

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kebisingan

2.1.1 Pengertian Kebisingan

Kebisingan atau *Noise* merupakan bunyi yang tidak dikehendaki (Aperti, 2018). Pada suatu kegiatan industri bunyi dan suara yang tidak dikehendaki tersebut dapat berasal dari getaran alat-alat yang digunakan pada proses produksi (Aperti, 2018). Menurut Soemirat (2011), kebisingan adalah campuran suara yang tidak dikehendaki dan dapat merusak kesehatan. Menurut PerMenaKer No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja, kebisingan merupakan bunyi yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat yang digunakan pada proses produksi atau alat-alat kerja yang digunakan pada tingkat tertentu dan dapat menyebabkan gangguan pendengaran pada manusia.

2.1.2 Faktor Penyebab Kebisingan

Menurut Rahmi (2009), terdapat beberapa faktor penyebab kebisingan, yaitu :

1. Tekanan Suara

Tekanan suara merupakan satuan daya tekanan suara per satuan luas. Bunyi akan mengadakan suatu penekanan ketika melalui sebuah medium rambat.

2. Daya Suara

Daya suara atau disebut juga daya akustik merupakan energi bunyi yang dikeluarkan atau dipancarkan oleh suatu sumber bunyi per satuan waktu, dan mempunyai satuan Joule/s atau Watt. Daya suara tidak dipengaruhi oleh jarak.

3. Intensitas Suara

Intensitas suara merupakan energi rata-rata dari suara yang ditransmisikan oleh gelombang suara menuju arah rambat media. Intensitas suara sangat dipengaruhi oleh jarak. Semakin jauh dari sumber bunyi atau semakin besar luasan yang ditembus maka intensitas suaranya semakin kecil.

4. Frekuensi

Frekuensi merupakan getaran yang dihasilkan dalam satuan waktu (detik) dengan satuan Hz. Frekuensi yang dapat didengar manusia 20-20000 Hz. Menurut Arista (2017), manusia memiliki frekuensi bicara pada range 125-2000 Hz, frekuensi bunyi 1000 Hz merupakan nilai ambang pendengaran manusia. Menurut Terikwal (2011) hasil penelitian di India menunjukkan bahwa 80% dari 50 orang pekerja kehilangan daya dengarnya pada frekuensi bicara (125-2000 Hz). Frekuensi yang membahayakan bagi pendengaran manusia yang memiliki frekuensi tinggi. Frekuensi dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$f = c / \lambda \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

f = Frekuensi (Hz)

λ = Panjang gelombang bunyi (m)

c = kecepatan medium rambat (m/s)

2.1.3 Sumber Kebisingan

Menurut Babba (2007), sumber kebisingan pada lingkungan kerja sangat beragam, diantaranya adalah :

1. Mesin

Kebisingan dapat dihasilkan dari suara mesin produksi yang sedang beroperasi. Contohnya: Mesin pembangkit tenaga listrik (*genset*), mesin *diesel*, *boiler*, dan lainnya.

2. Benturan antara alat kerja dengan alat lainnya

Kebisingan dapat dihasilkan juga dari benturan antar alat. Contohnya: Proses penggerindaan, penyemprotan, memalu (*hammering*), pemotongan (*cutting*), pengergajian, dan lainnya.

3. Aliran Material

Aliran material seperti fluida dalam pipa distribusi material di tempat kerja dapat menghasilkan kebisingan. Contohnya: pada proses transportasi material, atau pembuangan gas ke udara melalui pipa.

4. Manusia

Kebisingan di tempat kerja dapat pula berasal dari manusia, karena adanya komunikasi antar pekerja, sehingga sumber suara dari manusia juga diperhitungkan.

Menurut Doelle (1993), sumber utama kebisingan diklasifikasikan kedalam 2 kelompok yaitu :

1. Bising *Interior* (Bising dalam ruangan)

Bising *Interior* berasal dari manusia, alat-alat rumah tangga, atau mesin-mesin dalam gedung.

2. Bising *Outdoor* (Bising di luar ruangan)

Bising *Outdoor* berasal dari lalu lintas, transportasi, industri, alat-alat mekanis di luar gedung, kegiatan konstruksi gedung, perbaikan jalan, kegiatan olahraga, dan lain sebagainya.

2.1.4 Jenis Kebisingan

Menurut Wardhana (2001) , kebisingan terdiri atas tiga macam berdasarkan asal sumbernya yaitu:

1. Kebisingan impulsif, yaitu kebisingan yang datangnya tiba-tiba.
2. Kebisingan kontinyu, yaitu kebisingan yang datang secara terus-menerus dalam waktu yang cukup lama.
3. Kebisingan semi kontinyu (intermittent), yaitu kebisingan kontinyu yang hanya sekejap, kemudian hilang dan mungkin akan datang lagi (bising yang terputus-putus).

Kebisingan dibagi berdasarkan frekuensi, tingkat tekanan bunyi, intensitas bunyi dan tenaga bunyi (Gabriel, 1996). Bunyi dibagi menjadi tiga kategori yaitu :

1. Bising pendengaran disebabkan frekuensi bunyi antara 31,5-8000 Hz, bising yang berhubungan dengan kesehatan yang disebabkan bunyi mesin di tempat kerja.
2. Bising impulsive adalah bising yang terjadi akibat adanya bunyi menyentak misalnya pukulan palu, ledakan meriam, tembakan bedil dan lain-lain.

Menurut Gabriel (1996), kebisingan juga dibagi berdasarkan waktu terjadinya yaitu bising kontinyu dengan spektrum yang luas, bising kontinyu dengan spektrum yang sempit, bising yang terputus-putus, bising sehari penuh, bising setengah hari, dan bising sesaat. Pembagian bising berdasarkan skala intensitasnya dibagi menjadi bising dengan intensitas sangat tenang, bising dengan intensitas tenang, bising dengan intensitas sedang, bising dengan intensitas kuat, bising yang sangat hiruk

dan bising yang dapat menulikan. Berdasarkan pengaruhnya terhadap manusia, bising dibagi atas:

1. Bising yang mengganggu. Bising jenis ini intensitasnya tidak terlalu keras, misalnya mendengkur.
2. Bising yang menutupi. Merupakan bunyi yang menutupi pendengaran yang jelas. Bising yang menutupi ini dapat mempengaruhi kesehatan dan keselamatan pekerja, komunikasi antar pekerja atau tanda bahaya akan tertutupi oleh kebisingan.
3. Bising yang merusak, adalah bunyi yang melampaui NAB. Bunyi jenis ini akan merusak/menurunkan fungsi pendengaran.

