

AKSI MITIGASI DAN INVENTARISASI EMISI PADA SENTRA INDUSTRI GENTENG DI KAMPUNG IKLIM DEMAKAN, MOJOLABAN, KABUPATEN SUKOHARJO

Nida Ulhaq Fil'ardiani*, Sunarto, Muhammad Amin Sunarhadi

Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*nidaulhaqf@student.uns.ac.id

Diterima: 4 Juni 2025

Direvisi: 30 September 2025

Dipublikasikan: 25 Oktober 2025

ABSTRACT

The roof tile industry still goes through a traditional burning process that risks producing emissions because it uses wood as fuel. Demakan Village, Mojolaban is known as the center of the roof tile industry and has committed to the Climate Village Program to carry out emission mitigation actions. This study aims to determine the characteristics of emissions from the roof tile industry and develop a mitigation action plan in Climate Village Demakan, Mojolaban. The method used is quantitative descriptive analysis through emission inventory according to IPCC 2006 and Delphi analysis with two iterations of questionnaires. The results showed that the total greenhouse gas emissions generated from the roof tile burning was 419.17 tons/year CO₂-eq, consisting of 387.88 tons/year CO₂, 1.04 tons/year CH₄, and 0.014 tons/year N₂O. Other emissions are CO at 0.312 tons/year and PM_{2.5} at 0.4606 tons/year. Emission mitigation action strategy planning includes education or training to the community and planting carbon-absorbing vegetation every 6 months, as well as emission control equipment in the form of a cyclone separator within the next 1-2 years to reduce emissions below quality standards.

Keywords: Combustion Emissions; Roof Tile; Mitigation; Proklam.

ABSTRAK

Industri genteng melalui proses pembakaran secara tradisional yang berisiko menghasilkan emisi karena menggunakan kayu sebagai bahan bakarnya. Desa Demakan, Mojolaban dikenal sebagai sentra industri genteng dan telah berkomitmen dalam Program Kampung Iklim untuk melakukan aksi mitigasi emisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik emisi dari industri genteng dan menyusun perencanaan aksi mitigasi di Kampung Iklim Demakan, Mojolaban. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif kuantitatif melalui inventarisasi emisi sesuai pada IPCC 2006 serta analisis Delphi dengan dua iterasi kuesioner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi gas rumah kaca yang ditimbulkan dari industri genteng adalah sebesar 419,17 ton/tahun CO₂-eq, yang terdiri dari 387,88 ton/tahun CO₂, 1,04 ton/tahun CH₄, dan 0,014 ton/tahun N₂O. Emisi lainnya adalah CO sebesar 0,312 ton/tahun dan PM_{2.5} sebesar 0,4606 ton/tahun. Perencanaan strategi aksi mitigasi emisi meliputi edukasi atau pelatihan kepada masyarakat dan penanaman vegetasi penyerap karbon setiap 6 bulan sekali, serta alat pengendali emisi berupa cyclone separator dengan jangka 1-2 tahun ke depan untuk menurunkan emisi di bawah baku mutu.

Kata Kunci: Emisi Pembakaran; Genteng; Mitigasi; Proklam.

A. PENDAHULUAN

Indonesia mengalami degradasi lingkungan akibat peningkatan emisi. Berdasarkan *Statistical Review of World Energy* (2024), Indonesia menjadi negara ke-enam sebagai penghasil emisi terbesar setelah China, Amerika Serikat, India, Rusia, dan Jepang pada

tahun 2023 dengan emisi sebesar 701,4 juta ton CO₂. Menurut data *Climate Watch* (2021), Indonesia mengeluarkan total emisi sebesar 1,48 Gt CO₂ (3,11% emisi global) dengan kontribusi terbesar berasal dari sektor energi yang menyumbang 679,0 Gt CO₂, kemudian diikuti oleh sektor perubahan penggunaan lahan dan kehutanan sebesar 476,85 Gt CO₂, sektor pertanian sebesar 154,16 Gt CO₂, sektor limbah 140,31 Gt CO₂, dan sektor lainnya sebesar 34,34 Gt CO₂. Menurut IPCC (2006), emisi dari sektor energi meliputi penggunaan dan konversi sumber energi primer, serta penggunaan bahan bakar dalam aplikasi stasioner dan bergerak. Pembakaran stasioner dapat menyumbang hingga 70% emisi dari sektor energi dan sekitar setengahnya berasal dari produksi panas dan listrik pada industri.

