

Perancangan Pengendalian Bising pada Ruang Operator di *Plant* II CO₂ PT. Petrokimia Gresik

Stefani Arisandi, Ir. Tutug Dhanardono, MT

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: tutugdh@ep.its.ac.id

Abstrak— Metode yang digunakan dalam pengendalian bising di Ruang Operator *plant* II CO₂ ini adalah pengendalian bising berdasarkan medium propagansi struktur bangunan (*structure borne noise*). Penebalan difokuskan hanya pada bidang partisi dikarenakan bidang tersebut yang mempengaruhi *Noise Reduction* (NR) antara *plant* sebagai sumber bunyi dan ruang operator sebagai titik penerima bunyi. Pada dasarnya penelitian ini menggunakan nilai *Noise Reduction* (NR) dan *Transmission Loss* (TL) untuk menganalisis kemampuan suatu bahan dalam mereduksi bising setelah bahan tersebut dipertebal. Ketebalan rancangan dari masing-masing bahan partisi menghasilkan nilai Lp₂ setelah perancangan. Batu bata dengan ketebalan 17 cm menyebabkan nilai Lp₂ menjadi 46 dB. Kaca dengan ketebalan 0,8 cm menyebabkan nilai Lp₂ menjadi 52 dB. Sedangkan kayu dengan ketebalan 5,5 cm menyebabkan nilai Lp₂ menjadi 62 dB. Dengan demikian maka penebalan bidang partisi tersebut berhasil menurunkan nilai Lp₂ sesuai dengan rentang tingkat kebisingan suara percakapan manusia yaitu 54-72 dB. Penelitian ini berhasil mereduksi tingkat kebisingan di dalam ruang operator menjadi ≤60 dB atau <50 dBA. Ketika bahan partisi tersebut nilai TL semakin mengalami peningkatan seiring dengan makin besarnya frekuensi bunyi. Sedangkan nilai Lp₂ relatif mengalami penurunan seiring dengan makin besarnya frekuensi bunyi. Hal ini sesuai dengan teori bahwa jika frekuensi semakin tinggi maka nilai TL juga semakin tinggi. Semakin besar nilai TL maka semakin besar pula bunyi yang mampu direduksi oleh bahan tersebut. Dinding yang direkomendasikan dalam perhitungan pengendalian bising ini adalah jenis *brick painted*.

Kata Kunci—Bising, *noise reduction*, pengendalian bising industri, *transmission loss*.

I. PENDAHULUAN

PT. Petrokimia Gresik memiliki tiga lokasi pabrik yaitu Pabrik I, Pabrik dan Pabrik III dimana ketiga pabrik tersebut memiliki proses produksi serta menghasilkan produk yang berbeda-beda pula. Pabrik I adalah pabrik pupuk nitrogen yang menghasilkan amoniak, ZA I & III, urea, CO₂, *dry ice*, dan *utility*. Pabrik II adalah pabrik pupuk fosfat yang menghasilkan SP-36 1&2, *phonska*, *tank yard* amoniak, dan fosfat. Sedangkan pabrik III adalah pabrik Asam Fosfat yang menghasilkan asam sulfat, asam fosfat (H₃PO₄), aluminium *fluoride* (AlF₃), *cement retarder*, dan ZA II.

Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor: KEP-51/MEN/1999, kebisingan adalah semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan atau alat-alat kerja yang pada tingkat tertentu

dapat menimbulkan gangguan pendengaran. Pada Pabrik I, khususnya *plant* II CO₂, merupakan *plant* dengan aktivitas produksi CO₂ cair dan padat. Aktivitas tersebut menimbulkan bising kontinu atau terus-menerus. Menurut hasil pengukuran, bising pada *plant* tersebut mencapai 103 dBA dimana tingkat kebisingan tersebut melebihi NAB (Nilai Ambang Batas) Kebisingan yang telah diatur dalam KepMenaker No. 51/1999 yaitu sebesar 85 dBA. Dalam KepMenaker juga diterangkan bahwa NAB adalah standar faktor tempat kerja yang dapat diterima tenaga kerja tanpa mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan dalam pekerjaan sehari-hari untuk waktu tidak melebihi 8 jam sehari atau 40 jam seminggu.

Selain mesin-mesin produksi dan tanki penyimpanan CO₂ terdapat ruang operator yang berhadapan langsung dengan *plant*. Ruangan tersebut dalam sehari-harinya selalu ditempati oleh pekerja-pekerja yang sedang bertugas di *plant* tersebut. Dengan lokasi ruangan yang berada pada satu area dengan *plant*, maka kebisingan dari *plant* tersebut turut mempengaruhi kebisingan di dalam ruang operator. Tingkat kebisingan di dalam ruang operator berdasarkan hasil pengukuran mencapai 78 dBA. Nilai tersebut memang masih di bawah NAB Kebisingan, namun mempengaruhi kejelasan percakapan di dalam ruangan tersebut. Suara orang bercakap-cakap memiliki TTB antara 54-72 dB. Apabila tingkat kebisingan di dalam ruang operator ternyata lebih besar daripada TTB suara percakapan manusia, maka diperlukan suatu perancangan pengendalian bising di ruangan tersebut untuk meningkatkan kualitas percakapan.

Melalui Tugas Akhir ini penulis mencoba untuk melakukan perancangan pengendalian bising di ruang operator dengan mempertebal bidang partisi antara *plant* II CO₂ sebagai sumber bising dan ruang operator penerima.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengendalian Kebisingan

Secara umum pengendalian bising dilakukan pada tiga sektor yaitu:

1. Pengendalian pada sumber bising, adalah upaya pengendalian agar tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh sumber dapat berkurang.
2. Pengendalian pada medium, adalah upaya pengendalian pada medium perambatan/propagansinya. Ada dua jenis propagansi bising yaitu propagansi melalui struktur bangunan (*structure borne noise*) dan melalui udara (*airbone noise*).

3. Pengendalian pada penerima, adalah upaya pengendalian pada penerima (manusia) yang terkena paparan bising (*noise exposure*) dengan intensitas tinggi dan dalam jangka waktu yang relatif lama.

Adapun prinsip pengendalian kebisingan di tempat kerja menurut Pramudianto yang dikutip oleh Babba (2007) terdiri dari:

1. Pengendalian secara teknis, dimana dapat dilakukan pada sumber bising, media yang dilalui oleh bising, atau jarak antara sumber bising terhadap pekerja. Untuk pengendalian yang efektif dapat dilakukan pada sumber bising, dan hendaknya pada sumber bising tertinggi. Pengendalian ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:
 - a. Membuat desain ulang untuk mengurangi kecepatan atau bagian dari mesin yang bergerak dan mengganti komponen atau alat yang rusak dengan yang baru.
 - b. Melakukan perawatan dan perbaikan yang rutin terhadap komponen atau alat yang menimbulkan bising, serta memberi pelumas pada semua bagian yang bergerak.
 - c. Membuat *barrier*/penghalang, menutup mesin-mesin, dan mengisolasi mesin atau alat dengan menjauhkan sumber dari penerima/pekerja.
 - d. Memberi atau menambah sekat berbahan absorber pada ruang kerja.
 - e. Memberi bantalan karet untuk mengurangi getaran dari mesin.
2. Pengendalian secara administratif, meliputi rotasi kerja para pekerja yang terpapar oleh kebisingan dengan intensitas tinggi ke tempat atau bagian lain yang intensitas bunyinya lebih rendah untuk melindungi pendengaran pekerja tersebut.
3. Pemakaian alat pelindung telinga, dimana pengendalian ini bergantung pada pemilihan alat pelindung yang tepat. Berikut ini adalah jenis-jenis alat pelindung telinga (APT):
 - a. Sumbat telinga (*ear plugs*), dimana pemakaiannya adalah dengan memasukkannya ke dalam telinga sehingga suara atau bunyi tidak akan mencapai membran timpani. Sumbat telinga ini mampu mengurangi bising hingga 30 dB.
 - b. Tutup telinga (*ear muff*), dimana pemakaiannya akan menutupi seluruh telinga bagian luar. Alat ini mampu mengurangi bising hingga 40 dB.
 - c. Helmet (*enclosure*), dimana pemakaiannya akan menutupi seluruh kepala. Alat ini mampu mengurangi bising hingga 35 dB.

B. Transmission Loss

Transmission loss (TL) atau rugi transmisi menyatakan besarnya sebagian energi bunyi yang hilang karena gelombang bunyi melewati suatu penghalang (Hemond, 1983). Hilangnya energi bunyi tersebut karena ketika melewati suatu penghalang maka bunyi mengawali peristiwa refleksi, absorpsi, dan transmisi.

Transmission loss sangat berkaitan dengan *Noise Reduction* (NR) atau reduksi bising dimana *noise reduction* adalah selisih tingkat tekanan bunyi antara ruang sumber bunyi dan ruang penerima. Berikut ini adalah persamaan untuk *noise reduction*:

$$NR = Lp_1 - Lp_2 \quad (1)$$

dengan

N = Reduksi bunyi oleh bidang partisi (dB)

Lp₁ = Tingkat kebisingan di ruang sumber bunyi (dB)

Lp₂ = Tingkat kebisingan di ruang penerima (dB)

Jika persamaan tersebut dikaitkan dengan *transmission loss* maka akan menjadi seperti berikut:

$$NR = TL - 10 \log \left(0,25 + \frac{S_w}{R_2} \right) \quad (2)$$

sehingga akan diperoleh persamaan TL menjadi:

$$TL = NR + 10 \log \left[0,25 + \left(\frac{S_w}{R_2} \right) \right] \quad (3)$$

dengan

TL = Rugi transmisi (dB)

NR = Reduksi bunyi oleh dinding (dB)

S_w = Luas bidang partisi (m²)

R₂ = Konstanta ruang (m²)

Dalam Persamaan 2.3 terdapat variabel S_w dan R₂. S_w menyatakan luas bidang partisi antara ruang sumber bunyi dan ruang penerima, sedangkan R₂ menyatakan konstanta ruang. Untuk nilai konstanta ruang dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$R_2 = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (4)$$

dengan S adalah luas permukaan ruang (m₂) dan $\bar{\alpha}$ adalah koefisien absorpsi rata-rata ruang.

Umumnya bunyi pada suatu ruangan akan diserap oleh berbagai macam permukaan sehingga koefisien absorpsi rata-rata dinyatakan dengan:

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + \dots + S_n \alpha_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n} \quad (5)$$

dengan

S₁ = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi α₁

S₂ = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi α₂

S₃ = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi α₃

S_n = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi α_n

Selain berkaitan dengan NR, persamaan TL ada juga yang tergantung dari frekuensi bunyi seperti persamaan berikut:

$$TL = (20 \log f) + (20 \log W) - C \quad (6)$$

dengan

TL = Rugi transmisi (dB)

f = Frekuensi bunyi (Hz)

W = Kerapatan permukaan bahan (kg/m²/cm tebal)

C = 47 jika W dalam kg/m²/cm

serta persamaan TL untuk bidang partisi berbahan komposit yang berhubungan dengan koefisien transmisi bahan seperti persamaan berikut ini:

$$TL = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}} \quad (7)$$

dengan

TL = Rugi transmisi (dB)

$\bar{\tau}$ = Koefisien transmisi rata-rata

Nilai koefisien transmisi rata-rata dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{\tau} = \frac{S_1 \tau_1 + S_2 \tau_2 + S_3 \tau_3 + \dots + S_n \tau_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n} \quad (8)$$

dengan

S₁ = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi τ₁

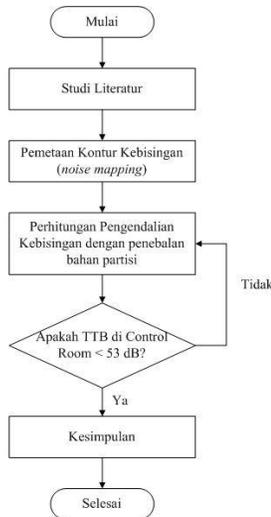
S₂ = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi τ₂

S₃ = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi τ₃

S_n = Luas permukaan dengan koefisien absorpsi bunyi τ_n

III. METODOLOGI PENELITIAN

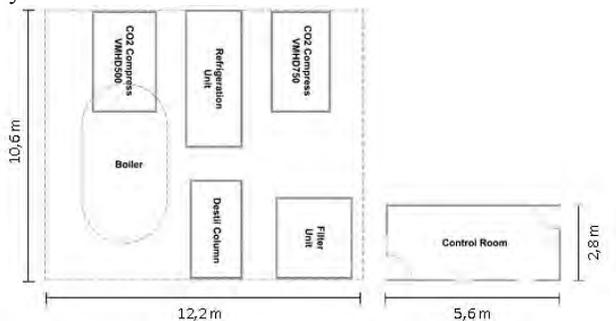
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini hingga akhirnya mendapatkan hasil ketebalan bahan pada bidang partisi sesuai dengan tingkat kebisingan yang diinginkan di dalam ruang operator. Alur pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

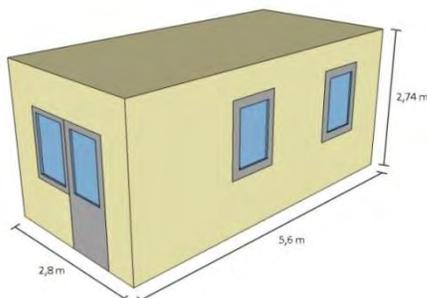
A. Objek Penelitian

Ruang yang dijadikan objek penelitian ini adalah ruang operator yang berlokasi di *plant* II CO₂ pada Pabrik I PT. Petrokimia Gresik. Ruang operator dengan *plant* berada dalam satu area dimana pintu operator tersebut berhadapan langsung dengan *plant*. Dalam penelitian ini, *plant* disebut sebagai sumber bunyi/bising dan ruang operator sebagai penerima bunyi.



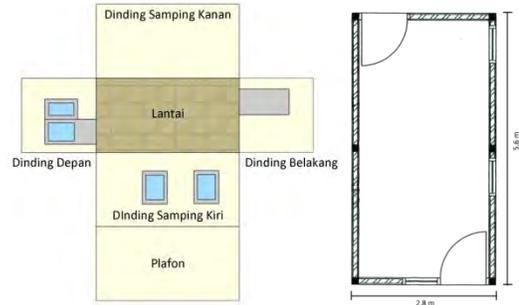
Gambar 2. Denah *Plant* II CO₂ dan Ruang Operator.

