

APLIKASI WOOD PLACTIC COMPOSITE SEBAGAI PEREDAM KEBISINGAN AKTIVITAS JALAN KERETA API MODEL KRISTAL SONIK PERSEGI

Dewi Handayani^{1) 2) *}, Koosdaryanti Soeryodarundio¹⁾, Syafa Maajid Savira¹⁾

1) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jalan Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126.

2) Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH), Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jalan Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126.

E-mail : dewi@ft.uns.ac.id

Abstrak

Kebisingan adalah suara yang tidak diinginkan dari suatu aktivitas selama jangka waktu tertentu yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Salah satu kebisingan yang disebabkan oleh aktivitas transportasi adalah kebisingan kereta api. Untuk mereduksi kebisingan, dapat dicapai dengan membangun bangunan peredam kebisingan antara rel kereta api dan area pemukiman. Upaya untuk membuat peredam kebisingan berkelanjutan yaitu dengan Wood Plastic Composite (WPC) yang dibuat dalam bentuk kristal sonik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi aplikasi WPC dengan model kristal sonik persegi sebagai peredam kebisingan aktivitas jalan kereta api. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di area pemukiman dekat rel kereta api dengan pengujian intensitas suara pada kristal sonik berbahan WPC kisi persegi berdiameter 8,2 cm dan tinggi 2 meter. Pengujian dilakukan dengan menempatkan kristal sonik sejauh 3 meter dari as rel kereta, sementara *Sound Level Meter* (SLM) diletakkan dengan jarak 1, 2, dan 3 meter di belakang kristal sonik. Metode pengumpulan dan analisis data pada penelitian ini menggunakan KemenLH Nomor 48 Tahun 1996. Hasil penelitian menunjukkan kristal sonik berbahan WPC kisi persegi mampu meredam kebisingan hingga 13,54%.

Kata kunci: kereta api; kristal sonik; peredam kebisingan; wood plastic composite

Abstract

Noise is an unwanted sound from an activity over a period of time that can interfere with human health and environmental comfort. One of the noise caused by transportation activities is train noise. To reduce the noise, it can be achieved by building a noise dampening building between the railroad and the residential area. An attempt to create a sustainable noise reducer is *Wood Plastic Composite* (WPC) which is made in the form of sonic crystals. This research aims to analyze the potential application of WPC with square sonic crystal model as a noise reducer for railway activities. This research uses an experimental method conducted in a residential area near the railroad tracks by testing the sound intensity of sonic crystals made from square lattice WPC with a diameter of 8.2 cm and a height of 2 meters. The test was conducted by placing the sonic crystal 3 meters away from the railroad axle, while the *Sound Level Meter* (SLM) was placed 1, 2, and 3 meters behind the sonic crystal. The method of data collection and analysis in this study used the Ministry of Environment No. 48 of 1996. The results showed that the sonic crystal made from square lattice WPC can reduce noise by 13.54%.

Keywords: train; sonic crystal; noise reducer; wood plastic composite



I. PENDAHULUAN

Kereta api sebagai transportasi penumpang sangat digemari di banyak negara termasuk Indonesia. Hal ini dikarenakan berbagai alasan, diantaranya: jaminan keselamatan dan kenyamanan, serta waktu tempuh yang lebih cepat karena kereta api memiliki jalur prioritas dibandingkan dengan metode transportasi darat lainnya, tingkat kepastian yang tinggi karena jadwal keberangkatan dan kedatangan yang teratur, dan stasiun pemberhentian yang lebih banyak sehingga dapat menjangkau lebih banyak tempat Handayani *et al* (2023). Di lain sisi, kebisingan yang disebabkan oleh aktivitas kereta api memiliki dampak serius terhadap pemukiman-pemukiman yang dilewati. Penelitian yang dilakukan Ahmad & Margiantono (2021) di Stasiun Alastuo-Jamus menunjukkan bahwa intensitas kebisingan di atas ambang batas sebesar 85,82 dB. Masyarakat yang tinggal di sekitar rel kereta api, seperti di Kelurahan Sukosari, Kota Madiun, rentan mengalami gangguan pendengaran akibat tingkat kebisingan yang melebihi baku mutu (Krisnanti & Sulistyorini, 2020). Hal ini didukung juga oleh penelitian Sunaryo (2021) bahwa masyarakat yang tinggal di sekitar rel kereta api mengalami kenaikan denyut nadi sebesar 53,33% dan gangguan komunikasi sebesar 56,67%.