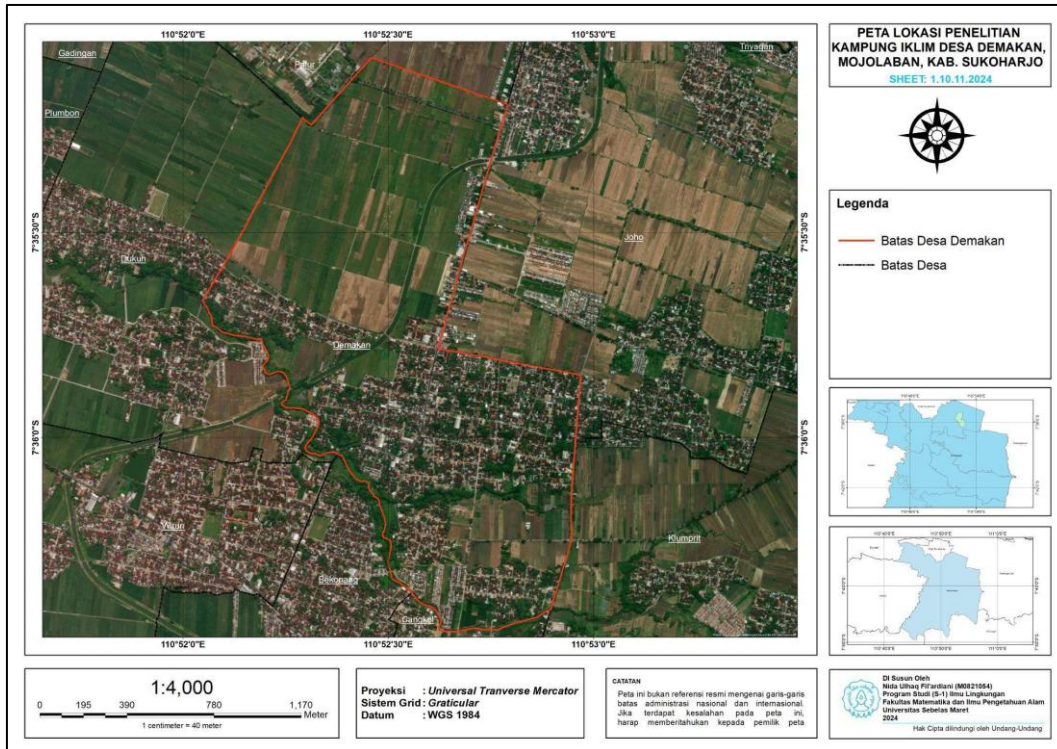
Salah satu industri yang berkontribusi terhadap emisi adalah industri genteng, yang masih banyak menggunakan metode pembakaran tradisional. Genteng merupakan bahan bangunan yang terbuat dari tanah liat dan digunakan sebagai atap bangunan (Liu, *et al.*, 2020). Pada produksinya, proses yang paling berisiko menghasilkan emisi adalah pembakaran karena menggunakan tungku tradisional dan memanfaatkan kayu sebagai bahan bakarnya. Proses pembakaran dalam pembuatan genteng meliputi pembakaran dengan api kecil yang dapat berlangsung hingga 2 hari, serta pembakaran dengan api besar yang dapat berlangsung hingga 12 jam (Pujiyanto., dkk., 2018). Kegiatan industri genteng yang telah berlangsung dalam jangka waktu yang lama dapat memicu peningkatan intensitas beban emisi di udara.

Desa Demakan, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo dikenal sebagai sentra industri genteng karena memiliki banyak industri rumahan dalam skala kecil hingga menengah. Industri genteng ini menjadi sumber mata pencaharian sebagian masyarakat Desa Demakan dengan rata-rata kapasitas produksi bulanan mencapai 6.000–10.000 buah. Selain itu, Desa Demakan juga merupakan bagian dari Program Kampung Iklim (Proklim) dan telah menjadi peraih Trophy Proklim utama dari KLHK tahun 2023. Masyarakat Desa Demakan memiliki komitmen untuk melaksanakan aksi mitigasi dalam pengendalian perubahan iklim, baik dengan mengurangi timbulan emisi maupun meningkatkan penyerapan emisi.

Tanpa adanya aksi mitigasi, industri genteng di Desa Demakan berpotensi menghasilkan emisi yang semakin besar yang dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan masyarakat. Inventarisasi emisi menjadi langkah penting dalam pengendalian emisi untuk mengetahui sejauh mana kontribusi suatu industri terhadap pencemaran udara. Inventarisasi dapat dikategorikan sebagai upaya mitigasi dari dampak pencemaran udara

yang berpotensi mengancam lingkungan dan kehidupan makhluk hidup. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik emisi dari industri genteng dan menyusun perencanaan aksi mitigasi emisi di Kampung Iklim Demakan, Mojolaban.

B. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada sentra industri genteng di Kampung Iklim Demakan, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah (**Gambar 1**). Desa Demakan dapat disebut sebagai Kampung Iklim karena merupakan wilayah dimana masyarakatnya melakukan upaya mitigasi secara berkesinambungan sejak tahun 2023 melalui Program Kampung Iklim (Proklim). Metode penelitian yang digunakan yakni analisis deskriptif kuantitatif melalui inventarisasi emisi industri genteng dan analisis Delphi melalui 2 putaran kuesioner ahli untuk menyusun perencanaan aksi mitigasi.