2.1.5 Nilai Ambang Batas Kebisingan

Nilai Ambang Batas merupakan angka yang dianggap aman untuk tenaga kerja bila bekerja selama 8 jam/hari atau 40 jam/minggu. Dapat dikatakan bahwa nilai ambang batas kebisingan adalah intensitas tertinggi dari suara dan merupakan nilai rata-rata yang masih dapat diterima oleh tenaga kerja tanpa menimbulkan risiko hilangnya daya dengar (Suheryanto, 1994). Berikut merupakan NAB kebisingan yang diperbolehkan di Indonesia berdasarkan PerMenaKer No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja :

Tabel 2. 1 Nilai Ambang Batas (NAB) Kebisingan Berdasarkan PerMenaKer No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja

Waktu Pemajangan Per Hari		Intensitas Kebisingan dB(A)
8	Jam	85
4		88
2		91
1		94
30	Menit	97
15		100
7,5		103
3,75		106
1,88		109
0,94		112
28,12		115
14,06	Detik	118
7,03		121
3,52		124

Waktu Pemajangan Per Hari	Intensitas Kebisingan dB(A)
1,76	127
0,88	130
0,44	133
0,22	136
0,11	139

Sumber: PerMenaKer No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja

2.1.6 Tingkat Kebisingan Ekuivalen (L_{eq})

L_{eq} merupakan tingkat tekanan suara rerata dalam dalam beban A pada interval waktu tertentu. Berdasarkan KepMenLH No. 48 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan, nilai dari L_{eq} dapat dihitung, data L_{eq} selama 1 menit, L_{eq} selama 10 menit, L_{eq} siang hari (L_s), L_{eq} malam hari (L_m), dan L_{eq} selama satu hari (L_{sm}) pada masing-masing titik ukur dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_{eq} \text{ (1 menit)} = 10 \log 1/60 [(10^{0.1 L_1} + 10^{0.1 L_2} + \dots + 10^{0.1 L_{12}}) 5] \text{ dB(A)}$$

(Persamaan 2.2)

Setelah data L_{eq} selama 1 menit pada masing-masing titik ukur diperoleh, maka dilanjutkan dengan perhitungan data L_{eq} selama 10 menit dengan rumus sebagai berikut :

$$L_{eq} \text{ (10 menit)} = 10 \log 1/10 [(10^{0.1 L_1} + 10^{0.1 L_2} + \dots + 10^{0.1 L_x}) 1] \text{ dB(A)}$$

(Persamaan 2.3)

Kemudian nilai L_{eq} 1 menit , dan nilai L_{eq} 10 menit di input ke dalam tabel, sesuai dengan KepMenLH No. 48 Tahun 1996. Berdasarkan data L_{eq} 10 menit yang telah dihitung, maka dapat ditentukan nilai L_{eq} siang hari (L_s), dan L_{eq} malam hari (L_m) dengan persamaan berikut :

$$L_s = 10 \log 1/16 (T_a 10^{0.1 L_a} + T_b 10^{0.1 L_b} + T_c 10^{0.1 L_c} + T_d 10^{0.1 L_d}) \text{ dB(A)}$$

(Persamaan 2.4)

$$L_M = 10 \log 1/8 (T_e 10^{0.1 L_e} + \dots + T_g 10^{0.1 L_g}) \text{ dB(A)} \quad (\textbf{Persamaan 2.5})$$

Hasil perhitungan dari Leq siang hari (L_s), dan Leq malam hari (L_M) kemudian digabungkan untuk mendapatkan nilai tingkat kebisingan dalam satu hari (Leq *day* atau L_{SM}) dengan satuan decibel dB(A). Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai L_{SM} (kebisingan siang-malam) berdasarkan KepMenLH No. 48 Tahun 1996 :

$$L_{SM} = 10 \log 1/24 (16 \times 10^{0.1 L_s} + 8 \times 10^{0.1 (L_m+5)}) \text{ dB(A)} \quad (\textbf{Persamaan 2.6})$$

Dimana :

Leq = Kebisingan ekivalen [dB(A)]

L_1, \dots, L_{12} = Kebisingan setiap 5 detik selama 60 detik [dB(A)]

L_1, \dots, L_x = Kebisingan setiap 1 menit selama 10 menit [dB(A)]

L_a, \dots, L_d = Leq (10 menit) setiap selang waktu di pagi hari [dB(A)]

T_a, \dots, T_d = Rentang waktu pengukuran di siang hari (jam)

L_s = Leq di siang hari [dB(A)]

T_e, \dots, T_d = Rentang waktu pengukuran di malam hari (jam)

L_e, \dots, L_g = Leq (10 menit) setiap selang waktu di malam hari [dB(A)]

L_M = Leq di malam hari [dB(A)]

L_{SM} = Leq pada pengukuran 24 jam [dB(A)]

2.1.7 Pengaruh Kebisingan Terhadap Tenaga Kerja

Adanya kebisingan dapat menyebabkan beberapa gangguan bagi pekerja. Menurut Harahap (2016), beberapa gangguan tersebut diantaranya adalah gangguan fisiologis, gangguan psikologis, gangguan komunikasi , gangguan keseimbangan, dan ketulian.

a. Gangguan Fisiologis

Kebisingan yang berfrekuensi tinggi umumnya sangat mengganggu, terlebih kebisingan yang terputus-putus atau kebisingan yang datang secara tiba-tiba. Gangguan fisiologis yang dapat dialami penerima diantaranya peningkatan denyut nadi, peningkatan tekanan darah, basal metabolisme, dapat

menyebabkan pucat dan gangguan sensoris, menyebabkan peyempitan pembuluh darah terutama pada tangan dan kaki.