Upaya untuk mengatasi kebisingan ini sudah dilakukan dengan berbagai cara, seperti yang dilakukan Eka & Prihatmanto (2017) dengan mendesain *barrier* bermaterial *brick* setinggi 4 meter. Sánchez-Dehesa *et al.* (2011)

mengenalkan penggunaan kristal sonik dan bahan daur ulang seperti serpih karet dari ban bekas sebagai penghalang suara. Penelitian ini menunjukkan potensi untuk mengurangi kebisingan dengan cara yang berkelanjutan, meskipun masih dilakukan di level laboratorium. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Ferdyan *et al.* (2023) dengan membuat kristal sonik berbahan PVC setinggi 4 meter dan didapatkan *insertion loss* sebesar 16,9 dB. Nurmaidah & Purba (2017) meneliti mengenai pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan serbuk gergaji kayu dapat meningkatkan nilai koefisien serap bunyi secara signifikan. Pemanfaatan serbuk kayu diantaranya sebagai WPC. Serbuk kayu dapat digunakan untuk mengisi plastik. Komposit kayu plastik atau *Wood Plastic Composite* (WPC) adalah nama campuran serbuk kayu dan plastik (Setyawati, 2003)

Dampak kebisingan akibat aktivitas kereta api semakin penting, seiring perkembangan kawasan pemukiman di Indonesia yang dekat dengan jalur kereta api. Penelitian kristal sonik sebagai peredam kebisingan lebih banyak dilakukan pada skala laboratorium, belum pada tahapan aplikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi kristal sonik berbahan *Wood Plastic Composite* (WPC) dengan kisi persegi yang dapat digunakan sebagai alternatif bangunan peredam kebisingan di kawasan pemukiman dekat rel kereta api. Dengan memanfaatkan limbah serbuk kayu sebagai material peredam



kebisingan, diharapkan dapat memberikan alternatif untuk mengurangi polusi suara akibat transportasi jalan kereta api.

A. Kebisingan Kereta Api

Suara bising yang disebabkan oleh aktivitas kereta api dipengaruhi oleh berbagai faktor. Luo et al. (2022) menyatakan bahwa sumber utama kebisingan dari aktivitas kereta api adalah roda kereta saat bergerak. Ketika roda kereta bergesekan dengan rel, muncul suara bising akibat decitan antara kedua komponen tersebut. Kecepatan kereta api, jenis mesin, dan gerbang rel juga merupakan faktor-faktor penyebab kebisingan yang dihasilkan oleh kereta api. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor Kep-48/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan menyatakan bahwa kebisingan adalah suara yang tidak diinginkan yang dihasilkan dari suatu aktivitas atau usaha pada tingkat dan waktu tertentu, yang dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan lingkungan. Batas ambang kebisingan untuk daerah pemukiman sebesar 55 dB.

Tabel 1. Kriteria Batas Kebisingan Menurut Menteri Lingkungan Hidup (Permenkes,2023)

No	Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	Tingkat Kebisingan (dB)
1.	Permukiman	55
2.	Tempat Rekreasi	70
3.	Fasilitas Pendidikan	55
4.	Tempat Ibadah atau sejenisnya	55
5.	Pasar dan Pusat Perbelanjaan	65
6.	Pelabuhan Laut	70
7.	Stasiun Kereta, Terminal, Bandar Udara	Disesuaikan dengan ketentuan Menteri Perhubungan

No	Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	Tingkat Kebisingan (dB)
8.	Tempat dan Fasilitas Umum (TFU) lainnya kecuali Fasilitas Pelayanan Kesehatan	60

