graham Bell. Unit ukuran ini mula-mula diperkenalkan di Bell Laboratories (Amerika Syarikat) bagi memudahkan pengiraan yang melibatkan kehilangan isyarat dalam talian telefon yang panjang.

Secara definisi, desibel ialah unit tanpa dimensi. Desibel merupakan logaritma asas 10 bagi nisbah antara suatu kuantiti yang diukur dengan kuantiti rujukan, apabila kedua-dua kuantiti tersebut berkadar dengan kuasa. Desibel kadangkala sukar digunakan dan difahami kerana sering digunakan dengan pelbagai kuantiti rujukan yang berbeza. Keamatan akustik, kuasa akustik, ambang pendengaran, voltan elektrik, arus elektrik, kuasa elektrik dan paras kuasa bunyi semuanya boleh dinyatakan dalam unit desibel (setiapnya dengan nilai rujukan yang berbeza). Jelas sekali, desibel tidak mempunyai makna melainkan kuantiti rujukan tertentu dinyatakan atau difahami. Setiap kali istilah 'paras' digunakan dalam bidang akustik, ia secara implisit merujuk kepada unit desibel.

Kebanyakan alat pengukur bunyi ditentukan untuk memberikan bacaan yang dikenali sebagai punca min kuasa dua atau RMS bagi tekanan bunyi pada skala logaritma dalam unit desibel. Bacaan desibel yang diperoleh daripada alat sedemikian dikenali sebagai paras tekanan bunyi (L_p). Istilah 'paras' digunakan kerana tekanan yang diukur berada pada satu paras tertentu melebihi nilai rujukan tekanan yang ditetapkan.

Bagi pengukuran bunyi dalam udara, nilai 0.00002 Pa lazimnya digunakan sebagai tekanan bunyi rujukan. Nilai rujukan ini merupakan satu tekanan yang ditetapkan secara arbitrari sejak sekian lama kerana nilai tersebut hampir menyamai ambang pendengaran normal bagi manusia muda pada frekuensi 1,000 Hz. Oleh kerana gendang telinga bertindak balas mengikut kadar keamatan (iaitu tenaga per unit masa per unit luas) gelombang bunyi, dan keamatan bunyi pula berkadar dengan kuasa dua tekanan bunyi, maka paras tekanan bunyi dikira berdasarkan kuasa dua tekanan bunyi. Secara matematik, paras tekanan bunyi, L_p , ditulis seperti berikut:

$$\begin{aligned}L_p &= 10 \log \left(\frac{P}{P_r} \right)^2 \\ &= 20 \log \left(\frac{P}{P_r} \right)\end{aligned}$$

Di mana;

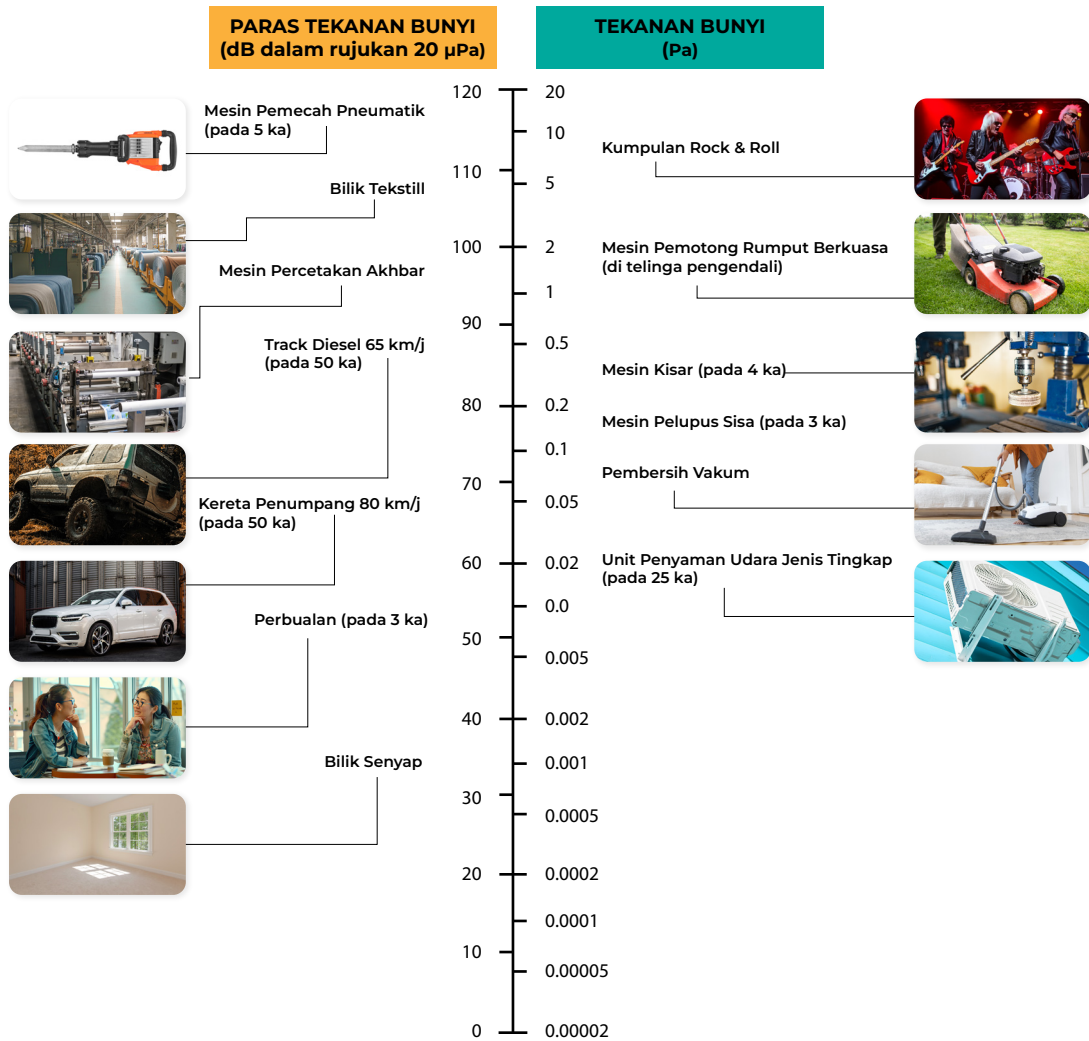
P : tekanan bunyi sebenar yang diukur

P_r : tekanan bunyi rujukan

Semasa menggunakan persamaan ini, nilai P dan P_r mestilah dalam unit yang sama.

Penggunaan bentuk ini untuk menyatakan paras tekanan bunyi boleh mengaburi hakikat bahawa paras bunyi merupakan nisbah antara kuantiti yang bersamaan dengan kuasa. Untuk tujuan teknikal, L_p hendaklah sentiasa dinyatakan dalam unit desibel yang dirujuk kepada tekanan bunyi rujukan yang disarankan, iaitu 20 μPa .

Rajah 3.7 menunjukkan hubungan antara tekanan bunyi (dalam pascal) dan paras tekanan bunyi (dalam dB dengan rujukan 20 μPa). Gambar rajah ini menggambarkan kelebihan penggunaan skala desibel berbanding julat ukuran tekanan secara langsung yang luas. Penting untuk difahami bahawa apa-apa pertambahan dua kali ganda dalam tekanan bunyi adalah setara dengan perubahan sebanyak 6 dB pada paras tekanan bunyi. Contohnya, julat antara 20 hingga 40 μPa , atau antara 1 hingga 2 Pa, seperti yang mungkin ditemui dalam pengukuran pendengaran, masing-masing mewakili julat 6 dB. Pengukuran dalam unit desibel membolehkan ketepatan yang munasabah untuk paras tekanan bunyi yang rendah mahupun tinggi.



Rajah 3.7: Hubungan antara tekanan bunyi (dalam pascals) dan paras tekanan bunyi (dalam dB dengan rujukan 20 µPa)

3.1.4 Keamatan Bunyi dan Paras Keamatan Bunyi

Keamatan bunyi pada mana-mana lokasi tertentu boleh ditakrifkan sebagai purata tenaga akustik per unit masa yang melalui satu unit keluasan yang normal kepada arah perambatan gelombang. Bagi gelombang bunyi yang berbentuk sfera atau bebas merambat, keamatan bunyi boleh dinyatakan seperti berikut:

$$\text{Keamatan Bunyi, } I = \frac{p^2}{\rho c}$$

Di mana;

p : tekanan bunyi RMS

ρ : ketumpatan medium

c : kelajuan bunyi dalam medium

Unit keamatan bunyi merangkumi julat yang luas, dan oleh itu, adalah lebih praktikal untuk menggunakan paras desibel bagi memampatkan skala pengukuran. Bagi memastikan keseragaman, paras keamatan bunyi, L_I , ditakrifkan sebagai:

$$\text{Paras Keamatan Bunyi, } L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_r} \right)$$

Di mana;

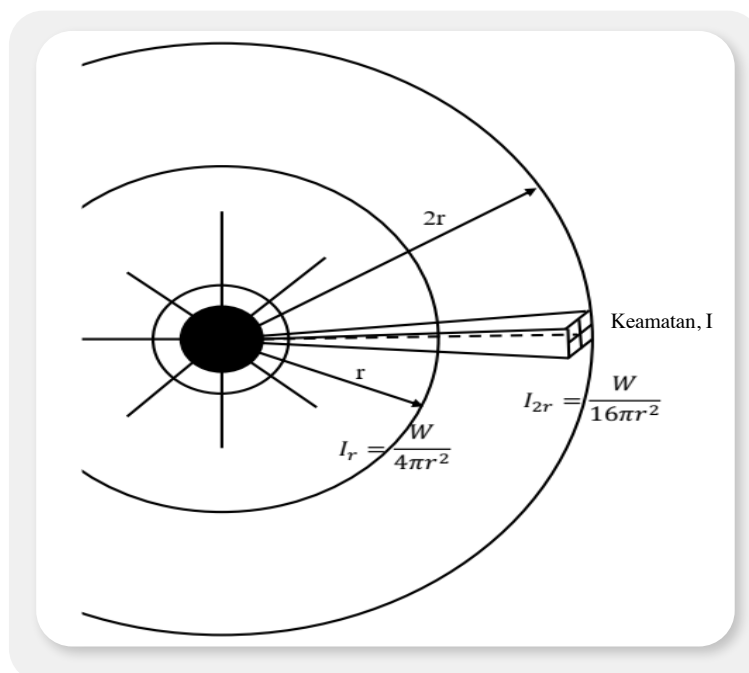
I : ukuran keamatan bunyi sebenar pada jarak tertentu dari sumber

I_r : keamatan bunyi rujukan, biasanya, 10^{-12} Watt/m²

Dalam udara, keamatan bunyi rujukan ini hampir bersamaan dengan tekanan bunyi rujukan sebanyak 20 μ Pa yang digunakan bagi pengiraan paras tekanan bunyi. Oleh itu, L_I adalah sama dengan L_p .

3.1.5 Kuasa Bunyi dan Paras Kuasa Bunyi

Pertimbangkan sebuah objek bergetar yang tergantung di udara seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 3.8**. Getaran ini akan menghasilkan gelombang tekanan bunyi yang merambat menjauhi sumber, dengan kekuatan bunyi berkurang sebanyak 6 dB apabila jarak dari sumber digandakan. Kuasa bunyi yang dihasilkan oleh sumber ini adalah tidak bergantung kepada persekitarannya, tetapi tekanan bunyi di sekitar sumber tersebut adalah berbeza.



Rajah 3.8: Objek berdenyut yang tergantung di udara (iaitu medan bebas)

Kuasa bunyi, yang diwakilkan dengan W digunakan untuk menerangkan sumber bunyi dari segi jumlah tenaga akustik yang dihasilkan dalam satu unit masa (Watt). Kuasa bunyi berkait dengan purata keamatan bunyi yang dihasilkan dalam keadaan medan bebas pada jarak r dari sumber titik seperti berikut:

$$\text{Kuasa Bunyi, } W = I_{avg} 4\pi r^2$$

Di mana;

I_{avg} : purata keamatan bunyi pada jarak r dari sumber bunyi yang kuasa bunyi adalah W .

Kuantiti $4\pi r^2$ ialah luas permukaan sfera yang mengelilingi sumber, yang menjadi asas keamatan bunyi dipuratakan. Keamatan bunyi berkurang mengikut kuasa dua jarak dari sumber, justeru membawa kepada hukum songsang kuasa dua yang terkenal.

Unit bagi kuasa bunyi juga biasanya diberikan dalam bentuk paras desibel disebabkan julat kuasa yang sangat luas dalam aplikasi praktikal. Untuk penyeragaman, paras kuasa bunyi, L_w ditakrifkan sebagai:

$$\text{Paras Kuasa Bunyi, } L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_r} \right)$$

Dengan memilih luas permukaan rujukan, S_r sebanyak 1 m^2 , ungkapan yang mudah untuk paras kuasa bunyi, L_w diperolehi seperti berikut:

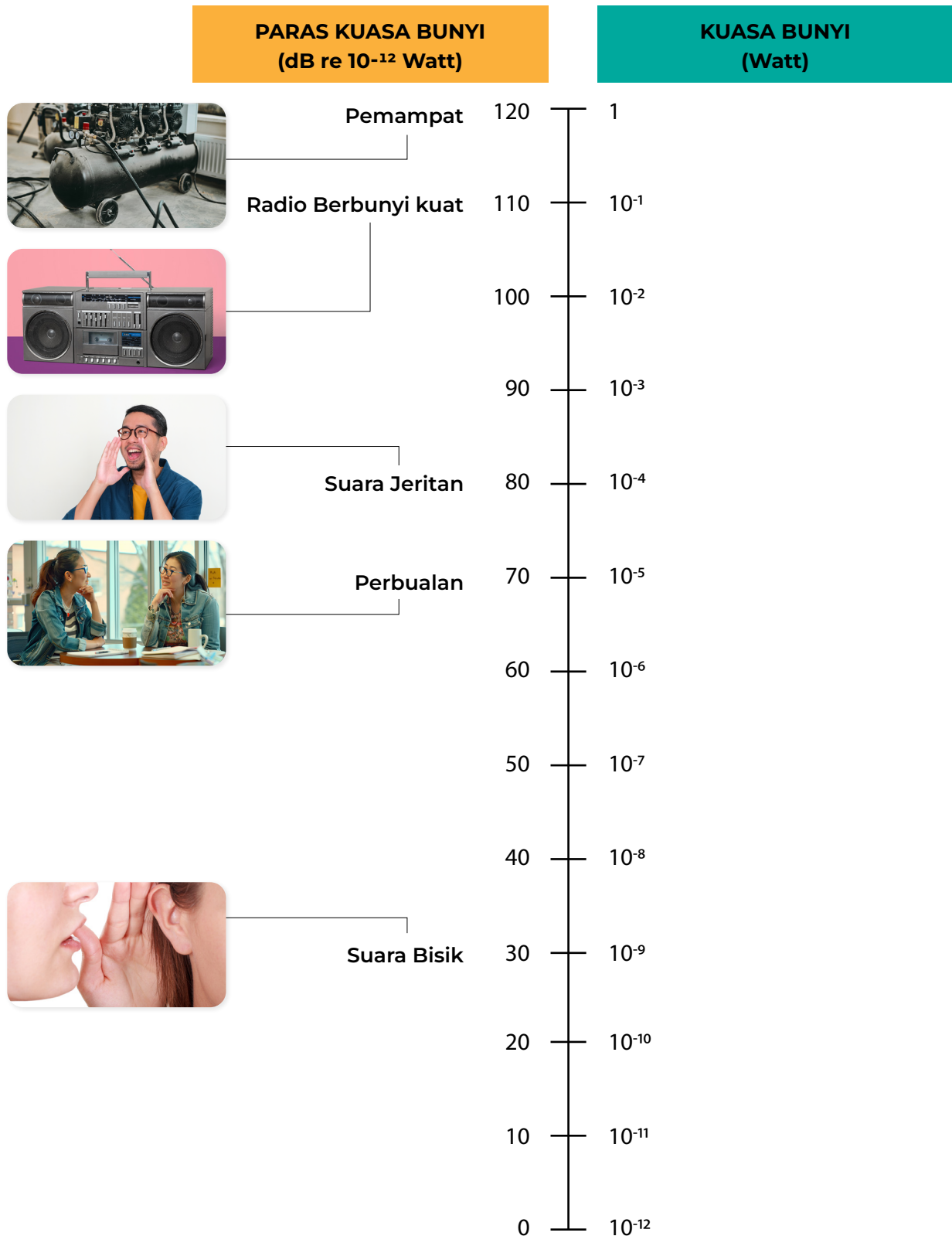
$$\begin{aligned} \frac{W}{W_r} &= \frac{I_{avg} 4\pi r^2}{I_r S_r} = \frac{I_{avg}}{I_r} \times \frac{4\pi r^2}{S_r} \\ 10 \log \left(\frac{W}{W_r} \right) &= 10 \log \left(\frac{I_{avg}}{I_r} \right) + 10 \log \left(\frac{4\pi r^2}{S_r} \right) \\ L_w &= L_I + 10 \log \frac{4\pi r^2}{S_r} \end{aligned}$$

di mana;

W : kuasa bunyi sumber dalam unit Watt ($1 \text{ Watt} = 1 \text{ N.m/s}$)

W_r : kuasa bunyi rujukan iaitu 10^{-12} Watt.

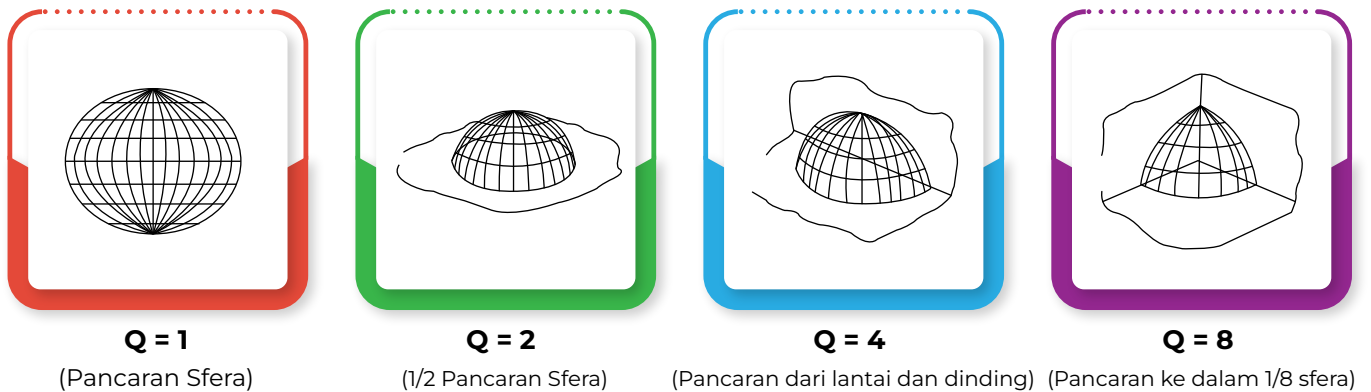
Rajah 3.9 menunjukkan hubungan antara kuasa bunyi dalam Watt dan paras kuasa bunyi dalam dB dengan rujukan 10^{-12} Watt. Perlu diambil perhatian bahawa jarak mesti dinyatakan atau dianggarkan untuk menentukan paras tekanan bunyi daripada kuasa bunyi. Persamaan di atas digunakan bagi meramalkan paras tekanan bunyi jika paras kuasa bunyi sesuatu sumber diketahui, dan persekitaran akustik diketahui atau boleh dianggarkan.



Rajah 3.9: Hubungan antara paras kuasa bunyi dan kuasa bunyi.

Dalam medan bebas (tanpa permukaan untuk memantulkan gelombang bunyi), bunyi tersebar keluar dari sumber dan kehilangan kuasa mengikut kuasa dua jarak. Lazimnya, wujud permukaan pantulan atau sumber bunyi tidak bersifat berbagai arah (omnidirectional). Dengan adanya permukaan pantulan, ia akan meningkatkan keamatan bunyi kerana isipadu pancaran bunyi dikurangkan.

Faktor keterarahan (Q) ialah kuantiti tanpa dimensi yang digunakan untuk menerangkan nisbah isipadu isipadu sfera yang mempunyai jejari yang sama seperti ditunjukkan dalam **Rajah 3.10**.



Rajah 3.10: Faktor keterarahan (Q)

Lokasi sumber bunyi akan menyumbang pada paras tekanan bunyi yang berbeza seperti yang ditunjukkan dalam **Jadual 3.1**.

Jadual 3.1: Hubungan antara faktor keterarahan dan paras tekanan bunyi (L_p)

Kedudukan Sumber	Q	L_p pada 1 meter
Dalam udara	1	X dBA
Di atas lantai keras	2	X + 3 dBA
Berdekatan dinding keras	4	X + 6 dBA
Di penjuru	8	X + 9 dBA

Selain itu, hukum songsang kuasa dua boleh digunakan untuk meramalkan paras tekanan bunyi, L_p pada jarak berbeza, r daripada sumber titik yang mempunyai kuasa bunyi, W (atau paras kuasa bunyi, L_w) dalam medan bebas tanpa mengambil kira faktor pengarah dalam udara, iaitu $Q = 1$, iaitu tanpa permukaan pantulan, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Paras Tekanan Bunyi, } L_p = L_w - 20 \log r - 11$$

Contoh 2:

Pengukuran paras tekanan bunyi dilakukan pada beberapa kedudukan di sekeliling motor elektrik dalam bilik tak bergema (bilik ujian khusus/khas dengan permukaan menyerap bunyi sepenuhnya, yang menyediakan keadaan ujian medan bebas). Enam kedudukan pengukuran dipilih, setiapnya pada jarak dua (2) meter dari motor: empat di satah mendatar motor (yang diletakkan di tengah bilik) pada titik kompas (Utara (N), Selatan (S), Timur (E) dan Barat (W)) serta satu secara menegak di atas dan di bawah motor (kedudukan A dan B).

Paras tekanan bunyi (semuanya dalam jalur oktaf yang sama) adalah: N 80 dB, S 78 dB, E 76 dB, W 82 dB, A 74 dB dan B 84 dB. Kira paras kuasa bunyi bagi jentera tersebut.

Jawapan:

Pertama, adalah perlu untuk mengira purata logaritma bagi enam paras tekanan bunyi tersebut:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{(10^{7.4} + 10^{7.6} + 10^{7.8} + 10^{8.0} + 10^{8.2} + 10^{8.4})}{6} \right] = 80.3 \text{ dB}$$

Paras kuasa bunyi boleh diperoleh dengan menggunakan purata tekanan bunyi pada dua (2) meter dan formula hukum songsang kuasa dua seperti berikut:

$$\begin{aligned} 80.3 &= L_w - 20 \log (2) - 11 \\ L_w &= 97.3 \text{ dB} \end{aligned}$$

3.1.6 Hubungan Antara Kuasa Bunyi, Keamatan Bunyi dan Tekanan Bunyi

Penyelesaian masalah kawalan kebisingan memerlukan pengetahuan praktikal berkenaan hubungan antara tekanan bunyi, keamatan bunyi dan kuasa bunyi. Sebagai contoh, pertimbangkan ramalan paras tekanan bunyi yang akan terhasil di sekeliling lokasi cadangan jentera berdasarkan paras kuasa bunyi yang diberikan oleh jentera tersebut.

Contoh 3:

Pengilang sesetengah jentera menyatakan jentera ini mempunyai output kuasa akustik 1 Watt. Jentera tersebut dijangka boleh dipasang di atas lantai bilik kerja kilang. Jangkakan paras tekanan bunyi di lokasi 10 meter dari jentera itu. Ketumpatan medium udara adalah 1.18 kg/m^3 dan kelajuan bunyi dalam medium udara adalah 344 m/s .

Jawapan:

Bagi sumber berbagai arah (omnidirectional) dalam medan bebas, dengan mengambil $I = I_{avg}$, tekanan bunyi adalah seperti berikut:

$$p = (I_{avg} \rho c)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{W \rho c}{4\pi r^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$p = \left(\frac{(1 \text{ N m/s}) \times (1.18 \text{ kg/m}^3) \times (344 \text{ m/s})}{4\pi \times (10 \text{ m})^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.57 \text{ N/m}^2$$

Bagaimana pun, memandangkan sumber sebenarnya terletak di atas lantai ($Q = 2$), pantulan akan menggandakan tekanan bunyi dan menghasilkan tekanan bunyi sebenar sebanyak 1.14 N/m^2 . Oleh itu, paras tekanan bunyi yang dianggarkan adalah:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{1.14}{0.00002} \right)^2 = 95.1 \text{ dB}$$

Diakui, terdapat hanya sedikit situasi medan bebas yang benar-benar wujud dan hanya sedikit sumber bunyi yang benar-benar bersifat berbagai arah (omnidirectional).

Oleh itu, pengiraan di atas hanya dapat memberikan anggaran kasar bagi nilai mutlak paras tekanan bunyi. Walau bagaimanapun, perbandingan atau susunan kedudukan pelbagai jentera masih boleh dibuat, dan sekurang-kurangnya anggaran kasar paras tekanan bunyi dapat diperolehi. Paras bising di lokasi yang bergema atau mempunyai banyak permukaan pantulan dijangka lebih tinggi daripada nilai yang diramalkan kerana bunyi bising dipantulkan semula ke titik pengukuran.

3.1.7 Pemberat Frekuensi

Telinga manusia tidak mempunyai kepekaan yang sama terhadap bunyi pada frekuensi yang berbeza. Oleh itu, peralatan pengukuran bunyi perlu mengambil kira perbezaan kepekaan ini dalam julat frekuensi boleh dengar. Untuk tujuan ini, rangkaian pemberat frekuensi melalui penapis pemberat frekuensi telah diperkenalkan. Paras tekanan bunyi akan dikurangkan atau ditambah bergantung kepada frekuensi sebelum dijumlahkan untuk memberikan paras bunyi keseluruhan. Dua jenis rangkaian pemberat piawai yang lazim digunakan ialah pemberat "A" dan "C", yang dicadangkan untuk mengaitkan tindak balas frekuensi telinga manusia terhadap paras bunyi yang berbeza seperti yang dinyatakan dalam IEC 60651. **Jadual 3.2** menunjukkan pelemahan yang diberikan oleh pemberat A dan C.