b. Gangguan Psikologis

Seperti yang diketahui bahwa kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki, oleh karena itu kebisingan dapat menambah stress bagi pekerjanya, dan berpengaruh kepada pekerjaan yang dilakukannya. Gangguan tersebut dapat berupa kurang konsentrasi, susah tidur, rasa tak nyaman, dan mudah emosi. Menurut Arini (2005), kebisingan yang dapat mengakibatkan gangguan psikologis yaitu 55-65 dBA.

c. Gangguan Komunikasi

Risiko yang ditimbulkan yang dapat terjadi yaitu pekerja berbicara dengan berteriak. Gangguan komunikasi ini dapat mengganggu pekerjaan, salah satunya mungkin akan terjadi kesalahan saat bekerja, secara tidak langsung gangguan komunikasi ini merupakan penyebab bahaya bagi keselamatan pekerja. Gangguan komunikasi dapat terjadi apabila nilai tingkat kebisingan berada pada nilai ≤ 78 dBA (Rahmawati, 2015)

d. Gangguan Keseimbangan

Bising yang berintensitas tinggi akan menyebabkan pekerja mengalami kesan berjalan di luar angkasa atau melayang.

e. Gangguan Ketulian

Gangguan ketulian adalah gangguan yang paling serius. Menurut Diniari (2017), pekerja akan mengalami kerusakan pendengaran pada intensitas suara 85-90 dBA. Jenis ketulian yang diakibatkan oleh kebisingan sibagi menjadi 2, yaitu :

1. Tuli sementara

Adanya pemaparan kebisingan dengan intensitas yang tinggi pekerja dapat mengalami penurunan daya dengar yang sifatnya sementara. Cotohnya apabila seorang pekerja memasuki sebuah ruangan dengan intensitas kebisingan yang tinggi pada awalnya pekerja akan merasa terganggu oleh bising yang ditimbulkan, namun setelah beberapa lama pekerja tersebut berada di ruangan tersebut, maka pekerja akan merasa suara yang ditimbulkan tidak sekeras sebelumnya. Maka pada saat tersebut pekerja telah mengalami ketulian, kemudian akan berangsur-angsur pulih seperti semula. Menurut Christy (2010),

pekerja yang terpapar kebisingan sebesar 85 dB membutuhkan waktu istirahat selama 3-7 hari.

2. Tuli menetap

Tuli menetap dapat terjadi apabila nilai ambang dengar manusia menurun dan tidak dapat kembali ke nilai ambang semula meskipun diberikan waktu istirahat yang cukup. Berikut merupakan tahap terjadinya penurunan daya dengar :

- Tahap pertama muncul setelah 10-20 hari terpapar kebisingan, kemudian pekerja akan mengeluh telinganya berbunyi pada setiap akhir waktu kerja.
- Tahap kedua pekerja merasa telinganya berbunyi secara *intermittent* (hilang-timbul), tahap ini dapat dialami selama beberapa bulan, bahkan beberapa tahun.
- Tahap ketiga adalah tahap dimana tenaga kerja sudah merasa tidak dapat mendengar percakapan bahkan detak jam.
- Tahap keempat yaitu dimana pekerja sudah mengalami kendala dalam berkomunikasi.

2.2 Skala Desibel

Skala desibel (dB) merupakan suatu unit pengukuran yang merepresentasikan sejumlah bunyi dan dinyatakan secara logaritmik. Skala decibel (dB) diperoleh dari 10 kali logaritma (Malau, 2017). Dalam penjumlahannya, skala decibel (dB) tidak dapat langsung dijumlahkan. Berikut persamaan yang dapat digunakan dalam penjumlahan decibel (dB) :

$$L_{tot} = 10 \log (10^{L1/10} + 10^{L2/10}) \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Dimana :

- | | |
|------------------|-------------------------|
| L _{tot} | = Total Kebisingan (dB) |
| L ₁ | = Nilai kebisingan ke-1 |
| L ₂ | = Nilai kebisingan ke-2 |

Setelah dihitung, dicari selisih L1 dan L2, kemudian dicari nilai yang harus ditambahkan kedalam Ltot, nilai tersebut dicari menggunakan nomogram dibawah ini :



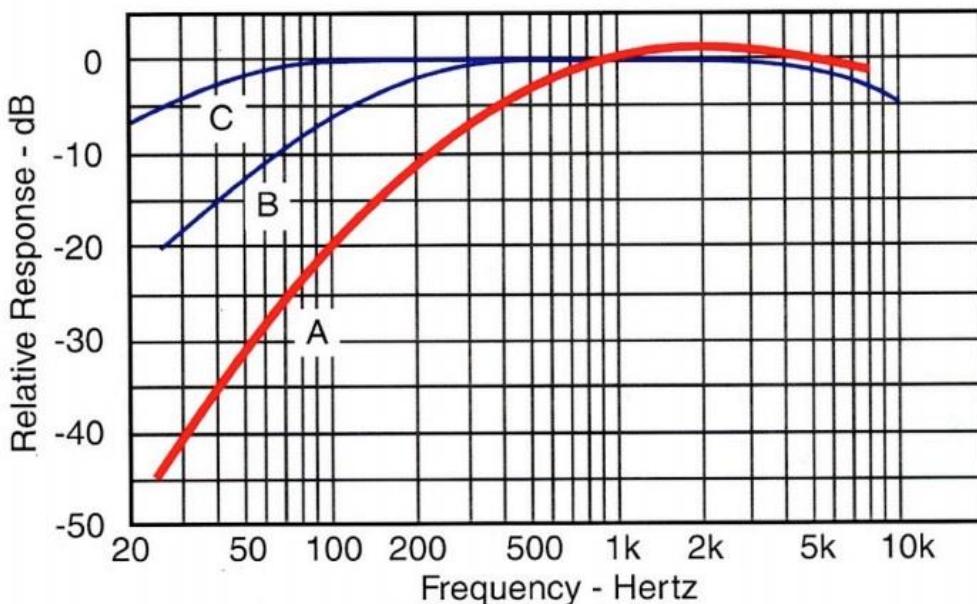
Gambar 2. 1 Nomogram Beda Nilai dB

Sumber : Wedayani, 2018.