Data aktivitas industri genteng diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara kepada pemilik industri genteng. Populasi yang akan diteliti adalah industri genteng di Desa Demakan, Kecamatan Mojolaban yang berjumlah 168 industri kecil hingga menengah. Menurut Arikunto (2017), apabila populasi dalam jumlah kecil atau kurang dari 100 lebih baik semua sebagai sampel penelitian, sedangkan apabila populasi tergolong besar atau lebih dari 100 dapat diambil antara 10-15% atau 20-25% atau lebih. Pada penelitian ini, sampel ditentukan sebesar 10% dari populasi atau sebanyak 17 industri. Perhitungan besaran emisi

pada penelitian ini mengacu pada pedoman EMEP/EEA 2023 dan IPCC *Guideline* 2006 dengan menerapkan Tier-1 karena menyesuaikan ketersediaan data. Rumus perhitungan emisi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Emisi} &= \text{DA} \times \text{FE} \\ &= \text{Penggunaan Bahan Bakar} \times \text{NCV} \times \text{FE} \end{aligned}$$

Keterangan:

- Emisi = total emisi yang dihasilkan (ton/tahun)
- Penggunaan Bahan Bakar = banyaknya bahan bakar yang digunakan per bulan (kg/tahun)
- *NCV (Net Calorific Value)* = nilai kalor bahan bakar (TJ/kg)
- FE (Faktor Emisi) = faktor emisi dari penggunaan bahan bakar (kg/TJ)

Besaran faktor emisi untuk jenis bahan bakar kayu ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Faktor Emisi dan NCV Standar Kayu

Parameter	Faktor Emisi (g/GJ)	NCV (GJ/ton)
CO ₂	112.000	
CH ₄	300	
N ₂ O	4	15,6
CO	90	
PM _{2.5}	133	

Sumber: EMEP/EEA, 2023 dan IPCC, 2006

Hasil perhitungan besaran emisi kemudian dikonversi dalam satuan CO₂-eq (karbondioksida ekuivalen) yang diambil dari indeks potensi pemanasan global atau GWP (*Global Warming Potential*) seperti pada rumus konversi dan **Tabel 2**.

$$\text{CO}_2\text{-eq} = \sum (\text{GRK}_i \times \text{GWPI})$$

Keterangan:

- CO₂-eq = Emisi GRK dari polutan i
- GRK_i = Emisi GRK dari polutan i
- GWPI = Potensi pemanasan global dari polutan i

Tabel 2. Jenis GRK dan Nilai GWP

Gas Rumah Kaca	Nilai GWP
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Sumber: IPCC, 2006

Hasil perhitungan besaran emisi disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan pembaca dalam memahami hasil penelitian. Kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif, yakni dengan mencermati, memahami, dan menuliskan kembali data yang telah diperoleh dalam bentuk narasi.

Kemudian data perencanaan aksi mitigasi diperoleh melalui kuesioner kepada beberapa responden yang dianalisis menggunakan teknik Delphi. Teknik Delphi merupakan metode sistematis untuk mengumpulkan pendapat dan mengambil keputusan dari beberapa pakar melalui serangkaian kuesioner dengan adanya tanggapan balik (*feedback*) dan iterasi (putaran) pertanyaan sambil menjaga anonimitas tanggapan antar responden (Masser & Foley, 1987). Perencanaan ditujukan untuk mengetahui aksi mitigasi yang sesuai untuk diterapkan di Kampung Iklim Demakan di masa mendatang guna mengurangi dan/atau meningkatkan penyerapan emisi dari industri genteng. Pemilihan ahli sebagai responden adalah yang menaruh perhatian, memiliki kewenangan, dan/atau kepakaran dengan masalah yang diteliti. Pada penelitian ini, ahli yang dipilih sebagai responden terdiri dari lima orang yang dijelaskan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Responden Ahli

Kode	Keterangan	Responden	Kepentingan
R1	Responden 1	Dinas Lingkungan Hidup	Mewakili lembaga pemerintah daerah yang bertanggung jawab terhadap pelaksanaan Proklamasi di Kabupaten Sukoharjo.
R2	Responden 2	Konsultan Lingkungan	Individu profesional yang memiliki keahlian di bidang lingkungan dan mengetahui karakteristik Kabupaten Sukoharjo.
R3	Responden 3	Bidang Pengelolaan Lingkungan Industri Genteng dalam Tim Pengurus Proklamasi Demakan	Individu yang memahami proses produksi dan perkembangan kegiatan mitigasi terhadap industri genteng di Desa Demakan.
R4	Responden 4	Bidang Penghijauan dalam Tim Pengurus Proklamasi	Individu yang memahami terkait perkembangan upaya penghijauan yang telah berjalan di

Kode	Keterangan	Responden	Kepentingan
		Demakan	Kampung Iklim Demakan.
R5	Responden 5	Bendahara dalam Tim Pengurus Proklam Demakan	Individu yang banyak terlibat dalam koordinasi segala aksi mitigasi, melakukan pencatatan kegiatan, dan pengelolaan dana di Kampung Iklim Demakan.

Sumber: Peneliti, 2025

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Inventarisasi Emisi Industri Genteng

Genteng diproduksi secara tradisional dengan bahan utama tanah liat yang dicetak menggunakan mesin press dan dibakar pada tungku pembakaran. Proses pembakaran tersebut menggunakan bahan bakar yang menjadi sumber emisi berupa *direct combustion*.