Jadual 3.2: Ciri pemberat frekuensi bagi rangkaian A dan C.

Frekuensi Hz	Pemberat, dB	
	A	C
31.5	-39	-3
63	-26	-1
125	-19	0
250	-9	0
500	-3	0
1,000	0	0
2,000	1	0
4,000	1	-1
8,000	-1	-3

Apabila rangkaian pemberat frekuensi digunakan, paras bising yang diukur ditunjukkan secara khusus sebagai dB(A) atau dB(C). Sekiranya paras bunyi diukur tanpa menggunakan rangkaian pemberat frekuensi, maka semua frekuensi bunyi akan menyumbang secara sama rata kepada jumlah tenaga bunyi yang diukur. Pengukuran fizikal tanpa ubahsuai ini adalah tidak begitu berguna bagi penaksiran risiko bising dan dirujuk sebagai paras tekanan bunyi linear atau tak berpemberat.

Paras tekanan bunyi keseluruhan diperoleh dengan menjumlahkan setiap paras tekanan bunyi dalam jalur oktaf tak berpemberat seperti yang dinyatakan dalam **Jadual 3.3**, menggunakan persamaan penambahan desibel seperti berikut:

Jadual 3.3: Contoh data meter paras bunyi

Frekuensi pusat jalur oktaf, Hz									
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
L_p , dB	70	81	89	101	103	93	83	77	74
Pemberat A	-39	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
L_{PA} , dB(A)	31	55	73	92	100	93	84	78	73

Oleh itu,

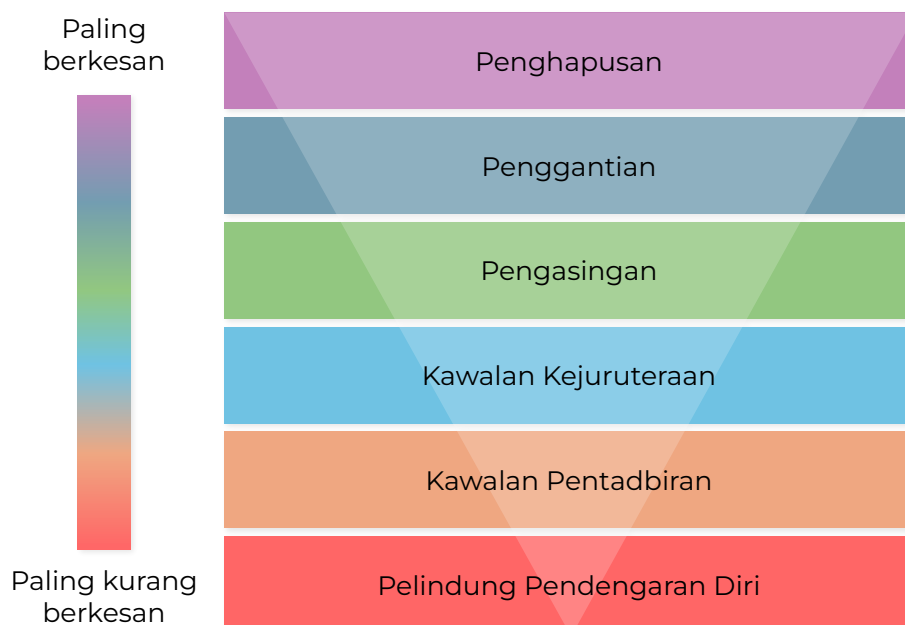
$$L_{PA} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{PA_i}}{10}} \right]$$

$$L_{PA} = 10 \log \left[10^{\frac{31}{10}} + 10^{\frac{55}{10}} + 10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{92}{10}} + 10^{\frac{100}{10}} + 10^{\frac{93}{10}} + 10^{\frac{84}{10}} + 10^{\frac{78}{10}} + 10^{\frac{73}{10}} \right]$$

$$L_{PA} = 101.4 \text{ dB(A)}$$

3.2 Kawalan Kebisingan - Konsep dan Prinsip Asas

Seperti dalam semua kawalan hazard, usaha kawalan kebisingan perlu dikendalikan mengikut hierarki strategi kawalan menggunakan paradigma segi tiga seperti dalam **Rajah 3.11**.

**Rajah 3.11:** Hierarki Kawalan Kebisingan

Bunyi bising daripada kebanyakan peralatan terutamanya, adalah terdiri daripada tenaga terbang. Oleh itu, selain faktor kecekapan, cara terbaik untuk mengurangkan bising adalah dengan menangani masalah pada punca bising. Secara amnya, pengurangan bising di punca juga memberikan paling banyak pilihan. Pengurangan di laluan pula biasanya melibatkan penambahan penghadang atau pengurangan peralatan tetapi juga mungkin termasuk penggunaan bahan penyerap bunyi. Pengurangan melebihi beberapa desibel sukar dicapai melalui pengubahsuaian ini.

Manakala, pengurangan bising pada penerima iaitu pekerja yang terkesan, dilaksanakan sama ada dengan memindahkan pekerja dari medan bunyi, menghadkan masa bekerja di kawasan tersebut, atau menggunakan pelindung pendengaran diri (PPD). PPD sangat bergantung kepada tingkah laku manusia yang konsisten untuk bekerja dengan baik, dan memerlukan komitmen serta penguatkuasaan pengurusan yang sangat kukuh. Oleh itu, PPD cenderung kurang berkesan.

Tambahan pula, PPD berada di kedudukan paling rendah dalam hierarki strategi kawalan kebisingan dan tidak seharusnya bergantung sebagai kaedah utama, sebaliknya ia harus dianggap sebagai kaedah terakhir untuk mengawal pendedahan bising, yang mana ia hanya digunakan sebagai langkah sementara atau tambahan. Penggunaan PPD bergantung pada situasi di mana langkah dengan hierarki yang lebih tinggi masih belum dilaksanakan atau telah dicuba dan terbukti tidak mencukupi, tidak berkesan, atau tidak praktikal.

3.3 Strategi Kawalan Kebisingan

Strategi kawalan bising selalunya lebih banyak tersedia untuk kemudahan dan produk baharu berbanding kemudahan dan produk sedia ada. Oleh itu, adalah lebih menjimatkan kos untuk melaksanakan kawalan kebisingan pada peringkat reka bentuk berbanding menunggu aduan atau penaksiran risiko bising bagi kemudahan yang telah siap dibina atau produk siap. Bagi kedua-dua kemudahan dan produk sedia ada serta yang baharu dicadangkan, satu bahagian penting dalam proses ini ialah mengenal pasti punca bising dan menyusun keutamaan berdasarkan sumbangan ke atas bising berlebihan. Apabila keperluan bagi kawalan kebisingan dikuantifikasikan dan punca-punca dikenal pasti serta disusun mengikut keutamaan, pelbagai pilihan kawalan boleh dipertimbangkan dan akhirnya keberkesanan kos bagi setiap pilihan boleh ditentukan.

Ramalan paras bising dan pengiraan kesan kawalan kebisingan dilakukan dalam jalur frekuensi oktaf. Secara amnya, analisis jalur oktaf memberikan keseimbangan yang memuaskan antara terlalu banyak atau terlalu sedikit perincian. Jika perincian spektrum yang lebih luas diperlukan, analisis jalur 1/3 oktaf selalunya mencukupi, walaupun analisis jalur yang lebih sempit (contohnya lebar jalur 1 Hz) berguna untuk mengenal pasti nada dan punca bising yang berkaitan.

Sebarang masalah bising boleh dihuraikan dari segi punca bunyi, laluan penghantaran dan penerima seperti yang ditunjukkan pada **Rajah 3.12**. boleh dilaksanakan dalam bentuk pengubahsuaian mana-mana satu atau kesemua elemen tersebut.



Rajah 3.12: Gambaran elemen dalam masalah bising

Satu pendekatan mudah ialah apabila punca seperti jentera yang menghasilkan bunyi bising yang sampai kepada penerima dalam bilik yang sama melalui tiga laluan berbeza: penghantaran terus melalui udara, penghantaran melalui udara selepas pantulan daripada permukaan bilik, dan penghantaran bunyi melalui struktur akibat getaran daripada jentera yang disalurkan melalui lantai atau dinding.

Apabila berdepan dengan masalah bising industri, pengurangan hazard boleh dicapai melalui beberapa cara yang disenaraikan seperti berikut menurut susunan keberkesannya:

1. Pada punca
 - Hapuskan hazard, bermaksud menyingkirkan secara fizikal
 - Menggantikan proses yang bising dengan yang lebih senyap
 - Mengurangkan hazard dengan reka bentuk teknologi senyap
2. Pada laluan penghantaran
 - Asingkan pekerja daripada hazard melalui penghadang fizikal atau peredam bunyi
3. Pada penerima
 - Ubah cara kerja pekerja dengan penggiliran keluar dari kawasan bising atau dengan memperkenalkan kaedah kerja yang lebih senyap
 - Menyediakan penyumbat telinga atau palam telinga

Apabila dipertimbangkan dari segi keberkesanan kos dan kebolehterimaan, pengubahsuaian pada punca adalah jauh lebih baik berbanding pengubahsuaian laluan penghantaran atau penerima. Namun dari sudut pandang lain, bagi kemudahan sedia ada, dua cara terakhir mungkin merupakan satu-satunya pilihan yang boleh dilaksanakan.

3.4 Prosedur Menyeluruh Kawalan Kebisingan

Cara menangani masalah bising pekerjaan adalah agak serupa dengan mana-mana kaedah pengawalan hazard di tempat kerja. Langkah kawalan yang sesuai termasuklah perubahan reka bentuk dan susun atur loji, penggantian kaedah kerja yang kurang berbahaya, pengurangan hazard di punca dan pengurangan hazard pada laluan penghantarannya. Sebelum ini telah terbukti penggunaan kaedah analisis berstruktur amat membantu agar tiada langkah kawalan dilaksanakan berdasarkan andaian semata-mata. Oleh itu, kaedah pendekatan yang disyorkan adalah menurut susunan seperti yang dihuraikan seperti berikut:

1. Perancangan loji
 - Reka bentuk
 - Susun atur
2. Penggantian
 - Peralatan
 - Proses
 - Bahan
3. Kawalan kejuruteraan
 - Penyerapan
 - Penebatan
 - Jarak
 - Penyenyap
 - Pengasingan getaran
 - Peredam

4.0 KAWALAN PERANCANGAN LOJI

4.1 Pengenalan

Seperti mana-mana hazard pekerjaan, teknologi kawalan seharusnya bertujuan untuk mengurangkan bunyi bising ke paras boleh terima melalui tindakan pada persekitaran kerja. Tindakan tersebut melibatkan pelaksanaan apa-apa langkah yang akan mengurangkan bising yang terjana, dan/atau akan mengurangkan penghantaran bunyi bising melalui udara atau melalui struktur di tempat kerja. Langkah-langkah ini termasuklah pengubahsuaian jentera, operasi tempat kerja, dan susun atur ruang kerja. Malah, pendekatan terbaik bagi kawalan hazard bising di persekitaran kerja, adalah dengan menghapuskan atau mengurangkan hazard pada punca penjanaannya, sama ada melalui tindakan terus pada punca atau dengan pengurungannya.

4.2 Pemasangan Sedia Ada dan Kemudahan

Dalam kemudahan sedia ada, pengkuantitian masalah bising melibatkan pengenalanpastian punca atau punca-punca, penentuan laluan penghantaran daripada punca kepada penerima, penyusunan mengikut tahap pelbagai penyumbang kepada masalah serta akhirnya penentuan penyelesaian yang boleh diterima.

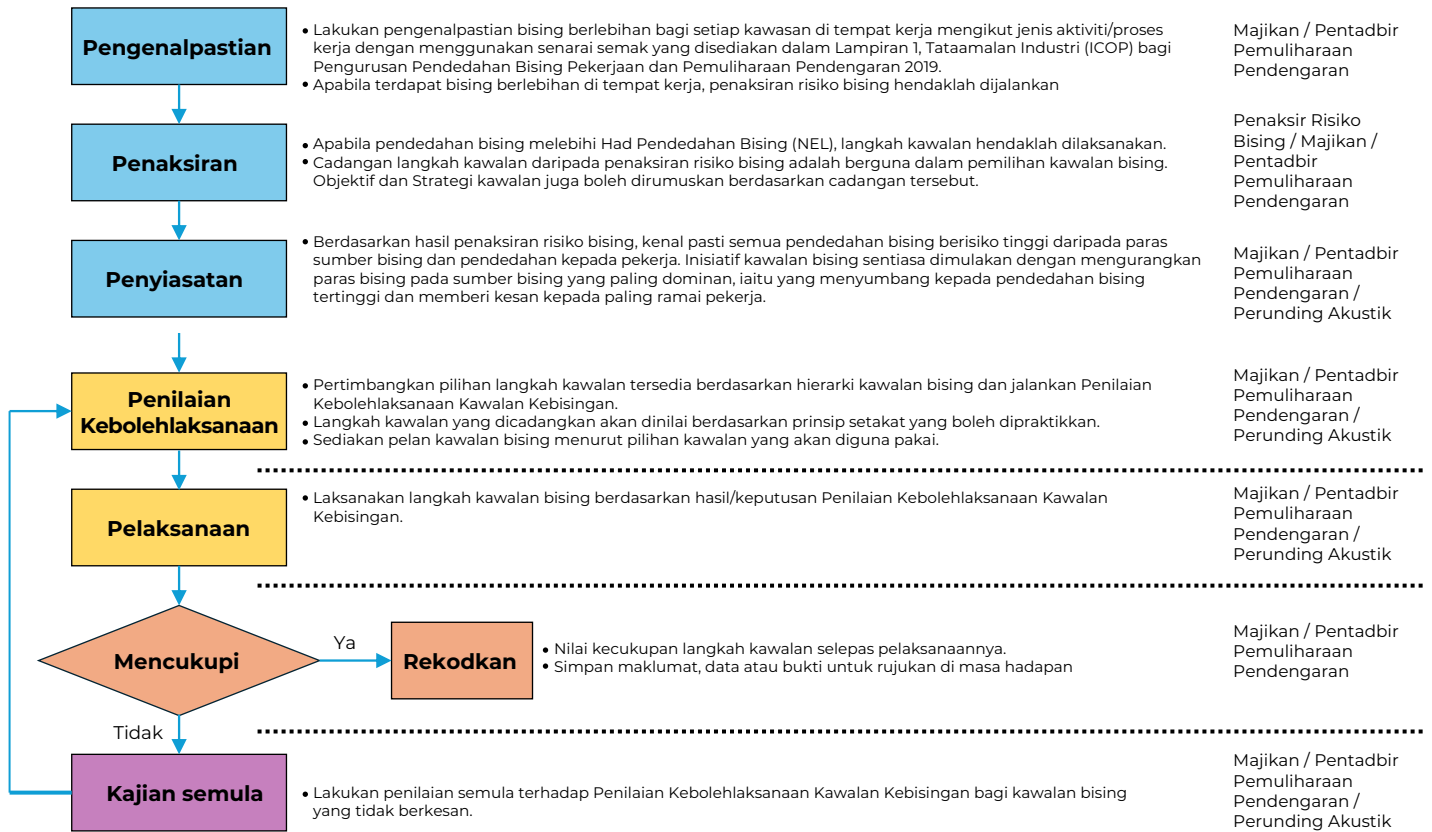
Sebagai permulaan, paras bising mesti ditentukan di lokasi-lokasi yang terdapat aduan. Apabila paras bising telah ditentukan, langkah seterusnya adalah untuk mengurangkan paras bising di bawah had pendedahan bising pada setiap lokasi serta menentukan pengurangan bising yang diperlukan, lazimnya berdasarkan fungsi jalur frekuensi oktaf satu per satu atau satu per tiga.

Setelah paras bising diukur melalui penaksiran risiko bising dan pengurangan yang diperlukan telah ditentukan, langkah seterusnya ialah mengenal pasti dan menyusun keutamaan punca-punca bunyi yang menyebabkan bising yang berlebihan. Punca-puncanya mungkin tidak ketara atau terlalu banyak, dan dalam keadaan ini, penyusunan mengikut keutamaan mungkin sama pentingnya dengan proses pengenalanpastian punca tersebut.

Selalunya punca bising adalah sama ada daripada permukaan yang bergetar atau aliran bendalir yang tak stabil (udara, gas atau stim). Punca yang terakhir ini dirujuk sebagai punca aerodinamik dan sering dikaitkan dengan ekzos. Dalam kebanyakan kes, adalah berbaloi untuk menentukan sumber tenaga yang menyebabkan struktur atau punca aerodinamik tersebut memancarkan bunyi, kerana kawalan paling berkesan bermula dari situ.

Apabila punca-punca bising telah disusun mengikut keutamaan berdasarkan sumbangan terhadap masalah bising secara keseluruhan, selalunya berguna untuk menyusun mengikut tindakan yang paling mudah diambil dan yang paling memberi kesan kepada ramai orang serta mengambil kira faktor ini apabila membuat keputusan punca yang perlu ditangani terlebih dahulu.

Majikan perlu mengikut proses kerja yang disyorkan bagi pelaksanaan kawalan bising ke atas kemudahan sedia ada seperti yang dinyatakan dalam **Rajah 4.1** untuk memastikan kebolehlaksanaan dan kecukupan, langkah tersebut.



Rajah 4.1: Proses kerja yang disyorkan untuk pelaksanaan kawalan kebisingan bagi kemudahan sedia ada

4.3 Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan Kebisingan

Berdasarkan penaksiran risiko yang dijalankan di tempat kerja, jika terdapat mana-mana pekerja yang terdedah kepada bising melebihi had pendedahan bising (NEL), majikan hendaklah mengambil langkah untuk mengurangkan paras bising. Majikan hendaklah membuat penilaian langkah yang boleh dipraktikkan untuk mengurangkan bising berlebihan sama ada melalui kaedah kawalan kejuruteraan atau kawalan pentadbiran menurut susunan seperti yang ditetapkan di bawah Peraturan 6 (4), Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerja (Pendedahan Bising) 2019 serta menyediakan laporan justifikasi.

4.3.1 Laporan Penilaian

Laporan perlu mengambil kira faktor-faktor berikut:

- a) Skala masalah bising dan kesannya kepada perniagaan (termasuk pekerja);
- b) Kos dan usaha yang diperlukan untuk mengurangkan pendedahan bising;
- c) Keberkesanan langkah-langkah kawalan yang dirancang; dan
- d) Bilangan individu yang akan mendapat faedah daripada semua langkah-langkah kawalan tersebut.

Laporan perlulah merangkumi pengenalan, skop penilaian, penilaian kebolehlaksanaan pilihan kawalan, ringkasan langkah yang akan dilaksanakan dan carta Gantt bagi pelan tindakan. Perincian penerangan bagi setiap bahagian laporan adalah seperti yang berikut:

1. Pengenalan

- a) Butiran tempat kerja:
 - i. Nama
 - ii. Alamat
 - iii. Nombor pendaftaran JKKP
- b) Tarikh penilaian

2. Skop penilaian

- a) Kumpulan pendedahan serupa (SEG) yang terlibat dalam penilaian
- b) Laporan Penaksiran Risiko Bising yang berkaitan
 - i. Nama Penaksir Risiko Bising
 - ii. Tarikh Penaksiran oleh Penaksir Risiko Bising
 - iii. Tarikh laporan diterima

3. Penilaian Kebolehlaksanaan Pilihan Kawalan

a) Kumpulan Pendedahan Serupa (SEG)

Jadual 1: Maklumat SEG

SEG	Sumber Bising	$L_{EX,8j}$ dB(A)	Paras Maks. dB(A)	Paras Puncak dB(C)	Bilangan Pekerja Terdedah
SEG 1					
SEG 2					
SEG n					

Jadual 2: Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan bagi SEG 1

Hierarki Kawalan	Pilihan Kawalan ¹	Butiran Spesifikasi Kawalan	Kos, RM	Potensi Pengurangan Bising dB(A)	Paras Bising Dijangka Selepas pelaksanaan dB(A)	Bilangan pekerja yang dijangka mendapat faedah	Pilihan kawalan akan diguna? (Ya/Tidak)	Jika kawalan tidak digunakan, sila beri justifikasi	Jangkaan paras pendedahan bising selepas pelaksanaan ² dB(A)
Kejuruteraan	Saranan NRA -1								
	Saranan NRA -n ³								
	Pilihan lain ⁴ - 1								
	Pilihan lain ⁴ - n ³								
Adakah tahap pendedahan yang dijangkakan selepas pelaksanaan adalah di bawah NEL? (Ya/ Tidak) Adakah kawalan kejuruteraan sahaja boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)									
Nota: • Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan kawalan yang dipilih (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan). • Jika Tidak, teruskan dengan penilaian gabungan pendekatan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran.									
Pentadbiran	Saranan NRA -1								
	Saranan NRA -n ³								
	Pilihan lain ⁴ - 1								
	Pilihan lain ⁴ - n ³								
Adakah tahap pendedahan yang dijangkakan selepas pelaksanaan adalah di bawah NEL? (Ya/ Tidak) Adakah gabungan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)									
Nota: • Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan gabungan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran yang telah dipilih. • Jika tidak, pertimbangkan untuk melaksanakan kawalan pentadbiran sahaja (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan)									
Adakah kawalan pentadbiran sahaja boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)									
Nota: • Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan kawalan yang dipilih (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan); • Jika Tidak, teruskan dengan penilaian penggunaan pelindung pendengaran diri.									
Hierarki Kawalan	Pilihan Kawalan ¹	Butiran Spesifikasi Kawalan	Kos, RM	Potensi Pengurangan Bising dB(A)	Paras Bising Dijangka Selepas pelaksanaan dB(A)	Bilangan pekerja yang dijangka mendapat faedah	Pilihan kawalan akan diguna? (Ya/Tidak)	Jika kawalan tidak digunakan, sila beri justifikasi	Jangkaan paras pendedahan bising selepas pelaksanaan ² dB(A)
PPD	Saranan NRA -1								
	Pilihan lain ⁴ - n ³								
Adakah tahap pendedahan yang dijangkakan selepas pelaksanaan adalah di bawah NEL? (Ya/ Tidak) Adakah gabungan kawalan kejuruteraan, kawalan pentadbiran dan PPD boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)									
Nota: • Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan pendekatan gabungan; • Jika Tidak, pertimbangkan untuk menggunakan PPD sahaja.									
Adakah penggunaan PPD sahaja boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya /Tidak /Tidak terpakai)									
Nota: • Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan penggunaan PPD; • Jika Tidak, buat penilaian semula dengan pilihan kawalan lain.									

Jadual 2: Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan bagi SEG 1

Hierarki Kawalan	Pilihan Kawalan ¹	Butiran Spesifikasi Kawalan	Kos, RM	Potensi Pengurangan Bising dB(A)	Paras Bising Dijangka Selepas pelaksanaan dB(A)	Bilangan pekerja yang dijangka mendapat faedah	Pilihan kawalan akan diguna? (Ya/Tidak)	Jika kawalan tidak digunakan, sila beri justifikasi	Jangkaan paras pendedahan bising selepas pelaksanaan ² dB(A)
Kawalan Lain	Saranan NRA -1								
	Pilihan lain ⁴ - n ³								

Nota:

- ¹ Lampirkan maklumat berkaitan yang dikumpul seperti sebut harga dan risalah daripada pembekal, sumber rujukan dan sebagainya.
- ² Tahap pendedahan bising keseluruhan yang dijangka selepas pelaksanaan pilihan kawalan terpilih berdasarkan persamaan penambahan desibel bising.
- ³ Tambahkan jika terdapat lebih daripada satu pilihan kawalan yang disarankan untuk SEG ini.
- ⁴ Berdasarkan tinjauan majikan, rundingan dengan perunding akustik atau pembekal.

Nota: Ulang semua langkah yang dinyatakan dalam SEG 1 untuk menilai SEG 2, SEG 3 dan seterusnya.

4. Ringkasan Langkah Kawalan Bising yang akan Dilaksanakan

Bil	SEG	Sila tandakan (✓) langkah kawalan yang akan dilaksanakan			
		Kejuruteraan	Pentadbiran	PPD	Kawalan lain
1	SEG 1				
2	SEG 2				
n	SEG n				

5. Carta Gantt bagi Pelan Tindakan

Bil	SEG	Langkah Kawalan yang akan Dilaksanakan	PIC	Tahun_____/Bulan											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	SEG 1														
2	SEG 2														
n	SEG 3														

4.3.2 Contoh Laporan Penilaian

1. Pengenalan

XYZ Sdn. Bhd terletak di Lot 9, Jalan 9, 99000 Johor. Syarikat ini mengilangkan katil kanak-kanak. Nombor pendaftaran JKKP bagi kilang ini adalah JH/09/9999.

Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan Kebisingan dijalankan oleh Encik Ahmad pada 9 September 2023.

Tujuan laporan adalah untuk menjalankan penilaian kebolehlaksanaan langkah kawalan pengurangan bising dan menyediakan laporan penilaian seperti yang dikehendaki di bawah Peraturan 6(3), 6(4) dan 6(5), Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Pendedahan Bising) 2019.