Manusia memiliki respon yang berbeda terhadap suara, respon tersebut bergantung pada frekuensi dan intensitas suara. Terdapat 3 skala decibel yang digunakan dalam pengukuran suara yaitu dBA, dBB, dBC. Berikut merupakan peruntukan dari ketiga skala decibel tersebut :

1. Skala dB (A) : digunakan untuk menilai tanggapan manusia terhadap tingkat bising lingkungan luar dan dalam bangunan yang berpengaruh terhadap kepekaan telinga manusia.
2. Skala dB(B) : untuk menilai tanggapan manusia terhadap tingkat bising di lingkungan industri.
3. Skala dB(C) : digunakan untuk menilai tanggapan manusia terhadap tingkat bising industri yang sangat tinggi dari mesin, pada umumnya digunakan untuk mengetahui kerusakan pada mesin.

Berikut merupakan grafik respon manusia terhadap kebisingan dengan 3 skala pembobotan yaitu A, B, dan C.



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Respon Relatif dengan Frekuensi

Sumber : Kurniawan, 2010.

Tabel 2. 2 Pembobotan Skala dBA, dBB, dan dBC Berdasarkan Nilai Frekuensi dan Respon Relatif

No	Frekuensi (Hz)	A weighting (dB)	B weighting (dB)	C weighting (dB)
1	125	-16.1	-4.2	-0.2
2	160	-13.4	-3	-0.1
3	200	-10.9	-2	0
4	250	-8.6	-1.3	0
5	315	-6.6	-0.8	0
6	400	-4.8	-0.5	0
7	500	-3.2	-0.3	0
8	630	-1.9	-0.1	0
9	800	-0.8	0	0
10	1000	0	0	0
11	1250	+0.6	0	0
12	1600	+1	0	-0.1
13	2000	+1.2	-0.1	-0.2

Sumber :Kurniawan, 2010.

Berdasarkan respon *relative* manusia terhadap suara, manusia memiliki respon tidak nyaman terhadap suara yang memiliki frekuensi lebih dari 1000 Hz, sementara manusia tidak merespon suara yang memiliki frekuensi \leq 1000 Hz. A, B, dan C *Weighting* merupakan koreksi terhadap tingkat bunyi yang disesuaikan dengan respon pendengaran manusia. Environmental Protection Agency (EPA) telah menetapkan standar skala A sebagai skala yang tepat untuk pengukuran kebisingan lingkungan kerja, selain itu skala A yang paling sesuai dengan respon pendengaran manusia (respon manusia terhadap bising lingkungan) (Rakhmawan, 2011). Menurut Kurniawan (2010), skala A untuk pengukuran yang berhubungan langsung dengan manusia, selain itu mempunyai potensi untuk kerusakan dan gangguan pendengaran, maka dari itu skala yang ditunjukkan pada instrumen pengukuran SLM (*Sound Level Meter*) adalah skala dBA. Berdasarkan **Tabel 2.2** nilai dalam skala dB yang ada dijumlahkan berdasarkan nilai yang didapat. Contohnya mengubah ke dalam skala dBA maka nilai yang akan ditambahkan berada pada kolom A *Weightning*, dicocokkan dengan frekuensi bunyi pada skala dB yang akan dikonversikan.

2.3 Pengukuran Tingkat Kebisingan

2.3.1 Metode Pengukuran

Tingkat kebisingan pada suatu tempat dapat diketahui dengan dilakukannya pengukuran kebisingan. Acuan pengukuran kebisingan yang dapat digunakan yaitu KepMenLH No. 48 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan. Terdapat 2 jenis metode yang dapat dilakukan dalam pengukuran tingkat kebisingan berdasarkan KepMenaLH No. 48 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan, yaitu :

1. Cara Sederhana

Pengukuran cara sederhana dilakukan menggunakan sound level meter biasa, dengan mengukur tingkat tekanan bunyi dalam satuan dB(A) selama 10 (sepuluh) menit untuk setiap pengukuran, dan pembacaan setiap 5 detik.

2. Cara Langsung

Pengukuran cara langsung dilakukan menggunakan *integrating sound level meter* yaitu *sound level meter* yang memiliki fasilitas pengukuran L_{TM5}, yaitu Leq dengan waktu pembacaan setiap 5 detik, dilakukan pengukuran selama 10 (sepuluh) menit.

2.3.2 Waktu Pengukuran

Waktu pengukuran kebisingan dengan aktifitas 24 jam (L_{sm}) dibagi menjadi siang, dan malam hari. Siang hari dengan aktifitas yang paling tinggi selama 16 jam(L_s) pada rentang waktu 06.00-22.00. Malam hari dengan aktifitas yang paling tinggi selama 8 jam (L_M) pada rentang waktu 22.00-06.00.

Setiap pengukuran yang dilakukan harus dapat mewakili selang waktu yang telah ditentukan dengan menetapkan paling sedikit 4 waktu pada waktu pengukuran di siang hari, dan paling sedikit 3 waktu pada waktu pengukuran di malam hari, seperti :

- L1 diambil pada jam 07.00 mewakili jam 06.00-09.00
- L2 diambil pada jam 10.00 mewakili jam 09.00-11.00
- L3 diambil pada jam 15.00 mewakili jam 14.00-17.00
- L4 diambil pada jam 20.00 mewakili jam 17.00-22.00
- L5 diambil pada jam 23.00 mewakili jam 22.00-24.00
- L6 diambil pada jam 01.00 mewakili jam 24.00-03.00
- L7 diambil pada jam 04.00 mewakili jam 03.00-06.00

Keterangan :

L_{eq} = Tingkat kebisingan terus-menerus dari kebisingan yang berubah-ubah (fluktuatif) selama waktu tertentu, yang setara dengan tingkat kebisingan yang tetap (steady) [dB(A)].