Ruang ini memiliki dimensi 2,8×5,6×2,74 meter seperti yang tergambar pada ilustrasi ruang operator berikut ini.



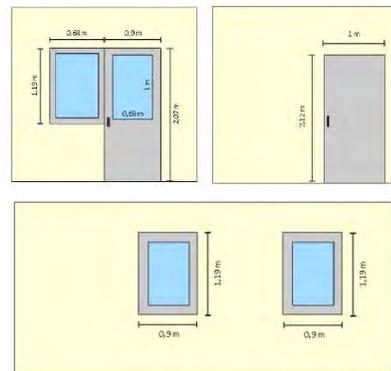
Gambar 3. Ilustrasi Ruang Operator di *Plant* II CO₂.

Ilustrasi tersebut apabila digambarkan penampangnya akan nampak seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Penampang Ruang Operator.

Dinding ruang operator ini terbuat dari batu bata yang dicat. Pada bagian depan ruangan terdapat satu pintu depan dan satu jendela depan. Pintu depan tersebut terbuat dari kayu (*solid wood*) dengan kaca (*glass*) pada bagian atasnya. Pada bagian samping kanan ruangan terdapat dua jendela dengan ukuran yang sedikit lebih besar dari jendela depan. Bagian samping kiri ruangan hanya terdiri atas dinding saja. Sedangkan pada bagian belakang ruangan hanya ada satu pintu belakang yang terbuat dari kayu saja (tanpa ada kaca).



Gambar 5. Ruang Operator Tampak Depan, Belakang dan Samping.

Langit-langit atau plafon ruangan ini terbuat dari bahan beton halus yang dicat. Sedangkan lantainya terlapisi oleh tegel keramik.

B. Pengukuran Tingkat Kebisingan

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) di area *plant* sebagai sumber bising (*Lp*₁) dan di dalam ruang operator sebagai penerima bunyi (*Lp*₂). Nilai *Lp*₁ dan *Lp*₂ nantinya akan digunakan untuk memperoleh nilai *Noise Reduction* (NR). Pengukuran dilakukan menggunakan *Sound Level Meter* Dekko SL-130 dalam skala dBA.

C. Pemetaan Kebisingan

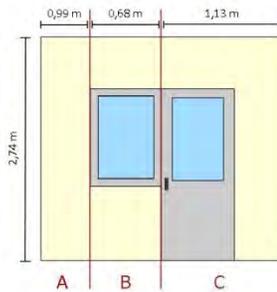
Langkah selanjutnya adalah pemetaan kebisingan di dalam ruang operator. Pemetaan kebisingan ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana kontur kebisingan di bidang partisi dibandingkan titik-titik ukur lainnya.

Pemetaan kebisingan dilakukan dengan titik ukur 1×1 meter. Pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) dilakukan menggunakan *Sound Level Meter* Dekko SL-130 dalam skala dBA. Pengambilan data kebisingan ini dilakukan dengan

frekuensi 1 oktaf, yaitu: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, dan 4000 Hz. Setelah mendapatkan data pada semua titik, langkah selanjutnya adalah mengonversi nilai TTB tersebut dari skala dBA ke dB. Konversi ini diperlukan karena satuan yang digunakan oleh *Transmission Loss* (TL) adalah decibel (dB). Selanjutnya adalah membuat kontur kebisingannya menggunakan *software Surfer 9*, baik untuk skala dBA maupun dB.

D. Penentuan Titik Transmisi pada Dinding

Dinding bagian depan ruang operator merupakan dinding partisi antara sumber bising (*plant*) dan penerima (ruang operator). Untuk dapat menganalisis transmisi bunyi, maka dinding tersebut diasumsikan menjadi 3 bidang seperti pada gambar berikut.



Gambar 6. Asumsi Bidang Partisi.

Keterangan:

- A = Mewakili dinding
- B = Mewakili jendela
- C = Mewakili pintu

E. Perhitungan Noise Reduction (NR)

Noise Reduction (NR) adalah reduksi bunyi oleh dinding pemisah dan dinyatakan dalam satuan dB. NR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$NR = Lp_1 - Lp_2 \tag{9}$$

dimana

- NR = Reduksi bunyi oleh dinding partisi (dB)
- Lp_1 = Tingkat tekanan bunyi pada daerah sumber bunyi (dB)
- Lp_2 = Tingkat tekanan bunyi pada daerah penerima bunyi (dB)

Sumber bunyi dalam hal ini adalah kebisingan dari *plant*, sedangkan penerima bunyi adalah para pekerja yang berada di dalam ruang operator.

Ada dua kondisi untuk nilai NR yang akan digunakan hingga nilai TL diperoleh serta ketebalan bahan bidang partisi juga telah diketahui. Yang pertama adalah nilai NR dengan Lp_2 sesuai hasil pengukuran diasumsikan sebagai Kondisi A, sedangkan yang kedua adalah nilai NR dengan $Lp_2 = 52$ dB (tingkat tekanan bunyi yang diinginkan) diasumsikan sebagai Kondisi B.

F. Perhitungan Luas Permukaan Ruang (S)

Nilai S diperoleh dengan menjumlahkan luas seluruh permukaan ruangan dari bahan-bahan yang terdapat pada ruangan tersebut. Luas yang perlu dihitung adalah luas bidang yang berbahan batu bata (S_1), kaca (S_2), kayu (S_3), keramik (S_4), dan beton (S_5) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas Batu Bata} & S_1 = [(2(p \times t)) - (S_{PB} + S_{KPB} + S_{JD} + S_{PBB})] + [(2(l \times t)) - (2 \times S_{JS})] \tag{10} \\ \text{Luas Kaca} & \end{aligned}$$

$$S_2 = S_{KPD} + S_{JD} + (2 \times S_{JS}) \tag{11}$$

Luas Kayu

$$S_3 = S_{PD} + S_{PB} \tag{12}$$

Luas Keramik

$$S_4 = p \times l \tag{13}$$

Luas Beton

$$S_5 = p \times l \tag{14}$$

dengan

S_{PD} = Luas pintu depan (m^2)

S_{KPD} = Luas kaca pintu depan (m^2)

S_{JD} = Luas jendela depan (m^2)

S_{PB} = Luas pintu belakang (m^2)

S_{JS} = Luas jendela samping (m^2)

Dengan menjumlahkan luas-luas tersebut maka akan diperoleh persamaan luas permukaan ruangan seperti berikut:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \tag{15}$$

G. Perhitungan Koefisien Absorpsi Rata-rata ($\bar{\alpha}$)

Pada umumnya bunyi di dalam suatu ruangan akan diabsorpsi oleh berbagai macam permukaan sehingga perlu dihitung koefisien absorpsi rata-ratanya menggunakan persamaan berikut.