2. Skop Penilaian

Butiran Laporan Penaksiran Risiko Bising

- Nama penaksir risiko bising: En. Ali (No. pendaftaran JKKP: HQ/19/PEB/00/999)
- Tarikh penaksiran oleh penaksir risiko bising: 9 Julai 2023
- Tarikh laporan diterima: 9 Ogos 2023

Kumpulan pendedahan serupa (SEG) yang terlibat dalam penilaian

- Operator pelaminaan
- Operator pemotongan

3. Penilaian Kebolehlaksanaan Pilihan Kawalan

Jadual 1: Maklumat SEG

SEG	Sumber Bunyi	Paras Bising dB(A)	$L_{ex,8j}$ dB(A)	Paras Maks. dB(A)	Paras Puncak dB(C)	Bilangan Pekerja Terdedah
Operator Pelaminaan	S1 - Hentakan Produk	94.3	91.3	110.5	130.3	12
	S2 - Pengumpul Habuk	88.2				
	S3 - Motor	86.7				
Operator Pemotongan	S1 - Gergaji Pemotong	98.1	94.2	113.3	138.8	8
	S2 - Penyembur Angin	95.6				
	S3 - Motor	87.1				

Jadual 2: Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan Bagi Operator Pelaminaan

Hierarki Kawalan	Pilihan Kawalan ¹	Butiran Spesifikasi Kawalan	Kos, RM	Potensi Pengurangan Bising dB(A)	Paras Bising Dijangka Selepas pelaksanaan dB(A)	Bilangan pekerja yang dijangka mendapat faedah	Pilihan kawalan akan diguna? (Ya/Tidak)	Jika kawalan tidak digunakan, sila beri justifikasi	Jangkaan paras pendedahan bising selepas pelaksanaan ² dB(A)
Kejuruteraan	(S1) Jentera pembalik papan automatik	Menggantikan proses pembalikan papan secara manual dengan jentera automatik.	40,000	15	79.3	12	Ya	Tidak berkaitan	90.8
	(S2) Lapisan pemisah	Memasang lapisan sekatan bagi mengasingkan pengumpul habuk daripada garisan pelaminaan.	3,000	6	82.2	12	Ya	Tidak berkaitan	88.6
	(S3) Kurungan motor akustik	Memasang kurungan akustik pada motor jentera lengkap dengan penyenyap saluran yang diletakkan pada kipas pengalihan udara.	15,000	10	76.6	12	Ya	Tidak berkaitan	84.7
	<p>Adakah tahap pendedahan yang dijangkakan selepas pelaksanaan adalah di bawah NEL? (Ya)/Tidak</p> <p>Adakah kawalan kejuruteraan sahaja boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya)/Tidak</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan kawalan yang dipilih (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan). Jika Tidak, teruskan dengan penilaian gabungan pendekatan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran. 								

Jadual 3: Penilaian Kebolehlaksanaan Kawalan Bagi Operator Pemotongan

Hierarki Kawalan	Pilihan Kawalan ¹	Butiran Spesifikasi Kawalan	Kos, RM	Potensi Pengurangan Bising dB(A)	Paras Bising Dijangka Selepas pelaksanaan dB(A)	Bilangan pekerja yang dijangka mendapat faedah	Pilihan kawalan akan diguna? (Ya/Tidak)	Jika kawalan tidak digunakan, sila beri justifikasi	Jangkaan paras pendedahan bising selepas pelaksanaan ² dB(A)
Kejuruteraan	(S1) Ganti bilah gergaji pemotong	Menggantikan bilah gergaji pemotong yang lebih senyap	2,500	10	88.1	8	Ya	Tidak berkaitan	96.8
	(S2) Pistol udara yang senyap	Pistol udara yang sedia ada digantikan dengan jenis yang lebih senyap.	700	8	87.6	8	Ya	Tidak berkaitan	92.4
	(S3) Kurungan akustik motor	Memasang kurungan akustik pada motor jentera lengkap dengan penyenyap saluran yang dilekatkan pada kipas pengalihudaraan.	15,000	10	77.1	8	Ya	Tidak berkaitan	91.0
<p>Adakah tahap pendedahan yang dijangkakan selepas pelaksanaan adalah di bawah NEL? (Ya/ Tidak)</p> <p>Adakah kawalan kejuruteraan sahaja boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan kawalan yang dipilih (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan). Jika Tidak, teruskan dengan penilaian gabungan pendekatan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran. 									
Pentadbiran	Penggiliran kerja	Mengehadkan pendedahan pekerja pada kurang daripada 2 jam per syif	Tidak berkaitan	Tidak berkaitan	91.0	Tidak berkaitan	Tidak	Tidak praktikal untuk dilaksanakan kerana kerja mesti dijalankan berterusan dan kekangan pekerja (pekerja lain juga bekerja di kawasan berisiko bising)	91.0
<p>Adakah tahap pendedahan yang dijangkakan selepas pelaksanaan adalah di bawah NEL? (Ya/ Tidak)</p> <p>Adakah gabungan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan gabungan kawalan kejuruteraan dan kawalan pentadbiran yang telah dipilih. Jika tidak, pertimbangkan untuk melaksanakan kawalan pentadbiran sahaja (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan) <p>Adakah kawalan pentadbiran sahaja boleh mengurangkan pendedahan di bawah NEL? (Ya/ Tidak)</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> Jika Ya, hentikan penilaian dan laksanakan kawalan yang dipilih (boleh terdiri daripada satu pilihan kawalan atau gabungan mana-mana pilihan kawalan yang dinyatakan); Jika Tidak, teruskan dengan penilaian penggunaan pelindung pendengaran diri. 									

4.4 Pemasangan dan Kemudahan di Peringkat Reka Bentuk

Dalam pemasangan baharu, pengkuantitian masalah bising di peringkat reka bentuk mungkin dalam julat mudah ke sukar tetapi tidak mustahil untuk dilaksanakan. Pada peringkat reka bentuk, masalah yang dihadapi adalah sama seperti pemasangan sedia ada iaitu pengenalan punca atau punca-punca, penentuan laluan penghantaran daripada punca kepada penerima, penyusunan mengikut tahap pelbagai penyumbang kepada masalah serta akhirnya penentuan penyelesaian yang boleh diterima. Paling penting, pada peringkat reka bentuk pilihan bagi kawalan kebisingan lazimnya banyak dan mungkin termasuk penolakan terhadap reka bentuk yang dicadangkan.

Langkah pertama bagi pemasangan baharu adalah untuk menentukan paras bising boleh terima bagi lokasi sensitif, yang lazimnya merangkumi lokasi operator yang mengendalikan jentera bising. Jika anggaran paras bising di mana-mana lokasi sensitif melebihi kriteria yang ditetapkan, maka peralatan yang paling menyumbang kepada paras yang lebih perlu disasarkan bagi kawalan bising, yang mungkin dalam bentuk seperti berikut:

- Menetapkan peralatan dengan paras bising yang lebih rendah kepada pengilang peralatan dengan had bising reka bentuk yang digunakan untuk tempat kerja hendaklah pada maksimum 85 dB(A) (Perhatian perlu diberikan apabila mengimport peralatan, terutamanya peralatan terpakai, yang mungkin terlalu bising dan tidak lagi diterima di negara asal);
- Memasukkan kelengkapan dalam reka bentuk kilang (peredam bunyi, penghadang, sistem pengasingan getaran, kurungan, atau dinding kilang dengan kehilangan penghantaran bunyi yang lebih tinggi) dalam reka bentuk kilang; atau
- Penyusunan semula dan perancangan teliti susun atur bangunan dan peralatan di dalamnya. Intipati perbincangan ialah punca bunyi yang terletak berhampiran permukaan keras yang memantul akan menghasilkan paras bunyi yang lebih tinggi pada anggaran kadar 3 dB bagi setiap permukaan besar. Perlu diambil perhatian bahawa bentuk ruang bangunan secara umumnya tidak penting, kerana medan bergema boleh terbentuk dalam apa-apa bentuk ruang. Perhatian perlu diambil untuk menyusun barisan pengeluaran agar peralatan yang bising diasingkan sebanyak mungkin daripada pekerja yang mencukupi perlu dinyatakan supaya tiada keraguan yang paras bising boleh terima akan didapati pada setiap lokasi sensitif. Penjimatan pada peringkat ini dianggap tidak efektif dari segi kos dalam jangka panjang.
- Medan bergema boleh terbina dalam ruang dengan apa-apa bentuk sekalipun. Perhatian perlu diambil untuk menyusun barisan pengeluaran agar peralatan yang bising diasingkan sebanyak mungkin daripada pekerja. Kawalan kebisingan yang mencukupi perlu dinyatakan supaya tiada keraguan yang paras bising boleh terima akan diperolehi pada setiap lokasi sensitif.

4.5 Kawalan Melalui Perancangan Loji

Salah satu peluang terbesar bagi pengamal higien industri dalam bidang kawalan kebisingan adalah untuk membimbing reka bentuk loji baharu serta pemodenan loji sedia ada dengan menggunakan pengetahuan dan teknologi akustik tersedia seperti perisian pemodelan ramalan. Melalui pendekatan ini, masalah bising boleh dijangka dan dicegah sebelum berlaku. Perancangan yang berjaya merangkumi:

- Pengetahuan mengenai ciri-ciri bising bagi setiap jentera dan proses;
- Cadangan lokasi bagi setiap sumber bising, operator, dan pekerja penyelenggaraan; dan
- Pemilihan kriteria reka bentuk berdasarkan masa pendedahan pekerja.

Spesifikasi kejuruteraan bagi reka bentuk dan pemilihan peralatan perlu memasukkan keperluan data maklumat bising. Dalam kebanyakan kes, pengilang jentera berada pada kedudukan terbaik untuk mengurangkan kebisingan jentera pada punca melalui reka bentuk terbina dalam. Dijangka, banyak reka bentuk sebegini tidak akan meningkatkan kos jentera secara ketara. Perincian penting akustik bagi sesuatu struktur gelas beban bangunan dan tempat kerja perlu dikira dan ditetapkan pada peringkat awal perancangan. Keperluan untuk kawalan kebisingan bergantung terutamanya pada cara loji direka bentuk dan dibina. Reka bentuk struktur sesuatu bangunan selalunya bergantung pada lokasi penempatan jentera dan keperluan penebatan terhadap kedua-dua bunyi bawaan udara (airborne sound) dan bunyi bawaan struktur (structure-borne). Sehubungan itu, adalah penting untuk mempertimbangkan perkara berikut:

- 1 Struktur gelas beban bangunan, lantai dan asas jentera perlu dipilih supaya semua punca bunyi dapat diasingkan daripada getaran secara berkesan. Peralatan berat memerlukan asas yang teguh dan kukuh, yang tidak bersentuhan secara langsung dengan bahagian lain dalam struktur bangunan.
- 2 Punca bising yang kuat hendaklah dikurung dengan struktur yang memberikan penebatan bunyi bawaan udara yang mencukupi. Pintu, tingkap pemeriksaan dan elemen bangunan lain yang berisiko mengalami kebocoran bunyi memerlukan perhatian khusus.
- 3 Bilik yang terdapat sumber bunyi dan personel berada secara berterusan hendaklah dilengkapi dengan pelapisan siling (serta pelapisan dinding bagi bilik yang mempunyai siling tinggi) yang dapat menyerap bunyi tuju. Ciri-ciri penyerapan bunyi berbeza-beza mengikut jenis bahan, oleh itu bahan perlu dipilih berdasarkan ciri-ciri bunyi bising tersebut. Ciri-ciri penyerapan bunyi yang baik selalunya boleh digabungkan dengan ciri-ciri penebatan haba yang baik.
- 4 Kawasan pejabat hendaklah diasingkan daripada elemen bangunan yang dipasang dengan peralatan bergetar melalui sambungan bahan anjal.
- 5 Pembinaan dinding dan siling, tingkap, pintu dan sebagainya perlulah dipilih agar mencapai pengasingan bunyi yang dikehendaki.
- 6 Pemasangan peralatan bising pada sekatan ringan atau boleh alih hendaklah sentiasa dielakkan. Jika pengalihudaraan untuk sistem penyejukan perlu dipasang pada asas ringan seperti siling palsu, usaha khas mesti diambil untuk memastikan pengasingan getaran yang mencukupi.
- 7 Di pejabat berkonsep terbuka dan bilik besar yang menempatkan beberapa fungsi pejabat dalam ruang yang sama, siling dengan penyerapan bunyi yang tinggi adalah diperlukan; dan penggunaan permaidani lembut di lantai juga sangat membantu. Perlu diingat bahawa adalah sangat penting untuk memastikan penyerapan bunyi berkesan bukan sahaja pada frekuensi tinggi, tetapi juga pada frekuensi rendah dan sederhana.

Pendekatan paling berkesan dan menjimatkan untuk kawalan kebisingan ialah dengan memasukkan ciri-ciri kawalan kebisingan sebagai sebahagian daripada reka bentuk loji. Pendekatan ini dapat dilaksanakan dengan lebih berkesan melalui penggunaan spesifikasi prestasi dan reka bentuk peralatan yang betul. Spesifikasi prestasi memerlukan peralatan yang dicadangkan mesti memenuhi kriteria yang ditetapkan; manakala spesifikasi reka bentuk menunjukkan kepada pembekal ciri-ciri kawalan kebisingan tertentu yang diketahui berkesan dan serasi dengan operasi loji.

Sampel jadual spesifikasi bising peralatan diberikan seperti yang berikut:

- 1 Pengehadan paras bising peralatan, prosedur pengujian bising, dan kehendak dokumentasi data bising. Pengehadan dan kehendak ini perlu terpakai kepada semua peralatan pegun dan bergerak serta jentera yang menghasilkan bising yang tetap berterusan, turun naik, dan impuls.
- 2 Peruntukan untuk kaedah seragam bagi menjalankan dan merekodkan ujian bising yang perlu dibuat ke atas peralatan. Keperluan agar pengilang peralatan dan kontraktor kejuruteraan menjamin pematuhan paras bising yang ditetapkan dalam spesifikasi.
- 3 Pernyataan yang menyatakan bahawa jika tinjauan bising ke atas loji yang telah siap menunjukkan bahawa sesuatu peralatan menghasilkan paras bising melebihi spesifikasi peralatan, maka pengilang peralatan, subkontraktor, atau kontraktor kejuruteraan akan bertanggungjawab ke atas kos tambahan untuk merawat peralatan tersebut agar paras bunyi mematuhi keperluan spesifikasi peralatan dan loji.
- 4 Perjanjian bahawa semua pengilang peralatan dan syarikat kejuruteraan akan dikenakan penalti sekiranya spesifikasi bising peralatan dan loji dan/atau tapak tidak dipatuhi.
- 5 Ujian pengukuran bising pra-bida dan ujian akhir hendaklah dilakukan ke atas peralatan yang dibeli, dan data ujian tersebut hendaklah disediakan serta disahkan boleh diterima oleh pembeli atau wakil mereka sebelum penghantaran, dengan tandatangan yang dibenarkan.
- 6 Perlindungan hak untuk menghantar wakil yang berkelayakan ke loji pembuatan peralatan untuk memerhati dan menjalankan ujian bising.
- 7 Paras bising boleh terima maksimum bagi perimeter tapak loji, kawasan loji, dan kawasan dalaman loji termasuk kawasan pengeluaran, bilik kawalan, pejabat, makmal dan sebagainya.
- 8 Paras getaran boleh terima maksimum bagi semua peralatan, dan paras gema bising untuk semua kawasan kerja dan proses.
- 9 Teknik instrumentasi dan pengukuran.
- 10 Helaian data paras bising peralatan pra bida yang memerlukan tandatangan jaminan spesifikasi bising bagi peralatan dan tandatangan kelulusan pembeli.
- 11 Helaian data ujian akhir paras bising yang menghendaki tandatangan jaminan spesifikasi bising bagi peralatan dan saksi/atau tandatangan penerimaan data bising.

Dalam pemilihan peralatan untuk loji baharu atau bagi penggantian atau penambahan peralatan di kemudahan sedia ada, had bising yang memuaskan selalunya boleh dicapai dengan memberi perhatian yang sewajarnya kepada ciri-ciri reka bentuk khusus peralatan tersebut. Spesifikasi peralatan yang ditetapkan mungkin kelihatan ketat. Walau bagaimanapun, kejayaan aktiviti di semua loji yang mengikuti kriteria ini bukan sahaja memberi manfaat, malah juga menjimatkan kos. Ringkasan beberapa ciri reka bentuk ini ditunjukkan dalam **Jadual 4.1**.

Jadual 4.1: Ciri-ciri reka bentuk peralatan yang diingini untuk pengurangan bising.

Peralatan	Sumber Bising	Ciri-ciri Reka Bentuk
Pemanas	Pembakaran pada pembakar	Plenum pengambilan udara akustik
	Penyedutan udara pra-campuran pada pembakar	Penyenyap penyedutan pengambilan udara. Plenum pengambilan udara akustik.
	Kipas drauf	Penyenyap pengambilan udara atau bebatan plenum akustik
	Saluran	Bebatan
Motor	TEFC kipas udara penyejuk WP II pembukaan udara penyejuk	Pelindung kipas akustik, kipas searah, dan/atau penyenyap pengambilan
	Mekanikal dan elektrik	Kurungan
Penyejuk sirip udara	Kipas	RPM lebih rendah (pic meningkat). Mengurangkan kehilangan tekanan statik. Bilangan bilah yang meningkat. Kejatuhan tekanan statik yang menurun. Lebih banyak tiub sirip.
	Penukar kelajuan	Tali sawat sebagai ganti gear
	Pelindung kipas	Aliran udara lalu arus. Redaman dan pengukuhan.
Pemampat emparan	Perpaipan pelepasan dan sambungan pengembangan	Penyenyap sejajar dan/atau bebatan.
	Sistem pintasan anti pusuan	Injap senyap, halaju terkurang, dan penghalusan aliran. Injap dan paip terbebat. Penyenyap sejajar.
	Perpaipan pengambilan dan dram sedutan	Bebatan
	Pengambilan udara/pelepasan udara	Penyenyap
Pemampat skru (paksi)	Perpaipan pengambilan dan pelepasan	Penyenyap dan bebatan

Peralatan	Punca Bising	Ciri-ciri Reka Bentuk
Penukar kelajuan	Penjalinan gear	Kurungan, redaman terkekang pada sarung, atau bebatan
Enjin	Ekzos	Penyenyap (Peredam bunyi)
	Pengambilan udara	Penyenyap
	Kipas penyejuk	Pengambilan tertutup dan/atau pelepasan senyap
Turbin pemeluwapan	Sambungan pengembangan pada saluran pengeluaran stim	Bebatan
	Jet pengeluaran	Penyenyap pengeluaran
Ekzos dan pengambilan atmosfera	Injap huluan	Injap senyap atau penyenyap
Perpaipan	Paip utama	Bebatan
	Halaju lebihan	Halaju terhad
		Perubahan saiz dan arah yang lancar, dan beransur-ansur
		Bebatan
	Injap	Halaju terhad
		Halaju tetap atau injap senyap
Kehilangan tekanan terbahagi		
Pam	Peronggaan bendalir	Kurungan
Sistem obor	Jet stim	Penyuntik udara berbilang liang

4.6 Helaian Data Aras Pelepasan Kebisingan Loji

Helaian data paras pelepasan bising peralatan hendaklah disediakan untuk semua item peralatan atau rangkaian peralatan yang disediakan oleh pengilang atau pembekal, yang menyatakan had pendedahan bising sebanyak 85 dB(A). Jika komponen rangkaian peralatan disediakan oleh pembekal yang berbeza, helaian data paras pelepasan bising loji yang berasingan hendaklah disediakan. Had bising peralatan hendaklah diberikan sebagai nilai berpemberat A keseluruhan dalam desibel, spektrum jalur oktaf 63 Hz hingga 8 kHz boleh juga dinyatakan sebagai tambahan.

Panduan untuk pereka bentuk, pengilang, pengimport, dan pembekal mengenai cara penyampaian maklumat tentang paras bising yang dihasilkan oleh loji disediakan dalam Lampiran 8, Tataamalan Industri (ICOP) bagi Pengurusan Pendedahan Bising Pekerjaan dan Pemuliharaan Pendengaran 2019.

Format helaian data paras pelepasan bising peralatan yang ditunjukkan dalam **Jadual 4.2** hendaklah digunakan untuk menyatakan paras tekanan bunyi pada jarak tertentu, biasanya 1 meter, dari permukaan peralatan. Pembekal bertanggungjawab untuk menyatakan jaminan bising untuk peralatan yang akan disediakan, bagi sebarang keadaan operasi yang peralatan dijangka akan digunakan. Helaian data paras pelepasan bising peralatan hendaklah mengandungi semua maklumat yang diperlukan untuk memahami, mematuhi, dan mengukur pematuhan kepada had bising untuk peralatan yang akan dibekalkan.

Helaian data paras pelepasan bising peralatan dengan bahagian jaminan yang dilengkapkan oleh pembekal hendaklah memberikan maklumat berikut:

01

Paras tekanan bunyi tanpa penyenyap dalam jalur oktaf, dan paras keseluruhan berpemberat A bagi peralatan.

02

Paras tekanan bunyi dalam jalur oktaf, dan paras keseluruhan berpemberat A bagi peralatan, bersekali dengan butiran tentang langkah-langkah penyenyapan yang diperlukan untuk memenuhi had bising yang ditetapkan.

03

Paras tekanan bunyi minimum yang boleh dicapai dalam jalur oktaf dan paras keseluruhan berpemberat A, jika had yang ditetapkan tidak dapat dipenuhi.

04

Butiran mengenai sebarang paras bising bunyi nada (tonal), impuls, berselang, atau turun naik.

05

Maklumat hendaklah diberikan apabila berkenaan, seperti data lengkap/ helaian permintaan bagi sebarang langkah pengurangan.

Jadual 4.2: Helaiian Data Paras Pelepasan Kebisingan Loji

HELAIIAN DATA PARAS PELEPASAN KEBISINGAN LOJI												
Jenis loji:					Kuasa mekanikal (kW):							
Pembekal / pengilang :					Kelajuan (RPM):							
Nombor Jenis:					Saiz p x l x t (m):							
<p>1 UMUM Helaiian data ini merangkumi paras bising bagi loji, seperti yang diberikan di bawah.</p>												
<p>2 HAD BISING YANG PERLU DIPATUHI OLEH LOJI</p> <p>Bising yang dijana oleh loji hendaklah tidak melebihi had bising yang lebih ketat daripada had bising yang diberikan dalam jadual di bawah, bagi sebarang keadaan pengoperasian yang loji akan biasanya digunakan.</p> <p>L_p adalah paras tekanan bunyi maksimum, rujukan 20 μPa dalam dB, bagi mod operasi yang dinyatakan di mana-mana lokasi pada jarak 1 m dari permukaan loji.</p> <p>Jika loji menjana bising dengan komponen nada atau impuls, perkara ini hendaklah dinyatakan.</p>												
Item Loji / Lokasi	a	Paras tekanan bunyi yang dijamin oleh pembekal dB								b	Melebihi Had Pendedahan Bising, 85 dB(A) Ya/Tidak	Catatan Langkah-langkah Pengurangan Bising
		Paras jalur oktaf tak berpemberat										
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz			
<p>Pembekal hendaklah menyatakan: Dalam lajur "b", had tekanan bunyi berpemberat iaitu 85 dB(A) Dalam lajur "a" menggunakan nombor yang sesuai, yang mana berikut terpakai kepada paras bising yang dikehendaki:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Tanpa peruntukan akustik 2) Dengan peruntukan akustik 3) Reka bentuk khas berbunyi rendah 4) Anggaran terbaik pembekal, tidak semestinya dijamin 5) Lain-lain..... 												
<p>Maklumat berkenaan keadaan pengoperasian khas:</p>												

5.0 KAWALAN PENGGANTIAN

5.1 Penggunaan Peralatan Lebih Senyap

Langkah pertama dalam menyediakan peralatan tempat kerja yang senyap adalah dengan berusaha keras untuk memastikan spesifikasi pembelian peralatan merangkumi had pelepasan bising. Walaupun spesifikasi yang diinginkan mungkin tidak sentiasa tersedia, atau bahkan dapat dicapai, sekurang-kurangnya spesifikasi ini akan memberikan insentif untuk reka bentuk dan pembangunan produk yang lebih senyap pada masa depan. Dalam memilih peralatan untuk penggantian atau penambahan pada kemudahan sedia ada, had bising yang memuaskan sering kali perlu diperoleh dengan memberi perhatian yang betul kepada ciri reka bentuk khusus peralatan tersebut.

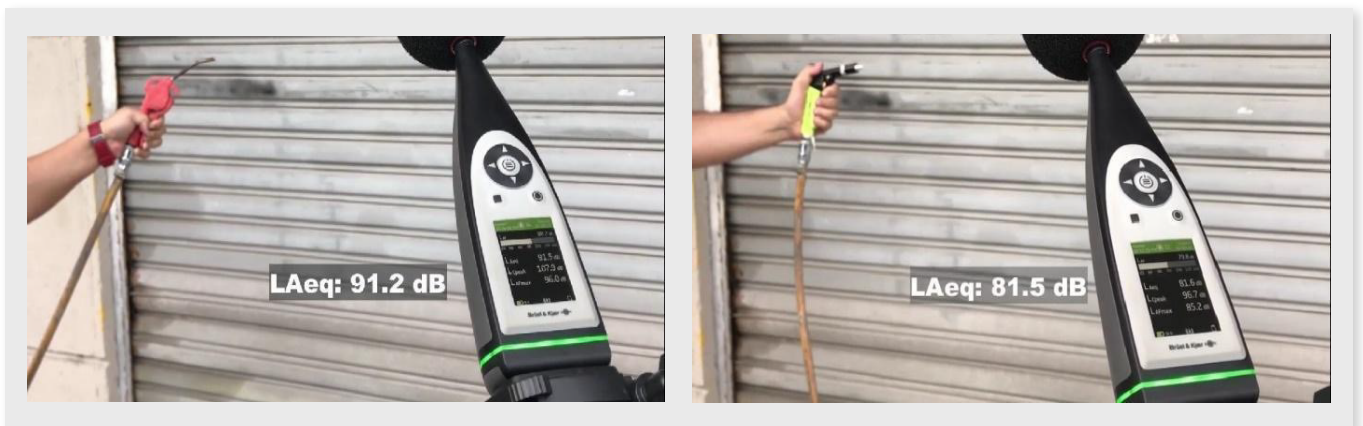
Aktiviti yang berjaya di semua loji yang telah mengikuti kriteria tersebut bukan sahaja memberikan hasil yang memberangsangkan tetapi juga menjimatkan kos. Pengubahsuaian pada peralatan untuk mengurangkan paras bising termasuklah toleransi yang lebih ketat, pemasangan yang lebih baik, pengimbangan jentera berputar, reka bentuk semula komponen dan langkah kawalan kualiti lain. Biasanya, perubahan ini mesti dilakukan oleh pengilang peralatan tersebut. Walau bagaimanapun, pengguna peralatan boleh menetapkan paras bising yang akan diterima dalam pembelian peralatan baharu.