L_s = L_{eq} selama siang hari [dB(A)].

L_M = L_{eq} selama malam hari [dB(A)].

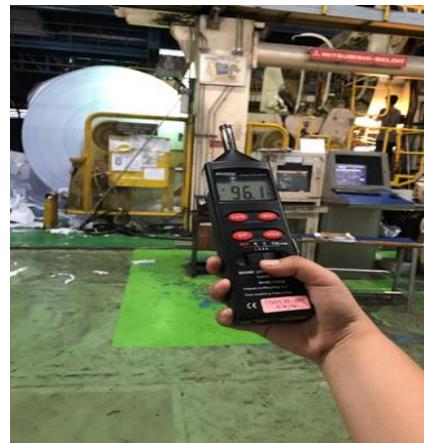
L_{sm} = L_{eq} selama 24 jam atau sehari [dB(A)].

2.3.3 Alat Ukur Kebisingan

Alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan di lingkungan kerja yaitu :

a. *Sound Level Meter* (SLM)

Sound Level Meter (SLM) adalah alat ukur dengan basis pengukuran elektronik, berfungsi mengukur kebisingan antara 30-130 dB dalam satuan dB (A) dari frekuensi 20-20.000 Hz (Buchla & Mc Lahlan, 1992). *Sound Level Meter* (SLM) sendiri memiliki rangkaian atau komponen utama yaitu sensor *microphone*. *Microphone* adalah sejenis *transducer* yang dapat menangkap sinyal suara di sekitar jangkauan sensor dan mengubahnya menjadi energi listrik (sinyal audio) (Gunawan, 2010).



Gambar 2. 3 Sound Level Meter

Sumber: Dokumentasi Lapangan, 2019.

b. *Noise Dose Meter*

Alat ini merupakan alat untuk mengukur tingkat pajanan bising personal yang diterima oleh pekerja. Alat ini dapat dibawa kemanapun pekerja pergi selama pekerja melakukan kegiatannya (Fuller, 1992). Alat *noise dose meter* ini menghasilkan *output* berupa dosis (dalam satuan %), dan waktu pajanan.



Gambar 2. 4 Noise Dose Meter

Sumber : google.com

2.4 Penentuan Titik Ukur

Berdasarkan Sasmita (2018), titik ukur dapat ditentukan dengan metode *grid*. Metode *grid* ini digunakan untuk membagi area menjadi persegi-persegi lebih kecil sehingga memudahkan penandaan titik sampling. Berikut merupakan persamaan dari metode *grid* :

$$N = kA/a \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

Dimana :

N = Jumlah titik sampel

K = 1,80 (konstanta *grid*)

A = Luas Area (m^2)

a = Luas mesin (m^2)

Selanjutnya untuk mengetahui jarak antar titik maka digunakan persamaan berikut :

$$d = \sqrt{A/N} \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

Dimana :

d = Jarak antar titik (m)

A = Luas Area (m^2)

N = Jumlah titik ukur

2.5 Jenis Pengendalian Kebisingan

Menurut PERMENAKER No. 05/MEN/1996, tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3), pengendalian risiko kebisingan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

a. *Engineering Control* (teknik/rekayasa)

Merupakan suatu upaya pengendalian yang dilakukan untuk mengurangi bahaya dengan melakukan rekayasa *engineering*. Pengendalian ini dapat dilakukan dengan cara:

1. Eliminasi (penghilangan), merupakan proses penghilangan atau pemusnahan sama sekali baik material, proses/teknologi yang berbahaya agar menjadi lebih aman bagi pekerja dan lingkungan.

2. Substitusi (penggantian), merupakan proses penggantian material/teknologi yang tingkat bahayanya lebih rendah agar menjadi lebih aman bagi pekerja dan lingkungan.
3. Minimalisasi (pengurangan), merupakan proses pengurangan jumlah material bahaya yang disimpan atau digunakan pada proses.

Pengendalian dengan melakukan modifikasi terhadap lingkungan, jika paparan kebisingan yang berasal dari bagian-bagian peralatan yang digunakan tidak dapat dikurangi, maka dapat digunakan peredam getaran, rongga resonansi, dan peredam suara, untuk mengendakikan kebisingan tersebut.

b. *Administrative Control* (pengendalian administratif)

Pengendalian administrative adalah upaya pengendalian yang dilakukan melalui kegiatan atau aktivitas yang bersifat administrasi. Efektifitas dari upaya pengendalian ini bergantung pada peran aktif dari pihak manajemen dan para pekerja. Semua pihak yang terlibat dalam kegiatan tersebut harus memiliki komitmen yang tinggi dalam. Program-program pengedalian yang bersifat administrasi adalah sebagai berikut:

1. Pendidikan dan pelatihan (*training*)
2. Pembangunan kesadaran dan motivasi yang meliputi sistem bonus
3. Pemeriksaan Kesehatan
4. Pemasangan rambu peringatan
5. Penghargaan dan motivasi diri
6. Evaluasi melalui internal audit dan inspeksi
7. *Standard Operating Procedure* (SOP) / Instruksi Kerja (IK)
8. Pengaturan jadwal kerja, dan lain sebagainya.

c. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri (APD), merupakan salah satu upaya pengendalian yang dilakukan dengan cara pemberian Alat Pelindung Diri (APD) untuk digunakan para pekerja untuk meminimalisir risiko bahaya sewaktu bekerja. Alat Pelindung Diri (APD) yang digunakan merupakan alternatif terakhir yang dilakukan apabila alternatif-alternatif yang diberikan sebelumnya belum dapat mengurangi bahaya dan dampak yang mungkin timbul (Depkes RI, 1999). Pelindung diri tersebut berupa sumbat telinga (*Ear plug*), dan tutup telinga (*Ear Muff*).