B. Wood Plastic Composite (WPC)

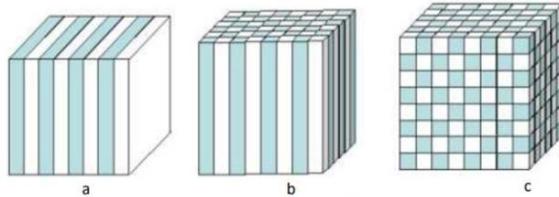
Wood Plastic Composite (WPC) adalah campuran serbuk kayu dan plastik. WPC memiliki stabilitas dimensi yang tinggi dan tahan terhadap cuaca, air, jamur, rayap, serta penggerek laut, sehingga cocok untuk aplikasi luar ruangan di mana kayu yang tidak diawetkan biasanya tidak sesuai. Dari segi biaya, WPC dapat menjadi pengganti kayu dalam berbagai aplikasi seperti perabotan, rangka pintu, profil dekoratif, dan semua tempat di mana biasanya digunakan kayu. Selain itu bahan baku WPC mudah ditemukan, berlimpah, dan ramah lingkungan (Sidik, 2018). Nurmaidah & Purba (2017) menyatakan penggunaan serbuk gergaji kayu dapat meningkatkan kemampuan absorpsi bunyi secara signifikan.

C. Prinsip Sonic Crystal (SC)

Sonic Crystal (SC) adalah bahan yang disusun secara berkala dengan jarak kisi tertentu dan digunakan untuk menghamburkan suara. Bahan tersebut terdiri dari rangkaian kristal fotonik yang tersusun dalam jaringan yang ukurannya lebih kecil dari panjang gelombang yang dimanipulasi. Kristal sonik digunakan sebagai

bahan untuk memisahkan frekuensi dalam rentang yang diinginkan tergantung pada panjang gelombang bahan, jarak, kombinasi

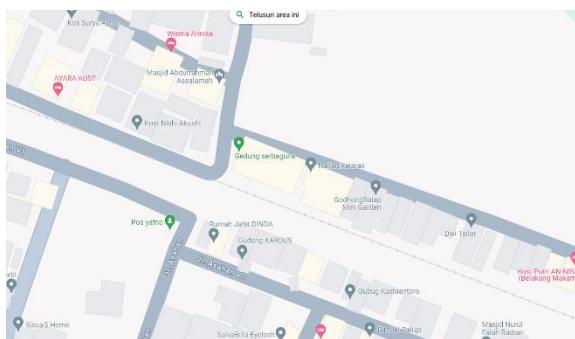
celah, dan antar bahan (Gieva *et al.*, 2020). Struktur kristal sonik dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori: kristal satu dimensi, dua dimensi, dan tiga dimensi. (Chong, 2012).



Gambar.1. Struktur kristal sonik

II. METODE PENELITIAN

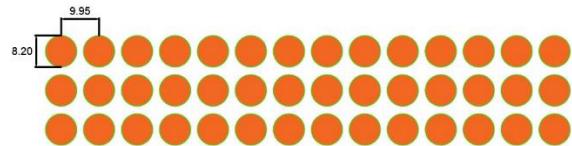
Penelitian ini merupakan metode eksperimen, pengembangan dari penelitian peredam kebisingan kristal sonik yang telah diuji dalam bentuk model di Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Penelitian dilakukan di pemukiman sekitar rel kereta api bertepatan di Jalan Asahan 1 Pucangsawit, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah.



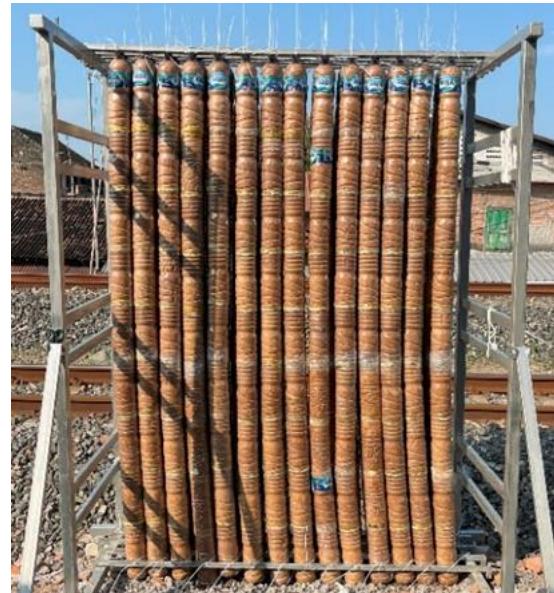
Gambar.2. Lokasi pengambilan data

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sound Level Meter* (SLM) merek Krisbow tipe KW06-290. Jumlah alat yang digunakan sebanyak 3 buah, yang ditempatkan pada jarak 1 meter, 2 meter, 3 meter setelah kristal sonik WPC kisi persegi. Alat ini juga memiliki rentang pengukuran pada 64 dB sampai 130 dB. Sedangkan, bahan pada penelitian ini berbahan