Pematuhan kepada Tataamalan Industri bagi Pengurusan Pendedahan Bising Pekerjaan dan Pemuliharaan Pendengaran 2019, yang merangkumi peruntukan bagi pengisytiharan paras penghasilan bising peralatan oleh pengilang, adalah wajar. Kebanyakan pengilang di seluruh dunia telah berusaha membezakan produk mereka dengan menekankan pada paras pelepasan bising yang terendah. Pembeli peralatan perlu menyedari manfaat kos peralatan senyap dibeli, seperti mengelakkan keperluan program pemuliharaan pendengaran dan mencegah kehilangan pendengaran di kalangan pekerja. Pentadbir pemuliharaan pendengaran harus memastikan yang kedua-dua pengurusan keseluruhan dan jabatan pembelian menyedari nilai dan kepentingan membeli peralatan senyap.

Sering kali sukar dan mustahil untuk menggantikan jentera yang lebih senyap daripada jentera yang bising. Jentera sedia ada mungkin dipilih berdasarkan cara paling ekonomik dan cekap untuk menghasilkan produk dan perkhidmatan yang diinginkan. Paras bising mungkin tidak dianggap sebagai faktor penting semasa pembelian. Bagaimana pun, adalah lebih ekonomik untuk membayar lebih untuk peralatan yang lebih senyap berbanding membeli peralatan bising yang lebih murah yang akan memerlukan perbelanjaan tambahan untuk langkah-langkah kawalan kebisingan. **Rajah 5.1** menunjukkan perbandingan paras bising yang terhasil oleh pistol udara biasa berbanding pistol udara senyap. Gambar di sebelah kiri menunjukkan paras bising yang dijana oleh pistol udara biasa; yang diukur pada 91.2 dB (LAeq). Gambar di sebelah kanan memaparkan paras bising pistol udara senyap, yang diukur pada paras lebih rendah iaitu 81.5 dB (LAeq). Ini menunjukkan bahawa pistol udara senyap menghasilkan paras bising ketara lebih rendah berbanding pistol udara biasa, menunjukkan keberkesanan dalam mengurangkan pendedahan bising.

Jenis peralatan baharu dan kelajuan perlu dipilih berdasarkan kriteria bunyi bising yang berkenaan. Beberapa contoh penggantian adalah seperti yang diberikan berikut:

- 1 Gantikan kipas frekuensi tinggi atau kipas aliran paksi dengan penghembus jenis sangkar tupai, yang menghasilkan bunyi bising berfrekuensi rendah.
- 2 Gantikan kipas kelajuan tinggi atau penghembus jenis kelajuan rendah.
- 3 Gantikan pengganda kelajuan gear dengan pemacu turbin yang biasanya kurang bising apabila melibatkan kelajuan tinggi.
- 4 Gantikan ejektor udara bagi menanggalkan bahagian daripada penekan tebuk dengan pelenting mekanikal.
- 5 Gantikan penggetar corong tuang mekanikal dengan penyuar pneumatik jenis diafragma berdenyut dalaman. Matlamat utama adalah untuk mengambil hanya bahagian sistem pengendalian bahan yang menghalang aliran. Elakkan penggunaan penggetar yang berimpak logam ke logam.
- 6 Gantikan alat mudah alih pneumatik dengan alat elektrik.
- 7 Ganti penukul rivet pneumatik dengan penekan hidraulik. Ekzos udara termampat daripada operasi silinder penekan pneumatik mesti diredamkan.
- 8 Jika alat hentakan mesti digunakan, pilih alat terkecil yang berupaya boleh melaksanakan tugas itu.
- 9 Gantikan penekan mekanikal dengan penekan hidraulik.



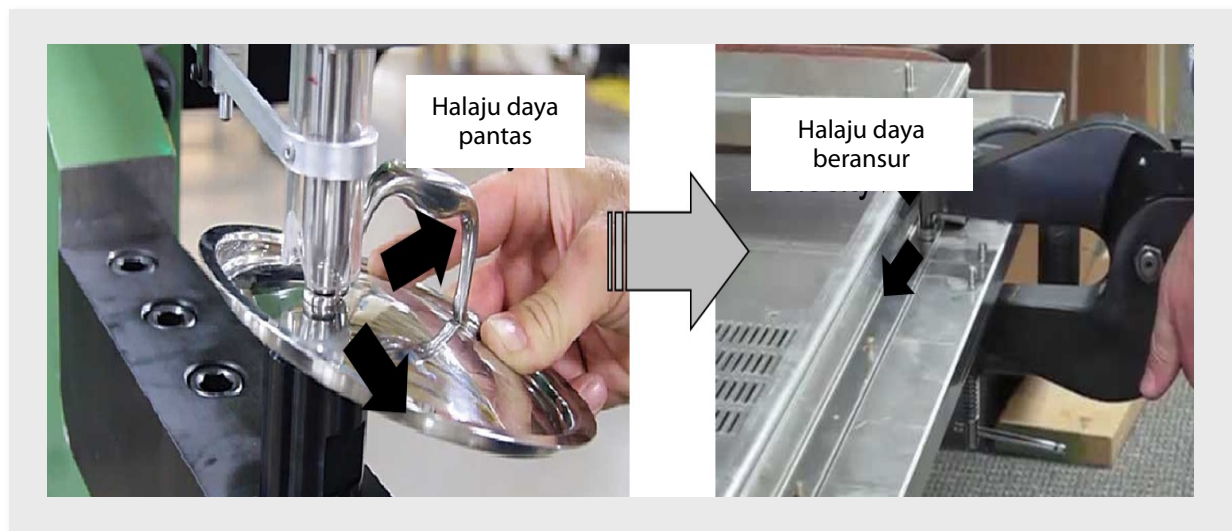
Rajah 5.1: Perbandingan paras bising di antara pistol udara biasa dan pistol udara senyap.

5.2 Penggunaan Proses yang Lebih Senyap

Dalam kebanyakan keadaan, menukar proses boleh menjadi salah satu cara untuk mengawal penjaanan bising. Ini memerlukan kesedaran tentang kewujudan proses yang lebih senyap bagi kedua-dua kerja pengeluaran sebenar dan pengendalian bahan. Penukaran proses ini memerlukan kerjasama antara majikan, pembekal, pereka bentuk proses dan pengamal keselamatan dan kesihatan pekerjaan (KKP). Berikut adalah beberapa contoh berkaitan.

i

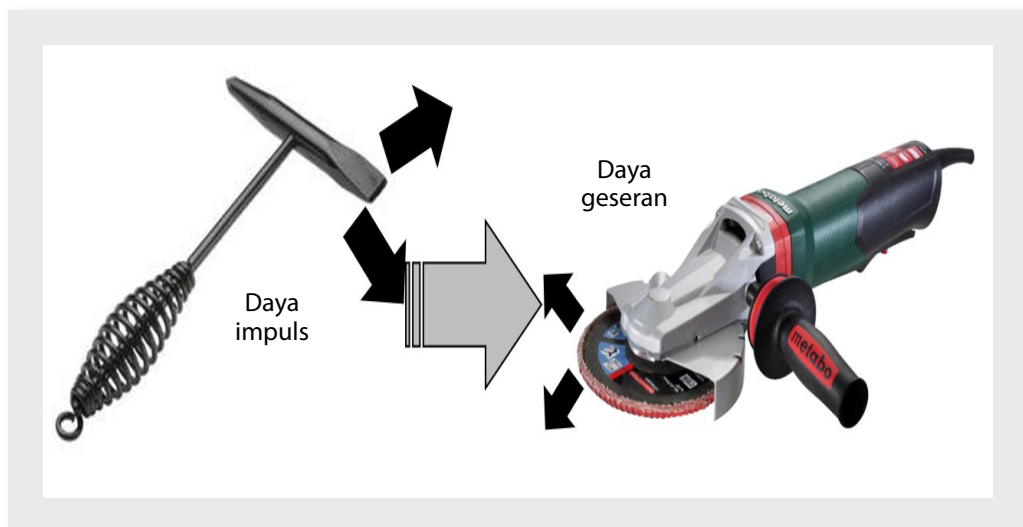
Ganti kerja rivet jenis hentakan atau pemukulan dengan (i) kimpalan, melainkan penyerpihan juga diperlukan dalam penyediaan kimpal; (ii) bolt kekuatan tinggi; atau (iii) perivetan mampatan seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.2**.



Rajah 5.2: Menghapuskan halaju daya pantas dengan menggantikannya kepada halaju daya beransur menggunakan perivetan mampatan.

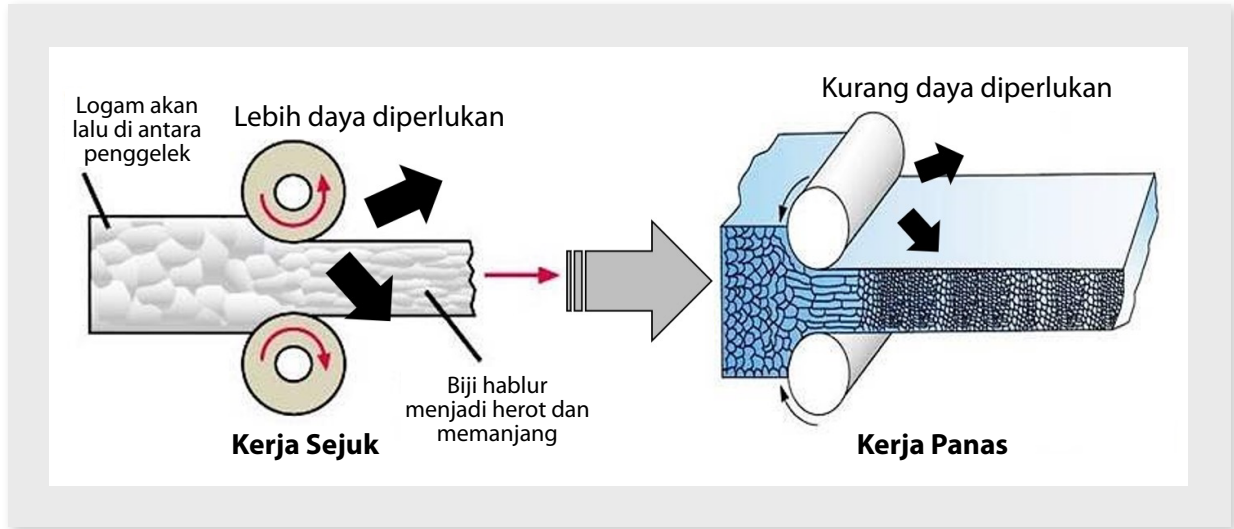
ii

Gantikan kerja penyerpihan dengan kerja pencanaian; Proses arka udara bagi nyalaan seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.3**.



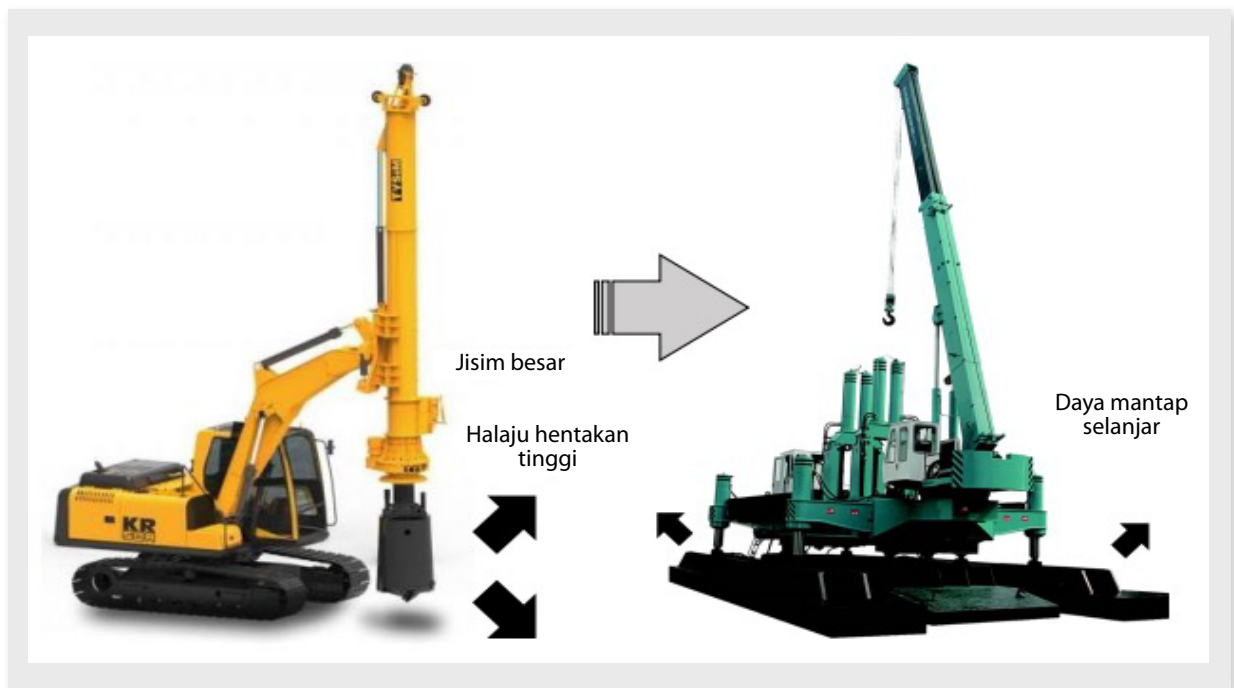
Rajah 5.3: Gantikan daya impuls daripada penyerpih dengan daya geseran daripada pencanaian.

iii Gantikan kerja sejuk dengan kerja panas seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.4**.



Rajah 5.4: Gantikan kerja logam sejuk dengan proses kerja panas.

iv Gantikan daya hentakan berimpuls tinggi (kuasa mekanikal) yang digunakan bagi hentakan cerucuk dalam bangunan dan pembinaan dengan kuasa hidraulik seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.5**.



Rajah 5.5: Menghapuskan impak bising dengan menggantikan kuasa hidraulik dengan daya impuls.

Dalam kebanyakan bangunan dan kerja pembinaan, cerucuk kepingan biasanya dipacak ke dalam tanah menggunakan hentakan jisim berat (iaitu pemacu cerucuk) yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu, yang sering dikuasakan semula dengan meletupkan cas diesel. Paras bising berlebihan dijana oleh kedua-dua hentakan pada cerucuk dan daripada letupan itu, serta gangguan boleh berlaku pada jarak sehingga beberapa batu jauhnya. Dalam banyak situasi, teknik yang berbeza sepenuhnya boleh digunakan seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.5**, dengan mengelakkan bising hentakan. Satu set ram yang dioperasikan secara hidraulik digunakan untuk mencengkam beberapa cerucuk keping serentak. Satu cerucuk akan ditekan masuk ke dalam tanah pada satu masa ketika jentera menarik ke atas semua cerucuk lain, yang menambatnya ke tanah. Getaran ram yang memegang cerucuk yang sedang dipantak mempercepatkan kemasukannya. Hentakan dielakkan sepenuhnya, dan paras bising dikurangkan serendah yang dibenarkan oleh peralatan hidraulik.

5.3 Penggunaan Bahan yang Lebih Senyap

Bahan yang digunakan untuk pembinaan bangunan, jentera, perpaipan dan bekas mempunyai kaitan penting dengan kawalan kebisingan. Seseengah bahan mempunyai sifat redaman dalaman yang tinggi dan dikenali sebagai bahan “mati”, sementara bahan lain dikenali sebagai bahan “hidup”, mempunyai sifat redaman dalaman yang rendah dan menyebabkan bunyi berdengung apabila diketuk. Beberapa cara penggunaan bahan yang lebih senyap adalah seperti berikut:

i

Gantikan bahan akustik “hidup” dengan bahan akustik “mati” (sifat teredam dalaman yang tinggi). Contohnya, elastomer merupakan bahan yang baik untuk digunakan sebagai bumper (penampan hentakan). Contoh yang baik adalah gasket, pengedap tayar trak industri dan penutup getah bagi kepala tukul seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.6**.



Rajah 5.6: Meletakkan bahan teredam dalaman tinggi pada kepala tukul.

ii

Gantikan roda keluli pada troli dengan roda getah atau plastik seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 5.7**.



Rajah 5.7: Contoh bahan jenis getah bagi roda troli.

6.0 KAWALAN BISING KEJURUTERAAN

6.1 Hierarki Strategi Kawalan Bising

6.1.1 Punca

Kawalan kejuruteraan pada punca merupakan kaedah diutamakan bagi menghapuskan secara kekal masalah pendedahan bising disebabkan jentera atau proses di tempat kerja. Oleh kerana semua objek yang melepaskan bunyi bising menjana tenaga melalui udara (bising) dan tenaga melalui struktur (getaran), kawalan masalah bising ini mungkin memerlukan pengubahsuaian, separa reka bentuk semula atau penggantian objek yang menghasilkan bising. Penaksiran risiko bising yang dijalankan boleh mengenal pasti bagaimana dan di mana bunyi bising dijana. Sesetengah masalah boleh diselesaikan dengan prosedur yang secara relatifnya tidak mahal dan mudah, walau pun sesetengah masalah adalah sukar. Nasihat daripada pakar seperti pakar akustik dan Penaksir Risiko Bising mungkin bermanfaat dalam memberikan hasil terbaik. Panduan ini merangkumi rujukan kepada kaedah kawalan bising yang lebih ringkas yang mungkin boleh dilaksanakan.

Apabila mencari penyelesaian kepada masalah bising, pemahaman tentang operasi jentera atau proses adalah perlu dalam mempertimbangkan kawalan bising di punca yang boleh dilaksanakan. Langkah-langkah kejuruteraan boleh disasarkan secara spesifik kepada jentera dan bahagiannya, atau proses-proses sebenar, termasuk sistem pengendalian bahan.

Penyelesaian umum serta contoh-contoh langkah kawalan bising kejuruteraan yang boleh dilaksanakan ke atas jentera adalah seperti berikut:

a

Hapuskan atau gantikan jentera atau operasinya dengan operasi yang lebih senyap dengan kecekapan yang sama atau lebih baik, contohnya dengan menggantikan rivet dengan kimpalan.

b

Gantikan jentera bising dengan peralatan baharu yang direka bentuk untuk beroperasi pada tahap bunyi yang lebih rendah. Sumber kuasa dan pemindahan jentera boleh direka bentuk untuk memberikan pengawalan kelajuan yang senyap, contohnya dengan menggunakan motor elektrik tanpa langkah (motor elektrik dengan kawalan kelajuan berterusan). Punca getaran boleh diasingkan dan dirawat dalam jentera itu sendiri. Panel penutup dan hac pemeriksaan pada jentera perlu kukuh dan teredam dengan baik. Sirip penyejuk boleh direka bentuk untuk mengurangkan keperluan aliran udara paksa dan seterusnya mengurangkan bunyi kipas.

c

Betulkan punca bising tertentu dengan perubahan kecil pada reka bentuk. Sebagai contoh, elakkan sentuhan logam ke logam dengan penggunaan penampun plastik, atau gantikan pemacu bising dengan jenis yang lebih senyap atau gunakan gear yang dipertingkatkan.

d

Penyelenggaraan peralatan yang tinggi perlu dilaksanakan bagi mematuhi Peraturan-peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Pendedahan Bising) 2019 dan, seterusnya, mengurangkan tahap bunyi serendah yang boleh dipraktikkan. Bearing dan gear yang haus, pelinciran yang lemah, bahagian longgar, tali sawat yang meleret, bahagian berputar yang tidak seimbang serta kebocoran stim atau udara semuanya menghasilkan bunyi bising yang boleh dikurangkan melalui penyelenggaraan yang baik. Peralatan yang menghasilkan paras bising berlebihan hendaklah dibaiki segera.

e

Betulkan elemen jentera tertentu yang menyebabkan bising dengan pendekatan sumber setempat, berbanding menganggap keseluruhan jentera sebagai punca bising. Contohnya, tambah penghadang bising, pengurangan bising, pemasangan pemisah getaran, bebatan bagi meredam permukaan bergetar, penyenyap untuk aliran udara atau gas, atau kurangkan halaju udara dari pancutan bebas. Langkah ini boleh dianggap sebagai penyelesaian kepada setiap elemen penghasilan bising dalam keseluruhan operasi.

f

Asingkan elemen bising yang tidak perlu menjadi sebahagian daripada jentera asas. Contohnya, alihkan pam, kipas, dan pemampat udara yang menyokong jentera asas.

g

Asingkan bahagian jentera yang bergetar untuk mengurangkan bising daripada panel atau pelindung yang bergetar.

Tambahan kepada perubahan kejuruteraan pada jentera dan bahagian-bahagiannya, proses juga boleh diubah suai untuk mengurangkan bising. Kaedah khusus untuk pengubahsuaian termasuk penggunaan proses yang sememangnya lebih senyap berbanding alternatifnya, contohnya, penekanan mekanikal berbanding tempaan jatuh. Impak logam-ke-logam perlu dielakkan atau dikurangkan, sekiranya boleh, dan getaran pada permukaan jentera atau bahan yang sedang diproses haruslah dikawal. Ini boleh dicapai, contohnya, melalui pemilihan bahan yang sesuai, kekakuan dan peredaman bunyi yang mencukupi, atau dengan keseimbangan dinamik yang teliti apabila putaran berkelajuan tinggi digunakan.

Proses pengendalian bahan, khususnya, juga boleh diubah suai untuk memastikan impak dan kejutan semasa pengendalian dan pengangkutan diminimumkan sebanyak mungkin. Ini boleh dicapai melalui:

a

Meminimumkan ketinggian kejatuhan ke atas permukaan keras bagi barang yang dikumpul oleh meja dan bekas;

b

Memasang bahan redaman pada, atau mengukuhkan, meja, dinding, panel atau bekas yang diketuk oleh bahan atau barangan semasa pemrosesan;

c

Menyerap hentakan melalui penyediaan salutan getah atau plastik yang tahan lasak.

d

Menggunakan tali sawat pengangkut berbanding penggelek yang cenderung untuk berdetar; dan

e

Mengawal kelajuan proses supaya sepadan dengan kadar pengeluaran yang dikehendaki, sekali gus memperoleh aliran kerja yang lebih lancar dan mengurangkan kemungkinan penghasilan bising akibat impak hentakan henti-mula proses.

6.1.2 Laluan

Sekiranya tidak boleh untuk mengubah atau mengubah suai peralatan atau proses yang menghasilkan bising melalui kawalan kejuruteraan pada puncanya, perlu dikaji kawalan kejuruteraan terhadap laluan penghantaran bising di antara punca dan penerima, dalam kes ini pekerja.

Kawalan kejuruteraan terhadap laluan penghantaran bising termasuklah mengasingkan objek yang menghasilkan bising dalam kurungan atau meletakkan objek itu dalam bilik atau bangunan yang jauh daripada bilangan pekerja paling ramai, serta merawat secara akustik kawasan tersebut untuk mengurangkan paras bising ke paras terendah yang paling praktik.

Sebagai alternatif, mungkin lebih sesuai untuk melindungi operator berbanding pengurangan punca-punca bunyi. Dalam kes ini, reka bentuk bilik yang kalis bunyi atau kurungan pengurang bunyi masih perlu mematuhi prinsip yang sama.

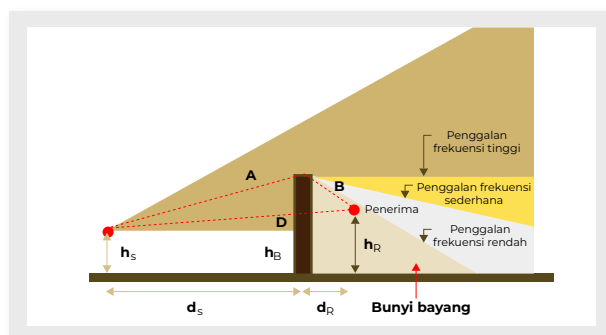
Prinsip-prinsip yang perlu diambil kira dalam melaksanakan kawalan kejuruteraan terhadap laluan penghantaran bising adalah seperti berikut:

- a** Jarak selalunya merupakan penyelesaian yang paling murah, tetapi mungkin tidak berkesan dalam keadaan bergema. **Rajah 6.1** menunjukkan ilustrasi pelemahan bunyi mengikut jarak.



Rajah 6.1: Ilustrasi Pelemahan Bunyi Mengikut Jarak.

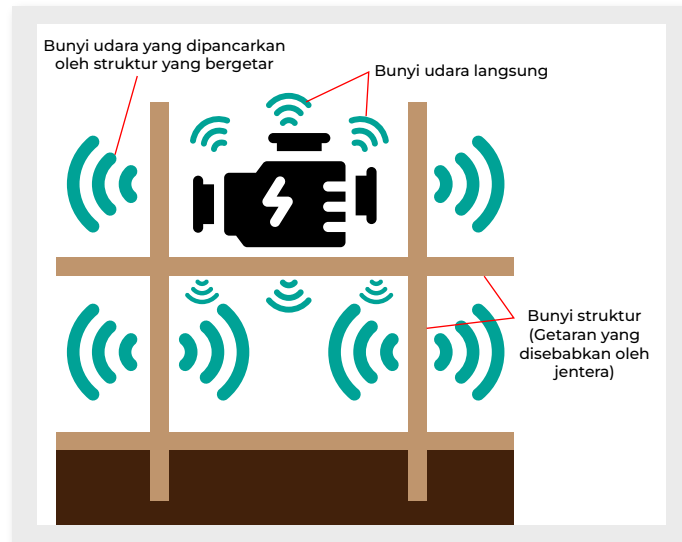
- b** Dirikan penghadang bising di antara punca bunyi dan pendengar, dalam sesetengah keadaan, penghadang separa boleh memberi kelebihan. Bagi kawasan yang mempunyai siling gantung, perhatian perlu diberikan untuk memastikan yang dinding pemisah dipanjangkan sehingga ke siling sebenar dan semua celah udara pada dinding ditutup rapat dan kedap udara. **Rajah 6.2** menunjukkan pelemahan frekuensi bunyi dan diagram zon bayang yang relatif kepada ketinggian penghadang.