Gambar 2.5 Alat pelindung Diri Telinga (APDT), A. *Ear Plug*, B. *Ear Muff*

Sumber: google.com

Berdasarkan PerMenKes No. 70 tahun 2016 Tentang Standard dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan di Tempat Kerja alat-alat tersebut dapat mengurangi intensitas kebisingan sekitar 40-50dB. Paparan kebisingan yang dihasilkan setelah penggunaan *ear plug* atau *ear muff* dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\text{dBA Efektif} = \text{dBA pajanan awal} - \{[\text{NRR APDT} - 7]\} \times 50\% \quad (\textbf{Persamaan 2.10})$$

Dimana :

dBA Efektif = Pajanan yang diterima setelah penggunaan APDT (dBA)

dBA pajanan awal = Pajanan yang diterima sebelum penggunaan APDT (dBA)

NRR APDT = Noise Reduction Rate APDT (dB)

Faktor koreksi = 7

Faktor koreksi pada perhitungan ini berfungsi untuk mengakomodir kesalahan dalam perhitungan, dan mengakomodir faktor yang mempengaruhinya, seperti perbedaan jenis alat pelindung diri yang digunakan (PerMenKes No. 70 tahun 2016).

2.6 Pengendalian Kebisingan Menggunakan *Barrier*

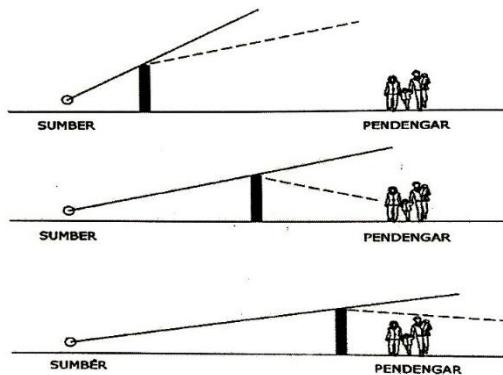
2.6.1 *Noise Barrier*

Barrier atau penghalang buatan merupakan salah satu cara dalam melakukan upaya pengendalian kebisingan. Menurut Arista (2017), *noise barrier* adalah metode efektif yang digunakan untuk mengurangi tingkat kebisingan akibat mesin dari kendaraan seperti kendaraan bermotor, kereta api, pesawat terbang, dan sumber kebisingan industri yang memiliki aktivitas produksi tanpa penghentian.

Dalam perencanaan pembuatan sebuah *barrier* ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan (Mashuri, 2007) :

1. Posisi atau peletakan

Menentukan posisi atau peletakan *barrier* sangatlah penting karena pada tempat yang lapang posisi atau letak *barrier* mudah diatur, sedangkan jika lahan tersebut sempit maka akan cukup sulit. Berikut gambaran peletakan *barrier* :



Gambar 2. 6 Barrier Position yang sedekat mungkin pada sumber, Barrier Position yang sedekat mungkin pada pendengar, Barrier Position yang berada diantara sumber dan pendengar.

Sumber : Mashuri, 2007.

2. Dimensi

Dimensi *barrier* terdiri dari panjang (atau lebar), dan tinggi. Jika *barrier* yang digunakan lebih dekat dengan sumber, maka ketinggian dari *barrier* harus melebihi ketinggian dari sumber, dimana sumber dalam penelitian ini adalah mesin *Rewinder*.

3. Material

Karena gelombang suara dapat menembus celah atau retakan yang sangat kecil, serta mampu menggetarkan objek, maka pemilihan material *barrier* yang memiliki *surface density*, *thickness* yang besar, dan dipasang dengan kokoh secara permanen sangatlah diharapkan.

4. Estetika

Faktor estetika tidak terlalu menjadi perhatian, namun jika *barrier* dibangun di depan sebuah bangunan, maka secara arsitektur estetika sangat diperhatikan, karena dapat mengganggu tampak depan dari sebuah bangunan.

Selain faktor-faktor tersebut, ada beberapa pertimbangan non akustik yang perlu diperhatikan, seperti pertimbangan terhadap faktor *safety*, faktor ketahanan bahan, dan *maintenance* (SAR, 2003).

2.6.1.1 Material Barrier

Penentuan material yang akan digunakan untuk merancang sebuah *barrier* sangatlah penting. Material yang akan digunakan harus dipilih dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti ketahanan terhadap pelupukan atau penuaan, etahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap benturan dan ketahanan terhadap api (SAR, 2003).

Berdasarkan SAR (2003), sifat material untuk barrier terbagi atas 3 jenis, yaitu :

1. Tipe Reflektif

Tipe material reflektif yaitu material yang memiliki kemampuan dalam memantulkan bunyi,

2. Tipe Absorptif

Tipe *absorptive* yaitu material yang memiliki kemampuan dalam menyerap bunyi.

3. Tipe Campuran (kombinasi antara tipe reflektif dan absorptif)

Tipe campuran yaitu material yang memiliki kemampuan memantulkan dan menyerap bunyi.

Berikut merupakan material yang dapat digunakan dalam perancangan sebuah barrier, dilengkapi ketebalan dan kerapatan permukaannya :

Tabel 2. 3 Material yang Dapat Digunakan Dalam Perancangan Barrier

Material	Thickness	Surface Density
	mm	Kg/m²
<i>Polycarbonate</i>	8-12	10-14
<i>Acrylic Poly-Methyl-Meta-Acrylate (PMMA)</i>	15	18
<i>Concrete Block 200 x 200 x 400 light weight</i>	200	151
<i>Dense Concrete</i>	100	244
<i>Light Concrete</i>	150	244
<i>Light Concrete</i>	100	161
<i>Brick</i>	150	288
<i>Steel, 18 ga</i>	1.27	9.8

Material	Thickness	Surface Density
	mm	Kg/m²
<i>Steel, 20 ga</i>	0.95	7.3
<i>Steel, 22 ga</i>	0.79	6.1
<i>Steel, 24 ga</i>	0.64	4.9
<i>Aluminium Sheet</i>	1.59	4.4
<i>Aluminium Sheet</i>	3.18	8.8
<i>Aluminium Sheet</i>	6.35	17.1
<i>Wood</i>	25	18
<i>Plywood</i>	13	8.3
<i>Plywood</i>	25	16.1
<i>Absorptive Panels With Polyester Film Backed by Metal Sheet</i>	50-125	20-30
<i>Plexiglass</i>	6	7.3
<i>Gypsum</i>	10	9.1

Sumber : SAR (2003)

Menurut OECD (1995) material barrier yang bekerja secara optimal bergantung pada ketinggian barrier :

1. *Barrier* dengan material bata dapat mereduksi kebisingan secara optimal pada ketinggian minimum *barrier* 2,5 m.
2. *Barrier* dengan material beton dapat mereduksi kebisingan secara optimal pada ketinggian minimum *barrier* 3 dan maksimum 4 m.
3. *Barrier* dengan material metal dapat mereduksi kebisingan secara optimal pada ketinggian minimum *barrier* 4 dan maksimum 5 m.
4. *Barrier* dengan material *fiber* atau kaca dapat mereduksi kebisingan secara optimal pada ketinggian minimum *barrier* 3 dan maksimum 4 m.