Tabel 4. Data Aktivitas Pembakaran Genteng

Industri	Jenis Genteng	Jumlah Genteng dalam 1x Pembakaran	Konsumsi Kayu dalam 1x Pembakaran (Ton)	Jumlah Sesi Pembakaran	Konsumsi Kayu (Ton/Tahun)
1	Mini	9000	1	8	8
2	Mini	9000	1,5	6	9
3	Mini	10000	2	8	16
4	Mini	8000	1,5	12	18
5	Mini	7500	1,5	12	18
6	Mini	8000	1,5	3	4,5
7	Mantili Kecil	8000	1,5	3	4,5
8	Mantili Kecil	8000	1	6	6
9	Mantili Kecil	9000	2	6	12
10	Mantili Kecil	9000	2	8	16
11	Mantili Kecil	9000	2	8	16
12	Mantili Kecil	8000	1,5	4	6
13	Mantili Besar	6000	1,5	8	12

14	Mantili Besar	6500	2	8	16
15	Mantili Besar	8000	2	12	24
16	Mantili Besar	10000	2	6	12
17	Mantili Besar	7000	2	12	24

Sumber: Pengolahan data primer, 2025

Berdasarkan **Tabel 4.** terkait data aktivitas pembakaran genteng, diketahui bahwa total konsumsi kayu dari 17 sampel industri mencapai 222 ton/tahun untuk memproduksi sekitar 140.000 buah genteng. Berdasarkan jenis gentengnya, mantili kecil menggunakan bahan bakar kayu yang lebih hemat yakni 1,19 kg/genteng, lalu disusul dengan genteng jenis mini yang memerlukan kayu 1,43 kg/genteng. Sedangkan genteng mantili besar cukup boros dalam menggunakan bahan bakar yakni 2,35 kg/genteng, hal ini dapat disebabkan karena bentuk genteng yang besar dan tebal sehingga perlu pembakaran lebih lama dibandingkan jenis lainnya.

Tabel 5. Estimasi Emisi GRK dan Parameter Lainnya dari Pembakaran Genteng

Industri	Emisi GRK (Ton/Tahun)			CO ₂ -eq (Ton/Tahun)	Emisi Parameter Lainnya (Ton/Tahun)	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		CO	PM _{2,5}
1	13.98	0.0374	0.0005	15.12	0.0112	0.0166
2	15.72	0.0421	0.0006	17.02	0.0126	0.0187
3	27.96	0.0749	0.001	30.25	0.0225	0.0332
4	31.45	0.0842	0.0011	34.03	0.0253	0.0373
5	31.45	0.0842	0.0011	34.03	0.0253	0.0373
6	7.86	0.0211	0.0003	8.51	0.0063	0.0093
7	7.86	0.0211	0.0003	8.51	0.0063	0.0093
8	10.48	0.0281	0.0004	11.34	0.0084	0.0124
9	20.97	0.0562	0.0007	22.69	0.0168	0.0249
10	27.96	0.0749	0.001	30.25	0.0225	0.0332
11	27.96	0.0749	0.001	30.25	0.0225	0.0332
12	10.48	0.0281	0.0004	11.34	0.0084	0.0124
13	20.97	0.0562	0.0007	22.69	0.0168	0.0249
14	27.96	0.0749	0.001	30.25	0.0225	0.0332
15	41.93	0.1123	0.0015	45.37	0.0337	0.0498
16	20.97	0.0562	0.0007	22.69	0.0168	0.0249
17	41.93	0.1123	0.0015	45.37	0.0337	0.0498
Total	387,88	1,04	0,014	419,71	0,312	0.4606

Sumber: Pengolahan data primer, 2025

Estimasi emisi yang tertera pada **Tabel 5** menunjukkan bahwa emisi GRK yang dihasilkan dari 17 sampel industri genteng adalah sebesar 419,71 ton CO₂-eq/tahun. Hal ini berarti rata-rata emisi yang dihasilkan oleh setiap industri genteng adalah sebesar 24,69 ton CO₂-eq/tahun. Masing-masing industri memiliki jumlah penggunaan kayu dan sesi pembakaran yang berbeda-beda tergantung pada kapasitas produksinya. Emisi terkecil dihasilkan sebesar 8,51 ton CO₂-eq/tahun pada industri yang menggunakan 1,5 ton kayu dengan hanya 3 sesi pembakaran dalam setahun. Sedangkan emisi terbesar adalah 45,37 ton CO₂-eq/tahun dengan 2 ton kayu yang digunakan setiap bulan untuk pembakaran genteng.

Karbon dioksida (CO₂) memiliki dampak buruk terhadap kualitas kesehatan manusia. CO₂ dapat menyebabkan pingsan seketika dan henti napas dalam waktu 1 menit jika terpapar dalam konsentrasi tinggi. CO₂ yang terakumulasi dalam darah menyebabkan penurunan pH darah (asidosis pernapasan). Hal ini berakibat pada sakit kepala, kebingungan, cemas, kantuk, hingga pingsan. Paparan konsentrasi CO₂ sebesar 10.000 ppm dalam 30 menit pada orang dewasa sehat dapat menyebabkan asidosis pernapasan. Konsentrasi yang sangat tinggi di atas 100.000 ppm dapat mengakibatkan penglihatan kabur, disorientasi, muntah, hipertensi, dan pingsan (Krismanuel, 2024). Metana (CH₄) dan Nitrogen oksida (N₂O) tidak secara langsung berdampak terhadap kesehatan manusia. Namun, CH₄ berkontribusi terhadap penipisan ozon di lapisan troposfer. Sedangkan N₂O menyebabkan kerusakan lapisan ozon di stratosfer yang berdampak pada meningkatnya radiasi UV (De Vries., 2021).