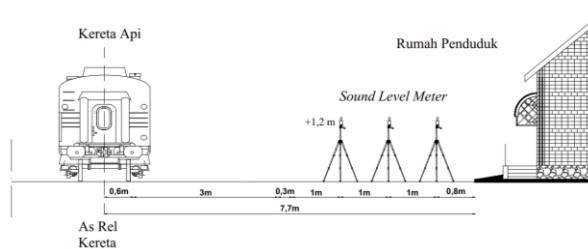
WPC kisi persegi memiliki diameter 8,2 cm, ketinggian 2 meter, berat setiap botol 450-550 gram, dan volume botol sebesar 1.266,80 cm³. Jumlah WPC kisi persegi yang digunakan sebanyak 42 buah dengan konfigurasi kisi 14x3 buah.



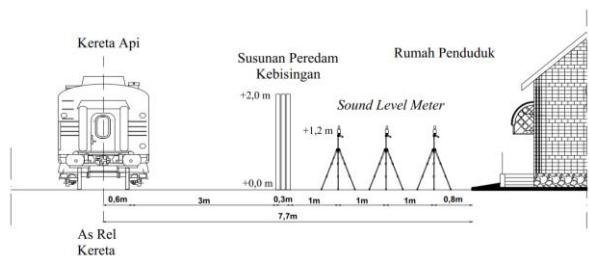
Gambar.3. Susunan kristal sonik kisi persegi



Gambar.4. WPC kisi persegi



Gambar.5. Sketsa set up tanpa kristal sonik pengujian tampak samping



Gambar.6. Sketsa *set up* dengan kristal sonik
tampak samping

Tabel 2. Kondisi suhu dan arah angin saat pengambilan data

Ket.	Tanpa Kristal Sonik		Dengan Kristal Sonik	
	Suhu	Arah angin	Suhu	Arah angin
L1	28°	Tenggara	27°	Timur Laut
L2	28°	Tenggara	30°	Timur Laut
L3	33°	Timur ke Tenggara	33°	Tenggara ke Barat Laut
L4	33°	Timur ke Tenggara	27°	Timur Laut
L5	28°	Tenggara	26°	Timur Laut
L6	26°	Tenggara	26°	Timur Laut
L7	26°	Tenggara	24°	Timur Laut

Penelitian ini mengacu pada KepMen LH No. 48 Tahun 1996. Setiap pengukuran per hari dibagi menjadi 7 interval, yang masing-masing harus dapat mewakili interval waktu tertentu dengan menetapkan paling sedikit 4 pengukuran pada siang hari dan 3 pengukuran pada malam hari.

- L1 waktu pengukuran pukul 07.00 pada interval pukul 06.00 – 09.00
- L2 waktu pengukuran pukul 10.00 pada interval pukul 09.00 – 11.00
- L3 waktu pengukuran pukul 15.00 pada interval pukul 11.00 – 17.00
- L4 waktu pengukuran pukul 20.00 pada interval pukul 17.00 – 22.00

- L5 waktu pengukuran pukul 23.00 pada interval pukul 22.00 – 24.00
- L6 waktu pengukuran pukul 01.00 pada interval pukul 24.00 – 02.00
- L7 waktu pengukuran pukul 04.00 pada interval pukul 02.00 – 06.00

Prosedur pengambilan data menggunakan alat SLM dapat dilihat pada langkah-langkah berikut.

- a. Menyalakan alat *Sound Level Meter* (SLM)
- b. Memilih range intensitas kebisingan
- c. Pengukuran dilakukan pada saat ada kereta yang akan melintas, dimulai pada saat kereta belum melintas hingga setelah kereta melintas
- d. Pembacaan data pada sound level meter dilakukan setiap 5 detik
- e. Menyimpan data kebisingan dalam satuan dB

Metode analisis data dilakukan dengan metode perhitungan tingkat kebisingan sinambung setara atau Leq (dB). Analisis data diawali dengan menghitung tingkat kebisingan ekivalen tiap 5 detik (LTM5) pada tiap selang waktu.

$$L_{eq} (5 \text{ detik}) = L_{TSM5} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (10^{0,1.li} t_i) \right] \quad (1)$$