2.6.2 Kerugian Transmisi (*Transmission Loss*)

Kerugian transmisi atau *Transmission Loss* adalah rugi transmisi suatu partisi (Mayangsari, 2009). Nilai isolasi bunyi tersebut menggambarkan kemampuan suatu material dalam mengisolasi bunyi yang ada. Besarnya nilai dari *Transmission Loss* ini bergantung kepada densitas permukaan dari material yang digunakan sebagai bahan untuk *barrier*, dan bergantung juga terhadap frekuensi, nilai *Transmission Loss* dinyatakan dalam satuan dB. *Transmission Loss* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Mayangsari, 2009) :

$$TL = (20 \log W) + (20 \log f) - C \quad (\text{Persamaan 2.11})$$

Dimana :

TL = Transmission Loss

f = Frekuensi (Hz)

W = Surface Density Material (Kg/m^2)

C = Nilai koefisien yang telah ditentukan yaitu 47

2.4.3 Noise Reduction

Noise Reduction (NR) atau reduksi bising merupakan istilah yang menyatakan pengurangan bunyi antar ruang dengan memperhitungkan nilai transmisi, dan juga mempertimbangkan sifat akustik pada ruangan (Mayangsari, 2009). NR dinyatakan dalam skala dB. Nilai NR akan lebih besar dari TL apabila berada di ruangan yang tidak bergema, NR akan melampaui nilai TL sekitar 6 dB, NR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Mayangsari, 2009) :

$$NR = TL + 6 \quad (\text{Persamaan 2.12})$$

Dimana :

NR = *Noise Reduction* (dB)

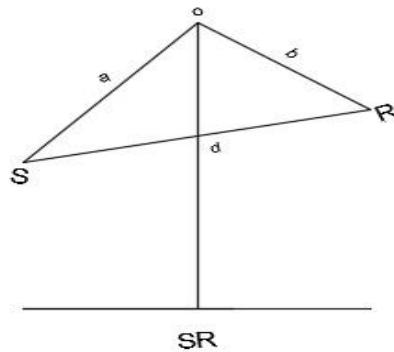
TL = *Transmission Loss* (dB)

Perhitungan tersebut juga dapat digunakan untuk menghitung reduksi kebisingan yang berada di dalam ruangan, seperti ruangan produksi atau ruang mesin (Mayangsari, 2009).

2.7 Metode Penentuan Ketinggian Barrier

2.7.1 Metode Maekawa

Metode Maekawa merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi tingkat kebisingan (Ariyadi, 2016). Dalam penelitian ini metode maekawa digunakan untuk menentukan tinggi barrier dengan simulasi ketinggian barrier yang akan dibuat, dengan cara memvariasikan ketinggian dari *barrier* yang akan dibuat.



Gambar 2. 7 Noise Barrier Single Screen

Sumber :Ariyadi, 2016

Penentuan ketinggian optimum dari barrier yang akan dibuat dilihat dari besarnya nilai reduksi kebisingan yang dihasilkan, semakin besar reduksi maka ketinggian tersebut yang terpilih sebagai ketinggian *barrier*. Menurut Ariyadi (2016), nilai reduksi kebisingan yang dihitung bergantung pada jarak dari sumber ke barrier, dan tergantung pada frekuensi bunyi. Reduksi kebisingan tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut (Ariyadi, 2016) :

$$\delta = (A + t + B) - d \quad (\text{Persamaan 2.13})$$

Dengan:

δ = path length difference (m)

a = jarak sumber bising ke puncak barrier (m)

b = jarak puncak barrier ke pendengar (m)

d = jarak sumber bising ke pendengar (m)

t = ketebalan material yang akan digunakan (m)

Setelah itu dihitung nilai pengurangan kebisingan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B = 10 \log (3 + 40 \delta / \lambda) \quad (\text{Persamaan 2.14})$$

Dengan :

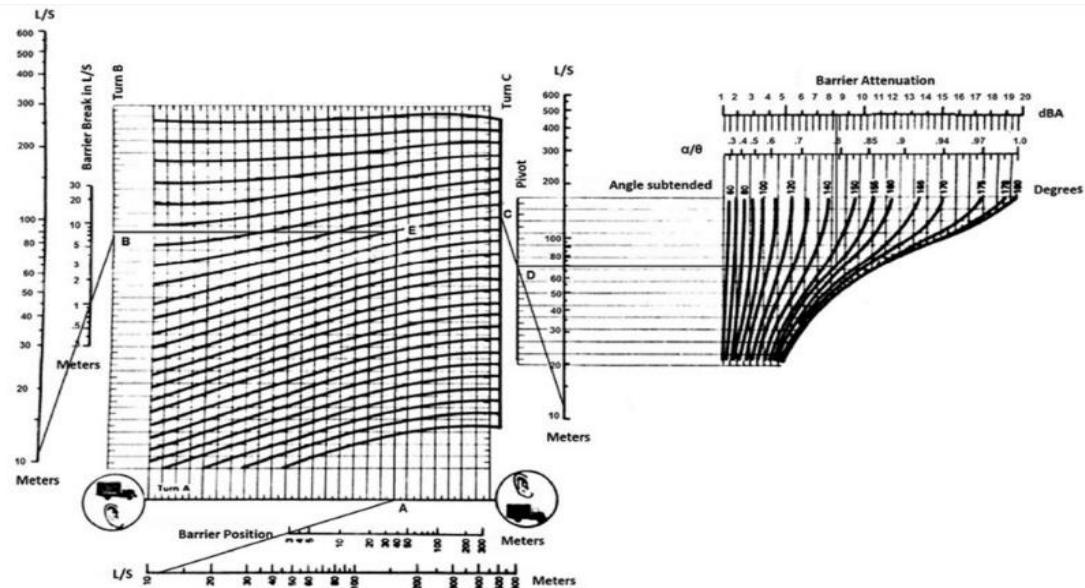
B = Nilai pengurangan bunyi (dB)