Rajah 6.2: Pelemahan Frekuensi Bunyi dan Diagram Zon Bayang yang Relatif kepada Ketinggian Penghadang.

c

Setelah penghadang akustik didirikan, rawatan seterusnya mungkin diperlukan seperti penambahan bahan penyerap pada permukaan yang menghadap punca bising. **Rajah 6.3** menunjukkan penghantaran bunyi dibawa udara dan bunyi struktur daripada jentera.



Rajah 6.3: Penghantaran Bunyi Dibawa Udara dan Bunyi Struktur daripada Jentera.

d

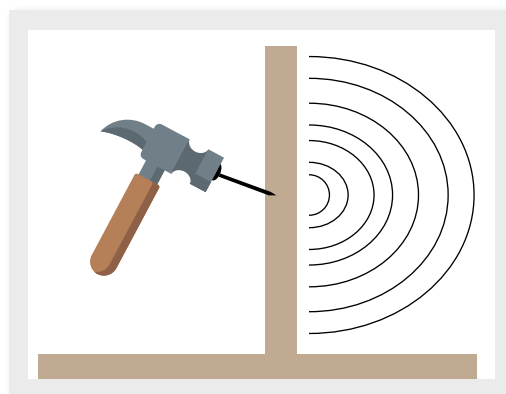
Bahan yang merupakan penghadang bising yang baik, contohnya seperti plumbum, keluli, bata, dan konkrit adalah bahan penyerap bunyi yang lemah. Semakin tumpat dan berat sesuatu bahan, semakin baik keupayaan penghadang bunyi.

e

Penyerap bunyi yang baik, contohnya seperti sesetengah busa poliuretana, gentian kaca, serabut batuan dan permaidani yang pailnya tebal adalah penghadang yang sangat lemah kepada penghantaran bunyi.

f

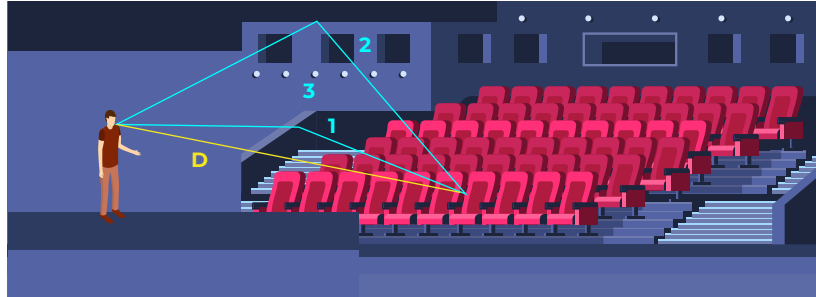
Dinding dan kurungan jentera mestilah direka bentuk untuk meminimumkan resonans yang boleh memindahkan tenaga akustik pada frekuensi resonans ke kawasan yang dilindungi. Ini boleh dicapai dengan meletakkan tetulang atau penyokong di kawasan strategik semasa pembinaan atau pengubahsuaian. **Rajah 6.4** menunjukkan gambaran perambatan gelombang bunyi yang menghasilkan resonans.



Rajah 6.4: Gambaran Perambatan Gelombang Bunyi yang Menghasilkan Resonans.

g.

Kurangkan, setakat yang mungkin, gema di dalam bilik yang bising terhasil daripada penggunaan bahan penyerap akustik. Kehadiran gema dalam bilik menunjukkan keperluan untuk bahan penyerap. Gema yang berlebihan menghasilkan keadaan yang tidak selesa dan bising, yang boleh mengganggu komunikasi pertuturan. **Rajah 6.5** menunjukkan pantulan akustik dalam auditorium yang menghasilkan gema.



Rajah 6.5: Pantulan Akustik dalam sebuah Auditorium yang Menghasilkan Gema.

Prinsip-prinsip ini boleh digunakan dengan cara berikut:

- Menggunakan kurungan pengurang bunyi yang mengurung jentera sepenuhnya;
- Memisahkan kawasan bising dan kawasan yang akan disenyapkan dengan menggunakan sekatan pengurang bunyi;
- Menggunakan bahan penyerap bunyi pada lantai, siling dan/atau dinding bagi mengurangkan paras bunyi disebabkan gema; dan
- Menggunakan penyenyap akustik pada sistem kemasukan dan ekzos yang berkait dengan aktiviti aliran gas, contohnya sistem ekzos enjin pembakaran dalaman atau sistem penyaman udara.

6.1.3 Penerima

Kawalan terhadap penerima dalam situasi industri kebiasaannya dihadkan kepada penyediaan alat pelindung pendengaran seperti palam telinga (earmuff) dan/atau penyumbat telinga (ear plug) kepada pekerja yang terdedah. Bagaimanapun, perlu ditekankan bahawa penggunaan alat pelindung ini merupakan kaedah kawalan terakhir dan memerlukan pemantauan rapi bagi memastikan perlindungan pendengaran jangka panjang pekerja. Antara cabaran utama adalah memastikan alat pelindung tersebut padan dengan sempurna bagi mencapai tahap pelemahan bunyi yang ditetapkan, serta memastikan pemakaian yang betul oleh pekerja. Oleh itu, program pendidikan dan latihan yang meluas amat diperlukan bagi tujuan ini. Alat pelindung pendengaran juga kurang selesa bagi sebilangan besar tenaga kerja; antaranya boleh menyebabkan sakit kepala, jangkitan kulat dalam saluran telinga, peningkatan kadar ketidakhadiran dan penurunan kecekapan kerja. Harus diingat, perlindungan maksimum yang boleh dicapai oleh kombinasi palam telinga dan penyumbat telinga yang dipasang dengan betul adalah sebanyak 30 dB, disebabkan oleh penghantaran bunyi melalui struktur tulang kepala. Dalam kebanyakan keadaan, tahap pengurangan bising yang diperolehi adalah jauh lebih rendah daripada nilai ini.

Pilihan lain yang kadangkala praktikal untuk kawalan pada penerima ialah dengan menempatkan pekerja di dalam kurungan pengurangan bunyi. Kaedah ini sering menjadi pilihan di kemudahan yang terdapat banyak jentera bising, dan kebanyakan mesin tersebut boleh dikendalikan dari jarak jauh. Dalam kes ini, reka bentuk kurungan boleh dikira untuk mencapai prestasi yang dikehendaki dan bahan serta kaedah pembinaan yang sesuai dipilih setelah keperluan pengurangan bunyi ditentukan. Panduan yang perlu dipatuhi semasa reka bentuk dan pembinaan adalah seperti berikut:

- Pintu, tingkap dan panel dinding hendaklah ditutup rapat di bahagian tepinya;
- Permukaan dalaman kurungan hendaklah dilapisi dengan bahan penyerap bunyi; dan
- Semua sistem pengalihudaraan hendaklah dilengkapi dengan penyenyap akustik.

6.2 Penyerapan

Pertimbangan kini akan diberikan bagi menentukan masa yang sesuai untuk merawat permukaan dengan bahan penyerapan akustik. Langkah pertama dalam prosedur ini ialah menentukan sama ada medan bunyi gema menguasai medan bunyi langsung pada lokasi yang pengurangan paras tekanan bunyi keseluruhan dikehendaki, kerana rawatan pada permukaan pantulan dengan bahan penyerapan akustik hanya akan memberi kesan kepada medan bunyi gema. Di lokasi yang berhampiran dengan punca bunyi, sebagai contoh di kedudukan operator mesin, besar kemungkinan medan langsung punca bunyi akan mendominasi, maka rawatan tempat kerja dengan bahan penyerapan bunyi mungkin tidak banyak memberi manfaat untuk melindungi operator daripada paras bising yang dihasilkan oleh mesin kendalian mereka sendiri. Namun begitu, jika seorang pekerja terdedah kepada bising yang dihasilkan oleh mesin lain pada jarak tertentu, maka rawatan tersebut mungkin wajar dipertimbangkan.

Dengan penggunaan bahan penyerap, sejumlah kecil tenaga bunyi ditukar kepada sejumlah kecil tenaga haba. Bahan yang sesuai biasanya bersifat berserat, ringan dan berliang. Serat bahan tersebut perlulah agak tegar. Jika bahan bersel digunakan, sel-sel tersebut mestilah saling berhubung. Busa pula hendaklah diretikulasi pada tahap yang sesuai. Contoh bahan penyerap adalah: jubin siling akustik, gentian kaca dan elastomer berbasa. Secara fizikal, rintangan aliran dalam bahan berserat merupakan ciri paling penting. Untuk mendapatkan hasil yang optimum, rintangan aliran biasanya perlu ditingkatkan apabila ketebalan bahan penyerap dikurangkan, bagi mengekalkan keupayaan penyerapan maksimum. Bahan penyerap digunakan dalam pelbagai aplikasi termasuk lapisan peredam bunyi, lapisan dinding, siling dan kurungan, isian dinding, serta pembinaan penghadang penyerap bunyi.

Keberkesanan sesuatu bahan penyerapan akustik diukur melalui pekali penyerapan. Bahan dengan pekali penyerapan sebanyak 1 (100%) akan “menyerap” sepenuhnya bunyi yang dituju ke atasnya. Bahan penyerapan akustik yang berguna dalam industri biasanya mempunyai pekali melebihi 60% dalam julat frekuensi bermula dari 500 Hz ke atas. Pekali penyerapan ialah nisbah antara keamatan bunyi yang diserap oleh sesuatu bahan kepada keamatan bunyi tuju yang mengenai bahan tersebut, dan boleh dinyatakan seperti berikut:

$$a = \frac{l_a}{l_i}$$

Di mana;

a = pekali penyerapan bunyi;

l_a = keamatan bunyi yang diserap (W/m^2)

l_i = keamatan bunyi insiden (W/m^2)

Adalah agak mudah untuk menganggar paras bunyi baharu berdasarkan paras tekanan bunyi baharu. **Jadual 6.1** menunjukkan Pekali Penyerapan Sabine bagi pelbagai jenis bahan penyerap. Pekali penyerapan Sabine bagi sesuatu bahan biasanya diukur dalam makmal menggunakan bilik ujian gema (reverberant test chamber). Prosedur dan spesifikasi bilik ujian diterangkan dalam pelbagai piawaian seperti ASTM C423-17 dan ISO 354:2003. Bahan yang akan diuji akan diletakkan di dalam bilik gema, dan masa gema, T_{60} , akan diukur.

Jadual 6.1: Pekali Penyerapan Sabine bagi Bahan Akustik yang Biasa

Bahan*	Frekuensi (Hz)					
	125	250	500	1,000	2,000	4,000
Gentian Kaca 4 lb/ft³, alas keras						
Tebal 1 inci	0.07	0.23	0.48	0.83	0.88	0.80
Tebal 2 inci	0.20	0.55	0.89	0.97	0.83	0.79
Tebal 4 inci	0.39	0.91	0.99	0.97	0.94	0.89
Busa poliuretana (sel terbuka)						
Tebal 1/4-inci	0.05	0.07	0.10	0.20	0.45	0.81
Tebal 1/2-inci	0.05	0.12	0.25	0.57	0.89	0.98
Tebal 1 inci	0.14	0.30	0.63	0.91	0.98	0.91
Tebal 2 inci	0.35	0.51	0.82	0.98	0.97	0.95
Hairfelt						
Tebal 1/2-inci	0.05	0.07	0.29	0.63	0.83	0.87
Tebal 1 inci	0.06	0.31	0.80	0.88	0.87	0.87

* Bagi gred tertentu, sila rujuk data daripada pengilang; perlu diambil perhatian bahawa istilah Pekali Pengurangan Bising (NRC) apabila digunakan, merujuk kepada kadaran satu istilah yang merupakan purata aritmetik bagi pekali penyerapan pada frekuensi 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz dan 2000 Hz.

Bahan penyerap pada permukaan bilik berfungsi untuk mengurangkan jumlah bunyi gema di dalam ruang kerja dan seterusnya mengurangkan kesan bunyi pantulan. Sangat penting untuk memperaku bahawa bahan penyerap memberi kesan ketara terhadap penghantaran bunyi; oleh itu, bahan penyerap tidak sepatutnya digunakan sebagai perisai, penghadang atau dinding kurungan. Pengurangan paras tekanan bunyi gema yang boleh dijangkakan melalui penambahan bahan penyerap adalah lebih kurang bersamaan dengan 10 kali logaritma nisbah pemalar bilik selepas penambahan bahan penyerap, yang dibahagi kepada pemalar bilik asal.

$$NR = 10 \log (A2/A1)$$

$$NR = 10 \log \left(\frac{A2}{A1} \right)$$

Di mana;

NR = Pengurangan bising, paras bunyi gema di antara dua keadaan yang berbeza penyerapan bilik dB;

A1 = Jumlah penyerapan bagi keadaan bilik asal, m² sabine

A2 = Jumlah penyerapan setelah penambahan penyerap keadaan bilik, m² sabine

Jumlah penyerapan dalam bilik boleh dinyatakan sebagai:

$$A = S_1 a_1 + S_2 a_2 + \dots + S_n a_n$$

$$A = \sum S_i a_i$$

Di mana;

A = penyerapan bilik (m^2 Sabine)

S_i = keluasan permukaan sebenar (m^2)

a_i = pekali penyerapan bagi permukaan sebenar

Contoh 4:

Bagi bilik berukuran 8 m panjang x 6 m lebar x 4 m tinggi, tentukan pengurangan bising menggunakan pendekatan Sabine apabila pekali penyerapan sebelum rawatan bagi lantai ialah 0.02, bagi dinding 0.04, dan bagi siling 0.01, serta selepas rawatan dengan panel akustik yang dilekatkan pada dinding menggunakan pekali penyerapan 0.08.

Jawapan:

Keluasan dinding = $2 \times [(8 \times 4) + (6 \times 4)] = 112 \text{ m}^2$

Keluasan lantai = 48 m^2

Keluasan siling = 48 m^2

Jumlah keluasan = 208 m^2

Item	Luas Permukaan, S	Sebelum Rawatan		Selepas Rawatan	
		α	A1	α	A2
Dinding	112	0.04	4.48	0.08	8.96
Lantai	48	0.02	0.96	0.02	0.96
Siling	48	0.01	0.48	0.01	0.48
Jumlah			5.92		10.40

Pengurangan bising, $NR = 10 \log (10.4 / 5.92)$

= 2.45 dB

Perlu diambil perhatian bahawa bagi setiap penggandaan jumlah bahan penyerap, boleh dijangkakan pengurangan bunyi sebanyak 3 dB pada paras gema. Oleh itu, pengurangan 3 dB pertama adalah agak mudah untuk dicapai, namun anda perlu menambah dua kali ganda bahan penyerap untuk mencapai pengurangan 3 dB yang kedua. Perlu juga diingat bahawa potensi pengurangan bunyi adalah terhad; anda tidak dapat menurunkan paras bunyi ke tahap lebih rendah daripada apa yang akan dicapai sekiranya terdapat dinding yang mengurung ruang kerja tersebut.

Bahan penyerap mungkin mempunyai lapisan perlindungan khas. Bagi ketahanan terhadap gris dan air yang boleh menyumbat liang-liang bahan penyerap, lapisan filem plastik nipis sering digunakan. Filem ini, serta pelapisan vinil berlubang atau kepingan logam, cenderung menghasilkan pekali penyerapan maksimum pada frekuensi pertengahan. Bahan penyerap yang dilindungi oleh filem masih mempunyai tepian terbuka. Tepian ini boleh dikedap menggunakan cat lateks yang melekat pada liang bahan penyerap dan menutup bahagian tepian tersebut. Beberapa bahan binaan nipis, terutamanya papan lapis, boleh menunjukkan penyerapan frekuensi rendah yang meningkat disebabkan oleh resonans panel sekiranya tidak dipasang dengan kukuh.

6.2.1 Pekali Pengurangan Bising

Pekali Pengurangan Bising (Noise Reduction Coefficient, NRC) ialah satu nombor tunggal yang digunakan untuk menerangkan ciri-ciri penyerapan sesuatu bahan. Ini amat berguna apabila perbandingan manfaat relatif antara beberapa bahan berbeza perlu dilakukan dengan cepat. Untuk tujuan ini, purata frekuensi Pekali Pengurangan Bising purata frekuensi (NRC) telah diperkenalkan. NRC ditakrifkan sebagai:

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4}$$

Di mana;

α_{250} , α_{500} , α_{1000} , and α_{2000} adalah pekali penyerapan bunyi pada 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz, masing-masing.

Contoh 5:

Dengan merujuk pada **Jadual 6.1**, cari nilai pekali pengurangan bising (NRC) bagi 1 inci tebal bahan busa poliuretana.

Jawapan:

$$NRC = (0.30 + 0.63 + 0.91 + 0.98)/4 = 0.705$$

NRC menyediakan kadaran standard bagi keupayaan sesuatu bahan menyerap bunyi. Setiap bahan mempunyai kadaran NRC yang berbeza, dalam julat 0.00 hingga 1.00. Lazimnya, kadaran NRC sesuatu bahan dilihat sebagai peratusan. Sebagai contoh, kadaran NRC sebanyak 0.75 bermaksud 75% tenaga bunyi yang terkena pada bahan tersebut diserap. Secara ringkasnya, bunyi tidak dipantulkan semula ke dalam bilik untuk menghasilkan bising. Sesuatu bahan dengan NRC 0.75 juga dianggap sebagai 25% memantulkan bunyi. **Jadual 6.2** menunjukkan contoh bahan penyerap bunyi yang tersedia bersama kadaran NRC seperti berikut.

Jadual 6.2: Pekali Pengurangan Bising bagi Bahan Akustik yang Biasa

Sampel	Ketumpatan (kg/m ³)	Ketebalan (mm)	Pekali Pengurangan Bising
Tikar gentian bulu	32	50	0.70
Kenaf	100	60	0.70
Gentian kayu	100	60	0.60
Wul bebiri	40	60	0.70
Kelapa	60	50	0.50
Tikar gentian selulosa	56	50	0.65
Tikar wul mineral	41	50	0.65

6.3 Penebatan

Penebatan bunyi merujuk kepada amalan mengurangkan penghantaran bunyi antara kawasan yang berbeza, biasanya melalui penggunaan bahan dan teknik pembinaan yang menghalang atau menyerap gelombang bunyi. Penebatan bunyi yang berkesan adalah penting dalam persekitaran industri bagi mewujudkan keadaan akustik yang berfungsi dengan baik. Dengan menggabungkan bahan penebat bunyi seperti penghadang berketumpatan tinggi, panel akustik, serta tingkap dan pintu khas, gangguan bunyi dari luar dapat diminimumkan dan kebocoran bunyi dari dalam dapat dielakkan.

6.3.1 Kehilangan Penghantaran Bunyi

Ciri-ciri pengasingan bunyi bagi sesuatu bahan dinyatakan dalam bentuk kehilangan penghantaran bunyi (Sound Transmission Loss, STL). Seperti dalam penyerapan bunyi, konsep aliran tenaga digunakan, yang merujuk kepada tenaga yang dihantar melalui bahan berbanding dengan tenaga yang menghala ke arahnya. Kehilangan penghantaran idealnya meningkat dengan frekuensi pada kadar kira-kira 5 hingga 6 dB bagi setiap dua kali ganda kenaikan frekuensi.

Pengukuran piawai untuk menentukan kehilangan penghantaran dilakukan mengikut ASTM E90:99 - *Standard Test Method For Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements*, atau ISO 140-1:1997 - *Acoustics - Measurement of Sound Insulation In Buildings and of Building Elements - Part 1 : Requirements For Laboratory Test Facilities with Suppressed Flanking Transmission*, serta ISO 140-3:1995 - *Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - Part 3: Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Elements*.

$$STL = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

Di mana;

STL : Kehilangan Penghantaran Bunyi dalam decibel (dB)

τ : faktor kehilangan penghantaran

$$\tau = \frac{I_T}{I_i}$$

Di mana;

Keamatan bunyi yang dihantar (*I terhantar*);

Keamatan bunyi insiden (*I insiden*)

Hasil daripada usaha mencari satu nombor tunggal untuk menunjukkan purata penuh kehilangan penghantaran bunyi, konsep kelas penghantaran bunyi (Sound Transmission Class, *STC*) telah dibangunkan. *STC* amat berguna khususnya dalam menilai tahap keberkesanan dinding dalam menghalang penghantaran percakapan yang boleh difahami. Walau bagaimanapun, penggunaan *STC* dalam kerja-kerja industri perlu dilakukan dengan berhati-hati kerana spektrum bunyi dalam persekitaran industri boleh sangat berbeza daripada spektrum percakapan. Oleh itu, kehilangan penghantaran dalam setiap jalur oktaf untuk aplikasi bahan pengasingan yang sesuai ditunjukkan dalam **Jadual 6.3**.

Jadual 6.3: Kehilangan Penghantaran bagi Bahan Binaan Lazim

Bahan*	Frekuensi (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Bata, 4"	30	36	37	37	37	43
Blok, 7 5/8" sinder berongga	33	33	33	39	45	51
Blok, 6" konkrit ringan bercat	38	36	40	45	50	56
Langsir, plumbum/vinil 1.5 lb/ft ²	22	23	25	31	35	42
Pintu 2 5/8" kayu keras	26	33	40	43	48	51
Jubin gentian, mineral terisi 5/8"	30	32	39	43	53	60
Plat kaca, 1/4"	25	29	33	36	26	35
Kaca berlamina, 1/2"	23	31	38	40	47	52
Panel, logam tertebuk dengan mineral 4"	28	34	40	48	56	62
Papan lapis, 1/4", 0.7 lb/ft ²	17	15	20	24	28	27
Papan lapis, 3/4", 2 lb/ft ²	24	22	27	28	25	27
Keluli, 18 tolok, 2 lb/ft ²	15	19	31	32	35	48
Keluli, 16 tolok, 2.5 lb/ft ²	21	30	34	37	40	47
Kepingan logam berlamina, 2 lb/ft ²	15	25	28	32	39	42

Nota: *Bagi gred khusus, rujuk data pengilang.

Dinding dengan kadar Kelas Penghantaran Bunyi (STC) yang direka bentuk untuk menyediakan tahap penebatan bunyi tertentu, yang boleh memberi kesan ketara terhadap kualiti pendengaran di dalam bangunan. Kadar STC merupakan pengukuran setakat mana sekatan bangunan dapat melemahkan bunyi bawaan udara. Sebagai contoh, dinding dengan kadar STC 30 membolehkan kebanyakan percakapan biasa didengar dan difahami melaluinya, manakala dinding dengan kadar STC 50 akan menghalang kebanyakan percakapan kuat, menjadikannya hampir tidak dapat didengar. Kadar STC yang lebih tinggi, seperti 60, menunjukkan penebatan bunyi yang unggul, yang walau pun bunyi yang sangat kuat sekalipun sukar untuk didengari. Pemilihan kadar STC adalah penting untuk mewujudkan ruang yang memenuhi keperluan akustik tertentu dan menyediakan persekitaran pendengaran yang optimum, seperti yang ditunjukkan dalam **Jadual 6.4**.

Jadual 6.4: Kualiti pendengaran tipikal bagi dinding dengan kadar kelas penghantaran bunyi (STC)

STC	Jenis Sekatan
33	Satu lapisan papan dinding 1/2" di setiap sisi, rangka kayu, tiada penebatan (dinding dalaman tipikal)
39	Satu lapisan papan dinding 1/2" di setiap sisi, rangka kayu, penebatan gentian kaca [2]
44	4" Unit batu konkrit berongga (CMU) [3]
45	Dua lapisan papan dinding 1/2" di setiap sisi, rangka kayu, penebat batt dalam dinding
46	Satu lapisan papan dinding 1/2" , digam pada 6" dinding blok konkrit ringan, dicat kedua-dua belah
46	6" Unit batu konkrit berongga (CMU) [3]
48	8" Unit batu konkrit berongga (CMU) [3]
50	10" Unit batu konkrit berongga (CMU) [3]
52	8" Unit batu konkrit berongga (CMU) dengan 2" batang Z dan 1/2" papan dinding di setiap sisi [4]
54	Satu lapisan papan dinding 1/2", digam pada 8" dinding blok konkrit tumpat, dicat kedua-dua belah
54	8" Unit batu konkrit berongga (CMU) dengan 1 1/2" pelapik kayu, 1 1/2" penebat gentian kaca dan 1/2" papan dinding di setiap sisi [4]
55	Dua lapisan 1/2" papan dinding di setiap sisi, pada dinding rangka kayu bersusun selang, penebat batt dalam dinding
59	Dua lapisan 1/2" papan dinding di setiap sisi, pada dinding rangka kayu, saluran anjal pada sebelah satu sisi, penebat batt
63	Dua lapisan 1/2" papan dinding di setiap sisi, di dinding dwi rangka kayu/logam (berjarak 1", penebat batt berganda
64	8" Unit batu konkrit berongga (CMU) dengan 3" rangka keluli, penebatan gentian kaca dan 1/2" papan dinding di setiap sisi [4]
72	8" dinding blok konkrit, dicat, dengan 1/2" papan dinding pada rangka keluli bebas, setiap sisi, penebatan dalam rongga

Kadar sekatan STC diperolehi daripada: "Noise Control in Buildings: A Practical Guide for Architect and Engineers", Cyril M. Harris, 1994

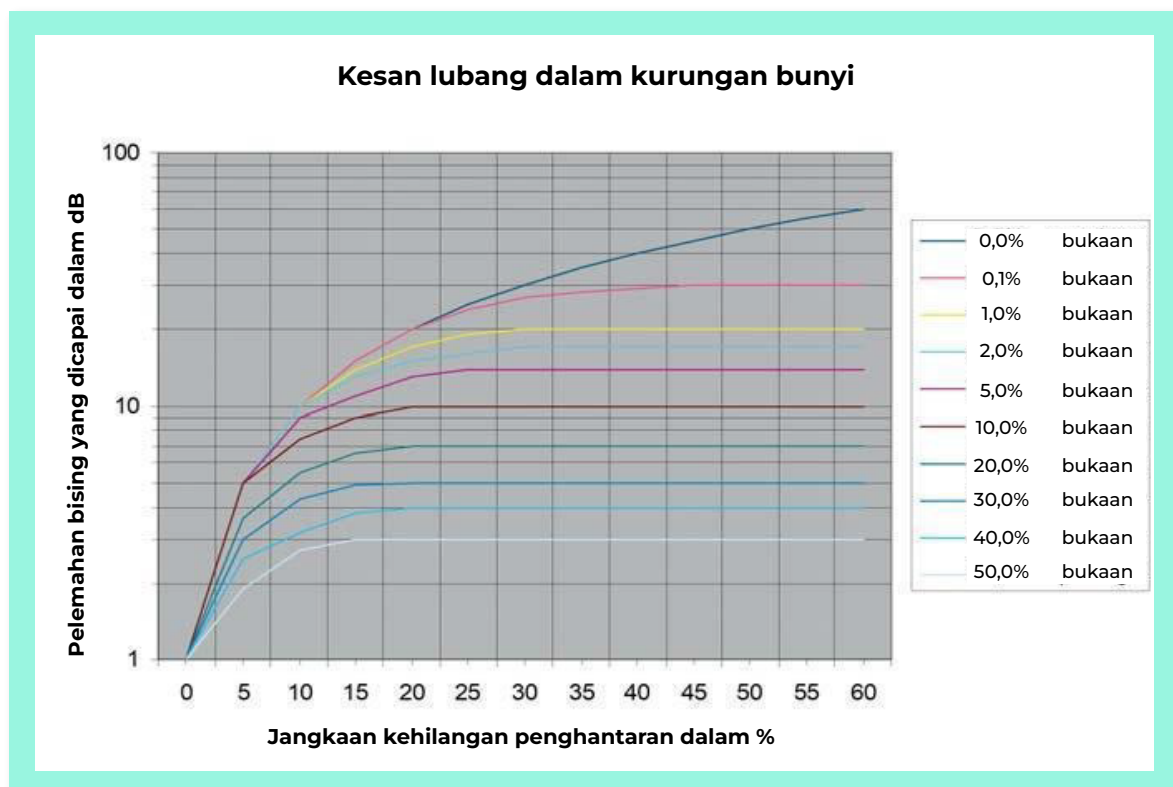
6.3.2 Kurungan

Penggunaan kurungan bagi kawalan bising akan menghasilkan medan bunyi gema di dalamnya, selain daripada medan bunyi langsung yang sedia ada daripada punca bunyi. Kedua-dua medan gema dan medan langsung ini akan menyumbang kepada bunyi yang dipancarkan oleh dinding kurungan serta medan bunyi di dalam kurungan tersebut.