Parameter emisi lainnya yang dihitung adalah CO dan PM_{2.5} yang mana total jumlah CO dari industri genteng adalah 0,312 ton/tahun. Temperatur tinggi pada aktivitas pembakaran dapat menyebabkan gas CO₂ semakin banyak terpecah menjadi gas CO dan O (Aprilina, dkk., 2016). Karbon monoksida (CO) memiliki kemampuan untuk mengikat hemoglobin dan membentuk karboksihemoglobin (COHb) pada darah. Ikatan CO dengan Hb lebih kuat 245 kali dan lebih lama dibandingkan dengan ikatan O₂, sehingga mengakibatkan berkurangnya kadar oksigen ke jantung (Rizaldi., dkk., 2022).

Sedangkan PM_{2.5} yang dihasilkan adalah sebesar 0,4606 ton/tahun. Pembakaran tidak sempurna dapat menghasilkan emisi PM yang lebih tinggi yang berisiko pada penyakit pernapasan, terutama pada partikulat dengan diameter kurang dari 2,5 µm karena dapat menembus hingga alveoli dan bronkus (Gogoi, *et al.*, 2021). Paparan PM_{2.5} dapat mengakibatkan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), penyakit kardiovaskular, kanker paru-paru, penyakit paru-paru obstruktif kronis, hingga kematian (Arba, 2019).

Perencanaan Aksi Mitigasi Emisi di Kampung Iklim Demakan

Industri genteng menjadi mata pencaharian bagi sebagian besar masyarakat di Kampung Iklim Demakan. Proses pembakaran pada industri genteng menimbulkan peningkatan emisi gas rumah kaca dan partikulat lainnya yang berisiko terhadap kesehatan masyarakat sekitar. Untuk mengurangi dampak tersebut, diperlukan strategi aksi mitigasi yang tepat dan dapat diterapkan secara berkelanjutan. Pada penelitian ini, kuesioner Delphi terdiri dari dua putaran, yang mana putaran pertama untuk menghimpun ide dan pendapat para ahli yang ditunjukkan pada **Tabel 6** dan putaran kedua untuk memperoleh kesepakatan terkait aksi mitigasi yang dapat diterapkan pada Kampung Iklim Demakan.

1. Putaran Pertama (Iterasi 1)

Tabel 6. Hasil Kuesioner Delphi Putaran Pertama

	Ide Rencana Aksi	Indikator Keberhasilan	Mitra Kerja yang Perlu Dilibatkan	Waktu Pelaksanaan
R1	1. Edukasi terkait produksi ramah lingkungan 2. Pergantian bahan bakar yang lebih ramah lingkungan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, seperti gas alam atau bioga 3. Penanaman vegetasi pohon yang dapat menyerap polutan	1. Edukasi menyeluruh kepada seluruh masyarakat desa 2. Minimal 50% pengrajin genteng beralih menggunakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan 3. Seluruh pengrajin genteng menanam vegetasi pohon	1. Pemerintah desa, pemerintah daerah, akademisi 2. Pemerintah desa, pemerintah daerah, akademisi, swasta 3. Pemerintah desa, pemerintah daerah, swasta	1. 6 bulan sekali 2. 1-3 tahun 3. 1 tahun
R2	Pemasangan alat pengendali emisi pada industri	Emisi yg dihasilkan dibawah baku mutu	Pemerintah, akademisi	1-2 tahun kedepan
R3	1. Penanaman vegetasi pohon yang dapat menyerap polutan 2. Penggunaan tungku hemat energi 3. Pergantian bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, seperti jenis kayu tertentu	1. Jumlah vegetasi pohon cukup untuk menyerap timbulan emisi dari produksi genteng 2. Kualitas tungku meningkat 3. Penggunaan bahan bakar lebih hemat	Pemerintah desa, pemerintah daerah, akademisi, swasta	6 bulan - 1 tahun sekali
R4	Penanaman vegetasi pohon yang dapat menyerap polutan	Timbul kesadaran untuk menanam pohon	Pemerintah desa, Pemerintah daerah	1 tahun sekali
R5	Penanaman vegetasi pohon yang dapat menyerap polutan	Jumlah vegetasi pohon cukup untuk menyerap timbulan emisi dari industri genteng	Pemerintah desa	1 tahun sekali

Berdasarkan hasil kuesioner putaran pertama, 4 responden (80%) memberikan usulan ide rencana aksi mitigasi untuk menanam vegetasi pohon yang dapat menyerap polutan.