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + S_4 \alpha_4 + S_5 \alpha_5}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \tag{16}$$

dengan

$\bar{\alpha}$ = Koefisien absorpsi rata-rata pada ruang operator

S_1 = Luas batu bata (m^2)

α_1 = Koefisien absorpsi dari batu bata/*brick painted*

S_2 = Luas kaca (m^2)

α_2 = Koefisien absorpsi dari kaca/*glass*

S_3 = Luas kayu (m^2)

α_3 = Koefisien absorpsi dari kayu/*solid wood*

S_4 = Luas lantai (m^2)

α_4 = Koefisien absorpsi dari tegel keramik

S_5 = Luas plafon (m^2)

α_5 = Koefisien absorpsi dari beton halus yang dicat

Nilai koefisien absorpsi rata-rata tersebut dihitung per frekuensi dalam 1 oktaf yaitu: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, dan 4000 Hz.

H. Perhitungan Transmission Loss (TL)

Rugi transmisi dinding atau *transmission loss* dihitung untuk mengetahui seberapa besar suatu dinding partisi mampu mengurangi energi bunyi yang melaluinya. Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$TL = NR + 10 \log \left[0,25 + \left(\frac{S_w}{R_2} \right) \right] \tag{17}$$

dengan

TL = Rugi transmisi (dB)

NR = Reduksi bunyi oleh dinding (dB)

S_w = Luas bidang partisi (m^2)

R_2 = Konstanta ruang (m^2)

Seperti halnya NR, nilai TL dihitung pula dalam dua kondisi yang sama dengan NR yaitu kondisi I dan kondisi II. Selain itu nilai TL juga dihitung pada masing-masing asumsi bidang partisi (bidang A, B, dan C) dan luas (S_w) masing-masing bidang tersebut.

Untuk nilai konstanta ruang dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$R_2 = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \tag{18}$$

Nilai TL ini dihitung per frekuensi dalam 1 oktaf, demikian juga dengan nilai konstanta ruang.

I. Perhitungan Transmission Loss (TL) Bahan Komposit

Dikarenakan bahan-bahan pada partisi merupakan bahan komposit, maka perlu dihitung pula nilai TL untuk bahan komposit menggunakan persamaan berikut.

$$TL = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}} \tag{19}$$

dengan

TL = Rugi transmisi (dB)

$\bar{\tau}$ = Koefisien transmisi rata-rata

dimana nilai koefisien transmisi dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$\tau = 10^{-\frac{TL}{10}} \tag{20}$$

Sedangkan untuk menghitung nilai koefisien transmisi rata-rata menggunakan persamaan:

$$\bar{\tau} = \frac{S_{w1}\tau_1 + S_{w2}\tau_2 + S_{w3}\tau_3}{S_{w1} + S_{w2} + S_{w3}} \tag{21}$$

Nilai TL Persamaan 20 menggunakan hasil dari Persamaan 17. Perhitungan TL bahan komposit juga dihitung per frekuensi dalam 1 oktaf, demikian juga untuk nilai koefisien transmisi rata-rata. Selain itu perhitungan tersebut digunakan untuk masing-masing bidang partisi dengan dua kondisi (kondisi I dan II), seperti halnya dengan perhitungan TL sebelumnya.

J. Perhitungan Kerapatan Permukaan Bahan (W)

Untuk mendapatkan nilai kerapatan permukaan bahan (W), persamaannya diperoleh dari persamaan TL berikut.

$$TL = (20 \log f) + (20 \log W) - C \tag{22}$$

sehingga persamaan W menjadi:

$$W = \frac{10^{\left(\frac{TL+C}{20}\right)}}{f} \tag{23}$$

dengan

W = Kerapatan permukaan bahan (kg/m²/cm tebal)

TL = Rugi transmisi (dB)

C = 47 jika W dalam kg/m²/cm

f = Frekuensi bunyi (Hz)

Nilai W juga dihitung per frekuensi dalam 1 oktaf serta dalam dua kondisi (kondisi I dan II) juga seperti perhitungan TL. Untuk nilai TL yang digunakan dalam Persamaan 23 adalah nilai TL bahan komposit.

Setiap bahan telah memiliki nilai W masing-masing seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1.

Nilai W untuk Masing-masing Bahan Bidang Partisi

Bahan	W _{referensi} (kg/m ² /cm tebal)
Batu bata	19-23
Kaca	29
Kayu	4-8

Dengan mengetahui nilai W_{referensi} tersebut, maka untuk nilai W_{sesungguhnya} pada masing-masing bahan diperoleh dengan:

$$W_{sesungguhnya} = \text{Tebal bahan} \times W_{referensi} \tag{24}$$

Selanjutnya ketebalan masing-masing bahan per frekuensi diperoleh dengan:

$$\text{Tebal bahan} = \frac{(W_{sesungguhnya} - W_{Kondisi A}) + W_{Kondisi B}}{W_{Referensi yang dipakai}} \tag{25}$$

dimana W_{referensi yang dipakai} adalah angka yang dipilih dari Tabel 1. Dengan demikian ketebalan rancangan dari bahan bidang

partisi akan diperoleh.

K. Kondisi Kebisingan di Ruang Operator Setelah Perhitungan Perancangan Ketebalan Bahan Bidang Partisi

Dengan diperolehnya ketebalan rancangan dari bahan bidang partisi, tentu tingkat kebisingan di masing-masing titik partisi akan berkurang. Untuk mengetahui tingkat kebisingan setelah penebalan bidang partisi maka perlu dilakukan:

- Penentuan ketebalan bahan untuk masing-masing bahan bidang partisi.
- Perhitungan nilai TL dengan nilai W dan f. Nilai W diperoleh dari perkalian antara tebal tambahan bahan dengan W_{referensi yang dipakai}.
- Perhitungan nilai Lp₂ dari persamaan NR. Satuan tersebut masih dalam dB yang selanjutnya dikonversi ke dalam dBA.

Keseluruhan tahap tersebut dilakukan pada masing-masing bahan bidang partisi dan per frekuensi.

IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Luas Permukaan Ruangan (S)

Luas permukaan ruangan yang dihitung adalah luas bidang yang berbahan batu bata (S₁), kaca (S₂), kayu (S₃), keramik (S₄), dan beton (S₅). Berikut ini adalah dimensi komponen ruang operator:

Tabel 2.

Dimensi Komponen Ruang Operator

Nama	Dimensi (m)			Luas (m ²)
	p	l	t	
Ruang Operator	2.8	5.6	2.74	-
Pintu Depan	0.9	-	2.07	1.183
Kaca Pintu Depan	0.68	-	1	0.68
Jendela Depan	0.68	-	1.19	0.8092
Pintu Belakang	1	-	2.12	2.12
Jendela Samping	0.9	-	1.19	1.071
Lantai	2.8	5.6	-	15.68
Plafon	2.8	5.6	-	15.68

Dan hasil perhitungan luas dituliskan pada tabel berikut:

Tabel 3.