δ : path length difference (m)

λ : Panjang Gelombang (m)

2.7.2 Metode Nomograph

Metode lain untuk menentukan ketinggian barrier adalah metode *nomograph*. Metode nomograph digunakan untuk menghitung seberapa tinggi penghalang yang dibutuhkan untuk mengurangi bising sebesar yang diinginkan bising dengan menggunakan grafik *nomograph* (Singh, 2018).



Gambar 2.8 Barrier Nomograph

Sumber : Singh, 2018.

2.8 Software Pembuat Kontur Kebisingan

2.8.1 Golden Software Surfer

Software Surfer merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk membuat peta kontur yang berdasarkan pada *grid*. *Grid* pada *surfer* ini merupakan rangkaian garis vertikal dan horizontal yang berbentuk segi empat dan digunakan sebagai dasar pembentuk kontur dan *surface* tiga dimensi (Munirwansyah, 2013). Menurut Widayati (2010), program aplikasi surfer berbasiskan kepada data yang extensi berupa : *.xsl, *.dat, *.wk, dll. Input data utama dalam pengaplikasian program surfer dalam pembuatan peta ini minimalnya yaitu Koordinat X dan Y ,dan nilai ketinggian. Apabila data tersebut telah di input, maka selanjutnya dapat diproses, sehingga terbentuknya peta kontur dari data minimal tersebut.

2.8.2 Software ArcGIS

Menurut Wijaya (2014), ArcGIS merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sistem informasi geografis (SIG) berbasis dekstop. *Software* ini memiliki beberapa fungsi extension yang tersedia didalamnya, *software* ini juga

mengimplementasikan konsep data spasial. ArcGIS dibuat khusus untuk kompatibilitas sistem informasi berbasis geografis (SIG) yang membutuhkan *performance* besar seperti Server GIS, Database GIS, Web GIS dan lain sebagainya. Didalam *software* ArcGIS tersedia berbagai macam *tools*, tutorial serta *extension* yang mudah dipahami dan digunakan.

2.9 Proses Pembuatan Kertas

Perusahaan kertas ini memiliki alur proses produksi. Secara garis besar proses produksi dari pembuatan kertas di bagi menjadi 4 tahapan proses yaitu :

1. Proses penyediaan bubur kertas (*stock preparation*)

Merupakan tahap awal dalam proses pembuatan kertas secara umum. Tujuan utama dalam tahap *stock preparation* adalah untuk memproses serat mentah atau *pulp*. Pada tahap ini serat siap untuk dibuat lembaran kertas.

2. Proses pembuatan kertas (*Paper Machine*)

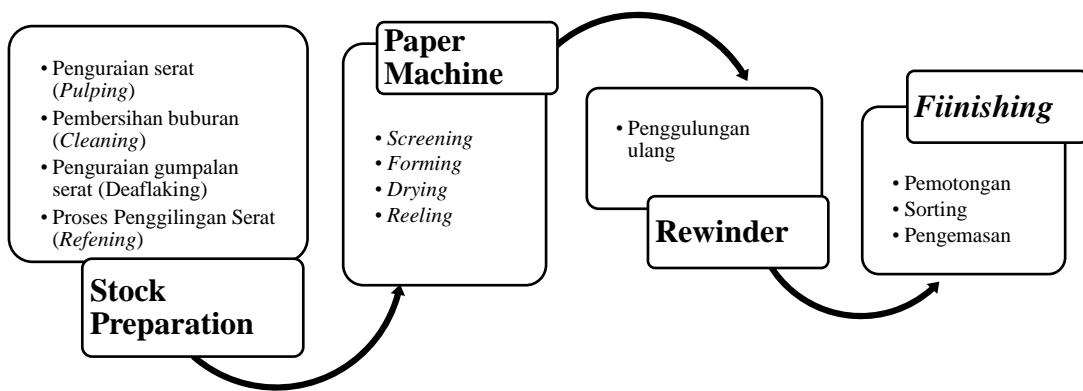
Pembuatan kertas berawal dari *head box*, dan kemudian *head box* menyalurkan suspensi stok yang menyebar merata pada konsistensi yang sama ke *wire*.

3. *Rewinder*

Alat ini digunakan untuk menggulung kembali *roll* kertas dari bagian *paper machine* yang masih berupa gulungan besar (*jumbo roll*), yang selanjutnya dipotong-potong berdasarkan ukuran tertentu sesuai dengan pesanan. Di bagian *Rewinder* juga terjadi proses penarikan kertas, penarikan kertas menyebabkan panjang kertas bertambah 10% dari panjang kertas semula. *Jumbo roll* disimpan pada *unwind*, kemudian digerakkan oleh *belt* untuk menggulung beberapa lembaran kertas menjadi satu gulungan dan dipotong menggunakan *slitter* (*Cutter* pada mesin) sehingga membentuk *mini roll*. *Roll-roll* kecil (*mini roll*) ditimbang dan dilakukan pengujian untuk memastikan kualitas *roll* tersebut. Selanjutnya *roll* tersebut mengalami proses pembungkusan (*wrapping*) dan pemberian label (*labeling*).

4. Proses penyeleksian (*sorting*) dan pengepakan (*finishing*)

Finishing merupakan pengeraaan terakhir pada produksi kertas. *Finishing* terdiri dari berbagai pengeraaan dengan tujuan agar produk akhir siap dijual.



Gambar 2. 9 Proses Pembuatan Kertas