Kemudian, 2 responden (40%) memberikan usulan ide untuk menggunakan tungku hemat energi atau alat pengendali emisi serta ide untuk menggunakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa responden cenderung memberikan strategi dengan pendekatan ekologis dan teknis. Pendekatan ekologis diusulkan oleh DLH dan tim pengurus Kampung Iklim karena telah dilaksanakan di Demakan dan dapat dikembangkan dalam jangka waktu yang relatif pendek secara berkala. Indikator keberhasilan yang diajukan menunjukkan bahwa aksi mitigasi perlu keterlibatan pelaku industri, peningkatan jumlah vegetasi pohon, serta dapat bersifat edukatif dengan meningkatnya kesadaran masyarakat.

Kemudian usulan yang bersifat teknis bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Indikator keberhasilan menyangkut pada perubahan kebiasaan pelaku industri dalam penggunaan bahan bakar, meningkatkan kualitas tungku, serta timbulan emisi di bawah baku mutu sesuai peraturan yang berlaku. Pendekatan ini memerlukan riset lebih mendalam untuk dapat dilaksanakan dalam jangka menengah. Sedangkan usulan ide dengan pendekatan edukatif juga disampaikan oleh DLH terkait produksi ramah lingkungan dengan indikator keberhasilan melibatkan seluruh masyarakat dan dalam jangka waktu yang pendek secara berkala.

2. Putaran Kedua (Iterasi 2)

Setelah dilakukan pengumpulan data melalui kuesioner putaran kedua, proses pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan tingkat persetujuan di antara lima responden. Berikut merupakan kategori yang dibuat peneliti dalam pengambilan keputusan perencanaan aksi mitigasi.

- ≥ 4 responden setuju, maka dianggap disepakati dan diprioritaskan.
- 3 responden setuju, maka dapat menjadi masukan tambahan dengan mempertimbangkan kelayakannya.
- ≤ 2 responden setuju, maka dianggap tidak disepakati.

Berdasarkan hasil kuesioner Delphi putaran kedua, didapatkan beberapa aksi mitigasi emisi dari industri genteng yang disepakati oleh para responden yang ditunjukkan pada **Tabel 7**, **Tabel 8**, dan **Tabel 9** berikut ini.

Tabel 7. Perencanaan Aksi Mitigasi Edukasi/Pelatihan

Aksi Mitigasi Edukasi/Pelatihan		R1	R2	R3	R4	R5
Indikator Keberhasilan	Edukasi merata kepada seluruh masyarakat desa	1	1	1	1	1
Mitra Kerja	Pemerintah Daerah	1	1	1	1	1
	Pemerintah Desa	1	1	1	1	1
	Swasta	1	0	1	0	1
	Akademisi	1	1	1	1	1
Waktu Pelaksanaan	6 bulan sekali	1	1	1	0	1
Kelayakan		Sangat Layak	Layak	Sangat Layak	Sangat Layak	Sangat Layak

Sumber: Pengolahan data primer, 2025

Berdasarkan jawaban para responden dalam kuesioner Delphi putaran kedua, aksi mitigasi yang dianggap sangat layak dilaksanakan adalah edukasi atau pelatihan. Edukasi atau pelatihan yang akan dilakukan dapat mencakup beberapa topik, misalnya dampak dari proses produksi industri genteng, pentingnya produksi bersih dan ramah lingkungan, jenis kayu yang baik untuk pembakaran, dan lain sebagainya. Kegiatan edukasi atau pelatihan ini ditujukan agar pengetahuan dan pemahaman masyarakat dapat meningkat dan terdorong untuk berkontribusi dalam upaya pelestarian dan pemeliharaan lingkungan hidup Aksi ini dapat dilakukan secara berkala setiap 6 bulan sekali dan dapat dianggap telah tercapai jika masing-masing masyarakat desa telah berpartisipasi minimal sekali dalam kegiatan edukasi atau pelatihan. Pelaksanaan edukasi atau pelatihan dapat melibatkan pihak pemerintah daerah, seperti dinas yang berkaitan dengan topik kegiatan, pemerintah desa, serta akademisi. Sedangkan pihak swasta dapat dilibatkan maupun tidak dalam pelaksanaan kegiatan tersebut, sesuai dengan urgensinya.

Tabel 8. Perencanaan Aksi Mitigasi Penanaman Vegetasi

Aksi Mitigasi Penanaman Vegetasi		R1	R2	R3	R4	R5
Indikator Keberhasilan	Seluruh pelaku industri genteng menanam tanaman penyerap polutan	1	1	0	1	1
	Jumlah vegetasi pohon cukup untuk menyerap timbulan emisi dari produksi genteng	1	1	1	1	1
	Timbul kesadaran untuk menanam pohon	1	1	1	0	1
Mitra Kerja	Pemerintah Daerah	1	1	0	0	1
	Pemerintah Desa	1	1	1	1	1
	Swasta	1	1	1	1	1
	Akademisi	1	0	1	0	0
Waktu Pelaksanaan	6 bulan sekali	0	1	1	0	1
	1 tahun sekali	1	0	0	1	0
Kelayakan		Sangat Layak	Layak	Layak	Sangat Layak	Sangat Layak

Sumber: Pengolahan data primer, 2025

Aksi mitigasi selanjutnya yang disepakati oleh para responden dalam kuesioner putaran kedua adalah penanaman vegetasi yang dapat menyerap polutan. Aksi ini dianggap layak untuk dilaksanakan dan dapat dikatakan telah tercapai dengan menambah jumlah vegetasi pohon hingga cukup untuk menyerap timbulan emisi dari produksi genteng, melibatkan seluruh pelaku industri genteng, serta meningkatkan kesadaran dan inisiatif masyarakat untuk menanam. Sesuai dengan kesepakatan para responden, aksi ini dapat dilaksanakan setiap 6 bulan sekali.