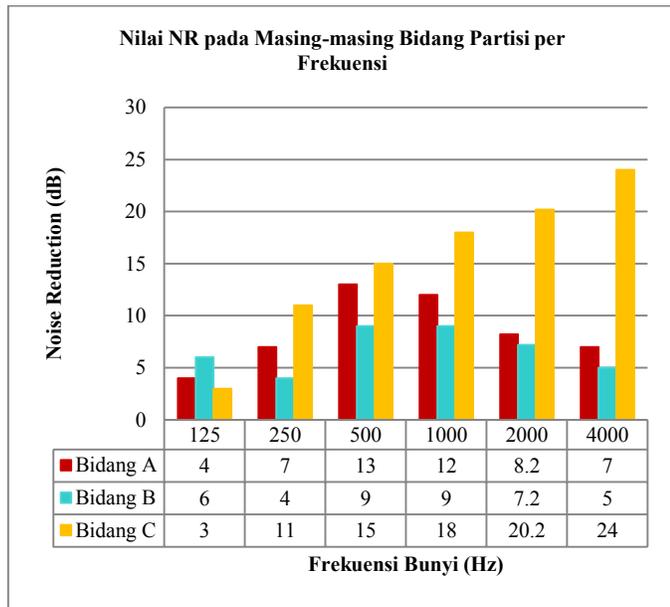
Luas Bahan (S)

Nama Bahan		Luas (m ²)
Batu bata	S ₁	39.0978
Kaca	S ₂	3.6312
Kayu	S ₃	3.303
Keramik	S ₄	15.68
Beton	S ₅	15.68
	S	77.392

B. Hasil Perhitungan Noise Reduction (NR)

Ada dua kondisi dalam perhitungan NR ini, yaitu Kondisi I dan Kondisi II. Selain itu nilai NR juga dihitung per bidang partisi (bidang A, B, dan C).

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan nilai NR pada masing-masing bidang partisi per frekuensi.

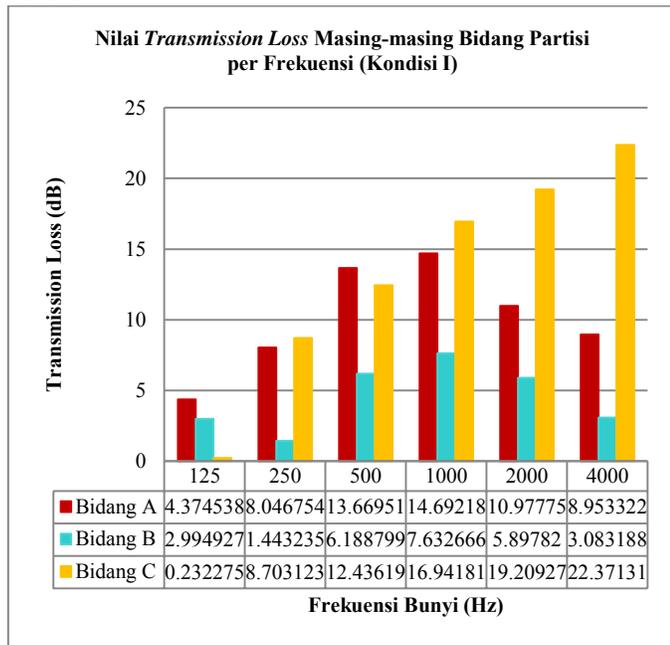


Grafik 1. Nilai NR pada Masing-masing Bidang Partisi per Frekuensi.

C. Hasil Perhitungan Transmission Loss (TL)

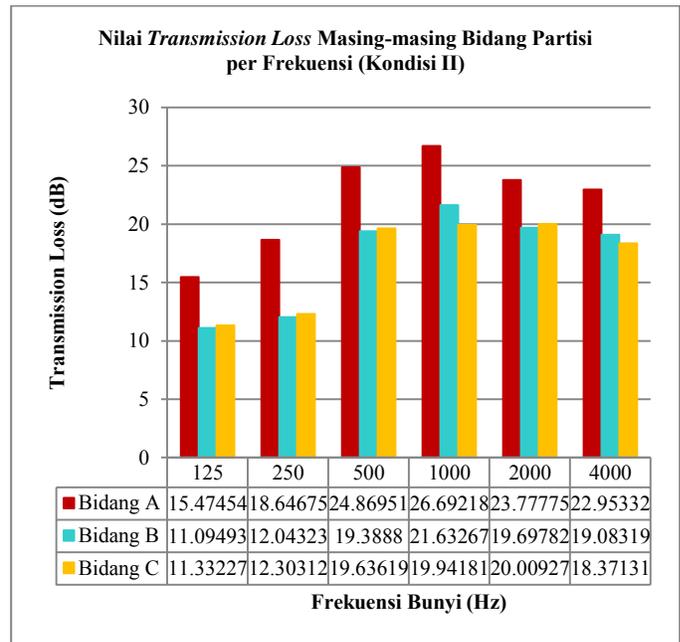
Ada dua kondisi dalam perhitungan TL ini, yaitu Kondisi I dan Kondisi II. Selain itu nilai TL juga dihitung per bidang partisi (bidang A, B, dan C).

Pada grafik berikut ini akan ditampilkan nilai TL pada kondisi I.



Grafik 2. Nilai Transmission Loss Masing-masing Bidang Partisi per Frekuensi untuk Kondisi I.

Sedangkan pada grafik berikut ini akan ditampilkan nilai TL pada kondisi II.



Grafik 3. Nilai Transmission Loss Masing-masing Bidang Partisi per Frekuensi untuk Kondisi II.

D. Hasil Perhitungan Koefisien Transmisi Rata-rata ($\bar{\tau}$)

Ada dua kondisi dalam perhitungan $\bar{\tau}$ ini, yaitu Kondisi I dan Kondisi II. Selain itu nilai τ juga dihitung per bidang partisi (bidang A, B, dan C).

Kondisi I

Pada Tabel 4. ditampilkan nilai $\bar{\tau}$ untuk bidang A, B dan C.

Tabel 4.

Frek. (Hz)	$\bar{\tau}$			$\bar{\tau}$
	A	B	C	
125	0.501773	0.501772985	0.9479218	0.592580785
250	0.7172599	0.71725989	0.1347993	0.598707601
500	0.2405028	0.240502792	0.0570664	0.203166696
1000	0.1724779	0.172477892	0.0202218	0.141488138
2000	0.2571686	0.257168617	0.011997	0.207267116
4000	0.4916784	0.491678437	0.0057925	0.392782668

Kondisi II

Pada Tabel 5. ditampilkan nilai $\bar{\tau}$ untuk bidang A, B dan C.

Tabel 5.

Frek. (Hz)	$\bar{\tau}$			$\bar{\tau}$
	A	B	C	
125	0.0283496	0.077715434	0.0735822	0.046590137
250	0.013656	0.062470725	0.058842	0.031786265
500	0.0032587	0.011511187	0.0108738	0.006318897
1000	0.0021418	0.006866469	0.0101349	0.004633326
2000	0.0041901	0.010720572	0.0099787	0.006563384
4000	0.005066	0.012350404	0.0145502	0.008329467

E. Hasil Perhitungan Transmission Loss (TL) Bahan Komposit

Dikarenakan bidang partisi merupakan bahan komposit, maka perlu dihitung pula nilai TL bahan komposit.