Setelah didapatkan data yang mampu mewakili setiap selang waktu L1 sampai L7, maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan tingkat kebisingan siang hari (Ls) selama 16 jam dan malam hari (LM) selama 8 jam.

$$L_{eq} (\text{siang}) = L_s (16 \text{ jam}) = 10 \log \left[\frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 (10^{0,1.li}) \right] \quad (2)$$

$$L_{eq} (\text{malam}) = L_M (8 \text{ jam}) = 10 \log \left[\frac{1}{8} \sum_{i=5}^7 (10^{0,1.li}) \right] \quad (3)$$

Berdasarkan data perhitungan tingkat kebisingan siang hari (LS) dan malam hari (LM) kemudian dihitung tingkat kebisingan ekivalen siang malam (LSM).

$$L_{SM}(24 \text{ jam}) = 10 \log \left[\frac{1}{24} (16 \cdot 10^{0,1 \cdot Li} + 8 \cdot 10^{0,1(LM+5)}) \right] \quad (4)$$

dimana,

T = lamanya waktu pengambilan sampel

ti = interval waktu pengambilan sampel

Li = Leq pada selang waktu tertentu

III. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor Kep-48/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan kawasan pemukiman memiliki ambang batas sebesar 55 dB. Hasil pengukuran menunjukkan kereta api memiliki tingkat kebisingan melebihi batas baku mutu, rata-ratanya sebesar 90,00 dB. Hasil rekapitulasi perhitungan tanpa kristal sonik dan dengan kristal sonik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan LS, LM, dan LSM

Jarak	Hasil Perhitungan					
	Tanpa Kristal Sonik (dB)			Dengan Kristal Sonik (dB)		
	LS	LM	LSM	LS	LM	LSM
1 M	98,49	96,16	99,57	86,45	89,23	90,71
2 M	97,87	96,28	99,32	84,62	89,75	90,75
3 M	97,92	94,00	98,31	85,02	86,82	88,56

Setelah dilakukan perbandingan antara menggunakan kristal sonik berbahan WPC kisi persegi dan tanpa kristal sonik, hasil menunjukkan adanya penurunan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah menggunakan peredam kristal sonik berbahan

WPC kisi persegi tidak semua titik pengujian memiliki tingkat reduksi bising yang sama. Ini ditunjukkan oleh hasil reduksi pada jarak 1 meter sebesar 8,86 dB (8,90%), pada jarak 2 meter sebesar 8,75 dB (8,63%), dan pada jarak 3 meter sebesar 9,74 dB (9,91%). Hal ini dapat terjadi karena kebisingan dari kereta api masih bisa melewati sisi samping kristal sonik. Hasil rekapitulasi reduksi bising dan efektivitas reduksi bising dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

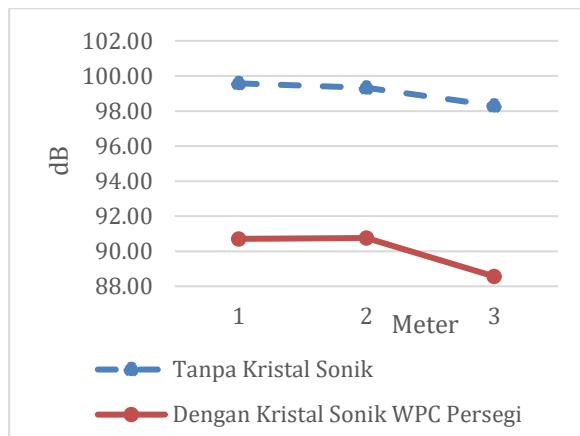
Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan reduksi bising (dB)

Jarak	Hasil Perhitungan		
	Ls	Lm	Lsm
1 M	12,04	6,93	8,86
2 M	13,25	6,53	8,57
3 M	12,90	7,18	9,74

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan efektivitas reduksi bising (dB)

Jarak	Hasil Perhitungan		
	Ls	Lm	Lsm
1 M	12,22%	7,21%	8,90%
2 M	13,54%	6,78%	8,63%
3 M	13,18%	7,64%	9,91%

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 terlihat bahwa semakin jauh jarak SLM maka semakin rendah tingkat kebisingan yang akan diterima oleh penduduk. Namun, pada pengukuran didapatkan tingkat kebisingan pada jarak 2 meter lebih tinggi karena kebisingan dari kereta api masih bisa melewati sisi samping kristal sonik dan juga adanya pantulan dari dinding rumah warga yang berada di lokasi penelitian. Hal berikut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar. 7. Grafik perbandingan tanpa dan dengan kristal sonik WPC kisi persegi.