Aksi ini perlu melibatkan masyarakat, khususnya pelaku industri genteng, serta melibatkan pihak pemerintah desa dan pihak swasta dalam pemberian bantuan dana dan sarana prasarana. Sedangkan pemerintah daerah tidak diwajibkan untuk terlibat aktif, sehingga dapat menjadi pendukung dalam memberikan bantuan sarana prasarana. Sedangkan pihak akademisi tidak disepakati untuk terlibat dalam aksi ini, sehingga dapat memberikan kontribusi pada jenis kegiatan lain, seperti edukasi atau pelatihan serta penelitian.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Susanto, et al. (2021), pohon buah cocok untuk ditanam pada pekarangan rumah sebagai penyimpan karbon, penyedia pangan, obat-obatan, dan membantu dalam konservasi keanekaragaman hayati. Pohon buah yang memiliki daya serap karbon yang sangat tinggi (>1.000 kg/pohon/tahun) ialah nangka (*Artocarpus heterophyllus*) dan pohon dengan daya serap karbon yang tinggi (500–1.000 kg/pohon/tahun)

meliputi mangga (*Mangifera indica*), bacang (*Mangifera foetida*), serta sentul (*Sandoricum koetjape*).

Salah satu hambatan dalam penghijauan di sekitar industri genteng di Kampung Iklim Demakan adalah keterbatasan lahan dan ukuran pohon besar yang dapat menghalangi proses industri batu bata. Oleh sebab itu, perencanaan aksi penanaman vegetasi perlu diiringi dengan upaya edukasi yang bersifat menghimbau atau mengajak masyarakat Kampung Iklim Demakan bahwa menanam vegetasi tidak harus pada lahan yang luas. Pada penelitian yang dilakukan oleh Fatima, dkk. (2024), diketahui bahwa tanaman hias dapat ditanam dengan kokedama, yakni teknik menanam tanaman dalam bentuk bola lumut, sehingga selain meningkatkan estetika, teknik ini dapat memanfaatkan ruang terbatas, memiliki nilai ekonomi, serta dapat memilih tanaman dengan daya serap karbon yang baik. Jenis tanaman hias yang dapat dipilih diantaranya yaitu, lidah mertua dengan daya serap karbon sebesar 1,90 mg/m³, sirih gading sebesar 0,64 mg/m³, serta lili paris sebesar 1,78 mg/m³.

Tabel 9. Perencanaan Aksi Mitigasi Alat Pengendali Emisi

Aksi Mitigasi Penggunaan Alat Pengendali Emisi		R1	R2	R3	R4	R5
Indikator Keberhasilan	Emisi yg dihasilkan dibawah baku mutu	1	1	1	1	1
	Pemerintah Daerah	1	1	1	1	1
Mitra Kerja	Pemerintah Desa	1	0	1	1	1
	Swasta	1	1	1	1	1
	Akademisi	1	1	1	1	1
Waktu pelaksanaan	1-2 tahun ke depan	0	1	1	1	1
Kelayakan		Layak	Sangat Layak	Layak	Sangat Layak	Sangat Layak

Sumber: Pengolahan data primer, 2025

Aksi mitigasi ketiga yang disepakati adalah alat pengendali emisi. Perencanaan aksi ini dapat dilaksanakan dengan jangka waktu yang cukup lama, sekitar 1-2 tahun ke depan. Aksi ini dapat dikatakan berhasil jika emisi yang dihasilkan dari proses produksi genteng telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Aksi ini dapat melibatkan pemerintah daerah dan desa, swasta, hingga akademi. Pada penelitian ini, emisi yang dihitung adalah total emisi dalam ton/tahun sebagai bahan inventarisasi, sedangkan pada Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara berisi baku mutu untuk konsentrasi emisi udara ambien.

Alat pengendali yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi emisi partikulat di industri skala kecil seperti genteng adalah *cyclone separator*. Penelitian yang dilakukan oleh Rafi (2024) pada sentra industri genteng di Desa Mayong Jepara menunjukkan bahwa pada satu kali pembakaran genteng menghasilkan emisi partikulat dengan konsentrasi sebesar 434,03 mg/m³ yang melebihi baku mutu. Penelitian tersebut merancang alat pengendali pencemaran udara berupa *cyclone separator* dengan kapasitas 4050 m³/jam dan efisiensi removal 49%, sehingga emisi partikulat yang tersisa yakni sebesar 221,34 mg/m³ yang telah memenuhi baku mutu.