Tabel 6.
Nilai TL Bahan Komposit untuk Kondisi I dan II

Frek. (Hz)	TL Bahan Komposit (dB)	
	Kondisi I	Kondisi II
125	2.272524349	13.31706017
250	2.22785228	14.97760497
500	6.921474822	21.99358728
1000	8.492799695	23.34107161
2000	6.834695959	21.82872169
4000	4.05847684	20.79382787

F. Hasil Perhitungan W untuk Masing-masing Bahan Bidang Partisi

Perancangan masing-masing bahan bidang partisi berhubungan dengan tebal dan kerapatan permukaan bahan. Pada Tabel 7. menampilkan hasil perhitungan untuk kerapatan permukaan bahan batu bata.

Tabel 7.
Nilai W untuk Perancangan Ketebalan Batu Bata

Frek. (Hz)	Tebal Awal (cm)	W (kg/m ² /cm tebal)			
		Ref.	Sesungguhnya	Kondisi I	Kondisi II
125	15	19-23 ↓ 20	300	2.326570432	8.297418503
250				1.157317727	5.022734704
500				0.993353295	5.63260582
1000				0.595168565	3.288922049
2000				0.245869582	1.381675603
4000				0.089302548	0.613241309

Pada Tabel 8. menampilkan hasil perhitungan untuk kerapatan permukaan bahan kaca.

Tabel 8.
Nilai W untuk Perancangan Ketebalan Kaca

Frek. (Hz)	Tebal Awal (cm)	W (kg/m ² /cm tebal)			
		Ref.	Sesungguhnya	Kondisi I	Kondisi II
125	0,3	29	8,7	2.326570432	8.297418503
250				1.157317727	5.022734704
500				0.993353295	5.63260582
1000				0.595168565	3.288922049
2000				0.245869582	1.381675603
4000				0.089302548	0.613241309

Pada Tabel 9. menampilkan hasil perhitungan untuk kerapatan permukaan bahan kayu.

Tabel 9.
Nilai W untuk Perancangan Ketebalan Kayu

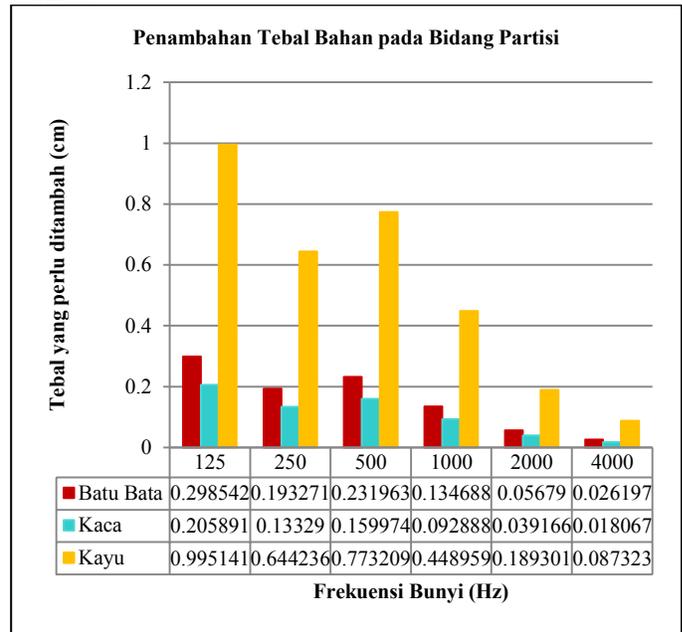
Frek. (Hz)	Tebal Awal (cm)	W (kg/m ² /cm tebal)			
		Ref.	Sesungguhnya	Kondisi I	Kondisi II
125	4	4-8 ↓ 6	2,4	2.326570432	8.297418503
250				1.157317727	5.022734704
500				0.993353295	5.63260582
1000				0.595168565	3.288922049
2000				0.245869582	1.381675603
4000				0.089302548	0.613241309

Jika telah memperoleh seluruh nilai W maka ketebalan bahan bidang partisi akan menjadi:

Tabel 10.
Ketebalan Rancangan Masing-masing Bidang Partisi

Frek. (Hz)	Tebal Sesudah (cm)		
	Bidang A	Bidang B	Bidang C
125	15.2985424	0.50589131	0.205891
250	15.1932708	0.43329024	0.13329
500	15.2319626	0.45997422	0.159974
1000	15.1346877	0.39288805	0.092888
2000	15.0567903	0.33916572	0.039166
4000	15.0261969	0.31806685	0.018067

Dari tebal bahan sesudah perancangan maka ketebalan yang ditambahkan pada bahan tersebut dapat dilihat pada grafik berikut.



Grafik 3. Penambahan Tebal Bahan pada Bidang Partisi

G. Tingkat Kebisingan Setelah Penebalan Batu Bata

Tingkat kebisingan setelah penebalan batu bata dapat diketahui dari nilai W dari ketebalan bahan yang diinginkan.

Tabel 11.
Nilai W dari Ketebalan Batu Bata yang Diinginkan

Frek (Hz)	Tebal yang diinginkan (cm)	Tebal dari perhitungan (cm)	Tebal Tambahan (cm)	W (kg/m ² /cm)
125	17	15.2985424	1.7014576	34.02915193
250		15.19327085	1.8067292	36.13458302
500		15.23196263	1.7680374	35.36074748
1000		15.13468767	1.8653123	37.30624652
2000		15.0567903	1.9432097	38.86419398
4000		15.02619694	1.9738031	39.47606124

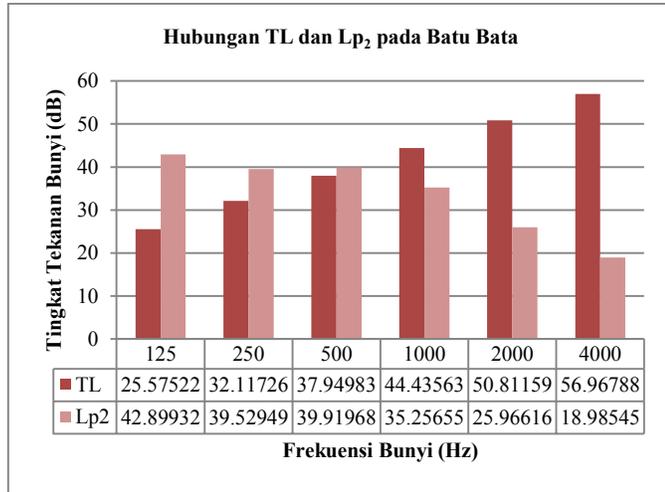
Dengan memasukkan nilai W pada persamaan TL maka akan diperoleh nilai Lp₂ selaku tingkat kebisingan di ruang operator.

Tabel 12.
Nilai L_{p2} dengan Ketebalan Batu Bata yang Diinginkan

Frek (Hz)	TL (dB)	NR (dB)	L_{p2}	
			(dB)	(dBA)
125	25.57522278	25.20068485	42	26
250	32.11726112	31.07050762	39	30
500	37.94982882	37.28031913	39	36
1000	44.43563111	41.74344779	35	35
2000	50.81159322	48.03384408	25	24
4000	56.96787611	55.01455429	18	17
$L_{p_{total}}$			46	40

Keterangan: L_{p2} dan $L_{p_{total}}$ merupakan hasil pembulatan

Hubungan antara nilai TL dengan nilai L_{p2} pada batu bata setelah penebalan rancangan dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Grafik 4. Hubungan TL dan L_{p2} pada Batu Bata

H. Tingkat Kebisingan Setelah Penebalan Kaca

Tingkat kebisingan setelah penebalan kaca dapat diketahui dari nilai W dari ketebalan bahan yang diinginkan.