Sánchez-De *et al.* (2011) melakukan upaya untuk meredam kebisingan dengan membuat kristal sonik berbahan daur ulang seperti serpihan karet dan ban bekas. Pada penelitian ini kristal sonik mampu meredam kebisingan hingga 30 dB. Penelitian ini menunjukkan potensi untuk mengurangi kebisingan dengan cara yang berkelanjutan, meskipun masih dilakukan di level laboratorium. Hal ini mendukung pada penelitian ini dengan menggunakan limbah daur ulang berbahan serbuk kayu yang dapat meredam kebisingan hingga 9,74 dB. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan bahan daur ulang berkelanjutan seperti limbah plastik yang sudah dicacah sebagai bahan pembentuknya.

Penelitian dengan kristal sonik juga dilakukan oleh Morandi *et al* (2016) yang dilakukan di laboratorium. Penelitian tersebut menggunakan kristal sonik yang terbuat dari pipa PVC dengan diameter 16 cm, lebar 3 meter, dan tinggi 4 meter yang dapat menurunkan kebisingan sebesar 24 dB. Pada penelitian yang dilakukan di lapangan, mampu meredam suara mencapai 13,25 dB dengan perbandingan ukuran kristal sonik

setengah kalinya. Kinerja kristal sonik sangat bergantung pada dimensi jarak dan diameter penyebaran suara, sehingga untuk penelitian selanjutnya diperlukan perhitungan yang tepat untuk penetuan diameter, jarak, dan dimensi susunan penyebar suara agar sesuai dengan target penurunan suara yang akan direddam.

Penelitian terkait kristal sonik juga dilakukan oleh Radosz *et al.* (2019) yang dilakukan di laboratorium menggunakan pipa PVC berisi 6 resonator berbentuk C yang disusun dalam kisi persegi. Kristal sonik disusun dengan konfigurasi 3 x 6, tinggi 2 meter, dan jarak antar pipa 16,5 cm yang mampu meredam sebesar 30 dB. Pada penelitian yang dilakukan kali ini menggunakan kristal sonik berbahan WPC kisi persegi dengan sumber suara yang bergerak, yaitu kereta api. Dampaknya suara yang melewati kristal sonik tidak hanya dari sisi depan melainkan juga dari sisi samping kristal sonik. Hasil menunjukkan kristal sonik berbahan WPC kisi persegi yang langsung diaplikasikan di area pemukiman dekat rel kereta api dengan tinggi 2 meter dan lebar 1,5 meter mampu meredam kebisingan hingga 13,25 dB. Hal ini memperlihatkan bahwa WPC dengan model kristal sonik kisi persegi berpotensi untuk diaplikasikan sebagai peredam kebisingan akibat aktivitas kereta api.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kristal sonik berbahan WPC kisi persegi dapat mengurangi tingkat kebisingan hingga 13,25 dB dengan nilai efektivitas reduksi mencapai 13,54%. Penelitian ini memperlihatkan kristal