D. KESIMPULAN

Industri genteng di Kampung Iklim Demakan memiliki karakteristik emisi dari proses pembakaran menggunakan kayu. Total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan mencapai 419,17 ton/tahun CO₂-eq, yang terdiri dari 387,88 ton/tahun CO₂, 1,04 ton/tahun CH₄, dan 0,014 ton/tahun N₂O. Emisi lainnya adalah CO sebesar 0,312 ton/tahun dan PM_{2.5} sebesar 0,4606 ton/tahun. Emisi tertinggi berasal dari industri dengan sesi pembakaran satu kali per bulan menggunakan 2 ton kayu untuk memproduksi genteng mantili besar.

Perencanaan strategi aksi mitigasi emisi meliputi: (1) edukasi atau pelatihan setiap 6 bulan sekali terkait dampak industri, produksi bersih, dan jenis kayu rendah emisi; (2) penanaman vegetasi penyerap karbon tanaman buah (nangka dan mangga), dan tanaman hias (lidah mertua, sirih gading, dan lili paris) secara berkala tiap 6 bulan; (3) alternatif alat *cyclone separator* dengan jangka 1-2 tahun ke depan untuk menurunkan emisi di bawah baku mutu.

E. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada masyarakat dan tim pengurus Proklim di Kampung Iklim Demakan, Mojolaban, serta pihak ahli di Kabupaten Sukoharjo selaku narasumber yang telah berkontribusi pada artikel penelitian ini.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Aprilina, K., Badriah, I. U., & Aldrian, E. (2016). Hubungan antara Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Suhu Udara terhadap Intervensi Anthropogenik (Studi Kasus Nyepi Tahun 2015 di Provinsi Bali). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 17(1). <https://doi.org/10.31172/jmg.v17i1.397>
- Arba, S. (2019). Kosentrasi Respirable Debu Particulate Matter (Pm_{2.5}) Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Di Pemukiman Sekitar PLTU. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2), 178-184. <https://doi.org/10.56338/pjkm.v9i2.963>

- Arikunto, S. (2017). Pengembangan instrumen penelitian dan penilaian program. *Yogyakarta: Pustaka Pelajar*, 53, [No DOI available].
- Climate Watch (2021). Climate Data for Action. Available via https://www.climatewatchdata.org/countries/IDN?end_year=2021&start_year=1990.
Sitasi pada 27 Maret 2025.
- De Vries, W. (2021). Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249>
- Energy Institute. Statistical Review of World Energy., (2024). https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0006/1542714/684_EI_Stat_Review_V16_DIGITAL. Sitasi pada 27 Maret 2025.
- European Environment Agency (EEA), 2023. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Category 1.A.1 Energy industries, SNAP 01 Combustion in energy and transformation industries. *Copenhagen: European Environment Agency*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- Fatima, N., & Haris, A. (2024). Potensi Ekonomi Tanaman Hias Penyerap Karbon Berkemasan Kokedama di Kota Semarang. *Business and Accounting Education Journal*, 5(3), 283-294. <https://doi.org/10.15294/baej.v5i3.14151>
- Gogoi, D., Sazid, A., Bora, J., Deka, P., Balachandran, S., & Hoque, R. R. (2021). Particulate matter exposure in biomass-burning homes of different communities of Brahmaputra Valley. *Environmental monitoring and assessment*, 193(12), 856. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09624-8>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds). Hayama, Japan: IGES. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Krismanuel, H. (2024). Correlation between carbon dioxide (CO₂) and respiratory issues: A literature review. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 159-168. <https://doi.org/10.25105/pdk.v9i1.17646>
- Liu, S., Wang, R., Yu, J., Peng, X., Cai, Y., & Tu, B. (2020). Effectiveness of the anti-erosion of an MICP coating on the surfaces of ancient clay roof tiles. *Construction and Building Materials*, 243, 118202. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118202>
- Masser, I., & Foley, P. (1987). Delphi revisited: Expert opinion in urban analysis. *Urban studies*, 24(3), 217-225. <https://doi.org/10.1080/00420988720080351>
- Pujiyanto, E., Rosyidi, C. N., Ibrahim, M. H., & Budiaji, A. (2022). Meningkatkan Kualitas Genteng Hasil Produksi IKM Kebakkramat Karanganyar untuk Memenuhi SNI 03-2095-1998. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 2(1), 25-31. <https://doi.org/10.52436/1.jpmi.415>

-
- Rafi, M., (2024). Perancangan Alat Pengendali Pencemaran Udara di Sentra Industri Genteng Jepara. Tugas Akhir (Sarjana Teknik). *Universitas Diponegoro: Semarang*. Diakses dari <https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/21296/>
- Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Salindra, B. P. (2022). Literature review: dampak paparan gas karbon monoksida terhadap kesehatan masyarakat yang rentan dan berisiko tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253-265. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.253-265>.
- Susanto, D. A., & Kartawinata, K. (2021). Carbon potentials in biomass of fruit trees in home gardens in the Bogor Regency, West Java. *Journal of Tropical Ethnobiology*, 4(2), 118-129. <https://doi.org/10.46359/jte.v4i2.100>