Tabel 13.
Nilai W dari Ketebalan Kaca yang Diinginkan

Frek (Hz)	Tebal yang diinginkan (cm)	Tebal dari perhitungan (cm)	Tebal Tambahan (cm)	W (kg/m ² /cm)
125	0.8	0.505891313	0.2941087	8.529151929
250		0.433290241	0.3667098	10.63458302
500		0.459974225	0.3400258	9.860747475
1000		0.392888051	0.4071119	11.80624652
2000		0.339165725	0.4608343	13.36419398
4000		0.318066854	0.4819331	13.97606124

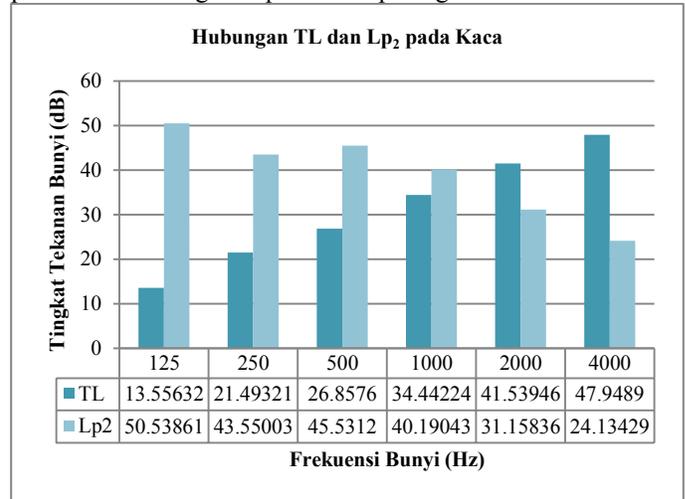
Dengan memasukkan nilai W pada persamaan TL maka akan diperoleh nilai L_{p2} selaku tingkat kebisingan di ruang operator.

Tabel 14.
Nilai L_{p2} dengan Ketebalan Kaca yang Diinginkan

Frek (Hz)	TL (dB)	NR (dB)	L_{p2}	
			(dB)	(dBA)
125	13.55631727	16.56139003	50	34
250	21.4932095	24.04997495	43	34
500	26.85759683	29.66879804	45	42
1000	34.44223694	35.80957131	40	40
2000	41.53945533	42.84163501	31	29
4000	47.94889573	49.86570735	24	23
$L_{p_{total}}$			52	45

Keterangan: L_{p2} dan $L_{p_{total}}$ merupakan hasil pembulatan

Hubungan antara nilai TL dengan nilai L_{p2} pada kaca setelah penebalan rancangan dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Grafik 5. Hubungan TL dan L_{p2} pada Kaca

I. Tingkat Kebisingan Setelah Penebalan Kayu

Tingkat kebisingan setelah penebalan kaca dapat diketahui dari nilai W dari ketebalan bahan yang diinginkan.

Tabel 15.
Nilai W dari Ketebalan Kayu yang Diinginkan

Frek (Hz)	Tebal yang diinginkan (cm)	Tebal dari perhitungan (cm)	Tebal Tambahan (cm)	W (kg/m ² /cm)
125	5.5	4.995141345	0.5048587	3.029151929
250		4.644236163	0.8557638	5.134583023
500		4.773208754	0.7267912	4.360747475
1000		4.448958914	1.0510411	6.306246516
2000		4.189301003	1.310699	7.864193979
4000		4.087323127	1.4126769	8.476061239

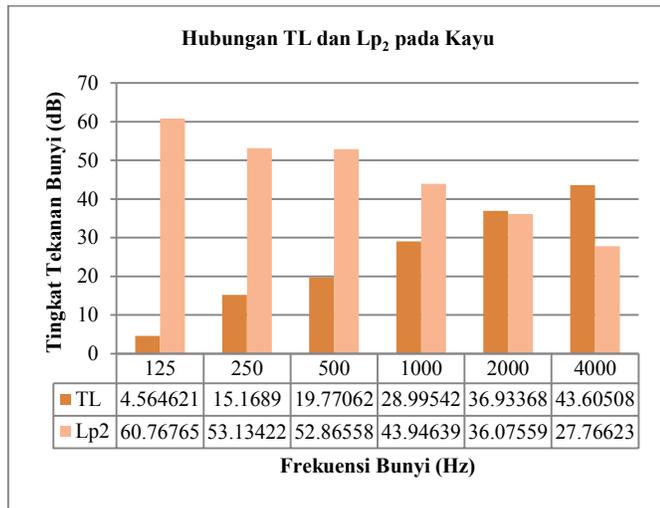
Dengan memasukkan nilai W pada persamaan TL maka akan diperoleh nilai L_{p2} selaku tingkat kebisingan di ruang operator.

Tabel 16.
Nilai L_{p2} dengan Ketebalan Kayu yang Diinginkan

Frek (Hz)	TL (dB)	NR (dB)	L_{p2}	
			(dB)	(dBA)
125	4.564621383	7.332346481	60	44
250	15.16890378	17.46578084	53	44
500	19.77061885	22.33442401	52	49
1000	28.99541887	30.05361362	43	43
2000	36.93368426	37.92441031	36	34
4000	43.60508154	45.23376969	27	26
$L_{p_{total}}$			62	52

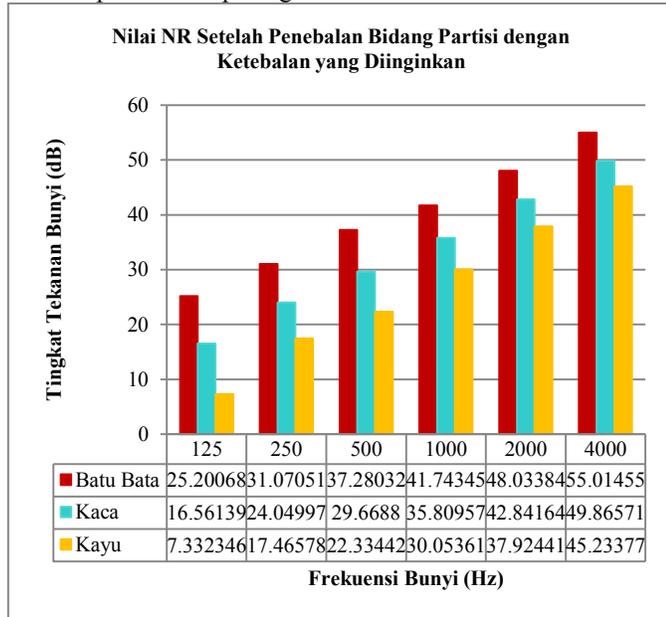
Keterangan: L_{p2} dan $L_{p_{total}}$ merupakan hasil pembulatan

Hubungan antara nilai TL dengan nilai L_{p2} pada kaca setelah penebalan rancangan dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Grafik 6. Hubungan TL dan Lp₂ pada Kayu

Nilai NR yang dimiliki oleh masing-masing bahan setelah dilakukannya penebalan dengan ketebalan yang diinginkan maka dapat diamati pada grafik berikut ini:



Grafik 7. Nilai NR Setelah Penebalan Bidang Partisi dengan Ketebalan yang Diinginkan

J. Pembahasan

Metode yang digunakan dalam pengendalian bising di Ruang Operator *plant* II CO₂ ini adalah penebalan bidang partisi. Penebalan difokuskan hanya pada bidang partisi dikarenakan bidang tersebut yang mempengaruhi *Noise Reduction* (NR) antara *plant* sebagai sumber bunyi dan ruang operator sebagai titik penerima bunyi.