Medan bunyi yang berada tepat di luar kurungan terdiri daripada dua komponen. Satu komponen disebabkan oleh medan gema dalaman, manakala satu lagi disebabkan oleh medan langsung daripada punca bunyi.

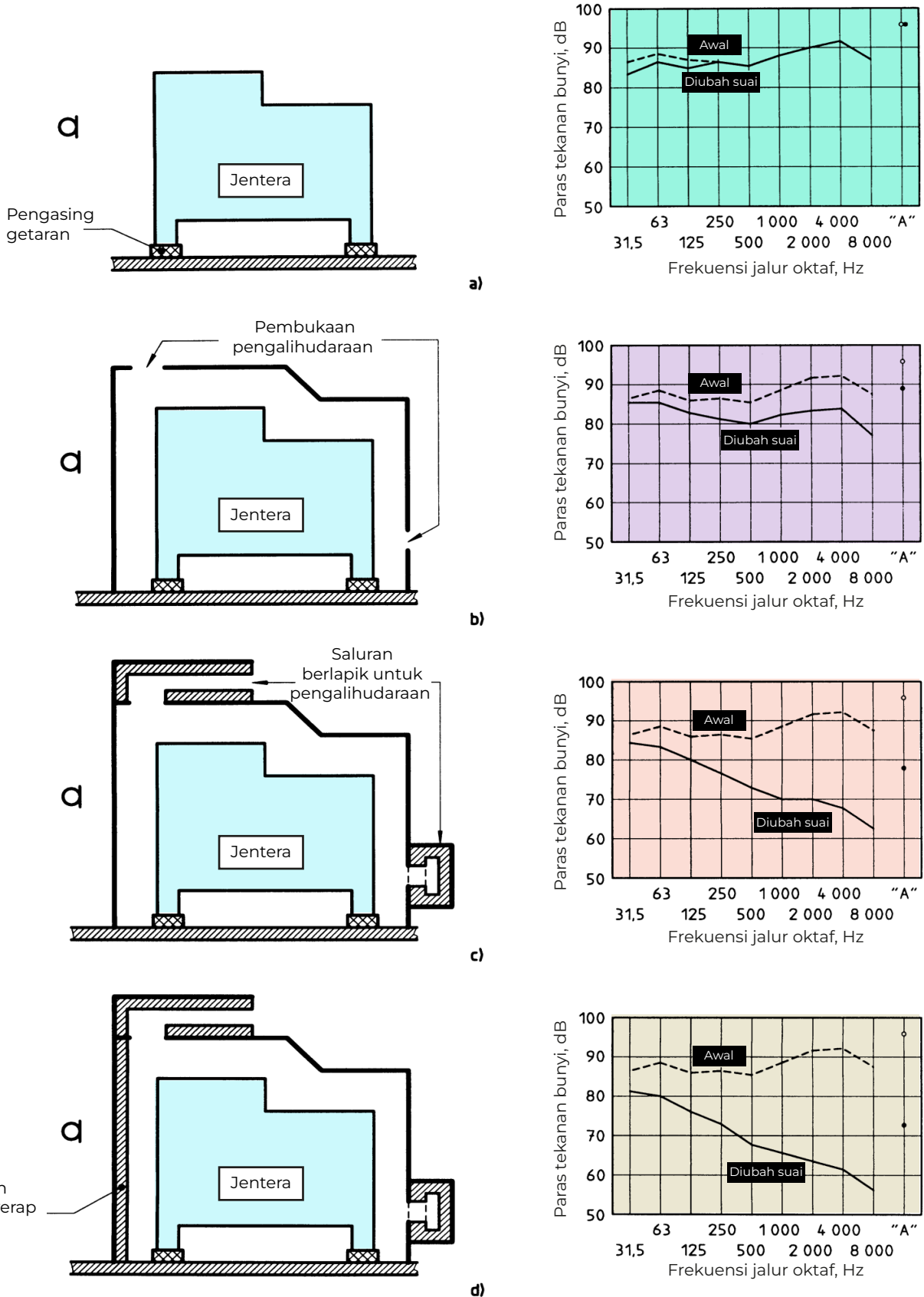
Bising daripada punca tertentu paling berkesan boleh dikurangkan melalui pengurangan akustik ke atas punca tersebut. Ciri-ciri kehilangan penghantaran bunyi bagi sekatan komposit yang terdiri daripada panel pelbagai bahan bergantung kepada peratusan jumlah keluasan yang diduduki oleh setiap bahan dan faktor kehilangan penghantarannya. Ciri-ciri kehilangan penghantaran pelbagai bahan yang biasa digunakan untuk pengurangan boleh didapati dalam kebanyakan buku panduan kawalan bising.

Kebocoran atau kawasan terbuka dalam kurungan menyebabkan pengurangan ketara dalam kehilangan penghantaran keseluruhan sesuatu panel, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.6**. Sebagai contoh, jika sebuah kurungan dengan jangkaan kehilangan penghantaran bunyi atau pengurangan bunyi sebanyak 60 dB mempunyai bukaan yang mewakili 1.0% daripada jumlah keluasan, kehilangan penghantaran bunyi bersih yang berkesan akan berkurang kepada 20 dB.



Rajah 6.6: Kesan lubang pembukaan pada jangkaan pengurangan bising bagi kurungan

Untuk menempatkan peralatan yang memerlukan aliran udara penyejukan, kurungan mesti mempunyai bukaan untuk pengambilan dan pelepasan udara. Bukaan tersebut mesti dirawat secara akustik, seperti yang ditunjukkan dalam contoh **Rajah 6.7**. Pengurangan bising yang dicapai bagi jentera yang sama dengan reka bentuk pengurangan yang berbeza menunjukkan potensi pengurangan paras tekanan bunyi yang berbeza bagi setiap frekuensi jalur oktaf 1/1.



Rajah 6.7: Pengurangan bising yang biasa dicapai bagi jentera dan kurungan berbeza

Untuk tujuan penyelenggaraan, pembukaan kurungan perlu diberikan pertimbangan reka bentuk yang sewajarnya. Panel boleh tanggal, panel yang dipasang pada landasan atas, atau pintu pengurungan yang besar dan diletakkan dengan baik serta boleh diakses menggunakan takal rantai selalunya dapat menyelesaikan masalah pengalihan dan penyelenggaraan peralatan.

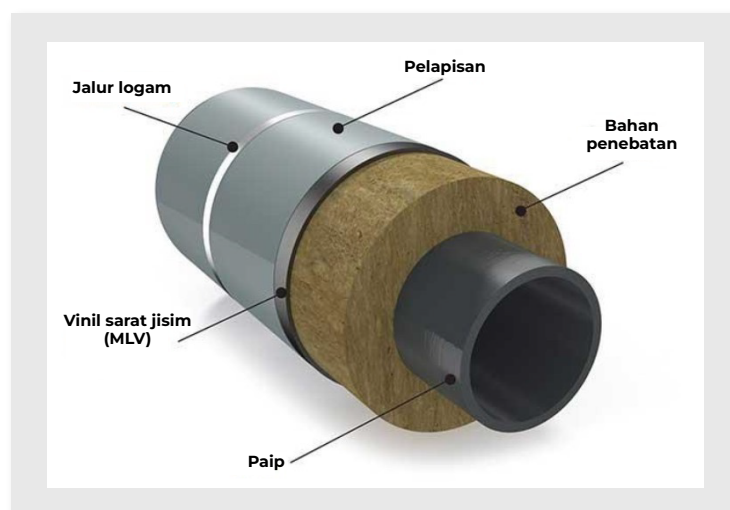
Biasanya, panel yang lebih nipis boleh digunakan untuk menyerap bunyi bising frekuensi tinggi. Walau bagaimanapun, bagi bunyi frekuensi rendah, panel yang lebih tebal dengan sekatan daripada bahan berat adalah disyorkan. Panel juga perlu dipasang dengan pengasingan getaran untuk mengelakkan penghantaran frekuensi rendah ke lantai atau struktur sambungan.

6.3.3 Bebatan Akustik

Pancaran bunyi daripada dinding paip atau saluran penyaman udara merupakan punca bising yang biasa berlaku. Pengujaan biasanya berpunca daripada aliran terganggu melalui injap atau peredam, oleh itu adalah lebih baik untuk mengurangkan pengujaan tersebut melalui rawatan atau pengubahsuaian pada punca. Namun begitu, kerana rawatan pada punca selalunya tidak dapat dilakukan, alternatifnya adalah dengan merawat dinding paip atau saluran tersebut secara akustik untuk mengurangkan bising yang dihantar.

Kesan pembalutan paip dengan lapisan bahan serap berliang boleh dijangka dengan mengambil kira kehilangan tenaga bunyi akibat pantulan pada permukaan bahan berliang serta kehilangan akibat penghantaran bunyi melalui bahan tersebut.

Penebat akustik pada punca bising, terutamanya saluran paip, injap, dan saluran, melibatkan pembalutan punca bising dengan rawatan yang menyediakan gabungan mekanisme penghalang bunyi dan penyerapan bunyi untuk mencapai pengurangan bising maksimum. Reka bentuk penebat yang optimum bergantung kepada kandungan spektrum bising yang dipancarkan serta tahap pengurangan bising yang diperlukan. Semua reka bentuk harus mengelakkan sebarang penyambungan mekanikal antara permukaan paip atau saluran dan rawatan lapisan luar serta mesti mempunyai lapisan bahan penyerapan anjal di antara permukaan paip, saluran, atau injap dan rawatan lapisan luar. Ketebalan bahan yang lebih tinggi atau bahan komposit yang lebih berat diperlukan untuk prestasi frekuensi rendah. Bagi paip atau saluran dengan lapisan nipis, bahan peredam getaran dengan pelekat belakang perlu dipasang terus pada permukaan. **Rajah 6.8** menunjukkan reka bentuk penebat akustik yang tipikal. Untuk pengurangan 20 dB, lapisan bahan penyerapan 6 lb/ft³ setebal 2 inci dengan sekurang-kurangnya septum 1.0 lb/ft³ di antara lapisan adalah keperluan purata.



Rajah 6.8: Reka bentuk penebat akustik yang tipikal bagi talian paip yang memancarkan bising

6.4 Jarak

6.4.1 Ketinggian Jatuhan

Peranti pengendalian mekanikal dan bahan lazimnya menghasilkan impak bising. Jenis bising ini boleh dikurangkan dengan:

1

Mengurangkan ketinggian jatuhan barang yang dikumpulkan dalam kotak atau tong, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.9**.



Rajah 6.9: Mengurangkan ketinggian jatuhan menggunakan pelantar boleh laras.

2

Menggunakan getah lembut atau plastik untuk menerima dan menyerap hentakan kuat, seperti semasa dua panel berkemungkinan dilanggar oleh bahan semasa pemrosesan, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.10**.



Rajah 6.10: Mengurangkan ketinggian jatuhan dan menggunakan lidah getah untuk memperlambatkan kelajuan jatuhan dan menyerap hentakan.

3

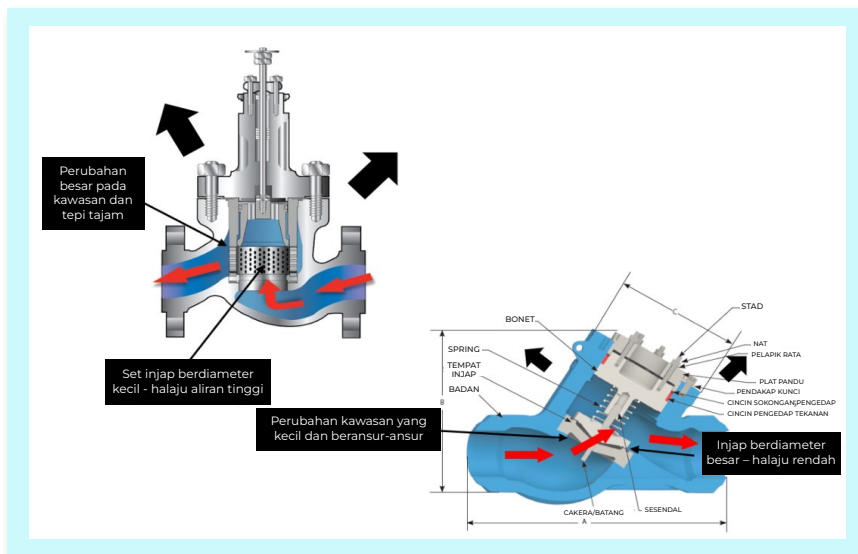
Meningkatkan ketegaran bekas yang menerima barang yang terhentak dan menambah bahan peredam — terutamanya pada permukaan yang besar.

4

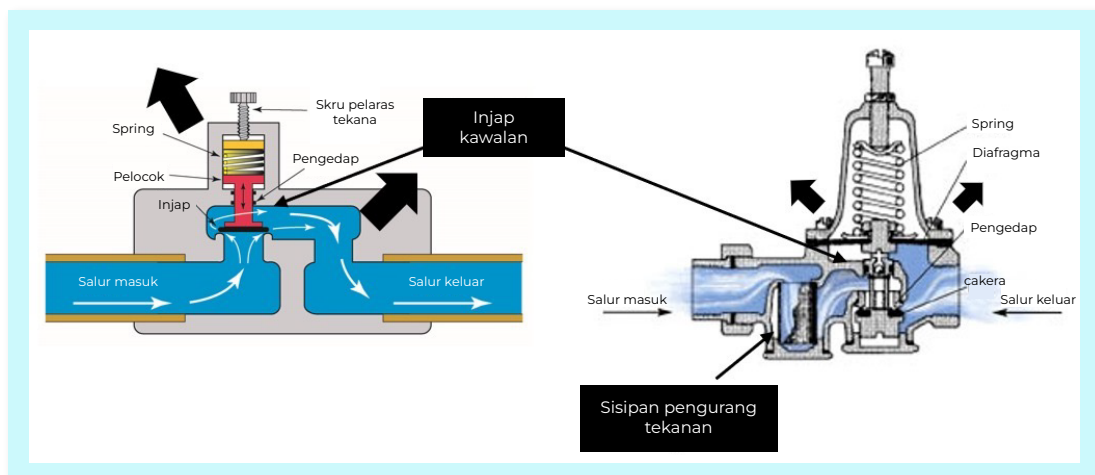
Mengawal kelajuan atau masa kitaran pengangkut untuk mengelakkan perlanggaran dan bising berlebihan.

6.4.2 Gelora Bising

Aliran lamina yang lancar dalam saluran atau paip tidak menghasilkan bunyi bising. Bunyi bising bendalir disebabkan oleh aliran gelora. Semakin kuat aliran gelora, semakin besar bising yang terhasil. Gelembung wap boleh terbentuk akibat perubahan mendadak dalam aliran bendalir. Penyediaan peralihan beransur pada kawasan keratan rentas dapat mengurangkan kemungkinan pembentukan gelembung ini, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.11 (a) & (b)**.

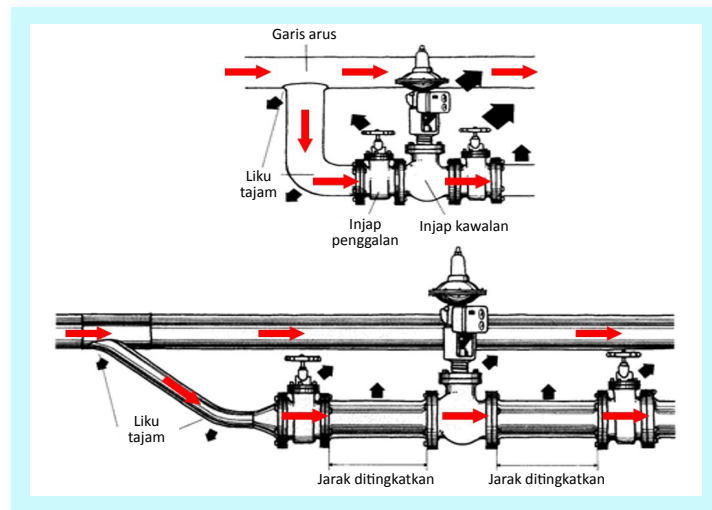


Rajah 6.11 (a): Mengurangkan gelora bendalir dengan meluruskan laluan aliran



Rajah 6.11 (b): Mengelakkan implosi gelembung wap (peronggaan) dengan mengurangkan tekanan dalam beberapa langkah kecil

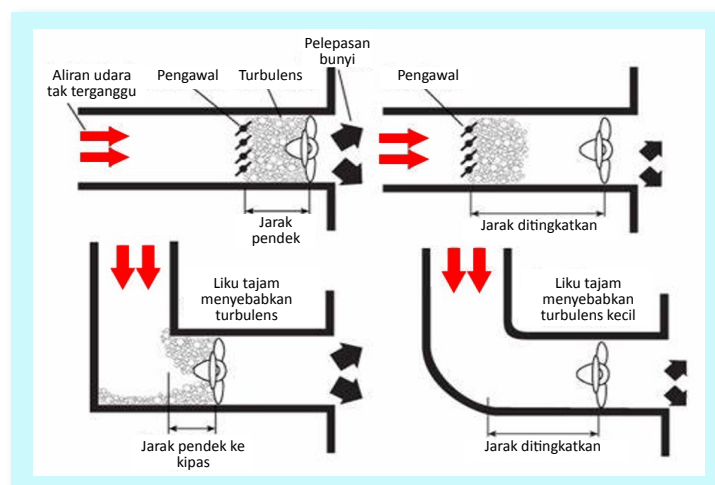
Gelora pada dinding saluran atau paip sentiasa wujud. Untuk mengurangkan bising, permukaan dalaman dinding hendaklah licin, bebas daripada sebarang penonjolan pada sambungan, dan elakkan tajam di persimpangan-T serta persimpangan-Y. Bilah pengubah arah boleh dipasang di dalam saluran apabila kaedah pembinaan melibatkan liku tajam. Bilah pelurus aliran pula boleh digunakan untuk melicinkan aliran di bahagian hilir selepas sebarang perubahan arah, diameter, atau cabang, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.12**.



Rajah 6.12: Mengurangkan gelora bendalir dengan meluruskan liku dan membuat peralihan perubahan diameter secara beransur-ansur dalam aliran bendalir.

Kipas menghasilkan sejumlah besar gelora, yang seterusnya menghasilkan bunyi bising. Oleh kerana kuasa bunyi yang dijana oleh kipas berubah mengikut kuasa kelima kelajuan putarannya, kaedah yang paling menjimatkan kos untuk kawalan kebisingan kipas ialah dengan mengurangkan kelajuannya setakat yang boleh.

Jika keadaan mengizinkan, apabila membeli kipas baharu, pilihlah reka bentuk yang lebih senyap. Sebagai contoh, bilah melengkung ke belakang pada kipas jenis sangkar tupai (squirrel-cage) lebih senyap berbanding bilah lurus atau bilah melengkung ke hadapan. Kipas yang dipasang di dalam saluran udara menghasilkan bising yang ketara, terutamanya apabila dipasang di kawasan yang mempunyai tahap gelora tinggi. Kipas saluran sejajar hendaklah dipasang di kawasan saluran udara yang mempunyai tahap gelora rendah (**Rajah 6.13**).



Rajah 6.13: Kesan aliran udara bagi kipas saluran sejajar yang perlu dipasang dalam kawasan saluran udara yang tahap gelora rendah.

6.5 Penyenyap

Penyenyap atau peredam bunyi boleh dikelaskan kepada dua jenis asas, iaitu jenis penyerapan (kadang-kala dikenali sebagai jenis lesapan) dan jenis reaktif. Kedua-dua jenis ini dibuat untuk mengurangkan bising sambil membenarkan aliran udara atau gas. Penyenyap jenis penyerapan mengandungi bahan berliang atau berserat dan menggunakan kaedah penyerapan untuk mengurangkan paras bising. Mekanisme asas bagi penyenyap reaktif pula adalah pengembangan atau pantulan gelombang bunyi, yang menghasilkan kesan pembatalan bunyi bising.

Penyenyap atau peredam bunyi lazimnya digunakan untuk mengurangkan paras bising yang berkaitan dengan ekzos enjin pembakaran dalaman, ventilasi wap atau gas bertekanan tinggi, pemampat, dan kipas. Contoh-contoh ini menunjukkan bahawa peranti penyenyap membenarkan bendalir melaluinya sambil menghadkan laluan bebas gelombang bunyi. Penyenyap juga boleh digunakan dalam situasi yang memerlukan akses langsung ke bahagian dalaman sesebuah kurungan, tetapi tidak memerlukan aliran gas yang berterusan melaluinya.

Penyenyap atau peredam bunyi boleh dianggap secara ringkas sebagai saluran atau paip yang telah dirawat secara akustik atau dibentuk khusus untuk mengurangkan penghantaran bunyi bising dalam medium yang terkandung. Bising tersebut mungkin berpunca daripada jentera atau dihasilkan oleh aliran bendalir. Antara punca bising termasuklah pelepasan tekanan ke atmosfera, kipas pengalir, pam vakum, mesin penguntit (pelletizer), pendingin, penghembus, pemampat, sistem perpaipan, injap pengurang tekanan, turbin, enjin salingan, dan peralatan lain.

Ciri-ciri bunyi bising daripada aliran gas adalah sangat pelbagai. Oleh itu, analisis menyeluruh terhadap kandungan spektrum bising aliran gas merupakan langkah pertama yang penting dalam pemilihan dan penggunaan mekanisme penyenyapan yang sesuai.

6.5.1 Penyenyap Reaktif

Bentuk paling ringkas bagi penyenyap reaktif ialah kebuk pengembangan tunggal. Apabila udara masuk dan keluar dari kebuk tersebut, pengembangan dan pengecutan tekanan akan menyebabkan gelombang bunyi dipantulkan. Gelombang yang dipantulkan ini, apabila ditambah kepada gelombang bunyi yang datang, menghasilkan interferens memusnah, yang membawa kepada pengurangan bising.

Persamaan berikut boleh digunakan untuk mengira panjang yang diperlukan bagi penyenyap reaktif:

$$L = \frac{n\lambda}{4} \text{ di mana, } n = 1, 3, 5 \dots$$

Di mana;

L = panjang penyenyap;

λ = panjang gelombang bagi nada;

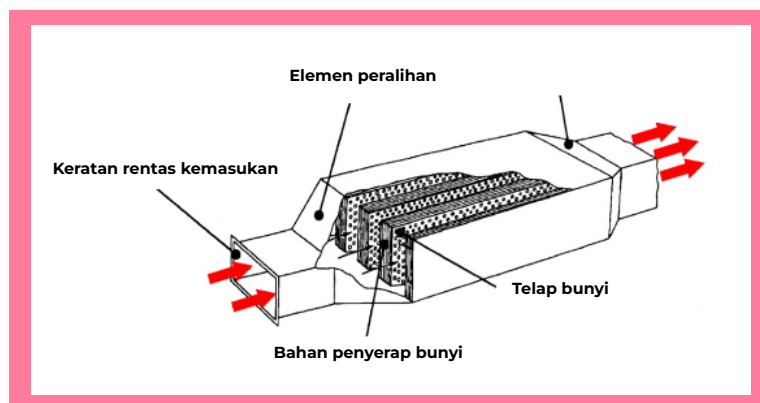
n = integer ganjil positif yang mewakili siri harmonik bagi jenis resonator ini. Pecahan $1/4$ menunjukkan bahawa panjang penyenyap adalah $1/4$ daripada panjang gelombang bagi frekuensi asas (iaitu apabila $n = 1$).

Ciri-ciri akustik bagi penyenyap reaktif ditentukan terutamanya oleh konfigurasi dalaman serta pengurangan halaju aliran melalui penyediaan kebuk pengembangan. Penyenyap reaktif direka bentuk untuk memanfaatkan pemantulan bunyi yang berlaku akibat perubahan bentuk secara mengejut serta resonans daripada cabang atau rongga tambahan pada paip atau saluran. Mekanisme reaktif ini menghalang laluan akustik melalui ketakpadanan impedans dalam aliran tenaga akustik di dalam paip atau saluran tersebut. Penyenyap reaktif adalah paling berkesan digunakan pada frekuensi rendah dan aplikasi dengan lebar jalur spektrum yang terhad.

6.5.2 Penyenyap Penyerapan atau Lesapan

Bentuk paling ringkas bagi penyenyap penyerapan ialah saluran bersalut. Secara amnya, bahagian panjang saluran disaluti dengan bahan penyerap bunyi, namun lapisan ini amat berkesan di bahagian luku saluran. Biasanya, gentian kaca gred akustik setebal 2 hingga 5 cm digunakan.

Satu lagi bentuk penyenyap penyerapan terdiri daripada sekatan selari. Reka bentuk yang baik merangkumi hujung masuk dan keluar yang bergaris arus secara aerodinamik serta ruang berlubang yang diisi dengan bahan akustik penyerapan tinggi. Beberapa kaki pertama pada panjang penyerap ini sangat menyerap bunyi, menyebabkan pelemahan bunyi tidak bersifat linear mengikut panjang. Bahan penyerap yang tebal dengan jarak luas antara penyerap adalah berkesan untuk frekuensi rendah, manakala bahan nipis dengan jarak sempit berkesan untuk frekuensi lebih tinggi. Reka bentuk ini perlu dipertimbangkan bagi saluran masuk dan keluar udara apabila punca bunyi terkurung, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.14**.



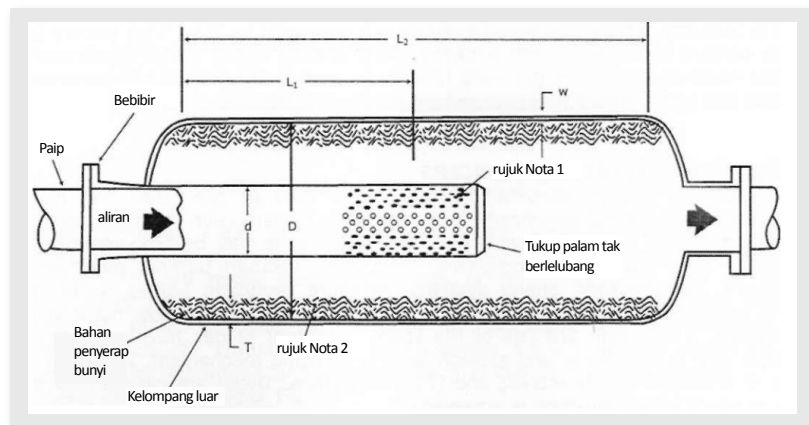
Rajah 6.14: Penyenyap jenis pemisah penyerap mengikut saiz frekuensi dominan.

Ciri akustik penyenyap serapan ini ditentukan terutamanya oleh kehadiran bahan penyerap bunyi yang melesapkan tenaga akustik. Bahan seperti serabut batuan, gentian kaca, dan felt, apabila digunakan dalam saluran, akan membentuk penyenyap lesapan. Penyerapan maksimum bagi bahan-bahan tersebut biasanya berlaku pada frekuensi tinggi, namun penyenyap lesapan lazimnya mempunyai keupayaan pengurangan bising dalam jalur frekuensi yang agak luas. Ciri berpotensi yang tidak diinginkan bagi jenis penyenyap ini ialah jika direka bentuk secara tidak betul, cebisan bahan penyerap boleh terperangkap ke dalam aliran gas dan seterusnya menjejaskan prestasi penyenyap.

Perbezaan antara penyenyap reaktif dan pelesapan adalah secara konsep. Dalam amalan, semua penyenyap mencapai pengurangan bising melalui kedua-dua mekanisme reaktif dan pelesapan. Walau bagaimanapun, sesetengah penyenyap direka bentuk sebagai gabungan peranti reaktif-pelesapan untuk aplikasi khas. Dalam pertimbangan penggunaan semua penyenyap, peningkatan tekanan belakang dalam saluran perlu diambil kira serta kesannya terhadap spesifikasi reka bentuk keseluruhan peralatan loji.

6.5.3 Penyenyap Bising Bagi Perpaipan

Aliran denyut yang terhasil daripada pengambilan dan pelepasan oleh pemampat dan pam saling merupakan punca bising dan getaran yang kerap dan utama. Peranti yang dikenali sebagai "penyerap hentakan" atau "perangkap denyut" digunakan untuk menampakan aliran berdenyut ini dengan menyediakan kebuk pengembangan dan elemen pelesapan dalam sistem perpaipan yang berkaitan. Prestasi peranti yang dipasang ini bergantung kepada konfigurasi sistem tersebut. Oleh itu, analisis bagi sistem perpaipan lengkap perlu dilakukan untuk memastikan keserasian operasi dan prestasi akustik. **Rajah 6.15** menunjukkan ciri reka bentuk umum bagi penyenyap sejajar.



Nota 1

Diameter lubang hendaklah dijarakkan serapat yang mungkin dan menghasilkan jumlah kawasan terbuka yang melebihi dua kali ganda keluasan keratan rentas paip.

Nota 2

Keluli tak mengakis berukuran tolok enam belas (16) atau lebih tebal, dengan sekurang-kurangnya 50% kawasan terbuka berlelubang dan disokong oleh jaring dawai tak mengakis 16 x 16 atau 18 x 14.

Rajah 6.15: Ciri reka bentuk umum bagi penyenyap sejajar

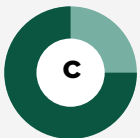
Ciri reka bentuk utama bagi penyenyap sejajar adalah seperti berikut:



Ciri paling penting adalah bahan penyerap sepatutnya melitupi seluas mungkin kawasan yang praktikal.



Had kepada pengujaan semula gelora apabila gas keluar dari penyenyap boleh dicapai dengan mengelakkan tepi tajam atau penyempitan kawasan.



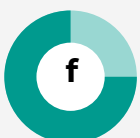
Perencatan atau pengelakan daripada resonans.



Pelemahan jalur frekuensi.



Pembinaan yang sesuai untuk mengelakkan pancaran bunyi ke luar.



Tiada kehilangan tekanan yang ketara dalam aliran bersih.



Pembinaan yang sesuai untuk menahan tekanan operasi.

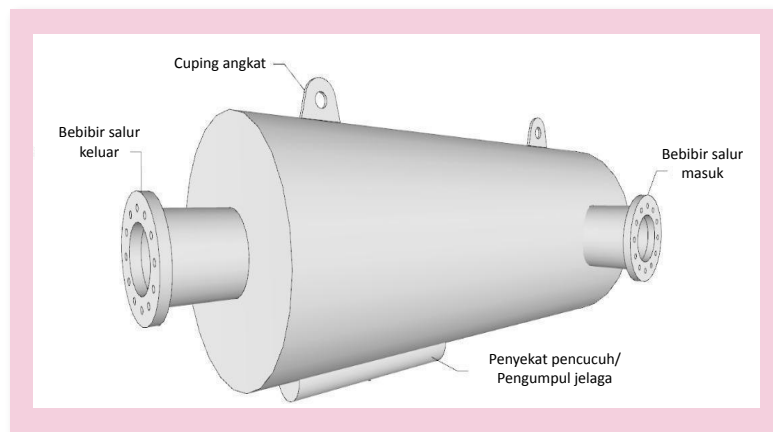


Kemudahan pemasangan.

6.5.4 Penyenyap dan Penggunaannya

1 Penyenyap Ekzos

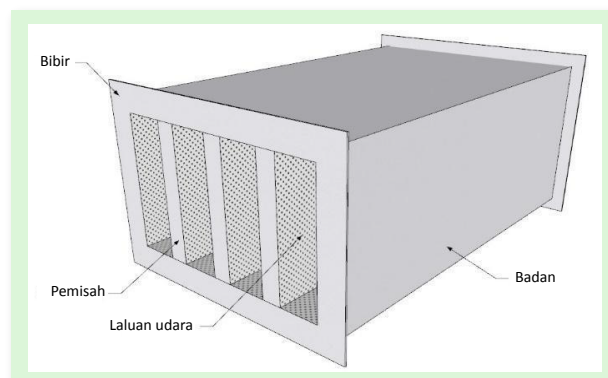
Penyenyap ekzos terdapat dalam bentuk standard dan juga boleh dibuat khas untuk memenuhi pelbagai jenis enjin pembakaran dalaman. Penyenyap ekzos dipasang selepas salur keluar ekzos enjin dengan sambungan pancarongga atau paip untuk mengurangkan paras bising yang dipancarkan oleh gas ekzos berkadar aliran yang tinggi. Ia biasanya dikenali sebagai peredam bunyi dan direka bentuk dengan pelbagai kebuk dan tiub berlelubang. Mudah dibersihkan kerana tidak mengandungi bahan serat dan menghasilkan kehilangan tekanan yang boleh diabaikan. Saiznya kecil, menjadikannya sesuai untuk enjin dan sistem ekzos. Penyenyap ekzos sering digunakan untuk jentera berkelajuan tinggi, seperti penjana dan penghembus. Sesuai digunakan untuk jentera yang menghasilkan nada bunyi tulen dan bising dalam julat daripada frekuensi rendah hingga sederhana. **Rajah 6.16** menunjukkan contoh penyenyap ekzos.



Rajah 6.16: Contoh penyenyap ekzos.

2 Penyenyap Saluran

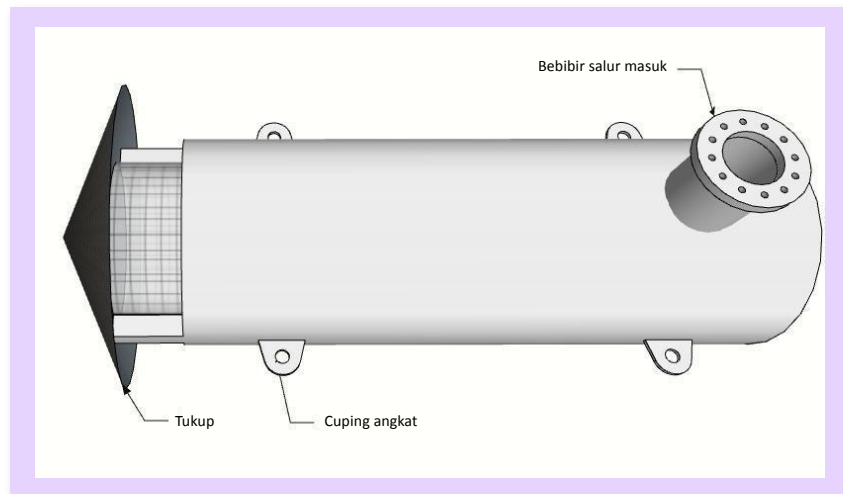
Penyenyap saluran direka untuk mengurangkan bising dengan berkesan bagi set penjana, pemampat, pam, penghembus dan semua sistem yang memerlukan salur masuk dan keluar bagi peralatan ini beroperasi. Penyenyap saluran perlu dipasang di dalam bilik loji dan sedekat mungkin dengan punca bising. Kebiasaannya, bagi satu peralatan, dua unit penyenyap saluran – salur masuk dan salur keluar – diperlukan untuk mengurangkan paras bising ke paras yang dikehendaki dengan berkesan. **Rajah 6.17** menunjukkan contoh penyenyap saluran.



Rajah 6.17: Contoh penyenyap saluran.

3 Penyenyap Pelepasan Stim

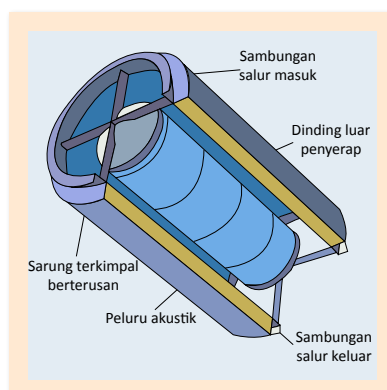
Penyenyap pelepasan stim mengurangkan bising yang terhasil oleh pengembangan gas atau stim daripada tekanan tinggi ke tekanan atmosfera. Penyenyap penyerapan ini digunakan untuk menyekat bunyi bising yang dijana oleh aliran gas berkelajuan tinggi seperti aliran wap, saluran injap pelega keselamatan, sistem "tiup turun", dan saluran pembersihan. Setiap penyenyap pelepasan direka bentuk untuk merendahkan paras bising kepada kriteria paras tekanan bunyi yang dikehendaki pada jarak tertentu dari penyenyap tersebut. Ia biasanya digunakan dalam pemprosesan minyak dan gas, pemprosesan kimia serta penjana stim pemulihan haba atau dandang. **Rajah 6.18** menunjukkan contoh penyenyap pelepasan.



Rajah 6.18: Contoh penyenyap pelepasan.

4 Penyenyap Penyerapan

Penyenyap penyerapan menyerap tenaga bunyi terutamanya dengan menggunakan bahan pembungkus berserat dan berliang untuk meredam bunyi, dan bukannya memantulkannya. Apabila gelombang bunyi melalui bahan penebat ini, sebahagian daripada tenaga bunyi ditukar kepada tenaga haba, yang kemudiannya disebar ke udara. Ketebalan lapisan akustik selalunya bergantung kepada frekuensi utama bunyi tersebut. Jenis penyenyap ini berkesan untuk frekuensi bunyi tinggi dalam julat antara 500 hingga 8000 Hz. **Rajah 6.19** menunjukkan contoh penyenyap penyerapan.

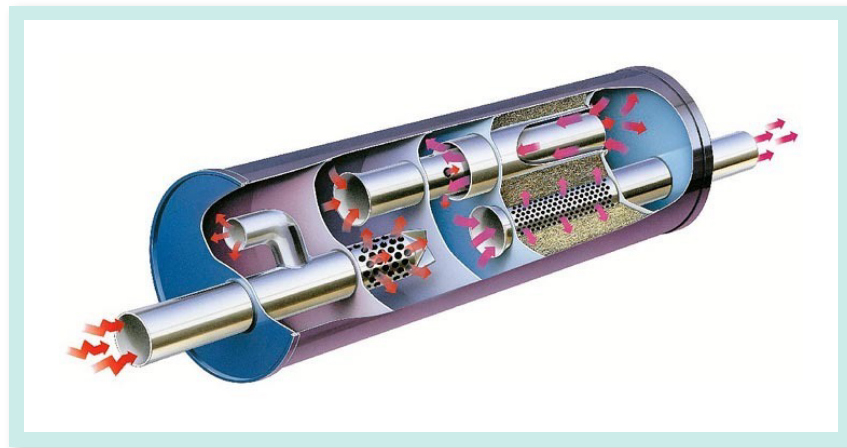


Rajah 6.19: Penyenyap Penyerapan.

5

Gabungan Penyenyap

Penyenyap gabungan menggabungkan elemen daripada beberapa jenis penyenyap industri yang berbeza, termasuk penyerakan/pemantulan dan penyerapan, untuk menghasilkan penyelesaian bising khusus. Jenis penyenyap ini ditala khas untuk menyasarkan masalah frekuensi nada bunyi yang bermasalah dan dapat mengurangkan lonjakan nada bunyi, sekali gus mengurangkan keseluruhan bising yang terhasil oleh ekzos kipas. Penyenyap ini dipasang dalam laluan gas kipas dan sering digunakan bersama penyenyap penyerapan untuk memberikan redaman tambahan. **Rajah 6.20** menunjukkan contoh penyenyap gabungan.



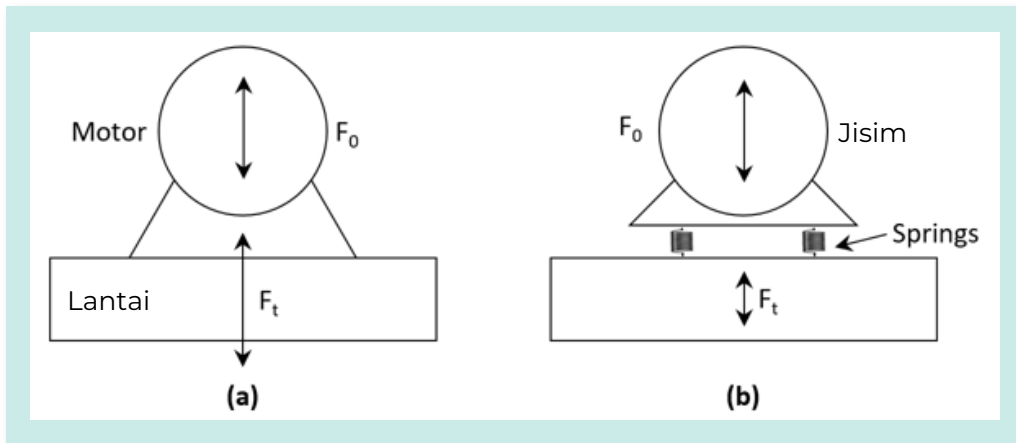
Rajah 6.20: Contoh penyenyap gabungan.

6.6 Pengasingan Getaran

Penggunaan pengasingan getaran biasanya diperlukan untuk menyenyapkan bising yang dipindahkan melalui struktur (bising struktur). Jentera bergetar kecil, paip, atau mekanisme lain, apabila dipasangkan rapat ke lantai atau panel dan kemudiannya memancarkan getaran secara akustik, selalunya boleh menghasilkan paras bising yang tidak diingini. Bising struktur merujuk pada penghantaran melalui struktur getaran mekanikal yang menghasilkan bising bawaan udara apabila panel atau struktur lain digerakkan dan memancarkan bunyi.

Rajah 6.21 (a) menunjukkan sebuah motor yang disambungkan terus ke lantai. Oleh kerana bahagian berputar motor tidak boleh diseimbangkan secara sempurna, putaran tersebut menghasilkan komponen menegak bagi daya yang tidak seimbang yang ditunjukkan sebagai F_o . Daya bergetar ini dihantar dengan cekap ke lantai yang ditunjukkan sebagai F_t , yang boleh menyebabkan penghantaran bising melalui struktur.

Rajah 6.21 (b) menunjukkan motor yang sama telah diletakkan di atas spring yang dipanggil pengasing getaran. Ini menghasilkan suatu sistem jisim-spring, dengan frekuensi asli di mana motor bertindak sebagai jisim dan pemisah sebagai spring.



Rajah 6.21: Asas Pemisah Getaran.

Penghantaran gerakan atau daya bergetar, T_r , dari satu struktur ke struktur yang lain boleh dikurangkan dengan meletakkan unsur pengasing yang lebih anjal antara kedua-dua struktur tersebut. Ini dipanggil pengasingan getaran dan apabila direka bentuk dengan betul, amplitud getaran struktur yang dipacu adalah sebahagian besarnya dikawal oleh inersia struktur tersebut. Pertimbangan reka bentuk yang penting ialah frekuensi resonans struktur yang diasingkan pada pelapik pengasingan getarannya. Untuk mencapai pengasingan, gerakan atau daya getaran yang dihantar, F_t , ke asas perlu lebih kecil daripada daya pengujaan, F_0 . Oleh itu, persamaan kebolehpindahan getaran, T_r , adalah seperti berikut:

$$T_r = \frac{F_t}{F_0} = \frac{\text{daya yang dihantar ke lantai}}{\text{daya pada jentera bergetar}}$$

Di mana;

$T_r > 1$ bermaksud penguatan getaran merentasi pengasing (zon penguatan)

$T_r < 1$ bermaksud pengurangan getaran (zon pengasingan)

Resonans menyebabkan anjakan, regangan dan tegasan yang besar sehingga boleh menyebabkan kegagalan sistem. Selalunya, frekuensi operasi, f tidak dapat dikawal kerana ia ditentukan oleh keperluan fungsi sistem. Oleh itu, frekuensi asli harus dikawal dengan mengubah jisim, m dalam unit kg atau kekakuan, k dalam unit N/m untuk mengelakkan resonans. Secara praktikalnya, jisim tidak dapat diubah dengan mudah. Oleh itu, kekakuan, k perlu diubah dengan menukar bahan atau bilangan serta kedudukan titik sokongan. Dalam situasi sebenar, frekuensi asli sistem boleh ditentukan dengan menggunakan analisis mod getaran bebas (free vibration modal analysis).

Persamaan frekuensi asli, f_n dengan unit Hz adalah seperti berikut:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

di mana;

k : kekakuan;

m : jisim

Frekuensi pemaksa, f , ditakrifkan sebagai frekuensi daya berayun yang dikenakan ke atas sesuatu sistem. Apabila frekuensi pemaksa jauh lebih tinggi daripada frekuensi asli, sistem bergetar akan menghasilkan nilai getaran yang rendah. Dalam amalan terbaik, nilai frekuensi pemaksa hendaklah sekurang-kurangnya tiga kali ganda daripada nilai frekuensi asli ($f/f_n > 3$) bagi mencapai tahap pengasingan yang ketara.

Persamaan frekuensi pemaksa, f dalam unit Hz adalah seperti berikut:

$$f = \frac{\text{putaran per minit}}{60}$$

Sebagai contoh, motor berputar pada kelajuan 3600 RPM (putaran per minit). Ini bersamaan dengan $3600/60 = 60$ putaran per saat dan menghasilkan daya penggerak bergetar dengan frekuensi pemaksa, f sebanyak 60 Hz. Bagi memastikan sistem jisim-spring dipacu jauh melebihi resonans, berdasarkan kebiasaan anggaran, frekuensi asli f_n sistem perlu ditetapkan tidak melebihi $60/3 = 20$ rad/s. Ini boleh dicapai dengan memilih kekakuan spring bersesuaian dengan jisim motor menggunakan persamaan frekuensi asli.

Perencatan atau pengurangan getaran biasanya dicapai melalui pemasangan pelapik getaran yang menggabungkan sifat kebingkasan dan redaman getaran untuk menyediakan dua mekanisme asas kawalan:

1

Penyuraian dan pengurangan tenaga getaran yang dijana dalam sistem melalui penukaran tenaga tersebut kepada haba.

2

Penyahgandingan mekanikal atau penyingkiran laluan getaran sistem daripada struktur pelekap dan lantai.

Proses pemilihan reka bentuk pengasingan getaran atau redaman tertentu diterangkan secara terperinci dalam helaian data teknikal yang disediakan oleh pengilang peranti pengasingan getaran tersebut. Pengasingan getaran adalah prosedur untuk mengurangkan kesan getaran tidak diingini. Ia melibatkan penyisipan pengasing antara jisim yang bergetar dan sumber getaran.

Getaran boleh diringkaskan kepada satu nilai tunggal dan dibandingkan dengan had amaran. Meter getaran akan memberikan nilai tunggal bagi unit pecutan, halaju, atau anjakan. Bacaan ini adalah bacaan tahap keseluruhan - nilai RMS. Dari semasa ke semasa, tahap tersebut mungkin meningkat jika terdapat kerosakan. **Rajah 6.22** adalah contoh meter getaran.



Rajah 6.22: Contoh meter getaran.

Untuk menentukan keberkesanan pengasing getaran yang diletakkan di antara struktur jentera dan asas tegar, pengukuran getaran perlu diambil pada jentera yang berputar, F_o , dan pada lokasi asas binaan, F_t . Semasa pengukuran di tapak, meter getaran akan memaparkan nilai halaju, v dalam unit mm/s pada kedua-dua permukaan struktur jentera dan asas tegar. Nilai kebolehpindahan, T_r , boleh diukur dengan mengira nisbah F_t/F_o .

Persamaan asas untuk mengira kebolehpindahan pengasingan getaran bagi sistem tak teredam pada asas tegar adalah seperti berikut:

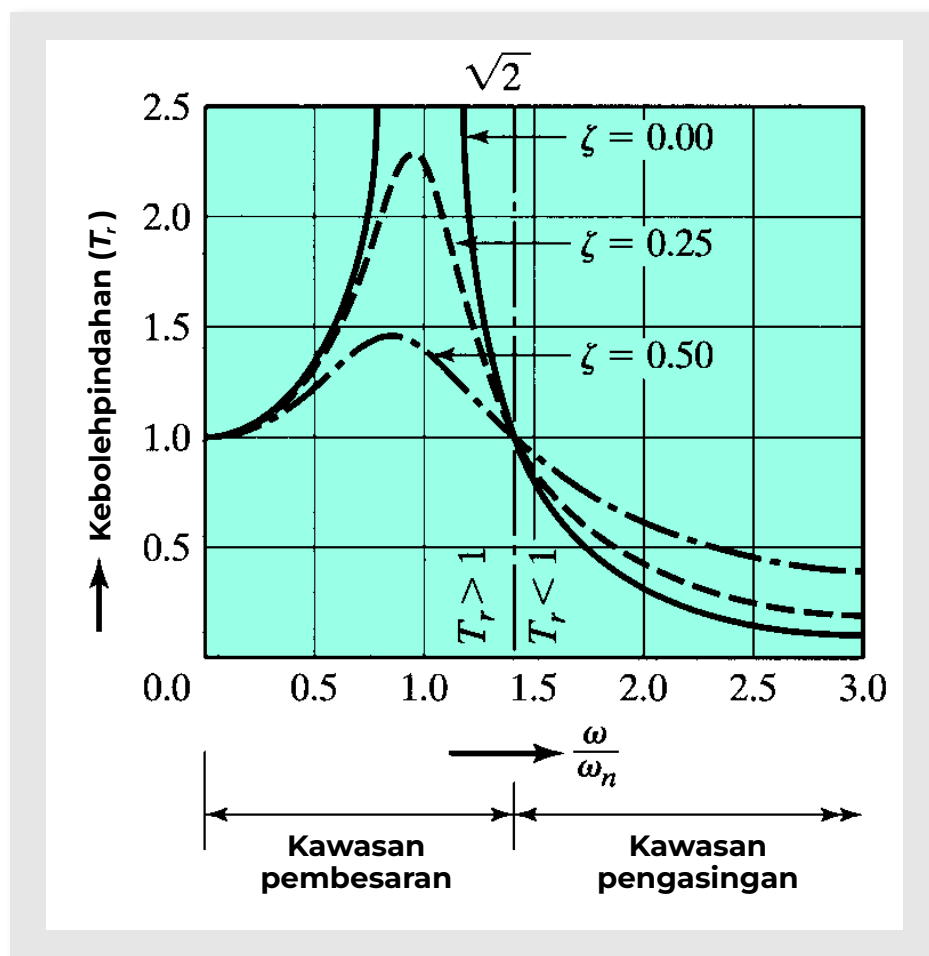
$$T_r = \frac{1}{(r^2 - 1)}$$

di mana;

r : nisbah antara frekuensi paksa dengan frekuensi asli sistem (f/f_n)

Rajah 6.23 berikut menunjukkan graf variasi kebolehpindahan, T_r , dengan nisbah frekuensi, r . Graf ini menggambarkan ciri-ciri tipikal tindak balas sistem mekanikal yang dipasang pada peredam likat. Paksi menegak mewakili kebolehpindahan pemasangan (T_r) yang merupakan nisbah daya yang dihantar, F_t , kepada daya pengujaan, F_o . Sementara, paksi mendatar mewakili nisbah frekuensi, yang merupakan nisbah ω kepada ω_n sistem. Magnitud kebolehpindahan dalam graf pada nisbah $\omega/\omega_n = 1$ menghampiri T_r , yang sama dengan infiniti, yang menyebabkan resonans berlaku.

Perhatikan bahawa jika nisbah frekuensi ω/ω_n kurang daripada $\sqrt{2}$, pembesaran daya yang dihantar akan berlaku, dan pemasangan akan merosot. Simbol ξ yang digunakan merujuk kepada nisbah redaman yang terdiri daripada nilai ξ antara 0 hingga 1, yang menunjukkan sistem bergetar kurang redaman. Sebagai kesimpulan, kebolehpindahan dikurangkan apabila frekuensi pemaksa, ω , melebihi frekuensi asli, ω_n , dalam kawasan pengasingan. Hubungan antara simbol frekuensi w dan f adalah $\omega = 2\pi f$.



Rajah 6.23: Tindak balas getaran tipikal bagi sistem mekanikal dengan satu darjah kebebasan yang dipasang pada peredam getaran likat.

Gegelung spring adalah satu lagi bentuk pengasingan getaran. Spring gegelung digunakan terutamanya untuk pengasingan gerakan bergetar yang mempunyai frekuensi pemaksa yang rendah dan di mana pad pemasangan elastomer tidak begitu berkesan. Spring gegelung adalah laluan penghantaran untuk getaran frekuensi tinggi dan mempunyai pesongan statik yang besar, oleh itu, langkah berjaga-jaga reka bentuk mesti diambil dalam pemilihan peralatan pemasangan pengasingan getaran jenis spring yang betul.

Prosedur pemilihan reka bentuk pengasingan getaran yang mudah:

1

Tentukan frekuensi pacuan, f serendah mungkin, Bagi jentera berputar yang getaran terhasil oleh daya yang tidak seimbang, serta RPM adalah kelajuan putaran terendah dalam putaran per minit.

2

Tentukan prestasi pengasing yang diperlukan seperti jumlah getaran yang diperlukan. Ini merangkumi penentuan pengurangan yang diperlukan bagi kebolehpindahan, T_r .

3

Daripada persamaan atau graf T_r , terhadap ω/ω_n , diketahui f (Langkah 1) dan ω/ω_n (Langkah 3), kira frekuensi asli yang diperlukan, f_n bagi sistem jentera atau pengasing.

4

Mengetahui f_n dan m (jisim jentera), serta bilangan pengasing, tentukan kekakuan, k yang diperlukan bagi pengasing.

5

Pilih spring daripada helaian data teknikal pengilang dengan kekakuan yang sesuai.

Contoh 6:

Jika jumlah jisim kipas dan plat asasnya ialah 500 kg dan kipas berputar pada 1200 RPM, kira jumlah kekakuan yang diperlukan oleh spring untuk mengurangkan daya getaran yang dipindahkan ke lantai dengan kebolehpindahan sebanyak 0.3. Anggapkan bahawa nisbah redaman adalah sifar.

Jawapan:

Tentukan pemanduan frekuensi pacuan, f ;

$$f = \frac{1200 \text{ RPM}}{60};$$

$$f = 20 \text{ Hz}$$

Tentukan pemanduan frekuensi pacuan, r ;

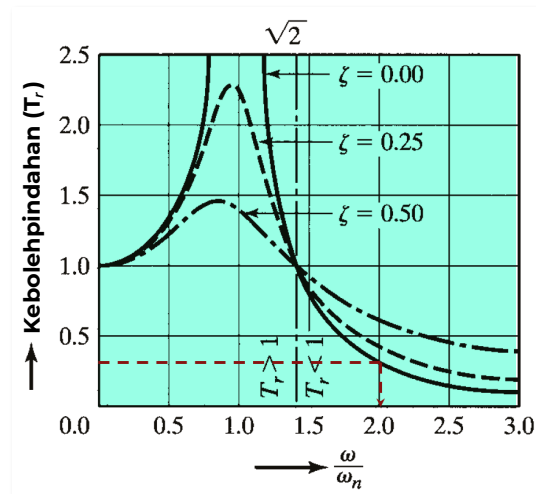
1. Guna formula

$$T_r = \frac{1}{(r^2-1)};$$

$$0.3 = \frac{1}{(r^2-1)};$$

$$r = 2$$

2. Guna graf tindak balas getaran; $r = 2$



Tentukan frekuensi asli, f_n ;

$$r = \frac{f}{f_n};$$

$$f_n = \frac{20}{2}$$

$$f_n = 10 \text{ Hz}$$

Tentukan kekakuan diperlukan, k ;

$$k = 4\pi^2 f_n^2 m; \text{ (di mana jisim, } m = 500 \text{ kg)}$$

$$k = 4\pi^2 \times 10^2 \times 500$$

$$k = 1.97 \times 10^6 \frac{N}{m}$$

6.6.1 Jenis Pengasing dan Penggunaan

Terdapat empat jenis bahan anjal yang banyak digunakan sebagai pengasing getaran:

1. Getah

Getah dalam bentuk alas mampatan lazimnya digunakan untuk menyokong beban besar dan bagi aplikasi frekuensi tinggi. Kekakuan alas getah yang dimampatkan umumnya bergantung pada saiznya serta kekangan pada hujungnya terhadap pengembangan lateral.

2. Logam

Spring logam boleh direka bentuk untuk menyediakan pengasingan pada hampir sebarang frekuensi. Bagaimana pun, apabila direka bentuk untuk pengasingan frekuensi rendah, ia mempunyai kelemahan dari segi praktikal iaitu mudah memindahkan frekuensi tinggi. Penghantaran frekuensi tinggi ini boleh diminimumkan dengan meletakkan alas getah atau felt di antara hujung spring dan titik pemasangan, serta memastikan tiada sentuhan logam ke logam antara spring dan struktur sokongan.

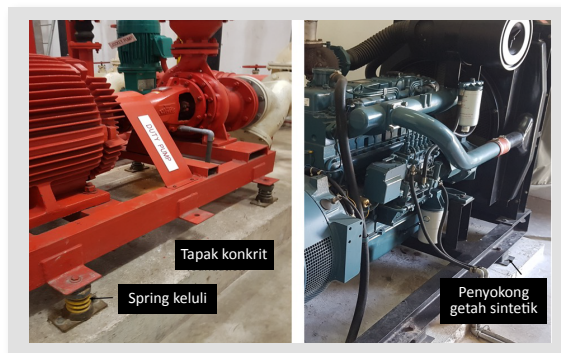
3. Gabus

Gabus merupakan salah satu bahan tertua yang digunakan untuk pengasingan getaran. Gabus lazimnya digunakan dalam keadaan mampatan dan kadangkala dalam gabungan antara mampatan dan ricih. Kekakuan dinamik dan redaman gabus sangat bergantung pada frekuensi.

4. Felt

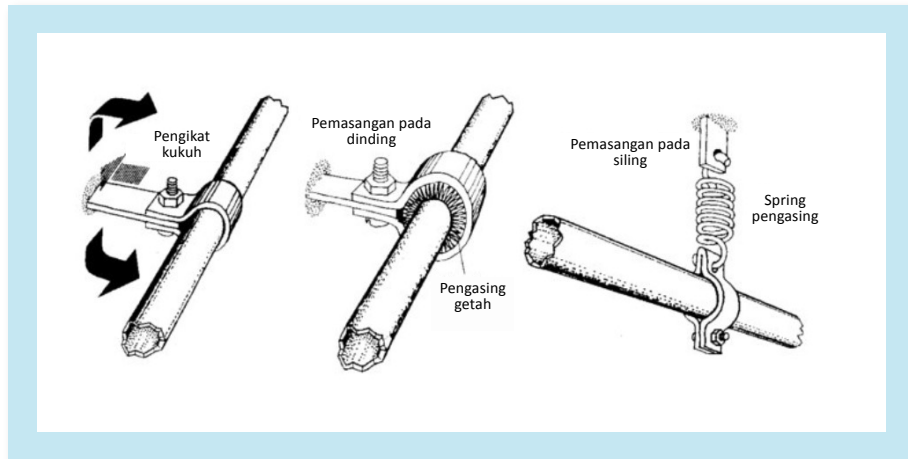
Untuk mengoptimumkan keberkesanan pengasingan getaran menggunakan bahan felt, kawasan terkecil yang mungkin daripada felt paling lembut hendaklah digunakan, tetapi dengan memastikan tiada kehilangan kestabilan struktur atau pemampatan berlebihan di bawah keadaan beban statik.

Apabila peralatan dipasang pada struktur bangunan, perhatian harus diberikan untuk menyediakan pengasingan getaran, jika tidak, bunyi boleh dipindahkan ke seluruh bangunan melalui getaran pada elemen struktur bangunan. Peralatan boleh dipasang pada blok inersia konkrit atau terus ke rangka keluli. Tanpa mengira kaedah pemasangan, beberapa bentuk pengasing getaran biasanya digunakan, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.24**. Tahap pengasingan yang dicapai dengan pengasing getaran bergantung pada frekuensi getaran berbanding frekuensi asli sistem serta jumlah redaman yang terbina dalam penebat tersebut.



Rajah 6.24: Pengasingan getaran dengan meletakkan peralatan bergetar yang berat di atas blok inersia dengan pengasing getaran dan peredam.

Pengasingan getaran mungkin tidak berkesan sepenuhnya apabila bunyi bising dipindahkan melalui perpaipan atau conduit daripada peralatan. Penyambung fleksibel untuk memasang saluran ke bangunan juga perlu dipertimbangkan seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.25**.

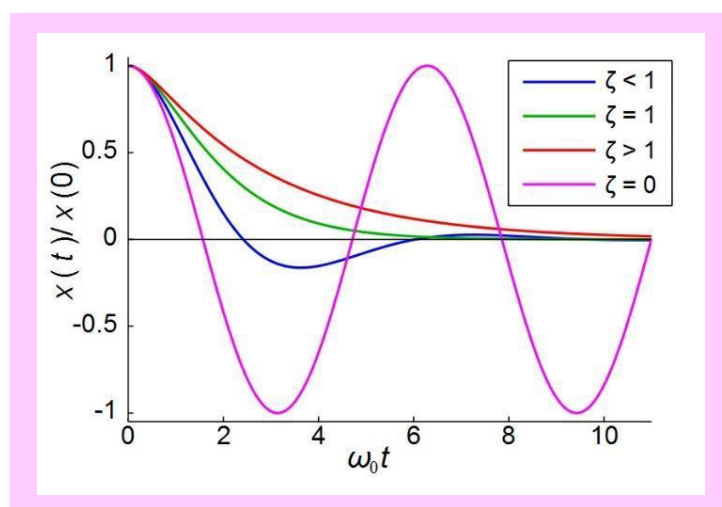


Rajah 6.25: Penyambung fleksibel bagi menghalang penghantaran getaran ke struktur bangunan.

Apabila peralatan bergetar dipasang secara kekal pada papak, dinding atau siling, getaran daripada peralatan tersebut boleh dipindahkan ke permukaan pemasangan dan menghasilkan paras bising struktur yang tidak dapat diterima di seluruh bangunan. Begitu juga, perpaipan, conduit dan salur udara boleh bertindak sebagai laluan penghantaran bising struktur sekiranya terdapat sambungan yang kaku antara bangunan dan peralatan yang bergetar. Pengasingan getaran peralatan daripada papak, dinding dan siling bangunan adalah penting untuk mengawal penyebaran bunyi struktur.

6.7 Peredam

Peredaman merujuk kepada sebarang mekanisme, sama ada yang berlaku di dalam atau antara komponen dalam satu sistem bergetar, yang menyebabkan penukaran tenaga getaran kepada tenaga haba serta pengurangan dalam amplitud getaran. Empat keadaan peredaman yang berbeza iaitu tak teredam, peredaman berlebihan, peredaman kurang dan peredaman kritikal digambarkan dalam **Rajah 6.26**.



Rajah 6.26: Bentuk ayunan bagi tak teredam, peredaman lebih, peredaman kurang dan peredaman kritikal.

Jumlah peredaman dalam sistem getaran boleh diuraikan dengan nisbah peredaman ξ .

a

Tak teredam ($\xi = 0$) situasi berlaku apabila tiada langsung peredaman

b

Peredaman lebih ($\xi > 1$); situasi berlaku apabila daya redaman sangat besar sehingga getaran tidak berlaku, dan jisim bergerak kembali secara perlahan ke arah kedudukan rehat tanpa melepasi titik keseimbangan.

c

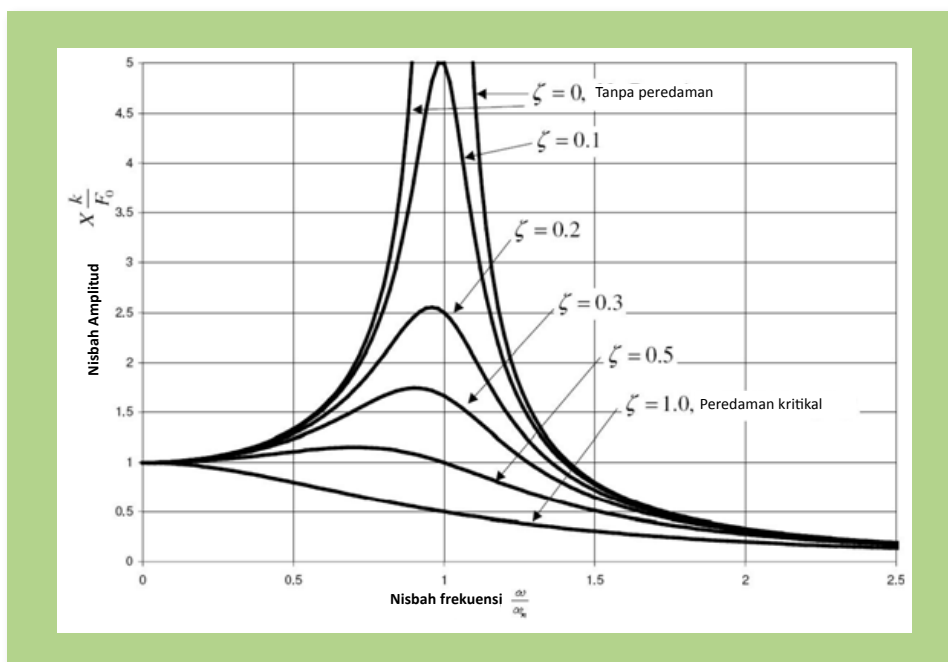
Peredaman kurang ($\xi < 1$); situasi berlaku apabila jumlah peredaman adalah kecil, dan jisim berayun hampir pada kedudukan rehat tetapi dengan amplitud yang semakin mengurang sehingga akhirnya berhenti.

d

Situasi peredaman kritikal ($\xi = 1$); jisim kembali ke kedudukan rehat dalam masa minimum tanpa melepasi titik keseimbangan.

Walau bagaimanapun, keadaan kurang redaman biasanya paling diberi perhatian dalam kawalan kebisingan terhadap struktur.

Nilai ξ serendah 0.01 bagi bahan yang kurang redaman seperti keluli lembut, dan setinggi 0.2 bagi bahan yang sangat teredam seperti plastik. Oleh itu, keadaan pergerakan kurang redaman bergantung pada nilai nisbah redaman seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.27**.



Rajah 6.27: Graf menunjukkan nisbah amplitud berbanding nisbah frekuensi getaran teredam bagi pelbagai nilai nisbah redaman.

Rajah 6.27 juga menunjukkan bagaimana amplitud getaran paksa berubah mengikut frekuensi pengujaan bagi pelbagai tahap peredaman, dengan amplitud daya kekal malar. Amplitud getaran meningkat dengan mendadak apabila frekuensi pengujaan, f , menghampiri frekuensi asli sistem, f_n .

Fenomena ini dikenali sebagai resonans, dan amplitud getaran paksa adalah maksimum pada frekuensi resonans di posisi serupa bagi sistem teredam yang rendah. Oleh itu, amplitud pada dan berhampiran resonans dikawal terutamanya oleh peredaman. Peredaman yang rendah menghasilkan puncak resonans yang sangat tajam dan amplitud getaran yang sangat tinggi pada resonans tersebut. Manakala peredaman yang lebih tinggi akan mengurangkan amplitud pada resonans dan menghasilkan lengkung tindak balas yang lebih lebar.

Terdapat dua jenis bahan peredam iaitu lapisan homogen dan lapisan terkurung. Bahan lapisan homogen disembur atau disapu dalam lapisan yang agak tebal, bergantung pada ketebalan dan jenis logam yang ingin diredam. Bahan lapisan terkurung pula terdiri daripada lapisan nipis bahan peredam sebenar yang disokong oleh logam nipis atau plastik keras. Tindakan mekanikalnya menjadikan lapisan peredam tersebut jauh lebih berkesan berbanding jika ia digunakan dalam bentuk homogen. Bahan peredam jenis lapisan terkurung boleh didapati dalam bentuk gabungan pita pelekat dan kerajang logam, yang pelekatnya dipilih berdasarkan ciri-ciri kehilangan tenaga serta kekuatan lekatan. Pita peredam ini terutamanya amat berguna untuk panel yang nipis (keluli 1/16 inci atau kurang).

Peredaman struktur logam kepingan boleh dilakukan melalui penggunaan bahan peredam pada kepingan logam, seperti yang digunakan pada badan kereta. Jenis bahan peredam boleh didapati daripada pelbagai helaian data teknikal pengilang bagi tujuan ini. Bahan ini tersedia dalam bentuk pita, kepingan atau semburan yang boleh diaplikasikan seperti cat, dan menggunakan bahan likat anjal yang tidak mengeras. Untuk hasil yang optimum, berat lapisan bahan peredam hendaklah sekurang-kurangnya sama dengan berat panel asas.

Bahan peredam boleh digunakan dengan lebih cekap dan berkesan melalui pembinaan berlapis seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.28**, iaitu terdiri daripada satu atau lebih lapisan logam kepingan nipis, yang setiapnya dipisahkan oleh lapisan likat anjal, dan keseluruhan lapisan ini dilekatkan bersama. Lapisan likat anjal yang sangat nipis, kira-kira 0.4 mm, adalah mencukupi bagi struktur berlapis terkurung ini. Pengurangan getaran yang optimum berlaku apabila ketebalan lapisan pengapit kepingan logam adalah sama dengan ketebalan struktur asas. Bagi tujuan peredaman getaran frekuensi tinggi, lapisan bahan peredam likat anjal perlu lebih kukuh berbanding peredaman getaran frekuensi rendah

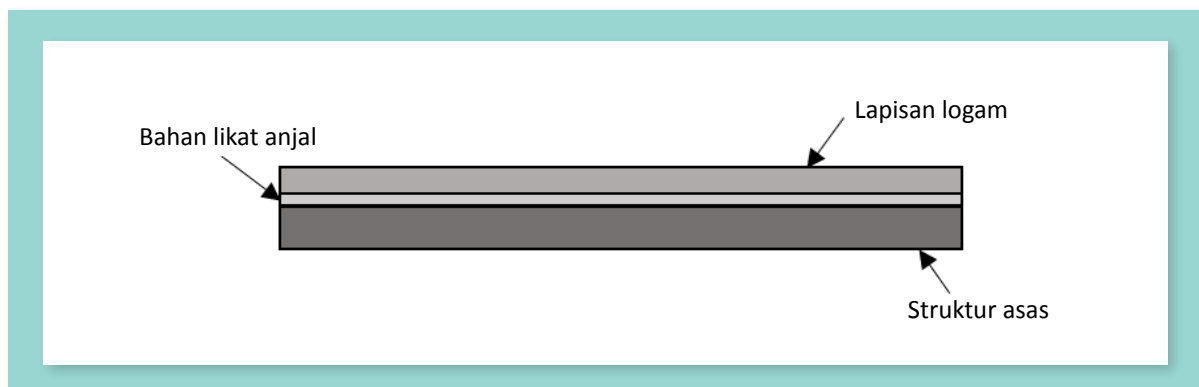


Figure 6.28: Pembinaan peredaman lapisan terkurung.

Bahan likat anjal biasanya merupakan bahan yang paling serba guna dan berkesan dalam memberikan peredaman getaran yang diinginkan serta pengurangan bising yang optimum, terutamanya bagi permukaan yang nipis. Untuk menentukan jenis permukaan yang memerlukan rawatan menggunakan bahan likat anjal, adalah perlu untuk mengukur tahap getaran.

Bagi permukaan yang mempunyai tahap getaran yang tinggi berbanding permukaan lain, keputusan perlu dibuat mengenai jenis rawatan yang sesuai. Jika permukaan tersebut mudah dicapai dan berterusan, rawatan penebatan boleh digunakan. Jika permukaan tidak rata atau sukar dicapai, penggunaan bahan peredam mungkin merupakan pendekatan pengurangan bising yang paling praktikal. Ciri-ciri bahan peredam yang digunakan boleh berubah dengan ketara bergantung pada suhu dan frekuensi. Oleh itu, helaian data daripada pengilang perlu dirujuk sebelum membuat pemilihan dan aplikasi bahan tersebut.

Jisim, kekakuan dan peredaman boleh dikaitkan dengan getaran, yang mempunyai frekuensi resonans sepadan yang hanya daya pengujaan yang kecil diperlukan untuk menyebabkan struktur bergetar dengan kuat. Sebagai contoh, jika panel digetarkan oleh medan bunyi yang dikenakan, getaran paksa akan menggerakkan panel dengan kuat dan menyumbang sebahagian besar kepada bunyi yang dipancarkan, walaupun resonans mungkin menguasai tindak balas getaran yang kelihatan. Ini kerana pada frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi kritikal permukaan, kecekapan pancaran bunyi daripada getaran paksa adalah bersamaan dengan satu, dan oleh itu jauh lebih tinggi berbanding kecekapan getaran resonans beramplitud besar. Dalam kes ini, penambahan bahan peredam pada struktur mungkin dapat mengurangkan keseluruhan amplitud getaran berstruktur tanpa mengurangkan amplitud pancaran bunyi, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 6.29**.



Rajah 6.29: Bahan peredam yang terletak di antara dua sambungan paip keluli.

Jika panel jentera seperti pelindung tali sawat terdedah kepada getaran, ia akan memancarkan bunyi dengan kuat pada frekuensi resonannya. Meredam panel atau pelindung boleh mengurangkan bunyi yang dipancarkan. Dalam aplikasi lain, bahagian yang jatuh ke dalam dan dibawa melalui saluran logam boleh mengaktifkan panel saluran tersebut akibat hentakan berulang. Pemasangan bahan peredam di sepanjang permukaan saluran boleh mengurangkan bunyi bising, tetapi bahan ini mesti dipilih berdasarkan ketahanan haba dan keutuhan mekanikal. Tiub stok berperedam juga tersedia untuk operasi skru yang lebih senyap. Panel bagi pengasingan kurungan boleh memindahkan sejumlah besar bunyi dalam julat frekuensi tertentu. Peredaman boleh membantu mengekalkan kehilangan penghantaran dalam julat tersebut. Contoh bahan peredam sedia ada daripada pengilang ditunjukkan dalam **Rajah 6.30**.



Rajah 6.30: Contoh panel dan kepingan peredaman bunyi.

7.0 RUJUKAN

1. R.J. Peters et al, 2011. *Acoustics and Noise Control*. United Kingdom: Routledge.
2. BS EN ISO 11200:2014. *Acoustics – Noise emitted by machinery and equipment – Guidelines for the use of basic standards for the determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions*.
3. BS ISO 15664:2001. *Acoustics – Noise control design procedures for open plant*.
4. EN ISO 11690-1:1996. *Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery – Part 1: Noise control strategies*.
5. BS EN ISO 11690-2:1997. *Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise work places containing machinery – Part 2: Noise control measures*.
6. McGuire, J. (1991) *Industrial Plant Noise Abatement in The Work Environment (Volume One) – Occupational Health Fundamentals. 1st Ed.* Hasnon, D.J., Lewis Publisher



KEMENTERIAN SUMBER MANUSIA
JABATAN KESELAMATAN DAN KESIHATAN PEKERJAAN

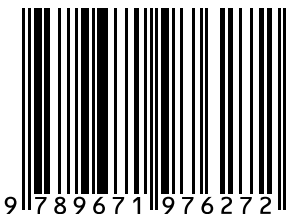
**JABATAN KESELAMATAN DAN KESIHATAN PEKERJAAN
KEMENTERIAN SUMBER MANUSIA**

Aras 1,3,4&5, Setia Perkasa 4,
Kompleks Setia Perkasa,
Pusat Pentadbiran Kerajaan Persekutuan,
62530 Wilayah Persekutuan Putrajaya.

Tel : 03 - 8886 5343
Faks : 03 - 8889 2443
Emel : projkjp@mohr.gov.my

PANDUAN MENGENAI KAWALAN KEBISINGAN DI TEMPAT KERJA 2024

e ISBN 978-967-19762-7-2



JABATAN KESELAMATAN DAN KESIHATAN PEKERJAAN