sonik berbahan WPC kisi persegi berpotensi digunakan sebagai alternatif bangunan peredam kebisingan di kawasan pemukiman di sekitar rel kereta api di Indonesia.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh warga di Pucangsawit yang berpartisipasi dalam penelitian ini, serta para kolega dan mahasiswa yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada: Tim Penelitian Kebisingan akibat Transportasi di Grup Riset Transportasi Berkelanjutan dan Laboratorium *Traffic Engineering*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Tanpa bantuan, kontribusi, dan kerja sama dari semua pihak yang telah disebutkan, pencapaian ini tidak akan terwujud.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., & Margiantono, A. (2021). Analisis Kebisingan Lingkungan Pada Lintasan Kereta Api Double Track Stasiun Alastuo Jamus. *Jurnal Dinamika Sosial Budaya*, 23(1), 43-55.
- Arista, E. (2017). Barrier Design To Reduce Railway Noise Due To Double Track Railroad Tracks In The Crossing Area Of Manggarai-Bekasi. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, 1(2), 97-104.
- Cahyani, A. A. (2019). Pengaruh Kebisingan Lingkungan Kerja Terhadap Produktivitas Kinerja Karyawan Dinas Kesehatan Kabupaten Sidoarjo (Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Gresik).
- Chong, Y. B. (2012). Sonic Crystal Noise Barriers (Doctoral Dissertation, The Open University).
- Ferdyan. (2023). Use Of Sound Attenuation With Sonic Crystal Structures In Residential Areas Due To Highways. *Journal Of Applied Engineering Science*, 21(3), 785-794.
- Handayani, D., Ubaidillah, U., & Adzim, W. F. Pengaruh Timbunan Jalan Rel Terhadap Tingkat Kebisingan Aktivitas Kereta Api. *Matriks Teknik Sipil*, 11(4), 449-455.
- Handayani, D., Ubaidillah, & Sabtya, A. M. N. (2023). Karakteristik Tingkat Kebisingan Akibat Aktivitas Kereta Api Di Pemukiman (Studi Kasus: Jl. Cimanuk Ii-Jebres-Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*, 11(4), 442.
- Krisnanti K.E. Dan Sulistyorini, L. (2020). Potensi Risiko Gangguan Pendengaran Pada Ibu Rumah Tangga Yang Terpapar Kebisingan : Observasi Di Kawasan Rel Kereta Api Kelurahan Sukosari Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 12(1), 10-20.
- Luo, Y. K., Chen, S. X., Zhou, L., & Ni, Y. Q. (2022). Evaluating Railway Noise Sources Using Distributed Microphone Array And Graph Neural Networks. *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, 107, 103315.
- Mayangsari, A. P. (2009). Perancangan Barrier Untuk Menurunkan Tingkat Kebisingan Pada Jalur Rel Kereta Api Di Jalan Ambengan Surabaya Dengan Menggunakan Metode Nomograph.
- Morandi, F., Miniaci, M., Marzani, A., Barbaresi, L., & Garai, M. (2016). Standardised acoustic characterisation of sonic crystals noise barriers: Sound insulation and reflection properties. *Applied Acoustics*, 114, 294-306.
- Nurmaidah, N., & Purba, R. E. S. (2017). Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Subtitusi Campuran Bata Ringan Kedap Suara. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2).
- Radosz, J. (2019). Acoustic performance of noise barrier based on sonic crystals with resonant elements. *Applied Acoustics*, 155, 492-499.
- Sánchez-Dehesa, J., García-Chocano, V. M., Torrent, D., Cervera, F., Cabrera, S., & Simon, F. (2011). Noise Control By Sonic Crystal Barriers Made Of Recycled

-
- Materials. The Journal Of The Acoustical Society Of America, 129(3), 1173-1183.
- Setyawati, D. (2003). Komposit Serbuk Kayu Plastik Daur Ulang: Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah Kayu Dan Plastik. Makalah Falsafat Sains Progam Pasca Sarjana-S3. Ipb.[Malkalah Falsafat Sains].
- Hidup, K. N. L. (1996). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 Tentang: Baku Tingkat Kebisingan. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 48.
- Kementerian Kesehatan. (2016). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar Dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri.
- Kementerian Kesehatan. (2023). Permenkes No. 2 Tahun 2023. Kemenkes Republik Indonesia, 55, 1–175.
- Gieva, E., Ruskova, I., Nedelchev, K., & Kralov, I. (2020, December). Comparative Analysis Of The Acoustic Efficiency Of Classical And Sonic Crystal Noise Barriers. In Iop Conference Series: Materials Science And Engineering (Vol. 1002, No. 1, P. 012014). Iop Publishing.
- Sidik, R. (2018). Studi Pengaruh Penambahan Polypropylene Dan Low Density Polyethylene Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Wood Plastic Composite Untuk Aplikasi Genteng Ramah Lingkungan.
- Sunaryo, S. (2021). Dampak Kebisingan Kereta Api Terhadap Kenaikan Denyut Nadi Dan Gangguan Komunikasi Pada Masyarakat Di Kelurahan Sukosari Kecamatan Kartoharjo Madiun. 2-Trik: Tunas-Tunas Riset Kesehatan, 11(3), 143-146.