Pada dasarnya penelitian ini menggunakan nilai *Noise Reduction* (NR) dan *Transmission Loss* (TL) untuk menganalisis kemampuan suatu bahan dalam mereduksi bising setelah bahan tersebut dipertebal. Nilai NR sendiri menunjukkan seberapa besar bunyi yang direduksi akibat adanya bidang partisi antara sumber bunyi dan penerima. Sedangkan nilai TL merupakan karakteristik dari suatu bahan

yang menunjukkan kemampuan dinding partisi untuk mereduksi energi bunyi yang melaluinya.

Data perhitungan nilai NR di kondisi I, dimana Lp₂ merupakan hasil pengukuran langsung, menunjukkan bahwa nilai NR terkecil dimiliki oleh bidang C (kayu) pada frekuensi 125 Hz yaitu sebesar 3 dB. Semakin kecil nilai NR maka bidang partisi tersebut semakin mudah untuk ditembus oleh bunyi.

Untuk perhitungan TL pada kondisi I, nilai TL terbesar dimiliki oleh bidang C (kayu) pada frekuensi 4000 Hz yaitu sebesar 22,37 dB. Namun untuk perhitungan TL pada kondisi II, dimana Lp₂ merupakan tingkat kebisingan rancangan, nilai TL terbesar dimiliki oleh bidang I (batu bata) pada frekuensi 1000 Hz yaitu sebesar 26,69 dB. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa batu bata memiliki kemampuan yang baik dalam meredam bunyi.

Dikarenakan tujuan utama penelitian ini adalah mengurangi kebisingan di ruang operator untuk kejelasan percakapan, maka yang perlu diperhatikan adalah ketebalan bahan bidang partisi setelah dilakukan perancangan. Tingkat kebisingan yang diinginkan di ruang operator (Lp₂) adalah sebesar 63 dB.

Penambahan bahan terbel adalah bahan kayu yang disusul dengan batu bata dan kaca. Namun karena penambahan terbelnya hanya 1 cm, maka ketiga bahan tersebut sama-sama ditetapkan sekali lagi ketebalan rancangannya sesuai dengan bahan yang dijual di pasaran. Batu bata dirancang untuk ditebalkan menjadi 17 cm dengan semen, kaca dirancang untuk ditebalkan menjadi 0,8 cm sedangkan kayu dirancang untuk ditebalkan menjadi 5,5 cm. Dengan ketebalan tersebut maka nilai NR terbesar pada masing-masing bidang tersebut secara berurutan adalah 55,01 dB; 49,86 dB; 45,23 dB.

Dengan kata lain, ketebalan rancangan dari bahan partisi tersebut menghasilkan nilai Lp₂ setelah perancangan. Batu bata dengan ketebalan 17 cm menyebabkan nilai Lp₂ menjadi 46 dB. Kaca dengan ketebalan 0,8 cm menyebabkan nilai Lp₂ menjadi 52 dB. Sedangkan kayu dengan ketebalan 5,5 cm menyebabkan nilai Lp₂ menjadi 62 dB. Dengan demikian maka penebalan bidang partisi tersebut berhasil menurunkan nilai Lp₂ sesuai dengan rentang tingkat kebisingan suara percakapan manusia yaitu 54-72 dB.

Ketebalan rancangan tersebut juga menunjukkan tingkat kebisingan di dalam ruang operator (Lp₂) serta kemampuan bidang partisi rancangan tersebut untuk mereduksi bunyi yang melaluinya (TL). Grafik yang menyatakan hubungan antara TL dengan Lp₂ menunjukkan bahwa pada ketiga bahan tersebut nilai TL semakin mengalami peningkatan seiring dengan makin besarnya frekuensi bunyi. Sedangkan nilai Lp₂ relatif mengalami penurunan seiring dengan makin besarnya frekuensi bunyi. Hal ini sesuai dengan teori bahwa jika frekuensi semakin tinggi maka nilai TL juga semakin tinggi. Demikian pula dengan nilai Lp₂ yang semakin berkurang seiring dengan meningkatnya nilai TL. Hal ini menunjukkan bahwa bahan partisi tersebut memiliki kemampuan untuk mereduksi bunyi. Semakin besar nilai TL maka semakin besar pula bunyi yang mampu direduksi oleh bahan tersebut. Selain ketebalannya, bahan untuk bidang partisi juga perlu diperhatikan terutama dinding. Dikarenakan perhitungan TL menggunakan nilai koefisien absorpsi dari *brick painted*, maka

bahan yang direkomendasikan untuk dinding adalah bahan tersebut.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

- Metode pengendalian bising berdasarkan medium propagansi struktur bangunan (*structure borne noise*) berhasil mereduksi tingkat kebisingan di dalam ruang operator menjadi 46-63 dB atau 40-53 dBA.
- Ketebalan rancangan dari masing-masing bahan partisi menghasilkan nilai L_{p_2} setelah perancangan. Batu bata dengan ketebalan 17 cm menyebabkan nilai L_{p_2} menjadi 46 dB. Kaca dengan ketebalan 0,8 cm menyebabkan nilai L_{p_2} menjadi 52 dB. Sedangkan kayu dengan ketebalan 5,5 cm menyebabkan nilai L_{p_2} menjadi 62 dB. Dengan demikian maka penebalan bidang partisi tersebut berhasil menurunkan nilai L_{p_2} sesuai dengan rentang tingkat kebisingan suara percakapan manusia yaitu 54-72 dB.
- Dinding yang direkomendasikan dalam perhitungan pengendalian bising ini adalah jenis *brick painted*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2010. **Basic Waves Theory**, <URL: www.passmyexams.co.uk/GCSE/physics/basic-waves-theory.html>
- [2] Suma'mur. 2010. **Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (HIPERKES)**. Jakarta: Sagung Seto
- [3] Tambunan, STB. 2005. **Kebisingan di Tempat Kerja (*Occupational Noise*)**. Yogyakarta: Andi
- [4] Srisantyorini. 2002. **Tingkat Kebisingan dan Gangguan Pendengaran pada Karyawan PT. Friesche Vlag Indonesia Tahun 2002**. Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia, Jakarta
- [5] Babba, J. 2007. **Hubungan Antara Intensitas Kebisingan di Lingkungan Kerja dengan Peningkatan Tekanan Darah (Penelitian pada Karyawan PT Semen Tonasa di Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan)**. Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang
- [6] Hemond Jr, Conrad J. 1983. **Engineering Acoustics and Noise Control**. Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey